

محاسبه آماری مقاومت متوسط لازم طرح اختلاط و ضرائب اطمینان بتن‌های ویژه شاکریت، الیافی و ژئوپلیمری و مقایسه با بتن معمولی کارگاهی

محمد کاظم شربتدار*
دانشیار دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه سمنان.
اسفندیار نادری
کارشناس ارشد سازه، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه سمنان.

چکیده

امروزه بررسی شرایط پذیرش بتن‌های جدید، فواصل اطمینان و ضوابط طرح اختلاط با روش‌های آماری ضروری است. در این مقاله اطلاعات میدانی و نتایج تحقیقات گذشته بتن‌های معمولی و ویژه با کمک نرم افزارهای آماری و استفاده از فرمول‌های ضرائب و فواصل اطمینان آئین‌نامه‌ها و مقاومت فشاری متوسط لازم مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند و ضریب اطمینان جزئی، فاصله اطمینان و مقاومت فشاری متوسط لازم برای هر بتن بصورت مجزا محاسبه گردید. نتایج تحلیل‌های آماری نشان داد که میزان انحراف و ضریب پراکندگی بتن‌های ساخته شده معمولی در شرکت‌های تولیدکننده بتن آماده در بازه‌ی زمانی مرداد و شهریور کمتر از بازه‌ی مشابه اردیبهشت و خردادماه به دلیل دقت بیشتر در کارگاه‌ها و جلب رضایت مشتری بود. ضریب تنوع و ضریب اطمینان جزئی بتن شاکریت تا ۴ برابر و ۴۰٪ بتن متناظر معمولی بود که نشان از کیفیت پائین آن است. استفاده همزمان میکروسیلیس و الیاف PPS باعث بهبود ضریب اطمینان جزئی، فاصله اطمینان و مقاومت فشاری متوسط لازم بتن شد که نشان از کیفیت بیشتر مطابق معیارهای استاندارد موسسه بتن آمریکا است. استفاده از الیاف باعث افزایش انحراف معیار و ضریب تنوع در بتن‌های الیافی شد و در نهایت باعث کاهش ضریب اطمینان بتن گردید. ولی انحراف معیار و ضریب تنوع ژئوپلیمرهای معمولی نسبت به نمونه الیافی تا ۲ برابر افزایش و ضریب اطمینان جزئی هم تا ۱۵ درصد کاهش داشت که نشان از کیفیت بیشتر ژئوپلیمر الیافی نسبت به نمونه معمولی مطابق معیارهای استاندارد بود.

واژه‌های کلیدی: بتن ویژه، مباحث آماری، ضریب اطمینان، مقاومت فشاری، انحراف معیار.

* نویسنده مسئول: msharbatdar@semnan.ac.ir

۱- مقدمه

را رعایت نکنند، به احتمال زیاد مشکلاتی در تولید بتن منطبق بر رده‌ی مورد توافق با مشتری خواهند داشت اما افزایش چنین حاشیه اطمینانی ممکن است هزینه‌ی تولید را افزایش داده و رقابت پذیری آن‌ها را کاهش دهد [۵]. برای تحلیل آماری اطلاعات در هر مرحله باید منحنی هیستوگرام رسم گردد که نشان‌دهنده توزیع احتمالی جمعیت نمونه می‌باشد و تابع ریاضی که توصیف توزیع یک متغیر تصادفی در فضای نمونه متغیر تصادفی پیوسته، X ، است تابع چگالی احتمال نامیده می‌شود [۶]. گرچه منحنی هیستوگرام برای بتن به شکل‌های مختلف ممکن است وجود داشته باشد ولی بهترین حالت این است که مانند شکل ۱-الف (منحنی نقطه چین) کاملاً نرمال باشد و از رابطه‌ی ریاضی توزیع نرمال شماره ۱ و شکل ۱-ب تبعیت کند.

$$p(x|\mu\sigma) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}} \quad (1)$$

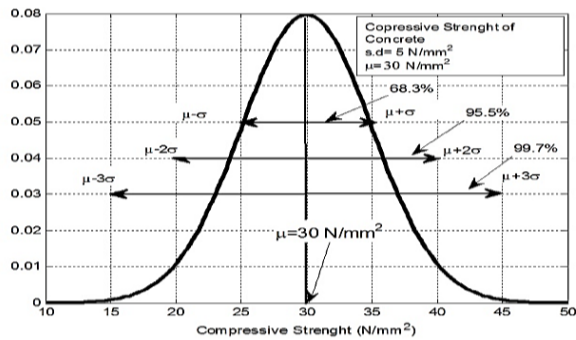
که σ انحراف معیار و μ مقدار متوسط می‌باشد [۵].

می‌توان مقاومت فشاری بتن را با استفاده از مقدار متوسط و انحراف معیار داده‌های مقاومت فشاری با رابطه‌ی توزیع نرمال توصیف نمود [۱۳]. آیین‌نامه‌ها، رابطه $X = F \pm Z\sigma$ را برای مقاومت متوسط به کار می‌برند که X مقاومت متوسط مورد نیاز یا مقاومت خواسته شده، F مقاومت مشخصه، σ انحراف استاندارد، Z ضریب ثابت که به مقدار مجاز مقاومت در زیر حد مقاومت مشخصه مربوط است، که در ایالات متحده آمریکا و انگلستان، مقدار مجاز برای نتایج غیر قابل قبول معمولاً برابر ۱۰ و ۵٪ که معادل احتمالی آن یعنی ضریب Z برابر ۱/۲۸ و ۱/۶۴ فرض شده است [۵، ۱۳، ۱۴]. مقاومت فشاری بتن به‌عنوان یک متغیر تصادفی در نظر گرفته می‌شود که برای کنترل کیفیت، استفاده از تحلیل آماری نتایج ۲۸ روزه ضروری است [۱۵].

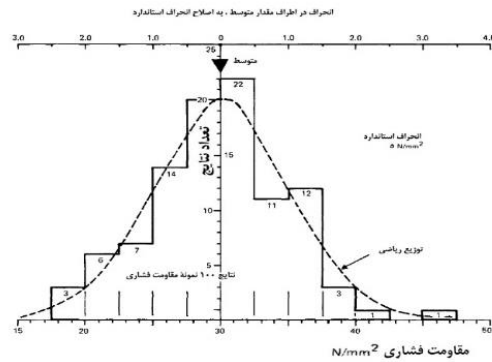
ضریب تنوع برابر $v = \frac{\sigma}{\bar{x}} \times 100$ (نسبت انحراف معیار به متوسط)، میزان پراکندگی در تجزیه و تحلیل داده‌ها و کنترل کیفیت فرایند تولید بتن را نشان می‌دهد و در خیلی موارد مفیدتر از انحراف استاندارد است زیرا تغییرات در نتایج آزمون مقاومت به پارامترهای زیادی بستگی دارد و در آیین‌نامه‌ها نیز بر اساس حداقل ۳۰ نمونه استفاده شده است [۱۵]. چنانچه مقاومت فشاری مشخصه بتن برابر f_c باشد، مقاومت فشاری لازم برابر f_{cr} است که برای بتن‌های با مقاومت فشاری به ترتیب کمتر و بیشتر از ۳۵ مگاپاسکال از رابطه‌های (۲) و (۳) به دست می‌آیند [۱۵].

در سال‌های اخیر پیشرفت‌های خوبی در زمینه بتن و کاربرد مواد و مصالح مختلف مانند افزودنی‌ها و تکنیک‌های جدید ساخت اتفاق افتاده و لازم است محاسن و آثار نامطلوب آن‌ها بر عمر مفید بررسی شوند [۱]. پتانسیل استفاده از تولیدات معدنی و صنعتی مانند خاکستر بادی، دوده سیلیس، سرباره کوره‌های آهن‌گدازی و و ضایعات صنعتی در بتن با جایگزین نمودن آن‌ها با بخشی از مصالح سنگی و یا بخشی از سیمان مصرفی به‌مراه الیاف وجود دارد و لازم است علاوه بر بررسی خواص مکانیکی بتن و رفتار سازه‌ای، مسائلی همچون ضرائب بتن، ضوابط کنترل و پذیرش و طرح اختلاط بتن برای بتن معمولی و ویژه بررسی شوند [۲].

