به نام خدا

تکنولوژی بتن (جلسه نهم)

گروه مهندسی عمران دانشگاه کاشان

خواص و آزمایش های بتن سخت شده:

Tests on hardened concrete

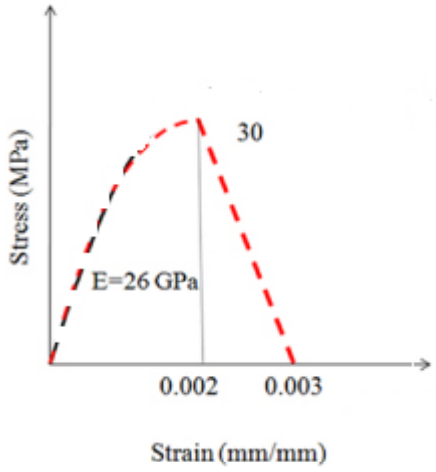
Compressive strength (cylinder, cube, core)
Tensile strength: Direct tension
Modulus of rupture
Indirect (splitting)
Density
Shrinkage
Creep
Modulus of elasticity
Absorption
Permeability
Freeze/thaw resistance
Resistance to aggressive chemicals
Resistance to abrasion
Bond to reinforcement
Analysis for cement content and proportions
In situ tests: Schmidt Hammer, pull-out, break-off, cones etc.
Ultrasonic, nuclear.

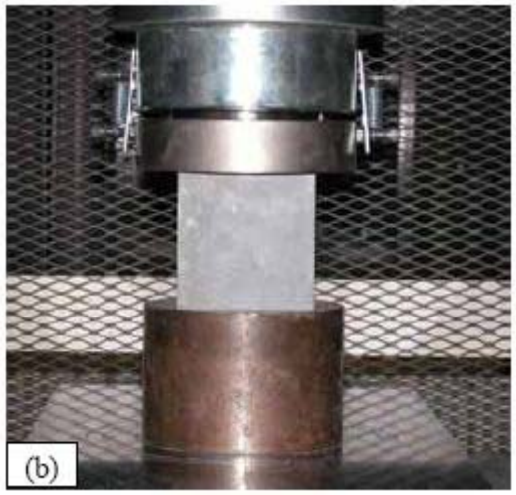
مقاومت فشاری بتن سخت شده:

مقاومت فشاری بتن سخت شده به عنوان عامل اصلی در طراحی سازه های بتن مسلح مورد استفاده قرار می گیرد.

تعیین مقاومت فشاری تک محوری: با تحت فشار قرار دادن نمونه های استاندارد استوانه ای 300x150 میلی متر (ابعاد نمونه استاندارد مقررات ملی ایران) یا مکعبی 150x150 میلی متر، با استفاده از جک بتن شکن

در این آزمایش مقدار بار وارد بر نمونه از صفر تا مرحله شکستن افزایش می یابد. مقاومت فشاری تک محوری از تقسیم بار گسیختگی بر سطح مقطع نمونه بدست می آید.





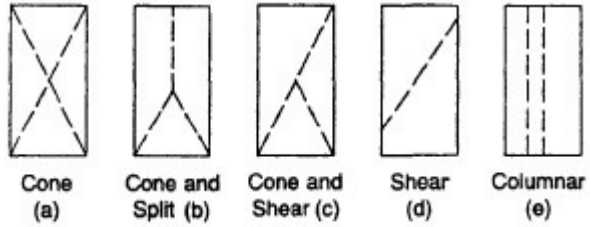
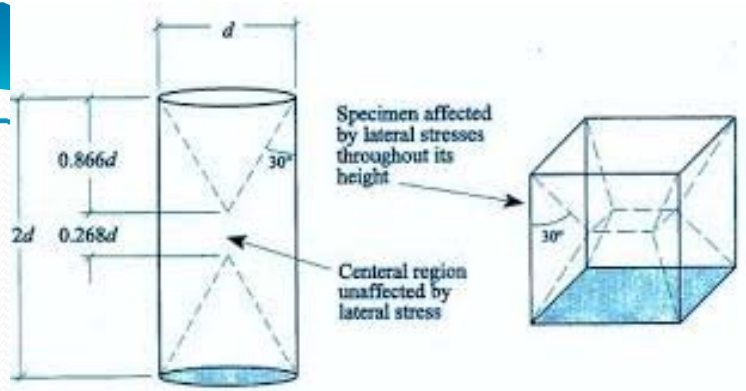


Fig. 1: Sketches of types of fracture



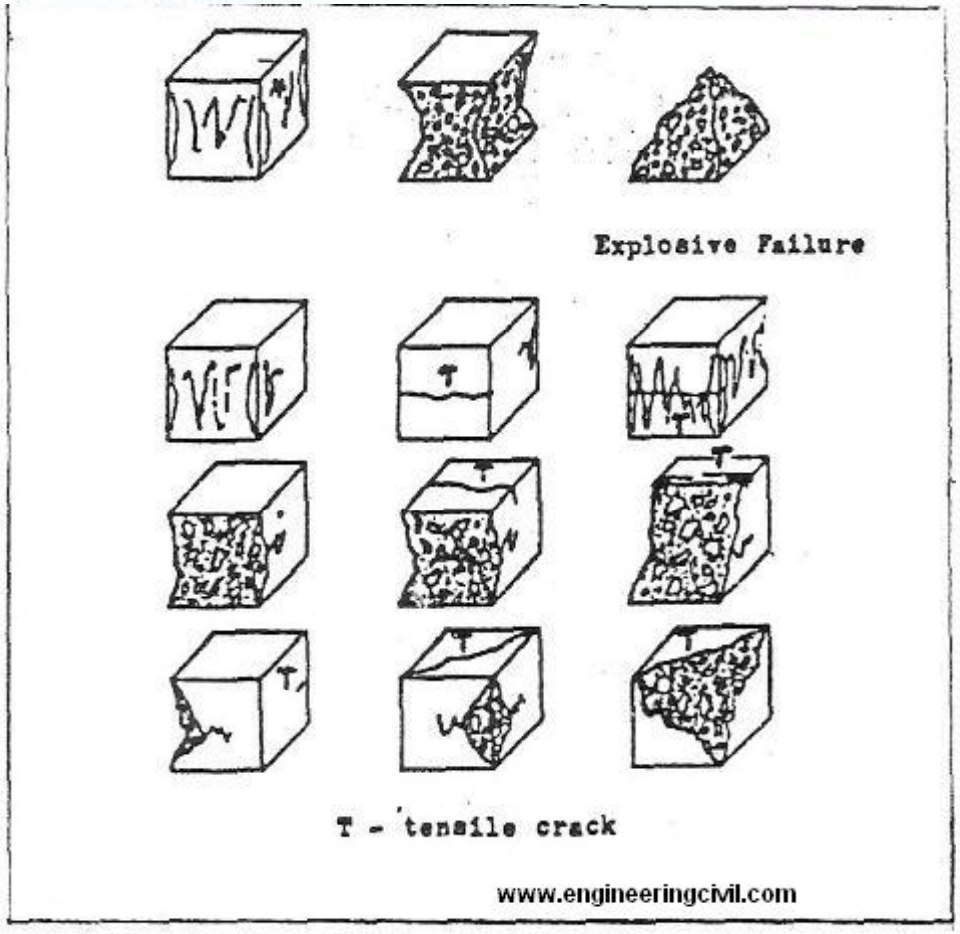
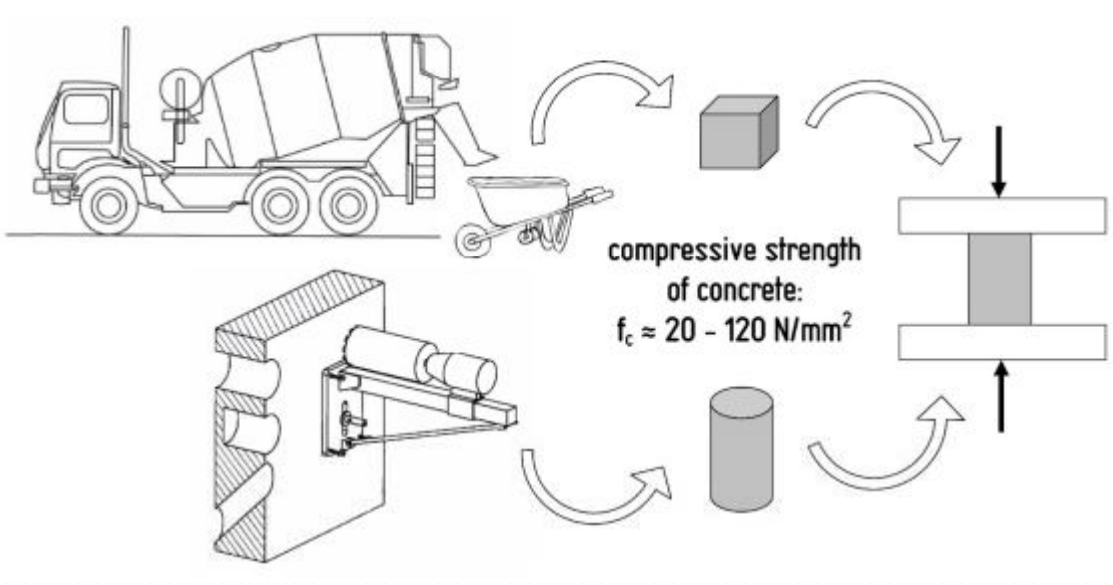


