

Effects of Cubic Molds' Quality on the Compressive Strength and Distortion of Concrete Specimens

Seyed Hesam Madani

Assistant Professor, Dept. of Civil Engineering, Kerman Graduate University of Technology

Mohammad Hossein Anjomshojaa

Managing Director, of Beton Sazan Company

Mostafaa Afzali

Quality Control Laboratory Manager of Beton Sazan Company

Homa Haghighi*

Head of Research and Development Center of Beton Sazan Company

Homa.Civil7088@gmail.com

Abstrac

Various tests are carried out in order to control the concrete quality. One of the most important of these is the concrete compressive strength test. So as to do this test, concrete samples are taken by the quality-control laboratories of the concrete production companies. Different metal, composite and plastic molds exist for sampling concrete that each, has unique advantages and disadvantages. In this study, the effect of concrete sampling molds' quality and material on the compressive strength and distortion of concrete samples is investigated. Finally, based on the accomplished studies, it is found that samples with metal molds compared with other samples have highest compressive strength and lowest distortion. It also observed that the lowest value of compressive strength and the highest value of distortion are related to the samples with composite molds.

Keywords: Concrete, Compressive Strength, Sampling, Mold

اثر کیفیت قالب‌های مکعبی بر مقاومت فشاری و اعوجاج نمونه های بتنی

دریافت مقاله: ۱۳۹۸-۰۸-۱۳

پذیرش مقاله: ۱۳۹۸-۱۰-۰۲

سید حسام مدنی

دانشیار دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی و فناوری پیشرفته کرمان

محمد حسین انجم شعاع

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

مصطفی افضلی

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

هما حقیقی*

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

Homa.Civil7088@gmail.com

چکیده

به جهت کنترل بتن آزمایش‌های مختلفی بر روی آن انجام می‌گیرد. یکی از مهمترین این آزمایش‌ها، آزمایش مقاومت فشاری بتن می‌باشد. به منظور انجام این آزمایش، اقدام به نمونه‌گیری از بتن در محل آزمایشگاه کنترل کیفیت کارخانه تولید بتن و همچنین کارگاه می‌گردد. جهت نمونه‌گیری از بتن، قالب‌هایی از جنس‌های مختلف فلزی، دوتکه پلاستیکی و یک‌تکه پلاستیکی وجود دارند، که هریک از آنها مزایا و معایب منحصر به فردی دارند. در این تحقیق به بررسی اثر جنس قالب‌های نمونه برداری بتن بر مقاومت فشاری و اعوجاج نمونه‌ها پرداخته شده است. در انتها براساس بررسی‌های انجام گرفته مشخص گردید، که نمونه‌های قالب‌گیری شده در قالب‌های فلزی نسبت به نمونه‌های سایر قالب‌ها از مقاومت فشاری بیشتر و اعوجاج کمتری برخوردار هستند. شایان ذکر است که کمترین میزان مقاومت و بیشترین میزان اعوجاج مربوط به نمونه‌های قالب‌گیری شده در قالب‌های دوتکه پلاستیکی بوده است. کلمات کلیدی: بتن، مقاومت فشاری، نمونه‌گیری، قالب.

امروزه بتن به عنوان پرمصرف ترین مصالح ساختمانی در جهان شناخته شده است. اقتصادی بودن، سهولت دسترسی به اجزا تشکیل دهنده آن، شکل پذیری و پایداری نسبتاً بالای این مخلوط، 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 مخلوط بهینه، ماشین آلات و تجهیزات ساخت بتن می باشد.

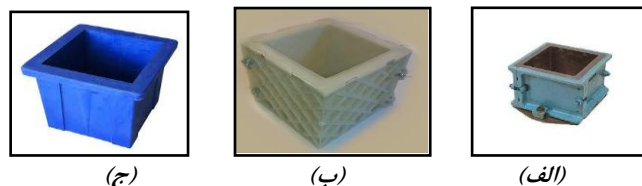
یکی از مهمترین ویژگیهای بتن، مقاومت فشاری آن می باشد. مقاومت مشخصه فشاری بتن در نقشه ها و مشخصات فنی خصوصی هر پروژه درج می گردد. علی القاعده طراح پروژه در محاسبات سازه ای از این مقاومت مشخصه بهره گیری نموده است. مقاومت مشخصه بتن یک تعریف آماری دارد که در آئین نامه های مختلف یکسان نیست. این مقاومت مشخصه، 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 مخلوط (مقاومت هدف طرح مخلوط) را تعیین می کند و سعی می نماید در آزمایشگاه تقریباً 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 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 [۲].

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 [۳ و ۴].

قالب های نمونه برداری پلاستیکی دوتکه 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 خروسکی 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 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 عموماً 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 صورتی که 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 سخت 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 تغییرشکل خواهند داشت که این تغییرشکل، 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 [۲].

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 عقربه اندازه گیری نیرو یا ارقام نمایش داده شده توسط وسیله مشابه دیجیتالی، خیلی زودتر پایین رفته و بدین ترتیب حداکثر بار گسیختگی کاهش یابد [۵].

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 [۵].

در آزمایش مقاومت فشاری آزمونه 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 کلاهدک گذاری پیش بینی می شود بنابراین همواری و تخت بودن کف قالب به شرط ساییدن یا کلاهدک 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 [۵].

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 [۵].

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 [۱]. همچنین، احمدی و همکاران نیز در سال ۱۳۹۸ به بررسی تاثیر کیفیت شش نوع قالب مکعبی $150 \times 150 \times 150$ میلی متری شامل دو نوع قالب فولادی و چهار نوع قالب پلاستیکی بر نتایج مقاومت فشاری بتن پانزده طرح مخلوط در سنین مختلف پرداختند. نتایج پژوهش آنها حاکی از این مهم بود که استفاده از بدترین قالب مورد بررسی، به طور متوسط سبب کاهش مقاومت فشاری اندازه گیری شده به مقدار ۱۸ درصد نسبت به بهترین قالب استفاده شده، گردیده است. نتایج پژوهش آنها نشان داد که تاثیر قالب بر مقاومت فشاری بتن، می تواند بسیار قابل توجه باشد [۶].

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

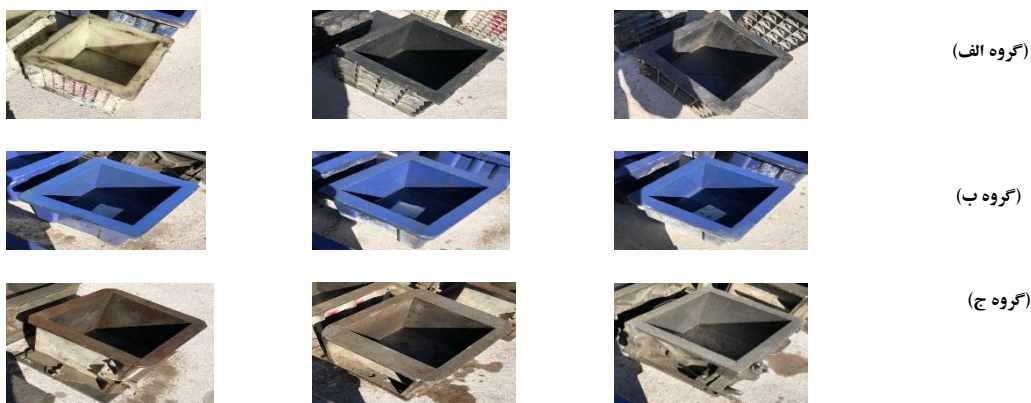
۲- مصالح و روش ها

۲-۱- مشخصات قالب ها

طبق بند ۵-۲-۱ استاندارد ملی ایران شماره ۱-۱۶۰۸، قالب نمونه گیری 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 آزمون ها با آزمون های نمونه برداری شده در قالب های فلزی انجام گردد [۷].

لذا، بر این اساس و به منظور انجام این صحت سنجی و همچنین بررسی تاثیر جنس قالب های نمونه برداری بر مقاومت فشاری آزمون ها، در آذرماه سال ۱۳۹۷ 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). تمامی قالب های استفاده شده قالب های مکعبی با بعد استاندارد ۱۵۰ میلی متری بوده است.

شایان ذکر است قالب‌های تهیه شده در مطالعه حاضر از تعدادی از آزمایشگاه‌های فعال و شناخته شده تهیه شده‌اند. لذا می‌توان فرض نمود انتخاب قالب‌ها جنبه تصادفی داشته و معرف قالب‌هایی است که در پروژه‌ها به صورت روزانه استفاده می‌گردد. قطعاً کهنگی یا نبودن قالب‌ها در میزان اعوجاج و پراکندگی نتایج تاثیرگذار می‌باشد، لیکن این پارامتر در مطالعه حاضر مورد توجه قرار نگرفته است.



