Iranian Concrete Society

Investigation on Effect of Flatness and Perpendicularity deviation of Cubic Molds on Concrete Compressive Strength

Babak Ahmadi*
Assistant Professor, Road, Housing & Urban Development Research Center, Tehran, Iran
b.ahmadi@bhrc.ac.ir

Ali Zolghadri
M.S.C.E in Highway and Transportation Engineering, University of Zanjan, Zanjan, Iran

Babak Froutan Mehr
Member of the Board of Directors, Fahab Beton Company, Tehran, Iran

Mohsen Tadayon
Inspector of the Iranian Concrete Institute , Hamedan, Iran
Research paper

Abstract

One of the influential factors on concrete compressive strength 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 150 mm×150 mm×150 mm cubic molds, including two types of steel molds and four types of plastic molds, on compressive strength (17 MPa to 67 MPa) results of fifteen concrete mixtures at different ages were investigated. It was found that using the worst of the studied molds led to an 18% reduction of the measured compressive strength compared to the best one. These results show that the effect of mold on compressive strength of concrete can be very considerable. This issue can result in incorrect mixture design and an inaccurate measurement of concrete strength produced in construction projects and hence, legal and technical disputes among the sides involved in construction projects. In addition, in this paper, to quantify the quality of the studied molds, two parameters of flatness and perpendicularity deviation were defined. Through 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 molds on the concrete compressive strength reduction factor. This formula indicates that the reduction factor decreases when perpendicularity deviation and flatness deviation values increase.

Keywords: Perpendicularity Deviation, Flatness Deviation, Compressive Strength, Concrete Molds, Quality Effect

***Corresponding Auther**: Babak Ahmadi
Zolghadri, A., Ahmadi, B., Froutan Mehr, B., Tadayon, M. Investigation on Effect and Flatness and Perpendicularity deviation of Cubic Molds on Concrete Compressive Strength Results. *Journal of Concrete Structures and Materials*, 2023; 8(1): 151-140. http://doi.org/10.30478/jcsm.2023.392063.1314
2538-5828/ © 2023 The Authors. Published by Iranian Concrete Society
This is an open access article under the CC BY license (http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

انجمن علمی بتن ایران

دریافت مقاله: ۱۴۰۲-۰۱-۱۷

پذیرش مقاله: ۱۴۰۲-۰۸-۰۹

بررسی اثر ناهمواری و انحراف از گونیایی قالب‌های مکعبی بر نتایج مقاومت فشاری بتن

بابک احمدی

استادیار مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی

b.ahmadi@bhrc.ac.ir

(نویسنده مسئول)

علی ذوالقدری

کارشناس ارشد راه و ترابری، دانشگاه زنجان

بابک فروتن‌مهر

عضو هیئت مدیره شرکت فهاب بتن

محسن تدین

بازرس انجمن بتن ایران

نوع مقاله: مقاله پژوهشی

چکیده

یکی از عوامل تاثیرگذار بر نتایج آزمون تعیین مقاومت فشاری بتن که عموماً در پروژه‌های عمرانی و تحقیقاتی به آن توجه کافی نمی‌شود، کیفیت قالب آزمونه‌ها است. در این تحقیق، تاثیر کیفیت شش نوع قالب مکعبی با ابعاد ۱۵۰*۱۵۰*۱۵۰ میلی‌متر شامل دو نوع قالب فولادی و چهار نوع قالب پلاستیکی بر نتایج مقاومت فشاری بتن (در محدوده ۱۷ تا ۶۷ مگاپاسکال) شامل پانزده طرح مخلوط در سنین مختلف بررسی شد. مشاهده شد که اختلاف بین متوسط کمترین و بیشترین نتایج مقاومت فشاری برای قالب‌های مورد بررسی به طور متوسط به مقدار ۱۸درصد بوده است که نشان می‌دهد کیفیت قالب آزمونه‌ها بر مقاومت فشاری بتن می‌تواند بسیار قابل‌توجه باشد. 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 به‌دست‌آمده، 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 آن بیشتر شود، مقدار ضریب کاهنده تاثیر کیفیت قالب بر مقاومت فشاری بتن کوچکتر می‌گردد.

