

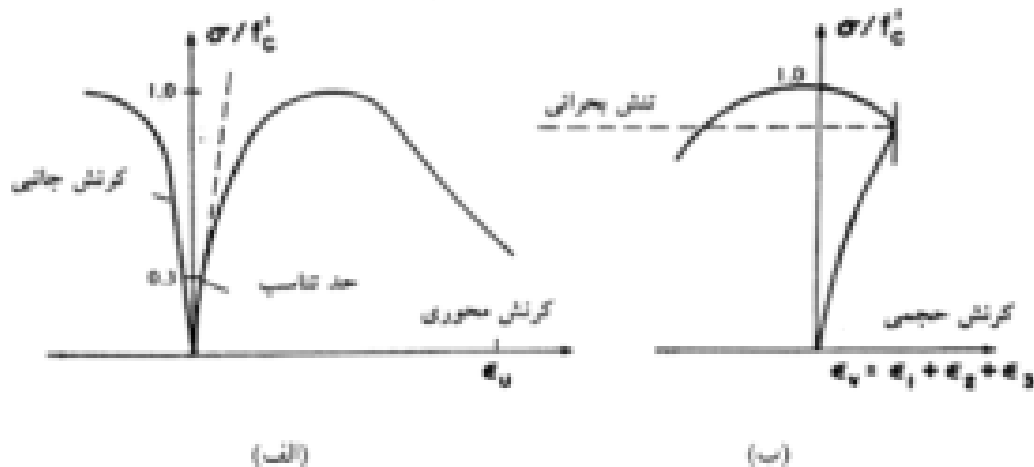
تحلیل رفتار قطعات بتنی

رفتار بتن تحت حالات تنشی مختلف

بتن، حتی قبل از بارگذاری، تعداد زیادی ترکهای ریز در ناحیه انتقال (ناحیه بین خمیر و سنگدانه درشت) وجود دارد. این مشخصه ساختاری بتن نقش عمده ای در تعیین رفتار مصالح تحت حالات تنشی مختلف ایفا می کند.

رفتار بتن تحت فشار تک محوری

رفتار تنش کرنش بتن تحت بار فشاری تک محوری به طور مفصل در فصل ۴ این کتاب خواهد آمد و در اینجا تنها به خلاصه ای از آن اشاره می شود. منحنی تنش کرنش (شکل ۱۴-۳ الف) تا حدود ۳۰٪ مقاومت نهایی رفتاری خطی و ارتجاعی نشان می دهد و این بدین دلیل است که تحت بارگذاری کوتاه مدت، ریز (f^c) ترکها در ناحیه انتقال ثابت مانده و بر هم نمی خورند. در تنش های بالاتر از این نقطه، منحنی تا تنشهای حدود $0.75f^c$ تا $0.9f^c$ می (در بالا تقریباً افقی می (شود) و سرانجام نزول پیدا کرده تا آنکه نمونه به گسیختگی برسد.



شکل ۱۴-۳- منحنی معمول تنش های فشاری تحت الف - کرنش های محوری و جانبی و ب - کرنش حجمی (به نقل از و. ف.

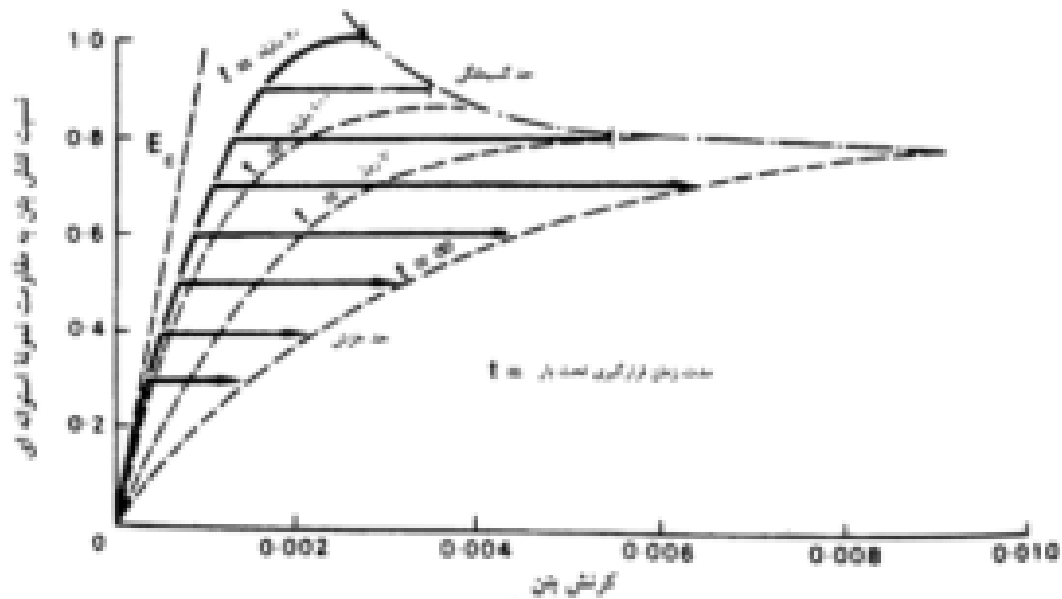
(چن، پلاستیسیته در بتن مسلح، شرکت کتاب مک گرو هیل، ۱۹۸۲، صفحه ۲۰)

ریز ترکها در f^c از شکل منحنی تنش - کرنش چنین به نظر می رسد که در تنش های بین ۳۰ تا ۵۰ درصد ناحیه انتقال بر اثر تمرکز تنش در انتهای ترکها گسترش پیدا میکنند، اما با این وجود هیچگونه ترکی در خمیر بوجود نمی آید. تا این نقطه، گسترش ترک می تواند پایدار فرض شود، بدین معنی که طولهای ترک به سرعت f^c به مقادیر نهایی خود در صورت ثابت ماندن تنش وارده خواهند رسید. در تنش های بین ۵۰ تا ۷۵ درصد سیستم ترکها به حالت ناپایدار میل نموده و ترکهای ناحیه انتقال مجددا شروع به رشد می کنند. هنگامی که انرژی داخلی موجود از انرژی لازم برای ایجاد ترک بیشتر می شود، سرعت گسترش ترک افزایش یافته و، یعنی زمانی که شکست کامل $f^c_{75/0}$ سیستم حالت ناپایدار پیدا میکند. این حالت در تنش های فشاری بالای نمونه ممکن است بر اثر پیوستن ترکهای ناحیه انتقال و ملات حادث شود، اتفاق می افتد.

