آزمایش مصالح

آزمایش‌های مربوط به مصالح:

فولاد، بتن و آجر بنایی مهم‌ترین انواع مصالح سازه‌ای هستند که در مهندسی عمران مورد استفاده قرار می‌گیرند. همچنین، خاکی که سازه بر روی آن اجرا می‌شود را نیز، به لحاظ اینکه تحت بارگذاری قرار می‌گیرد، می‌توان یکی از انواع مصالح سازه‌ای به شمار آورد.

ویژگی‌های مربوط به انواع مختلف مربوط به هر یک از مصالح سازه‌ای مذکور و نیز اجزای تشکیل دهنده آن‌ها، توسط آزمایش‌های محلی و آزمایشگاهی مختلفی قابل تعیین و ارزیابی است.

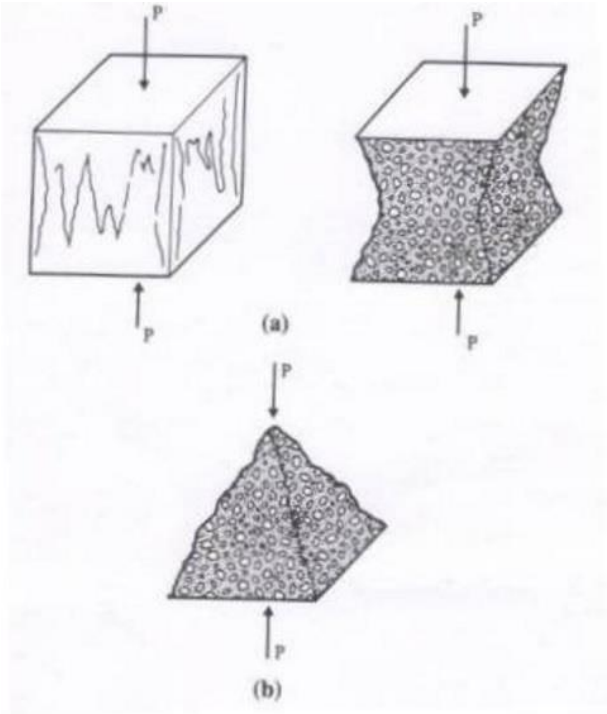
آزمایش‌های مربوط به بتن:

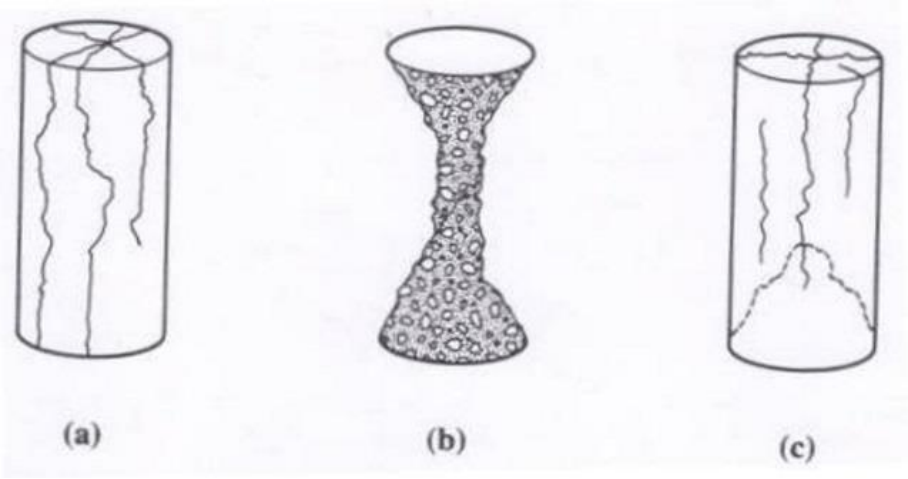
آزمایش‌های مقاومت فشاری و کششی دو مورد از مهم‌ترین آزمایش‌های سنجش مقاومت در بتن به شمار می‌آید. مقاومت، معمولاً تصویری کلی از کیفیت بتن در اختیار قرار می‌دهد، چرا که به‌طور مستقیم با ساختار خمیر سیمان مورد استفاده در ارتباط است.

