

بررسی تاثیر جنس و کیفیت قالب های نمونه برداری بتن بر مقاومت فشاری و اعوجاج نمونه های

بتنی

سید حسام مدنی^۱، محمد حسین انجم شعاع^۲، مصطفی افضلی^۳، هما حقیقی^{۴*}

۱- دانشیار دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی و فناوری پیشرفته کرمان

۲- کارشناس ارشد مهندسی عمران و مدیر عامل شرکت تعاونی بتن سازان شهر کرمان

۳- کارشناس مهندسی عمران و مدیر آزمایشگاه کنترل کیفیت شرکت تعاونی بتن سازان شهر کرمان

۴- کارشناس ارشد مهندسی عمران و مسئول مرکز تحقیق و توسعه شرکت تعاونی بتن سازان شهر کرمان

Homa.Civil۷۰۸۸@gmail.com

چکیده

به جهت کنترل بتن آزمایش های مختلفی بر روی آن انجام میگردد. یکی از مهمترین این آزمایش ها، آزمایش مقاومت فشاری بتن می باشد. به منظور انجام این آزمایش، اقدام به نمونه گیری از بتن در محل آزمایشگاه کنترل کیفیت کارخانه تولید بتن و همچنین کارگاه می گردد. جهت نمونه گیری از بتن، قالب هایی از جنس های مختلف فلزی، دوتکه پلاستیکی و یک تکه پلاستیکی وجود دارند، که هریک از آنها مزایا و معایب منحصر به فردی دارند. در این تحقیق به بررسی اثر جنس قالب های نمونه برداری بتن بر مقاومت فشاری و اعوجاج نمونه ها پرداخته شده است. در انتها براساس بررسی های انجام گرفته، مشخص گردید، که نمونه های قالب گیری شده در قالب های فلزی نسبت به نمونه های سایر قالب ها از مقاومت فشاری بیشتر و اعوجاج کمتری برخوردار هستند. شایان ذکر است که کمترین میزان مقاومت و بیشترین میزان اعوجاج مربوط به نمونه های قالب گیری شده در قالب های کامپوزیتی بوده است.

کلمات کلیدی: بتن، مقاومت فشاری، نمونه گیری، قالب

۱- مقدمه

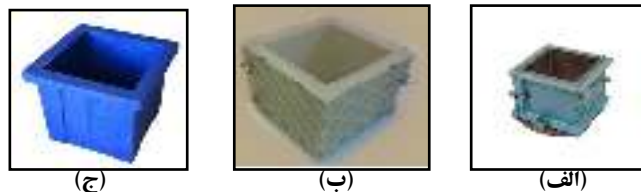
امروزه بتن به عنوان یکی از پر مصرف ترین مصالح ساختمانی در جهان شناخته شده است. اقتصادی بودن، سهولت دسترسی به اجزا تشکیل دهنده آن، شکل پذیری و پایداری نسبتا بالای این مخلوط ناهمگن، باعث توجه روز افزون به آن شده است. کاربرد گسترده بتن، لزوم بررسی رفتار و عوامل موثر بر خواص آن را آشکار می سازد. در حقیقت، بدیهی ترین راهکار جهت ساخت بتن های با کیفیت (دارای خواص مکانیکی و دوامی مناسب)، انتخاب دقیق و هوشمندانه مصالح و طرح اختلاط بهینه، ماشین آلات و تجهیزات ساخت بتن می باشد.

یکی از مهمترین ویژگیهای بتن، مقاومت فشاری آن می باشد. مقاومت مشخصه فشاری بتن در نقشه ها و مشخصات فنی خصوصی هر پروژه درج می گردد. علی القاعده طراح پروژه در محاسبات سازه ای از این مقاومت مشخصه بهره گیری نموده است. مقاومت مشخصه بتن یک تعریف آماری دارد که در آئین نامه های مختلف یکسان نیست. این مقاومت مشخصه، دست مایه طراح مخلوط بتن نیز می باشد که با استفاده از آن و با توجه به شرایط حاکم بر مصالح مصرفی و نحوه ساخت، کنترل و نظارت تولید بتن، مقاومت فشاری متوسط لازم برای طرح اختلاط (مقاومت هدف طرح مخلوط) را تعیین می کند و سعی می نماید در آزمایشگاه تقریبا به این مقاومت برسد. از طرفی در هنگام تولید بتن در کارگاه سعی می شود بتنی ساخته شود که انطباق مقاومت آن با مقاومت مشخصه تایید گردد. بنابراین نیاز به کنترل مقاومتی بتن وجود دارد. سعی می شود تهیه آزمون ها و نگهداری آن ها در شرایط استاندارد (آزمایشگاهی) صورت گیرد و طبق استاندارد مربوطه، عمل تعیین مقاومت انجام شود. بدیهی است اگر این موارد به صورت استاندارد انجام نگردد، عمل مقایسه و انطباق با مقاومت مشخصه امری بی معنا خواهد بود. از بتن مورد نظر قبل از ریخته شدن در قطعه، نمونه گیری می شود. بنابراین، شرایط ریختن، جابجایی و تراکم، پرداخت و عمل آوری بتن در قطعه به هیچ وجه در نحوه تهیه قالب آزمون بتنی حاکم نیست و نباید حاکم باشد. هدف از تهیه این آزمون ها، کنترل کیفی بتن ساخته شده قبل از ریختن در قطعه اصلی است [۱].

جهت تهیه آزمون ها به منظور محاسبه مقاومت فشاری بتن تولیدی، استفاده از قالب های مکعبی و استوانه ای با ابعاد استاندارد و جنس های مختلف اعم از فولادی، فلزی، پلاستیکی دوتکه (کامپوزیتی) و پلاستیکی یک تکه مرسوم است که کیفیت و جنس قالب های تهیه آزمون ها یکی از عوامل بسیار مهم در تغییر مقاومت فشاری نمونه های بتنی است.

قالب های نمونه برداری فلزی ابتدا به صورت ریخته گری قالب گیری شده و از طریق انجام عملیات ماشین کاری و سوراخ کاری ابعاد قالب ها به اندازه استاندارد می رسد (شکل ۱-الف). از مزایای منحصر به فرد این قالب ها می توان به استحکام و عمر بسیار بالای آنها و همچنین مقاومت شان در برابر مواد شیمیایی اشاره کرد. این موارد آنها را به گزینه های بسیار مناسبی برای کاربرانی که قصد نمونه گیری های متعدد در طول زمان را دارند، تبدیل کرده است. از معایب آنها بایستی به وزن و بهای سنگین آنها اشاره نمود که این معایب مهندسین را به سمت استفاده از قالب های نمونه برداری پلاستیکی یک تکه و دوتکه سوق داده است.

قالب های نمونه برداری پلاستیکی دوتکه (کامپوزیتی) از جنس پلی آمید الیاف دار می باشند. شکل کلی قالب از دو تکه اصلی که هر کدام سه وجه مکعب را تشکیل میدهند، ساخته شده است. این قالب ها از طریق ۴ پیچ گوشواره ای با مهره های خروسی به یکدیگر متصل میگردند به گونه ای که نیاز به باز کردن تمام مهره ها نمی باشد و تنها با شل کردن مهره، پیچ گوشواره ای چرخانده شده و قالب به سادگی و در کمترین زمان ممکن باز و یا بسته می شود که این خود از مزایای قالب های پلاستیکی دوتکه می باشد. به علاوه در لبه بالایی قالب، فلز L شکلی تعبیه شده است که نقش مهمی در استحکام قالب ایفا می کند، همچنین سطح داخلی این قالب ها صیقلی بوده و سطح بیرونی آنها مشبک می باشد (شکل ۱-ب). علاوه بر این قالب ها، قالب های یک تکه پلاستیکی نیز وجود دارند که از جنس فایبرگلاس می باشند (شکل ۱-ج). به طور کلی از مهمترین مزایای قالب های یک تکه و دو تکه پلاستیکی (قالب های کامپوزیتی) میتوان به بهای پایین و وزن بسیار کم آنها نسبت به سایر قالب های مرسوم اشاره کرد. اما گذشته از مزیت های این قالب ها، این نوع قالب ها از عمر و استحکام پایین تری نسبت به قالب های فلزی برخوردار می باشند و عموما برای کاربرانی که نیاز به نمونه گیری های متعدد دارند مناسب نمی باشند. در حقیقت استفاده از قالب های پلاستیکی یک تکه برای مکان هایی مناسب است که امکان دسترسی به کمپرسور باد در کارگاه وجود داشته باشد چراکه در صورتیکه در هنگام نمونه گیری از مواد روان کاری استفاده نگردد نمی توان نمونه را به راحتی از قالب جدا کرد. در قسمت تحتانی این قالب ها حفره ای در نظر گرفته شده است تا پس از سفت شدن نمونه بتوان از طریق فشار هوایی که از حفره وارد می شود، نمونه را به راحتی از قالب جدا کرد.



