

مقاومت فشاری مشخصه بتن و نمونه برداری

مقاومت فشاری بتن مهم‌ترین شاخص در ارزیابی کیفیت و پذیرش بتن در پروژه‌های عمرانی است. این مقاومت بیانگر ظرفیت بتن در تحمل بارهای فشاری بوده و مبنای اصلی طراحی سازه‌ها، کنترل کیفیت و حتی برآورد دوام بتن محسوب می‌شود. در ایران طبق آیین‌نامه بتن ایران (آبا) و مبحث ۹ مقررات ملی ساختمان، مقاومت مشخصه بتن باید به روش‌های استاندارد و با استفاده از نمونه‌های آزمایشگاهی تعیین شود.



تعریف مقاومت فشاری مشخصه

طبق آبا، مقاومت فشاری مشخصه بتن مقاومتی آماری است که در تحلیل و طراحی سازه از آن استفاده می‌شود و به گونه‌ای تعریف شده که ۱۰ درصد نتایج اندازه‌گیری شده روی نمونه‌های عمل‌آوری شده در شرایط استاندارد از آن کمتر باشد. این مقاومت معمولاً در سن ۲۸ روز تعریف می‌شود، مگر آنکه طراح یا کارفرما در اسناد پروژه سن دیگری را مشخص کند.

الزامات حداقل مقاومت

- حداقل مقاومت فشاری مشخصه بتن نباید از ۲۰ مگاپاسکال برای سازه‌های بتن مسلح کمتر باشد. این عدد حداقل مقدار برای شکل پذیری متوسط می باشد. در شکل پذیری ویژه ۲۵ مگاپاسکال حداقل مقدار مورد پذیرفته می باشد.
- توصیه می‌شود حداکثر مقاومت فشاری بدست آمده در کارگاه بیش از ۱۵ مگاپاسکال بالاتر از مقاومت مشخصه نباشد تا از افزایش غیرضروری مقاومت (و تبعات اقتصادی و اجرایی) جلوگیری شود.



نمونه‌های آزمایش و سن آزمایش

نوع نمونه‌ها

دو نوع نمونه استاندارد برای تعیین مقاومت فشاری وجود دارد:

۱. نمونه مکعبی با ابعاد اسمی ۱۵۰ یا ۲۰۰ میلی‌متر

۲. نمونه استوانه‌ای با قطر اسمی ۱۵۰ میلی‌متر و ارتفاع ۳۰۰ میلی‌متر

در ایران معمولاً نمونه مکعبی ۱۵۰ میلی‌متر متداول‌تر است، در حالی که آیین‌نامه ACI آمریکا مقاومت مشخصه (f'_c) را بر اساس نمونه استوانه‌ای تعریف می‌کند.

سن آزمایش

- سن مرجع معمولاً ۲۸ روز است.
- در صورت تعیین سن دیگر، باید به وضوح در نقشه‌ها یا مشخصات پروژه قید شود.
- در کارگاه، نتیجه مقاومت فشاری بتن در سنی که در مدارک پروژه مشخص نشده باشد، بر اساس ۲۸ روز قضاوت خواهد شد.

استانداردها و شرایط نمونه‌گیری

طبق آبا، مراحل زیر باید بر اساس استانداردهای ملی ایران انجام شود:

- نمونه‌برداری: استاندارد ملی ۳۲۰۱
- ساخت و عمل‌آوری: استاندارد ملی ۳۲۰۳
- تعیین مقاومت فشاری: استانداردهای ۶۰۴۸ یا ۳۲۰۳ بسته به نوع نمونه (مکعبی یا استوانه‌ای)

برای نمونه‌های کوچک‌تر (مکعب ۱۰۰ میلی‌متر یا استوانه با قطر کمتر از ۱۵۰ میلی‌متر)، نسبت ابعاد باید مطابق با الزامات باشد تا اثر سنگدانه‌های درشت بر نتایج کاهش یابد.



نحوه تعیین و پذیرش مقاومت

طبق بندهای آبا، بتن زمانی پذیرفته می‌شود که:

- میانگین نتایج سه نمونه متوالی کمتر از مقاومت مشخصه نباشد.
- هیچ یک از نتایج منفرد کمتر از ۹۰ درصد مقاومت مشخصه نباشد.

نتیجه هر نمونه برابر با میانگین دو آزمون استوانه‌ای یا سه آزمون مکعبی است که حداقل در سن ۲۸ روز مورد آزمایش قرار می‌گیرند.



مقایسه مقاومت مکعبی و استوانه‌ای

علت تفاوت

نمونه‌های مکعبی به دلیل وجود تنش‌های جانبی ناشی از اصطکاک صفحات دستگاه آزمایش، مقاومت بیشتری از خود نشان می‌دهند. نسبت ارتفاع به عرض کمتر در مکعب‌ها (۱:۱) باعث می‌شود ترک‌های قائم دیرتر ایجاد شده و گسیختگی با مقاومت بالاتری رخ دهد. در مقابل، استوانه‌ها با نسبت ارتفاع به قطر ۲:۱ شرایطی نزدیک‌تر به عملکرد واقعی سازه دارند.

ضریب تبدیل

با توجه به آبا و تجربه عملی، مقاومت آزمون استوانه ای برابر ۰.۸ * مقاومت نمونه مکعبی می باشد. به عبارت دیگر، مقاومت استوانه‌ای حدود ۲۰ درصد کمتر از مقاومت مکعبی است. با این حال آبا جدولی برای مقایسه آزمون‌ها ارائه کرده است.