در اکثر روش‌های طرح مخلوط بتن، مراحل مشترکی وجود دارند و پس از بررسی نتایج ویژگی‌های اجزاء بتن و تایید انطباق باید در مورد امکان مصرف آن در بتن مورد نظر بررسی لازم بعمل آورد [۳]. لذا دیدگاه به بتن به‌عنوان تنها یک ماده با مقاومت فشاری خوب به کلی دگرگون شده و خواص جدید بتن‌های نوین هم از نظر روانی و هم خواص سخت شده و دوام نظر اکثر دست اندرکاران پروژه‌های عظیم عمرانی را در جهان بخود معطوف ساخته است [۴]. لذا کنترل و پایش تولید بتن و رسیدن به مقاومت فشاری مورد نظر برای افزایش کیفیت بتن و سوددهی با استفاده از تحلیل‌های آماری توصیفی و استنباطی و و روش‌های احتمالی ضروری است [۵-۶]. معمولاً برای تأمین ایمنی کافی در سازه و مسائل غیر قابل پیش‌بینی در طراحی و اجرای سازه، باید شرایط بارگذاری را تا حدودی دست بالا و شرایط مقاومت اجزا را تا حدودی دست پایین در نظر گرفته شود تا ضریب اطمینان کافی و قابلیت اطمینان در مقابل شرایط عملی فراهم گردد [۷-۹]. در آیین‌نامه بتن ایران، ضرایب ایمنی مقاومت کوچکتر از یک برای بتن و فولاد داده شده‌اند. عوامل مختلفی بر قابلیت اطمینان می‌توانند موثر باشند، لذا بطور تصادفی عدم اطمینان آماری ممکن است بخوبی با روش‌های موجود تئوری احتمال و آمار ریاضی و روش‌های شبیه‌سازی مانند مونت کارلو از روش جدید بر مبنای الگوریتم ژنتیک قابل توصیف باشد [۱۰]. کار بررسی و ارزیابی و پذیرش بتن طبق آیین‌نامه و مشخصات فنی و مقررات ملی یک امر حساس و مهم می‌باشد و صرفاً از عهده مهندسین و تکنسین‌های ناظر آشنا به این امر برمی‌آید [۱۱-۱۲]. تولیدکنندگان بتن اگر حاشیه‌های اطمینان



ب- تابع توزیع نرمال



الف- منحنی هیستوگرام

شکل ۱- منحنی هیستوگرام و تابع توزیع نرمال برای مقاومت فشاری بتن [۵]

به سمت ۱ و هر چه سازه به سمت شکست با هشدار می رود این عدد به سمت ۱- میل می کند [۹]. تحقیقات گسترده‌ای بر روی خواص بتن مبتنی بر تحلیل آماری انجام شده و روابط پیشنهادی بخصوص توسط آئین نامه‌های بتن در کشورهای متعدد ارائه شده است. ضریب تغییرات برای بتن‌های مقاومت بالا معیار مناسب تری نسبت به انحراف استاندارد بوده و انعطاف پذیری بیشتری دارد زیرا انحراف معیار بتن‌های معمولی تقریباً مقادیر ثابت است ولی برای بتن‌های با مقاومت بالا، انحراف استاندارد به شدت افزایش پیدا می کند [۵]. مقاومت فشاری بتن متناسب با شرایط محیطی و ابعاد و شکل نمونه‌ها (استوانه‌ای یا مکعبی) تغییر می کند [۱۷]. از روش بلوغ برای تعیین مقاومت بتن در با رطوبت کافی در محیط آزمایشگاهی یا کارگاه واقعی می توان استفاده کرد [۱۸].

انحراف استاندارد اصلاح شده برای کنترل کیفیت بتن استفاده می-شود که باید حداقل ۲/۵ مگاپاسکال باشد [۸]. دی و کوسماتکو در دو تحقیق جداگانه با همکارانشان نشان دادند که انحراف استاندارد برای بتن‌های با مقاومت بالا تا دو برابر افزایش پیدا می کند که با افزایش کنترل کیفی کاهش پیدا خواهد نمود [۱۹ و ۱۳]. ضریب تغییرات برای نمونه برداری در آزمایشگاه مجهز و با دقت بطور تقریبی معادل ۳ درصد و در کارگاه‌های با کنترل کیفی ضعیف تا ۱۰ درصد می تواند باشد [۵]. طبیعت بتن ماده ای متغیر است و می تواند با عوامل متعددی تحت تأثیر قرار گیرد لذا متناسب با مقاومت فشاری ۲۸ روزه، می توان از انحراف معیار یا ضریب تغییرات استفاده کرد [۲۰-۲۲]. در یک تحقیق انجام شده بر روی دو اندازه متفاوت استوانه بتنی ۱۰×۲۰ و ۱۵×۳۰ سانتی-متری، تعداد زیاد نمونه ساخته شد و در ۳۵ روز و ۵ سال آزمایش

مبحث ۹ مقررات ملی ساختمان هم روابط (۴) و (۵) را به ترتیب برای تعیین مقاومت فشاری متوسط لازم بتن معمولی و پر مقاومت پیشنهاد داده است [۸].

$$f_{cr} = f_c + z\sigma \quad (2)$$

$$f_{cr} = \frac{f_c}{(1 - z\nu)}$$

$$f_{cr} = 0.9 f_c + z\sigma \quad (3)$$

$$f_{cr} = f_c + 1.34 \sigma + 1.5$$

$$f_{cr} = f_c + 2.33 \sigma - 4 \quad (4)$$

$$f_{cr} = 0.9 f_c + 2.33 \sigma$$

$$f_{cr} = f_c + 1.34 \sigma \quad (5)$$

پس بنابراین قوانین پذیرش طوری وضع می شود که ضمن داشتن صرفه‌ی اقتصادی برای تولید، بتوان با بالاترین احتمال از کیفیت بتن تولید و تحویل داده شده به مشتری اطمینان حاصل شود [۱۶]. ضرایب اطمینان جزئی از رابطه $\gamma_i = \frac{x_i}{\mu_i}$ بدست می آید که x_i مقدار متغیر در نقطه طراحی و μ_i میانگین متغیر طراحی γ_i ضریب اطمینان جزئی است. همچنین از رابطه $\gamma = \frac{X_d}{X_k}$ نیز میتوان ضریب اطمینان جزئی را دقیق تر بدست آورد که مقادیر X_d و X_k از روابط (۶) بدست می آیند.

$$X_d = \mu(1 - \alpha\beta\nu)$$

$$X_k = \mu(1 - k\nu) \quad (6)$$

که در آن β شاخص قابلیت اطمینان، α ضریب ثابتی بین ۱ تا ۱- است. هر چه سازه به سمت شکست بدون هشدار می رود عدد α

۴۵ نمونه در مقاومت ۲۸ روزه بتن HPC، نتایج نشان داد که گرچه فرمول‌های طراحی برای مقاومت کششی و خمشی از کدهای متفاوت ارائه شده متفاوت بودند ولی مقاومت کششی و خمشی تنها با مقاومت فشاری ارتباط داشته و مطالعات آماری نشان داد که کمترین مقدار خطای درصد مطلق برای مقاومت کششی از طریق فرمول MODEL CODE ۲۰۱۰ و برای مقاومت خمشی از طریق فرمول EUROCODE2 ارائه شده است [۳۰-۳۱]. همچنین با تحلیل نتایج آماری، روابطی بین مقاومت فشاری و مقاومت کششی بتن خود متراکم ارائه شده است [۳۲]. تحلیل‌های آماری زیادی بر روی تاثیر اندازه سنگ‌دانه بر خواص مکانیکی بتن غلطکی مانند وزن مخصوص، جذب آب، مقاومت فشاری و کششی انجام شده است [۳۳].

ضمناً تحلیل‌های آماری متنوعی بر روی نتایج مقاومت‌های فشاری و کششی بتن‌های الیافی انجام شده است که کمترین مقدار انحراف معیار و ضریب واریانس و سازگاری منحنی‌های تنش-کرنش را نشان می‌دهد [۳۴]. ضمناً نتایج تحقیق بیکشیمیا (۲۰۰۵) نشان داد که الیاف فولادی در مقاومت بتن در هر رده مقاومتی دارای تاثیر مثبت بود و منحنی‌های نرمال بر نتایج حاکم بود [۳۵]. در تمام آزمایش‌های بتن‌های الیافی و میکروسلیس انجام شده توسط دالوند و همکاران، مقادیر پایین ضریب تغییرات گواه خوب بودن کیفیت بتن و کنترل کیفیت خوب نمونه‌ها بود کوچکتر از ۱۰٪ بودن نشان دهنده یک کنترل کیفیت خوب است [۳۶-۳۷]. ولی در تحقیق دیگری توسط همین تیم تحقیقاتی نشان داده شد که با افزایش درصد الیاف، انحراف معیار و ضریب تغییرات مقاومت فشاری افزایش می‌یابد و با افزایش درصد الیاف پراکندگی بین داده‌ها بیشتر می‌شود [۳۸-۳۹].

۲- تجزیه و تحلیل آماری نتایج آزمایشگاهی انواع بتن

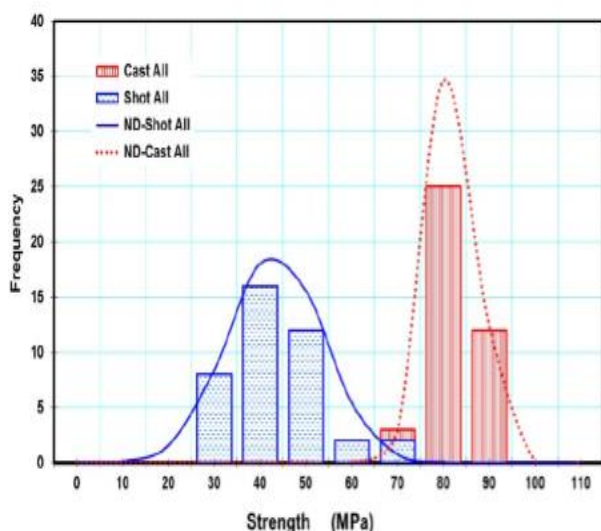
۲-۱- مقایسه بتن شاتکریت با نمونه مشابه آزمایشگاهی

از دو روش بتن ریزی شاتکریت و عادی، ۲۰ نمونه فشاری برای هر حالت تهیه شد [۲۹] و نتایج مقاومت فشاری بدست آمد و مقادیر متوسط، انحراف معیار (SD) و ضریب تنوع (CoV) در جدول ۱ بدست آمد و منحنی هیستوگرام مطابق شکل ۲ رسم گردید. ضمناً انحراف معیار برای ۲۰ نمونه با ضریب ۱/۰۸ اصلاح شد. جدول ۲ استانداردهای مناسب برای کنترل کیفیت مقاومت

شدند و تجزیه و تحلیل آماری و نظریه احتمالی بر روی اطلاعات بدست آمده انجام شد که نتایج نشان داد که انحراف استاندارد مقاومت ۳۵ روزه کم و در نتیجه پراکندگی کم و شیب منحنی تندتر بود ولی انحراف استاندارد مقاومت ۵ ساله بیشتر و مقاومت فشاری در محدوده بزرگ‌تر از حد متوسط و منحنی با شیب صاف‌تری بود [۲۳]. گرچه مبنای اکثر آئین‌نامه‌ها، مقاومت فشاری نمونه استوانه بتنی ۱۵×۳۰ سانتی‌متری تحت شرایط آزمایشگاهی استاندارد ولی گاه‌ا از استوانه کوچکتر استفاده می‌شود که تغییرات در انحراف معیار یا ضریب تغییرات مشاهده شد [۲۰-۲۲].