شکل ۱- الف: قالب نمونه برداری فلزی، ب: قالب نمونه برداری پلاستیکی دو تکه (کامپوزیتی)، ج: قالب نمونه برداری پلاستیکی یک تکه

باوجود مزایای قابل تامل قالب های پلاستیکی کماکان استفاده از قالب های فلزی در نمونه برداری از بتن آماده در محل کارگاه ها و آزمایشگاه ها مرسوم تر است. که علت این موضوع را بایستی در ضعف بدنه ی قالب های پلاستیکی جست و جو کرد. در حقیقت بدنه ی قالب های پلاستیکی بسیار سبک است و در نتیجه این قالب ها در طول نمونه گیری به علت سنگینی بتن تا حدی در سمت میانی تغییر شکل خواهند داشت که این تغییر شکل، نمونه را تا حد کمی از حالت مکعب خارج می کند ولی باتوجه به استحکام بسیار بالای قالب های فلزی در صورت نمونه گیری مناسب هرگز شاهد چنین مشکلاتی در آنها نخواهیم بود.

در حقیقت، هر چه مقاومت بتن ها و رده آن ها بالاتر رود تاثیر کیفیت و همواری (تخت بودن) آن بر مقاومت فشاری بیشتر می گردد. در واقع، ناهمواری ها باعث می شوند که صفحات بارگذاری در ابتدا با نقاط بالاتر تماس حاصل نموده و بدین ترتیب تنش های بسیار زیادی به صورت موضعی به وجود آیند. تنش های حاصله به ایجاد ترک در اطراف و زیر قسمت برجسته منجر می شوند و باعث می شوند که عقر به اندازه گیری نیرو یا ارقام نمایش داده شده توسط وسیله مشابه دیجیتالی، خیلی زودتر پایین رفته و بدین ترتیب حداکثر بار گسیختگی کاهش یابد [۲].

در مورد قالب استوانه ای، بارگذاری برای تعیین مقاومت فشاری صرفاً از سر و ته قالب انجام می شود. در حالیکه برای قالب مکعبی، امکان بارگذاری در دو جهت عمود بر هم (از هر جهت ممکنه) وجود دارد و این سطوح جانبی برای آزمایش مهم تلقی می شوند [۲].

در آزمایش مقاومت فشاری نمونه های مکعبی بتن، فرض می شود که سطوح در تماس با صفحات بارگذاری دستگاه فشاری همچون صفحات مزبور، سطوحی تخت و هموار هستند و ناهمواری های احتمالی آنها کاملاً محدود شده است. در مورد قالب های استوانه ای بویژه برای سطح فوقانی، ساییدن یا کلاهک گذاری پیش بینی می شود بنابراین همواری و تخت بودن کف قالب به شرط ساییدن یا کلاهک گذاری چندان مهم نیست. بدیهی است برای اینکه این همواری برآورده شود در درجه اول لازم است سطح داخلی قالب مکعبی بتن نیز دارای چنین شرایطی باشد. بنابراین در ساخت قالب ها اعم از فلزی، فولادی یا داری مصالح و مواد دیگر بویژه پلیمری (پلاستیکی سخت یا نرم) باید این شرایط برقرار باشد. معمولاً سازندگان معتبر این قالب ها سعی می کنند در مرحله ساخت قالب با ماشین کاری و صفحه تراشی لازم به چنین همواری دست یابند. اما در مرحله کاربرد این قالب ها معمولاً قالب های فلزی، شکل و همواری خود را حفظ می کنند [۲].

قالب های پلاستیکی یک تکه و دوتکه معمولاً در هنگام بکارگیری و بویژه در شرایطی که زیر تابش مستقیم آفتاب و یا در معرض تغییرات شدید دمایی قرار گیرند، دچار اعوجاج شده و سطح ناهموار آنها به کاهش شدید مقاومت فشاری منجر می شود [۲].

پس از محاسبه ی مقاومت فشاری نمونه ها، آزمون ها بایستی مورد بررسی و ارزیابی قرار گیرند، که کار بررسی، ارزیابی و پذیرش بتن طبق آئین نامه و مشخصات فنی و مقررات ملی یک امر حساس و مهم می باشد و صرفاً از عهده مهندسین و تکنیسین های ناظر آشنا به این امر بر می آید و از دخالت افراد ناآشنا و غیرمسئول در این مهم باید پرهیز گردد به ویژه اینکه سلیقه های فردی نیز به کار گرفته شود و از حدود مندرج در آئین نامه و مشخصات فنی یا مقررات ملی تخطی گردد. در آخرین مرحله ارزیابی آزمون ها، بحث پذیرش و یا عدم پذیرش بتن مطرح است.

از جمله تحقیقات انجام شده در رابطه با تاثیر جنس قالب نمونه برداری بر نتایج مقاومت فشاری آزمون ها می توان به تحقیق انجام شده توسط رضایی و همکاران در سال ۱۳۹۷ اشاره کرد. این پژوهشگران به بررسی نتایج مقاومت فشاری بتن های نمونه گیری شده در قالب های پلاستیکی و فلزی پرداختند. نتایج حاصل از پژوهش آنها نشان داد که آزمون های نمونه گیری شده در قالب های پلاستیکی نسبت به آزمون های نمونه گیری شده در قالب های فلزی از مقاومت ۷ روزه و ۲۸ روزه کمتری برخوردار می باشند [۲].

از آنجا که مقاومت فشاری بتن از مهمترین و پرتاثیرترین پارامترها به منظور بررسی کیفیت بتن می باشد و تجهیزات نمونه برداری نیز تاثیر به سزایی در نتایج مقاومت فشاری آزمون ها دارند. در این تحقیق به بررسی تاثیر جنس قالب های فلزی، پلاستیکی یک تکه و دو تکه (کامپوزیتی) بر نتایج مقاومت فشاری

و اعوجاج آزمون‌های بتنی پرداخته شده است. در ادامه پژوهش، پارامتر انحراف معیار برای نتایج مقاومت فشاری و اعوجاج نمونه‌ها محاسبه شده و پس از آن به بازرسی بتن پرداخته شده است.

۲- مصالح و روش ها

۲-۱- مشخصات قالب ها

طبق بند ۵-۲-۱ استاندارد ملی ایران شماره ۱-۱۶۰۸، قالب نمونه‌گیری بتن باید از فولاد و یا چدن که مواد مرجع هستند ساخته شود و اگر جنس قالب از مواد دیگری باشد بایستی عملیات صحت سنجی بر روی نتایج مقاومت فشاری آزمون‌ها با آزمون‌های نمونه برداری شده در قالب های فلزی انجام گردد [۳]. لذا، بر این اساس و به منظور انجام این صحت‌سنجی و همچنین بررسی تاثیر جنس قالب‌های نمونه‌برداری بر مقاومت فشاری آزمون‌ها، در آذرماه سال گذشته در محل آزمایشگاه کنترل کیفیت شرکت تعاونی بتن سازان شهر کرمان تصمیم به انجام این پژوهش گرفته شد. در این راستا و جهت تهیه قالب هایی از جنس های متفاوت، مجموعاً ۵۴ قالب از سه جنس متفاوت فلزی، پلاستیکی دو تکه (کامپوزیتی) و پلاستیکی یک تکه از ۹ آزمایشگاه فعال در صنعت بتن شهر کرمان جمع آوری شد (شکل ۲). شایان ذکر است که تمامی قالب های استفاده شده قالب های مکعبی با ابعاد استاندارد ۱۵۰ × ۱۵۰ میلی متری بوده است.