، که نمایش دهنده شروع مرحله ناپایدار گسترش ترکهاست، به تنش بحرانی معروف $f^c_{75/0}$ ترازش حدود ۷۵/۰ تنش بحرانی همچنین در نقطه ای است که در آن کرنش حجمی، حداکثر می شود (شکل ۱۴-۳). در (۳) است. این شکل مشاهده می شود که در رسم منحنی تغییرات کرنش حجمی و بر حسب تغییرات تنش، تغییرات اولیه به صورت خطی است و سپس در این نقطه جهت تغییرات حجم تغییر کرده و منجر به $f^c_{75/0}$ حجم تا تنش ۷۵/۰ می شود f^c انبساط حجمی در نزدیکی و یا در تنشی برابر با

در تنش های بیش از تنش بحرانی، بتن، گسیختگی و شکستی وابسته به زمان را از خود نشان می دهد و در حقیقت تحت تنش ثابت وارده پیوستن ترکهای ناحیه انتقال و خمیر منجر به گسیختگی تحت تنشی پایین تر از می گردد f^c مقاومت کوتاه مدت

، هنگامی که تنش وارده حدود ۹۰ درصد تنش کوتاه (۴) (Price) در تنش های انجام شده توسط پرایس مدت نهایی بوده است، شکست ظرف مدت یک ساعت اتفاق افتاده است. در حالی که تنش وارده حدود ۷۵ درصد تنش کوتاه مدت نهایی انتخاب شده شکست بعد از ۳۰ سال اتفاق افتاده است. هر چه میزان تنش اعمال در آزمایش (۵) (Rusch) شده به تنش کوتاه مدت نهایی نزدیک می شود، زمان شکست کاهش میابد. روش این موضوع را تایید نموده است. حد شکست در MPa های بتن های ۵۶ روزه خود با مقاومت فشاری ۳۴ (آزمایش دراز مدت در حدود ۸۰ درصد تنش کوتاه مدت در حالت نهایی گزارش شده است). (شکل ۳-۱۵)



(مجموعه مقالات ACI شکل ۳-۱۵- ارتباط بین مقاومت‌های بارگذاری‌های کوتاه مدت و دراز مدت (به نقل از اچ، روش، مجله

مقاومت نهایی بتن نیز تحت تأثیر نرخ بارگذاری تغییر می‌کند. به علت ایجاد ترک‌های قابل گسترش در بتن تحت بار نگهداشته شده. گسیختگی در تنش کمتری، نسبت به حالت بار آبی با کوتاه مدت معمول در آزمایشگاه، اتفاق می‌افتند.

در مورد آهنگ و سرعت بارگذاری، با افزایش سرعت بارگذاری مقاومت بالاتری گزارش شده است. جونز و تأثیر نرخ بارگذاری در محدوده آزمایش‌های معمول را چندان قابل (6) (Jones & Richart) ریچارت ملاحظه نمی‌دانند. به عنوان مثال و در مقایسه با نتایج حاصل از بارگذاری در آزمایش مقاومت فشاری که نرخ بارگذاری را ثانیه/ تعیین کرده است، نرخ بارگذاری معادل (ASTM C استاندارد ۴۶۹) ، مقاومت نمونه‌های استوانه‌ای ۳۰*۱۵ سانتیمتر را با ۱۲ درصد کاهش نشان داده است. 07/0 kg/cm^2 ثانیه ، مقاومت را با افزایشی معادل همان ۱۲ درصد نشان داده 70 kg/cm^2 از طرف دیگر نرخ بارگذاری ثانیه است.

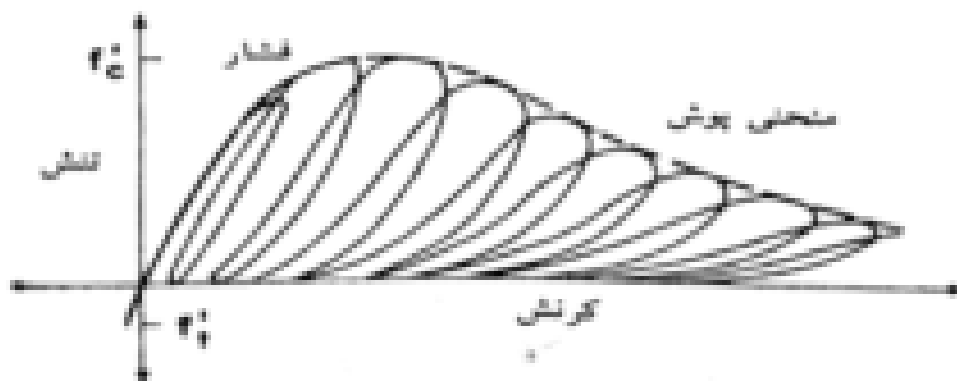
بایستی خاطر نشان ساخت که مقاومت ضربه‌ای بتن با افزایش نرخ تنش ضربه‌ای اعمال شده بالا می‌رود. به طور کلی مقاومت ضربه‌ای بتن مستقیماً متناسب با مقاومت فشاری آن می‌باشد، زیرا هر دو مقاومت معکوس تحت تأثیر ریز ترک‌ها و حفرات خالی بتن هستند. این فرضیه ممکن است صد در صد صحیح نباشد و گرین نشان داده است که تحت مقاومت فشاری یکسان، مقاومت در برابر ضربه به طور قابل ملاحظه‌ای (7) (Green) با زبری سطح و زاویه‌ای بودن درشت دانه افزایش یافته و با افزایش اندازه سنگدانه کاهش می‌یابد. چنین به نظر می‌رسد که مقاومت ضربه‌ای بتن بیش از مقاومت فشاری آن تحت تأثیر خواص ناحیه انتقال قرار داشته و

، سال ۱۹۹۰، CEB – FIP بنابراین ارتباط بیشتر و نزدیکتری با مقاومت کششی بتن دارد. در مدل مشخصه افزایش مقاومت ضربه ای بتن با نرخ بارگذاری کمتر از می‌تواند از رابطه پیشنهادی زیر محاسبه گردد

در این رابطه مقاومت فشاری ضربه ای، مقاومت فشاری بتن و نرخ تنش ضربه ای، و می باشد

تأثیر f^3C تحقیقات نشان می‌دهد که بارهای دوره ای و تکراری نیز در ترازهای تنش بیش از ۵۰ درصد به عنوان مثال در بارگذاری حدود ۵۰۰۰ تکرار یا دوره، بتن در ۷۰٪ مقاومت^(۸) معکوسی بر مقاومت دارند. نهایی گسیخته شده است و علت این پدیده به ترکهای ریز ناحیه انتقال و خمیر نسبت داده میشود

رفتار نمونه بتن غیر مسلح تحت بارهای فشاری دوره ای در شکل ۱۶-۳ نشان داده شده است. در تنش های بین ، کاهش تدریجی مدول ارتجاعی و مقاومت فشاری نمونه دیده می شود. با افزایش تعداد f^3C تا ۷۵ درصد دفعات بارگذاری، منحنی باربرداری رفتاری غیرخطی از خود نشان داده و در باربرداری، یک حلقه پسماند مشخصه تشکیل می شود



شکل ۱۶-۳ - رفتار بتن در بارگذاری های تک محوری تکراری

(، مقاله ۶۹۳۵، ST ۱۹۶۹ ، مجله بخش سازه جلد ۹۵، شماره ۱۲ASCEاقتباس از پ. کارسون و ج.ا. جیرسا،)

، منحنی باربرداری - بارگذاری مجدد، رفتاری شدت غیر خطی نشان می f^3C در تنشهای در حدود ۷۵ درصد دهد (خواص ارتجاعی مصالح از بین می رود) و در ابتدا سطح زیر منحنی پسماند با هر دوره بارگذاری کاهش می یابد، لیکن در نهایت و قبل از شکست ناشی از خستگی افزایش می یابد. در شکل (۱۶-۳) مشاهده میشود

که منحنی تنش - کرنش در بارگذاری معمولی در حقیقت پوش مقادیر حداکثر تنش بتن در بارگذاری دوره ای و تکراری است.