۱- مقدمه

کیفیت قالب آزمونه‌ها یکی از عوامل تأثیرگذار بر نتایج مقاومت فشاری بتن است که عموماً در پروژه‌های عمرانی و تحقیقاتی مغفول باقی می‌ماند. این در حالیست که در استاندارد ملی ایران به شماره ۱-۱۶۰۸ [۱] (معادل استاندارد BS ۱۲۳۹۰-۱ [۲]) ضوابط مربوط به کیفیت قالب درج شده‌است.

مطالعات مختلفی روی تأثیر جنس قالب بتن [۵-۳]، وضعیت سطح پرداخت آزمونه‌ها [۸-۶]، کیفیت تراکم [۹] و همچنین شکل (مکعبی یا استوانه‌ای) و اندازه آزمونه‌ها روی نتایج مقاومت فشاری بتن [۱۲-۱۰] انجام شده‌است. جنس قالب نمونه‌برداری بتن از لحاظ صلبیت و جذب آب دارای اهمیت است. قالبی با صلبیت بیشتر تغییر شکل کمتری در طول انجام تراکم می‌دهد که منجر به ایجاد اعواج کمتر در آزمونه اخذ شده می‌شود. قالب‌های فولادی بیشترین صلبیت را در بین قالب‌های آزمونه دارند، اما عموماً این نوع قالب‌ها وزن و قیمت بیشتری نسبت به انواع دیگر قالب دارند. همچنین امکان نشت آب از درزهای قالب وجود دارد [۴]. استفاده از قالب‌های با صلبیت بالا برای ساخت آزمونه‌های بتن‌های پرمقاومت از اهمیت زیادی برخوردار است [۱۳]. گزارش شده که برای این نوع بتن، استفاده از قالب‌های پلاستیکی می‌تواند منجر به کاهش مقاومت فشاری به‌دست آمده تا ۱۴ درصد شود [۱۴و ۱۵]. داده‌های محدود نشان می‌دهد که تا ۲۰ بار استفاده مجدد از قالب‌های نمونه‌گیری استوانه‌ای می‌تواند باعث کاهش ۲۲ درصدی در نتایج مقاومت فشاری بتن‌های پرمقاومت گردد که این به دلیل افزایش اعوجاج سطح پیرامونی و سطح زیرین قالب است [۱۴]. در مطالعه‌ای که مدنی و همکاران انجام دادند [۱۶]، از سه نوع قالب مکعبی که شامل قالب فولادی، قالب پلاستیکی دوتکه و قالب پلاستیکی یک‌تکه بود، استفاده شد. برای اندازه‌گیری ناهمواری (اعوجاج سطحی) قالب‌ها و تاثیر آن بر مقاومت فشاری بتن از فیلرسنج استفاده شد. نتایج نشانداد که صرف نظر از سن و مقاومت فشاری، بتن‌های نمونه‌برداری شده توسط قالب فولادی به دلیل اعوجاج سطحی کمتر، مقاومت فشاری بیشتری نسبت به دو نوع دیگر دارند. در آن تحقیق، تا ۲۰ درصد کاهش در نتایج مقاومت فشاری آزمونه‌های نمونه‌برداری‌شده در قالب‌های پلاستیکی دو تکه در مقایسه با آزمونه‌های نمونه‌برداری شده در قالب‌های فولادی مشاهده شد. مطالعه‌ای توسط رضایی و مبارکه [۱۷] روی بتن‌هایی با مقاومت ۲۵ تا ۴۰ مگاپاسکال با استفاده از قالب‌های مکعبی پلاستیکی و فولادی انجام شد. نتایج نشان داد که آزمونه‌های گرفته‌شده با قالب‌های فولادی به طور متوسط ۸ درصد مقاومت فشاری بالاتری را نسبت به آزمونه‌های گرفته‌شده با قالب‌های پلاستیکی دارند. نویسندگان علت این پدیده را به عدم حذف کامل هوای محبوس‌شده در بتن نمونه‌برداری‌شده در قالب‌های پلاستیکی نسبت دادند [۱۷]. اوتونیو و ایمو، تأثیر نمونه‌گیری در قالب‌های فولادی، چوبی و پلاستیکی را روی نتایج مقاومت فشاری بتن ارزیابی کردند. مطالعه اصلی آن‌ها روی تأثیر نوع قالب‌های مکعبی و استوانه‌ای بر نتایج مقاومت فشاری بتن بود. این تحقیقات نشان‌داد که مقاومت فشاری بتن نمونه‌برداری شده با قالب‌های فولادی مکعبی، ۳۲ درصد بیشتر از بتن نمونه‌برداری شده توسط قالب‌های چوبی و پلاستیکی (در سن ۲۸ روز) است [۱۸]. نتایج مطالعات دیگری که روی قالب‌های استوانه‌ای پلاستیکی انجام شد، نشان داد که استفاده‌ی مجدد از قالب‌های پلاستیکی به دو علت نباید انجام شود، علت اول کاهش کیفیت قالب‌ها و خروج از رواداری ابعادی آن‌ها بود. دلیل دیگر آن، خارجکردن آزمونه از این نوع قالب بود که با استفاده از هوای فشرده انجام میگرفت و این موضوع، منجر به شکسته‌شدن لبه‌ی آزمونه و در نتیجه عدم کلاهک‌گذاری یکنواخت برای انجام آزمون مقاومت فشاری می‌شد[۲۲-۱۹]. در نمونه‌برداری با استفاده از قالب‌های مقوایی پارافینی استوانه‌ای، کاهش مقاومت فشاری بین ۳ تا ۲۱ درصد در پژوهش‌های دیگری گزارش شد [۲۴-۲۲، ۲۰و ۱۹]. یکی از مشکلات این نوع قالب‌ها نفوذ آب بود. آب از دیواره‌ها یا قسمت‌های انتهایی قالب نفوذ می‌کرد که باعث متورم شدن قالب می‌شد. در هوای گرم نیز، پارافین سطحی قالب‌های مقوایی ذوب شده و از دیواره‌ها به سمت کف قالب جریان می‌یافت و در نتیجه دیواره‌های قالب از حالت آب‌بندی خارج شده و رطوبت