(گروه الف)



(گروه ب)



(گروه ج)

شکل ۲- گروه الف: قالب‌های نمونه‌برداری پلاستیکی دو تکه، گروه ب: قالب های نمونه‌برداری پلاستیکی یک تکه، گروه ج: قالب‌های نمونه- برداری فلزی

۲-۲-۲- مشخصات مصالح

۲-۲-۱- سنگدانه ها

یکی از عوامل مهم برای دستیابی به خواص مناسب بتن تازه، استفاده از سنگدانه با دانه بندی مناسب می باشد. به گونه ای که کوچکترین تغییر در نمودار دانه بندی می تواند باعث تغییر اساسی در خواص بتن تازه و سخت شده گردد. در تولید بتن این پژوهش از سه نوع مصالح سنگی ماسه، شن بادی و شن نخودی استفاده شده است که مشخصات این مصالح به شرح جداول ۱ و ۲ می باشد.

جدول ۱- نتایج دانه بندی مصالح سنگی مصرفی در بتن

شماره الک	درصد عبوری		
	ماسه	شن بادی	شن نخودی
1"	.....	۱۰۰	۱۰۰
3/4"	.....	۸۷/۴	۱۰۰
1/2"	.....	۷/۷	۹۶/۵
3/8"	۱۰۰	۲/۲	۶۶/۳
3/16"	۹۴/۹	.....	۲/۸
#8	۷۵/۹	.....	.....
#16	۵۲/۸	.....	.....
#30	۳۸	.....	.....
#50	۱۹	.....	.....
#100	۳/۳	.....	.....
#200	۰/۵	.....	.....

جدول ۲- نتایج آزمایش های انجام شده بر روی مصالح سنگی مصرفی در بتن

نوع مصالح	ضریب نرمی	عبوری از الک ۷۵ میکرون (%)	افت وزنی در مقابل سایش به روش لوس انجلس	افت وزنی در مقابل سولفات سدیم (%)	تطویل و تورق		وزن مخصوص (SSD) و جذب آب	
					تطویل (%)	تورق (%)	حقیقی	جذب آب (%)
شن درشت	.....	۰/۴۱	۲۳	۲	۱۸	۲۰	۲/۶۹۶	۰/۵۷
شن ریز	.....	۰/۴۱		۲	۱۴	۱۸	۲/۶۹	۰/۷۸
ماسه	۳/۱	۰/۵	.....	۴	.....	.....	۲/۶۳۰	۲/۰۷

۲-۲-۲- سیمان

سیمان استفاده شده در تولید بتن این پژوهش از نوع سیمان پرتلند نوع ۲ با چگالی ۳/۱۵ گرم بر سانتی متر مکعب و نرمی (بلین) ۳۰۸۰ سانتی متر مربع بر گرم مطابق بر الزامات استاندارد ملی ایران شماره ۳۸۹ [۴] می باشد که آنالیز شیمیایی آن در جدول ۳ آمده است.

جدول ۳- نتایج آنالیز شیمیایی سیمان پرتلند مصرفی

نام ترکیب	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	C ₂ S	C ₃ S	C+A	C+AF
درصد وزنی ترکیب	۶۳/۰۶	۲۰/۷۸	۴/۴۴	۳/۶۳	۱/۲۹	۰/۶۱	۰/۶۱	۵۶	۱۷/۳	۵/۶	۱۱

۲-۳-۲- آب

آنالیز شیمیایی آب مصرفی در بتن این پژوهش به شرح جدول ۴ می باشد.

جدول ۴- نتایج آنالیز شیمیایی آب مصرفی در بتن

آنیون ها	meq/lit	mgr/lit	کاتیون ها	meq/lit	mgr/lit
Cl ⁻	۳	۱۰۶/۵	Ca ⁺⁺	۱/۵	۳۰
HCO ₃ ⁻	۳/۶	۲۱۹/۶	Mg ⁺⁺	۰/۷	۸/۵
Co ₃ ⁻	۰	۰	Na ⁺	۷/۱	۱۶۳/۳
So ₄ ⁻	۲/۷	۱۳۰	K ⁺	۰/۰۵	۲

EC (mic.mho)	۱۰۳۰
PH	۷/۷
TDS (ppm)	۶۶۹/۵
TH (ppm CaCo ₃)	۱۱۰
SAR	۶/۸
Na%	۷۶/۳

۲-۳-۲- طرح مخلوط، ساخت و عمل آوری آزمونه ها

براساس مطالعات آزمایشگاهی و محاسبات صورت گرفته، سه طرح اختلاط متفاوت برای انجام این پژوهش استفاده شد (جدول ۵).

جدول ۵- طرح های اختلاط بتن های مصرفی

کد طرح	سیمان Kg/m ^۳	ماسه Kg/m ^۳	شن بادی Kg/m ^۳	شن نخودی Kg/m ^۳	افزودنی روان کننده (درصد وزنی سیمان)
۱	۳۵۰	۱۰۱۲	۵۶۱	۳۱۲	.....
۲	۴۰۰	۹۹۲	۵۲۱	۲۷۵	.....
۳	۴۵۰	۹۴۸	۵۱۷	۲۵۰	۰/۴

شایان ذکر است که نسبت آب به سیمان در طرح اختلاط های فوق به گونه ای انتخاب گردید که روانی بتن حاصله ۱۲۰ میلی متر باشد.

سپس بتن های مورد نیاز براساس طرح اختلاط های محاسبه شده در بچینگ شرکت تعاونی بتن سازان شهر کرمان تولید و پس از آن، جهت انجام آزمون کارایی و مقاومت فشاری، مطابق با استانداردهای ملی ایران به شماره های ۲-۳۲۰۳ و ۳-۱۶۰۸ [۶۵] به صورت همزمان و تحت شرایط کاملاً یکسان اقدام به نمونه برداری از آن ها گردید (شکل ۳).



شکل ۳- الف: قالب‌های نمونه‌برداری، ب: فرآیند نمونه‌برداری، ج: نمونه‌های آماده شده در قالب

(الف) (ب) (ج)

پس از تهیه آزمونه‌ها، نمونه‌ها به مدت ۲۴ ساعت در شرایط کارگاهی و در دمای $20 \pm 2^\circ\text{C}$ در داخل قالب‌ها نگهداری شدند و پس از خارج کردن آزمونه‌ها از قالب به جهت عمل آوری تا زمان انجام آزمون مقاومت فشاری و اعوجاج، نمونه‌ها به محفظه رطوبت با دمای $20 \pm 2^\circ\text{C}$ منتقل شدند.

۲-۴- انجام آزمایش‌های مقاومت فشاری و اعوجاج

ابعاد (طول، عرض، ارتفاع) و جرم تمامی آزمونه‌های اخذ شده پس از عمل آوری در سنین ۷ و ۲۸ روزه (۳ نمونه ۷ روزه و ۳ نمونه ۲۸ روزه برای هر نوع طرح اختلاط به ازای هر آزمایشگاه) و قبل از انجام آزمایش‌های مقاومت فشاری و اعوجاج، اندازه‌گیری گردید.

۲-۴-۱- آزمایش مقاومت فشاری

آزمایش مقاومت فشاری بر روی نمونه‌ها بر طبق استاندارد ملی ایران شماره ۱۶۰۸-۳ با دستگاه جک مقاومت فشاری نیمه اتوماتیک کالیبره شده در محل آزمایشگاه کنترل کیفیت شرکت تعاونی بتن سازان انجام شده است.

۲-۴-۲- آزمایش اعوجاج

به منظور انجام این آزمایش، در ابتدا، گونیا (شکل ۴) بر روی سطوح نمونه‌های مکعبی قرار داده شده و سپس با نگاه از روبه‌رو نمونه مورد ارزیابی قرار می‌گیرد، اگر بازه نور در بین سطح گونیا و نمونه مکعبی دیده شود، یعنی سطح نمونه دچار اعوجاج است. سپس به منظور اندازه‌گیری مقدار اعوجاج، فیلر سنج با دقت $0/05$ (شکل ۵) در حد فاصل سطح نمونه مکعبی و گونیا (همان جا که بازه نور مشاهده شده است) قرار داده شده و پره‌های فیلر سنج تا آنجا که پره‌ای با ضخامت بیشتر قابل عبور نباشد، عبور داده می‌شوند. سپس ضخامت پره‌ی فیلر سنج قرائت شده و به عنوان میزان اعوجاج نمونه در نظر گرفته می‌شود.