رفتار بتن تحت کشش تک محوری

شکل منحنی تنش تغییر شکل، مدول ارتجاعی و ضریب پواسون بتن تحت کشش تک محوری شبیه حالت بارگذاری تحت فشار تک محوریست. اما بهر حال تفاوت‌هایی در رفتار بتن در این دو حالت وجود دارد. از آنجا که وضعیت تنشها در حالت کششی با تناوبی کمتر از حالت فشاری ترکها را مهار می کند، لذا بازه توسعه پایدار ترکها در این حالت کوتاهتر می گردد. برای توضیح حالت شکنندگی بیشتر بتن در آزمایشهای کششی، چن: چنین بیان می دارد⁽¹⁰⁾ (Chen)

راستای توسعه ترکها در کشش تک محوری، عمود بر راستای تنش می باشد. پیدایش و رشد هر ترک جدید، مساحت باربری موجود را کاهش می دهد و این کاهش سبب افزایش تنشها در انتهای ترکها می شود. مهار ترکها بر اثر تکرار کمتر، این معنی را آشکار می سازد که گسیختگی در کشش بر اثر تعدادی ترکهای اتصالی رخ می دهد در حالی که در گسیختگی حالت فشاری تعداد زیاد ترکها عامل این شکست است. به علت توسعه سریع ترکها در بخش نزولی منحنی تنش - کرنش بتن، بسیار مشکل است که این قسمت از منحنی، از طریق آزمایش بررسی گردد.

نسبت بین مقاومت‌های کششی و فشاری تک محوری در محدوده ۰,۰۷ تا ۰,۱۱ است. این عدد به دلیل گسترش سریع ترکها در آزمایش کشش چندان دور از انتظار نیست. بنابراین اغلب اعضای بتنی می باید طوری طراحی شوند که بتن بتواند در مقابل نیروی فشاری و نه کششی مقاومت نماید بهر حال تنشهای کششی نباید صرفنظر شوند و اغلب ترکهای بتن در نتیجه تنشهای کششی بوجود آمده بر اثر جمع شدگی مقید حاصل آمده است. جمع شدگی معمولاً بر اثر کاهش دمای بتن یا خشک شدن آن بوجود می آید. به علاوه در اغلب بتنهای تحت بارهای خمشی، نظیر روسازیهای بتنی، ترکیبی از تنشهای کششی و فشاری و برشی تعیین کننده مقاومت بتن میباشد.

در قسمت های قبل و در بحث در مورد عوامل موثر بر مقاومت فشاری بتن چنین استنباط گردید که مقاومت فشاری بتن نشانه مناسبی برای همه انواع مقاومت‌های بتن است و لذا می باید رابطه مستقیمی بین مقاومت فشاری و مقاومت های کششی و خمشی یک بتن مشخص وجود داشته باشد. در تقریب اولیه این فرض کاملاً صحیح است لیکن گاه در حالات خاصی ممکن است این روابط صادق نباشد. اغلب روابط بین انواع مقاومتها تحت تأثیر عوامل مختلفی چون روشهای مختلف اندازه گیری مقاومت کششی (روش مستقیم، دو نیمه شدن یا کشش

ناشی از خمش)، کیفیت بتن (مقاومتهای پایین، متوسط و بالا). با مشخصات سنگدانه ها (بافت سطحی و کانیها) و مواد افزودنی بتن (حباب های هوازا و افزودنیهای معدنی) قرار دارد.

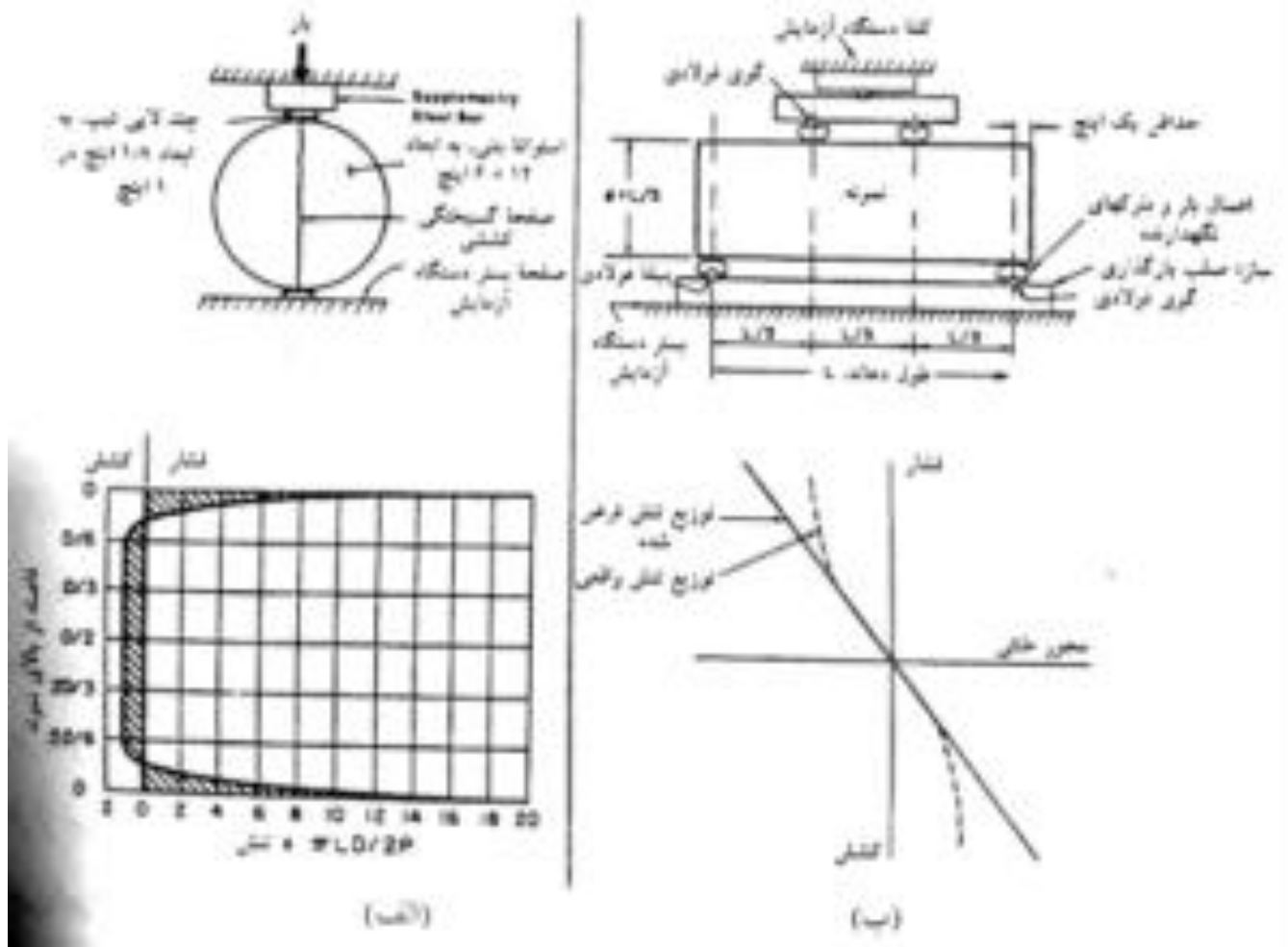
روش مستقیم آزمایش مقاومت کششی بندرت انجام میشود و این امر: **روشهای آزمایش مقاومت کششی** به دلیل اعمال تنش های ثانویه غیر قابل اجتناب از طرف فکهای نگاهدارنده نمونه میباشد. متداولترین روشهای و کشش ناشی از خمش سه نقطه ای (ASTM C ۴۹۶) اندازه گیری مقاومت کششی بتن روش در نیمه شدن (۴۹۶) می باشد که در شکل (۱۷-۳) نشان داده شده است (ASTM C 78)