نتایج کار سویک (۲۰۱۱) بر روی مقاومت فشاری نمونه‌های بتنی محصور شده با FRP نشان داده شد که مقدار قابلیت اطمینان با افزایش ضریب پراکندگی کاهش و همچنین مقدار میانگین خطاها با افزایش ضریب پراکندگی افزایش یافت و شاخص بهره‌وری به نوع تابع چگالی احتمال و مقدار ضریب پراکندگی بستگی داشته و با افزایش ضریب پراکندگی نیز کاهش یافت [۲۴]. برای ارزیابی کیفیت بتن حداقل یک نمونه برداری از هر رده بتن در هر روز الزامی می‌باشد و حداقل ۶ نمونه برداری از کل هر سازه الزامی است و سپس شرایط پذیرش کنترل می‌گردد [۸ و ۲۵]. مشخصات بتن در صورتی غیر قابل قبول خواهد بود که متوسط مقاومت‌های نمونه‌ها از مقاومت مشخصه کمتر باشد یا کوچک‌ترین مقاومت نمونه‌ها از مقاومت مشخصه منهای 4 N/mm^2 کمتر باشد. اگر مقاومت بتن مورد پذیرش قرار نگیرد ولی از نظر مقاومت هم مردود نباشد، مقاومت فشاری بتن، مورد تردیدی خواهد بود که در اینصورت طراح پروژه به تشخیص خود و بدون بررسی بتن تولیدی کم مقاومت را از نظر سازه‌ای بپذیرد و قابل قبول تلقی نماید [۲۶]. استاندارد ۲۰۶ اروپا نیز برای حل و فصل برخی از اختلافات احتمالی در صورت عدم پذیرش بتن و یا مشکوک بودن آن در قالب سه ضابطه جداول پیشنهادی ارائه می‌دهد [۲۷-۲۸]. مطابق تحقیق انجام شده و تحلیل آماری توسط بدر (۲۰۱۶)، تغییرات در مقاومت فشاری بتن‌های پاششی بطور معنی‌داری بیشتر از بتن مسلح مشابه است، همچنین انحراف استاندارد و ضریب تغییر نتایج بتن‌های شاتکریت (۱۰/۵ و ۲۴/۲ درصد) نه تنها بالاتر از بتن‌های مشابه (۴/۵ و ۵/۶٪) بود بلکه بیرون از رایج محدودیت‌های قابل قبول برای بتن با کیفیت خوب است [۲۹]. طی تحقیقات و آزمایشات انجام شده توسط کپنیاک و همکاران (۲۰۱۶) بر روی

شاتکریت شده بتن با بیش از ۳۵ مگاپاسکال مطابق پیشنهاد کمیته ACI 214 و ACI Committee 363 ارائه شده است [۱۵]. بنابراین بتن های آزمایشگاهی با معیارهای انحراف معیار و ضریب تنوع به ترتیب در سطح خوب و خیلی بد بودند و بتن های شاتکریت با اختلاف قابل توجه در زمره بتن های خیلی بد بودند. ضریب اطمینان جزئی از رابطه ۶ بدست می آید با توجه به بحث قابلیت اطمینان، شاخص قابلیت اطمینان β برای محدوده شکست با هشدار یعنی عدد بین (۳/۷ تا ۴/۲) و α ضریب ثابتی بین ۱ تا ۱- است [۹] که در اینجا اعداد β و α به ترتیب ۳/۸ و ۰/۸ انتخاب شدند بنابراین مقادیر X_d و X_k و γ برای دو نوع بتن محاسبه و در جدول ۳ نشان داده شده اند.



شکل ۲- هیستوگرام نتایج مقایسه بتن شاتکریت و معمولی [۳۴]

جدول ۲- استانداردهای کنترل برای انحراف معیار و ضریب تغییر برای تست های عمومی و آزمایشگاهی برای $f_c \geq 34.5$ مگاپاسکال [۱۵]

| انحراف معیار های استاندارد | | | | | |
|-------------------------------------|-------|----------|---------|-------|---------|
| کیفیت | | | | | |
| | عالی | خیلی خوب | خوب | بد | خیلی بد |
| عمومی | < ۷ | ۹-۷ | ۱۱-۹ | ۱۴-۱۱ | > ۱۴ |
| آزمایشگاهی | < ۳,۵ | ۴,۵-۳,۵ | ۵,۵-۴,۵ | ۷-۵,۵ | > ۷ |
| ضریب تغییرهای (ضریب تنوع) استاندارد | | | | | |
| | عمومی | ۴-۳ | ۵-۴ | ۶-۵ | > ۶ |
| آزمایشگاهی | < ۲ | ۳-۲ | ۴-۳ | ۵-۴ | > ۵ |

با توجه نتایج به دست آمده نتیجه می شود که بتن شاتکریت نسبت به بتن معمولی دارای مقاومت فشاری متوسط لازم بیشتری است و با افزایش الیاف نیز افزایش مقاومت فشاری متوسط بیشتر می شود، در حالت کلی افزایش الیاف در هر دو نوع بتن اثر منفی در فاصله اطمینان دارد. با اعمال درصد اطمینان ۹۰٪ می توان دید مقاومت فشاری متوسط لازم نسبت به حالت ۹۵٪ کاهش پیدا کرده و به مقاومت فشاری میانگین نزدیک تر شد.

جدول ۱- نتایج مقاومت فشاری بتن شاتکریت و معمولی

| پارامتر | مقاومت بتن الیافی | | مقاومت بتن معمولی | |
|-------------|-------------------|---------|-------------------|---------|
| آماري | آزمایشگاه | شاتکریت | آزمایشگاه | شاتکریت |
| μ (MPa) | ۸۵/۳ | ۴۲/۵ | ۷۸/۹ | ۴۴/۳ |
| SD (MPa) | ۴/۷۵ | ۱۳ | ۴/۵ | ۹/۷ |
| CoV (%) | ۵/۲ | ۳۰/۵ | ۵/۷ | ۲۱/۸ |

نتایج نشان می دهد که بتن شاتکریت نسبت به بتن معمولی دارای ضریب اطمینان جزئی کمتری است و با افزایش الیاف به بتن

جدول ۳- نتایج ضریب اطمینان جزئی بتن شاتکریت و معمولی

| پارامتر | مقاومت بتن الیافی | | مقاومت بتن معمولی | |
|----------|-------------------|---------|-------------------|---------|
| آماري | آزمایشگاهی | شاتکریت | آزمایشگاهی | شاتکریت |
| X_d | ۷۱/۸ | ۳/۲ | ۶۵/۲ | ۱۵ |
| X_k | ۷۶/۶ | ۱۷/۱ | ۷۰ | ۲۸ |
| γ | ۰/۹۴ | ۰/۵۸ | ۰/۹۲ | ۰/۵۳۳ |

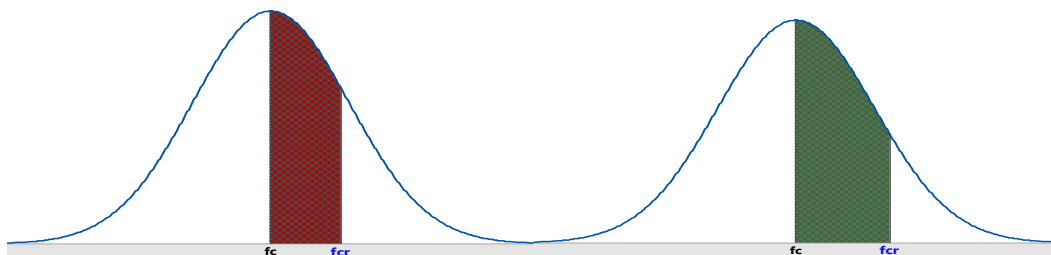
۲-۲- بررسی نتایج نمونه‌های ساخت شرکت‌های تولیدکننده بتن برای تحلیل آماری، از شرکت‌های تولیدکننده بتن و آزمایشگاه‌های کنترل کیفیت بتن در یکی از استان‌ها، نتایجی جمع‌آوری و تحلیل آماری شد. نتایج ۴۰ نمونه استوانه‌ای بتنی با مقاومت مشخصه ۲۵ مگاپاسکال در دو دوره ۷ و ۲۸ روزه در فصل تابستان در سال ۹۴ جمع‌آوری شد که نمودار توزیع هیستوگرام و انحراف معیار این نتایج در شکل ۴ نشان داده شده است که محور افقی مقاومت فشاری و محور عمودی تعداد نمونه‌ها در آن محدوده مقاومت است.

