تحلیل آماری تأثیر اتصال سرد بر مقاومت فشاری بتن ساخته شده به روش ملی طرح مخلوط بتن

آرش رفیعی
کارشناس ارشد، گروه مهندسی عمران، واحد بندر گز، دانشگاه آزاد اسلامی، بندر گز، ایران
احسان کریمی*
گروه مهندسی عمران، واحد بندرگز، دانشگاه آزاد اسلامی، بندرگز، ایران
karimi@bandargaziau.ac.ir
تاریخ دریافت: ۹۶/۱۰/۰۲ تاریخ پذیرش نهایی: ۹۶/۱۲/۱۷

چکیده:

از جمله مشکلات رایج در اجرای سازه‌های بتنی بروز درز یا اتصال سرد می‌باشد. ناپیوستگی به وجود آمده در جسم بتن درنتیجه اتصال سرد می‌تواند باعث ضعف سازه‌ای، افزایش نفوذپذیری، کاهش دوام، خوردگی میلگردها و نمای بد در بتن شود. در تحقیق حاضر، به‌منظور بررسی تأثیر اتصال سرد بر روی مقاومت فشاری بتن، ۱۹۲ عدد نمونه مکعبی به روش طرح اختلاط ملی در ۴ حالت، به‌نحوی که ۴۸ عدد نمونه بدون اتصال سرد، ۴۸ عدد نمونه با اتصال سرد به صورت افقی، ۴۸ عدد نمونه بااتصال سرد به صورت عمودی و ۴۸ عدد نمونه بااتصال سرد به صورت مورب در بازه‌ی زمانی ۲۴ ساعته بتن‌ریزی شده و پس از طی ۲۸ روز عمل‌آوری با شرایط استاندارد با دستگاه جک فشاری، مقاومت فشاری نمونه‌ها مورد ارزیابی قرارگرفته است. پس از ارزیابی‌های به‌عمل‌آمده بر روی نتایج حاصل از آزمایش‌ها، مقادیر تأثیر اتصال سرد بر روی مقاومت فشاری نمونه‌ها، عدم قطعیت و احتمال شکست نمونه‌ها مورد بررسی قرارگرفته است. نتایج تحلیل‌ها حاکی از آن است که به‌طور کلی ایجاد اتصال سرد در بتن باعث کاهش مقاومت فشاری بتن می‌گردد؛ اما میزان کاهش مقاومت فشاری در اثر ایجاد اتصال سرد به زاویه آن بستگی دارد. همچنین اندازه زاویه سطح اتصال سرد بر روی میزان احتمال شکست آن نیز تأثیر دارد.

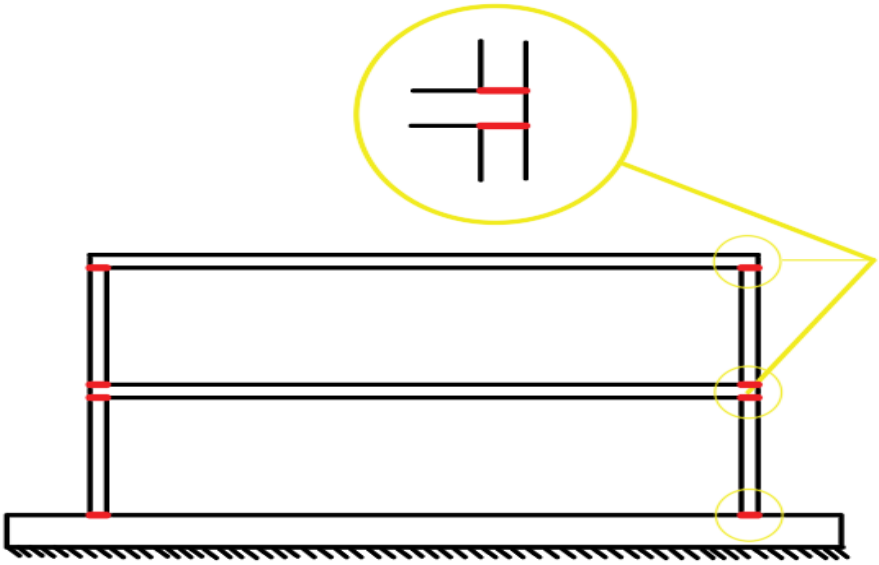
کلید واژگان: تحلیل آماری، اتصال سرد، مقاومت فشاری بتن، روش ملی طرح مخلوط بتن

Archive of SID
www.SID.ir

۱-مقدمه

توسعه مداوم طرح‌های عمرانی و حجم بزرگ سرمایه‌های دولتی و خصوصی که هرساله در کشور صرف انجام عملیات ساختمانی می‌شود اهمیت مطالعه، تدوین و به‌روزرسانی در زمینه طراحی اعضای سازه‌ای را آشکار می‌سازد. در این زمینه اساتید و دانشجویان رشته‌های مهندسی و بخصوص مهندسی عمران در تمامی گرایش‌ها هرساله با انجام مطالعات، مدل‌سازی‌ها و تحقیقات آزمایشگاهی سعی در بازنگری و رفع نقص آیین‌نامه‌ها و شرایط اجرایی رادارند. در این میان یکی از مواردی که اهمیت بسیار زیادی برخوردار است، مطابقت داشتن بین طراحی و اجرا سازه‌ها است. متأسفانه در پاره‌ای از موارد شاهد برخی از تفاوت‌ها در بین طرح‌های مدل‌سازی شده در نرم‌افزار با آنچه در حقیقت اجرا می‌گردد می‌شویم. با توجه به آگاهی مهندسین به این تفاوت‌ها، سال‌هاست که در مجامع دانشگاهی در سراسر دنیا محققین به تحقیق و مطالعه در این زمینه‌ها می‌پردازند تا بتوانند هرچه بیشتر بین طرح و اجرای سازه‌ها تطبیق ایجاد نمایند [۱]