بیشتری را جذب می‌کرد [۲۴-۲۲و ۲۰و ۱۹]. سطح تمام شده آزمونه‌های استوانه‌ای بسیار مهم است و پرداخت سطحی مناسب آن باید مورد توجه قرارگیرد [۸]. میله زدن شدید و بیش از حد در هنگام تراکم و نمونه‌برداری از بتن می‌تواند باعث شکم‌دادن کف قالب مقوایی و حبس حباب‌های هوا شود. سطح انتهایی ناهموار آزمونه‌های استوانه‌ای می‌تواند مشکلاتی را در کلاهک‌گذاری ایجاد کند. گزارش شده که گیرافتادن تصادفی حباب‌های هوا در زیر کلاهک گوگردی در آزمونه‌های استوانه‌ای، منجر به کاهش ۱۲درصدی مقاومت فشاری شده‌است [۱۵و ۶]. برخی دیگر پژوهش‌ها نشان‌داده است که در صورت حبس حباب‌های هوا، سطح ناهموار بین بتن و مواد کلاهک‌گذاری تنشی غیریکنواخت را در طول آزمایش مقاومت فشاری توزیع می‌کند و در نتیجه مقاومت فشاری می‌تواند تا ۲۷ درصد، بسته به نوع ماده کلاهک‌گذاری شده، کاهش یابد [۲۶ و ۲۵]. در آزمونه‌هایی که کلاهک‌گذاری مناسبی نیز داشتند، با محدب و مقعر بودن خود آزمونه در زیر کلاهک، به ترتیب تا ۱۰٪ و ۱۲٪ کاهش مقاومت مشاهده شده‌است [۲۷ و ۶].

