



Namatek
True Education

Mechanical Characteristics of Concrete

www.namatek.com

خواص مکانیکی بتن

فهرست مطالب

۱. خواص مکانیکی بتن چیست؟
۲. روش تست خواص مکانیکی بتن

بتن به دلیل دوام، مقرون به صرفه و در دسترس بودن یکی از پرکاربردترین مصالح ساختمانی است و کیفیت آن ارتباط تنگاتنگی با ایمنی سازه‌های ساختمانی دارد. علی‌رغم استفاده گسترده و آشنایی با این نوع مصالح ساختمانی، درک خواص مکانیکی بتن به منظور اطمینان از عملکرد بهینه آن ضروری است. در مهندسی معماری، درک خواص مکانیکی بتن برای داشتن طرح‌های موفق و بادوام بسیار مهم است. درک ویژگی‌های اساسی بتن، این امکان را فراهم می‌کند که بهتر متوجه نحوه تعامل آن در مواجهه با عوامل مختلف محیطی و فیزیکی شویم.

یکی از بزرگترین چالش‌ها در این زمینه، بهبود خواص مکانیکی و فیزیکی بتن است. در این مقاله به بررسی خواص مکانیکی بتن خواهیم پرداخت.

خواص مکانیکی بتن چیست؟



خواص مکانیکی هر ماده ای نحوه قرار گرفتن آن را در معرض نیروهای اعمالی توصیف می‌کند. بتن دارای چند ویژگی و مشخصه است که آن را به یکی از مصالح ساختمانی ایده آل برای طیف وسیعی از کاربردها تبدیل کرده است.

خواص مکانیکی بتن نیز شامل موارد زیر است:

- مقاومت فشاری
- مقاومت کششی
- مقاومت خمشی
- کشسانی
- نفوذپذیری
- سختی

این خواص، نحوه رفتار بتن را تحت شرایط به وجود آمده و محیطی نشان می‌دهند.

خواص مقاومتی بتن

مقاومت یکی از مهمترین ویژگی‌های بتن است.

استحکام کلی عمدتاً از طریق ۳ دسته سنجیده می‌شود:

۱. فشاری

۲. کششی

۳. خمشی

که هر کدام جوانب مختلفی از توانایی‌های بتن را بررسی می‌کنند. مقاومت فشاری، ظرفیت و توانایی ماده برای مقاومت در برابر بارهای فشاری مانند بارهای اعمال شده در حین ساخت را بیان می‌کند. مقاومت کششی، مقاومت بتن در برابر نیروهایی که ممکن است سبب جدا شدن قطعات بتن از یکدیگر شود را اندازه گیری می‌کند.

همچنین مقاومت خمشی، نشان دهنده توانایی بتن برای مقاومت در برابر خمش یا خمیدگی تحت اعمال بار است. به صورت قابل توجهی هر سه این

خواص با یکدیگر مرتبط هستند؛ زیرا افزایش یا کاهش کیفیت یکی از آن‌ها می‌تواند بر خواص مکانیکی دیگر ویژگی‌ها اثرگذار باشد.

1) مقاومت فشاری بتن

مقاومت فشاری یکی از خواص مکانیکی بتن است که هدف اصلی ساخت هر سازه و برای افزایش تحمل بارها توسط آن محسوب می‌شود. این نوع مقاومت، ارتباط مستقیمی با دوام، کیفیت و پایداری بتن دارد. آزمایش مقاومت بتن به منظور تعیین مقاومت فشاری بتن انجام می‌شود. این آزمایش معمولاً شامل قرار دادن یک استوانه بتنی در دستگاه آزمایش و اعمال بار به صورت تدریجی به سیلندر مذکور تا زمان خراب شدن آن است. میزان باری که طی آن سیلندر خراب می‌شود، یادداشت شده و برای تعیین مقاومت فشاری ماده استفاده خواهد شد. فرمول اندازه گیری مقاومت فشاری بتن (f_c) به صورت زیر است:

$$f_c = \frac{P}{A}$$

که در آن:

• P بار در شکست است.

