

بررسی تأثیر کیفیت قالب مکعبی $150 \times 150 \times 150$ میلی‌متر بر نتایج مقاومت فشاری بتن

علی ذوالقدری^۱، محمد کربلایی علی^۲، محمدصادق چیت فروش زاده^۳، راضیه پاشائی^۴، سینا علیزاده^۵،
محسن تدین^۶، بابک احمدی^{۷*}

- ۱- مسئول آزمایشگاه شرکت فهاب بتن
- ۲- مدیر واحد مدیریت کیفیت شرکت فهاب بتن
- ۳- مسئول امور مربوط به تولید شرکت فهاب بتن
- ۴- کارشناس آزمایشگاه شرکت فهاب بتن
- ۵- مسئول تحقیق و توسعه شرکت فهاب بتن
- ۶- رئیس هیات مدیره انجمن بتن ایران
- ۷- استادیار مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی

* آدرس پست الکترونیکی نویسنده رابط: b.ahmadi@bhrc.ac.ir

چکیده

یکی از عوامل تأثیرگذار بر نتایج مقاومت فشاری بتن که عموماً در پروژه‌های عمرانی و تحقیقاتی به آن توجه کافی نشان داده نمی‌شود، کیفیت قالب آزمون‌ها است. در این تحقیق، تأثیر کیفیت شش نوع قالب مکعبی $150 \times 150 \times 150$ میلی‌متر شامل دونوع قالب فولادی و چهار نوع قالب پلاستیکی بر نتایج مقاومت فشاری بتن پانزده طرح مخلوط بتن در سنین مختلف بررسی شد. مشاهده شد که استفاده از بدترین قالب مورد بررسی، به‌طور متوسط سبب کاهش مقاومت فشاری اندازه‌گیری شده به مقدار ۱۸ درصد نسبت به بهترین قالب شده است. این نتایج نشان می‌دهد که تأثیر قالب بر مقاومت فشاری بتن، می‌تواند بسیار قابل توجه باشد. این موضوع می‌تواند منجر به مشکلاتی همچون ارزیابی نادرست مقاومت فشاری بتن‌های اجرا شده در پروژه‌ها و طراحی نادرست طرح‌های مخلوط و در پی آن، اختلافات فنی و حقوقی بین دست‌اندرکاران مختلف بتن شود. همچنین در این مقاله، به منظور کمی‌سازی کیفیت قالب‌های مورد بررسی، دو پارامتر انحراف از گونیایی قالب و ناهمواری قالب تعریف شد. با انجام برازش خطی از نتایج به‌دست آمده، رابطه‌ای تجربی با دقت بالا برای تخمین اثر این دو پارامتر قالب بر ضریب کاهش مقاومت فشاری بتن ارائه شد. این رابطه نشان می‌دهد که هرچه انحراف از گونیایی قالب و ناهمواری قالب بیشتر شود، مقدار ضریب کاهش مقاومت فشاری بتن کمتر می‌گردد.

کلمات کلیدی: قالب، انحراف از گونیایی، ناهمواری، مقاومت فشاری

۱. مقدمه

یکی از عوامل تأثیرگذار بر نتایج مقاومت فشاری بتن که عموماً در پروژه‌های عمرانی و تحقیقاتی به آن توجه کافی نشان داده نمی‌شود، کیفیت قالب آزمون‌ها است. این در حالیست که در استاندارد ملی ایران به شماره ۱-۱۶۰۸ [۱] (معادل استاندارد ۱-۱۲۳۹۰ BS [۲]) ضوابط مربوط به کیفیت قالب درج شده‌است. به همین دلیل، در این تحقیق، تأثیر کیفیت شش نوع قالب مکعبی $۱۵۰ \times ۱۵۰ \times ۱۵۰$ میلی‌متر شامل دونوع قالب فولادی و چهار نوع قالب پلاستیکی بر نتایج مقاومت فشاری بتن پانزده طرح مخلوط بتن در سنین مختلف بررسی شد. نتایج این تحقیق اهمیت پرداختن به مقوله کیفیت قالب‌های بتن برای اندازه‌گیری مقاومت فشاری را نشان می‌دهد.