جدول ۴- مقادیر Z متناسب با فاصله و درصد اطمینان

| مقدار | درصد قرارگیری | درصد قرارگیری |
|-------|---------------|---------------|
| ۰/۸۴ | ۶۰ | ۲۰ |
| ۱/۰۴ | ۷۰ | ۱۵ |
| ۱/۲۸ | ۸۰ | ۱۰ |
| ۱/۶۵ | ۹۰ | ۵ |
| ۱/۹۶ | ۹۵ | ۲/۵ |
| ۲/۳۳ | ۹۸ | ۱ |
| ۳ | ۹۹,۷۳ | ۰/۱۳ |

جدول ۵- نتایج مقاومت فشاری لازم بتن شاتکریت و معمولی

| دامنه اطمینان | رابطه | مقاومت بتن معمولی | | مقاومت بتن الیافی | |
|---------------|-------|-------------------|------------------|-------------------|--------------|
| | | شاتکریت | آزمایشگاهی | شاتکریت | آزمایشگاهی |
| %۹۵ | (۱) | $1.85 f_c$ | $1.14 f_c$ | $2.77 f_c$ | $1.12 f_c$ |
| | (۲) | $0.9 f_c + 20.37$ | $0.9 f_c + 9.45$ | $0.9 f_c + 27.3$ | $f_c + 9.97$ |
| %۹۰ | (۱) | $1.59 f_c$ | $1.11 f_c$ | $2.13 f_c$ | $1.1 f_c$ |
| | (۲) | $0.9 f_c + 16.7$ | $0.9 f_c + 7.74$ | $0.9 f_c + 22.36$ | $f_c + 8.1$ |



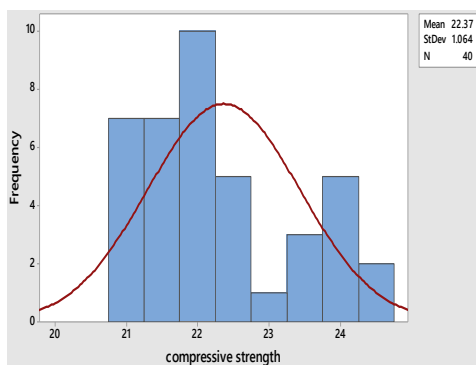
شکل ۳- محدوده‌ی مقاومت فشاری متوسط لازم در بتن شاتکریت در مقایسه با نمونه مشابه آزمایشگاهی

اطلاعات آماری مربوطه نیز در جدول ۶ نشان داده شده است. از این نمونه‌ها می‌توان نتیجه گرفت که در دوره ۷ روزه دوماه اولیه تابستان نسبت به دوماه دوم دارای مقاومت میانگین بیشتر و انحراف معیار کمتری بود که نشان دهنده‌ی عملکرد بهتر در دوماه اولیه بوده است. در ۲۸ روزه تفاوت چندانی از نظر مقاومت میانگین وجود ندارد فقط پراکندگی داده‌ها با توجه به انحراف معیار در دوماه دوم تابستان کمتر شده است. همچنین این نکته از منحنی توزیع نرمال احتمالاتی شکل ۵ قابل برداشت است که با افزایش انحراف معیار، پهنای نمودار توزیع نرمال افزایش می‌یابد یعنی پراکندگی داده‌ها افزایش می‌یابد که باعث کاهش ضریب اطمینان نمونه تست شده می‌شود، همچنین در این شکل محور افقی مقاومت فشاری و محور قائم دانسیته است که به این معنا می‌باشد

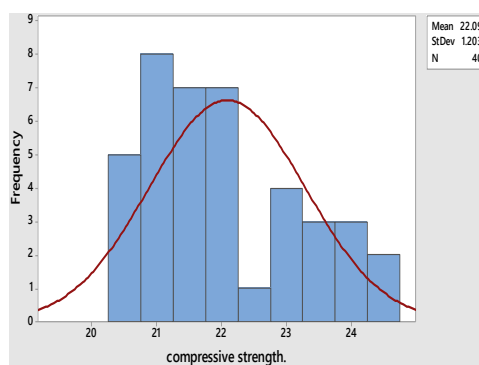
جدول ۶- اطلاعات آماری بتن ۲۸ روزه با مقاومت مشخصه ۲۵ مگاپاسکال

| زمان نمونه‌برداری | مقاومت متوسط نمونه استوانه‌ای (MPa) | انحراف معیار (MPa) | ضریب تنوع نمونه استوانه‌ای |
|-------------------|-------------------------------------|--------------------|----------------------------|
| تیر، خرداد | ۲۸/۵ | ۱/۲۶ | ۴/۴ |
| شهریور، مرداد | ۲۸/۵۶ | ۱/۱۷ | ۴/۱ |

محاسبه آماری مقاومت متوسط لازم طرح اختلاط و...

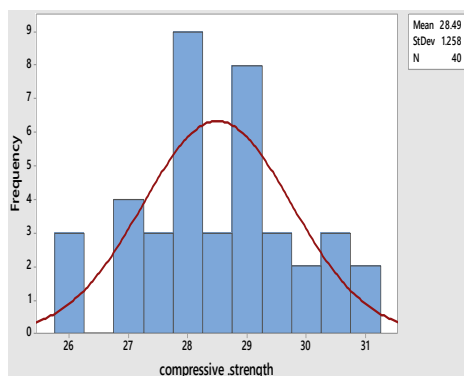


تیر و خرداد

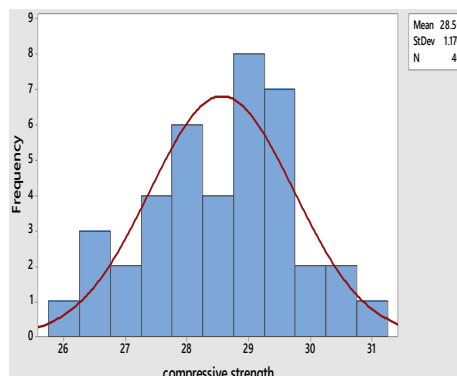


مرداد و شهریور

الف- ۷ روزه



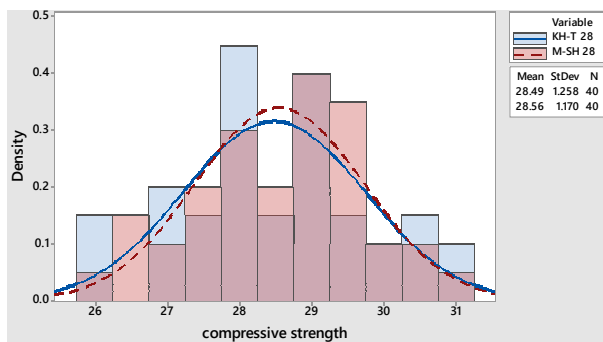
تیر و خرداد



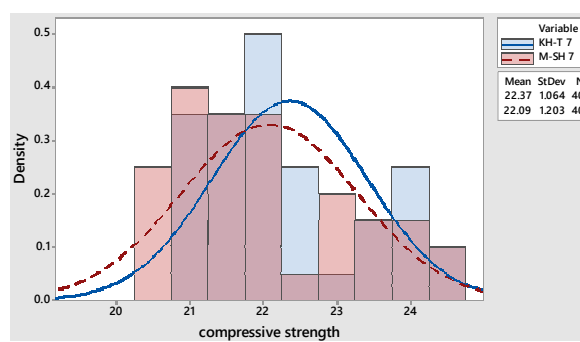
مرداد و شهریور

ب- ۲۸ روزه

شکل ۴- نمودار هیستوگرام نتایج نمونه ها با مقاومت مشخصه ۲۵ مگاپاسکال



ب- ۲۸ روزه

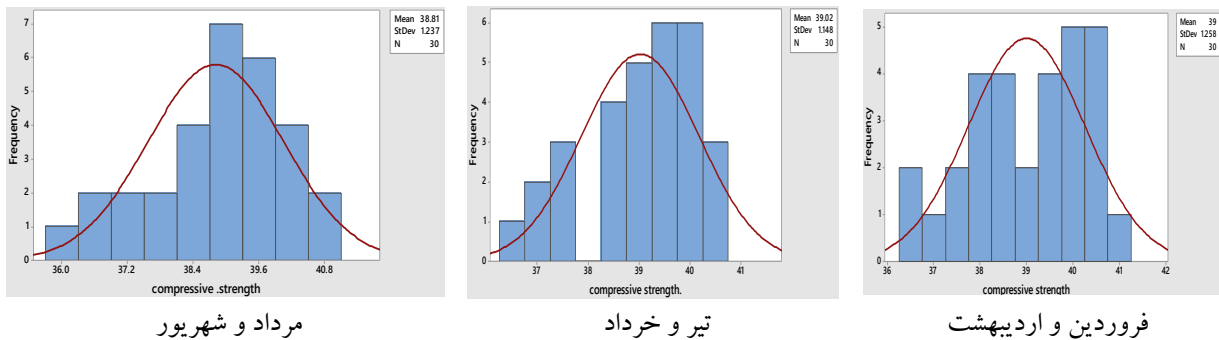


الف- ۷ روزه

شکل ۵- تاثیر انحراف معیار بر روی محدوده‌ی منحنی توزیع نرمال نمونه ها با مقاومت مشخصه ۲۵ مگاپاسکال

در همه ۶ ماه بهار و تابستان تقریباً یکسان بوده و فقط انحراف معیار در ماه مرداد و شهریور بهبود یافته که نشان از پراکندگی کمتر نسبت به ماه‌های دیگر است. با افزایش انحراف معیار، پهنای نمودار توزیع نرمال افزایش می‌یابد یعنی پراکندگی داده‌ها افزایش می‌یابد که باعث کاهش ضریب اطمینان نمونه تست شده می‌شود. همچنین انحراف معیار و ضریب تنوع با توجه به معیارهای استاندارد در جدول ۲ در سطح خیلی خوب قرار دارند.