شکل ۲- گروه الف: قالب‌های نمونه‌برداری پلاستیکی دوتکه، گروه ب: قالب‌های نمونه‌برداری پلاستیکی یک تکه، گروه ج: قالب‌های نمونه‌برداری فلزی

۲-۲- مشخصات مصالح

۲-۲-۱- سنگدانه‌ها

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- دانه بندی مصالح سنگی مصرفی در بتن

شماره الک	درصد عبوری		
	ماسه	شن بادی	شن نخودی
1"	.....	۱۰۰	۱۰۰
3/4"	.....	۴۸۷	۱۰۰
1/2"	.....	۸	۹۷
3/8"	۱۰۰	۲	۶۶
3/16"	۹۵	.....	۳
#8	۷۶	.....	.....
#16	۵۳	.....	.....
#30	۳۸	.....	.....
#50	۱۹	.....	.....
#100	۳	.....	.....
#200	۰/۵	.....	.....

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

وزن مخصوص (SSD) و جذب آب	تطویل و تورق		افت وزنی در مقابل سولفات سدیم (%)	افت وزنی در مقابل سایش به روش لوس انجلس	عبوری از الک ۷۵ میکرون (%)	ضریب نرمی	نوع مصالح
	تطویل (%)	تورق (%)					
جذب آب حقیقی (%)	۲/۷	۲۰	۱۸	۲	۲۳	۰/۴۱	شن درشت
۰/۶	۲/۷	۱۸	۱۴	۲	۰/۴۱	۰/۴۱	شن ریز
۰/۸	۲/۶	.....	.....	۴	.....	۰/۵	ماسه
۲/۱							

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 منطبق بر الزامات استاندارد ملی ایران شماره ۳۸۹ [۸] 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 ₃ S	C ₂ S	C ₃ A	C ₄ AF
درصد وزنی ترکیب	۶۳/۰۶	۲۰/۷۸	۴/۴۴	۳/۶۳	۱/۲۹	۰/۶۱	۰/۶۱	۵۶	۱۷/۳	۵/۶	۱۱

۲-۲-۳- 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	EC (mic.mho)	۱۰۳۰
Cl ⁻	۳	۱۰۶/۵	Ca ⁺⁺	۱/۵	۳۰	PH	۷/۷
HCO ₃ ⁻	۳/۶	۲۱۹/۶	Mg ⁺⁺	۰/۷	۸/۵	TDS (ppm)	۶۶۹/۵
CO ₃ ⁻	۰	۰	Na ⁺	۷/۱	۱۶۳/۳	TH (ppm CaCO ₃)	۱۱۰
SO ₄ ⁻	۲/۷	۱۳۰	K ⁺	۰/۰۵	۲	SAR	۶/۸
						Na%	۷۶/۳

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

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

جدول ۵- طرح های مخلوط بتن های مصرفی

کد طرح	سیمان Kg/m ³	ماسه Kg/m ³	شن پادامی Kg/m ³	شن نخودی Kg/m ³	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 مخلوط های فوق به گونه ای انتخاب گردید که اسلامپ بتن حاصله ۱۲۰ میلی متر باشد.

سپس بتن های مورد نیاز براساس طرح مخلوط 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 ۱۶۰۸-۳ [۹ و ۱۰] به صورت همزمان و تحت شرایط کاملاً یکسان اقدام به نمونه برداری از آن ها گردید (شکل ۳).



(ج)



(ب)



(الف)

شکل ۳- الف: قالب های نمونه برداری، ب: فرآیند نمونه برداری، ج: نمونه های آماده شده در قالب

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

۴-۲- انجام آزمایش های مقاومت فشاری و اعوجاج

ابعاد (طول، عرض، ارتفاع) و جرم تمامی آزمون های 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 مخلوط به ازای هر آزمایشگاه) و قبل از انجام آزمایش های مقاومت فشاری و اعوجاج، اندازه گیری گردید.

۴-۲-۱- آزمایش مقاومت فشاری

آزمایش مقاومت فشاری بر روی نمونه ها 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.

۴-۲-۲- آزمایش اعوجاج

به منظور انجام این آزمایش، در ابتدا، گونیا (شکل ۴) بر روی سطوح نمونه های مکعبی قرار داده شده و سپس با نگاه از روبه رو نمونه مورد ارزیابی قرار می گیرد. سپس به منظور اندازه گیری مقدار اعوجاج، فیلر سنج با دقت ۰/۰۵ میلی متر (شکل ۵) در حد فاصل سطح نمونه مکعبی و گونیا (همان جا که بازه نور مشاهده شده است) قرار داده شده و پره های فیلر سنج تا آنجا که پره ای با ضخامت بیشتر قابل عبور نباشد، عبور داده می شوند. سپس ضخامت پره ای فیلر سنج قرائت شده و به عنوان میزان اعوجاج نمونه در نظر گرفته می شود.

شایان توجه است که تحقیق حاضر به بررسی میزان گونیا بودن نمونه‌ها یا قالب‌ها نپرداخته است. لیکن توصیه می‌گردد در مطالعات آتی این آزمون نیز مورد بررسی جدی قرار گیرد و تاثیر این عامل بر نتایج مقاومتی بتن تعیین گردد.



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 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 [۱۱].

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

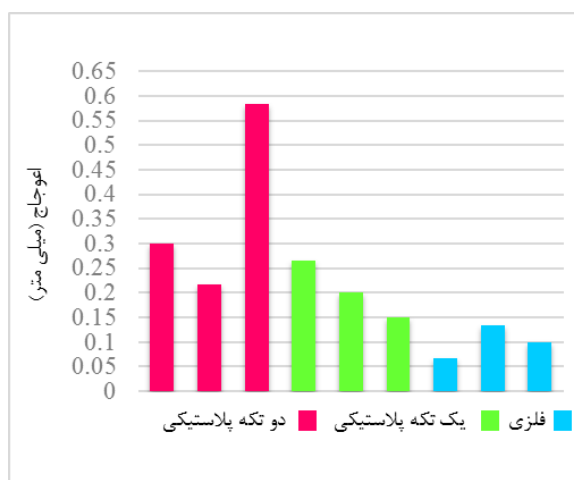
مقاومت فشاری نمونه مکعبی (MPa)	≤۲۵	۳۰	۳۵	۴۰	۴۵	۵۰	۵۵
R_f	۱/۲۵	۱/۲۰	۱/۱۷	۱/۱۴	۱/۱۳	۱/۱۱	۱/۱۰
مقاومت فشاری نمونه استوانه‌ای (MPa)	با توجه به ضریب						
		۲۵	۳۰	۳۵	۴۰	۴۵	۵۰

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

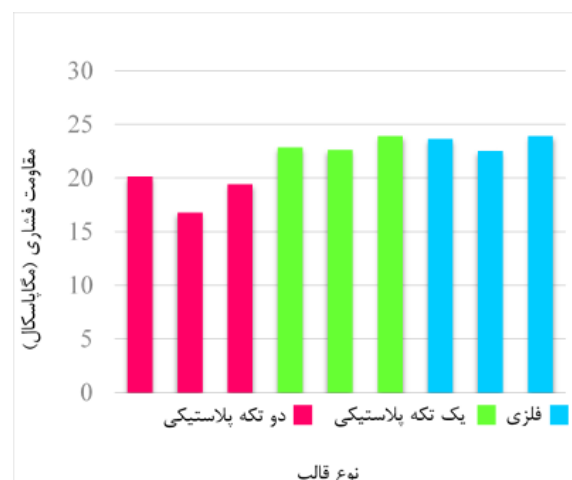
جدول ۷- ضرائب تبدیل استفاده شده

ضریب تبدیل مقاومت	رده مقاومتی بتن (MPa)	عیار سیمان (kg/m^3)
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 می‌باشد (شکل‌های ۶ تا ۱۷).