۲. قالب‌های مورد استفاده در تحقیق

در ایران، به دلیل سهولت بیشتر، عموماً تمایل بر این است که برای انجام آزمایش مقاومت فشاری بتن، از قالب‌های مکعبی استفاده شود و استفاده از قالب‌های استوانه‌ای رواج چندانی ندارد هرچند که ضوابط پذیرش و طراحی بتن در آئین‌نامه بتن ایران [۳] و مبحث نهم مقررات ملی ساختمان [۴] بر مبنای آزمون استوانه‌ای ۱۵۰×۳۰۰ میلی‌متر است و با اعمال ضرایبی، نتایج آزمون‌های مکعبی به نتایج استوانه‌ای تبدیل می‌شود. به همین دلیل، در این تحقیق، تأثیر کیفیت قالب‌های مکعبی بر نتایج مقاومت فشاری بتن مورد بررسی قرار گرفت.

شکل ۱، تصاویر شش نوع قالب بررسی‌شده در این تحقیق را نشان می‌دهد. همانطور که در این شکل مشخص است، دو نوع قالب فولادی و چهار نوع قالب پلاستیکی بررسی شد. نام‌گذاری این قالب‌ها بر مبنای جنس، رنگ و قدیمی یا جدید بودن آنها انجام شده‌است. منظور از قالب‌های قدیمی، قالب‌هایی است که بیش از شش‌ماه از آنها استفاده شده‌است و منظور از قالب‌های جدید، قالب‌هایی است که به تازگی تهیه شده‌اند و کمتر از شش‌ماه از آنها استفاده شده‌است. قالب‌های فولادی به صورت سه تکه (دو قطعه L شکل وجوه جانبی+کف) و قالب‌های پلاستیکی به صورت یک‌تکه بودند. شش عدد از هر نوع قالب مورد بررسی به این اختصاص داده شد.

۳. نحوه تهیه آزمون‌ها و انجام مقاومت فشاری

در مجموع، از پانزده بتن ساخته شده در بچینگ شرکت فهاب بتن با طرح مخلوط‌های مختلف نمونه‌گیری شد. آزمایش مقاومت فشاری آزمون‌های تهیه شده در دو سن (عموماً ۷ روز و ۲۸ روز) انجام شد. نتیجه مقاومت فشاری به‌دست آمده برای قالب‌ها در سنین مختلف، از میانگین نتایج دو تا شش آزمون به‌دست آمده است. در مجموع، تعداد آزمون‌های اخذ شده برابر ۳۳۲ عدد بوده‌است.



فولادی جدید (Sn)



فولادی قدیمی (So)



پلاستیکی آبی جدید (Bln)



پلاستیکی مشکی قدیمی (Bo)



پلاستیکی سفید جدید (Wn)



پلاستیکی سفید قدیمی (Wo)

شکل ۱- تصاویر قالب‌های مورد بررسی

۴. بررسی کیفیت قالب‌ها

در استاندارد ملی ایران به شماره ۱۶۰۸-۱ (معادل استاندارد BS 12390-1) دو پارامتر تخت بودن^۱ و قائم بودن^۲ سطوح قالب و آزمون‌ها تعریف شده است. برخی از ضوابط مربوط به قالب مکعبی به شرح زیر است:

- رواداری مجاز تخت بودن چهار وجه جانبی قالب، در قالب‌های نو، ۰/۰۰۰۳ اندازه قالب و در قالب‌های استفاده شده، ۰/۰۰۰۵ اندازه قالب به میلی‌متر است.
- رواداری تخت بودن رویه‌ی بالایی صفحه کف قالب در قالب‌های نو، ۰/۰۰۰۶ اندازه قالب به میلی‌متر و در قالب‌های استفاده شده ۰/۰۰۱ اندازه قالب به میلی‌متر است.
- رواداری قائم بودن سطوح جانبی قالب نسبت به یکدیگر، و همچنین نسبت به صفحه‌ی کف قالب، ۰/۵ میلی‌متر است.

در این تحقیق، دو پارامتر ناهمواری و انحراف از گونیایی برای نشان دادن مقدار تخت نبودن و قائم نبودن سطوح قالب تعریف و اندازه‌گیری آنها مطابق استاندارد ملی ایران به شماره ۱۶۰۸-۱ انجام شد. در شکل ۲، تصویر اندازه‌گیری این دو پارامتر نشان داده شده است.