Fig. 1. Normal Failures Of Cubes (Top) And Abnormal Failures Of Cubes (Bottom).


compressive strength
of concrete:
$f_c \approx 20 - 120\ N/mm^2$

اثر شکل و اندازه نمونه بر مقاومت فشاری تعیین شده:

r_1 = ضریب تبدیل مقاومت نمونه استوانه‌ای غیر استاندارد به مقاومت نظیر نمونه استوانه‌ای استاندارد

$a\times 2a$	۱۰۰ ×۲۰۰	۱۵۰ ×۳۰۰	۲۰۰ ×۴۰۰	۲۵۰ ×۵۰۰	۳۰۰ ×۶۰۰
r_1	۱/۰۲	۱/۰۰	۰/۹۷	۰/۹۵	۰/۹۱

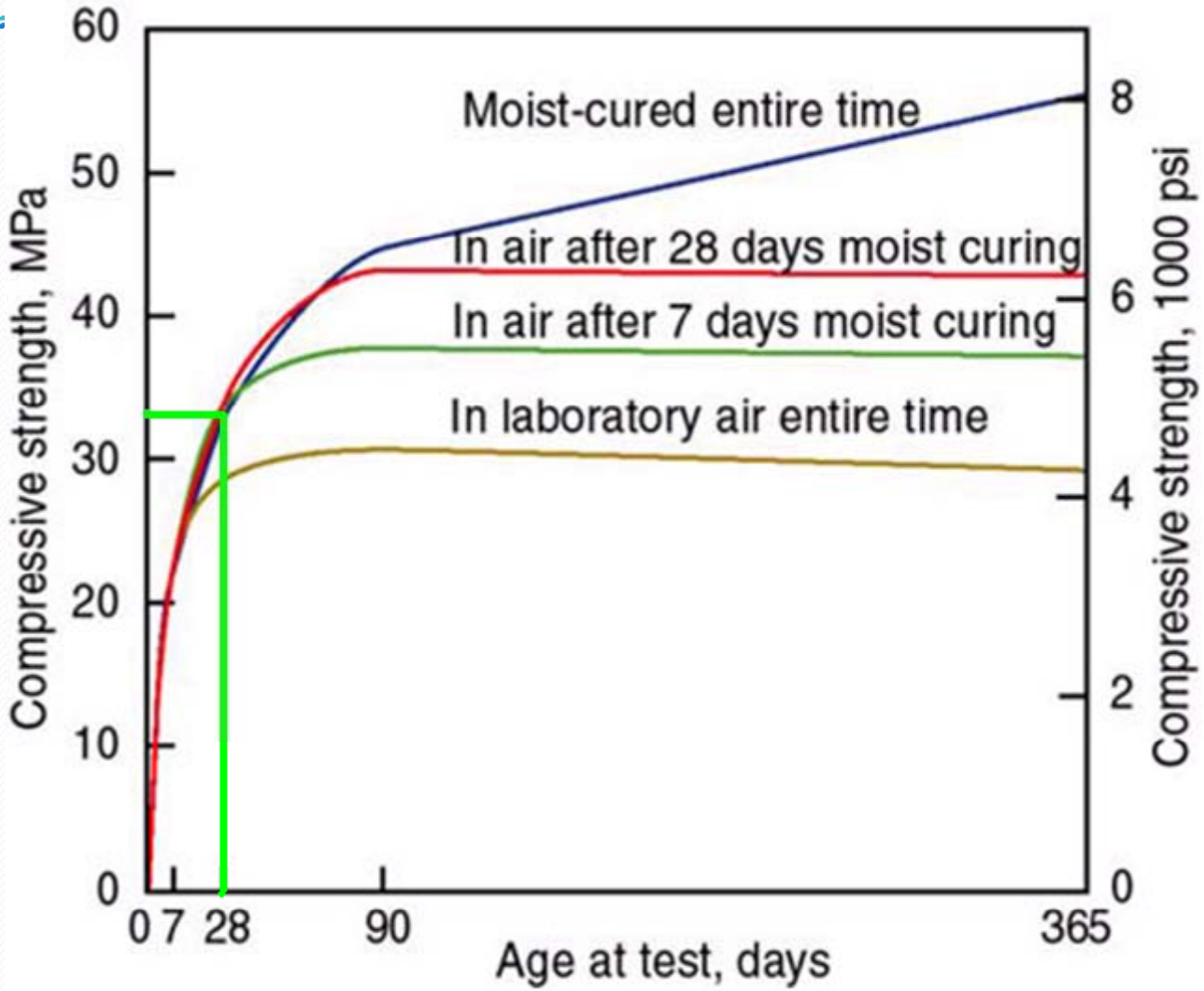
r_2 = ضریب تبدیل مقاومت نمونه مکعبی به ابعاد غیر ۲۰۰ میلیمتر، به مقاومت نظیر نمونه مکعبی به ابعاد ۲۰۰ میلیمتر