آزمون مقاومت فشاری:

آزمون مقاومت فشاری نمونه بتن رایج‌ترین آزمایش برای سنجش میزان مقاومت فشاری بتن است. دو نوع نمونه بتنی برای این منظور مورد استفاده قرار می‌گیرد: نمونه مکعبی و نمونه استوانه‌ای

نمونه‌های مکعبی به ابعاد ۱۵۰ میلی‌متر رایج‌ترین نمونه‌ها در آسیا، روسیه و کشورهای اروپایی است، اما نمونه‌های استوانه‌ای به قطر ۱۵۰ میلی‌متر و ارتفاع ۳۰۰ میلی‌متر کاربرد بیشتری در ایالات متحده و استرالیا دارد.





شکل-۱ (انواع شکست نمونه‌های بتنی مکعبی و استوانه‌ای تحت بارگذاری مربوط به آزمون مقاومت فشاری)

نکته: عکس فوق از منبع "Concrete Technology", International Student Edition، نوشته A.M. NEVILLE و J.J. BROOKS اخذ شده است.

نمونه‌های بتنی مورد استفاده در آزمون مقاومت فشاری در قالب‌هایی فولادی و یا چدنی به ابعاد معین تهیه می‌شود. طبق BS ۱۸۸۱: بخش ۱۰۸: ۱۹۸۳، بتن باید به‌صورت لایه‌هایی به ضخامت ۵۰ میلی‌متر در قالب ریخته شود. تراکم هر لایه برای نمونه‌های مکعبی به ابعاد ۱۵۰ میلی‌متر حداقل با ۳۵ ضربه و برای نمونه‌های مکعبی به ابعاد ۱۰۰ میلی‌متر حداقل با ۲۵ ضربه انجام می‌شود. برای این منظور نیز از میله‌هایی استاندارد با مقطع مربع به ابعاد ۲۵ میلی‌متر و از جنس فولاد استفاده می‌گردد. تراکم به‌وسیله لرزش هم ممکن است مورد استفاده قرار بگیرد.

پس از پایان قالب گیری، در صورتی که نمونه‌ها در سن ۷ روزگی و یا بیشتر مورد آزمایش قرار خواهند گرفت، بایستی آن‌ها را در دمای ۱۵ تا ۲۵ درجه سانتی‌گراد نگهداری نمود. اگر نمونه‌ها در کمتر از سن ۷ روزگی آزمایش خواهند شد، دمای نگهداری بایستی ۱۸ تا ۲۲ درجه سانتی‌گراد باشد. همچنین رطوبت نسبی ۹۰ درصد نیز بایستی همواره برقرار گردد.

نمونه‌های مکعبی ۲۴ ساعت قبل از انجام آزمایش از قالب خارج می‌شوند. برای انجام آزمایش در سنین بالاتر بتن، نمونه‌ها ۱۶ تا ۲۸ ساعت پس افزودن آب به مخلوط بتنی از قالب خارج شده و تا رسیدن به سن مورد نظر در مخازن عمل آوری تحت در دمای ۱۸ تا ۲۲ درجه سانتی‌گراد نگهداری می‌گردند.

رایج‌ترین سن برای انجام این آزمایش ۲۸ روزگی است، اما آزمایش‌ها در سنین ۱، ۳، ۷ و ۱۴ روز نیز قابل انجام است. در هنگام انجام آزمایش، نمونه‌های مکعبی با زاویه قائم نسبت به قالب در داخل «دستگاه آزمون مقاومت فشاری» قرار داده می‌شوند. بارگذاری با نرخ فشار ثابتی در بازه ۰/۲ تا ۰/۴ مگا پاسکال بر ثانیه اعمال می‌گردد.

ترک‌های شکست ایجاد شده تحت بار محوری خالص تقریباً به‌موازات جهت اعمال نیروی فشاری بوده (شکل-۱) و برخی ترک‌ها نیز با زاویه‌ای نسبت به بار اعمال شده ایجاد می‌شوند. در عمل، این نوع سیستم آزمایش مقاومت فشاری به سبب وجود دو صفحه فولادی در دو تکیه‌گاه انتهایی، مجموعه تنش‌های نسبتاً پیچیده‌تری در نمونه بتنی ایجاد می‌کند.