تا به امروز، بیشتر مطالعات پژوهشی منتشر شده در خصوص کیفیت قالب روی قالب‌های استوانه‌ای متمرکز بوده‌اند و اطلاعات منتشرشده محدودی در مورد تأثیر کیفیت قالب‌های مکعبی بر نتایج مقاومت فشاری ارائه شده است. به همین دلیل، در این تحقیق، تأثیر کیفیت شش نوع قالب مکعبی با ابعاد ۱۵۰*۱۵۰*۱۵۰ میلی‌متر شامل دو نوع قالب فولادی و چهار نوع قالب پلاستیکی بر نتایج مقاومت فشاری بتن پانزده طرح مخلوط بتن در سنین مختلف بررسی شد. در این راستا با هدف بررسی دقیق‌تر و افزون بر تحقیقات گذشته، پارامترهای کیفیت قالب‌ها کمی‌سازی شد و اثر آن بر نتایج مقاومت فشاری به‌دست آمده مورد ارزیابی قرارگرفت. 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. به همین دلیل، در این تحقیق تأثیر کیفیت قالب‌های مکعبی بر نتایج مقاومت فشاری بتن مورد بررسی قرارگرفت. لازم به ذکراست که استفاده از قالب‌های استوانه‌ای در ایران، به دلیل وزن سنگین‌تر آزمونه‌های آن نسبت به آزمونه‌های قالب مکعبی و همچنین نیاز به کلاهک‌گذاری، رواج چندانی ندارد؛ هرچند که ضوابط پذیرش و طراحی بتن در آئین‌نامه بتن ایران [۲۹] و مبحث نهم مقررات ملی ساختمان [۳۰] بر مبنای آزمونه استوانه‌ای۳۰۰*۱۵۰ میلی‌متر است و با اعمال ضرایبی، نتایج آزمونه‌های مکعبی به نتایج استوانه‌ای تبدیل می‌شود.

مطابق شکل ۱، از شش نوع نوع قالب در این تحقیق استفاده شد. همانطور که در این شکل مشخص است، دو نوع قالب فولادی و چهار نوع قالب پلاستیکی بررسی شد. نام‌گذاری این قالب‌ها برمبنای 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 شش ماه از آن‌ها استفاده شده‌است. قالب های فولادی شامل سه قطعه، دو قطعه L شکل پیرامونی و یک صفحه زیرین بود. قالب‌های پلاستیکی نیز به صورت یکتکه بودند. به منظور انجام اندازه‌گیری‌ها، شش عدد قالب برای هر نوع از قالب‌ها اختصاص داده شد.

فولادی قدیمی (So)

فولادی جدید (Sn)

پلاستیکی مشکی قدیمی (Bo)

پلاستیکی آبی جدید(Bln)

پلاستیکی سفید قدیمی (Wo)

پلاستیکی سفید جدید (Wn)

شکل۱- تصاویر قالب‌های مورد بررسی

۳- نحوه تهیه آزمونه‌ها، و انجام آزمایش مقاومت فشاری

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

۴- بررسی کیفیت قالب‌ها

در استاندارد ملی ایران به شماره ۱-۱۶۰۸ (معادل استاندارد BS 12390-1 [31]) دو پارامتر تخت بودن[1] و قائم بودن[2] سطوح قالب و آزمونه 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 نشان‌دادن مقدار تخت نبودن و قائم نبودن سطوح قالب تعریف و اندازه‌گیری آن‌ها مطابق استاندارد ملی ایران به شماره ۱-۱۶۰۸ انجام شد. در شکل۲، تصویر اندازه‌گیری این دو پارامتر نشان داده شده‌است.

برای اندازه‌گیری ناهمواری، از یک نوار شیشه‌ای و ابزار فیلرسنج استفاده‌شد؛ 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-الف). 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 فیلرسنج استفاده‌شد؛ به این صورت که پس از قرار دادن وجوه گونیای فلزی روی سطوح جانبی و کف قالب (شکل۲- ب)، حداکثر مقدار فیلر عبوری بین هر سطح جانبی و گونیا به عنوان انحراف از گونیایی آن سطح جانبی اندازه‌گیری شد. میانگین انحراف از گونیایی به دست آماده 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.