همچنین نتایج ۳۰ نمونه استوانه‌ای بتنی با مقاومت مشخصه ۳۵ مگاپاسکال در دوره ۲۸ روزه در فصل تابستان در سال ۹۶ جمع-آوری شد که نمودار توزیع هیستوگرام و انحراف معیار این نتایج در شکل ۶ نشان داده شده است که محور افقی مقاومت فشاری و محور عمودی تعداد نمونه‌ها در آن محدوده مقاومت است. ضمناً اطلاعات آماری نیز در جدول ۷ نشان داده می‌شود. از این نمونه‌ها می‌توان نتیجه گرفت در مقاومت ۲۸ روزه بتن، مقاومت میانگین



شکل ۶- نمودار هیستوگرام نتایج نمونه ۲۸ روزه با مقاومت مشخصه ۳۵ مگاپاسکال

جدول ۷- اطلاعات آماری برای بتن ۲۸ روزه با مقاومت مشخصه ۳۵ مگاپاسکال

| زمان نمونه برداری | مقاومت متوسط نمونه استوانه ای (MPa) | انحراف معیار (MPa) | ضریب تنوع نمونه استوانه ای |
|-------------------|--|-----------------------|-------------------------------|
| فروردین، اردیبهشت | ۳۹ | ۱/۲۶ | ۳/۲ |
| تیر، خرداد | ۳۸/۸ | ۱/۲۴ | ۳/۲ |
| شهریور، مرداد | ۳۹ | ۱/۱۵ | ۳ |

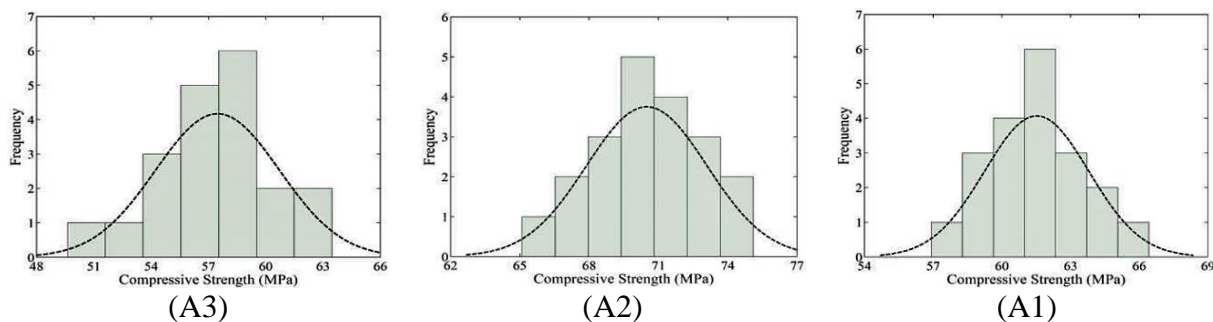
۳-۲- بررسی روابط آماری بتن حاوی الیاف و میکروسیلیس

انواع بتن‌های حاوی الیاف و میکروسیلیس در نمونه‌های زیاد توسط متوسط دالوند [۳۶] ساخته و مورد آزمایش مقاومت فشاری قرار گرفتند و تحلیل آماری بر روی نتایج به دست آمده انجام شد. سه سری نمونه و از هر کدام ۲۰ نمونه مکعبی ۱۰۰×۱۰۰×۱۰۰ میلیمتر برای تست مقاومت فشاری ساخته شدند و به ترتیب از A1 تا A3 شماره گذاری شدند به طوری که A1 به عنوان نمونه مرجع فاقد میکروسیلیس و A2 و A3 به ترتیب از میکروسیلیس به میزان ۷ و ۱۴ درصد حجم بتن جایگزین سیمان استفاده گردید و در جدول ۸ اطلاعات آماری و نتایج مقاومت فشاری این نوع بتن‌ها نشان داده شده است. لازم به ذکر است ضریب اصلاحی انحراف معیار برای ۲۰ نمونه ۱/۰۸ می‌باشد و مقادیر جدول ۸ بر اساس

مقادیر اصلاح شده می‌باشد. با توجه به جدول ۲ نتیجه می‌شود برای این نوع بتن‌ها با توجه به معیارهای استاندارد کمتر از ۳/۵، انحراف معیار در سطح خوب یا عالی و ضریب تنوع بیش از ۴ در سطح بد و خیلی قرار دارند. حال با توجه به اینکه در این آزمایش از نمونه‌های مکعبی به ابعاد ۱۰ سانتیمتر استفاده شد برای تبدیل آن به نمونه استوانه‌ای استاندارد قطر ۱۵۰ میلیمتر با توجه به آیین نامه مبحث ۹ ایران ضریب اصلاحی لحاظ می‌شود و مقاومت معادل محاسبه و در جدول ۸ داده شده اند و با توجه به تاثیر مقاومت متوسط بر ضریب توزیع، ضریب تنوع جدی نیز ارائه شده است. در شکل ۷ هیستوگرام مربوط به نتایج نشان می‌دهد نتایج هر سری بتن تقریباً دارای توزیع یکنواختی می‌باشد و بخوبی بر منحنی توزیع نرمال منطبق هستند که محور افقی مقاومت فشاری و محور عمودی تعداد نمونه‌ها در آن محدوده مقاومت است.

جدول ۸- نتایج مقاومت فشاری و اطلاعات آماری بتن حاوی میکروسیلیس

| پارامتر آماری | نمونه مکعبی (MPa) | | | نمونه استوانه ای (MPa) | | |
|---------------|-------------------|-------|-------|------------------------|-------|-------|
| | A1 | A2 | A3 | A1 | A2 | A3 |
| Mean (MPa) | ۵۷/۴۷ | ۶۱/۱۵ | ۷۰/۴۹ | ۴۹/۷۳ | ۵۳/۲۴ | ۶۲/۱۳ |
| SD (MPa) | ۳/۵ | ۲/۵ | ۲/۸ | | | |
| CoV (%) | ۶/۱ | ۴/۱ | ۴ | ۷ | ۴/۷ | ۴/۵ |



شکل ۷- نمودار هیستوگرام مقاومت فشاری بتن حاوی میکروسیلیس

با توجه به مقاومت فشاری متوسط لازم‌های متوسط بدست آمده در این بخش نتیجه می‌شود که درصد اطمینان ۹۵، افزایش میکروسیلیس به بتن تاثیر چندانی روی مقاومت فشاری متوسط نداشت ولی تا حدود ناچیزی باعث بهبود آن شده است. همچنین با توجه به رابطه نهایی به دست آمده در این قسمت و مقایسه آن با دو فرمول رابطه (۵) که در آیین‌نامه بتن ایران ارائه شده می‌توان دو فرمول (۷) را برای این بتن حاوی میکروسیلیس پیشنهاد کرد.

$$f_{cr} = 0.9 f_c + 2.1 \sigma - 4$$

$$f_{cr} = f_c + 2.34 \sigma \quad (7)$$

حال اگر سخت‌گیرانه‌تر بررسی گردد و از درصد اطمینان ۹۰ درصد استفاده شود؛ با اعمال درصد اطمینان ۹۰٪ می‌توان دید مقاومت فشاری متوسط لازم نسبت به حالت ۹۵٪ کاهش پیدا کرده و به مقاومت فشاری میانگین نزدیک‌تر می‌شود. سه سری نمونه شامل B2 و B3 با الیاف PPS به میزان ۰٫۲۵٪ و ۰٫۵٪ حجم بتن و C3 دارای ۰٫۲۵٪، ۰٫۷٪ میکروسیلیس ساخته شدند [۳۷] که اطلاعات آماری و نتایج مقاومت فشاری در جدول ۱۱ با اعمال ضریب اصلاح ۱/۰۸ بابت ۲۰ نمونه نشان داده شده است. که با توجه به جدول ۲ نتیجه می‌شود برای این نوع بتن با توجه به معیارهای استاندارد، انحراف معیار و ضریب تنوع در سطح بد قرار دارند.

ضریب اطمینان جزئی برای این بتن‌ها از رابطه ۶ و با فرض اعداد α و β به ترتیب ۳/۸ و ۰/۸ به دست می‌آیند که مقادیر X_k و X_d و γ برای سه نوع بتن محاسبه و در جدول ۹ نشان داده شده‌اند.