برای اندازه‌گیری ناهمواری، از یک نوار شیشه‌ای و ابزار فیلر سنج استفاده شد؛ به این صورت که نوار شیشه‌ای در جهات مختلف روی سطح قرار گرفت و بزرگترین اندازه فیلر عبوری از بین نوار شیشه‌ای و هر سطح قالب به عنوان ناهمواری آن سطح ثبت شد (شکل ۲). میانگین ناهمواری به دست آمده از چهار سطح جانبی قالب که امکان قرارگیری زیر سطوح جک دستگاه اندازه‌گیری مقاومت فشاری را دارند، به عنوان نتیجه ناهمواری کل قالب محاسبه شد.

برای اندازه‌گیری انحراف از گونیایی، از یک گونیای فلزی و ابزار فیلر سنج استفاده شد؛ به این صورت که پس از قرار دادن دو وجه گونیای فلزی روی سطوح جانبی و کف قالب (شکل ۲)، حداکثر مقدار فیلر عبوری بین هر سطح جانبی و گونیا به عنوان انحراف از گونیایی آن سطح جانبی اندازه‌گیری شد. البته لازم به ذکر است که این روش اندازه‌گیری انحراف از گونیایی وقتی میسر است که زاویه بین سطوح جانبی قالب و کف محدب باشد؛ زیرا در این صورت است که می‌توان گونیا را روی این دو وجه قرار داد. البته برای خارج کردن آزمون‌ها از قالب‌های یک‌تکه، لازم است که این زوایا محدب باشد. میانگین انحراف از گونیایی به دست آمده از چهار سطح جانبی قالب که امکان قرارگیری زیر سطوح جک دستگاه اندازه‌گیری مقاومت فشاری را دارند، به عنوان نتیجه انحراف از گونیایی کل قالب محاسبه شد.

۵. نتایج به دست آمده و تحلیل آنها

در شکل‌های ۳ تا ۷، نتایج مقاومت فشاری آزمون‌های تهیه شده با قالب‌های مختلف نسبت به قالب فولادی قدیمی (S0) نشان داده شده است. علت این کار این است که از قالب فولادی قدیمی برای تهیه آزمون‌ها از اکثر بتن‌های ساخته شده استفاده شده است. لذا بیشترین تعداد مقایسه نتایج قالب‌های مختلف نسبت به این قالب میسر بود. همانطور که پیشتر ذکر شد، هر نتیجه مقاومت میانگین دو تا شش آزمون است.

برازش خطی و ضریب تعیین (R^2) هر نمودار در شکل‌های ۳ تا ۷ نشان داده شده است. با توجه به روابط برازش خطی ارائه شده، می‌توان دریافت که شیب رابطه، نشان‌دهنده میانگین مقاومت هر قالب نسبت به قالب فولادی قدیمی (S0) است. به طور

^۱Flatness

^۲Perpendicularity

مثال، با توجه به شکل ۴، می‌توان دریافت که نتایج مقاومت فشاری قالب پلاستیکی مشکی قدیمی (B0) به طور میانگین ۰/۹۸۴ نتایج مقاومت فشاری قالب فولادی قدیمی (S0) است. مقادیر ضرایب تعیین (R^۲) برازش‌های خطی نمودارهای ارائه شده در شکل‌های ۳ تا ۷، به دلیل نزدیک بودن به مقدار یک، نشان دهنده دقت بالای برازش‌های انجام شده است.