در اجرای سازه‌های بتنی، زمان تأخیر و عدم ترتیب مناسب در بتن‌ریزی منجر به ایجاد درز سرد گشته که بر مقاومت بتن تأثیرگذار خواهد بود. بررسی تأثیر وضعیت درز سرد می‌توان از کاهش شدید مقاومت بتن جلوگیری کند [۲]. عملاً در تحلیل و طراحی سازه‌های بتن‌آرمه، محل اتصال در سازه در نرم‌افزار به‌صورت یکپارچه و متصل بین تیرها و ستون طبقه بالا و پایین و همین‌طور فونداسیون به ستون و محل‌های اتصال دیوار برشی و دال و پله در نظر گرفته می‌شود. شکل (۱) نشان‌دهنده‌ی محل قرارگیری اتصال سرد در اجرای متداول اسکلت‌های بتنی است که اصولاً ناشی از وقفه در بتن‌ریزی است. به‌نحوی‌که فاصله زمانی بین ریختن لایه‌های بتن آن‌قدر زیاد می‌شود که بتن‌ریزی گیرش خود را آغاز می‌کند و نمی‌توان ویبراتور را در لایه زیرین فرو نمود و لایه‌های بالا و پایین را باهم درگیر کرد. در این صورت درز سرد که یک درز ضعیف ناخواسته اجرائی است حاصل می‌شود. اتصال سرد ازجمله مشکلات رایج در اجرای سازه‌های بتنی است. اتصال سرد بسته به محل ایجاد و کاربری سازه، از منظر دوام و رفتار سازه‌ای، می‌تواند دارای اهمیت باشد. ناپیوستگی در جسم بتن، ضعف سازه‌ای، افزایش نفوذپذیری، کاهش دوام، خوردگی میلگردها و نمای بد از آثار ایجاد این نوع درز بتن است. توان کم در ساخت بتن، حمل و ریختن بتن ازنظر حجم کار، کم بودن زمان‌گیرش بتن و نبودن فرصت کار کافی، زیاد بودن سطح کار بتن‌ریزی و زیاد بودن ضخامت لایه‌های بتن ریخته شده از عوامل ایجاد درز سرد است.



شکل ۱- محل قرارگیری درز سرد در تراز هر طبقه

تاکنون کارهای تحقیقاتی زیادی بر روی بتن ازلحاظ خواص، دوام، مقاومت، پایایی، خصوصیات مکانیک شکست، عدم قطعیت و غیره انجام شده است. همچنین در مورد تأثیر اتصال سرد در بتن نیز کارهایی انجام‌شده است.

دیارآنتنام و رانگاناتان [3] یک بررسی آماری بر روی عدم قطعیت بتن‌های نمونه‌گیری شده در طی ۱۰ سال از پروژه‌های بتنی مختلف انجام دادند و در نهایت به این نتیجه رسیدند که احتمال شکست نمونه‌ها در حدود مجاز آئین‌نامه‌های مربوطه موجود است.

تعدادی تحقیق نیز بر روی خصوصیات مکانیک شکست نمونه‌های بتنی دارای اتصال سرد به‌صورت آزمایشگاهی مطالعاتی رو انجام داده‌اند [۶-۴].

کانش وتاپکایر [7] در مورد تأثیر وقفه زمانی در اجرای بتن دو طرف اتصال سرد بر روی مقاومت فشاری بتن با استفاده از نمونه‌های مکعبی با وضعیت اتصال سرد مطالعات آزمایشگاهی انجام دادند که بعد از بررسی نتایج، دریافتند که با افزایش میزان وقفه زمانی بتن‌ریزی و پیدایش اتصال سرد در بتن، مقاومت فشاری بتن به تناسب کاهش می‌یابد.

www.SID.ir

راتهی و کولاس [۸] برای مقابله با کاهش مقاومت فشاری بر اثر تشکیل اتصال سرد، از ماده‌ای به نام شکر به عنوان افزودنی درکنار سیمان، برای ایجاد تأخیر درگیرش بتن استفاده نمودند. برای اثبات این موضوع آزمایش‌هایی در ۳ وضعیت اتصال سرد و بازه‌های زمانی متفاوت، با افزودن درصدی قند یا شکر طبق مقادیر سیمان در آزمودن مقاومت فشاری موردبررسی قرار دادند؛ که سرانجام با بررسی آزمایش‌ها به این نتیجه رسیدند که برای غلبه بر این مشکل می‌توان در کنار سیمان، از ۱ درصد شکر به‌عنوان ماده افزودنی استفاده نمود. تا به این‌ترتیب تا حد زیادی از ایجاد کاهش مقاومت در نمونه جلوگیری نمود.

هدف از انجام این تحقیق، به دست آوردن میزان تأثیر اتصال سرد بر روی عدم قطعیت و احتمال شکست بتن در حالت فشاری است. عوامل بسیاری در پیدایش عدم قطعیت در مقاومت بتن نقش دارند که از جمله آن‌ها می‌توان به عوامل ذاتی نظیر خصوصیات مواد تشکیل‌دهنده بتن و نیز عواملی نظیر خطاهای هنگام ساخت و اجرا و همچنین عمل‌آوری و مراقبت از بتن اشاره نمود که در مورد تمامی بتن‌های یکپارچه امکان رخداد دارد؛ اما وجود عواملی نظیر پیدایش اتصال سرد ممکن است تأثیر قابل‌توجهی بر روی میزان عدم قطعیت در مقاومت بتن ایجاد نماید. بدین ترتیب در این تحقیق تلاش شده تا تأثیر وجود اتصال سرد در مقایسه با نمونه‌های یکپارچه بر روی عدم قطعیت بررسی گردد.

به این منظور جهت بررسی تأثیر درز سرد بر مقاومت فشاری بتن در این مقاله ۱۹۲ عدد نمونه مکعبی به روش طرح اختلاط ملی در ۴ حالت، به‌نحوی‌که ۴۸ عدد نمونه بدون اتصال سرد، ۴۸ عدد نمونه با اتصال سرد به‌صورت افقی، ۴۸ عدد نمونه بااتصال سرد به‌صورت عمودی و ۴۸ عدد نمونه بااتصال سرد به‌صورت مورب در بازه‌ی زمانی ۲۴ ساعته بتن‌ریزی شده و پس از طی ۲۸ روز عمل‌آوری با شرایط استاندارد با دستگاه جک فشاری، مقاومت فشاری نمونه‌ها مورد ارزیابی قرارگرفته است و بعد از ارزیابی‌های به‌عمل‌آمده بر روی نتایج حاصل از آزمایش‌ها، مقادیر تأثیر درز سرد بر روی مقاومت فشاری نمونه‌ها، عدم قطعیت و احتمال شکست نمونه‌ها مورد بررسی قرار گرفته تا در نهایت به این سؤال‌ها پاسخ داده شود که آیا وجود اتصال سرد در میزان مقاومت فشاری بتن تأثیر دارد؟ و آیا وجود درز سرد در عدم قطعیت مقاومت فشاری تأثیر دارد یا خیر؟