شکل ۵- فیلر سنج استفاده شد



شکل ۴- گونیا استفاده شده

۳- نتایج و بحث

۳-۱- مقاومت فشاری و اعوجاج

پس از شکست نمونه‌ها در دستگاه جک مقاومت فشاری نیمه اتوماتیک و محاسبه مقاومت فشاری هر یک از نمونه‌های مکعبی، مقاومت‌های حاصله بایستی بر طبق بند ۹-۵-۳-۱ مبحث نهم مقررات ملی ساختمان، به مقاومت نمونه‌های استاندارد استوانه‌ای تبدیل گردند. لذا این تبدیل مقاومت براساس ضرائب جدول ۹-۵-۳ مبحث نهم مقررات ملی ساختمان (جدول ۶) انجام گردیده است [۷].

جدول ۶- ضرائب تبدیل مقاومت فشاری نمونه‌های مکعبی به مقاومت فشاری نمونه‌های استوانه‌ای [۷]

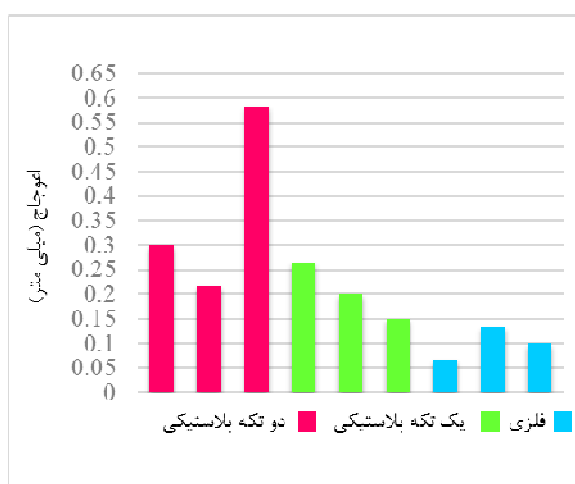
مقاومت فشاری نمونه مکعبی (MPa)	≤۲۵	۳۰	۳۵	۴۰	۴۵	۵۰	۵۵
R_p	۱/۲۵	۱/۲۰	۱/۱۷	۱/۱۴	۱/۱۳	۱/۱۱	۱/۱۰
مقاومت فشاری نمونه استوانه‌ای (MPa)	با توجه به ضریب	۲۵	۳۰	۳۵	۴۰	۴۵	۵۰

شایان ذکر است که به منظور انجام این تبدیل مقاومت، ضرائب تبدیل بر اساس رده مقاومتی نمونه‌ها انتخاب می گردند (جدول ۷).

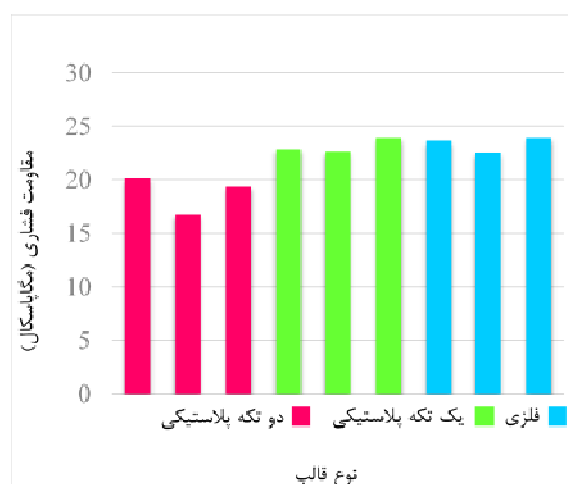
جدول ۷- ضرائب تبدیل استفاده شده

ضریب تبدیل مقاومت	رده مقاومتی بتن (MPa)	عیار سیمان (kg/m^2)
۱/۲۰	۳۰	۳۵۰
۱/۱۷	۳۵	۴۰۰
۱/۱۴	۴۰	۴۵۰

نتایج آزمون مقاومت فشاری و اعوجاج برای نمونه‌های اخذ شده در قالب‌های متفاوت و در سنین و عیارهای مختلف به شرح نمودارهای زیر می باشد (شکل های ۶ تا ۱۷).



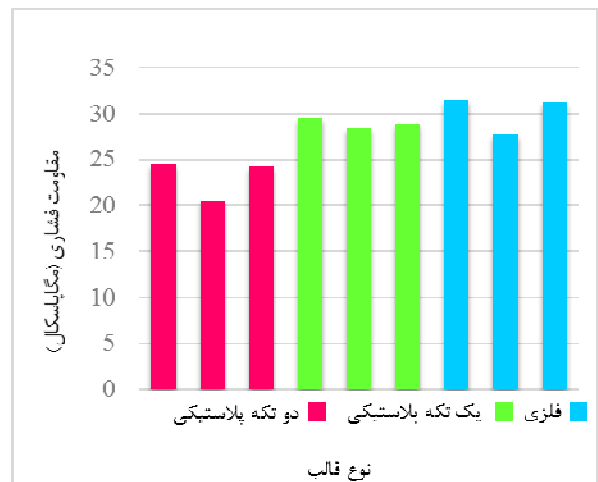
شکل ۷- میانگین حداکثر اعوجاج نمونه‌های ۷ روزه با عیار 350 kg/m^2



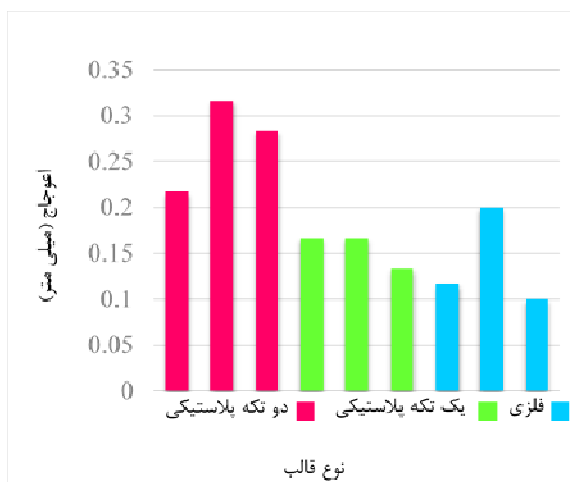
شکل ۶- میانگین مقاومت فشاری نمونه‌های ۷ روزه با عیار 350 kg/m^2



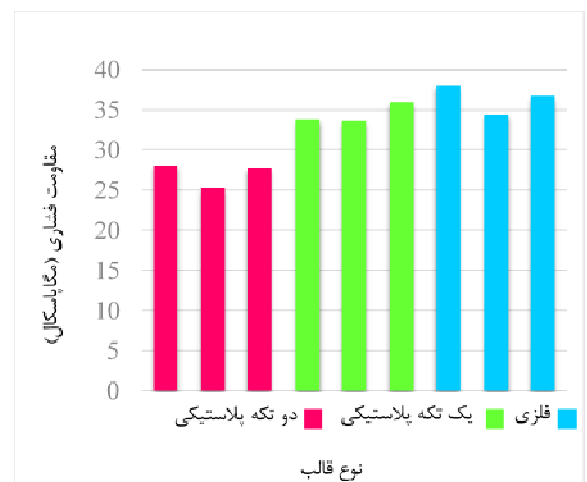
شکل ۹- میانگین حداکثر اعوجاج نمونه‌های ۷ روزه با عیار 400 kg/m^3



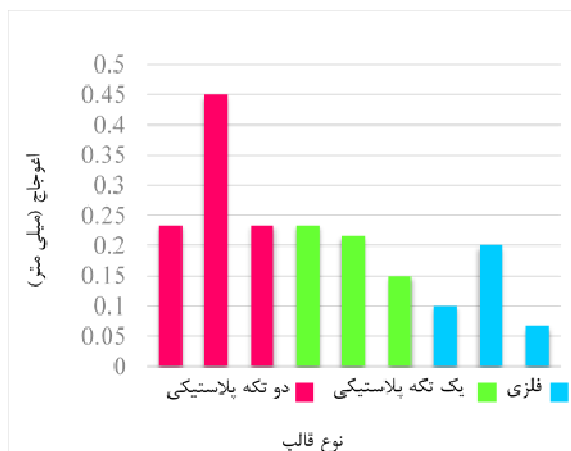
شکل ۸- میانگین مقاومت فشاری نمونه‌های ۷ روزه با عیار 400 kg/m^3