الف- اندازه‌گیری ناهمواری

ب- اندازه‌گیری انحراف از گونیایی

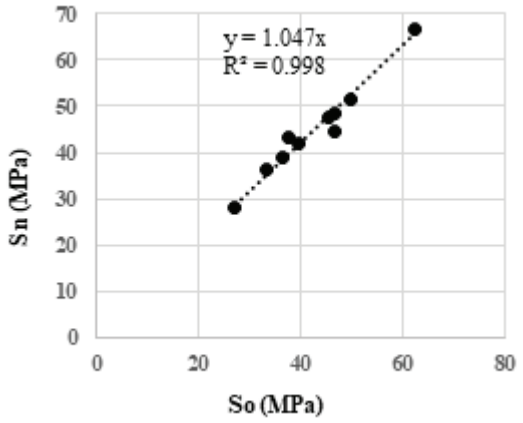
شکل۲- اندازه‌گیری ناهمواری و انحراف از گونیایی قالب‌ها

[1] Flatness
[2] Perpendicularity

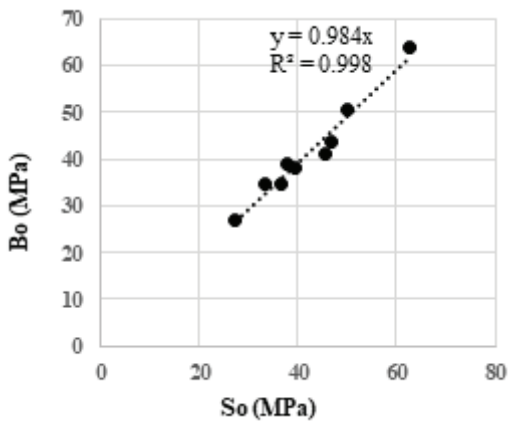
۵- نتایج به‌دست آمده و تحلیل آن‌ها

در شکل‌های ۳ تا ۷، نتایج مقاومت فشاری آزمونه‌های تهیه شده با قالب‌های مختلف نسبت به قالب فولادی قدیمی (So) نشان داده شده‌است. علت این کار این است که از قالب فولادی قدیمی برای تهیه آزمونه از اکثر بتن‌های ساخته شده استفاده شده بود؛ لذا بیشترین تعداد مقایسه نتایج قالب‌های مختلف نسبت به این قالب میسر بود. همانطور که پیشتر ذکر شد، هر نتیجه مقاومت میانگین ۲ تا ۶ آزمونه است.

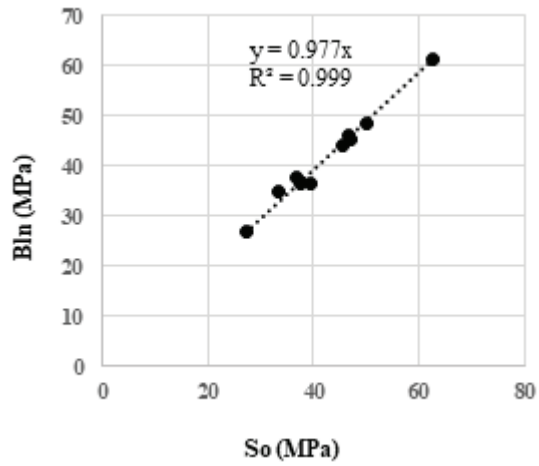
برازش خطی و ضریب تعیین (R^2) هر نمودار در شکل‌های ۳ تا ۷ نشان داده شده‌است. با توجه به روابط برازش خطی ارائه شده، می‌توان دریافت که شیب رابطه، نشان‌دهنده میانگین مقاومت هر قالب نسبت به قالب فولادی قدیمی (So) است. به طور مثال، با توجه به شکل ۴، می‌توان دریافت که نتایج مقاومت فشاری قالب پلاستیکی مشکی قدیمی (Bo) به طور میانگین ۰/۹۸۴ نتایج مقاومت فشاری قالب فولادی قدیمی (So) است. مقادیر ضرایب تعیین (R^2) برازش‌های خطی نمودارهای ارائه شده در شکل‌های ۳ تا ۷، به دلیل نزدیک بودن به مقدار یک، نشان می‌دهد که نسبت مقاومت فشاری یک نمونه در قالب‌های مختلف مستقل از طرح مخلوط و سن آزمایش است.