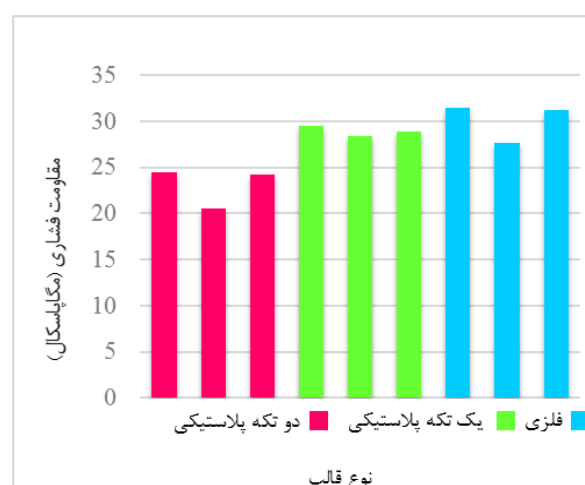
شکل ۷- میانگین حداکثر اعوجاج نمونه‌های ۷ روزه با عیار 350 kg/m^3



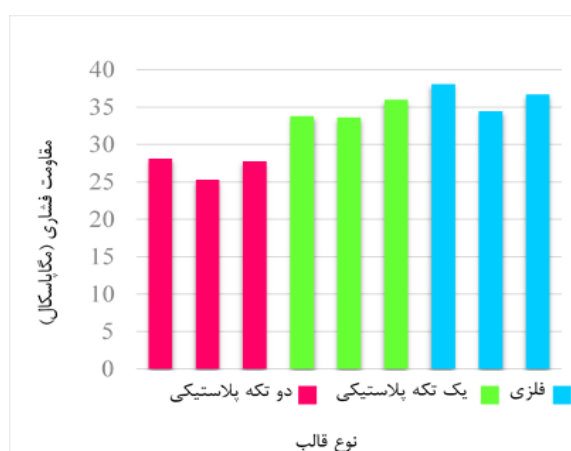
شکل ۶- میانگین مقاومت فشاری نمونه‌های ۷ روزه با عیار 350 kg/m^3



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



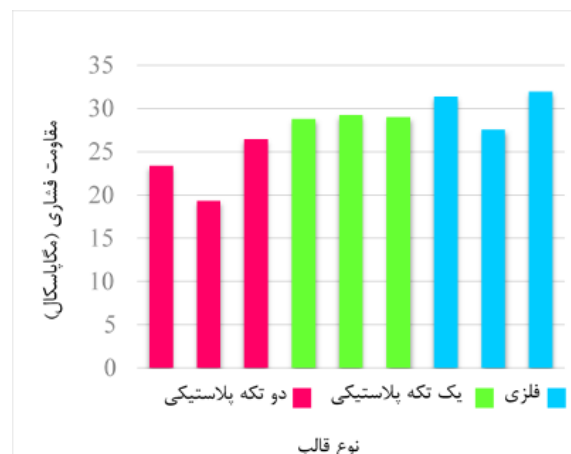
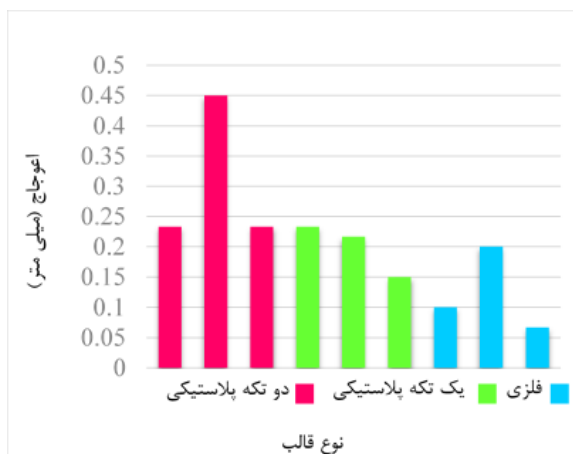
شکل ۸- میانگین مقاومت فشاری نمونه‌های ۷ روزه با عیار 400 kg/m^3



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

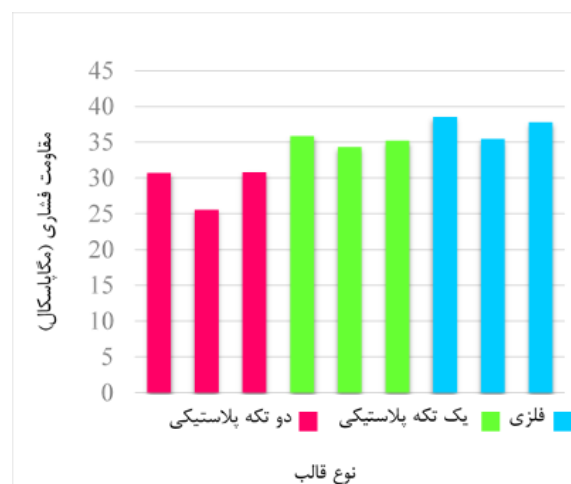
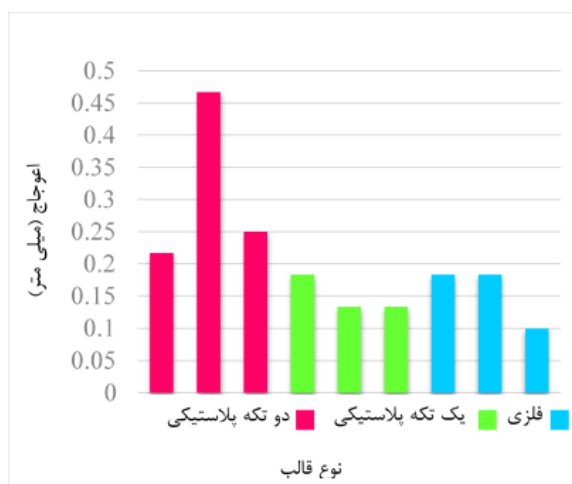


شکل ۱۰- میانگین مقاومت فشاری نمونه‌های ۷ روزه با عیار 450 kg/m^3



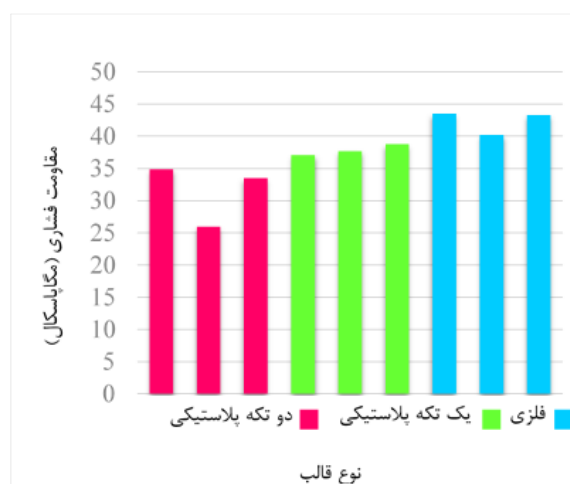
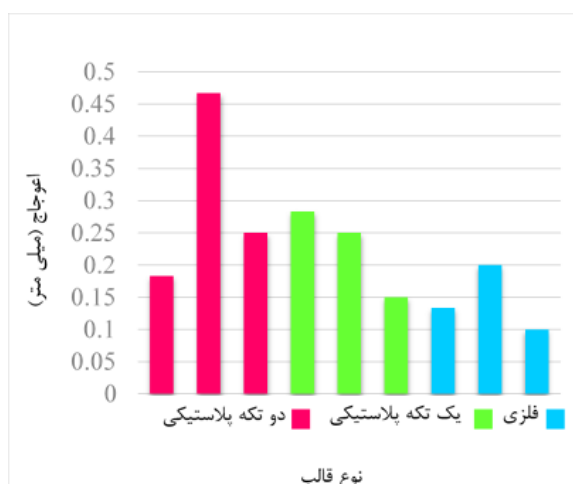
شکل ۱۳- میانگین حداکثر اعوجاج نمونه‌های ۲۸ روزه با عیار 350 kg/m^3

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

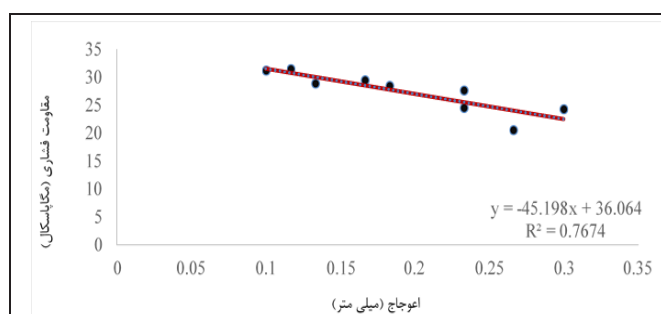
شکل ۱۶- میانگین مقاومت فشاری نمونه‌های ۲۸ روزه با عیار 450 kg/m^3

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.

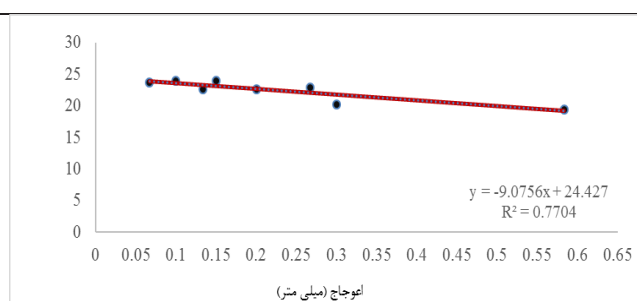
در رابطه با میزان اعوجاج نمونه‌ها بایستی ذکر گردد که فارغ از سن و عیار نمونه‌ها، نمونه‌های قالب‌های پلاستیکی دو تکه بیشترین میزان اعوجاج و نمونه‌های قالب‌های فلزی کمترین میزان اعوجاج را داشتند.