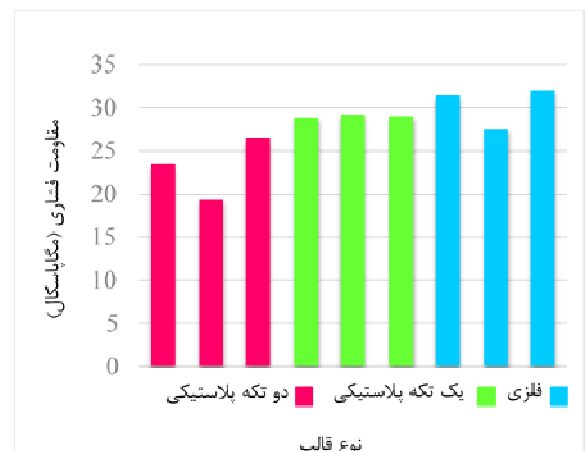
شکل ۱۱- میانگین حداکثر اعوجاج نمونه‌های ۷ روزه با عیار 450 kg/m^3



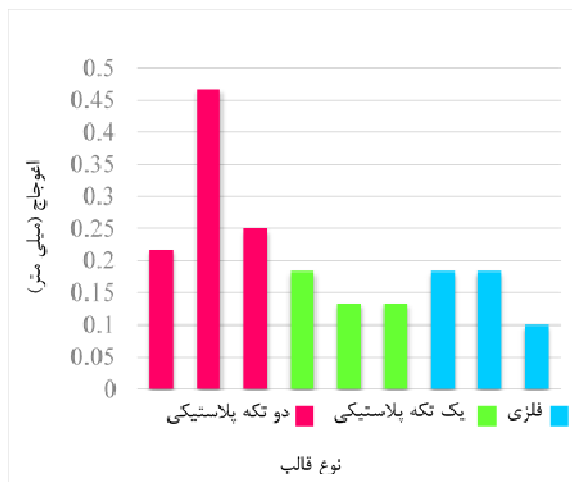
شکل ۱۰- میانگین مقاومت فشاری نمونه‌های ۷ روزه با عیار 450 kg/m^3



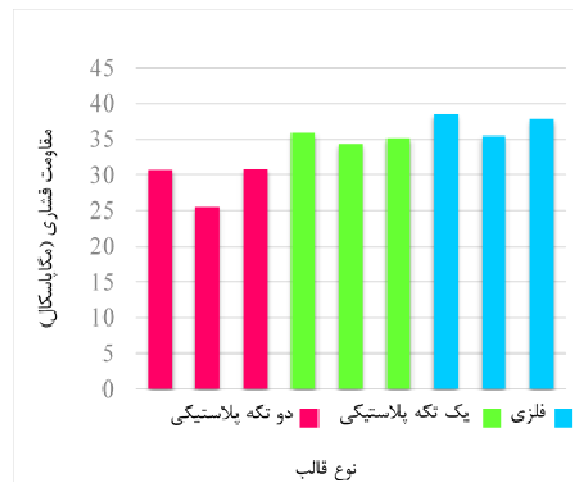
شکل ۱۳- میانگین حداکثر اعوجاج نمونه‌های ۲۸ روزه با عیار 350 kg/m^3



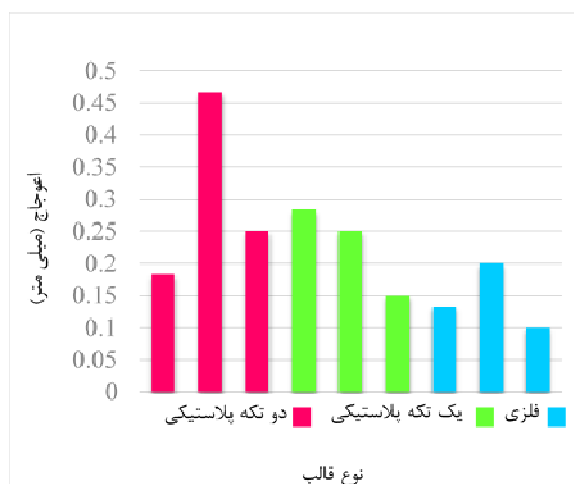
شکل ۱۲- میانگین مقاومت فشاری نمونه‌های ۲۸ روزه با عیار 350 kg/m^3



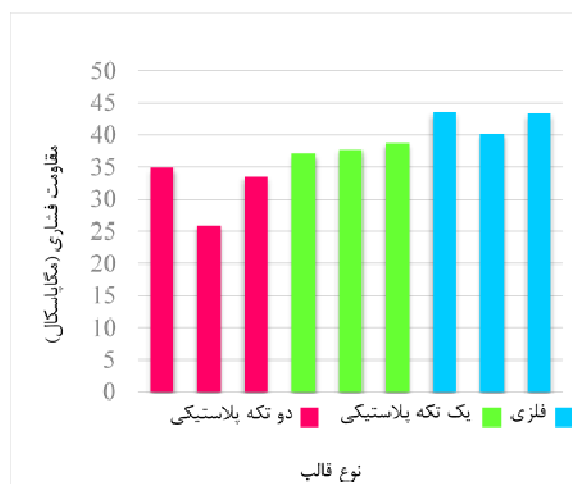
شکل ۱۵- میانگین حداکثر اعوجاج نمونه‌های ۲۸ روزه با عیار 400 kg/m^3



شکل ۱۴- میانگین مقاومت فشاری نمونه‌های ۲۸ روزه با عیار 400 kg/m^3



شکل ۱۷- میانگین حداکثر اعوجاج نمونه‌های ۲۸ روزه با عیار 450 kg/m^3



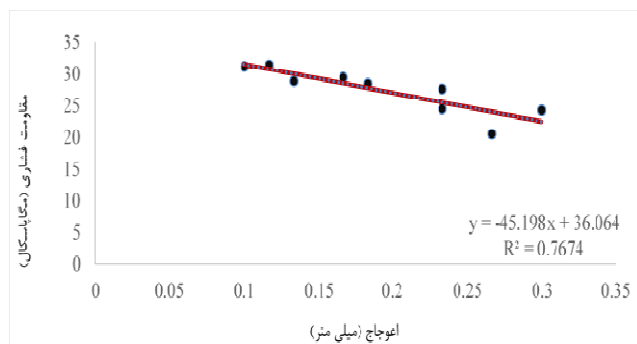
شکل ۱۶- میانگین مقاومت فشاری نمونه‌های ۲۸ روزه با عیار 450 kg/m^3

از بررسی نمودارهای فوق، نتایج زیر حاصل می‌شود.