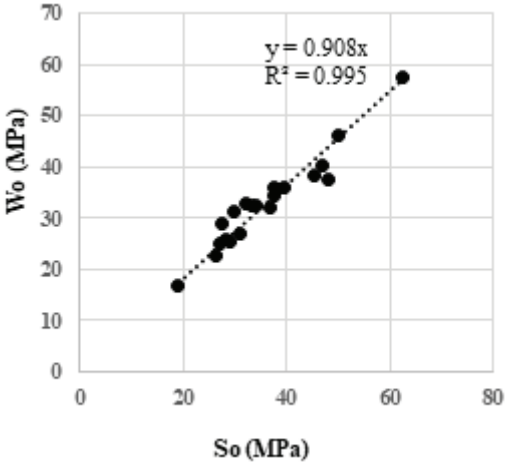
شکل ۳- مقایسه نتایج مقاومت فشاری قالب Sn نسبت به So



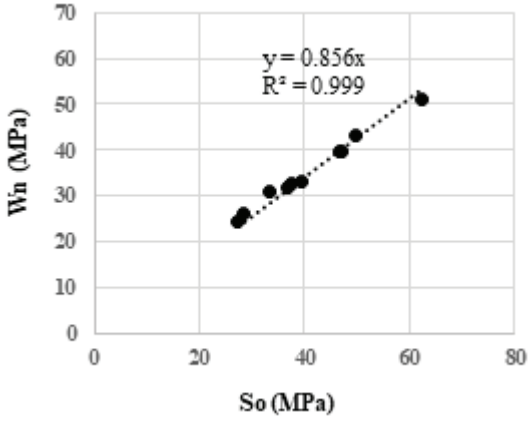
شکل ۴- مقایسه نتایج مقاومت فشاری قالب Bo نسبت بهSo



شکل ۵- مقایسه نتایج مقاومت فشاری قالب Bln نسبت به So



شکل ۶- مقایسه نتایج مقاومت فشاری قالب Woنسبت به So



شکل ۷- مقایسه نتایج مقاومت فشاری قالبWn نسبت به So

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 ۶، 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.

در جدول ۱، پارامترهای ناهمواری و انحراف از گونیایی اندازه‌گیری‌شده برای قالب‌ها نیز قابل مشاهده‌است. به طور کلی می‌توان مشاهده‌کرد که هرچه مقادیر این دو ضعف در قالب‌ها بیشتر شده‌است، مقدار افت مقاومت به‌دست‌آمده از آزمونه‌های تهیه‌شده از آن‌ها افزایش یافته است. . بدترین قالب مورد برسی قالب جدید بوده‌است در حالیکه این نوع قالب ظاهری بدون نقص داشت. درنتیجه 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 آزمونه‌ها 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 قابل‌توجهی در نتایج مقاومت بتن شود.

همچنین از جدول۱ می‌توان دریافت که عملکرد قالب‌های فولادی به دلیل دقت بیشتر در تولید و تغییر شکل کمتر در طول استفاده و به تبع آن‌ها ضعف‌های کمتر، بهتر از قالب‌های پلاستیکی بوده‌است.

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 (میلی‌متر)	انحراف از گونیایی (میلی‌متر)
Sn	۱/۰۴۷	۱/۰۰۰	۰/۰۴۲	۰/۰۰۷
So	۱/۰۰۰	۰/۹۵۵	۰/۱۱۹	۰/۰۸۰
Bo	۰/۹۸۴	۰/۹۴۰	۰/۲۰۰	۰/۲۴۱
Bln	۰/۹۷۷	۰/۹۳۳	۰/۱۴۴	۰/۲۶۳
Wo	۰/۹۰۸	۰/۸۶۷	۰/۳۹۸	۰/۶۷۱
Wn	۰/۸۵۶	۰/۸۱۸	۰/۳۳۵	۱/۴۸۵