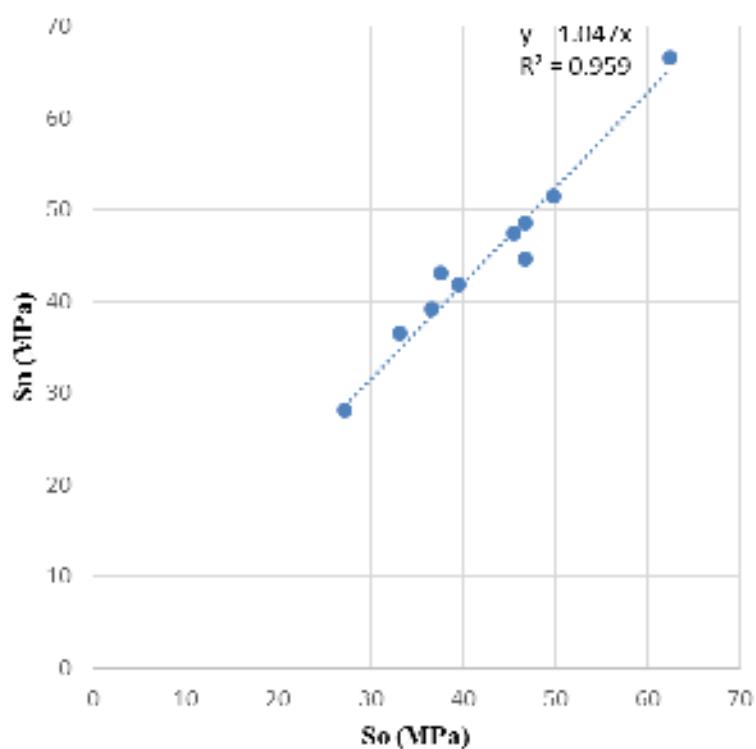


اندازه‌گیری انحراف از گونیایی

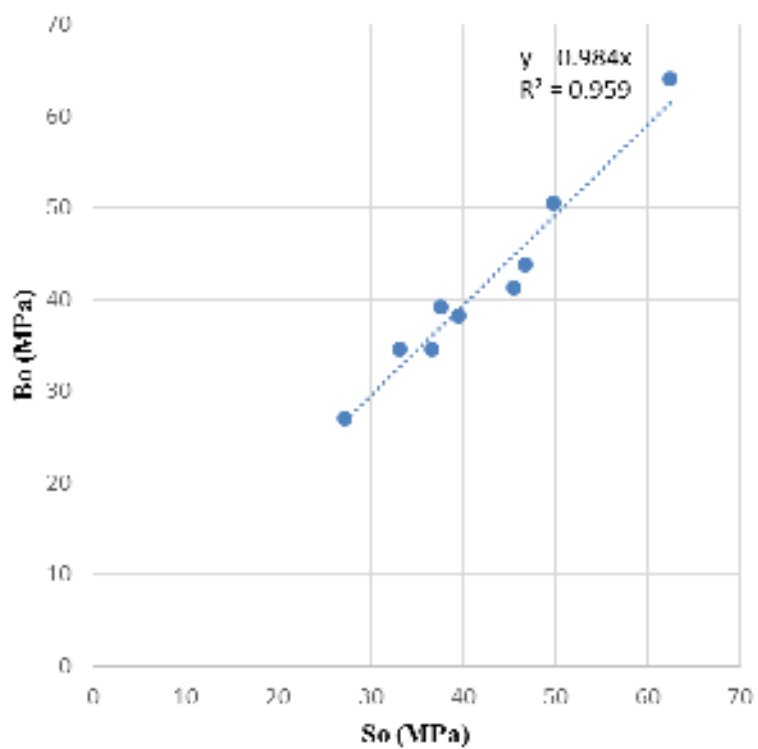


اندازه‌گیری ناهمواری

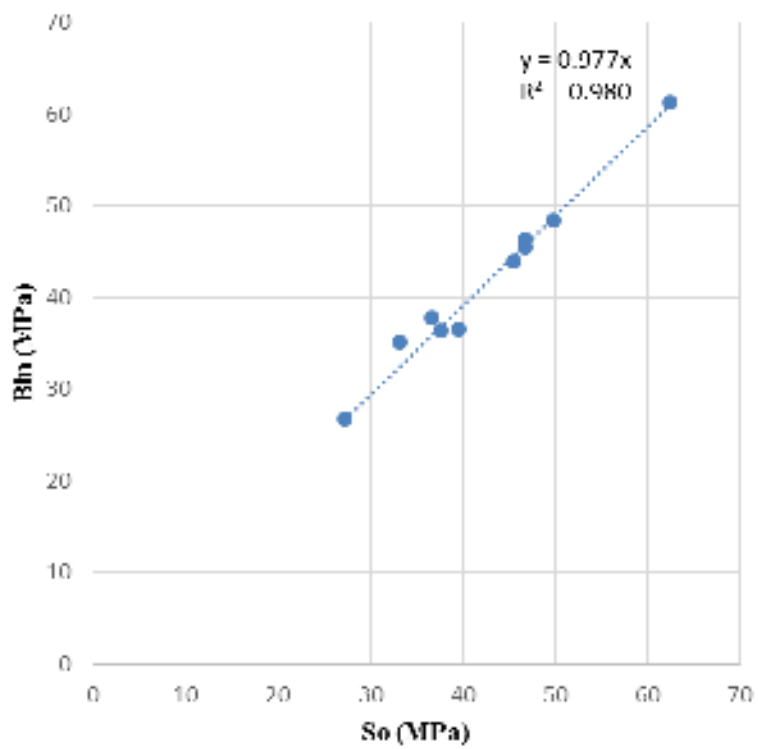
شکل ۲- اندازه‌گیری ناهمواری و انحراف از گونیایی قالب‌ها