در آزمایش دو نیمه شدن، استوانه استاندارد ۱۵*۳۰ سانتی متر در امتداد قطرش به صورت خوابیده تحت فشار قرار میگیرد و با سرعت ثابتی در محدوده تنش کششی بتن و بین ۷ تا ۱۴ کیلوگرم بر سانتی متر مربع (۰,۷ - ۱,۴ تا هنگام شکست نمونه به آن اعمال می شود. تنش فشاری سبب ایجاد کشش یکنواختی در راستای (Mpa) : عمود بر امتداد قطر قائم می شود. مقاومت کششی دو نیمه شدن از رابطه

(7-3)

قطر نمونه می باشد d طول نمونه و L بار شکست ، P تنش کششی ، T بدست می آید که در آن

در مقایسه با نتایج مقاومت کششی حاصل از روش مستقیم، مقاومت کششی حاصل از روش دو نیمه شدن بین ۱۰ تا ۱۵ درصد بیشتر است



بالا: نمایش شماتیک آزمایش، پایین: پخش (ASTM C 496) شکل ۱۷-۳- الف) آزمایش دو نیمه شدن تنش در امتداد قطر نمونه استوانه ای فشرده شده بین دو صفحه پرس، ب) آزمایش خمشی سه نقطه ای بالا: نمایش شماتیک آزمایش، پایین: پخش تنش در امتداد ارتفاع مقطع تیر بتنی تحت (ASTM C 78) خمش.

Mpa) در روش آزمایش خمشی سه نقطه ای، نمونه منشور بتنی $150 \times 150 \times 500$ میلیمتری با سرعت (۰٫۸-۱٫۲ در دقیقه بارگذاری می شود. مقاومت خمشی به صورت مدول گسیختگی که تنش حداکثر در شکست بوده و از فرمول

$$(8-3)$$

L حداکثر بار در هنگام گسیختگی، P مدول گسیختگی، R محاسبه می شود، به دست می آید. در فرمول فوق ارتفاع مقطع نمونه می باشد. فرمول فوق در حالتی صادق است که شکست d عرض نمونه و b طول دهانه، در وسط دهانه نمونه اتفاق بیفتد. اگر شکست در خارج محدوده که نباید بیش از ۵ درصد طول دهانه باشد، اتفاق بیفتد

فاصله متوسط بین خط شکست و نزدیکترین تکیه گاه اندازه گیری شده در سطح a بکار می رود که در آن کششی تیر بتنی می باشد. اگر شکست در خارج محدوده، با فاصله بیش از ۵ درصد طول دهانه اتفاق بیفتد. آزمایش مردود خواهد بود

نتایج آزمایش مدول گسیختگی مقاومت کششی بتن را بین ۵۰ تا ۱۰۰ درصد دست بالا نشان می دهد که این موضوع به دلیل آن است که در فرمول خمش، رابطه تنش - کرنش بتن در مقطع عرضی تیر خطی فرض شده است. به علاوه در آزمایش مستقیم کشش، کل حجم بتن تحت تنش قرار می گیرد در حالی که در آزمایش خمش تنها ناحیه کوچکی در پایین تیر تحت تنش زیاد قرار می گیرد

نتایج جدول (۲-۳) نشان می دهد که برای بتن های با مقاومت پایین، مدول گسیختگی تا ۲ برابر مقاومت کششی مستقیم است. در بتن های با مقاومت های متوسط و بالا مدول گسیختگی به ترتیب ۷۰ درصد و ۵۰-۶۰ درصد بیشتر از مقاومت کششی مستقیم است. به هر حال، برای تعیین و کنترل کیفیت بتن روسازیهای راهها و فرودگاهها که در آنها بتن تحت خمش قرار می گیرد، اغلب، آزمایش خمشی بر آزمایش کشش مستقیم، و (f_{ctm}) ، رابطه بین مقاومت کششی مستقیم $FIP - CEB$ ترجیح داده میشود.

میباشند MPa و مقاومتها بر حسب واحد $h_0=100 \text{ mm}$ ارتفاع مقطع تیر بتنی، h که در آن

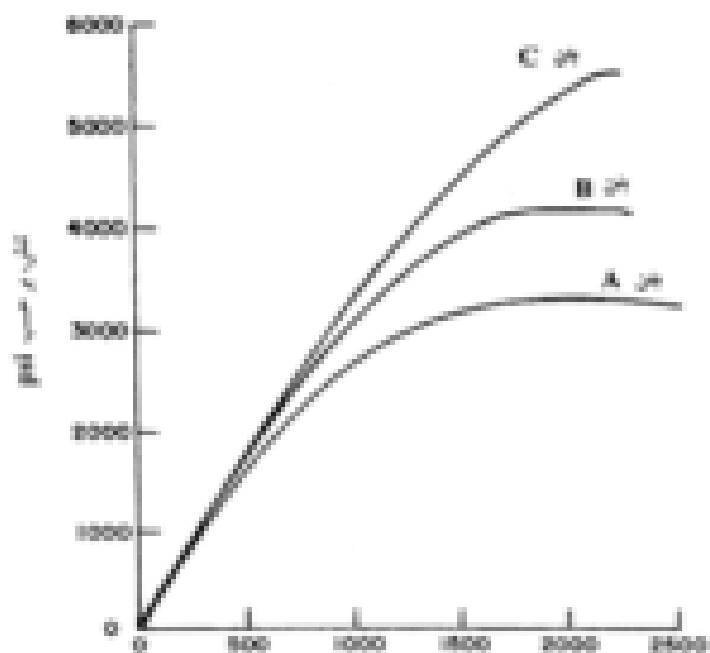
جدول ۲-۳- ارتباط بین مقاومت های فشاری، خمشی و کششی بتن