۲- روش تحقیق پژوهش

جهت انجام این پژوهش و بررسی تأثیر اتصال سرد بر مقاومت بتن، ۱۹۲ نمونه مکعبی در ابعاد ۱۵۰x۱۵۰x۱۵۰ میلی‌متر به روش طرح اختلاط ملی [۹] که نسبت‌های اختلاط به‌دست‌آمده از این روش برای تحقیق حاضر مطابق جدول (۱) در نظر گرفته‌شده است، در ۴ حالت، به‌نحوی‌که ۴۸ عدد نمونه بدون اتصال سرد، ۴۸ عدد نمونه بااتصال سرد به‌صورت افقی، ۴۸ عدد نمونه بااتصال سرد به‌صورت قائم و ۴۸ عدد نمونه با اتصال سرد به‌صورت مورب، مطابق شکل (۲)، در بازه‌ی زمانی ۲۴ ساعته بتن‌ریزی شده و پس از طی ۲۸ روز عمل‌آوری با شرایط استاندارد با دستگاه جک فشاری، مقاومت فشاری نمونه‌ها مورد ارزیابی شد. سپس با جمع‌آوری اعداد خروجی از آزمودن مقاومت، مقادیر تأثیر درز سرد بر روی مقاومت فشاری نمونه‌ها، عدم قطعیت و احتمال شکست نمونه‌ها موردمطالعه قرارگرفته‌اند.

جدول ۱- نسبت‌های اختلاط یک مترمکعب بتن طبق استاندارد طرح ملی

عنوان مصالح	سیمان مصرفی (پرت لند نوع ۲)	شن به‌صورت SSD	ماسه به‌صورت SSD	آب
مقدار (کیلوگرم در مترمکعب)	۴۱۵	۶۶۷	۱۰۰۱	۱۹۹

(نمونه به‌صورت یکپارچه)

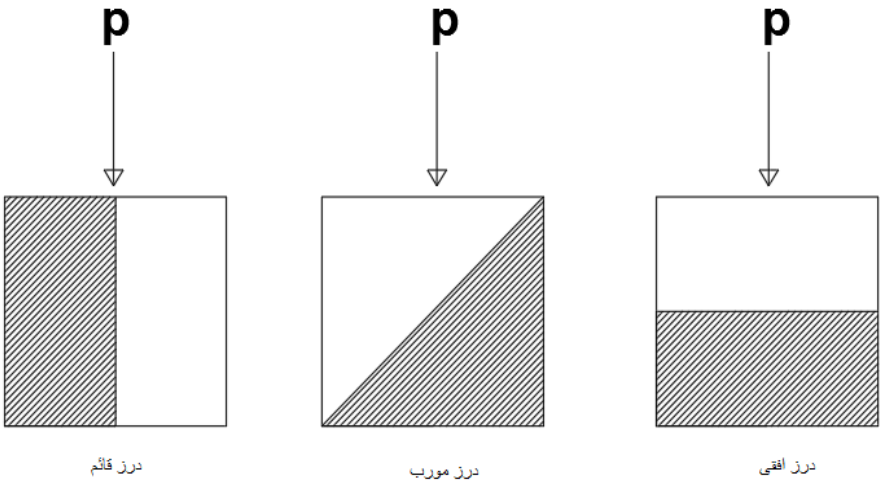
(نمونه با درز افقی)

Archive of SID
www.SID.ir

(نمونه با درز مورب) (نمونه بارز قائم)

شکل ۲- نمونه‌های ساخته شده در ۴ حالت، در تیپ‌های ۴۸ عددی

جهت اعمال باربر روی نمونه‌های ساخته‌شده پس از طی ۲۸ روز عمل‌آوری با شرایط استاندارد در دستگاه آزمون مقاومت فشاری در شکل (۳) نشان داده‌شده است.



شکل ۳- جهت اعمال نیرو بر روی نمونه‌ها

۳- نتایج آماری نمونه‌ها

نتایج عددی به دست آماده از تجزیه و تحلیل آماری مقاومت نمونه‌های ساخته‌شده اعم از نمونه‌های بدون درز سرد و نمونه‌های با درز سرد به صورت افقی، قائم و مورب در جدول (۲) و میزان کاهش مقاومت مشخصه‌های فشاری نمونه‌ها برای احتمال ۵ درصد برای نمونه‌های بدون درز و درزهای سرد به‌صورت افقی، قائم و مورب در نمودار (۱) نشان داده شده است. بر اساس تعریف، مقاومت فشاری مشخصه بتن، مقاومتی است که حداکثر ۵ درصد تمامی مقاومت‌های اندازه‌گیری شده برای رده بتن موردنظر ممکن است کمتر از آن باشد [۱۰]به این ترتیب می‌توان گفت احتمال شکست نظیر مقاومت فشاری مشخصه بتن ۵ درصد است.

اغلب آیین‌نامه‌ها مرتبط با بتن، نوع توزیع آماری بتن را نرمال در نظر می‌گیرند. بااین‌حال در این تحقیق برای اثبات صحّت این موضوع از آزمون k-s[15] استفاده شده است. در این آزمون اگر معیار تصمیم (P-Value) کمتر از ۵ درصد باشد، فرض صفر رد می‌شود، یعنی دلیلی برای رد این فرضیه که نمونه مورد نظر از توزیع نرمال به‌دست‌آمده است

1. Kolmogorov Sprimoph test

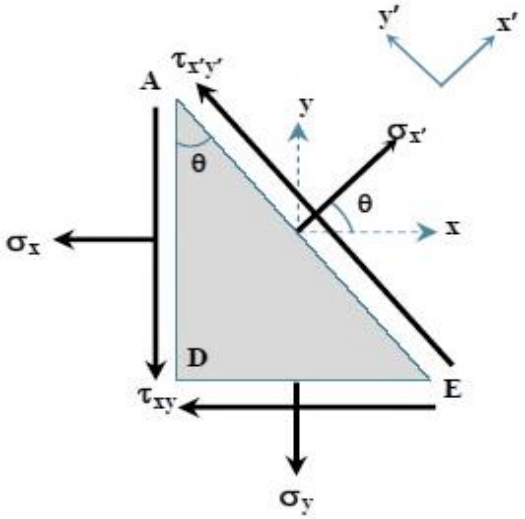
www.SID.ir

وجود ندارد[۱۱]. بدین ترتیب با مشاهده مقادیر P-Value در جدول (۲) می‌توان نتیجه گرفت که توزیع تمامی نمونه‌ها نرمال است.