• A مساحت سطح حمل است.

به عنوان مثال، اگر یک نمونه بتنی دارید که در آن شکست در ۳۰۰۰ نیوتن با سطح حمل ۱۵ سانتی متر مربع رخ می‌دهد، مقاومت فشاری آن برابر است با حاصل تقسیم ۳۰۰۰ بر ۱۵ یعنی:

$$f_c = \frac{P}{A} = \frac{3000}{10}$$

که برابر با ۲۰۰ نیوتن بر متر مربع خواهد شد.

2) مقاومت کششی بتن

مقاومت کششی بتن نشان دهنده میزان مقاومت بتن در برابر کشش، کشیدن و بارهای کششی مانند بارهای اعمال شده در هنگام ساخت و ساز یا زلزله است. در حالی که بتن به مقاومت فشاری فوق العاده اش مشهور است، از نظر کشش نسبتاً ضعیف تر است.

این عاملی است که در طول طراحی یا در موقعیت سرویس باید مورد توجه قرار گیرد.

مقاومت کششی (N/mm ²)	نوع بتن
1.8 – 2.8	بتن با وزن معمولی
0.7 – 2.7	بتن سبک

رایج ترین آزمایش برای تعیین مقاومت کششی بتن، آزمایش کشش شکافته است. در این آزمایش، یک نمونه بتن در دستگاه آزمایش قرار می‌گیرد و بار کششی آن به تدریج افزایش می‌یابد تا زمانی که مدل از کار بیفتد. میزان باری که در آن نمونه از کار می‌افتد، یادداشت می‌شود و برای تعیین مقاومت کششی بتن استفاده خواهد شد.

3) مقاومت خمشی بتن

مقاومت خمشی بتن نشان دهنده توانایی آن، برای مقاومت در برابر تغییر شکل تحت تنش خمشی و توانایی بتن برای بازگشت به شکل اولیه خود

پس از تغییر شکل است. این ویژگی یک عامل اساسی در طراحی سازه‌ها است؛ زیرا تعیین می‌کند که سیستم تا قبل از آسیب دیدگی تا چه حد می‌تواند حرکت کند. متداول ترین آزمایشی که برای ارزیابی میزان مقاومت کششی بتن استفاده می‌شود، آزمایش مدول الاستیک است. این آزمایش شامل اعمال یک بار فشاری روی یک نمونه بتنی و اندازه گیری کرنش در نمونه مذکور است. سپس، از کرنش به منظور محاسبه مدول الاستیک استفاده می‌شود. فرمول اندازه گیری مقاومت خمشی f_r به صورت زیر است:

$$f_r = \frac{3Pa}{2bd^2}$$

که در آن:

- P بار در شکستگی
 - A فاصله بین خط شکستگی و نزدیکترین تکیه گاه (که عمق مؤثر نامیده می‌شود).
 - B عرض تیر
 - D عمق کل تیر
- به عنوان مثال، برای بتنی که در مشخصات زیر:
- فشار ۳۶۰۰ نیوتن
 - عمق مؤثر ۶ سانتی متر
 - عرض ۳ سانتی متر
 - عمق کل ۴ سانتی متر
- دچار شکستگی شده باشد، مقاومت خمشی برابر با:

$$f_r = \frac{3 \times 3600 \times 1}{2 \times 3 \times 4^2}$$

و در نهایت منجر به ۹۰۰ نیوتن بر سانتی متر مربع می‌شود.

خواص دوام بتن

دوام بتن برای جذابیت آن به عنوان یک مصالح ساختمانی، بسیار مهم است. به صورت کلی، دوام با توانایی آن در مقاومت در برابر موارد زیر نقش مهمی در طول عمر و عملکرد کلی بتن ایفا می‌کند:

- هوازدگی
- مشکل شیمیایی
- یا هر فرآیند زوال

۱) دوام بتن در برابر شرایط جوی



شرایط آب و هوایی به صورت قابل توجهی بر طول عمر و انعطاف پذیری بتن تأثیر می‌گذارد. در نظر گرفتن تنش‌های محیطی بالقوه مانند نوسانات دما، تغییرات رطوبت و چرخه‌های ذوب و انجماد، هنگام طراحی و اجرای