نسبت (درصد)			مقاومت بتن (N/mm^2)		
مقاومت کششی به مدول گسختگی	مقاومت کششی به مقاومت فشاری	مدول گسختگی به مقاومت فشاری	کششی	مدول گسختگی	فشاری
48	11.0	23.0	0.7	1.6	7
53	10.0	18.8	1.4	2.6	14
54	9.2	16.2	1.9	3.4	21
59	8.5	14.5	2.4	4.1	28
59	8.0	13.5	2.8	4.7	35
60	7.7	12.8	3.2	5.4	42
61	7.4	12.2	3.7	6.0	49
62	7.2	11.6	4.1	6.5	56
63	7.0	11.2	4.4	7.1	63

، مجموعه مقالات، جلد ۴۷ صفحه ۴۲۹، ACI ۱۹۵۱ منبع: و. اچ. پرایس، مجله

روابط بین مقاومت‌های فشاری و کششی

قبلا توضیح داده شد که بین مقاومت‌های کششی و فشاری بتن رابطه نزدیکی وجود دارد، ولی با این وجود، رابطه بین آنها به صورت تناسبی مستقیم نیست و با افزایش مقاومت فشاری بتن، مقاومت کششی آن نیز افزایش می‌یابد لیکن سرعت این افزایش به تدریج کاهش خواهد یافت (شکل ۱۸-۳). بعبارت دیگر نسبت مقاومت کششی به مقاومت فشاری، به میزان مقاومت فشاری وابسته است و هر چه مقاومت فشاری بیشتر می‌شود این ، در جدول Mpa های بین ۶۳-۷ f^c نسبت کاهش می‌یابد. روابط بین مقاومت‌های فشاری و کششی بتن، برای ۲-۳ نشان داده شده است. اعداد جدول نشان می‌دهد که نسبت مقاومت کششی به مقاومت فشاری بتن در مقاومت‌های پایین بین ۱۰-۱۱ درصد، در مقاومت‌های متوسط بین ۸-۹ درصد و در مقاومت‌های بالا در حدود ۷ درصد می‌باشد.



نسبت‌های اختلاط و خواص بتن‌های بدون حباب هوا

شماره مخلوط	A	B	C
نسبت آب به سیمان	۰/۶۸	۰/۵۷	۰/۴۸
اسلابل (میلیمتر)	۱۶/۵	۱۷/۵	۸۷
f'_c (MPa)	۲۲/۷	۲۹/۴	۴۰/۶
f'_{ct} (MPa)	۲/۵۰	۲/۹۷	۳/۵۳
f'_{ct} / f'_c	۰/۱۱	۰/۱	۰/۰۹

مقادیر فوق از تجربیات چاپ نشده دانشجویان دانشگاه برکلی کالیفرنیا نقل شده‌اند.

شکل ۱۸-۳- تأثیر نسبت آب به سیمان بر روی مقاومتهای کششی و فشاری بتن

روابط بین مقاومت فشاری و نسبت مقاومت کششی به فشاری، با استفاده از نحوه تأثیر عوامل مختلف بر روی خواص خمیر و ناحیه انتقال می‌تواند تعیین گردد. مشاهده گردیده است که نه فقط مدت عمل آوری بلکه مشخصات مخلوط بتنی نظیر نسبت آب به سیمان، نوع سنگدانه و مواد افزودنی نیز، نسبت مقاومت کششی به فشاری را تغییر می‌دهند. به عنوان مثال، بعد از عمل آوری یک ماهه، مقاومت کششی با آهنگ بسیار کندتری

نسبت به مقاومت فشاری افزایش می یابد و این بدان معنی است که نسبت مقاومت کششی به فشاری با افزایش سن عمل آوری کاهش می یابد. در یک سن عمل آوری معین، نسبت مقاومت کششی به فشاری با کاهش نسبت آب به سیمان بتن نیز کاهش می یابد.

در بتن هایی که با سنگدانه های آهکی یا مواد افزودنی معدنی ساخته شده اند، نسبت مقاومت کششی به فشاری بالاتری را بعد از عمل آوری کافی و حتی در مقاومت های فشاری بالا می توان به دست آورد. در جدول (۳-۲) ، نسبت مقاومت کششی به (Mpa) می توان مشاهده کرد که در بتن معمولی و در مقاومت فشاری بالا (۵۶-۶۳ فشاری در حدود ۷ درصد است) نسبت مقاومت کششی حاصل از آزمایش دو نیمه شدن به مقاومت فشاری، کمی بیشتر است). نتایج مقاومت کششی آزمایش دو نیمه شدن، در مخلوط های بتنی با مقاومت بالای مذکور در شکل (۳-۸)، در جدول (۳-۳) آورده شده است. از این نتایج آشکار می گردد که در مقایسه با نسبت مقاومت کششی آزمایش دو نیمه شدن به مقاومت

، که برای بتن های با مقاومت بالای بدون خاکستر بادی به $(f_{st/fc})$ فشاری متعارف در حدود ۷ تا ۸ درصد دست آمده است، این نسبت برای بتن های دارای سیمان پوزولانی حاوی خاکستر بادی کاملاً بیشتر می باشد. به $f_{st/fc}$ همچنین از این نتایج تأثیر مثبت کاهش حداکثر قطر سنگدانه یا تغییر نوع سنگدانه بر روی نسبت خوبی قابل استنتاج می باشد.

جدول ۳-۳- تأثیر نوع و اندازه سنگدانه بر روی نسبت مقاومت های کششی به فشاری ، در بتن های با مقاومت (بالا) با عمل آوری مرطوب ۶۰ روزه

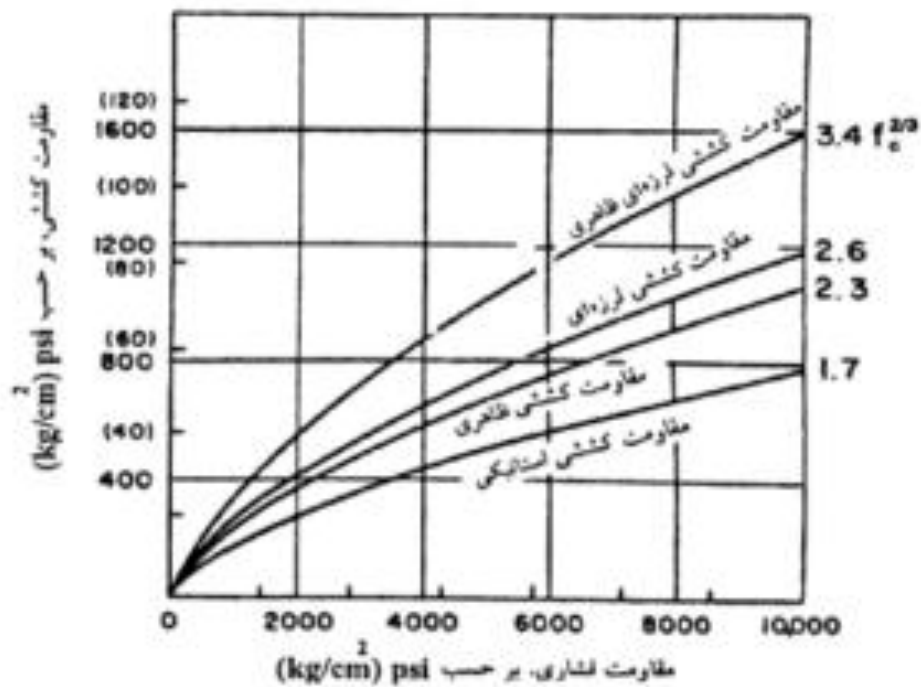
$f_{st/fc}$ (N/mm ²)	f_{st} (N/mm ²)	f_c (N/mm ²)	
0.09	5.3	57	ماسه سنگ، حداکثر ۲/۵ سانتیمتر
0.11	7.1	65	سنگ آهکی، حداکثر ۲/۵ سانتیمتر
0.10	6.0	60	ماسه سنگ، حداکثر ۰/۹۵ سانتیمتر