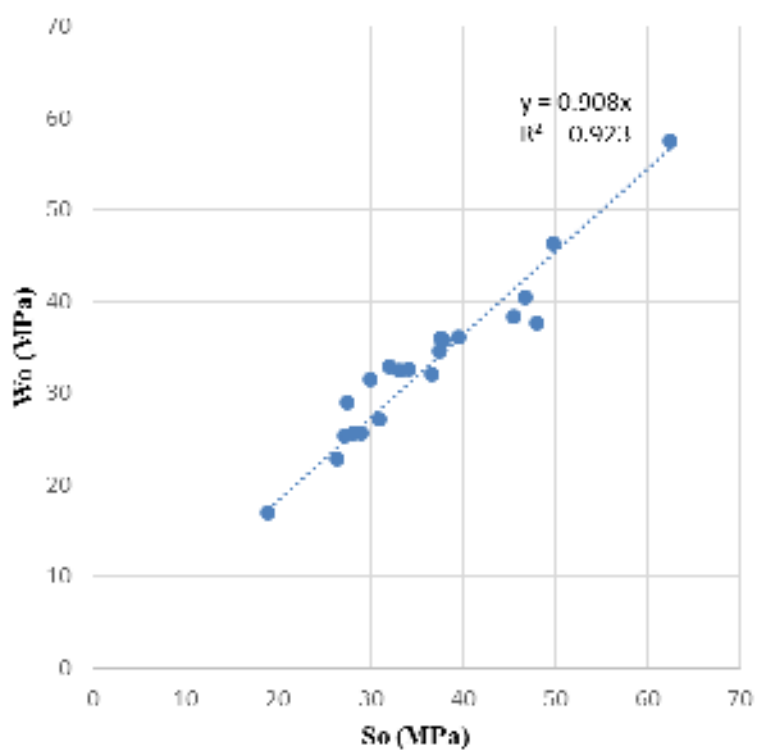
شکل ۳- مقایسه نتایج مقاومت فشاری قالب فولادی جدید (Sn) نسبت به قالب فولادی قدیمی (S0)



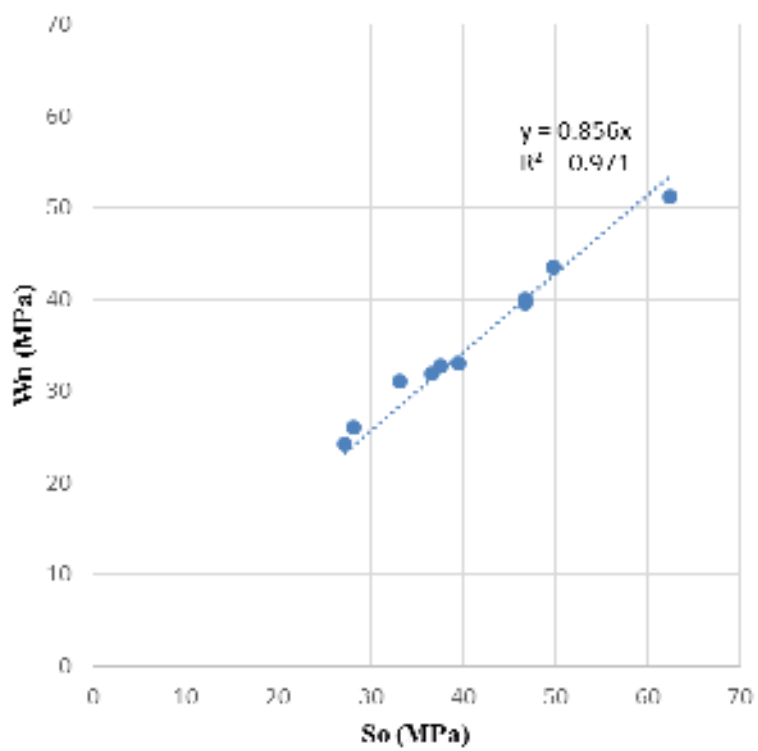
شکل ۴- مقایسه نتایج مقاومت فشاری قالب پلاستیکی مشکی قدیمی (B_o) نسبت به قالب فولادی قدیمی (S_o)