۳-۲- ارتباط بین مقاومت فشاری و اعوجاج

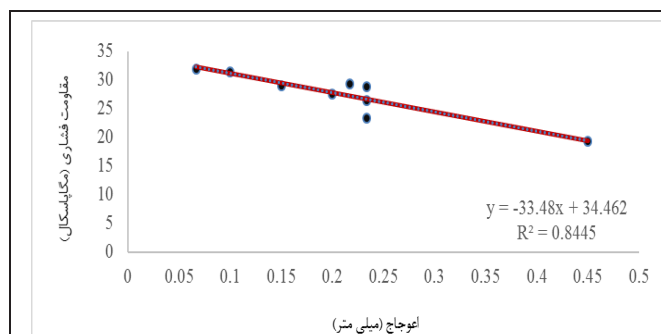
به منظور بررسی ارتباط بین مقاومت فشاری و اعوجاج نمونه‌ها با عیارها و سن‌های مختلف، نمودار میانگین مقاومت فشاری آزمونه‌ها بر حسب میانگین اعوجاج آنها در سنین و عیارهای مختلف ترسیم گشت (شکل‌های ۱۸ تا ۲۳).



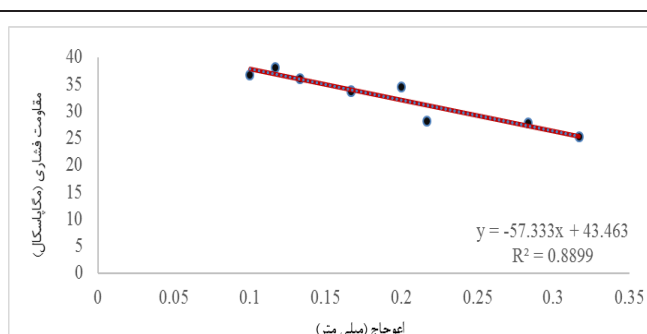
شکل ۱۹- میانگین مقاومت فشاری نمونه‌های ۷ روزه با عیار 400 kg/m^3 بر حسب میانگین حداکثر اعوجاج آنها



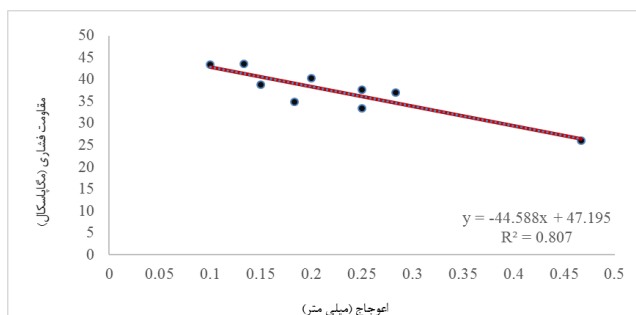
شکل ۱۸- میانگین مقاومت فشاری نمونه‌های ۷ روزه با عیار 350 kg/m^3 بر حسب میانگین حداکثر اعوجاج آنها



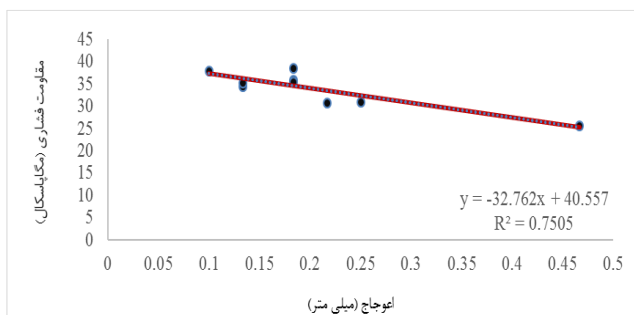
شکل ۲۱- میانگین مقاومت فشاری نمونه‌های ۲۸ روزه با عیار 350 kg/m^3 بر حسب میانگین حداکثر اعوجاج آنها



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

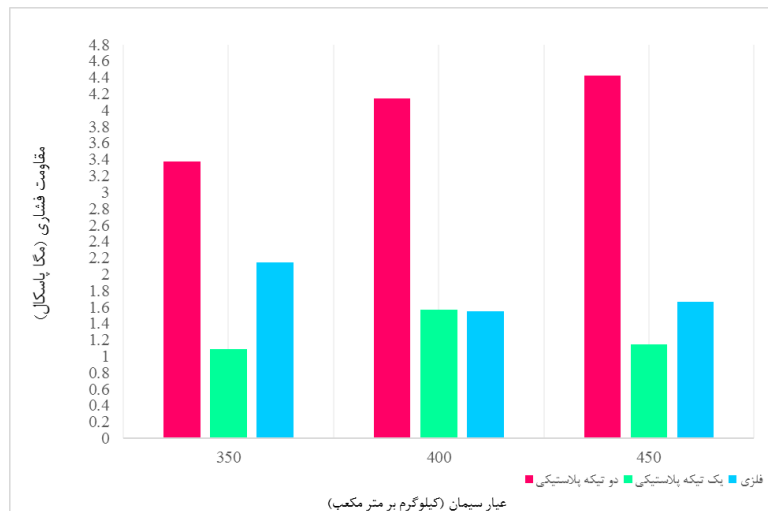
از بررسی نمودارهای رگرسیون فوق می‌توان دریافت که به طور کلی در نمونه‌های ۷ و ۲۸ روزه، با افزایش عیار سیمان، شیب نمودار رگرسیون افزایش می‌یابد، این مهم حاکی از آن است که تاثیر اعوجاج با افزایش مقاومت نمونه‌ها افزایش می‌یابد.

۳-۳- انحراف معیار

به منظور بررسی میزان پراکندگی مقاومت فشاری نمونه‌های بتنی در قالب‌ها، سن‌ها و عیارهای مختلف، ابتدا انحراف معیار برای داده‌های اکتسابی از قالب‌های هر آزمایشگاه در سن و عیار مشخص محاسبه و سپس نمودارهای مربوطه ترسیم گردیدند (شکل‌های ۲۴ و ۲۵).



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



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

نتایج نمودارهای فوق حاکی از آن است که پراکندگی مقاومت فشاری در نمونه‌های قالب‌های دو تکه پلاستیکی بیشتر از نمونه‌های قالب‌های فلزی و در قالب‌های فلزی مشابه و حتی در مواردی بیشتر از قالب‌های یک تکه پلاستیکی است.

۳-۴- ارزیابی مقاومت فشاری نمونه‌های ساخته شده

براساس 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- غیرقابل قبول و ۳- عدم پذیرش قطعی قرار خواهد گرفت. به جهت انجام این ارزیابی، نتایج مقاومت‌های به دست آمده ی نمونه‌ها، بر اساس آزمون‌های استوانه ای حاصل از آزمایش‌ها با مقاومت فشاری مشخصه بتن (f_c) برحسب مگاپاسکال، مقایسه می شوند. شایان ذکر است که ملاک ارزیابی در این خصوص نمونه‌های استوانه ای است. در صورت استفاده از نمونه‌های مکعبی بایستی نتایج آنها را به مقادیر نظیر نمونه‌های استوانه ای تبدیل کرد [۱۱].

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

اگر X_2 و X_3 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 می‌شود.

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 یا 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 های اول و دوم قابل قبول شناخته نشده باشد.

در اینجا، به منظور بررسی وضعیت نتایج هر یک از آزمایشگاه ها، ارزیابی نتایج مقاومت فشاری نمونه های ۲۸ روزه با عیارهای مختلف که در قالب های آزمایشگاه های مختلف نمونه برداری شده اند برای دو رده مقاومتی متوالی، انجام شده است.