اگر چه عواملی که سبب کاهش تخلخل در خمیر و در ناحیه انتقال می شوند موجب بهبود مقاومت های کششی و فشاری می گردند، ولی چنین به نظر می رسد که بر اثر این عوامل، مقاومت کششی بتن افزایش کمی خواهد یافت مگر اینکه مقاومت ذاتی محصولات هیدراتاسیون و ناحیه انتقال نیز همزمان افزایش یابند. در حقیقت، مقاومت کششی بتنی که تخلخل ناحیه انتقال آن پایین است هنوز تا زمانی که مقدار زیادی بلورهای هیدروکسید کلسیم در آن وجود دارد پایین خواهد بود (شکل ۲-۱۴ را ببینید). اندازه و میزان بلورهای هیدروکسید کلسیم در

ناحیه انتقال، در نتیجه واکنش های شیمیایی ناشی از وجود پوزولانها (شکل ۶-۱۴) و یا سنگدانه های فعال، می تواند کاهش یابد. به عنوان مثال، همانطور که در جدول (۳-۳) نشان داده شده است، واکنشهای بین هیدروکسید کلسیم و سنگدانه های آهکی، که منجر به کریستالی شدن مجدد کربنات کلسیم در ناحیه انتقال می شود، احتمالاً علت افزایش نسبی مقاومت کششی بتن های دارای این سنگدانه ها بوده است.

مقاومت کششی بتن حجیم

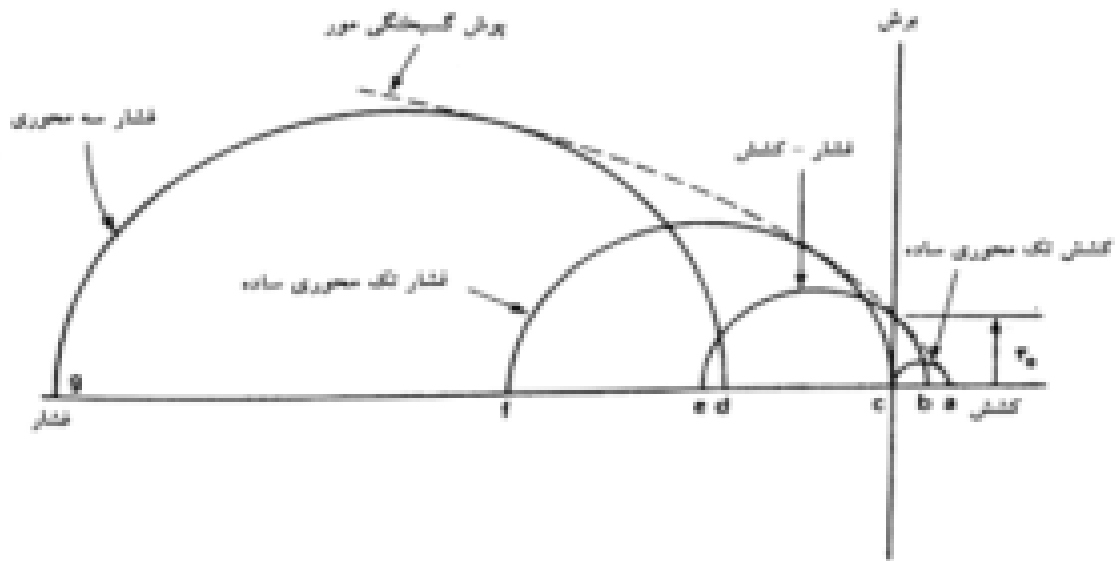
مهندسانی که از بتن مسلح استفاده می کنند، اغلب از مقاومت کششی کم بتن صرف نظر کرده و فقط فولاد را برای تحمل این قبیل بارها بکار می برند. در سازه های بتنی حجیم، نظیر سدها، کاربرد آرماتور غیر عملی است. بنابراین تخمین قابل اعتمادی از مقاومت کششی بتن در این موارد، بخصوص برای قضاوت در مورد ایمنی سد پیشنهاد میکند که مقادیر به دست آمده از ⁽¹¹⁾ (Raphael) تحت بارهای ناشی از زلزله، لازم می باشد. رافائل آزمایش دو نیمه شدن مدول گسیختگی، با اعمال ضریبی که افزایش مقاومت در آزمایشهای مقاومت کششی دینامیکی را در نظر می گیرد (ضریب تقریبی برابر با ۱/۵)، افزایش یابد. به عنوان یک راه حل دیگر و با توجه به شرایط بارگذاری می توان از منحنی های مقاومت کششی و فشاری (شکل ۱۹-۲) نیز استفاده نمود. پایین ترین منحنی، نشان دهنده مقاومت کششی واقعی در بارگذاری درازمدت استاتیکی می باشد. منحنی دوم، نیز برای بارگذاری استاتیکی ولی با منظور کردن رفتار غیرخطی بتن است و در تحلیل اجزای محدود کاربرد دارد. سومین منحنی، مقاومت کششی واقعی بتن در بارگذاری تحت نیروهای زلزله است، و بالاخره بالاترین منحنی، مقاومت کششی ظاهری تحت بارهای زلزله است، که می باید همراه با تحلیل خطی اجزای محدود به کار برده شود.



(شکل ۱۹-۳- نمودار طراحی برای مقاومت کششی (به نقل از مرجع شماره ۱۱)

رفتار بتن تحت تنش برشی

اگرچه در سازه های بتنی، به برش خالص برخورد نمیکنیم لیکن یک عضو بتنی ممکن است تحت تنشهای توام فشاری، کششی و برشی قرار گیرد. بنابراین تحلیل شکست تنشهای چندمحوری اغلب به عنوان یک پدیده و نه دقیقاً برای بتن کاربرد (Coulomb- Mohr) از نقطه نظر مصالح انجام می شود. اگرچه تئوری کولون-مور ندارد اما منحنی گسیختگی مور (شکل ۳-۲۰) روشی را برای نمایش گسیختگی تحت حالات تنشی ترکیبی مشخص می کند که از روی آن می توان مقاومت برشی را تخمین زد.