مکعبی b	۱۰۰	۱۵۰	۲۰۰	۲۵۰	۳۰۰
r_2	۱/۰۵	۱/۰۰	۱/۰۰	۰/۹۵	۰/۹

r_3 = ضریب تبدیل مقاومت نمونه مکعبی به ابعاد ۲۰۰ میلیمتر، به مقاومت نظیر نمونه استوانه‌ای استاندارد

مقاومت فشاری نمونه مکعبی (MPa)	≤ ۲۵	۳۰	۳۵	۴۰	۴۵	۵۰	۵۵
r_3	۱/۲۵	۱/۲۰	۱/۱۷	۱/۱۴	۱/۱۳	۱/۱۱	۱/۱۰
مقاومت فشاری نمونه استوانه‌ای (MPa)	با توجه به ضریب	۲۵	۳۰	۳۵	۴۰	۴۵	۵۰

اثر مدت زمان عمل آوری بر مقاومت فشاری ۲۸ روزه بتن:



- با افزایش زمان عمل آوری مقاومت فشاری افزایش می یابد،
- زمان عمل آوری که در آیین نامه پیشنهاد شده بسته به شرایط متفاوت و حدود ۷ روز است که در این زمان مقاومت فشاری ۲۸ روزه به مقاومت فشاری دراز مدت نزدیک است. بنابراین مقاومت فشاری ۲۸ روزه ملاک قرارگرفته است.

رابطه مقاومت فشاری ۲۸ روزه بتن با مقاومت فشاری در سایر سنین بتن:

گاهی اوقات بنا به دلایلی نظیر تصمیم گیری سریع، برای دستیابی به مقاومت فشاری ۲۸ روزه، که مبنای محاسبات طراحی سازه های بتنی است، فرصت کافی در اختیار نیست. در چنین شرایطی از تجربیات پیشین استفاده می شود. به این مفهوم که تجربیات موجود بر اساس الگوی رشد مقاومت فشاری می تواند تا حد قابل قبولی نشان دهد که نمونه بتنی که با نوع سیمان مشخصی تولید شده و فرضاً مقاومت فشاری ۷ روزه آن در اختیار است، مقاومت فشاری ۲۸ روزه آن به چه حدی خواهد رسید.

۹-۱۰-۲۴ تاثیر نوع سیمان و سن بتن بر روی مقاومت فشاری نسبی بتن

نوع سیمان	مقاومت فشاری (به صورت نسبی)			
	۱ روزه	۷ روزه	۲۸ روزه	۹۰ روزه
سیمان نوع I	۰/۳۰	۰/۶۶	۱/۰۰	۱/۲۰
سیمان نوع II	۰/۲۳	۰/۵۶	۰/۹۰	۱/۲۰
سیمان نوع III	۰/۵۷	۰/۷۹	۱/۱۰	۱/۲۰
سیمان نوع IV	۰/۱۷	۰/۴۳	۰/۷۵	۱/۲۰
سیمان نوع V	۰/۲۰	۰/۵۰	۰/۸۵	۱/۲۰

در صورت گرفتن نمونه های متعدد از بتن با طرح اختلاط مشخص و انجام آزمایش تعیین مقاومت فشاری، علیرغم تلاش بر یکسان بودن شرایط تولید و عمل آوری و انجام آزمایش برای بتن، نتایج دارای پراکندگی است که از توزیع نرمال تبعیت می نماید. میانگین مقاومت فشاری نمونه ها نمی تواند به عنوان مبنای طراحی قرار گیرد بلکه باید ضریب اطمینان کافی مبنی بر رسیدن اکثریت قریب به اتفاق نمونه های ساخته شده به مقاومت فشاری مدنظر، لحاظ گردد.

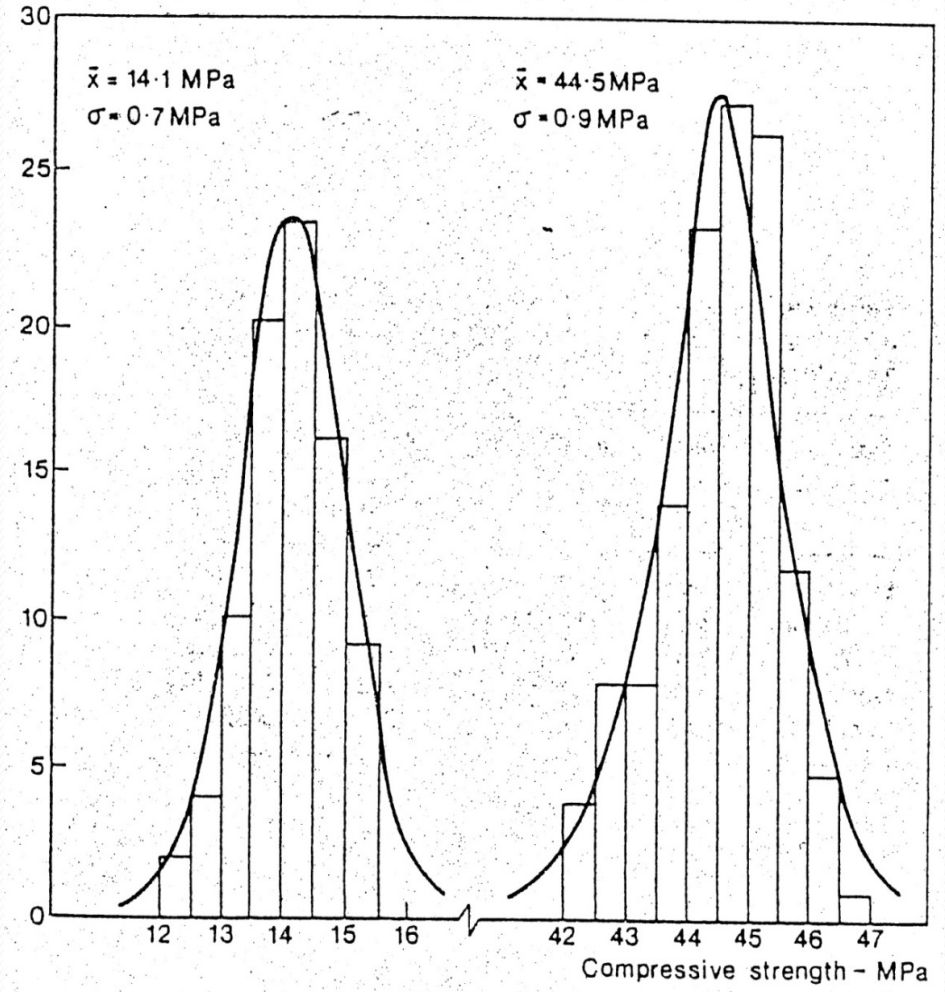
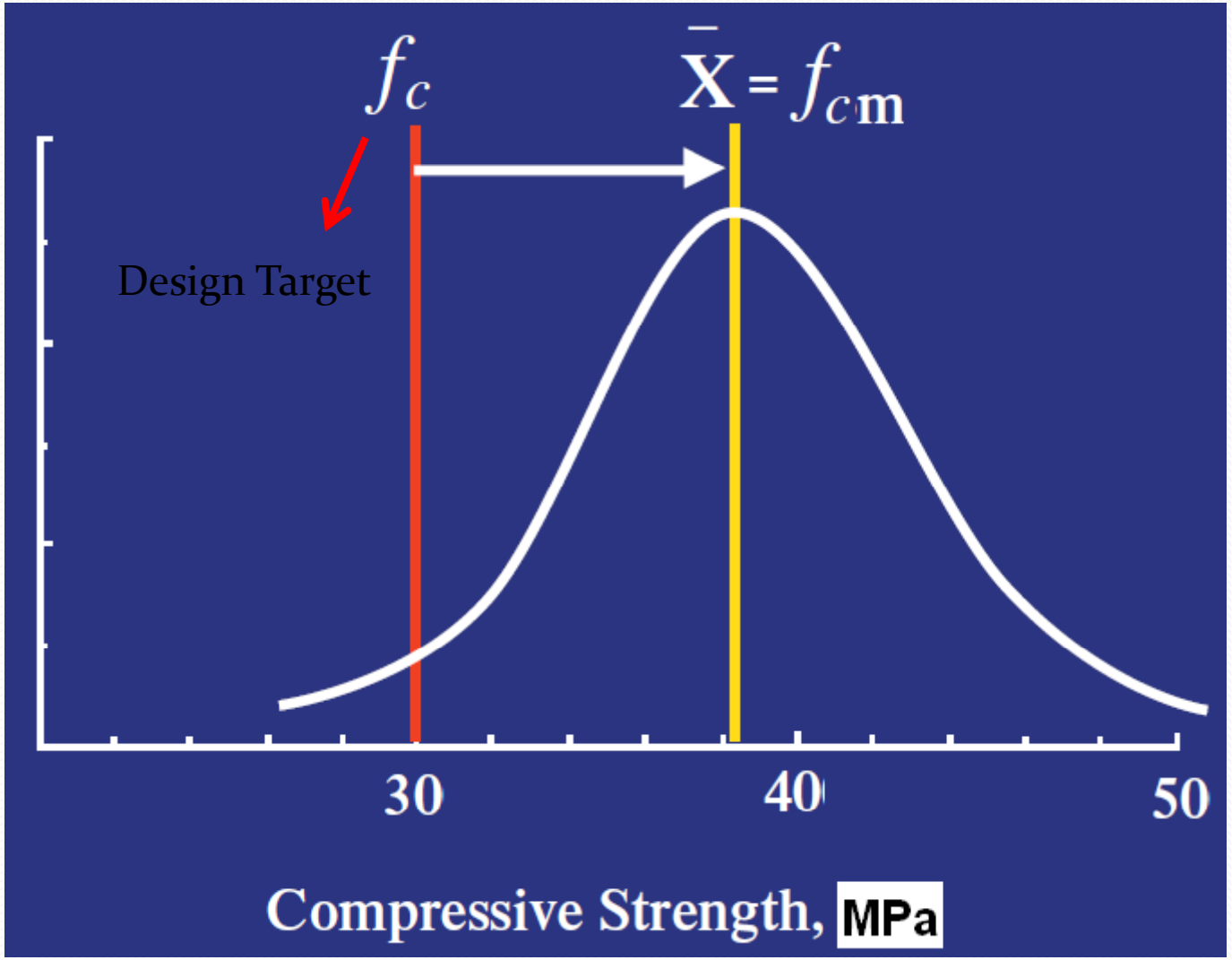