جدول ۸-۱ تبدیل مقاومت بتن معمولی و سبکدانه، از آزمون مکعبی ۱۵۰ میلی‌متر به آزمون استوانه‌ای به قطر ۱۵۰ میلی‌متر

مقاومت فشاری مکعبی ۱۵۰ میلی‌متری، مگاپاسکال	۲۵	۳۰	۳۵	۴۰	۴۵	۵۰	۵۵	۶۰	۶۵	۷۰	۷۵
مقاومت فشاری استوانه استاندارد، مگاپاسکال	۲۰	۲۵	۳۰	۳۵	۴۰	۴۵	۵۰	۵۵	۶۰	۶۵	۷۰

۱- برای تبدیل مقاومت مکعبی کمتر از ۲۵ مگاپاسکال به استوانه استاندارد، مقدار آن بر ۱/۲۵ تقسیم می‌شود.
 ۲- برای مقاومت‌های بین اعداد ذکر شده در جدول، کافی است ۵ مگاپاسکال از نتیجه مکعبی کم شود تا نتیجه استوانه‌ای حاصل شود.
 ۳- در صورت استفاده از مکعب ۱۰۰ میلی‌متری، تبدیل آن به استوانه ۱۰۰ میلی‌متری مشابه جدول فوق خواهد بود. هرچند در عمل مقاومت مکعب ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌متری و همچنین مقاومت استوانه ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌متری با یکدیگر تفاوت دارند، اما تبدیل آن‌ها ضرورت ندارد و صرفاً از حداقل سه آزمون کوچک‌تر به جای حداقل دو آزمون بزرگتر استفاده می‌شود. به هر حال حداقل قطر آزمون استوانه‌ای باید از سه برابر حداکثر اندازه اسمی سنگدانه کمتر نباشد و برای آزمون مکعبی نیز باید از ۳/۵ برابر حداکثر اندازه اسمی سنگدانه کمتر نباشد.
 ۴- برای بتن‌های سبکدانه، نسبت مقاومت فشاری آزمون مکعبی ۱۵۰ میلی‌متری به استوانه به قطر ۱۵۰ میلی‌متر، برای رده‌های مقاومتی تا ۴۰ مگاپاسکال برابر با ۱/۰۵ و برای مقاومت‌های بیشتر تقریباً یک است.

ملاحظات اجرایی

۱. کیورینگ (عمل‌آوری): نگهداری نمونه‌ها در شرایط استاندارد دما و رطوبت برای اطمینان از هیدراتاسیون کامل ضروری است.
۲. ابعاد نمونه: اگر به دلیل محدودیت‌ها از نمونه‌های کوچک‌تر (مثل مکعب ۱۰۰ میلی‌متری) استفاده شود، باید به ضوابط آبا برای نسبت ابعاد و حداکثر اندازه سنگدانه توجه شود.
۳. تعیین سن متفاوت: در صورت استفاده از سیمان‌های خاص (پوزولانی، سرباره‌ای و ...) یا شرایط بهره‌برداری خاص، سن آزمایش می‌تواند با موافقت طراح تغییر کند ولی باید در مدارک قید شود.

آزمایش فشاری بتن

آزمایش فشاری بتن اصلی‌ترین و متداول‌ترین روش تعیین مقاومت بتن است و به‌طور مستقیم معیار پذیرش بتن در کارگاه‌های ساختمانی محسوب می‌شود. این آزمایش بر روی نمونه‌های استاندارد مکعبی (معمولاً ۱۵۰ یا ۲۰۰ میلی‌متری) یا استوانه‌ای (قطر ۱۵۰ میلی‌متر و ارتفاع ۳۰۰ میلی‌متر) انجام می‌گیرد که از بتن تازه گرفته، متراکم و در شرایط استاندارد دما و رطوبت عمل‌آوری شده‌اند. در روز آزمایش (معمولاً سن ۲۸ روز) نمونه‌ها از حوضچه یا اتاق رطوبتی خارج شده و پس از تمیز کردن سطوح، بین صفحات فشاری دستگاه پرس هیدرولیکی قرار می‌گیرند. دستگاه با سرعت بارگذاری کنترل‌شده (مطابق استاندارد ملی ایران ۶۰۴۸ یا ASTM C39) بار فشاری یکنواختی را تا لحظه شکست به نمونه وارد می‌کند. حداکثر بار ثبت‌شده در لحظه گسیختگی به‌عنوان نیروی شکست در نظر گرفته و مقاومت فشاری از تقسیم P حداکثر بار شکست (نیوتن) بر A سطح بارگذاری (میلی‌متر مربع) بدست می‌آید. رعایت دقیق ابعاد نمونه، سرعت بارگذاری و شرایط عمل‌آوری برای دستیابی به نتایج دقیق الزامی است، زیرا کوچک‌ترین انحراف در این پارامترها می‌تواند باعث تفاوت محسوس در مقاومت نهایی گردد.

نتیجه‌گیری

مقاومت فشاری مشخصه بتن، پایه‌ای‌ترین معیار طراحی و پذیرش بتن است. در ایران که استفاده از نمونه‌های مکعبی رایج است، آگاهی از ضریب تبدیل به نمونه‌های استوانه‌ای اهمیت ویژه‌ای دارد، به خصوص در پروژه‌هایی که بر اساس آیین‌نامه‌های بین‌المللی مانند ACI طراحی می‌شوند. رعایت دقیق روش‌های نمونه‌گیری، عمل‌آوری و آزمایش مطابق استانداردهای ملی، شرط اصلی اطمینان از کیفیت و دوام سازه‌های بتنی است.