سازه‌های بتن محور بسیار مهم است. سیکل‌های مکرر انجماد و ذوب، به ویژه می‌تواند به بتن آسیب برساند. در طول چنین چرخه‌ای، آب جذب شده در ساختار متخلخل بتن هنگام انجماد منبسط می‌شود و فشار داخلی ایجاد می‌کند. سپس و هنگامی که فرآیند ذوب رخ می‌دهد، فشار آزاد شده که اغلب منجر به پوسته پوسته شدن سطح و در مواردی شدیدتر، منجر به ترک‌های عمیق خواهد شد. با گذشت زمان، این چرخه‌ها می‌توانند منجر به آسیب‌های ساختاری قابل توجهی شوند. درک و اجرای اقدامات پیشگیرانه در برابر چنین تخریب‌هایی که ناشی از آب و هوا است برای افزایش طول عمر بتن و اطمینان از دوام آن ضروری است.

در اینجا چند استراتژی وجود دارد که عبارت اند از:

- استفاده از عوامل جذب کننده هوا در مخلوط بتن به منظور تطبیق چرخه انجماد و ذوب در حفره‌های کوچک هوا که عمداً اضافه شده است.
- نسبت آب به سیمان در مخلوط بتن برای کاهش نفوذپذیری و افزایش مقاومت ذاتی آن در برابر هوا بهینه سازی شود.
- عمل آوری مناسب بتن که سبب بهبود قابل توجه مقاومت آن در شرایط آب و هوایی مختلف می شود.

2) دوام بتن در برابر واکنش‌های شیمیایی



یکی دیگر از عوامل کلیدی در دوام بتن، مقاومت آن در برابر واکنش‌های شیمیایی است. با گذشت زمان، بتن ممکن است در معرض محیط‌های شیمیایی تهاجمی مختلف از جمله سولفات، اسید و قلیا قرار بگیرد که ممکن است یکپارچگی آن را به خطر اندازند. به عنوان مثال، در یک محیطی که یون سولفات با محصولات سیمانی هیدراته واکنش نشان دهد، منجر به انبساط، کاهش استحکام و ایجاد ترک در بتن خواهد شد. این نوع واکنش هم در آب و هم در خاک رایج است، از این رو در ساخت و سازهای زیرزمینی و دریایی باید مورد توجه قرار گیرد. وجود مواد قلیایی نیز می‌تواند بر بتن اثر گذارد. در این حالت، قلیای موجود در سیمان با انواع خاصی از سنگدانه‌ها واکنش نشان می‌دهد و یک محصول متورم ژل مانند را ایجاد می‌کند که با جذب آب می‌تواند سبب انبساط و ترک خوردگی بتن شود. کاهش آسیب پذیری بتن در برابر این واکنش‌های شیمیایی برای حفظ دوام آن ضروری است.

(3) خواص شیمیایی بتن

بخش عمده ای از خواص شیمیایی بتن از جز اصلی آن یعنی سیمان ناشی می‌شود. عناصر اصلی سیمان عبارت اند از:

- کلسیم
- سیلیکون
- آلومینیوم
- اکسیدهای آهن

که با نسبت‌های دقیقی ترکیب می‌شوند. ذرات سیمان در ترکیب با آب هیدراته می‌شوند و به هم می‌چسبند، در این حالت، ترکیبی سنگ مانند به نام بتن تشکیل خواهند داد. درک خواص شیمیایی بتن به منظور بهینه سازی مقاومت، دوام و عملکرد کلی آن بسیار مهم است که این امر از طریق مدیریت ترکیب سیمان، کنترل دقیق فرآیند هیدراتاسیون و استفاده از مصالح مناسب و پایدار ممکن خواهد شد.

خواص الکتریکی بتن



استحکام و دوام بتن بسیار مورد توجه و شناخته شده است، این در حالی است خواص الکتریکی بتن به ویژه مقاومت و رسانایی آن کمتر مورد توجه قرار می‌گیرد. با این وجود، خواص الکتریکی نقش اساسی در ارزیابی ساختاری و یکپارچگی بتن دارند.