شکل-۲ (یک نمونه بتنی که در دستگاه سنجش مقاومت فشاری تحت آزمون مقاومت فشاری قرار گرفته و الگوی شکست آن)

بدیهی است که به علت اثر پواسون، نمونه‌های مکعبی و استوانه‌ای دچار انبساط جانبی می‌گردند. صفحه‌های فولادی انبساط جانبی کمتری نسبت به بتن متحمل می‌شوند. در حقیقت ضریب انبساط جانبی متفاوتی میان سطح صفحات فولادی و نمونه‌های مکعبی بتن وجود دارد: در نتیجه نیروهای مماسی میان سطوح انتهایی نمونه‌های بتنی و صفحات فولادی دستگاه سنجش مقاومت فشاری ایجاد می‌گردد (شکل-۲). میزان نیروی مقاومتی صفحات فولادی بر روی بتن، به نیروی اصطکاک موجود بین این دو سطح و نیز فاصله از سطوح انتهایی بتن (که در تماس با صفحات فولادی هستند) بستگی دارد.

در نتیجه، علاوه بر تنش فشاری اعمال شده، تنش‌های برشی جانبی نیز بر نمونه بتنی اثر می‌گذارند. تأثیر این نیروی برشی در نواحی مرکزی نمونه‌های مکعبی کاهش یافته؛ از این رو کناره‌های نمونه در نواحی مرکزی ترک‌هایی تقریباً عمودی از خود نشان می‌دهند (شکل-۲) و یا کاملاً متلاشی می‌گردند به‌طوری که هسته مرکزی تقریباً سالم باقی می‌ماند.

از آنجا که میزان مقاومت در لبه‌های انتهایی به اصطکاک موجود میان دو سطح بستگی دارد، این اثر اصطکاکی را می‌توان با استفاده از گریس، موم گرافیت و یا پارافین در سطوح تکیه‌گاهی نمونه‌ها از بین برد. این امر کمک می‌کند نمونه، انبساط جانبی بزرگ‌تر و یکنواخت‌تری داشته و نهایتاً در بیشترین طول قابل تحمل خود ترک بردارد.

لازم به ذکر است که در صورتی که مقاومت‌های انتهایی به‌طور کامل وجود داشته باشد، آزمون مقاومت فشاری مقادیر بزرگ‌تری را برای نمونه‌های مکعبی نشان خواهد داد. هنگامی که ارتفاع نمونه نسبت به عرض آن افزایش می‌یابد، تأثیر تنش برشی کمتر شده و به این ترتیب قسمت مرکزی نمونه ممکن است به علت انبساط جانبی دچار شکست گردد و به همین دلیل مقادیر کمتری برای مقاومت فشاری گزارش شود. این موضوع در شکل ۲ و ۳ نشان داده شده است.

تأثیر شکل و اندازه نمونه:

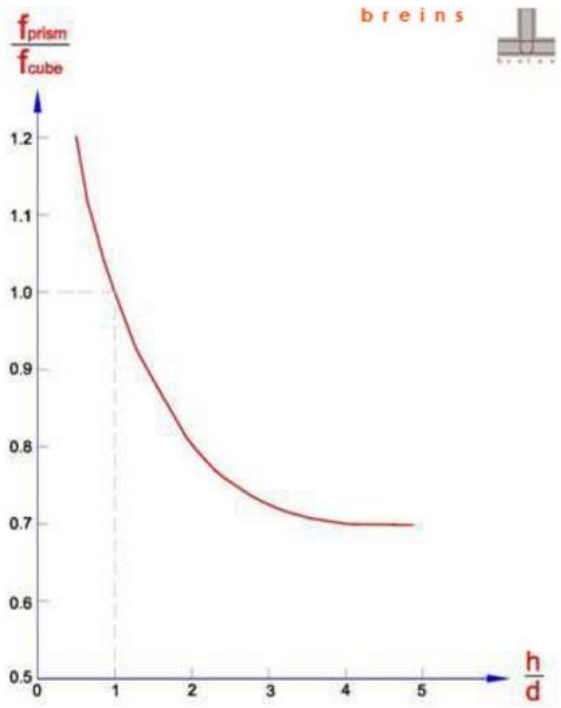
شکل‌ها و اندازه‌های مختلف نمونه‌هایی که برای آزمون سنجش مقاومت فشاری بتن به کار می‌روند، به همراه ضرایب تصحیح مقاومت در جدول زیر نشان داده شده است.