شکل ۲۰-۳ - نمودار گسیختگی مور برای بتن (به نقل از سن، میندس و ج. ف. یانگ، بتن ۱۹۸۱ صفحه ۴۰۱، چاپ مجدد با مجوز پرنیس هال انگوود کلیفس. ن. ج)

بر اساس نظریه میندس و یانگ «اگرچه تئوری مور - کلمب ممکن است برای بتن دقیقاً کاربرد نداشته باشد و مقاومت بتن در T_0 لیکن ساده ترین روش برای نمایش شکست تحت تنشهای چند محوریست. در این شکل مقاومت فشاری تک محوری $c-f$ برش خالص است که حدود ۲۰٪ مقاومت فشاری برآورد شده است. طول را نشان می دهد (این طول می تواند از آزمایش استوانه ای به دست آید). می توان مشاهده نمود که با تنش c را افزایش می دهد. بعبارت دیگر تنش کششی جانبی $(c-g)$ ، مقاومت فشاری $(c-d)$ فشاری جانبی برابر با «میگردد $(e-c)$ سبب کاهش مقاومت فشاری ظاهری تا حد b -».

در شکل (۲۰-۳) مقاومت بتن در برش خالص توسط نقطه محل برخورد پوش گسیختگی و محور قائم نشان با این روش، مقاومت برشی تقریباً برابر با ۲۰ درصد مقاومت فشاری تک محوری به (T_0) داده شده است. دست آمده است.

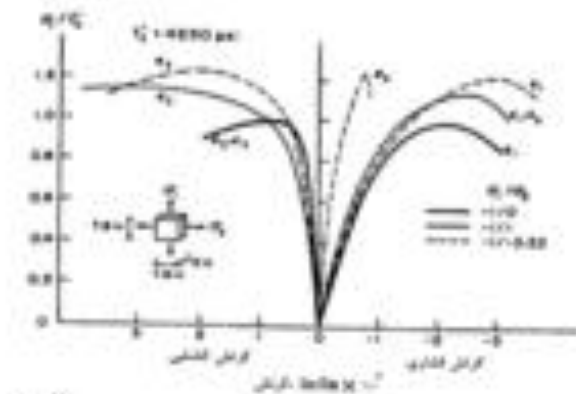
رفتار بتن تحت تنشهای دو و چند محوری

تنشهای فشاری دو محوری با قرار دادن نمونه استوانه ای تحت بار و فشار هیدرواستاتیکی در جهت شعاعی می تواند ایجاد شود. برای ایجاد تنش دو محوری واقعی می بایستی اصطکاک بین استوانه بتنی و صفحات فولادی دستگاه حذف شود. همچنین با قرار دادن نمونه در یک غشای مناسب از نفوذ مایع تحت فشار در ریز ترکها و حفرات سطح بتن باید جلوگیری شود.

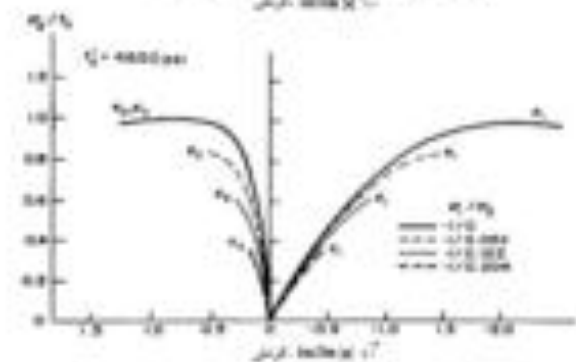
مقاومت دومی محوری بتن را بر روی سه نمونه با مقاومت‌های ۱۹، ۳۱ و ۵۹^(۱۲) و همکاران (Kupfer) کوپفر مگاپاسکال (مقاومت فشاری تک محوری محصورنشده) تحقیق نمودند. در این آزمایشها، گیرداری طولی در حین بارگذاری حذف شد. بدین منظور، به جای صفحات بارگذاری متعارف دستگاههای آزمایش، از صفحات بارگذاری فرچه ای استفاده شد. این صفحات از یک سری میله های فولادی نزدیک به هم ساخته شده بودند که به اندازه کافی انعطاف پذیر بودند و تغییر شکل‌های بتن را بدون ایجاد قید و محدودیت زیاد به خود می گرفتند. در شکل (۳-۲۱) منحنی های معمول تنش - کرنش بتن تحت سه حالت (الف) فشار دو محوری، (ب) ترکیب کشش - فشار و (ج) کشش دو محوری نشان داده شده است. منحنی مربوط به اندر کشش تنش دو محوری در شکل (۳-۲۲) نمایش داده شده است. نتایج مقاومت بتن تحت فشار دو محوری شکل

الف) ممکن است تا حدود ۲۷ درصد بیش از مقاومت تک محوری باشد. برای تنش های فشاری 3-21) یکسان در دو جهت اصلی، مقاومت تقریباً ۱۶ درصد افزایش می یابد. شکل (۲۱-۳ب) نشان می دهد که تحت کشش و فشار دو محوری، با افزایش مقاومت کششی اعمال شده، مقاومت فشاری بتن به صورت تقریباً خطی کاهش می یابد. از روی منحنی پوش مقاومت دو محوری بتن (شکل ۲۲-۳ الف) می توان نتیجه گرفت که مقاومت بتن تحت کشش دو محوری تقریباً برابر با مقاومت کششی تک محوری آن است

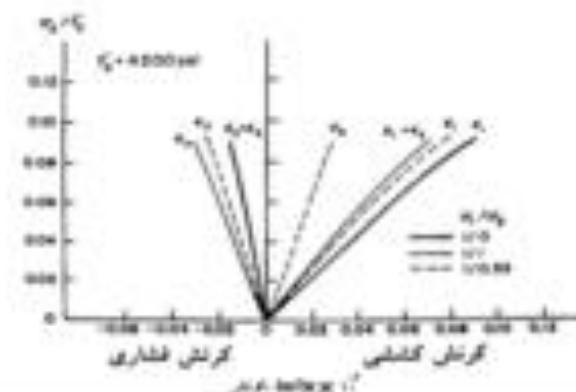
خاطر نشان می سازد که شکل پذیری بتن تحت تنش های دو محوری، بسته به اینکه^(۱۳) (Chen) چن وضعیت تنشهای فشاری یا کششی چگونه باشد، مقادیر مختلفی دارد. به عنوان مثال در فشار دو محوری (شکل است و متوسط حداکثر کرنش کششی 3000×10^{-6} - الف)، متوسط حداکثر کرنش فشاری 10 تغییر می کند. شکل پذیری کششی در فشار دو محوری بیش از فشار تک 10^{-6} تا 4000×10^{-6} بین 2000×10^{-6} محوری است. در کشش - فشار دو محوری، (شکل ۲۱-۳ ب)، میزان کرنش های فشاری و کششی اصلی در هنگام گسیختگی، با افزایش تنش کششی کاهش می یابد. در کشش دو محوری، (شکل ۲۱-۳ ج)، متوسط می باشد 80×10^{-6} میزان حداکثر کرنش کششی اصلی، فقط برابر با 10



(الف)



(ب)