جدول ۲- نتایج به‌دست‌آمده از تجزیه‌وتحلیل آماری نمونه‌ها

تیپ بندی نمونه‌ها	نمونه بتنی بدون درز سرد	نمونه بتنی با درز سرد (افقی)	نمونه بتنی با درز سرد (قائم)	نمونه بتنی با درز سرد (مورب)
تعداد	۴۸	۴۸	۴۸	۴۸
ماکسیمم مقاومت‌ها	MPa ۳۱/۳۴	MPa۴۸/۳۱	MPa ۹/۲۷	MPa ۷/۱۷
مینیموم مقاومت‌ها	MPa۵۱/۲۷	MPa ۷/۲۵	MPa ۲/۲۳	MPa۳۴/۷
میانگین مقاومت‌ها	MPa۹۲/۲۹	MPa۷۸/۲۸	MPa ۸/۲۵	MPa ۴۲/۱۲
انحراف معیار مقاومت‌ها	۶۱/۱	۶۶/۱	۴۶/۱	۵۲/۳
مقاومت فشاری برای احتمال ۵٪ شکست	MPa۲۸/۲۷	MPa۵/۲۶	MPa۳۸/۲۳	MPa۶۵/۶
P-Value	۷۷۳/۰	۹۴۴/۰	۴۶۹/۰	۳۷۲/۰

با استفاده از روابط ریاضی حاکم بر مقاومت مصالح و به کمک قوانین دایره مور (روابط ۱ و ۲ و شکل (۴)) می‌توان صحّت نتایج بین حالت درز افقی و درز مورب را بررسی نمود.



شکل ۴- وضعیت تنش‌های موجود بر روی المان فرضی با سطح مورب

$$\sigma_{X'} = \frac{\sigma_X+\sigma_Y}{2} + \frac{\sigma_X-\sigma_Y}{2}\cos 2\theta + \tau_{XY}\sin 2\theta$$ رابطه‌ی (۱)

$$\sigma_{Y'} = \frac{\sigma_X+\sigma_Y}{2} - \frac{\sigma_X-\sigma_Y}{2}\cos 2\theta - \tau_{XY}\sin 2\theta$$ رابطه‌ی (۲)

Archive of SID
www.SID.ir

با در نظر گرفتن $\theta = ۴۵^{\circ}$ برای حالت درز مورب و نیز $\sigma_X = ۰$ و $\tau_{XY} = ۰$ و اعمال آن در رابطه‌ی (۲) می‌توان نتیجه گرفت که مقاومت حالت درز مورب ازلحاظ تئوری برابر نصف مقاومت حالت درز افقی برای حالت بارگذاری مشابه است که با مقایسه نتایج مربوط به میانگین مقاومت این دو حالت در جدول (۲) مشاهده می‌شود که این موضوع به‌طور حدودی محقق شده است.

جدول ۳- مقاومت فشاری نظیر احتمال ۵ درصد خرابی

حالت	نمونه بتنی بدون درز سرد	نمونه بتنی با درز سرد (افقی)	نمونه بتنی با درز سرد (قائم)	نمونه بتنی با درز سرد (مورب)
مقاومت فشاری	MPa۲۸ /۲۷	MPa۵/۲۶	MPa۳۸/۲۳	MPa۶۵/۶

نمودار (۱) نشان‌دهنده‌ی مقادیر نسبت مقاومت مشخصه نمونه‌ها در مقایسه با نمونه یکپارچه است که کاهش مقاومت مشخصه‌های فشاری نمونه‌ها برای احتمال ۵ درصد برای نمونه‌های بدون درز و با درزهای سرد به‌صورت افقی، قائم و مورب مشاهده می‌شود. این نمودار بیان‌کننده‌ی این موارد است که ایجاد اتصال سرد، به ترتیب به‌صورت افقی، باعث افت ۶/۳۳ درصدی مقاومت فشاری بتن، ایجاد اتصال سرد به‌صورت قائم، باعث افت ۱۵/۹۳درصدی مقاومت فشاری بتن و ایجاد اتصال سرد به‌صورت ۴۵ درجه (مورب)، باعث افت ۷۶/۱ درصدی مقاومت فشاری بتن، نسبت به مقاومت فشاری بتن برای احتمال ۵٪ نمونه‌های بدون درز سرد شده است.

نمودار ۱- نمودار نسبت مقاومت فشاری نظیر احتمال ۵ درصد خرابی همه حالات نسبت به حالت بدون درز

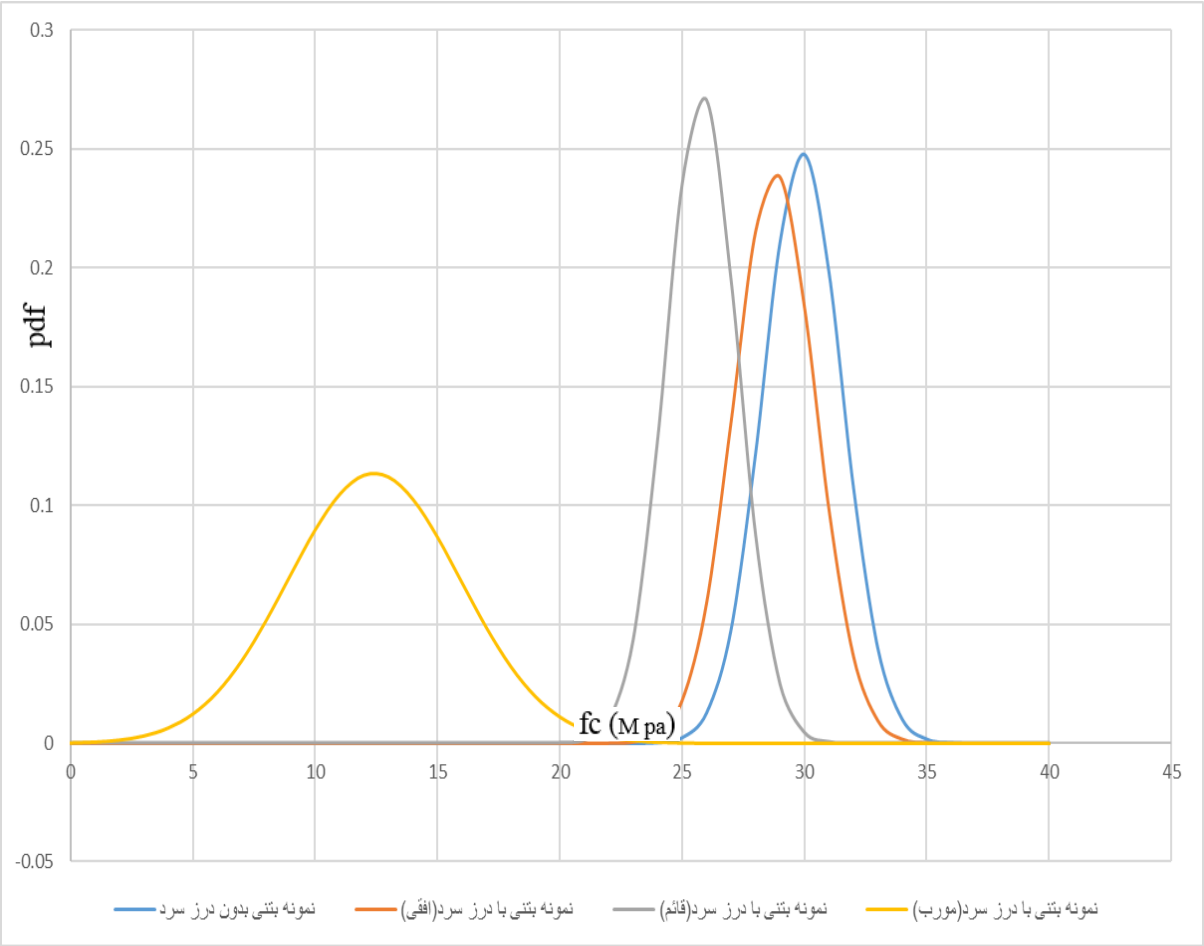
۴- قطعیت یا عدم قطعیت متغیرهای به‌دست آمده از آزمایش‌ها