شکل ۵- مقایسه نتایج مقاومت فشاری قالب پلاستیکی آبی جدید (B_{in}) نسبت به قالب فولادی قدیمی (S_o)



شکل ۶- مقایسه نتایج مقاومت فشاری قالب پلاستیکی سفید قدیمی (W_o) نسبت به قالب فولادی قدیمی (S_o)



شکل ۷- مقایسه نتایج مقاومت فشاری قالب پلاستیکی سفید جدید (W_n) نسبت به قالب فولادی قدیمی (S_o)

در جدول ۱، قالب‌های مورد بررسی بر اساس بهترین عملکرد، از بالا به پایین مرتب شده‌اند. همچنین در این جدول، نسبت نتایج مقاومت کلیه قالب‌ها به نتایج مقاومت قالب فولادی قدیمی (So) که از روابط به‌دست آمده از برازش‌های انجام شده به دست آمده، ارائه شده است. با توجه به این جدول، قالب فولادی جدید (Sn) بهترین و قالب پلاستیکی سفید جدید (Wn) بدترین عملکرد را داشته‌اند. نسبت نتایج مقاومت کلیه قالب‌ها به نتایج بهترین قالب، یعنی قالب فولادی جدید (Sn)، نیز محاسبه و در جدول ۴-۱، درج شد. این ضرایب نشان می‌دهد که به طور متوسط، نتایج مقاومت فشاری بدترین قالب، یعنی قالب پلاستیکی جدید (Wn)، نسبت به بهترین قالب، برابر ۰/۸۱۸ بوده است. به بیان دیگر، استفاده از این قالب به طور متوسط سبب افت مقاومت به مقدار ۱۸ درصد شده است.

جدول ۱- خلاصه نتایج مربوط به قالب‌ها

نوع قالب به ترتیب بهترین نتایج	نسبت نتایج مقاومت قالب‌ها به نتایج مقاومت قالب فولادی قدیمی (So)	نسبت نتایج مقاومت قالب‌ها به نتایج مقاومت قالب فولادی جدید (Sn)	ناهمواری (mm)	انحراف از گونیایی (mm)
فولادی جدید (Sn)	۱/۰۴۷	۱/۰۰۰	۰/۰۴۲	۰/۰۰۷
قالب فولادی قدیمی (So)	۱/۰۰۰	۰/۹۵۵	۰/۱۱۹	۰/۰۸۰
پلاستیکی مشکی قدیمی (Bo)	۰/۹۸۴	۰/۹۴۰	۰/۲۰۰	۰/۲۴۱
پلاستیکی آبی جدید (Bln)	۰/۹۷۷	۰/۹۳۳	۰/۱۴۴	۰/۲۶۳
پلاستیکی سفید قدیمی (Wo)	۰/۹۰۸	۰/۸۶۷	۰/۳۹۸	۰/۶۷۱
پلاستیکی سفید جدید (Wn)	۰/۸۵۶	۰/۸۱۸	۰/۳۳۵	۱/۴۸۵