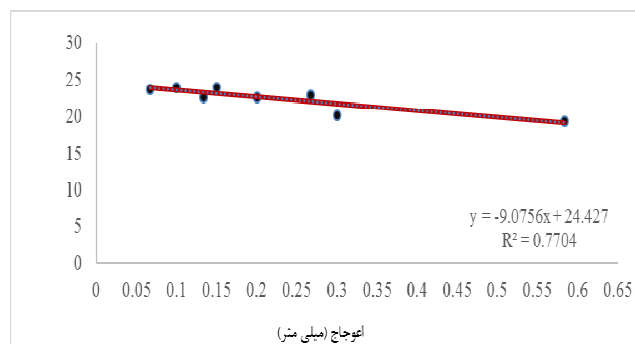
فارغ از سن و عیار سیمان در نمونه‌ها، نمونه‌های بتنی در قالب‌های فلزی نسبت به نمونه‌های بتنی در قالب‌های پلاستیکی یک تکه و دو تکه از مقاومت فشاری بیشتری برخوردار می‌باشند. همچنین با مقایسه مقاومت فشاری نمونه‌های بتنی در قالب‌های پلاستیکی یک تکه و دو تکه می‌توان دریافت که نمونه‌های بتنی در قالب‌های پلاستیکی یک تکه مقاومت فشاری بیشتری نسبت به نمونه‌های قالب گیری شده در قالب‌های پلاستیکی دو تکه دارند. شایان ذکر است که در تغییر جنس قالب از قالب‌های فلزی به قالب‌های پلاستیکی یک تکه (در یک سن و عیار مشخص) افت مقاومت کمتری نسبت به تغییر نوع قالب از پلاستیکی یک تکه به پلاستیکی دو تکه مشاهده شده است. نکته حائز اهمیت آنجاست که افزایش سن نمونه‌های بتنی تاثیر چندانی بر کاهش مقاومت فشاری آنها در هنگام تغییر جنس قالب ندارد. علاوه بر آنچه که ذکر شد، افزایش سن و عیار سیمان سبب افزایش مقاومت فشاری تمامی آزمونه‌ها می‌گردد. در رابطه با میزان اعوجاج نمونه‌ها بایستی ذکر گردد که فارغ از سن و عیار نمونه‌ها، نمونه‌های قالب‌های پلاستیکی دو تکه بیشترین میزان اعوجاج و نمونه‌های قالب‌های فلزی کمترین میزان اعوجاج را داشتند.

ارتباط بین مقاومت فشاری و اعوجاج

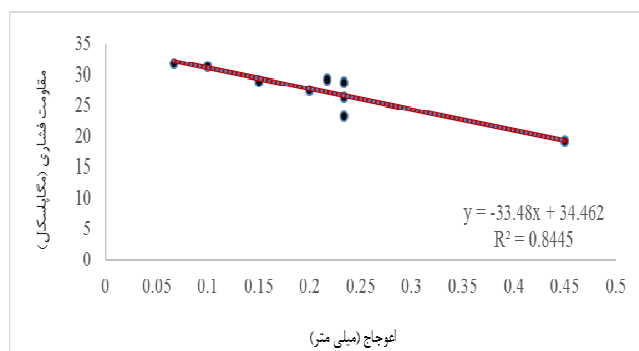
به منظور بررسی ارتباط بین مقاومت فشاری و اعوجاج نمونه‌ها با عیارها و سن‌های مختلف، نمودار میانگین مقاومت فشاری نمونه‌ها بر حسب میانگین اعوجاج آنها در سنین و عیارهای مختلف ترسیم گشت (شکل‌های ۱۸ تا ۲۳).



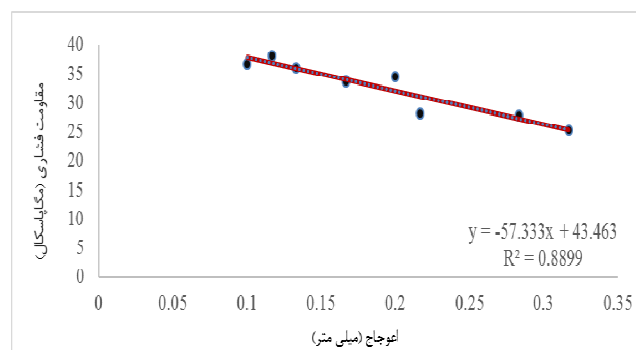
شکل ۱۹- میانگین مقاومت فشاری نمونه‌های ۷ روزه با عیار 400 kg/m^3 بر حسب میانگین حداکثر اعوجاج آنها



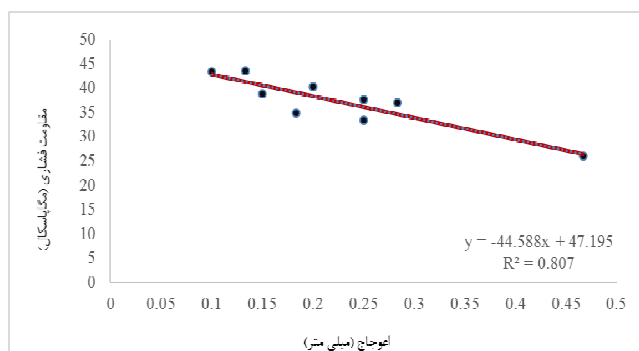
شکل ۱۸- میانگین مقاومت فشاری نمونه‌های ۷ روزه با عیار 350 kg/m^3 بر حسب میانگین حداکثر اعوجاج آنها



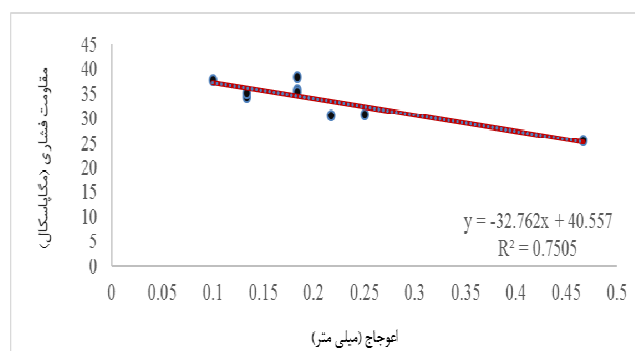
شکل ۲۱- میانگین مقاومت فشاری نمونه‌های ۲۸ روزه با عیار 350 kg/m^3 بر حسب میانگین حداکثر اعوجاج آنها



شکل ۲۰- میانگین مقاومت فشاری نمونه‌های ۷ روزه با عیار 450 kg/m^3 بر حسب میانگین حداکثر اعوجاج آنها



شکل ۲۳- میانگین مقاومت فشاری نمونه‌های ۲۸ روزه با عیار 450 kg/m^3 بر حسب میانگین حداکثر اعوجاج آنها

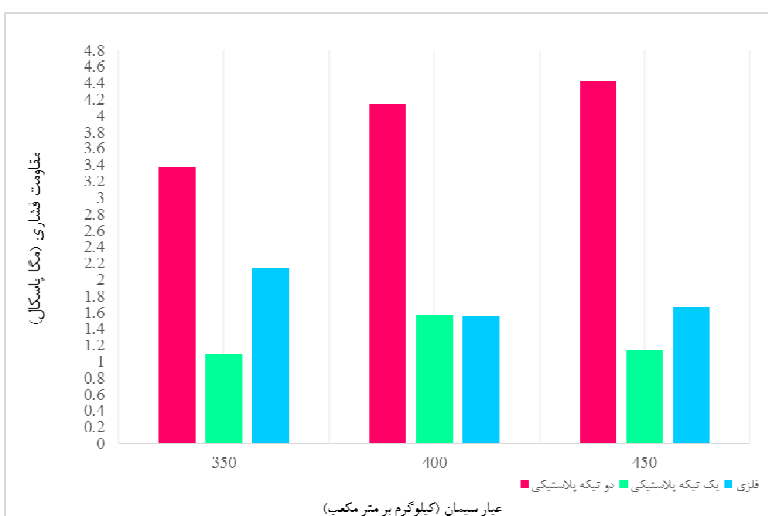


شکل ۲۲- میانگین مقاومت فشاری نمونه‌های ۲۸ روزه با عیار 400 kg/m^3 بر حسب میانگین حداکثر اعوجاج آنها

از بررسی نمودارهای رگرسیون فوق می توان دریافت که در نمونه های ۷ روزه، با افزایش عیار سیمان، شیب نمودار رگرسیون افزایش چشم گیری دارد این مهم حاکی از آن است که تاثیر اعوجاج با افزایش مقاومت نمونه ها افزایش می یابد.

۳-۳- انحراف معیار

به منظور بررسی میزان پراکندگی مقاومت فشاری نمونه های بتنی در قالب ها، سن ها و عیارهای مختلف، ابتدا انحراف معیار برای داده های اکتسابی از قالب های هر آزمایشگاه در سن و عیار مشخص محاسبه و سپس نمودارهای مربوطه ترسیم گردیدند (شکل های ۲۴ و ۲۵).



شکل ۲۵- انحراف معیار مقاومت فشاری نمونه های ۲۸ روزه با عیارهای سیمان متفاوت



شکل ۲۴- انحراف معیار مقاومت فشاری نمونه های ۷ روزه با عیارهای سیمان متفاوت

نتایج نمودارهای فوق حاکی از آن است که پراکندگی مقاومت فشاری در نمونه های قالب های دو تکه پلاستیکی بیشتر از نمونه های قالب های فلزی و در قالب های فلزی بیشتر از قالب های یک تکه پلاستیکی است.