به‌منظور بررسی دقیق‌تر تأثیر این دو پارامتر بر میزان افت مقاومت، رابطه‌ای خطی با استفاده از نرم‌افزار SPSS از مقادیر این دو پارامتر به عنوان متغیرهای ورودی با مقدار افت مقاومت به عنوان متغیر خروجی برازش داده شد (رابطه۱). ضریب تعیین (R^2) این رابطه برابر ۰/۹۷۷ به دست آمد که نشان‌دهنده دقت بالای برازش انجام شده‌است.

$$RF = 1.00 - 0.208FD - 0.073PD$$

رابطه (۱)

که در آن:

ضریب کاهش مقاومت: RF

ناهمواری: FD

انحراف از گونیایی: PD

چنانچه در رابطه۱، مقادیر ناهمواری (FD) و انحراف از گونیایی (PD) برابر صفر در نظر گرفته شود (قالب کاملاً تخت و سطوح آن 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 نشان دهنده سهم ناهمواری و عبارت نشان‌دهنده سهم انحراف از گونیایی بر کاهش مقاومت است.

نتایج به دست آمده در این تحقیق نشان‌می‌دهد که تأثیر تخت بودن و قائم بودن صفحات 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 ذکر است که تمامی قالب‌های انتخاب‌شده در این پژوهش از لحاظ ظاهری بی‌عیب و نقص بوده‌اند، درحالیکه معمولاً در کارگاه‌های ساختمانی مشاهده می‌شود که قالب‌های مورد استفاده دارای عیوب فیزیکی قابل توجه مانند شکستگی و اعوجاج سطحی(ناهمواری) زیادی هستند. بنابراین انتظار کاهش مقاومت فشاری بیشتری را می‌توان از این نوع قالب‌ها متصور بود. درنتیجه تولید و استفاده از قالب‌های بتن مطابق با ضوابط استاندارد ملی ایران به شماره ۱-۱۶۰۸ بسیار ضروری است.

نتیجه‌گیری

عدم‌توجه به تاثیر کیفیت قالب‌های نمونه‌برداری بتن بر نتایج مقاومت فشاری می‌تواند باعث ایجاد مشکلات قابل‌توجهی بین کارفرمایان و تولیدکنندگان بتن (به عنوان مثال، شرکت های بتن آماده) شود. در این پژوهش، برای ارزیابی تاثیر کیفیت قالب‌های آزمونه‌های مقاومت فشاری بر نتایج مقاومت فشاری، دو پارامتر شامل ناهمواری و انحراف از گونیایی تعریف شد. علاوه بر این، رابطه‌ای تجربی با استفاده از تحلیل رگرسیون خطی پیشنهاد شد و نتایج زیر بدست آمد:

- نتایج مقاومت فشاری با افزایش ناهمواری و انحراف از گونیایی به طور قابل‌توجهی کاهش یافت.
- استفاده از بدترین قالب مورد بررسی به‌طور متوسط منجر به کاهش مقاومت فشاری تا ۱۸ درصد نسبت به بهترین آن شد.
- قالب‌های فولادی به دلیل دقت بیشتر در ساخت و آسیب‌پذیری کمتر در برابر استفاده‌های مکرر، ناهمواری و انحراف از گونیایی کمتری داشتند که منجر به دستیابی به نتایج مقاومت فشاری بالاتری نسبت به قالب‌های پلاستیکی شد.

تشکر و قدردانی

نویسندگان این مقاله از حمایت‌های مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی و شرکت بتن آماده فهاب برای انجام این تحقیق قدردانی می‌کنند.

منابع

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

[2] BS EN 12390-1:2009, Testing hardened concrete. Shape, dimensions and other requirements for specimens and molds.

[3] Carrasquillo, P. and R. Carrasquillo, Evaluation of the use of current concrete practice in the production of high strength concrete. Materials Journal, 1988. 85(1): p. 49-54.

[4] Cusens, A. Strength of concrete test cylinders cast in waxed paper molds. in Journal Proceedings. 1964.

[5] Day, R., The effect of mold size and mold material on compressive strength measurement using concrete cylinders. Cement, Concrete and Aggregates, 1994. 16(2): p. 159-166.