به‌منظور درک بهتر اندازه‌گیری و به دست آوردن اندازه‌گیری‌های باکیفیت بالا، عدم قطعیت یا قطعیت بیان می‌شود. عدم قطعیت یک عامل همراه با نتیجه اندازه‌گیری است که محدوده مقادیری را معین می‌کند که نتیجه اندازه‌گیری می‌تواند داشته باشد و مقدار آن نشان‌دهنده سطح اطمینانی است که مقدار واقعی موردانداز‌ه‌گیری شده در محدوده تعیین‌شده، قرار می‌گیرد [۱۲]. در نمودار (۲) منحنی‌های Pdf با استفاده از رابطه (۱) برای هر حالت از نمونه‌های ساخته‌شده اعم از نمونه‌های بدون درز سرد و نمونه‌های با درز سرد به‌صورت افقی، قائم و مورب رسم گردیده است.

$$f_x = \frac{۱}{\sigma_x\sqrt{2\pi}} exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu_x}{\sigma_x}\right)^2\right] \quad \text{رابطه (۳)}$$

در این رابطه، μ_x و σ_x به ترتیب مقادیر میانگین و انحراف معیار داده‌ها می‌باشند [۱۳].

www.SID.ir



نمودار ۲- نمودار pdf مقاومت‌های فشاری متغیرهای نمونه‌های بتنی بااتصال سرد و نمونه بدون اتصال سرد

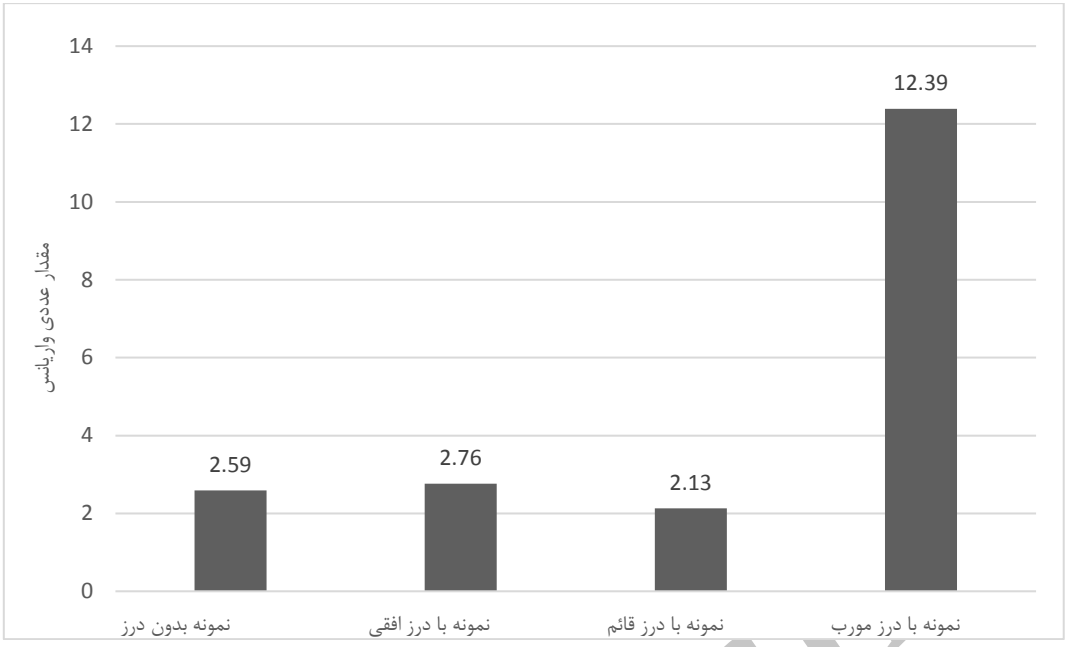
به علت متقارن بودن منحنی‌های نرمال، رأس قله منحنی بیانگر میانگین داده‌ها است. هرچه مقدار انحراف معیار از میانگین بیشتر باشد و فاصله داشته باشد عدم قطعیت موضوع بیشتر بوده و برعکس، هرچه مقدار انحراف معیار از میانگین کمتر باشد و فاصله‌ی کشیدگی منحنی تا خط وسط منحنی کمتر باشد، قطعیت موضوع بیشتر است. طبق نمودار (۲) انحراف معیارهای نمونه‌های بتنی بدون درز سرد و نمونه‌های بتنی با درز سرد به علت اختلاف کم نسبت به هم در یک رنج و به ترتیب از نمونه بتنی با درز افقی و درز قائم کاهش‌یافته. بنا به نوع منحنی و کشیدگی و تیز بودن قله‌ی منحنی، می‌توان بر کمتر بودن عدم قطعیت مقاومت‌های به‌دست‌آمده نتیجه گرفت. یا به بیان دیگر که در نمونه‌هایی که اتصال سرد به‌صورت افقی صورت گرفته نسبت به نمونه‌های یکپارچه بدون درز سرد، علاوه بر کاهش مقاومت، قابلیت اعتماد پایین‌تری برخوردار است. همین‌طور در نمونه‌هایی که اتصال به‌صورت قائم صورت گرفته کاهش مقاومت داشته است، اما قابلیت اعتماد بیشتری نسبت به نمونه‌های با درز افقی برخوردار است. برخلاف منحنی‌های نمونه بتنی بدون درز سرد و نمونه های بتنی با درز سرد افقی و قائم، منحنی نمونه‌های بتنی با درز سرد مورب اختلاف فاحش را نشان داده و می‌توان از کشیدگی منحنی و پایین بودن قله منحنی نسبت به قله‌ی منحنی‌های دیگر و بیشتر بودن انحراف معیار نسبت به سایر حالات، عدم قطعیت مقاومت فشاری نمونه بتنی با درز سرد مورب را بیان نمود که علاوه بر کاهش مقاومت چشم‌گیر، دارای قابلیت اعتماد بسیار پایین‌تری است.