جدول ۶- ارزیابی مقاومت فشاری نمونه های ۲۸ روزه آزمایشگاه ها با عیار 350 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 پلاستیکی	۵
بتن غیر قابل قبول	۳۰							
بتن قابل قبول	۲۵	۲۷/۹	۲۹	۲۸/۴	۲۷/۹	۳۰/۷	یک تکه پلاستیکی	۶
بتن غیر قابل قبول	۳۰							
بتن قابل قبول	۲۵	۳۰/۸	۳۱/۴	۳۱/۷	۳۰/۸	۳۱/۷	فلزی	۷
بتن قابل قبول	۳۰							
بتن قابل قبول	۲۵	۲۶/۸	۲۷/۶	۲۶/۸	۲۷/۴	۲۸/۵	فلزی	۸
بتن غیر قابل قبول	۳۰							
بتن قابل قبول	۲۵	۳۱/۳	۳۱/۹	۳۲/۲	۳۲/۳	۳۱/۳	فلزی	۹
بتن قابل قبول	۳۰							

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

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

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

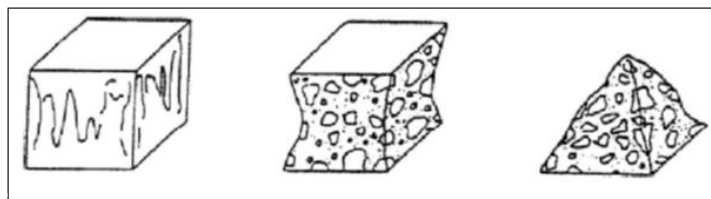
نتیجه	fc	مقاومت مینیمم	میانگین	مقاومت سوم	مقاومت دوم	مقاومت اول	نوع قالب	شماره آزمایشگاه
بتن غیر قابل قبول	۳۵	۳۳/۳	۳۴/۸	۳۶/۳	۳۵	۳۳/۳	دوتکه پلاستیکی	۱
بتن غیر قابل قبول	۴۰							
بتن غیر قابل قبول	۳۵	۲۴/۲	۲۵/۹	۲۴/۲	۲۸/۹	۲۴/۸	دوتکه پلاستیکی	۲
بتن غیر قابل قبول	۴۰							
بتن غیر قابل قبول	۳۵	۳۲/۶	۳۴/۴	۳۲/۶	۳۳/۹	۳۳/۹	دوتکه پلاستیکی	۳
بتن غیر قابل قبول	۴۰							
بتن قابل قبول	۳۵	۳۶/۳	۳۷/۱	۳۸/۶	۳۶/۳	۳۶/۳	یک تکه پلاستیکی	۴
بتن غیر قابل قبول	۴۰							
بتن قابل قبول	۳۵	۳۶/۷	۳۷/۷	۳۸/۵	۳۷/۹	۳۶/۷	یک تکه پلاستیکی	۵
بتن غیر قابل قبول	۴۰							
بتن قابل قبول	۳۵	۳۸	۳۸/۸	۳۹/۱	۳۸	۳۹/۲	یک تکه پلاستیکی	۶
بتن غیر قابل قبول	۴۰							
بتن قابل قبول	۳۵	۴۳/۴	۴۳/۵	۴۳/۴	۴۳/۷	۴۳/۴	فلزی	۷
بتن قابل قبول	۴۰							
بتن قابل قبول	۳۵	۳۹/۴	۴۰/۲	۴۰/۱	۳۹/۴	۴۱/۱	فلزی	۸
بتن قابل قبول	۴۰							
بتن قابل قبول	۳۵	۴۳/۲	۴۳/۳	۴۳/۲	۴۳/۴	۴۳/۳	فلزی	۹
بتن قابل قبول	۴۰							

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 حالیکه نتایج مقاومت فشاری آزمونه‌های بتنی نمونه‌برداری شده در قالب‌های فلزی حتی رده‌ی مقاومتی متداول بالاتر از خودشان را نیز جوابگو هستند.

از آنجائیکه آزمون مقاومت فشاری از مهمترین 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، به عنوان 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.

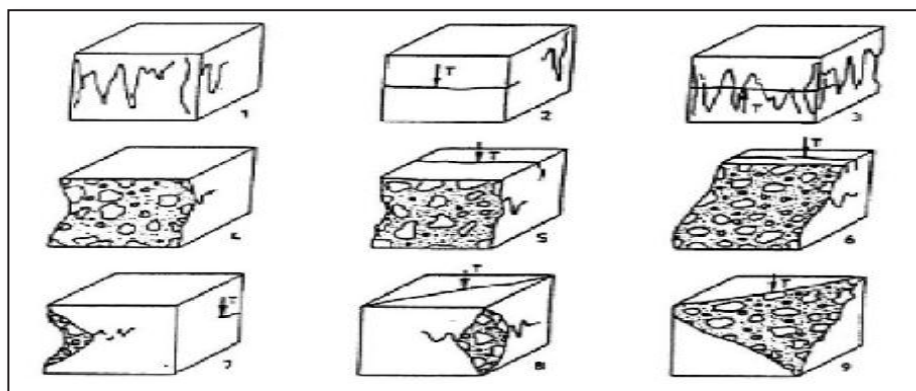
۵-۳- شکل شکست

بر اساس آیین نامه BS EN 12390-3 شکست مطلوب نمونه بگونه‌ای است که با افزایش فشار باید ۴ وجه کناری به طور مساوی دچار ترک گردد و پس از شکست قطعه باقی مانده به صورت دو هرم معکوس روی هم قرار گرفته و یا دو هرم جدا شده باشد (شکل ۲۶) [۱۲].



شکل ۲۶- شکست مطلوب نمونه های مکعبی [۱۲]

از مشخصات شکست مطلوب میتوان به توزیع یکنواخت ترک در ۴ وجه نمونه مکعبی، عدم ایجاد خسارت به وجه بالا و پایین نمونه، الگوی ایجاد ترک به صورت عمودی و زیگزاگ و همچنین جدا شدن وجه اطراف به گونه‌ای که قطعه هرمی شکل باقی بماند نام برد. شکست نامطلوب نمونه های مکعبی به یکی از ۹ حالت زیر رخ میدهد (شکل ۲۷).



شکل ۲۷- الگوهای شکست نامطلوب نمونه های مکعبی [۱۲]

از مشخصات شکست نامطلوب نیز می توان به خردشدگی تنها در یک وجه نمونه و ایجاد ترک افقی به صورت نامتقارن در نمونه اشاره کرد. همچنین از علل شکست نامطلوب نمونه های بتنی میتوان به ایراد در جک دستگاه، خطای اپراتور آزمایشگاه، قالب گیری نامناسب، عمل آوری نامطلوب و طرح مخلوط نامناسب اشاره کرد. از آنجایی که در این پژوهش از قالب هایی با جنس های متفاوت استفاده شده است، شکل شکست نامطلوب پاره ای از نمونه های قالب گیری شده در قالب هایی از جنس قالب های پلاستیکی دو تکه در ادامه آورده شده است.



شکل ۲۸- الگوهای شکست نامطلوب نمونه های مکعبی قالب گیری شده در قالب های پلاستیکی دو تکه

۳-۶- بررسی صحت و دقت نتایج براساس محاسبات مربوط به مقایسات بین آزمایشگاهی

سازمان جهانی استانداردسازی با همکاری کمیته بین المللی الکتروتکنیکال برای اولین بار در سال ۱۹۹۹ اقدام به انتشار استاندارد بین المللی ISO/IEC 17025 به عنوان "الزامات عمومی برای احراز صلاحیت آزمایشگاه های آزمون و کالیبراسیون" نمود. که امروزه مقایسات بین آزمایشگاهی (Interlaboratory Comparisons) طبق استانداردهای جهانی، یکی از بخش های مهم در برنامه های کنترل در آزمایشگاه های آزمون و کالیبراسیون است. مقایسات بین آزمایشگاهی با سازماندهی، اجرا و ارزشیابی آزمون های انجام شده بر روی نمونه آزمون های یکسان یا مشابه، توسط دو یا چند آزمایشگاه بر طبق شرایط از پیش تعیین شده، کیفیت نتایج آزمایشگاهی به دست آمده را بررسی می نماید.

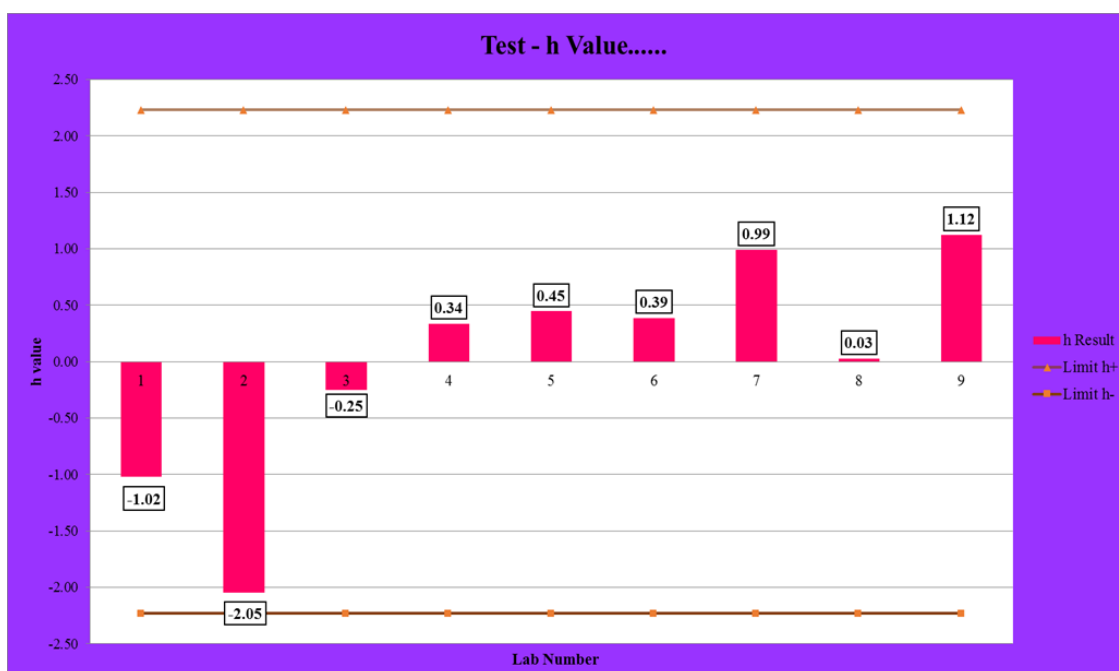
مشاهده شده است که نتایج ارائه شده توسط آزمایشگاه های آزمون و کالیبراسیون بر روی یک مخلوط یکسان متفاوت بوده است. جهت بررسی این مورد که آیا این نتایج به دست آمده با وجود شرایط آزمایشگاهی متفاوت، با نتایج واقعی همخوانی دارد یا خیر، ضرورت استفاده از مقایسات بین آزمایشگاهی را نشان می دهد.