شکل نمونه مورد آزمایش	ابعاد (میلی‌متر)	ضریب تصحیح
مکعب	۱۰۰*۱۰۰*۱۰۰	۰/۸
	۱۵۰*۱۵۰*۱۵۰	۰/۸
	۲۰۰*۲۰۰*۲۰۰	۰/۸۳
استوانه	۱۵۰ϕ*۳۰۰	۱/۰
	۱۰۰ϕ *۲۰۰	۰/۹۷
	۲۰۰ϕ *۵۰۰	۱/۰۵
مکعب مستطیل (با مقطع مربعی)	۱۵۰۰*۱۵۰*۴۵۰	۱/۰۵
	۲۰۰*۲۰۰*۶۰۰	۱/۰۵

جدول-۱ (ضرایب تصحیح برای تبدیل مقاومت فشاری نمونه‌های بتنی در شکل‌ها و اندازه‌های مختلف)

جدول فوق نشان می‌دهد مقاومت فشاری به شکل، اندازه و نسبت ابعاد نمونه‌های مورد آزمایش بستگی دارد. به این وابستگی «اثر نمونه» اطلاق می‌شود. طبق نتایج، مقاومت فشاری نمونه‌های مکعبی به ابعاد ۱۵۰ میلی‌متر و کمتر، دارای بیشترین مقدار می‌باشد.

مطالعات نشان می‌دهد مقاومت فشاری نمونه بتنی به شکل مکعب مستطیل با افزایش نسبت ارتفاع نمونه (h) به بعد جانبی آن (d) کاهش می‌یابد تا در نسبت h/d=٤ به میزان تقریباً ثابتی برابر با ۰/۷ مقاومت فشاری نمونه مکعبی می‌رسد که نسبت h/d برای آن معادل واحد است.



شکل-۳ (تغییرات مقاومت فشاری نمونه مکعب مستطیلی بر حسب نسبت h/d)

مقاومت بتن همچنین با افزایش اندازه نمونه تا زمانی که بعد عرضی آن برابر با ۴۵۰ میلی‌متر شود، کاهش می‌یابد. پس از آن، مقاومت فشاری تقریباً مقادیر ثابتی خواهد داشت. این امر به روشنی قابل توجیه است چرا که تحت یک تنش معین، احتمال وقوع نقاط ضعیف در بتن‌هایی با حجم بیشتر، بالاتر است. این امر بدین دلیل است که در نمونه‌های کوچک‌تر، تراکم بهتر صورت گرفته و میزان تراوش بتن کمتر است. در نتیجه، بتن از کیفیت مناسب‌تری برخوردار بوده و مقاومت بیشتری از خود نشان می‌دهد.

آزمون مقاومت کششی:

مقاومت کششی بتن یکی از مهم‌ترین ویژگی‌های آن به شمار می‌آید چرا که سازه‌های بتنی در مقابل ترک‌های کششی ایجاد شده به وسیله عوامل مختلف و بارگذاری‌های انجام شده بسیار آسیب پذیر هستند. با این وجود مقاومت کششی بتن در مقایسه با مقاومت فشاری آن بسیار کم است.

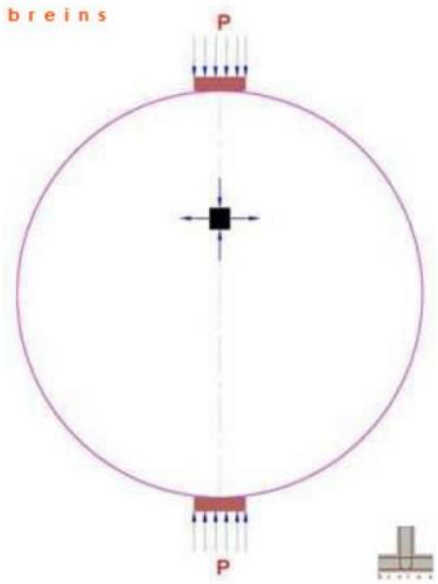
به دلیل دشوار بودن اعمال نیروی محوری کششی به نمونه بتنی، مقاومت کششی بتن به‌وسیله روش‌های آزمون غیرمستقیم اندازه‌گیری می‌شود: (۱) آزمون کشش برزیلی، (۲) آزمون خمش.