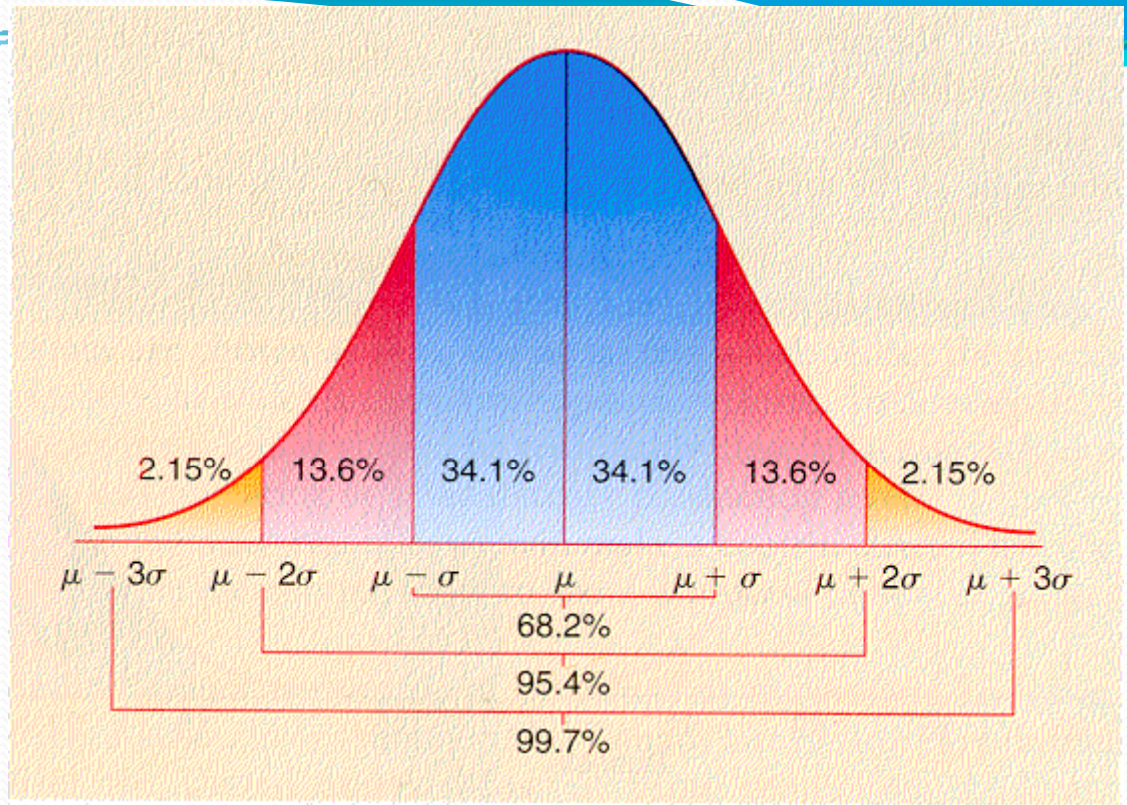
Fig. 5. Normal distribution and histogram of strength data.

f_c = مقاومت فشاری مشخصه بتن، بر اساس آزمونه‌های استوانه‌ای، مگاپاسکال

f_{cm} = مقاومت فشاری متوسط بتن، مگاپاسکال

s = انحراف استاندارد مقاومت فشاری نمونه‌ها





$$\sigma = S = \sqrt{\frac{\Sigma(x-m)^2}{n-1}}$$

x: مقاومت فشاری آزمونه

m: میانگین مقاومت فشاری آزمونه‌ها

n: تعداد آزمونه‌ها

جدول ۹-۵-۴ انحراف استاندارد بر اساس رتبه بندی کارگاه و مقاومت مشخصه بتن

رتبه‌بندی کارگاه	مقاومت مشخصه بتن (مگاپاسکال)				
	۱۶	۲۰	۲۵	۳۰و ۳۵	۴۰ و بیشتر
الف	۲/۵	۳	۳/۵	۴	۴/۵
ب	۳/۵	۴	۴/۵	۵	۵/۵
ج	۴/۵	۵	۵/۵	۶	۶/۵