۳-۴- ارزیابی مقاومت فشاری نمونه های ساخته شده

بر اساس مبحث نهم مقررات ملی ساختمان ایران، به منظور ارزیابی مقاومت بتن ساخته شده، نیاز به نتایج حداقل سه نمونه برداری متوالی می باشد که پس از ارزیابی مقاومت بتن ساخته شده، این بتن در یکی از سه رده پذیرشی: ۱- قابل قبول، ۲- غیر قابل قبول و ۳- عدم پذیرش قطعی قرار خواهد گرفت. به جهت انجام این ارزیابی، نتایج مقاومت های به دست آمده ی نمونه ها، بر اساس آزمون های استوانه ای حاصل از آزمایش ها با مقاومت فشاری مشخصه بتن (f_c) بر حسب مگاپاسکال، مقایسه می شوند. شایان ذکر است که ملاک ارزیابی در این خصوص نمونه های استوانه ای است. در صورت استفاده از نمونه های مکعبی بایستی نتایج آنها را به مقادیر نظیر نمونه های استوانه ای تبدیل کرد [۷].

۳-۴-۱- مراحل گام به گام ارزیابی مقاومت فشاری بتن ساخته شده

اگر X_1 و X_2 نتایج سه نمونه برداری متوالی باشند. به منظور ارزیابی کیفیت بتن ساخته شده، گام‌های زیر طی می شود:

گام اول:

در این گام روابط زیر باید کنترل شود:

$$X_1 \geq f_c$$

و

$$X_2 \geq f_c$$

و

$$X_3 \geq f_c$$

در صورتی که هر سه رابطه فوق، همزمان برقرار بودند در آن صورت بتن از نظر مقاومت، قابل قبول است، در غیر این صورت گام دوم بررسی می شود.

گام دوم:

روابط زیر باید کنترل شود:

$$X_m = (X_1 + X_2 + X_3) / 3 \geq f_c + 1.5 \text{ Mpa}$$

و

$$X_{\min} \geq f_c - 4 \text{ Mpa}$$

در صورتی که هر دو رابطه اخیر، همزمان برقرار بودند در آن صورت بتن از نظر مقاومت، قابل قبول است. در غیر این صورت، گام سوم مورد بررسی قرار می گیرد.

شایان ذکر است که فقط هنگامی می باید گام دوم را کنترل کرد که بتن در گام اول قابل قبول شناخته نشده باشد.

گام سوم:

روابط زیر باید کنترل شود:

$$X_{\min} < f_c - 4 \text{ Mpa}$$

یا

$$X_m < f_c$$

در صورتی که هر دو با یکی از روابط فوق برقرار باشد، بتن غیر قابل قبول شناخته می شود. در غیر این صورت، بتن عدم پذیرش قطعی شناخته می شود.

شایان توجه است که فقط هنگامی می باید گام سوم را کنترل کرد که بتن در گام اول و دوم قابل قبول شناخته نشده باشد.

در اینجا، به منظور بررسی وضعیت نتایج هر یک از آزمایشگاه‌ها، ارزیابی نتایج مقاومت فشاری نمونه‌های ۲۸ روزه با عیارهای مختلف که در قالب‌های آزمایشگاه‌های مختلف نمونه‌برداری شده اند برای دو رده مقاومتی متوالی، انجام شده است.

جدول ۶- ارزیابی مقاومت فشاری نمونه‌های ۲۸ روزه آزمایشگاه‌ها با عیار 250 kg/m^3

نتیجه	f_c	مقاومت مینیمم	میانگین	مقاومت سوم	مقاومت دوم	مقاومت اول	نوع قالب	شماره آزمایشگاه
بتن غیر قابل قبول	۲۵	۲۱/۵	۲۳/۴	۲۳/۸	۲۱/۵	۲۴/۹	دوتکه پلاستیکی	۱
بتن غیر قابل قبول	۳۰							
بتن غیر قابل قبول	۲۵	۱۸/۲	۱۹/۳	۱۸/۵	۲۱/۲	۱۸/۲	دوتکه پلاستیکی	۲
بتن غیر قابل قبول	۳۰							
بتن قابل قبول	۲۵	۲۵/۳	۲۶/۵	۲۷/۴	۲۵/۳	۲۶/۷	دوتکه پلاستیکی	۳
بتن غیر قابل قبول	۳۰							
بتن قابل قبول	۲۵	۲۸/۳	۲۸/۸	۲۹/۳	۲۸/۳	۲۸/۸	یک تکه پلاستیکی	۴
بتن غیر قابل قبول	۳۰							
بتن قابل قبول	۲۵	۲۷/۶	۲۹/۲	۳۰/۴	۲۷/۶	۲۹/۷	یک تکه	۵

	پلاستیکی						۳۰	بتن غیر قابل قبول
۶	یک تکه پلاستیکی	۳۰/۷	۲۷/۹	۲۸/۴	۲۹	۲۷/۹	۲۵	بتن قابل قبول
							۳۰	بتن غیر قابل قبول
۷	فلزی	۳۱/۷	۳۰/۸	۳۱/۷	۳۱/۴	۳۰/۸	۲۵	بتن قابل قبول
							۳۰	بتن قابل قبول
۸	فلزی	۲۸/۵	۲۷/۴	۲۶/۸	۲۷/۶	۲۶/۸	۲۵	بتن قابل قبول
							۳۰	بتن غیر قابل قبول
۹	فلزی	۳۱/۳	۳۲/۳	۳۲/۲	۳۱/۹	۳۱/۳	۲۵	بتن قابل قبول
							۳۰	بتن قابل قبول

جدول ۷- ارزیابی مقاومت فشاری نمونه‌های ۲۸ روزه آزمایشگاه‌ها با عیار 400 kg/m^3

شماره آزمایشگاه	نوع قالب	مقاومت اول	مقاومت دوم	مقاومت سوم	میانگین	مقاومت مینیمم	fc	نتیجه
۱	دوتکه پلاستیکی	۳۰/۹	۲۸/۳	۳۳	۳۰/۷	۲۸/۳	۳۰	عدم پذیرش قطعی
							۳۵	بتن غیر قابل قبول
۲	دوتکه پلاستیکی	۲۰/۸	۲۳/۷	۳۲/۳	۲۵/۶	۲۰/۸	۳۰	بتن غیر قابل قبول
							۳۵	بتن غیر قابل قبول
۳	دوتکه پلاستیکی	۳۱	۳۰/۱	۳۱/۴	۳۰/۸	۳۰/۱	۳۰	بتن قابل قبول
							۳۵	بتن غیر قابل قبول
۴	یک تکه پلاستیکی	۳۵/۷	۳۵/۲	۳۶/۸	۳۵/۹	۳۵/۲	۳۰	بتن قابل قبول
							۳۵	بتن قابل قبول
۵	یک تکه پلاستیکی	۳۴/۸	۳۳/۲	۳۵	۳۴/۳	۳۳/۲	۳۰	بتن قابل قبول
							۳۵	بتن غیر قابل قبول
۶	یک تکه پلاستیکی	۳۵/۹	۳۷/۳	۳۲/۴	۳۵/۲	۳۲/۴	۳۰	بتن قابل قبول
							۳۵	عدم پذیرش قطعی
۷	فلزی	۳۹/۱	۳۸	۳۸/۶	۳۸/۶	۳۸	۳۰	بتن قابل قبول
							۳۵	بتن قابل قبول
۸	فلزی	۳۴/۲	۳۵/۹	۳۶/۲	۳۵/۴	۳۴/۲	۳۰	بتن قابل قبول
							۳۵	بتن قابل قبول
۹	فلزی	۳۷/۵	۳۷/۹	۳۸	۳۷/۸	۳۷/۵	۳۰	بتن قابل قبول
							۳۵	بتن قابل قبول