جدول ۹- نتایج ضریب اطمینان جزئی بتن حاوی میکروسیلیس

| پارامتر | A1 | A2 | A3 |
|----------|------|-------|------|
| X_d | ۳۹/۲ | ۴۵/۶۳ | ۵۳/۶ |
| X_k | ۴۲/۹ | ۴۸/۳۳ | ۵۶/۷ |
| γ | ۰/۹۲ | ۰/۹۵ | ۰/۹۴ |

بنابراین با افزایش میکروسیلیس به بتن ضریب اطمینان جزئی تا حدودی بهبود یافته یعنی از ۹۲/۰ به ۹۵/۰، با این حال افزایش میکروسیلیس از ۷ به ۱۴ درصد تاثیر چندانی روی ضریب اطمینان جزئی نداشته است. این برداشت از روی فرمول $\gamma = X/V$ نیز قابل مشاهده است که γ از ۰.۱۳ v با افزایش میکروسیلیس به ۰.۲ v افزایش یافته است. همچنین با افزایش انحراف معیار، پهنای نمودار توزیع نرمال افزایش می‌یابد یعنی پراکندگی داده‌ها افزایش می‌یابد که باعث کاهش ضریب اطمینان نمونه تست شده می‌شود. با توجه به مقادیر Z به ترتیب ۱/۹۶ و ۱/۶۵ در دو حالت با درصد اطمینان ۹۵ و ۹۰ از جدول ۴، مقادیر مقاومت فشاری لازم دو نوع بتن محاسبه شده و در جدول ۱۰ نشان داده شده است.

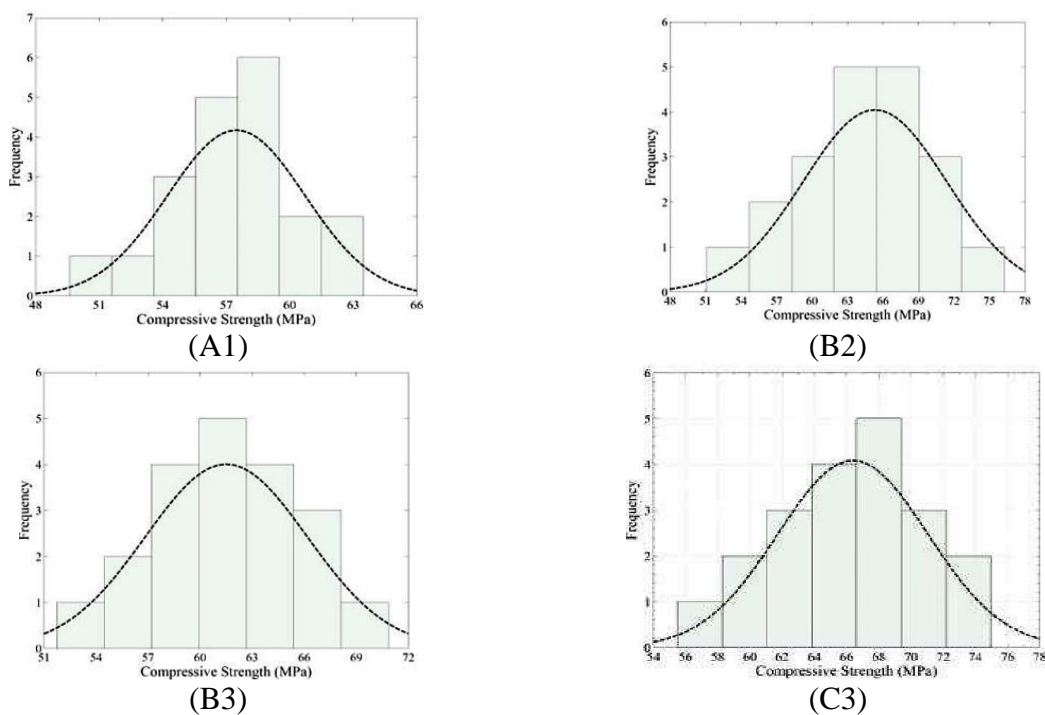
جدول ۱۰- نتایج مقاومت فشاری لازم بتن های حاوی میکروسیلیس

| دامنه اطمینان | رابطه | A1 | A2 | A3 |
|---------------|-------|------------------|------------------|------------------|
| ٪۹۵ | (۱) | $1.17 f_c$ | $1.11 f_c$ | $1.1 f_c$ |
| | (۲) | $0.9 f_c + 7.35$ | $0.9 f_c + 5.25$ | $0.9 f_c + 5.88$ |
| ٪۹۰ | (۱) | $1.13 f_c$ | $1.08 f_c$ | $1.08 f_c$ |
| | (۲) | $0.9 f_c + 6$ | $0.9 f_c + 4.8$ | $0.9 f_c + 4.8$ |

جدول ۱۱- نتایج مقاومت فشاری و اطلاعات آماری بتن حاوی الیاف PPS

| پارامتر آماری | نمونه مکعبی (MPa) | | | | نمونه استوانه ای (MPa) | | | |
|---------------|-------------------|-------|-------|------|------------------------|-------|-------|-------|
| | A1 | B2 | B3 | C3 | A1 | B2 | B3 | C3 |
| Mean (MPa) | ۵۷/۴۷ | ۶۱/۵۱ | ۶۵/۳۲ | ۶۶/۴ | ۴۹/۷۳ | ۵۳/۵۸ | ۵۷/۲۱ | ۵۸/۲۴ |
| SD(MPa) | ۵/۳ | ۵/۱ | ۶/۵ | ۵ | - | - | - | - |
| CoV (%) | ۱/۶ | ۸/۳ | ۱۰ | ۷/۵ | ۷ | ۹ | ۱۱ | ۸/۶ |

در شکل ۸ هیستوگرام مربوط به نتایج نشان می‌دهد نتایج هر سری بتن تقریباً دارای توزیع نرمال می‌باشد و به خوبی بر منحنی توزیع نرمال منطبق هستند. ضریب اطمینان جزئی برای این بتن‌ها از رابطه ۶ داده شده‌اند.



شکل ۸- نمودار هیستوگرام مقاومت فشاری بتن حاوی الیاف PPS

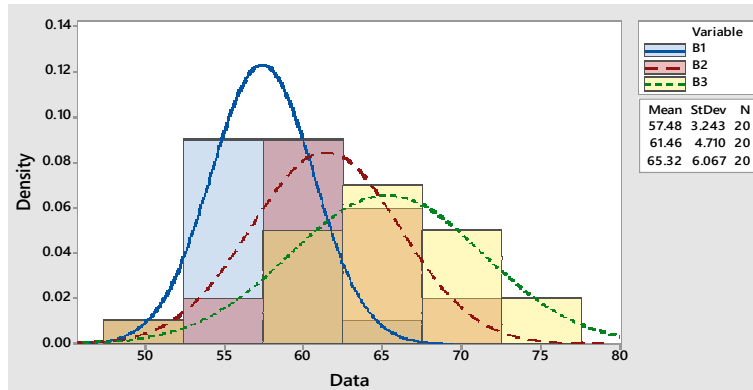
نشان می‌دهد. همچنین این موضوع در شکل ۹ قابل برداشت است که با افزایش انحراف معیار، پهنای نمودار توزیع نرمال افزایش می‌یابد یعنی پراکندگی داده‌ها افزایش می‌یابد که باعث کاهش ضریب اطمینان نمونه تست شده می‌شود، مساحت زیر هر نمودار برابر یک است. با توجه به ضریب اطمینان‌های به دست آمده در این بخش نتیجه می‌شود که نمونه حاوی میکروسلیس بدون حضور الیاف ضریب اطمینان جزئی بیشتری یعنی ۰٫۹۴۷ نسبت به دو نمونه دیگر داشته و با توجه به اینکه نمونه حاوی الیاف PPS بدون حضور میکروسلیس ضریب اطمینان جزئی کمتری یعنی ۰٫۸۹۳ نسبت به دو نمونه دیگر داشته، می‌توان به تأثیر مثبت

جدول ۱۲- نتایج ضریب اطمینان جزئی بتن حاوی الیاف PPS

| پارامتر آماری | A1 | B2 | B3 | C3 |
|---------------|------|------|------|------|
| X_d | ۳۹/۲ | ۳۸/۱ | ۳۸/۱ | ۴۳ |
| X_k | ۴۲/۹ | ۴۳/۶ | ۴۴/۹ | ۴۸/۴ |
| γ | ۰/۹۲ | ۰/۸۷ | ۰/۸۵ | ۰/۸۹ |

با توجه به ضریب اطمینان‌های به دست آمده نتیجه می‌شود که با افزایش الیاف PPS به بتن ضریب اطمینان جزئی تا حدودی کاهش یافته یعنی از ۰/۹۲ به ۰/۸۷، همچنین افزایش الیاف PPS از ۷ به ۱۴ درصد این تأثیر منفی روی ضریب اطمینان جزئی را همچنان

میکروسیلیس و تأثیر منفی الیاف PPS روی ضریب اطمینان جزئی بتن پی برد. با توجه به مقادیر Z به ترتیب ۱/۹۶ و ۱/۶۵ در دو حالت با درصد اطمینان ۹۵ و ۹۰ از جدول ۴، مقادیر مقاومت فشاری لازم سه نوع بتن B2 و B3 و C3 محاسبه شده و در جدول ۱۳ نشان داده شده است. با توجه به مقاومت فشاری متوسط لازم‌های



شکل ۹- تأثیر انحراف معیار بر روی محدوده‌ی منحنی توزیع نرمال و در نهایت ضریب اطمینان جزئی بتن حاوی الیاف PPS