جدول ۹-۵-۵ رتبه‌بندی کارگاهها بر اساس وضعیت تولید بتن، نظارت و کنترل کیفیت

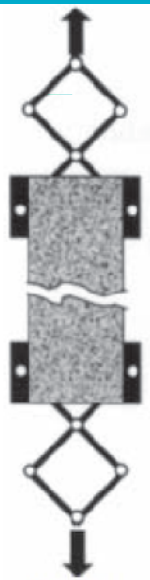
شرایط تولید و کنترل	وضعیت کنترل کیفیت		
	الف	ب	ج
توزین یا پیمانه کردن سیمان	وزنی	وزنی	حجمی
توزین یا پیمانه کردن سنگدانه	وزنی	حجمی	حجمی
کنترل دانه بندی سنگدانه	کنترل شده	کنترل شده	بدون کنترل
کنترل رطوبت سنگدانه	کنترل شده	کنترل شده	بدون کنترل
نظارت بر تولید	در سطح عالی	در سطح خوب	در سطح ضعیف
امکانات آزمایشگاهی	موجود است	موجود است	در سطح محدود
تداوم در آزمایش	مداوم	گاهی اوقات	در سطح محدود
نیروی متخصص تولید بتن	وجود دارد	وجود دارد	در سطح محدود

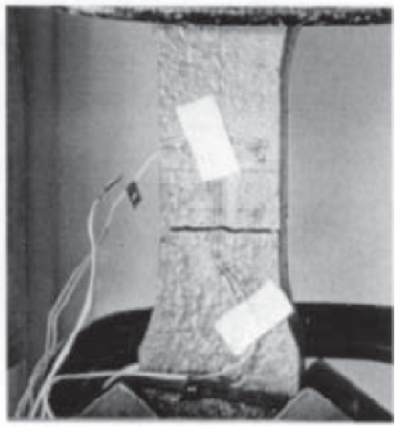
در صورت در اختیار نداشتن نتایج آزمایش برای محاسبه انحراف استاندارد، می توان از جداول روبرو برای تعیین انحراف استاندارد استفاده نمود.
عملا هرچه دقت در تولید و عمل آوری و آزمایش بتن کمتر باشد، انحراف استاندارد که نشان دهنده پراکندگی زیاد و عدم دقت است افزایش می یابد.

مقاومت فشاری سه محوره:

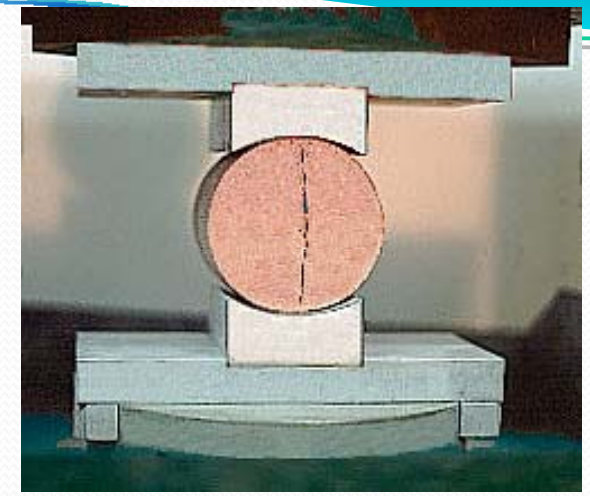
مقاومت بتن در آزمایش فشاری سه محوره معمولا بیش از حالت تک محوره است. و نتایج آن در محاسبات مربوط به ستون ها می تواند مورد استفاده قرار گیرد.

مقاومت کششی بتن

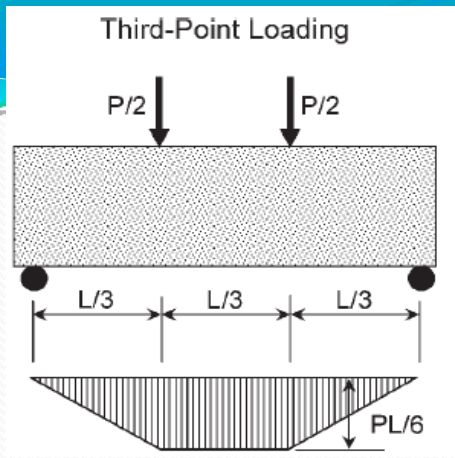




آزمایش مستقیم تعیین مقاومت کششی.

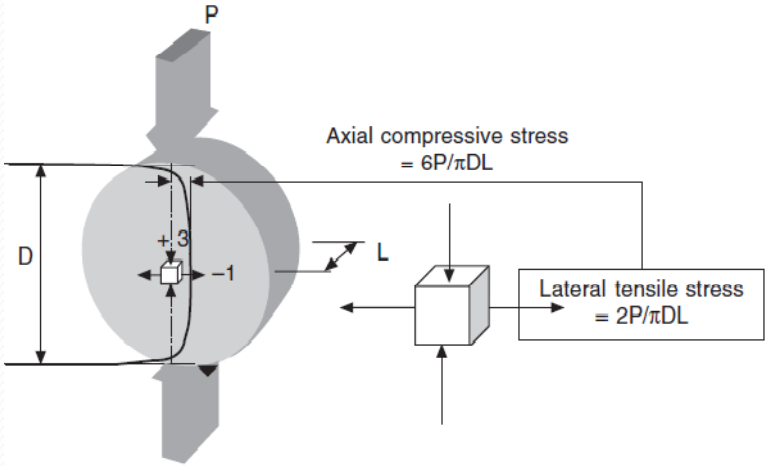


آزمایش غیر مستقیم تعیین مقاومت کششی.



آزمایش خمشی سه نقطه ای برای محاسبه مدول گسیختگی برای مصالح ترد شکن. مقطع تیر **bxd**

$$f_t = \frac{2P}{\pi DL} = (7\% \sim 11\%)\, f_c \qquad f_r = \frac{PL}{bd^2} = (8\% \sim 15\%)\, f_c$$



مقاومت برشی بتن:

این ویژگی معمولاً با روشهای غیر مستقیم تعیین و به صورت تابعی از مقاومت فشاری بیان می شود.

$$f_S \approx 12\% f_c$$

مدول الاستیسیته:

این ویژگی معمولاً از منحنی تنش کرنش در آزمایش فشاری تک محوری استخراج می شود.