[6] Richardson, D.N., Effects of Testing Variables' Effects on the Comparison of Ceoprene Pad and Sulfur Mortar-Capped Concrete Test Cylinders. Materials Journal, 1990. 87(5): p. 489-495.

[7] Troxell, G. The effect of capping methods and end conditions before capping upon the compressive strength of concrete test cylinders. in Proceedings, American Society of Testing and Materials. 1942.

[8] Vincent, T. and T. Ozbakkaloglu, Influence of fiber orientation and specimen end condition on axial compressive behavior of FRP-confined concrete. Construction and Building materials, 2013. 47: p. 814-826.

[9] Ropke, J.C., Concrete problems: causes and cures. 1982.

[10] Ahmad, S.S. and Y.A. Elmenshawy, Numerical Prediction of Size Effect Factor for Different Compressive Strength Levels. Engineering and Computer Sciences, 2019. 2(6): p. 167-174.

[11] Li, M., et al., Specimen shape and size effects on the concrete compressive strength under static and dynamic tests. Construction and Building Materials, 2018. 161: p. 84-93.

[12] Qasim, O.A., A review paper on specimens size and shape effects on the concrete properties. International Journal of Recent Advances in science and technology, 2018. 5(3): p. 13-25.

[13]. Holland, T.C., Testing high strength concrete. Conor. Constr. Conor. Constr., 1987. 32(6): p. 534-536.

[14]. Hester, W.T., FIELD TESTING HIGH-STRENGTH CONCRETES: A CRITICAL REVIEW OF THE STATE OF THE ART. 1980.

[15]. Richardson, D.N., Effects of non-standard concrete cylinder testing techniques. Materials in civil engineering, 1989.

[16]. Madani, H., et al., Effects of Cubic Molds' Quality on the Compressive Strength and Distortion of Concrete Specimens. Journal of Concrete Structures and Materials, 2020. 5(1): p. 46-69.

[17]. Rezaei, M.J., Mobarakeh, M. , Study the Compressive Strength of Concrete Sampled in Plastic and Cast-Iron Molds, in International Conference on civil engineering, architecture and urban development management in Iran. 2018: Tehran, Iran.

[18]. Otunyo, A. and E. Imo, Evaluation of the effect of various types of moulds on compressive strength of concrete. Scientia Africana, 2018. 17(1).

[19]. Burmeister, R.A. Tests of paper molds for concrete cylinders. in Journal Proceedings. 1950.

[20]. Goldbeck, A.T., Are test cylinders indicative of the true strength of concrete in structures? The Crushed Stone, 1952. 27(2): p. 3-9.

[21]. Howard, E.L., Metal versus paper molds for concrete cylinders. ACI, 1951. 48: p. 98-99.

[22]. Wallace, G.B., Comparison of steel and cardboard molds for fabricating 6-by 12-inch concrete test cylinders. 1950: US Department of the Interior, Bureau of Reclamation, Research and Geology ....

[23]. Henning, N.E., Concrete test molds and concrete capping materials. ACI J., 1961. 32: p. 851-854.

[24]. Price, W.H. Factors influencing concrete strength. in Journal Proceedings. 1951.

[25]. Erntroy, H.C., The effect of some variations in the crushing procedure on the indicated cube compressive strength. , in The Experimental Research of Field Testing of Concrete. 1964, RILEM: Trondheim, Norway. p. 284-308.

[26]. Werner, G. The effect of type of capping material on the compressive strength of concrete cylinders. in Proceedings of ASTM. 1958.

[27]. Davis, H.E., G.E. Troxell, and G.F. Hauck, The testing of engineering materials. 1982.

[28]. ASTM C150 / C150M-15, Standard Specification for Portland Cement., ASTM International, West Conshohocken, PA, 2015.

[۲۹]. آئین‌نامه بتن ایران. نشریه ۱۲۰ سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور، ۱۳۷۹.

[۳۰]. طرح و اجرای ساختمان‌های بتن آرمه، مبحث نهم مقررات ملی ساختمان، ۱۳۸۸.

[31]. BS EN 12390-1:2009, Testing hardened concrete Part 3: esting hardened concrete. Shape, dimensions and other requirements for specimens and moulds.