در حقیقت، مقایسات بین آزمایشگاهی این شانس را در اختیار آزمایشگاه ها قرار می دهد که نه تنها نتایج آزمایشگاهی خود را اعتباربخشی نمایند، بلکه سیستم آزمایشگاهی خود را پایش نموده و خطاهای سیستماتیک شان را شناسایی و جهت رفع آنها اقدام نمایند، که این موضوع باعث اظهار نظر درست، تصمیم گیری صحیح و نهایتاً سبب جلب اعتماد مشتریان و همچنین ماندگاری آنها در بازار کار می شود. از طرفی با استفاده از مقایسات بین آزمایشگاهی دقت و صحت روش آزمون و همچنین تکرار پذیر بودن داده ها و روش آزمون مورد بررسی قرار میگیرد و با استفاده از مقایسات بین آزمایشگاهی می توان روش جدید آزمون را با روش های تایید شده مقایسه نمود و اعتبار بخشی کرد.

در این بخش از مقاله به بررسی صحت و دقت نتایج مقاومت فشاری آزمون ها در عیارهای مختلف و در سن ۲۸ روزه پرداخته شده است (جداول ۹ تا ۱۱ و اشکال ۲۹ تا ۳۴).

جدول ۹- محاسبات آماری آزمون‌های آزمایشگاه‌های مختلف با عیار 350 kg/m^3

تحلیل نهایی		تحلیل اولیه					داده‌های اولیه				
سازگاری آماری درون آزمایشگاهی	سازگاری آماری بین آزمایشگاهی	انحراف از میانگین نتایج	انحراف استاندارد هر آزمایشگاه	میانگین	نام مولفه		نتیجه آزمون			نوع قالب آزمایشگاه	ردیف
					حد پذیرش	حداکثر	تکرار ۱	تکرار ۲	تکرار ۳		
۲/۰۹	۲/۲۳					حداکثر					
-۲/۰۹	-۲/۲۳					حداقل					
۱/۶۱	-۱/۰۲	-۴/۱	۱/۷	۲۳/۴			۲۳/۸	۲۱/۵	۲۴/۹	دوتکه پلاستیکی	۱
۱/۵۳	-۲/۰۵	-۸/۲	۱/۷	۱۹/۳			۱۵/۵	۲۱/۲	۱۸/۲	دوتکه پلاستیکی	۲
۰/۹۹	-۰/۲۵	-۱/۰	۱/۱	۲۶/۵			۲۷/۴	۲۵/۳	۲۶/۷	دوتکه پلاستیکی	۳
۰/۴۶	۰/۳۴	۱/۳	۰/۵	۲۸/۸			۲۹/۳	۲۸/۳	۲۸/۸	یک تکه پلاستیکی	۴
۱/۳۵	۰/۴۵	۱/۸	۱/۵	۲۹/۲			۳۰/۴	۲۷/۶	۲۹/۷	یک تکه پلاستیکی	۵
۱/۳۸	۰/۳۹	۱/۵	۱/۵	۲۹/۰			۲۸/۴	۲۷/۹	۳۰/۷	یک تکه پلاستیکی	۶
۰/۴۸	۰/۹۹	۳/۹	۰/۵	۳۱/۴			۳۱/۷	۳۰/۸	۳۱/۷	فلزی	۷
۰/۸۰	۰/۰۳	۰/۱	۰/۹	۲۷/۶			۲۶/۸	۲۷/۴	۲۸/۵	فلزی	۸
۰/۵۱	۱/۱۲	۴/۵	۰/۶	۳۱/۹			۳۲/۲	۳۲/۳	۳۱/۳	فلزی	۹
۲۷/۴۶	میانگین میانگین ها		۳/۹۸		انحراف استاندارد میانگین ها		۳			تعداد تکرار نتایج	
۱/۰۸	انحراف استاندارد تکرار پذیری		۴/۰۸		انحراف استاندارد تکثیر پذیری		۹			تعداد آزمایشگاه ها	



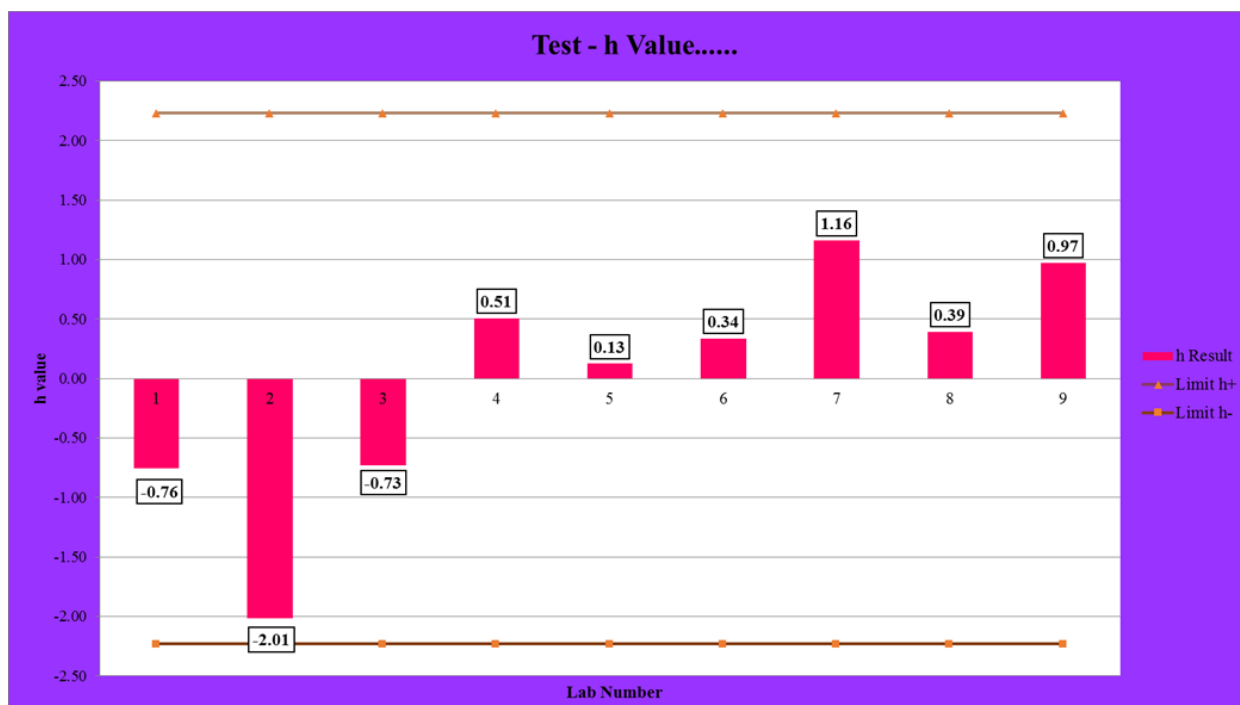
شکل ۲۹- شاخص سازگاری آماری بین آزمایشگاهی، آزمون‌های آزمایشگاه‌های مختلف با عیار 350 kg/m^3