روابط تجربی بین مقاومت فشاری و مدول الاستیسیته بتن

$$E_c \approx 4314 w^{1.5} \sqrt{f_c'}$$

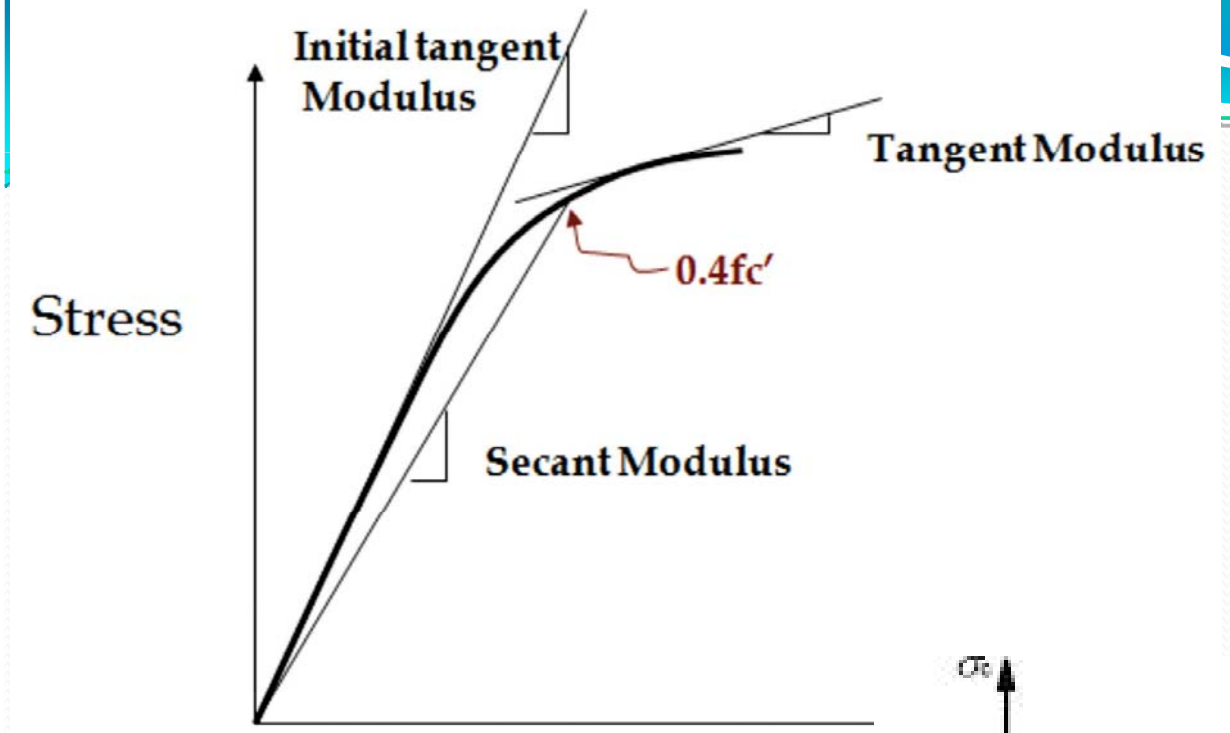
E_c **مدول الاستیسیته بتن برحسب کیلوگرم بر سانتی متر مربع**

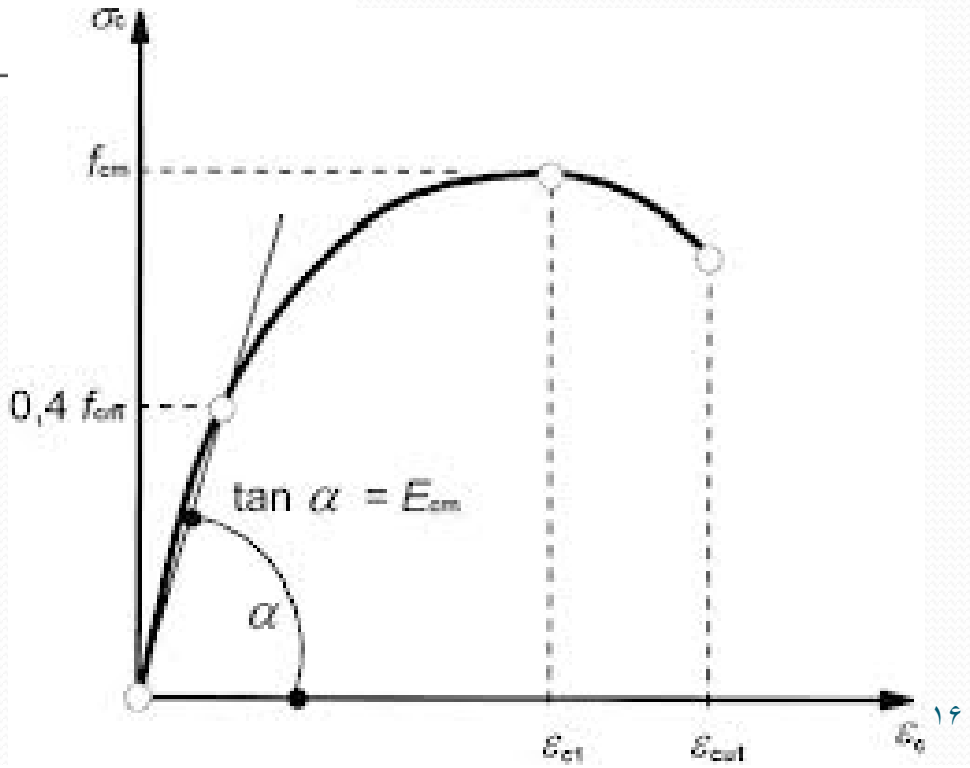
f_c' **مقاومت فشاری مشخصه بتن برحسب کیلوگرم بر سانتی متر مربع**

w **چگالی بتن بر حسب تن بر متر مکعب**

برای چگالی ۲.۳ تا ۲.۵ تن بر متر مکعب

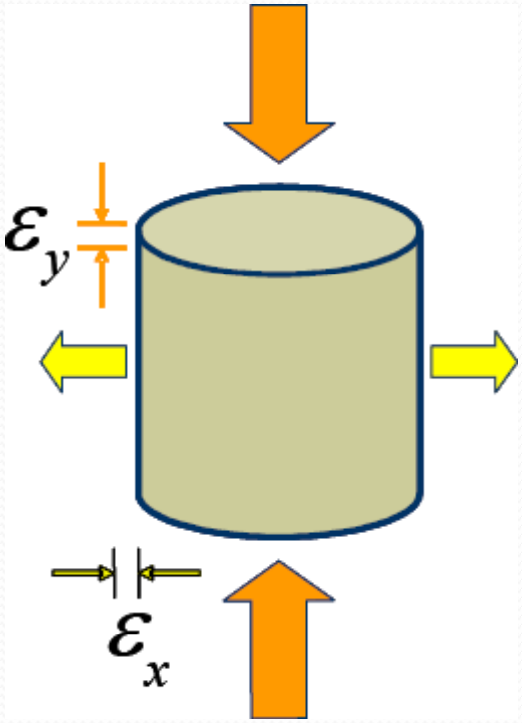
$$E_c \approx 15126 \sqrt{f_c'}$$


Initial tangent
Modulus
Tangent Modulus
0.4fc′
Stress
Secant Modulus


σ_c
f_{cm}
0,4 f_{cm}
tan α = E_{cm}
α
ε_{c1}
ε_{cu1}
ε_c

ضریب پواسون بتن:

با آزمایش تک محوری یا سه محوری با محاسبه تغییر شکل های طولی و جانبی محاسبه می شود. ضریب پواسون بتن بین ۰.۱۵ تا ۰.۲ متغیر است.



انقباض بتن (جمع شدگی) Shrinkage

نشان دهنده تغییر شکل بتن بدون بارگذاری

بر اثر از دست رفتن رطوبت و خشک شدن بتن (تبخیر آب مازاد بر آنچه در هیدراسیون نیاز است) و قابل بازگشت نیست.

قسمت اعظم انقباض بتن طی چندماه اول (کمتر از یک سال) عمر بتن رخ می دهد و با تغییر شرایط محیطی و خشک و تر شدن، ممکن است چرخه های انقباض و تورم حادث شود.