جدول ۱۳- نتایج مقاومت فشاری لازم بتن‌های حاوی الیاف PPS

| دامنه اطمینان | رابطه | A1 | B2 | B3 | C3 |
|---------------|-------|------------------|-------------------|-------------------|------------------|
| ٪۹۵ | (۱) | $1.17 f_c$ | $1.25 f_c$ | $1.3 f_c$ | $1.22 f_c$ |
| | (۲) | $0.9 f_c + 7.35$ | $0.9 f_c + 10.71$ | $0.9 f_c + 13.65$ | $0.9 f_c + 10.5$ |
| ٪۹۰ | (۱) | $1.13 f_c$ | $1.2 f_c$ | $1.23 f_c$ | $1.17 f_c$ |
| | (۲) | $0.9 f_c + 6$ | $0.9 f_c + 8.8$ | $0.9 f_c + 11.18$ | $0.9 f_c + 8.6$ |

با و بدون الیاف فولادی (D1 فاقد الیاف و D2 و D3 به ترتیب از الیاف به میزان ۰.۵ و ۱ درصد حجم بتن با ۲۰ عدد مکعب در هر سری ساخته شدند و آزمایش مقاومت فشاری انجام شد [۳۹]. اطلاعات آماری و نتایج مقاومت فشاری این نوع بتن در جدول ۱۴ نشان داده شده است و ضریب اصلاحی انحراف معیار ۱/۰۸ برای ۲۰ نمونه اعمال شده و تبدیل مقاومت نمونه‌های مکعبی به استوانه‌ای استاندارد هم در جدول مربوطه انجام شده است. نتایج نشان می‌دهد اضافه کردن الیاف فولادی برخلاف الیاف PPS تأثیر منفی چندانی روی انحراف معیار و ضریب تنوع نداشته است، همچنین می‌توان دید جایگزین کردن سیمان با ترکیب سرباره، سدیم سیلیکات و سدیم هیدروکسید نیز تأثیر چشم‌گیری روی مقاومت و انحراف معیار و ضریب توزیع نداشته است.

با توجه به جدول ۲ نتیجه می‌شود برای این نوع بتن با توجه به معیارهای استاندارد، انحراف معیار در سطح خوب و ضریب تنوع

همچنین با توجه به رابطه‌ی نهایی بدست آمده در این قسمت و مقایسه آن با دو فرمول رابطه (۵) که در آیین‌نامه بتن ایران ارائه شده می‌توان دو فرمول (۸) را برای این بتن حاوی میکروسیلیس پیشنهاد کرد.

$$f_{cr} = 0.9 f_c + 2.1 \sigma$$

$$f_{cr} = f_c + 2.62 \sigma \quad (8)$$

با اعمال درصد اطمینان ۹۰ می‌توان دید مقاومت فشاری متوسط لازم نسبت به حالت ۹۵ کاهش پیدا کرده و به مقاومت فشاری میانگین نزدیک‌تر می‌شود.

۲-۴- روابط آماری بتن ژئوپلیمر حاوی الیاف فولادی

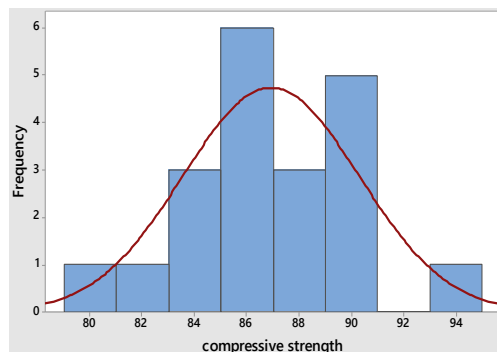
یک نمونه بتن معمولی به نام D0 و سه سری نمونه بتن ژئوپلیمر بدون سیمان (جایگزین کردن آن با سرباره (slag)، سدیم سیلیکات (SS) و سدیم هیدروکسید (sh)) به نام‌های D1 تا D3

بجای سیمان به بتن ضریب اطمینان جزئی تاثیر چندانی نکرد حال افزایش الیاف فولادی از ۰٫۵٪ به ۱٫۰٪ تاثیر منفی کمی روی ضریب اطمینان جزئی داشته است که از ۰٫۹۴ به ۰٫۹۲۵ رسید. همچنین این موضوع از شکل ۱۱ قابل برداشت است که با افزایش انحراف معیار، پهنای نمودار توزیع نرمال افزایش می‌یابد یعنی پراکندگی داده‌ها افزایش می‌یابد که باعث کاهش ضریب اطمینان نمونه تست شده می‌شود. با توجه به مقادیر Z به ترتیب ۱/۹۶ و ۱/۶۵ در دو حالت با درصد اطمینان ۹۵ و ۹۰ از جدول ۴، مقادیر مقاومت فشاری لازم سه نوع بتن $B2$ و $B3$ و $C3$ محاسبه شده و در جدول ۱۶ نشان داده شده است.

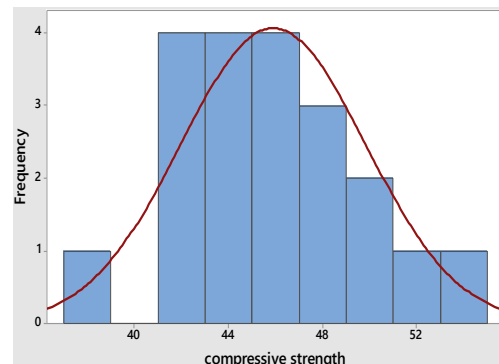
در سطح بد قرار دارند. در شکل ۱۰ هیستوگرام مربوط به نتایج نشان می‌دهد نتایج هرسری بتن تقریباً دارای توزیع نرمال می‌باشد و بخوبی بر منحنی توزیع نرمال منطبق هستند. ضریب اطمینان جزئی برای این بتن‌ها از رابطه ۶ و با فرض اعداد α و β به ترتیب ۳/۸ و ۰/۸ به دست می‌آیند که مقادیر X_k و X_d و γ برای سه نوع بتن محاسبه و در جدول ۱۵ نشان داده شده اند. با توجه به ضریب اطمینان‌های بدست آمده در این بخش نتیجه می‌شود با جایگزینی سرباره به جای سیمان ضریب اطمینان جزئی از ۰٫۸۴ به ۰٫۹۴ افزایش یافته است که نشان از تأثیر مثبت این تغییر است و همچنین با افزایش الیاف فولادی با جایگزین کردن سرباره

جدول ۱۴- نتایج مقاومت فشاری و اطلاعات آماری بتن معمولی و ژئوپلیمر

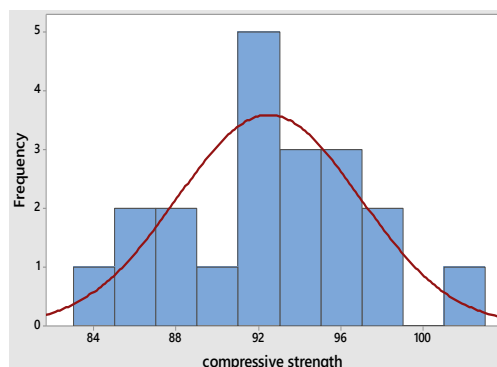
| پارامتر آماری | نمونه مکعبی (MPa) | | | | نمونه استوانه ای (MPa) | | | |
|---------------|-------------------|-------|-------|-------|------------------------|----|-------|------|
| | D0 | D1 | D2 | D3 | D0 | D1 | D2 | D3 |
| Mean (MPa) | ۴۵/۹۰ | ۸۶/۹۲ | ۸۸/۳۰ | ۹۲/۴۸ | ۳۶/۷۲ | ۷۴ | ۷۵/۲۷ | ۷۹/۱ |
| SD (MPa) | ۴/۲۳ | ۳/۶۳ | ۴/۳۶ | ۴/۸ | - | - | - | - |
| CoV (%) | ۹/۲ | ۴/۱۸ | ۴/۹۴ | ۵/۲ | ۱۱/۵ | ۵ | ۵/۸ | ۶ |



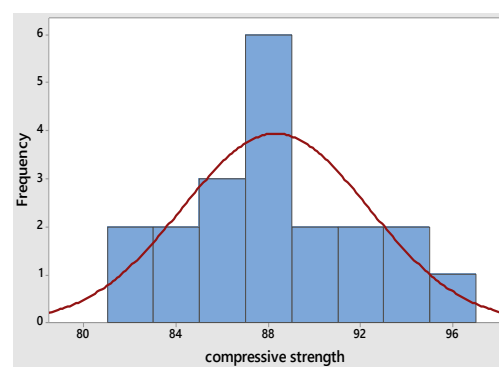
D1



D0



D3



D2

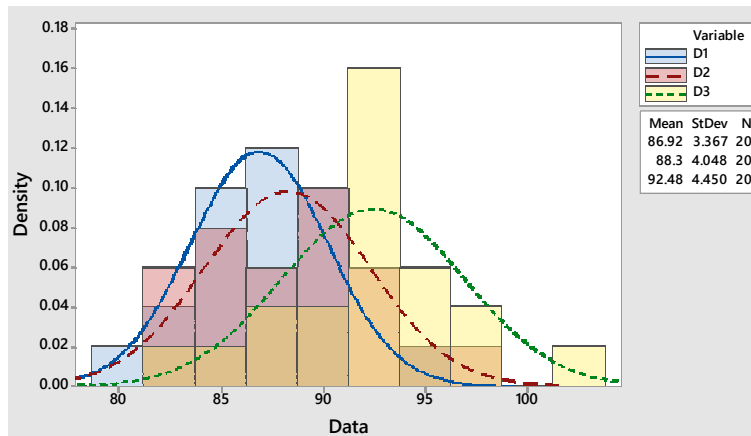
شکل ۱۰- نمودار هیستوگرام مقاومت فشاری بتن ژئوپلیمر حاوی الیاف فولادی

سرباره بجای سیمان به بتن مقاومت فشاری متوسط افزایش یافته است ولی هرچه درصد الیاف بیشتر شد مقاومت فشاری متوسط تغییری پیدا نکرد، این یعنی افزایش الیاف فولادی با جایگزین کردن سرباره بجای سیمان اثر منفی روی مقاومت فشاری متوسط می گذارد ولی چشم گیر نیست. با اعمال درصد اطمینان ۹۰٪ می توان دید مقاومت فشاری متوسط لازم نسبت به حالت ۹۵٪ کاهش پیدا کرده و به مقاومت فشاری میانگین نزدیک تر می شود.