1) مقاومت الکتریکی

مقاومت الکتریکی ویژگی اصلی بتن است که بر رفتار آن در حضور میدان الکتریکی تأثیر می‌گذارد. اساساً توانایی بتن در میزان مقاومتی که در برابر جریان الکتریکی دارد را اندازه‌گیری می‌کند. از مقاومت الکتریکی به منظور ارزیابی درجه ترک خوردگی و احتمال ترک خوردگی به ویژه در مورد فولادی که در بتن به کار رفته استفاده می‌شود.

خواص حرارتی بتن



خواص حرارتی بتن شامل هدایت حرارتی، ظرفیت گرمایی ویژه و ضریب انبساط حرارتی آن است. این ویژگی، عملکرد انرژی آن در ساختمان‌ها، روسازی و واکنش آن در معرض آتش را تحت تأثیر قرار می‌دهند. مقدار دقیق هدایت حرارتی بتن به عوامل مختلفی بستگی دارد که از جمله آن می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

- ترکیب
- چگالی
- رطوبت

انبساط حرارتی (نشان دهنده چگونگی تغییرات در اندازه یک جسم در صورت تغییر دما) یک ویژگی حیاتی برای بتن است، به ویژه در سازه‌هایی

که در معرض تغییرات دمایی زیاد هستند یا در مکان‌هایی که سازگاری حرارتی با فولاد تقویت کننده مورد نیاز است.

روش تست خواص مکانیکی بتن



آزمایش خواص مکانیکی بتن شامل ۵ مورد است که به صورت زیر هستند:

- مقاومت فشاری
 - مقاومت فشاری محوری
 - مدول الاستیکی تحت فشار استاتیکی
 - مقاومت کششی شکافی
 - مقاومت خمشی
- الزاماتی که دستگاه فشار برای این نوع آزمایشات باید داشته باشد، به صورت زیر است:
- بار شکست نمونه باید بیش از ۲۰ درصد مقیاس کامل پرس و کمتر از ۸۰ درصد آن باشد.
 - خطای نسبی باید در حدود $\pm 0.1\%$ تا $\pm 0.1\%$ باشد.

- یک دستگاه نشانگر سرعت بارگذاری یا یک دستگاه کنترل سرعت بارگذاری باید وجود داشته باشد و بتواند به صورت یکنواخت و پیوسته بارگیری کند.
- اهرم تویی باید به صورت انعطاف پذیر بچرخد و بخش محدب آن به سمت بالا باشد.
- تحمل بخش صافی صفحات یاتاقان بالایی و پایینی دستگاه نباید بیشتر از ۰/۰۴ میلی متر باشد. تحمل موازی نباید بیش از ۰/۰۵ میلی متر باشد.
- در ادامه به بررسی هر یک از روش‌های تست عملکرد خواص بتن می‌پردازیم.

تست عملکرد بتن

تست عملکرد بتن به صورت زیر است.

1) تست مدول الاستیک فشاری استاتیک

برای تعیین مدول الاستیک نمونه سیلندر تحت فشار استاتیکی، نمونه استاندارد یک سیلندر در حدود $150\text{mm} \times 300\text{mm} \times \phi$ است. نمونه‌های سیلندر با اندازه‌های $100\text{mm} \times 200\text{mm} \times \phi$ و $200\text{mm} \times 400\text{mm} \times \phi$ غیر استاندارد هستند.

2) تست نسبت پواسون (Poisson)

در این روش از نمونه‌های پریسماتیک (Prismatic) یعنی $150\text{mm} \times 150\text{mm} \times 300\text{mm}$ استفاده می‌شود که می‌توان آن‌ها را به صورت همزمان با همان گروه از نمونه‌های مدول الاستیک فشرده سازی

استاتیک اندازه گیری کرد. دستگاه تست فشار همان الزامات تجهیزات تست خواص مکانیکی بتن را دارد.