۵- مقدار واریانس نمونه‌ها

عدم قطعیت را می‌توان با استفاده از مقدار واریانس که همان مجذور انحراف معیار است بیان نمود. هرچه مقدار واریانس بیشتر باشد، عدم قطعیت بیشتر است.

مقادیر واریانس نمونه بدون اتصال سرد و نمونه‌های بتنی بااتصال سرد به‌صورت افقی، قائم و مورب در نمودار (۳) نشان داده‌شده است.

Archive
www.SID.ir



نمودار ۳- مقادیر واریانس نمونه‌ها

طبق مقادیر واریانس مندرج در نمودار (۳) عدم قطعیت نمونه‌ها رو به افزایش است. مقدار ۱۲/۳۹ مربوط به نمونه با درز مورب است که نسبت به عدد ۲/۵۹ که مربوط به نمونه بدون اتصال سرد است، افزایش چشم گیری داشته است، این اختلاف عددی بیان‌کننده این است که نمونه-های با درز سرد مورب، عدم قطعیت بیشتری را نسبت به نمونه‌ای دیگر داراست.

در نمونه‌های بااتصال سرد قائم، نسبت به نمونه‌های بدون اتصال سرد و نمونه‌های بااتصال سرد افقی کاهش مقدار واریانس و مقدار انحراف معیار مشاهده می‌شود. این مسئله را می‌توان بدین‌صورت بیان کرد که وقتی نقصی نظیر اتصال سرد در نمونه بتنی ایجاد می‌شود، بدیهی است که مقاومت کاهش و عدم قطعیت در سیستم افزایش پیدا کند. ولی در نمونه‌های با درز قائم خلاف این موضوع اتفاق افتاده است. در حقیقت بااینکه مقاومت دچار کاهش شده اما عدم قطعیت نیز کاهش پیداکرده است. همان‌گونه که مشاهده می‌شود مقدار واریانس نمونه‌های با درز قائم حتی از نمونه‌های بدون درز هم کمتر شده است. این موضوع احتمالاً به این دلیل است که در حالت با درز قائم، بارگذاری به‌موازات سطوح درز است و وضعیت آزمایش تا حدودی شبیه به آزمایش شکافت نمونه استوانه‌ای (تست برزیلی) است؛ به‌عبارت‌دیگر برخلاف حالت با درز افقی که سطوح واریز تقریباً تحت‌فشار خالص و نیز حالت مورب که سطوح واریز تحت تنش‌های توأم قائم وبرشی می‌باشند، امّا در حالت با درز قائم از تنش‌های قائم بر سطوح واریز و درنتیجه آن مقاومت برش اصطکاکی تقریباً اثری نبوده و سطوح واریز عمدتاً تحت تنش‌های کششی قرار می‌گیرند.

این مسئله باعث می‌شود که سطوح واریز که اصولاً به کمک لایه‌ی بسیار نازکی از دوغاب سیمان به یکدیگر متصل شده‌اند، به‌راحتی گسسته شوند. در حقیقت می‌توان گفت که در حالت با درز قائم شکست نمونه به‌شدت تابع گسیختگی و جدایش سطوح واریز از یکدیگر است، درحالی‌که در حالت افقی و مورب، شکست کل نمونه، علاوه بر سطوح واریز، تابع اجزای بتن خارج از ناحیه اتصال سرد نیز است و پراکندگی پارامترهای تاثیرگزار بیشتر است.

بدین ترتیب می‌توان کم شدن عدم قطعیت در حالت با درز قائم را به کم شدن عوامل مؤثر در مقاومت در برابر گسیختگی در مقایسه با حالات با درز افقی و مورب بیان نمود. به طورکلی در نمونه با درز قائم، شکست نمونه به شدت تابع شکست اتصال سرد موجود است.

۶- مقادیر احتمال شکست نمونه‌ها

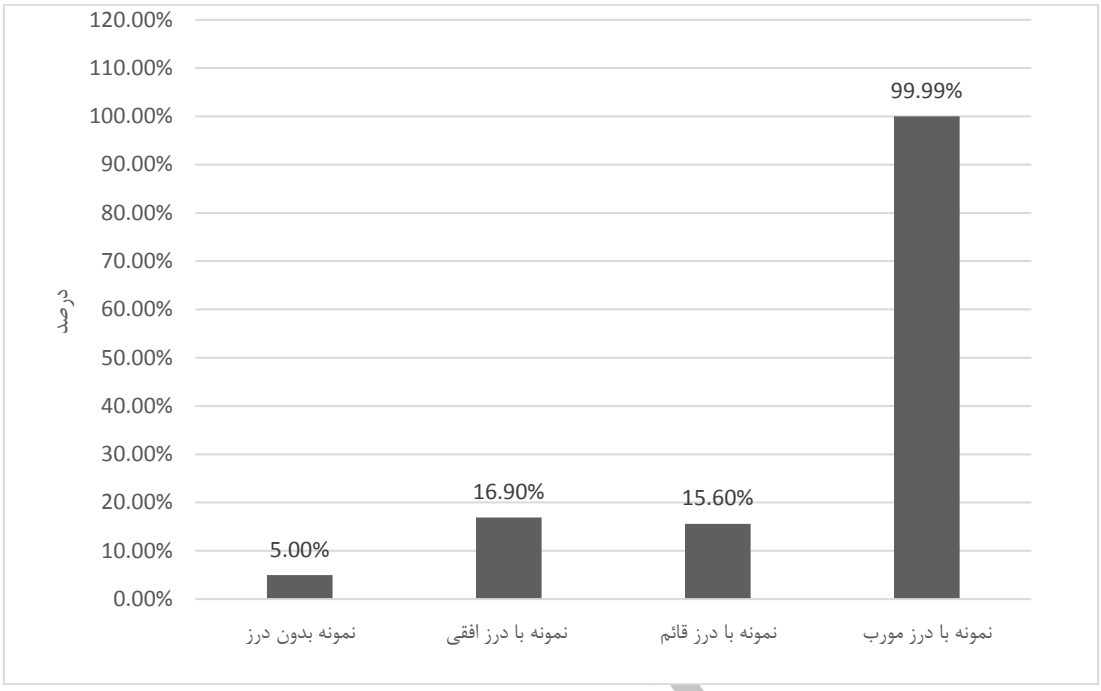
طبق تعریف مقاومت فشاری مشخصه بتن، مقاومتی است که حداکثر ۵ درصد کلیه مقاومت‌های اندازه‌گیری شده برای رده‌ی بتن موردنظر ممکن است کمتر از آن باشد [۱۴].