لازم به ذکر است مقاومت کششی اندازه‌گیری شده از هر دو روش مذکور، مقادیر بزرگ‌تری نسبت به آزمون کشش تحت نیروی کششی تک‌محوری گزارش می‌کند.

آزمون کشش برزیلی:

این آزمایش یکی از آزمون‌های استاندارد برای اندازه‌گیری مقاومت کششی بتن به روش غیرمستقیم است. این آزمون را می‌توان مطابق آئین‌نامه IS: ۵۸۱۶-۱۹۷۰ انجام داد.

به‌منظور انجام آزمایش کشش برزیلی، نمونه‌های بتنی (استوانه‌هایی به قطر ۱۵۰ میلی‌متر و ارتفاع ۳۰۰ میلی‌متر) را به‌صورت افقی زیر صفحات بارگذاری دستگاه سنجش مقاومت فشاری قرار می‌دهند (شکل ۴). بارگذاری فشاری در امتداد قطر استوانه به‌صورت یکنواخت و در طول آن ادامه می‌یابد تا زمانی که در امتداد قطر عمودی استوانه شکست حاصل گردد. برای توزیع یکنواخت بار فشاری اعمالی و نیز کاهش مقدار تنش فشاری بالای ایجاد شده در نقاط اعمال این بار، نواری از تخته‌های چندلا در میان نمونه و صفحات بارگذاری دستگاه آزمایش قرار داده می‌شود. نمونه استوانه‌ای به علت نیروی کششی غیرمستقیم ایجاد شده به‌واسطه اثر پواسون، در امتداد یک صفحه عمودی به دو نیم شکسته می‌شود.



شکل-۴ (آزمون مقاومت کششی به روش برزیلی: نمونه استوانه‌ای تحت بارگذاری فشاری در امتداد قطر عمودی)

تحت این بارگذاری فشاری، المان‌های موجود در امتداد قطر عمودی استوانه تحت یک تنش فشاری عمودی و یک تنش افقی قرار می‌گیرد (شکل-۴). این نوع بارگذاری، تنشی فشاری درست در محل اعمال بار به وجود می‌آورد؛ اما بخش اعظمی از استوانه متناظر با عمق آن، تحت یک تنش کششی یکنواخت در امتداد افقی قرار می‌گیرد. تنش فشاری به‌طور تخمینی در یک‌ششم عمق استوانه عمل کرده و پنج‌ششم عمق باقیمانده به‌واسطه اثر پواسون تحت کشش قرار می‌گیرد.

با فرض اینکه نمونه بتن نظیر یک ماده الاستیک رفتار می‌کند، تنش کششی جانبی و یکنواخت f_t که در طول صفحه عمودی عمل می‌نماید، موجب ایجاد شکست در نمونه بتنی می‌گردد. این تنش از رابطه زیر قابل محاسبه است:

$$f_t = \frac{۲P}{\pi DL}$$

P = مقدار بار فشاری اعمال شده در لحظه شکست

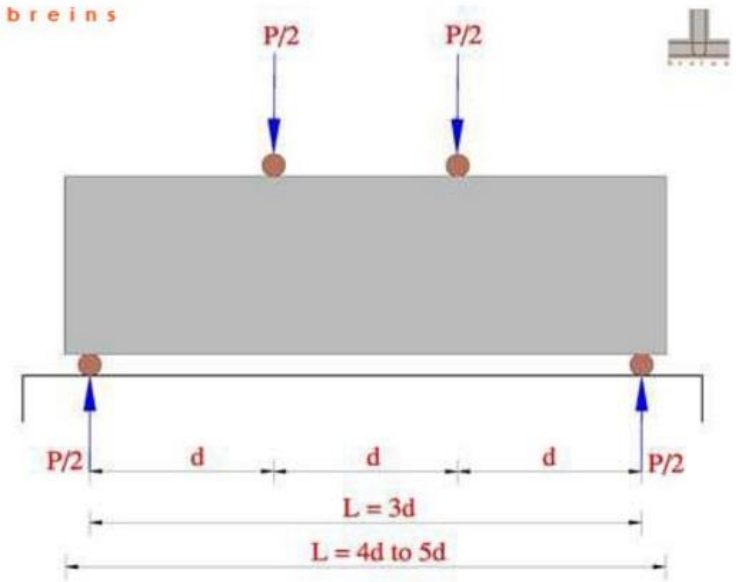
L = طول استوانه

D = قطر استوانه

آزمون خمشی

پس از آزمون کشش برزیلی، آزمون خمشی دیگر آزمون استانداردی است که برای اندازه‌گیری مقاومت کششی بتن به کار می‌رود.

این آزمون را می‌توان مطابق با آئین‌نامه BS ۱۸۸۱: بخش ۱۹۸۳:۱۱۸، انجام داد. برای این منظور یک تیر بتنی ساده در نقاط یک‌سوم و دوسوم دهانه تحت بارگذاری قرار می‌گیرد. ابعاد استاندارد نمونه تیر معادل با ۷۵۰*۱۵۰*۱۵۰ میلی‌متر می‌باشد. در صورتی که اندازه بزرگ‌ترین سنگدانِ موجود در مخلوط بتن بیشتر از ۲۵ میلی‌متر نباشد، نمونه‌ای به ابعاد ۱۵۰*۱۵۰*۱۵۰ میلی‌متر را نیز می‌توان برای انجام این آزمایش به کار برد. طول دهانه تیر نیز سه برابر عمق آن در نظر گرفته می‌شود.



شکل-۵ (آزمون خمشی برای سنجش مقاومت کششی بتن: تیر بتنی با دو نقطه بارگذاری در نقاط یک‌سوم و دوسوم دهانه)

نحوه کلی انجام آزمایش در شکل-۵ نشان داده شده است. بارهایی مساوی به فاصله یک‌سوم دهانه از هر تکیه‌گاه، به تیر اعمال می‌شوند. این بارگذاری نیروهای عکس‌العملی یکسانی را در هر دو تکیه‌گاه ایجاد می‌نماید. بارهای وارد به نحوی افزایش می‌یابد که تنش ایجاد شده در لایه تحتانی تیر بین ۰/۰۲ مگا پاسکال و ۰/۱ مگا پاسکال باشد. تنش ۰/۰۲ مگا پاسکال برای بتن‌های با مقاومت کمتر و تنش ۰/۱ مگا پاسکال برای بتن‌هایی که از مقاومت بیشتری برخوردارند.

با توجه به بارگذاری نشان داده شده در فوق بدیهی است که تیر در یک‌سوم میانی، بین دو نقطه بارگذاری، تحت خمش خالص قرار دارد. هیچ نیروی برشی در این مقطع از تیر مطرح نبوده و بیشترین ممان خمشی معادل با $\frac{Pd}{۲}$ با نیروی برشی صفر، در این ناحیه اتفاق می‌افتد. با افزایش بارگذاری، در صورتی که ترک‌های شکست در یک‌سوم میانی تیر ظاهر گردد، ماکسیمم تنش کششی ایجاد شده (f_{bt}) که «مدول گسیختگی» نامیده می شود، از رابطه استاندارد خمش قابل محاسبه خواهد بود.

$$f_{bt} = \frac{Pl}{bd^{۲}}$$

P = مقدار بر وارد شده در لحظه شکست

l = دهنه تیر میان دو تکیه‌گاه

d = عمق تیر

b = عرض تیر

f_{bt} = مدول گسیختگی

در صورتی که ترک‌ها در قسمت‌های خارج از محدوده یک‌سوم میانی تیر ظاهر شود، طبق آئین‌نامه BS ۱۸۸۱: بخش ۱۱۸: ۱۹۸۳، نتایج آزمایش مورد نظر قرار نمی‌گیرد.