(3) تست کشش محوری

اندازه بخش میانی قطعه آزمایشی باید در حدود $100\text{mm} \times 100\text{mm}$ و قطعه آزمایش هسته باید استوانه ای به قطر ۱۰۰ میلی متر باشد.

(4) تست استحکام باند بتن

این روش برای تعیین مقاومت باند، بین بتن‌های قدیمی و جدید مناسب است. یه مکعب با اضلاع ۱۵۰ میلی متر با استفاده از مواد اولیه و نسبت مخلوط مشابه بتن مشخص می‌شود.

(5) تست مقاومت در برابر سایش

روش‌های آزمایش در این بخش به روش حجم سایش و روش طول دهانه تقسیم می‌شوند.

- روش سایش به منظور اندازه گیری میزان سایش در واحد سطح، روی سطح سایش نمونه بتنی مناسب است و از یک نمونه مکعب ۱۵۰ * ۱۵۰ میلی متر استفاده می‌شود.

- روش طول دهانه برای اندازه گیری نمونه‌های بتنی تحت تأثیر چرخ‌های فولادی اصطکاکی و ساینده مناسب است. در اینجا از نمونه‌های مکعبی که بیش از ۱۰۰ * ۱۰۰ * ۱۰۰ میلی متر است، استفاده می‌شود.

(6) تست چگالی بتن سخت شده

این تست به منظور تعیین موارد زیر مناسب است:

- چگالی ظاهری

- چگالی ظاهری اصلی
 - چگالی ظاهری اشباع شده از آب
 - چگالی ظاهری خشک کردن بتن سخت شده
- قطعه آزمایش باید یک مکعب یا پریسماتیک با طول ضلعی در حدود ۱۰۰ میلی متر باشد. هنگامی که از یک قطعه آزمایش هسته ای استفاده می‌شود، قطر و ارتفاع قطعه آزمایشی نباید کمتر از ۱۰۰ میلی متر باشد و حداقل حجم قطعه آزمایش نباید کمتر از ۵۰ D3 باشد که D ، حداکثر اندازه ذرات سنگدانه درشت است.

(7) تست جذب آب

در این تست، قطعه مورد آزمایش باید مکعب شکل با طول ضلع ۱۰۰ میلی متر باشد و اندازه‌های دیگر طول ضلع مکعب غیر استاندارد هستند. هنگامی که قطعه آزمایش مته هسته ای استفاده می‌شود، قطعه استاندارد یک استوانه از نمونه بدنه $100\text{mm} \times 100\text{mm} \times \phi$ است. حداقل حجم نمونه باید بیش از ۵۰ D3 باشد.

سوالات متداول

خواص مکانیکی بتن چیست؟

خواص مکانیکی بتن شامل موارد زیر می‌شود:

- مقاومت فشاری
- مقاومت کششی
- مقاومت خمشی
- نفوذپذیری
- سختی

این ویژگی‌ها نحوه عملکرد بتن تحت تنش، کرنش و شرایط محیطی را نشان می‌دهند.

مهمترین خواص مکانیکی بتن کدام است؟

یکی از مهمترین خواص مکانیکی بتن، مقاومت فشاری آن است. مقاومت فشاری حداکثر باری است که بتن در واحد سطح می‌تواند بدون ترک خوردگی یا شکست تحمل کند. این موضوع نشان می‌دهد که بتن مذکور برای ساخت و ساز مناسب است یا خیر.

محدودیت‌های بتن چیست؟

بتن دارای چند محدودیت است که از جمله آن می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

- مقاومت کششی کم
- حساسیت به ترک خوردگی
- وزن زیاد (که باعث ایجاد مشکل هنگام حمل و نقل می‌شود).
- دوره پخت طولانی (که برای رسیدن به استحکام مناسب، لازم است).
- حساس بودن نسبت به رطوبت و تغییر دما

4 ویژگی اصلی بتن چیست؟

چهار ویژگی اصلی بتن به صورت زیر هستند:

- مقاومت فشار
- کارایی
- دوام
- مقاومت کششی