در جدول ۱، پارامترهای ناهمواری و انحراف از گونیایی اندازه‌گیری شده برای قالب‌ها نیز قابل مشاهده است. به طور کلی می‌توان دریافت که هرچه مقادیر این دو ضعف در قالب‌ها بیشتر شده‌است، مقدار افت مقاومت به‌دست‌آمده از آزمون‌های تهیه‌شده از آنها افزایش یافته است. بدترین قالب مورد بررسی قالبی جدید بوده‌است در حالیکه این نوع قالب ظاهری بدون نقص داشت. در نتیجه کیفیت قالب در همان ابتدای استفاده می‌تواند نازل باشد. البته به مرور زمان و با استفاده بیشتر از قالب‌ها، ممکن است ناهمواری و انحراف از گونیایی قالب‌ها به دلیل ضربه، قرارگیری در برابر تابش خورشید و غیره افزایش یابد. نتیجه انحراف از گونیایی قالب سفید جدید (Wn) برابر ۱/۴۸۵ میلی‌متر است که بسیار بیشتر از قالب‌های دیگر است. انحراف از گونیایی زیاد سبب می‌شود که آزمون‌ها راحت‌تر از قالب‌های یک‌تکه خارج شوند و در نتیجه ممکن است در عمل، تمایل به

استفاده از قالب‌های یک تکه با انحراف از گونیایی بیشتر، به طور ناخودآگاه بیشتر باشد در حالیکه این موضوع می‌تواند سبب افت قابل توجه در نتایج مقاومت بتن شود.

همچنین از جدول ۱ می‌توان دریافت که عملکرد قالب‌های فولادی به دلیل دقت بیشتر در تولید و به تبع آن ضعف‌های کمتر، بهتر از قالب‌های پلاستیکی بوده‌است.

به‌منظور بررسی دقیق‌تر تأثیر دو پارامتر ناهمواری و انحراف از گونیای بر میزان افت مقاومت، رابطه‌ای خطی با استفاده از نرم‌افزار SPSS از مقادیر این دو پارامتر به عنوان متغیرهای مستقل و مقدار افت مقاومت به عنوان متغیر وابسته برازش داده شد (رابطه ۱). ضریب تعیین (R^2) این رابطه برابر ۰/۹۷۷ به دست آمد که نشان‌دهنده دقت بالای برازش انجام شده‌است.

$$RF = 1,000,20AFD - 0.073PD \quad (1)$$

که در آن:
 RF : ضریب کاهش مقاومت
 FD : ناهمواری
 PD : انحراف از گونیایی

چنانچه در رابطه ۱، مقادیر ناهمواری (FD) و انحراف از گونیایی (PD) برابر صفر در نظر گرفته شود (قالب کاملاً تخت و سطوح جانبی آن نسبت به کف گونیا باشد)، ضریب کاهش مقاومت برابر ۱/۰۰ خواهد بود. با افزایش مقادیر پارامترهای ورودی، ضریب کاهش مقاومت کوچکتر می‌شود (مقدار افت مقاومت افزایش می‌یابد). همچنین با توجه به رابطه ۱، عبارت $0.0208FD$ نشان‌دهنده سهم ناهمواری و عبارت $0.073PD$ نشان‌دهنده سهم انحراف از گونیایی بر کاهش مقاومت است. نتایج به دست آمده در این تحقیق نشان می‌دهد که تأثیر قالب بر مقاومت فشاری بتن، می‌تواند بسیار قابل توجه باشد، درحالی‌که عمدتاً دست‌اندرکاران بتن مانند مشاورین، پیمانکاران، شرکت‌های بتن آماده و آزمایشگاه‌های بتن دارای صلاحیت به این امر توجهی نمی‌کنند. این موضوع می‌تواند منجر به مشکلاتی همچون طراحی نادرست طرح‌های مخلوط و ارزیابی نادرست مقاومت فشاری بتن‌های اجرا شده در پروژه‌ها و در پی آن، اختلافات فنی و حقوقی بین دست‌اندرکاران مختلف بتن شود. لازم به توجه است که قالب‌های مورد بررسی در این تحقیق همگی ظاهراً بدون نقص بوده‌اند، در حالی‌که در مواردی مشاهده می‌شود که برای تهیه آزمون‌ها در کارگاه‌ها از قالب‌های دارای ضعف‌های ظاهری قابل مشاهده، مانند شکستگی و اعوجاج استفاده می‌شود. در نتیجه برای این قالب‌ها، کاهش نتایج مقاومت بیشتری از قالب‌های مورد بررسی در این تحقیق، قابل تصور است. با توجه به موارد مذکور، تولید و استفاده از قالب‌های بتن مطابق با ضوابط استاندارد ملی ایران به شماره ۱-۱۶۰۸ بسیار ضروری است.