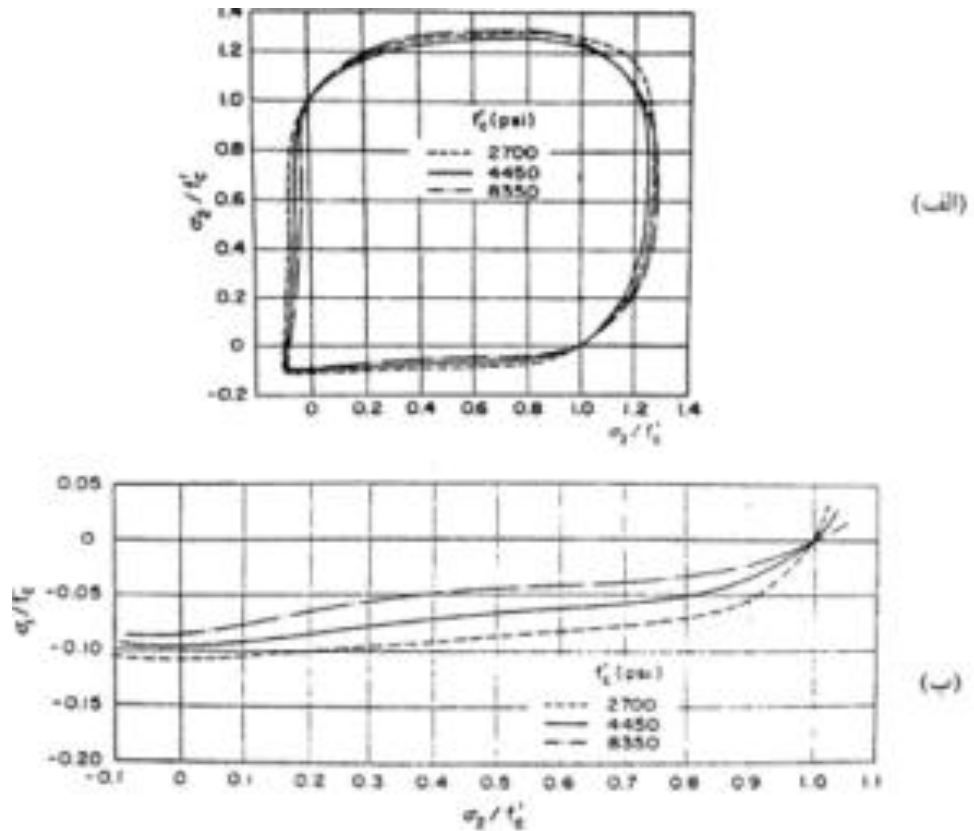


(ج)

شکل ۳-۲۱- منحنی آزمایشی تنش - کرنش بتن تحت (الف) فشار دو محوری، (ب) فشار و کشش مرکب و (ج) مجموعه مقالات، جلد ۶۶، صفحه ACI کشش دو محوری (به نقل از ه. کوپفر، ه. ک. هیلسدورف، و ه. روش، مجله ۶۳-۶۲۲)

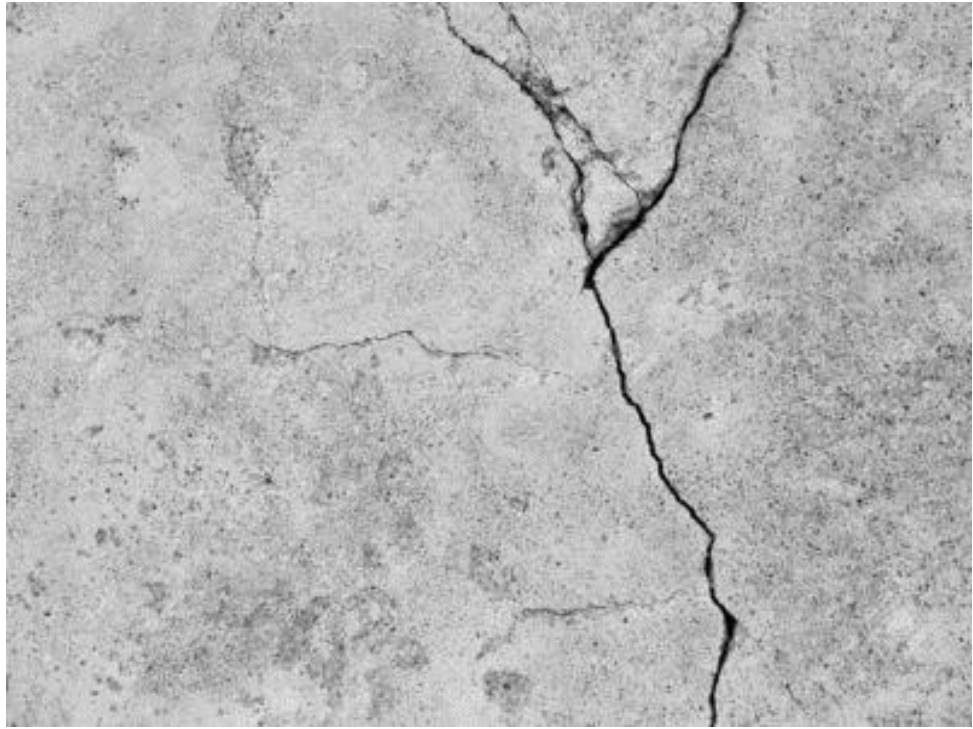
نتایج به دست آمده در شکل (۳-۲۲ الف) نشان می دهد که تراز مقاومت فشاری تک محوری، اصولاً شکل منحنی های اندرکنش تنش دو محوری یا بزرگی مقادیر آن را تغییر نمی دهد (مقاومت فشاری تک محوری بتن های آزمایش شده، در محدوده ۱۹ تا ۵۸ مگاپاسکال بوده است). به هر حال در کشش - فشار و در کشش دو محوری (شکل ۳-۲۲ ب) مشاهده می گردد که با افزایش مقاومت فشاری تک محوری، مقاومت نسبی در هر این موضوع را با مشاهدات کلی در این مورد مطابق^(۱۴) ترکیب تنشی دو محوری خاص کاهش می یابد. نویل

می داند. این مشاهدات حاکی از آنند که با افزایش مقاومت فشاری، نسبت مقاومت‌های کششی تک محوری به (فشاری تک محوری کاهش می یابند (جدول ۳-۲ را ببینید



شکل ۳-۲۲- منحنی اندرکنش تنش محوری (الف) پوش مقاومت، (ب) مقاومت تحت تنش ترکیبی فشار و کشش ، مجموعه مقالات، ACI و تحت کشش دو محوری (به نقل از ه. کوپفر، ه. ک. هیلسدورف، و ه. روش، مجله (جلد ۶۶، شماره ۸، ۱۹۶۹، صفحه ۶۳-۶۲۲).

رفتار بتن تحت تنش های چند محوری بسیار پیچیده است و همانطور که در شکل (۲۰-۳) توضیح داده شد عموماً از نقطه نظر یک پدیده بدان نگریسته و تشریح می گردد. برخلاف آزمایشهای رایج برای تعیین رفتار بتن تحت فشار تک محوری، کشش دو نیمه شدن، خمش، و بارگذاری دو محوری، آزمایش های استاندارد برای تنش های چند محوری موجود نیست. همچنین در خصوص معیار شکست در این حالت توافق کلی مابین پژوهشگران وجود ندارد.



قابلیت افزایش طول، و ترک خوردگی