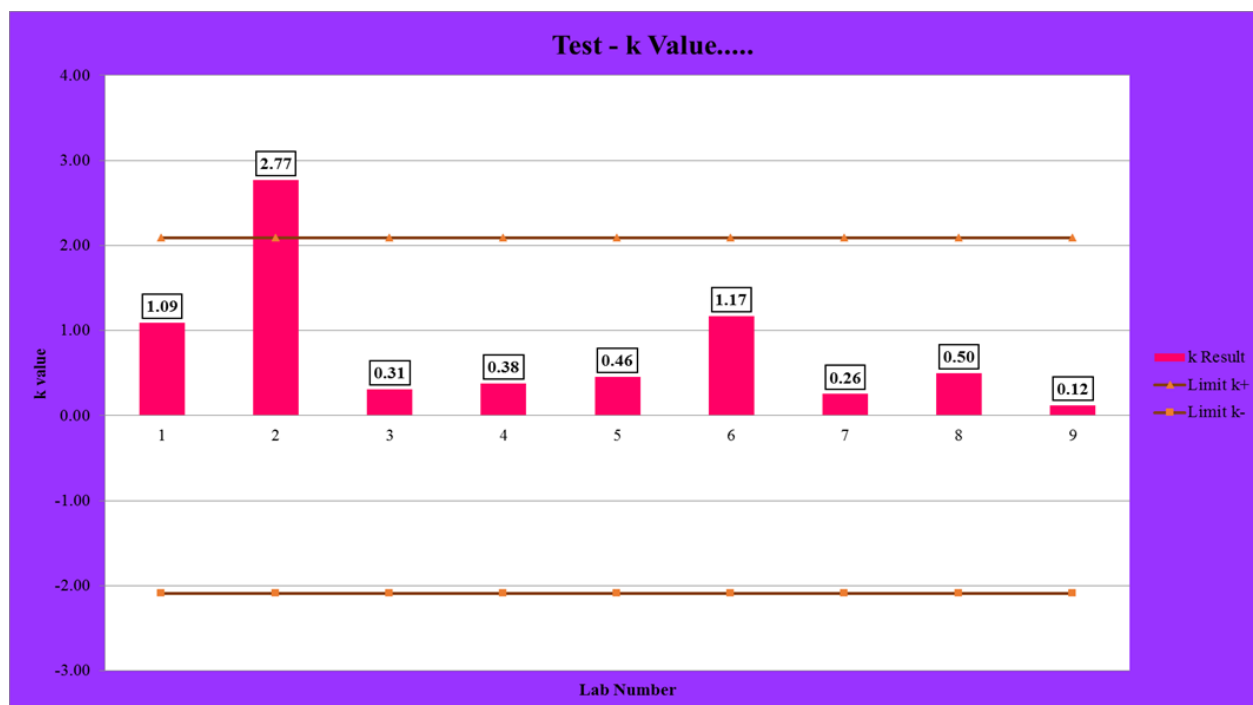
شکل ۳۰- شاخص سازگاری آماری درون آزمایشگاهی، آزمون‌های آزمایشگاه‌های مختلف با عیار 350 kg/m^3

جدول ۱۰- محاسبات آماری آزمون‌های آزمایشگاه‌های مختلف با عیار 400 kg/m^3

تحلیل نهایی		تحلیل اولیه				داده‌های اولیه				
سازگاری آماری درون آزمایشگاهی	سازگاری آماری بین آزمایشگاهی	انحراف از میانگین نتایج	انحراف استاندارد هر آزمایشگاه	میانگین	نام مولفه	نتیجه آزمون			نام آزمایشگاه	ردیف
						حد پذیرش	تکرار ۳	تکرار ۲	تکرار ۱	
۲/۰۹	۲/۲۳				حداکثر	حداقل				
۱/۰۹	-۰/۷۶	-۳/۱	۲/۴	۳۰/۷			۳۳	۲۸/۳	۳۰/۹	دوتکه پلاستیکی ۱
۲/۷۷	-۲/۰۱	-۸/۲	۶/۰	۲۵/۶			۳۲/۳	۲۳/۷	۲۰/۸	دوتکه پلاستیکی ۲
۰/۳۱	-۰/۷۳	-۳/۰	۰/۷	۳۰/۸			۳۱/۴	۳۰/۱	۳۱	دوتکه پلاستیکی ۳
۰/۳۸	۰/۵۱	۱/۲	۰/۸	۳۵/۹			۳۶/۸	۵/۲	۳۵/۷	یک تکه پلاستیکی ۴
۰/۴۶	۰/۱۳	۰/۵	۱/۰	۳۴/۳			۳۵	۳۳/۲	۳۴/۸	یک تکه پلاستیکی ۵
۱/۱۷	۰/۳۴	۱/۴	۲/۵	۳۵/۲			۳۲/۴	۳۷/۳	۳۵/۹	یک تکه پلاستیکی ۶
۰/۲۶	۱/۱۶	۴/۷	۰/۶	۳۸/۶			۳۸/۶	۳۸	۳۹/۱	فلزی ۷
۰/۵۰	۰/۳۹	۱/۶	۱/۱	۳۵/۴			۳۶/۲	۳۵/۹	۳۴/۲	فلزی ۸
۰/۱۲	۰/۹۷	۴/۰	۰/۳	۳۷/۸			۳۸	۳۷/۹	۳۷/۵	فلزی ۹
۳۳/۸۲	میانگین میانگین ها		۴/۰۸		انحراف استاندارد میانگین ها		۳			تعداد تکرار نتایج
۲/۱۶	انحراف استاندارد تکرار پذیری		۴/۴۵		انحراف استاندارد تکثیر پذیری		۹			تعداد آزمایشگاه ها



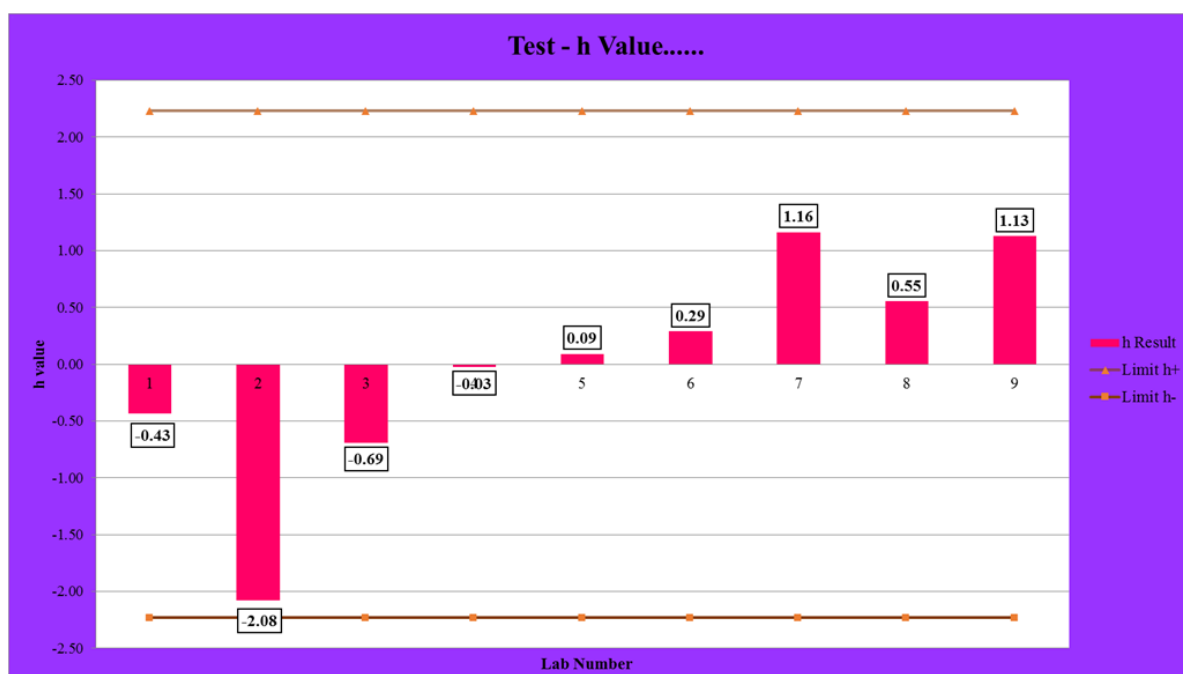
شکل ۳۱- شاخص سازگاری آماری بین آزمایشگاهی، آزمون‌های آزمایشگاه‌های مختلف با عیار 400 kg/m^3