عوامل مؤثر بر جمع شدگی:

نسبت آب به سیمان (افزایش آب مخلوط موجب افزایش جمع شدگی می شود)

نوع و مقدار سنگدانه

نوع و درجه نرمی سیمان

نوع و مقدار مواد افزودنی

رطوبت نسبی محیط (بیشترین انقباض در رطوبت نسبی کمتر از ۲۰٪ رخ می دهد)

حدود کرنش جمع شدگی $200 \sim 600\times10^{-6}$ می باشد.

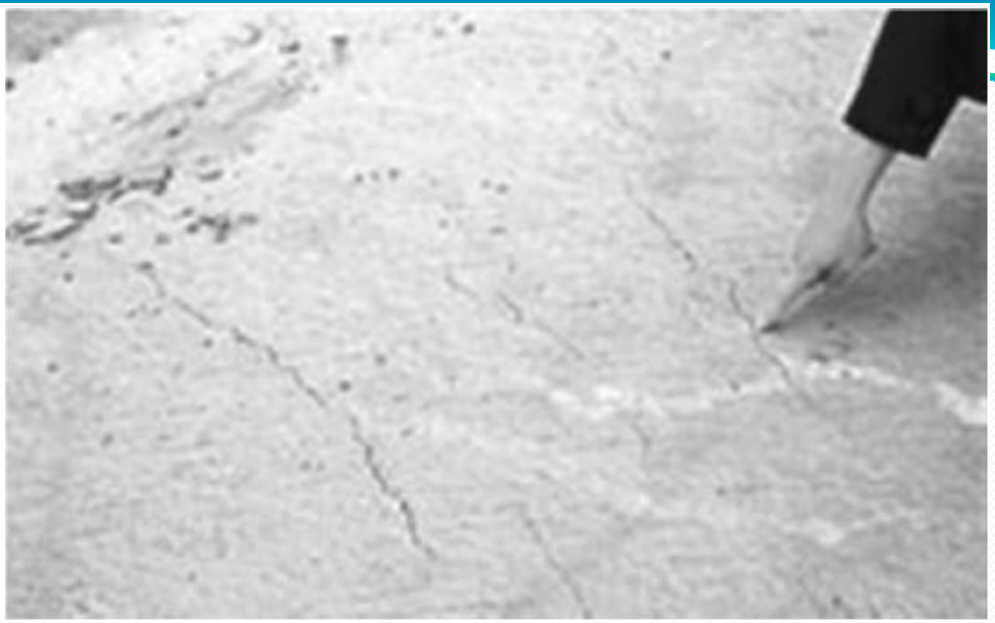
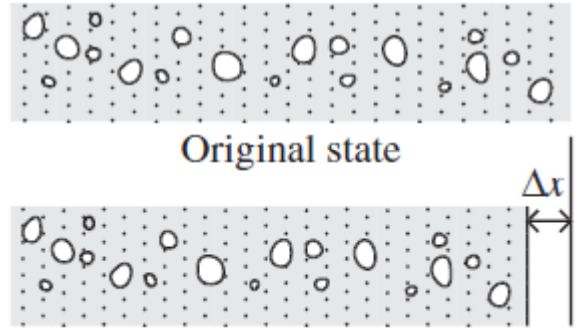
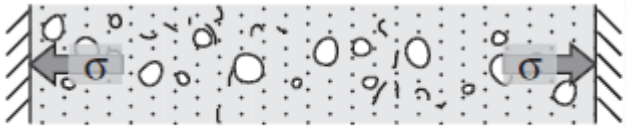


Figure 3-24 Plastic shrinkage crack





Portland cement concrete

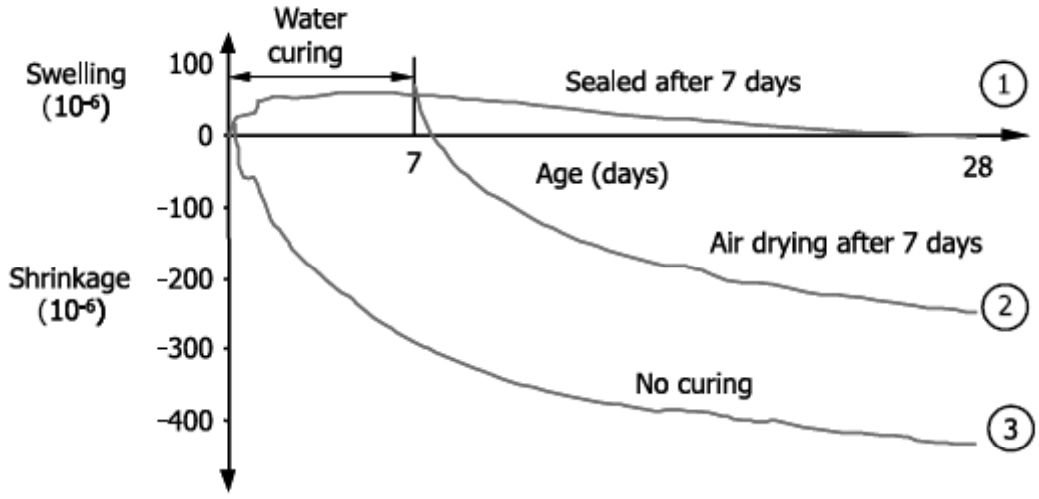


Figure 10.9 Length changes according to different curing regimes for the 0.35 W/C concrete.