۶. نتیجه‌گیری

در این تحقیق به منظور ارزیابی مقدار تأثیر کیفیت قالب بر افت مقاومت، دو پارامتر ناهمواری و انحراف از گونیایی تعریف شد و رابطه‌ای تجربی برای آن به دست آمد. به‌طور کلی نتایج زیر به دست آمد:

- با افزایش مقادیر ناهمواری و انحراف از گونیایی، نتایج مقاومت فشاری کاهش می‌یابد.

- استفاده از بدترین قالب مورد بررسی، به‌طور متوسط سبب کاهش مقاومت فشاری اندازه‌گیری‌شده به مقدار ۱۸ درصد نسبت به بهترین قالب شد.
- قالب‌های فولادی به‌دلیل مقادیر ناهمواری و انحراف از گونیایی کمتر، نتایج مقاومت فشاری بهتری نسبت به قالب‌های پلاستیکی به‌دست دادند.
- عدم توجه به تأثیر کیفیت قالب بر نتایج مقاومت فشاری، می‌تواند سبب ارزیابی نادرست نتایج مقاومت فشاری در پروژه‌ها و به تبع آن بروز اختلافات بین کارفرما و تولیدکننده بتن (به‌طور مثال کارخانه بتن آماده) شود. لذا لازم است از قالب‌های بتن مطابق با ضوابط استاندارد ملی ایران به شماره ۱-۱۶۰۸ استفاده شود.

۷. قدردانی

نویسندگان این مقاله مراتب سپاس خود را نسبت به حمایت‌های مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی و شرکت فهاب بتن اعلام می‌دارند.

۸. مراجع

[۱] استاندارد ملی ایران به شماره ۱-۱۶۰۸، بتن سخت‌شده- قسمت ۱: شکل، ابعاد و سایر الزامات آزمون‌ها و قالب‌ها، ۱۳۹۳.

[۲] BS EN ۱۲۳۹۰-۱:۲۰۰۹, Testing hardened concrete. Shape, dimensions and other requirements for specimens and moulds.

۷۳۱ آئین‌نامه بتن ایران. نشریه ۱۲۰ سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور، ۱۳۷۹.

[۴] طرح و اجرای ساختمان‌های بتن آرمه، مبحث نهم مقررات ملی ساختمان، ۱۳۹۲.

Investigation of the Quality Effect of 150 mm×150 mm×150 mm Cubic Molds on Concrete Compressive Strength Results

Ali Zolghadri¹, Mohammad Karbalaee Ali², Mohammadsadegh Chitforoushzadeh³,
Raziyeh Pashae⁴, Sina Alizadeh⁵, Mohsen Tadayon⁶, Babak Ahmadi^{7*}

1. Lab Manager of Fahab Beton Co.
2. Quality Manager of Fahab Beton Co.
3. Production Quality Manager of Fahab Beton Co.
4. Lab Engineer of Fahab Beton Co.
5. Research & Development Manager of Fahab Beton Co.
6. Chairman of the Board of Iranian Concrete Institute
7. Assistant Professor of Road, Housing& Urban Development Research Center

*Corresponding Author Email Address: b.ahmadi@bhrc.ac.ir

Abstract

One of the influential factors on concrete compressive results, which is often neglected in construction and research projects, is the quality of specimen molds. In this study, the effect of six types of 150mm×150mm×150mm cubic molds, including two types of steel molds and four types of plastic molds, on compressive strength results of fifteen concrete mixtures at different ages were investigated. It was found that using the worst of the studied molds led to 14% reduction of the measured compressive strength compared to the best one. This results show that the effect of mold on compressive strength of concrete can be very considerable. This issue can result in complications such as inaccurate measurement of concrete strength produced in construction projects and incorrect mixture design and hence, legal and technical disputes among the sides who are involved in concrete. In addition, in this paper, in order to quantify the quality of the studied molds, two parameters of perpendicularity deviation and flatness deviation were defined. Applying a linear regression for the obtained results, an empirical formula with high accuracy was presented to predict the effect of the two parameters of mold on concrete compressive strength reduction factor. This formula indicates that reduction factor decreases when perpendicularity deviation and flatness deviation values increase.

Keywords: Mold, Perpendicularity deviation, Flatness deviation, Compressive strength