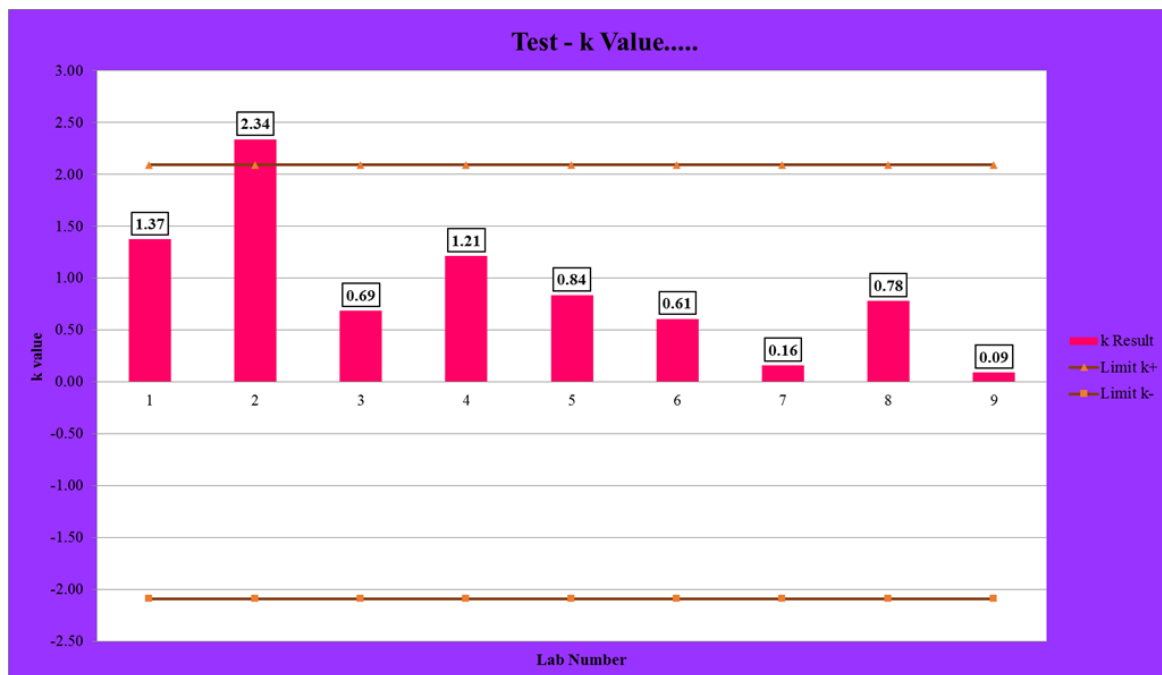
شکل ۳۲- شاخص سازگاری آماری درون آزمایشگاهی، آزمون‌های آزمایشگاه‌های مختلف با عیار 400 kg/m^3

جدول ۱۰- محاسبات آماری آزمونه‌های آزمایشگاه‌های مختلف با عیار 450 kg/m^3

تحلیل نهایی		تحلیل اولیه				داده‌های اولیه			
سازگاری آماری درون آزمایشگاهی	سازگاری آماری بین آزمایشگاهی	انحراف از میانگین نتایج	انحراف استاندارد هر آزمایشگاه	میانگین	نام مولفه	نتیجه آزمون			ردیف
					حداکثر	تکرار ۳	تکرار ۲	تکرار ۱	نام آزمایشگاه
					حداقل				
۲/۰۹	۲/۲۳					۳۶/۳	۳۵	۳۳/۳	دوتکه پلاستیکی
-۲/۰۹	-۲/۲۳								
۱/۳۷	-۰/۴۳	-۲/۳	۱/۵	۳۴/۹					۱
۲/۳۴	-۲/۰۸	-۱۱/۲	۲/۶	۲۶/۰		۲۴/۲	۲۸/۹	۲۴/۸	دوتکه پلاستیکی
۰/۶۹	-۰/۶۹	-۳/۷	۰/۸	۳۳/۵		۳۲/۶	۳۳/۹	۳۳/۹	دوتکه پلاستیکی
۱/۲۱	-۰/۰۳	-۰/۱	۱/۳	۳۷/۱		۳۸/۶	۳۶/۳	۳۶/۳	یک تکه پلاستیکی
۰/۸۴	۰/۰۹	۰/۵	۰/۹	۳۷/۷		۳۸/۵	۳۷/۹	۳۶/۷	یک تکه پلاستیکی
۰/۶۱	۰/۲۹	۱/۶	۰/۷	۳۸/۸		۳۹/۱	۳۸	۳۹/۲	یک تکه پلاستیکی
۰/۱۶	۱/۱۶	۶/۳	۰/۲	۴۳/۵		۴۳/۴	۴۳/۷	۴۳/۴	فلزی
۰/۷۸	۰/۵۵	۳/۰	۰/۹	۴۰/۲		۴۰/۱	۳۹/۴	۴۱/۱	فلزی
۰/۰۹	۱/۱۳	۶/۱	۰/۱	۴۳/۳		۴۳/۲	۴۳/۴	۴۳/۳	فلزی
۳۷/۲۰	میانگین میانگین ها		۵/۴۱		انحراف استاندارد میانگین ها	۳			تعداد تکرار نتایج
۱/۰۹	انحراف استاندارد تکرار پذیری		۵/۴۸		انحراف استاندارد تکثیر پذیری	۹			تعداد آزمایشگاه ها



شکل ۳۳- شاخص سازگاری آماری بین آزمایشگاهی، آزمونه‌های آزمایشگاه‌های مختلف با عیار 450 kg/m^3



شکل ۳۴ - شاخص سازگاری آماری درون آزمایشگاهی، آزمون‌های آزمایشگاه‌های مختلف با عیار 450 kg/m^3

از تحلیل نمودارها و جداول فوق می‌توان به این مهم دست یافت که با افزایش عیار سیمان، تاثیر جنس و کیفیت قالب بر مقاومت فشاری نمونه‌ها افزایش می‌یابد به گونه ای که در آزمون‌های با عیار ۴۰۰ و ۴۵۰ کیلوگرم بر مترمکعب، نتایج مقاومت فشاری آزمون‌های آزمایشگاه‌هایی که از قالب‌های پلاستیکی دو تکه استفاده کرده‌اند از دقت (شاخص سازگاری درون آزمایشگاهی) مناسبی برخوردار نمی‌باشند. لذا این موضوع می‌تواند به زیرسوال رفتن عملکرد آزمایشگاه علی رغم تولید بتنی با کیفیت مناسب بینجامد.

۴- نتیجه گیری

باتوجه به نتایج به دست آمده و تحلیل‌های صورت گرفته می‌توان بیان کرد که در بین آزمون‌های نمونه‌برداری شده در قالب‌های با جنس‌های مختلف در این تحقیق، کمترین میزان اعوجاج و بیشترین مقدار مقاومت فشاری مربوط به آزمون‌های نمونه‌برداری شده در قالب‌های فلزی و همچنین بیشترین میزان اعوجاج و کمترین مقدار مقاومت فشاری مربوط به آزمون‌های 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 آزمون‌ها 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 عقبه اندازه‌گیری نیرو و یا ارقام نمایش داده شده توسط دستگاه خیلی زودتر پایین رفته و حداکثر بار گسیختگی و نتیجتاً مقاومت فشاری آزمون‌ها 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 یک‌تکه به پلاستیکی دو‌تکه 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 آزمون‌های 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 آزمون‌های آنها نیز غیر قابل استناد می باشد.

۵- قدرانی

در اینجا بر خود لازم میدانیم که از کلیه پرسنل شرکت تعاونی بتن‌سازان شهر کرمان که ما را در انجام هر چه بهتر این پژوهش یاری کرده‌اند، صمیمانه تقدیر و تشکر به عمل آوریم.

۶-مراجع

- [1] Rezaei, M.J., Mobarakeh, M. (2018). "Study the Compressive Strength of Concrete Sampled in Plastic and Cast-Iron Molds". *International Conference of Civil Engineering, Architecture and Urban Development in Iran, University of Tehran, Tehran, Iran, December 19. (in persian)*
- [2] Lamond JF, Pielert JH, 2006, *Significance of Tests and Properties of Concrete and Concrete Making Materials*.
- [3] Association Francaise de Genie Civil, 2000, *Betons Auto-Placants-recommandations Provisoires, France*.
- [4] BE96-3801, 1996, *Rational Production and Improved Working Environment Through Using Self-Compacting Concrete, European Union, DG XII*.
- [5] *Journal 59 of the ICI Quarterly - Questions and Answers Part. (in persian)*
- [6] Ahmadi, B., Zolghadri, A., Karbalaee Ali, M., Chit Foroshzadeh, M.S., Pashaei, R., Alizadeh, S., & Tadayon, M. (2019). "Study the Effects of 150 X 150 X 150 mm Cube Molds' Quality on the Compressive Strength of Concrete". *11th National Concrete Conference, Road, Housing and Urban Development Research Center, Iran Concrete Institution, Tehran, Iran, October 7-8. (in persian)*
- [7] *National Standard of Iran, Subject: Hardened Concrete - Part 1: Shape, Dimensions and Other Requirements of Samples and Molds, No. 1-1608, Second Edition, 2014. (in persian)*
- [8] *National Standard of Iran, Subject: Portland Cement Properties, No. 389, Third Edition, Eighth Edition. (in persian)*
- [9] *National Standard of Iran, Subject: Fresh Concrete - Part II: Consistency Determination by Slump Method-Test Method, No. 2-3203, Second Edition. (in persian)*
- [10] *National Standard of Iran, Subject: Hardened Concrete - Part III: Samples Compressive Strength Determination-Test Method, No. 3-1608, First Edition, 2014. (in persian)*
- [11] *Issue 9 of the National Building Regulations of Iran, Design and Implementation of Reinforced Concrete Buildings, Fourth Edition, 2013. (in persian)*
- [12] *British Standard, Testing Hardened Concrete - Part 3: Concrete Strength of Test Specimens, 12390-3, 2009*