جدول ۸- ارزیابی مقاومت فشاری نمونه‌های ۲۸ روزه آزمایشگاه‌ها با عیار 450 kg/m^3

شماره آزمایشگاه	نوع قالب	مقاومت اول	مقاومت دوم	مقاومت سوم	میانگین	مقاومت مینیمم	fc	نتیجه
۱	دوتکه پلاستیکی	۳۳/۳	۳۵	۳۶/۳	۳۴/۸	۳۳/۳	۳۵	بتن غیر قابل قبول
							۴۰	بتن غیر قابل قبول
۲	دوتکه پلاستیکی	۲۴/۸	۲۸/۹	۲۴/۲	۲۵/۹	۲۴/۲	۳۵	بتن غیر قابل قبول
							۴۰	بتن غیر قابل قبول
۳	دوتکه پلاستیکی	۳۳/۹	۳۳/۹	۳۲/۶	۳۴/۴	۳۲/۶	۳۵	بتن غیر قابل قبول
							۴۰	بتن غیر قابل قبول

۴	یک تکه پلاستیکی	۳۶/۳	۳۶/۳	۳۸/۶	۳۷/۱	۳۶/۳	۳۵	بتن قابل قبول
							۴۰	بتن غیر قابل قبول
۵	یک تکه پلاستیکی	۳۶/۷	۳۷/۹	۳۸/۵	۳۷/۷	۳۶/۷	۳۵	بتن قابل قبول
							۴۰	بتن غیر قابل قبول
۶	یک تکه پلاستیکی	۳۹/۲	۳۸	۳۹/۱	۳۸/۸	۳۸	۳۵	بتن قابل قبول
							۴۰	بتن غیر قابل قبول
۷	فلزی	۴۳/۴	۴۳/۷	۴۳/۴	۴۳/۵	۴۳/۴	۳۵	بتن قابل قبول
							۴۰	بتن قابل قبول
۸	فلزی	۴۱/۱	۳۹/۴	۴۰/۱	۴۰/۲	۳۹/۴	۳۵	بتن قابل قبول
							۴۰	بتن قابل قبول
۹	فلزی	۴۳/۳	۴۳/۴	۴۳/۲	۴۳/۳	۴۳/۲	۳۵	بتن قابل قبول
							۴۰	بتن قابل قبول

نتایج ارزیابی مقاومت فشاری نمونه‌های آزمایشگاه‌های مختلف حاکی از آن است که بتن نمونه‌برداری شده در قالب‌های دو تکه پلاستیکی در عیارهای مختلف غیرقابل قبول می‌باشند و لذا نتایج مقاومت فشاری آزمایشگاه‌هایی که از این نوع قالب‌ها استفاده می‌کنند، قابل استناد نمی‌باشد. این موضوع در حالیست که نتایج مقاومت فشاری آزمونه‌های بتنی نمونه‌برداری شده در قالب‌های فلزی حتی رده‌ی مقاومتی بالاتر از خودشان را نیز جوابگو هستند. از آنجاییکه آزمون مقاومت فشاری از بهترین معیارهای موجود برای بررسی کیفیت بتن سخت شده می‌باشد و به منظور انجام این آزمایش بایستی از بتن تولید شده در واحد تولیدی نمونه برداری به عمل آید و هر عامل موثر در نمونه برداری می‌تواند بر مقدار مقاومت فشاری آزمونه‌ها و در نتیجه ارزیابی کلی آن واحد تولیدی اثر گذار باشد، لذا، به‌عنوان بخشی از پژوهش حاضر تصمیم گرفته شد که با توجه به بندهای موجود در مبحث نهم مقررات ملی ساختمان به ارزیابی بتن آزمایشگاه‌هایی که از قالب‌هایی با جنس‌های متفاوت استفاده کرده‌اند، پرداخته شود. شایان توجه است که هدف از ارزیابی مقاومت فشاری آزمونه‌ها بر اساس مبحث نهم مقررات ملی ساختمان، دستیابی به این مهم بود که عواملی از جمله جنس و کیفیت قالب می‌توانند تاثیر چشمگیر و غیر قابل انکاری بر ارزیابی نهایی بتن تولید شده در یک واحد تولیدی داشته باشند، هر چند که مصالح اولیه و فرآیند تولید بتن آن واحد از کیفیت مطلوبی برخوردار باشند.

۴- نتیجه گیری

باتوجه به نتایج به دست آمده و تحلیل‌های صورت گرفته می‌توان بیان کرد که در بین آزمونه‌های نمونه‌برداری شده در قالب‌های با جنس‌های مختلف در این تحقیق، کمترین میزان اعوجاج و بیشترین مقدار مقاومت فشاری مربوط به آزمونه‌های نمونه‌برداری شده در قالب‌های فلزی و همچنین بیشترین میزان اعوجاج و کمترین مقدار مقاومت فشاری مربوط به آزمونه‌های نمونه‌برداری شده در قالب‌های پلاستیکی دو تکه (کامپوزیتی) می‌باشد. این موضوع را می‌توان به ضعف موجود در بدنه‌ی قالب‌های پلاستیکی دو تکه استفاده شده در این پژوهش و در نتیجه تغییر شکل آنها در حین نمونه‌برداری نسبت داد. در حقیقت ناهمواری‌های موجود در سطح آزمونه‌ها باعث می‌شوند که صفحات دستگاه بارگذاری در ابتدا با نقاط بالاتر تماس حاصل نمایند و بدین ترتیب موجب ایجاد تنش‌های موضعی می‌شوند. سپس تنش‌های حاصله به ایجاد ترک در اطراف و زیر قسمت برجسته تر منجر شده و این مهم سبب می‌شود که عقربه اندازه‌گیری نیرو و یا ارقام نمایش داده شده توسط دستگاه خیلی زودتر پایین رفته و حداکثر بار گسیختگی و نتیجتاً مقاومت فشاری آزمونه‌ها کاهش یابد.

علاوه بر آنچه که ذکر شد، در تغییر جنس قالب از قالب‌های فلزی به قالب‌های پلاستیکی یک تکه (در یک سن و عیار مشخص) افت مقاومت کمتری نسبت به تغییر نوع قالب از پلاستیکی یک تکه به پلاستیکی دو تکه مشاهده شده است. این موضوع حاکی از اختلاف چشمگیر (بعضاً تا ۲۰٪ اختلاف) در بین نتایج مقاومت فشاری نمونه‌های قالب‌های پلاستیکی دو تکه با نمونه‌های قالب‌های فلزی است. به علاوه با ارزیابی مقاومت فشاری آزمونه‌های نمونه‌برداری شده در قالب‌های مختلف این پژوهش مشخص شد که بتن تعدادی از آزمایشگاه‌های این تحقیق که از قالب‌های پلاستیکی دو تکه استفاده می‌کنند غیر قابل قبول و نتیجتاً نتایج مقاومت فشاری آزمونه‌های آنها نیز غیر قابل استناد می باشد.

۵- مراجع

[۱] رضایی، محمد جواد؛ مبارکه، مریم؛ بررسی نتایج مقاومت فشاری بتن های نمونه گیری شده در قالب های پلاستیکی و چدنی، کنفرانس بین المللی عمران، معماری و توسعه شهری در ایران، دانشگاه تهران، تهران، ایران، آذر ماه سال ۱۳۹۷

[۲] نشریه ۵۹ فصلنامه انجمن بتن ایران

[۳] استاندارد ملی ایران، موضوع: بتن سخت شده- قسمت اول: شکل، ابعاد و سایر الزامات آزمونه ها و قالب ها، شماره ۱-۱۶۰۸، ویرایش دوم سال ۱۳۹۳

[۴] استاندارد ملی ایران، موضوع ویژگی های سیمان پرتلند، شماره ۳۸۹، ویرایش سوم، چاپ هشتم

[۵] استاندارد ملی ایران، موضوع: بتن تازه- قسمت دوم: تعیین روانی به روش اسلامپ-روش آزمون، شماره ۲-۳۲۰۳، ویرایش دوم

[۶] استاندارد ملی ایران، موضوع: بتن سخت شده- قسمت سوم: تعیین مقاومت فشاری آزمونه ها- روش آزمون، شماره ۳-۱۶۰۸، چاپ اول سال ۱۳۹۳

[۷] مبحث نهم مقررات ملی ساختمان ایران، طرح و اجرای ساختمان های بتن آرمه، ویرایش سال ۱۳۹۲