به‌عبارت‌دیگر احتمال خرابی یا احتمال شکست نظیر مقاومت مشخصه برای رده‌ی بتن موردنظر معادل ۵ درصد است. اصولاً تاکنون طراحان برای سازه‌های بتنی، تمام اعضای سازه‌ای و نیز کل سازه را بدون در نظر گرفتن اتصال سرد و صرفاً با در نظر گرفتن مقدار مقاومت مشخصه بتن که از آزمایش استاندارد برای نمونه‌های یکپارچه به دست می‌آید طراحی می‌نموده‌اند. این در حالی است که در اجرای متعارف اسکلت های بتنی در ترازهای بالا و پایین ستون‌ها و دیوارهای برشی به علت قطع بتن‌ریزی اتصال سرد به وجود می‌آید. مقادیر به دست آمده از آزمایش‌ها طبق جدول (۳) نشان داد که وجود اتصال سرد حتی عمود بر راستای بارگذاری می‌تواند در میزان مقاومت فشاری بتن تأثیر گزار باشد. حال برای اینکه مشخص گردد که مقاومت مشخصه‌ای که برای رده‌ی بتن موردنظر در این تحقیق به دست‌آمده، برای سایر حالات با درز افقی، قائم و مورب، نظیر چه میزان احتمال خرابی در آن‌ها است، مقادیر مربوطه با توجه به منحنی‌های توزیع هریک، محاسبه و در جدول (۳) ارائه‌شده است. احتمال خرابی یا شکست نمونه‌های بتنی بدون اتصال سرد و نمونه‌های بتنی بااتصال سرد افقی، قائم و مورب و نسبت

Archive of SID

www.SID.ir

احتمال شکست هر حالت به حالت نمونه‌ی بدون اتصال سرد در جدول (۳) و نمودار (۴) نشان داده‌شده است.



نمودار ۴- مقادیر احتمال شکست نمونه‌ها برای حالات بدون درز و با درزهای افقی، قائم و مورب

جدول ۴- مقادیر احتمال شکست نظیر مقاومت مشخصه fc=۲۷/۲۸ MPa برای حالات مختلف اتصال سرد

تیپ بندی نمونه‌ها	نمونه‌های (بدون درز سرد)	نمونه‌های با درز (افقی)	نمونه‌های با درز (قائم)	نمونه‌های با درز (مورب)
میانگین‌مقاومت‌نمونه‌ها	MPa ۹۲/۲۹	MPa۸۷/۲۸	MPa ۸۱/۲۵	MPa ۴۲/۱۲
احتمال‌شکست‌برای (fc)	۰۵/۰	۱۷/۰	۱۶/۰	۹۹/۰
نسبت احتمال شکست هر حالت نسبت به حالت بدون اتصال سرد	۱	۴/۳	۲/۳	۸/۱۹

Archive of SID
www.SID.ir

در جدول (۴) مقاومت مشخصه نمونه بدون درز fc=۲۷/۲۸ MPa معیار محاسبه مقادیر احتمال شکست در تمامی حالات در نظر گرفته شده است. در حقیقت، هدف از ارائه جدول (۴) نشان دادن تأثیر اتصال سرد بر روی احتمال شکست نمونه‌های بتن است.

همان‌گونه در این جدول دیده می‌شود، با ایجاد اتصال سرد در بتن، احتمال خرابی به میزان قابل توجهی افزایش می‌یابد به نحوی‌که احتمال خرابی در نمونه‌های با درز افقی، قائم و مورب به ترتیب حدود ۳/۴، ۳/۲ و ۱۹/۸ برابر نسبت به نمونه بدون درز افزایش می‌یابد.

۷- نتیجه‌گیری

در این تحقیق ۱۹۲ نمونه بتنی مکعبی به روش طرح اختلاط ملی در ۴ حالت به‌نحوی‌که ۴۸ نمونه بدون اتصال سرد، ۴۸ نمونه بااتصال سرد افقی، ۴۸ نمونه بااتصال سرد قائم و ۴۸ نمونه بااتصال سرد مورب باوقفه زمانی ۲۴ ساعته در اجرای بتن جدید و قدیم در نمونه‌های دارای اتصال سرد در آزمایشگاه ساخته و تحت شرایط استاندارد عمل‌آوری و نهایتاً تمامی نمونه‌ها با رسیدن به سن ۲۸ روز توسط دستگاه جک فشاری مورد آزمایش قرار گرفتند. سپس مقاومت‌های فشاری حاصل ازهر حالت با استفاده از روش‌های آماری موردبررسی و ارزیابی قرار گرفتند. نتایج حاصل از این تحقیق به شرح ذیل می‌باشند:

الف) نتایج به‌دست‌آمده نشان داده است که به‌طورکلی ایجاد اتصال سرد باعث کاهش مقاومت فشاری بتن می‌شود به‌نحوی‌که برای نمونه‌های با درز افقی، قائم و مورب به ترتیب حدود ۱۵/۶۹۳/۲۳ و ۷۶/۹ درصد کاهش مقاومت فشاری نظیر ۵ درصد احتمال خرابی نسبت به حالت بدون اتصال سرد مشاهده گردید.

ب) مشاهده گردید که میزان کاهش مقاومت فشاری در اثر ایجاد اتصال سرد به زاویه سطح اتصال سرد نسبت به محور بارگذاری بستگی دارد به‌نحوی‌که در حالت مورب (با زاویه ۴۵ درجه) کمترین مقاومت فشاری حاصل گردید.

ج) مقدار واریانس حاصل از نمونه‌ها در چهار حالت مورد مطالعه، نشان می‌دهد که با اضافه شدن اتصال سرد در نمونه‌ها میزان عدم قطعیت افزایش می‌یابد؛ به‌عبارت دیگر وجود اتصال سرد باعث بالا رفتن میزان عدم قطعیت در نمونه‌های بتنی می‌گردد.