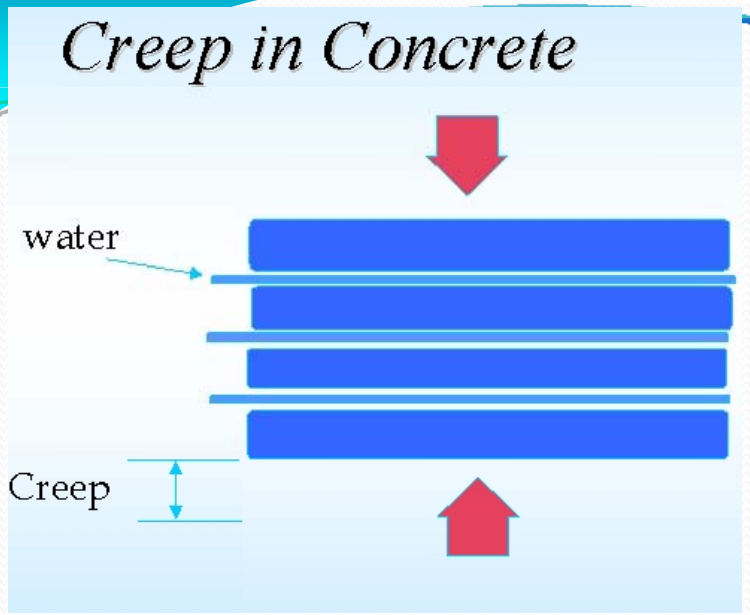
خزش Creep

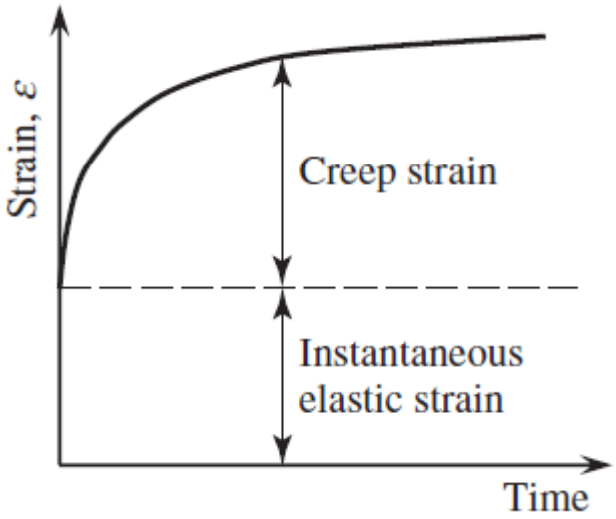
خزش بتن نشان دهنده تغییر شکل یا کرنش آن تحت بار ثابت است این تغییر شکل مانند تغییر شکل انقباضی بتن بطور کامل قابل بازگشت نیست. مقدار تغییر شکل ناشی از خزش در بتن تابع عوامل مؤثر در کرنش انقباضی (جمع شدگی) است. علاوه بر آن عواملی مانند مقدار تنش و سن بتن در هر مرحله بارگذاری مؤثر است. در سن های اولیه بتن خزش بیشتر است. در سن های بیشتر که تحت بارگذار ی اولیه خزش اتفاق افتاده، تحت بار ثابت خزش بیشتری رخ خواهد داد.

علت وقوع تغییر شکل ناشی از خزش در بتن نازک شدن تدریجی لایه آب جذب شده و بین ذرات لعاب سیمان (لعاب ناشی از هیدراسیون) است.

اثرهای جانبی خزش در بتن:

- کاهش یا از بین رفتن تنش پیش تنیدگی
- وقوع تغییرشکل های نا خواسته و بیش از حد مجاز
- تحت تنش قرار گرفتن اجزای غیر بار بر





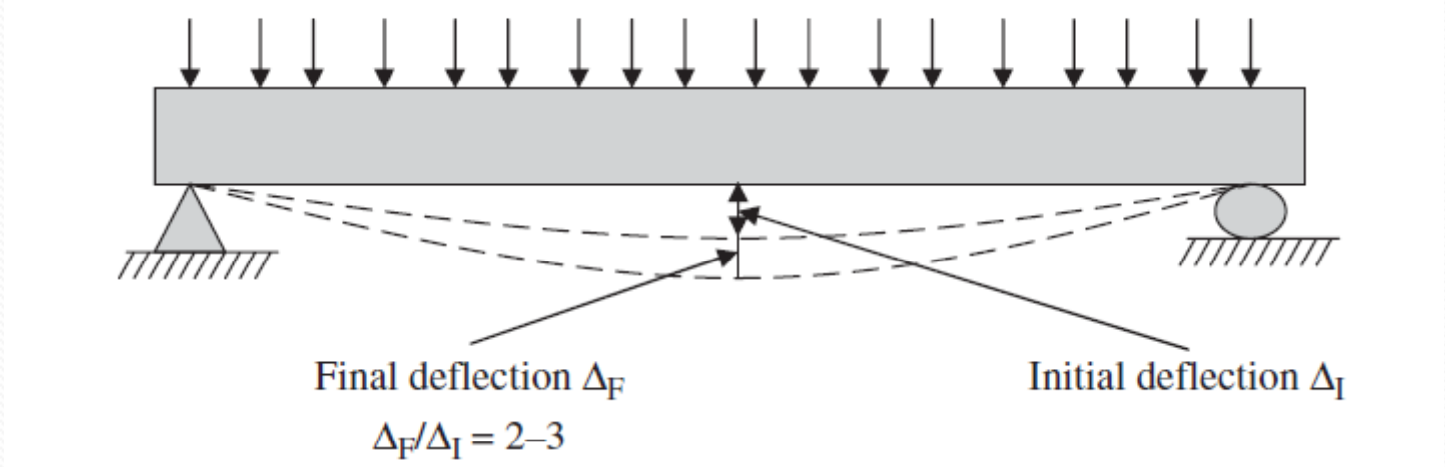


Figure 5-50 The long-term deformation of reinforced concrete beam

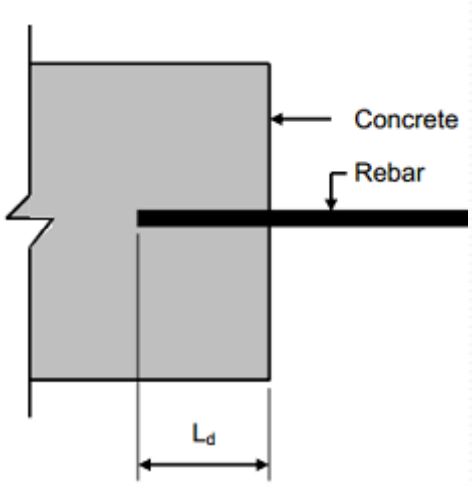
چسبندگی بتن و میلگرد:

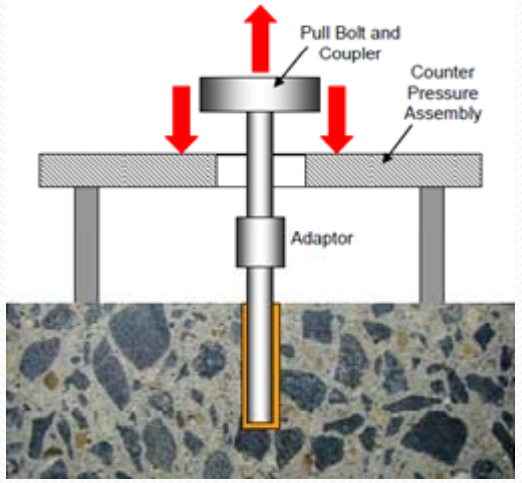
در بتن مسلح چسبندگی بین میلگرد و بتن اهمیت پیدا می کند، استفاده از آرماتور آجدار موجب افزایش چسبندگی می شود.

استفاده از آرماتور بدون آج در بتن مسلح ممنوع است.

l_d حداقل طولی است که با توجه به میزان چسبندگی بین آرماتور و بتن می تواند اجازه دهد که آرماتور به حد جاری شدن نزدیک شود.

در صورتی که طول دفن آرماتور در بتن کم باشد، آرماتور از بتن خارج می شود.





نفوذپذیری

پارامتری برای بیان پدیده حرکت و نفوذ مایعات و یا گازها در داخل بتن.

روش اندازه گیری نفوذپذیری بتن در برابر مایعات مشابه روش اندازه گیری ضریب نفوذپذیری خاک است.

نفوذپذیری تابع مقدار و نوع تخلخل خمیر سیمان است.

برای افزایش پایایی بتن باید نفوذپذیری آن را کاهش داد.

روش های کاهش نفوذپذیری بتن:

استفاده از سیمان مناسب

بهینه سازی عیار سیمان

انتخاب صحیح و مناسب نسبتهای اختلاط

استفاده از افزودنی های شیمیایی (روان کننده ها، حباب سازها)

کاهش و محدود نمودن نسبت آب به مواد سیمانی (سیمان وپوزولان و مواد شبه سیمانی)

تأمین تراکم با وسایل و روش های مناسب

عمل آوری دقیق و کافی با روش های مناسب