د) با مشاهده مقدار واریانس‌ها به‌دست‌آمده می‌توان نتیجه گرفت که داشتن زاویه نسبت به محور افق یا قائم در سطح اتصال سرد باعث بالا رفتن میزان عدم قطعیت در مقاومت فشاری در نمونه‌ها خواهد گردید.

ه) مشاهده گردید وجود اتصال سرد در بتن، احتمال خرابی را به میزان قابل‌توجهی افزایش می‌دهد، به‌نحوی‌که احتمال خرابی در نمونه‌های افقی، قائم و مورب به ترتیب حدود ۳/۴، ۳/۲ و ۱۹/۸ برابر نسبت به نمونه بدون درز افزایش می‌یابد.

ذ) در صورت در نظر گرفتن مقاومت مشخصه به دست‌آمده از نمونه‌های بدون درز به عنوان معیار و محاسبه احتمال خرابی هر یک از حالات نسبت به آن، احتمال خرابی نظیر این مقاومت برای حالت با درز افقی، قائم و مورب به ترتیب حدود ۱۵/۱۶۶/۹ و ۹۹/۹ درصد بدست آمده که نشان می‌دهد. در خصوص بروز اتصال سرد در اجرای سازه‌های بتنی می‌بایست به این موضوع به طور جدی توجه نمود.

در انتها توجه به این نکته ضروری به نظر می‌رسد که در طراحی و محاسبات پروژه‌های اسکلت بتنی، کل سیستم سازه به صورت یکپارچه و بدون در نظر گرفتن اتصال‌های سرد مدل‌سازی و تحلیل و طراحی می‌گردد، در صورتی که در اجرای متداول اسکلت‌های بتنی، در برخی نقاط بتن‌ریزی به صورت یکپارچه صورت نگرفته و در برخی مقاطع اتصال سرد اجرایی به وجود می‌آید که می‌بایست این موضوع مورد توجه طراحان و محققان قرار گیرد.

مراجع

[1] مرتضی سلطانی. حیدر دشتی ناصرآبادی. (۱۳۹۴). (بررسی تاثیر درز سرد در اتصال تیر به ستون بر رفتار قاب خمشی بتنی متوسط). سومین کنگره بین المللی عمران، معماری و توسعه شهری.

[۲] پورحسینی، رضا حسین جعفری، محمد دشتی رحمت آبادی، محمد-علی. (۱۳۹۶). تأثیر وضعیت درز سرد بر مقاومت بتن. تحقیقات بتن.

[۳] Dayaratnam, P. & Ranganathan, R. (1976). Statistical analysis of strength of concrete. *Building* and Environment, 11(2), 145-152.

[۴] Frigione, M. Aiello, M. A. & Naddeo, C. (2006). Water effects on the bond strength of concrete/concrete adhesive joints. Construction and building materials, 20(10), 957-970.

[۵] Issa, C. A. Gerges, N. N. & Fawaz, S. (2014).The effect of concrete vertical construction joints on the modulus of rupture. Case Studies in Construction Materials, 1, 25-32.

[۶] Gerges, N. N. Issa, C. A. & Fawaz, S. (2015). Effect of construction joints on the splitting tensile strength of concrete. Case Studies in Construction Materials, 3, 83-91.

[۷] Tapkire, G. and S. Parihar (۲۰۱۴)."Time laps and different joint affects quality of regula. concrete." International Journal of Latest Trends in Engineering and Technology.

[۸] Rathi, V. and P. Kolase (2013). "Effect of cold joint on strength of concrete." International Journal of

Archive of SID
www.SID.ir

Innovative Research in Science, Engineering and Technology ۲(۹): .۴۶۷۹-۴۶۷۱

[۹] روش طرح ملی مخلوط. بتن نشریه شماره: ض -۴۷۹ مشخصات نشر: تهران. مرکز سازمان تحقیقات و مسکن

[۱۰] مقررات ملی ساختمان، (۱۳۹۲) مبحث ۹، طرح و اجرای ساختمان‌های بتن آرمه، ایران وزارت مسکن و شهرسازی دفتر تدوین و ترویج مقررات ملی ساختمان.

[۱۱] عادل آذر، منصور مؤمنی. (۱۳۸۸). "آمار و کاربرد آن در مدیریت (تحلیل آماری). سازمان مطالعه و تدوین کتب علوم انسانی دانشگاهها (سمت) مرکز تحقیق و توسعهٔ علوم انسانی.

[۱۲] Bureau International des Poids et Mesures, Commission électrotechnique internationale, & Organisation internationale de normalisation. (1995). Guide to the expression of uncertainty in measurement. International Organization for Standardization.

[۱۳] Nowak, A. S. & Collins, K. R. (2012). Reliability of structures. CRC Press.

[۱۴] شاپور طاحونی. (۱۳۹۳). طراحی ساختمانهای بتن مسلح (برمبنای آیین نامه بتن ایران). دانشگاه تهران

Archive of SID

www.SID.ir

Statistical Analysis of the Impact of Cold Joint on the Compressive Strength of Concrete Made by the National Method for Concrete Mix Design

Arash rafiei
Department of Civil Engineering, Bandar Gaz Branch, Islamic Azad University, Bandar Gaz, Iran
Ehsan Karimi
Department of Civil Engineering, Bandar Gaz Branch, Islamic Azad University, Bandar Gaz, Iran

Archive of SID

Abstract:

One of the common problems in the implementation of concrete structures is seam or cold joint. The discontinuity in concrete body can cause structural weakness, increased permeability, reduced durability, corrosion of the rebar, and bad appearance of concrete. In this study, in order to evaluate the effect of cold joint on compressive strength of concrete, 192 cubic samples by national method of mix design in 4 modes, in which 48 samples without cold joint, 48 samples with horizontal cold joint, 48 samples with vertical cold joint, and 48 samples with diagonal cold joints were concreted in a 24-hour time interval. After 28 days of treatment with standard conditions by pressure cylinder device, the compressive strength of the samples was evaluated. After evaluating the results of the experiments, the values of the effect of cold joint on the compressive strength of the samples, the uncertainty and the probability of failure of the samples have been investigated. The results of analyzes indicate that, generally, the creation of a cold joint in concrete reduces the compressive strength of concrete. However, the reduction in compressive strength depends on the degree of cold joint to its angle. Also, the size of surface angle of the cold joint is also affected by the probability of failure.

Keywords: Statistical Analysis, Cold Joint, Compressive Strength of Concrete, National Method for Concrete Mix Design

www.SID.ir