جدول ۱۵- نتایج ضریب اطمینان جزئی بتن معمولی و ژئوپلیمر

| پارامتر آماری | D0 | D1 | D2 | D3 |
|---------------|-------|-------|-------|-------|
| X_d | ۲۳/۸۸ | ۶۲/۷۵ | ۶۲ | ۶۴/۶۷ |
| X_k | ۲۸/۴۴ | ۶۶/۷۵ | ۶۶/۷۱ | ۶۹/۸ |
| γ | ۰/۸۴ | ۰/۹۴ | ۰/۹۳ | ۰/۹۲۵ |

با توجه به مقاومت فشاری متوسط لازم های به دست آمده در این بخش نتیجه می شود که با افزایش الیاف فولادی با جایگزین کردن



شکل ۱۱- تاثیر انحراف معیار بر روی محدوده ی منحنی توزیع نرمال و در نهایت ضریب اطمینان جزئی بتن ژئوپلیمر

جدول ۱۶- نتایج مقاومت فشاری لازم بتن معمولی و ژئوپلیمر

| دامنه اطمینان | رابطه | D0 | D1 | D2 | D3 |
|---------------|-------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| ۹۵٪ | (۱) | $1.31 f_c$ | $1.11 f_c$ | $1.14 f_c$ | $1.15 f_c$ |
| | (۲) | $0.9 f_c + 8.88$ | $0.9 f_c + 7.62$ | $0.9 f_c + 9.15$ | $0.9 f_c + 10.1$ |
| ۹۰٪ | (۱) | $1.25 f_c$ | $1.1 f_c$ | $1.11 f_c$ | $1.12 f_c$ |
| | (۲) | $0.9 f_c + 7.27$ | $0.9 f_c + 6.6$ | $0.9 f_c + 7.5$ | $0.9 f_c + 8.2$ |

۳- نتیجه گیری

متوسط لازم f_{cr} بتن ۷ و ۱۴٪ میکروسیلیس به ترتیب به میزان ۳ و ۷٫۶٪ نسبت به بتن معمولی کمتر شده است. ولی افزایش الیاف PPS به بتن تاثیر منفی داشت و مقاومت فشاری متوسط لازم بتن حدود ۹ درصد نسبت به بتن معمولی بیشتر شده است. استفاده همزمان میکروسیلیس و الیاف PPS باعث بهبود ضریب اطمینان جزئی، فاصله اطمینان و مقاومت فشاری متوسط لازم بتن شد ولی تأثیر منفی الیاف بیشتر از تاثیر مثبت میکروسیلیس بود.

- مقاومت فشاری متوسط لازم بتن HPRCC با ۷۵٪ و ۱٪ الیاف PP با ترتیب به میزان ۸ و ۱۹٪ نسبت به بتن معمولی بیشتر و بتن ۵٪ الیاف ۴٪ کمتر شده است و مقادیر آماری تغییر کرده است.

عموما تجزیه و تحلیل نتایج مقاومت فشاری متوسط لازم و بدست آوردن ضرائب ایمنی بتن معمولی که در مراجع استاندارد ارائه شده است مبتنی بر تکنیک های آماری همچون مقدار متوسط، انحراف معیار و ضریب تنوع است. لذا با الگوبرداری از این روش و استفاده از نرم افزارهای موجود، نتایج آزمایشگاهی محققین در مورد بتن های ویژه را به صورت آماری تجزیه و تحلیل نموده که نتایج زیر حاصل شدند:

- نتایج نشان داد که ضریب اطمینان جزئی، فاصله اطمینان و مقاومت فشاری متوسط لازم به دست آمده با افزایش ۷٪ میکروسیلیس به بتن تا حدودی بهبود یافته و مقاومت فشاری

- [۲] عبدالوهاب، وحید (۱۳۹۵). انواع بتن ویژه و کاربرد آن، انتشارات کتابراه.
- [۳] روش ملی طرح مخلوط بتن (۱۳۸۶)، مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن.
- [۴] رضانیان پور، علی اکبر (۱۳۸۸). بتن نوین، دانشگاه صنعتی امیرکبیر.
- [5] Skrzypczak, I., Słowik, M. Buda-Ożóg, L. (2019), The Application of Reliability Analysis in Engineering Practice – Reinforced Concrete Foundation, *Procedia Engineering* 193:144-151.
- [۶] ضرغامی، مهدی (۱۳۹۱). آمار و احتمال برای مهندسی عمران، دانشکده مهندسی عمران، انتشارات دانشگاه تهران.
- [۷] کی نیا، امیر مسعود (۱۳۸۷). آنالیز و طراحی سازه‌های بتن آرمه، انتشارات جهاد دانشگاهی دانشگاه صنعتی اصفهان، چاپ هفدهم.
- [۸] مبحث نهم طرح و اجرای ساختمان‌های بتن آرمه (۱۳۹۹). مقررات ملی ساختمان ایران، وزارت مسکن و شهرسازی، تهران.
- [9] Steenbergen, R.D.J.M., van Gelder, P.H.A.J.M., (2014). *Safety, Reliability and Risk Management*, Taylor and Francis Group, London.
- [10] ACI 318, 2012. Reliability-based Calibration of Design Code for Concrete Structures.
- [11] ASTM C31. (2003). Standard Practice for Making and Curing Concrete Test Specimens in the Field, American Society for Testing and Materials.
- [12] ASTM C39. (2003). Standard Practice for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens, American Society for Testing and Materials.
- [13] Day, Ken W. (2005). *Concrete mix design, quality control and specification*, Second edition. UK, E and FN Spon.
- [14] Montgomery, D.C. (2012). *Design and analysis of experiments*. 5th ed. Publisher: Wiley.
- [15] ACI 214, (2010). Evaluation of Strength Test Results of Concrete.
- [16] Day, Ken W. (2006). *Concrete mix design, quality control and specification*, Third edition. Oxon, Taylor and Francis.
- [17] Gu, X. Jin, X. Zhou, Y. (2016). *Basic Principles of Concrete Structures*. Springer.
- [18] ASTM C 1074, (2004). Standard Practice for Estimating Concrete Strength by the Maturity Method, American Society for Testing and Materials.
- نتایج نشان داد که با جایگزین کردن سرباره به همراه سدیم هیدروکسید و سدیم سیلیکات بجای سیمان، نه تنها اثر منفی روی ضریب اطمینان جزئی، فاصله اطمینان و مقاومت فشاری متوسط لازم بتن زئوپلیمر نداشت بلکه تاثیر مثبت نیز داشت و افزایش الیاف فولادی تاثیر منفی چندانی روی مقاومت بتن نداشت و مقاومت فشاری متوسط لازم حدود ۱۲ درصد نسبت به بتن معمولی کمتر و به میزان ۹ درصد نسبت به بتن با جایگزین کردن سرباره به همراه سدیم هیدروکسید و سدیم سیلیکات بجای سیمان بیشتر شد.
- تاثیر منفی روش شاتکریت نسبت به روش معمولی در ضریب اطمینان جزئی، فاصله اطمینان و مقاومت فشاری متوسط لازم مشاهده شد که این تاثیر منفی با افزایش الیاف بیشتر می‌شود. الیاف نمی‌تواند نقش مثبتی در مقاومت فشاری بتن داشته باشد و باعث افزایش انحراف معیار و ضریب تنوع شد ولی نقش تأثیرگذار در مقاومت کششی و خمشی داشت.
- طی تجزیه و تحلیل آماری نتایج مقاومت فشاری نمونه‌های ساخته شده در شرکت‌های تولید کننده بتن آماده که از آزمایشگاه‌های کنترل کیفیت دریافت شده نتیجه می‌شود که میزان انحراف و ضریب پراکندگی بتن‌های ساخته شده در بازه‌ی زمانی مرداد و شهریور کمتر از بازه‌ی مشابه اردیبهشت و خرداد ماه بود که علت آن می‌تواند به کارگیری دقت بیشتر در کارگاه‌های تولید بتن و جلب نظر مشتریان بیشتر در ایام پرتقاضای تابستان و همچنین وجود کنترل کیفیت آزمایشات بیشتر باشد.
- در حالت کلی تعداد نمونه‌ها، انحراف معیار و درصد اطمینان نقش مهمی در مباحث و تجزیه تحلیل‌های آماری دارد و هرچه تعداد نمونه‌ها بیشتر می‌شود انحراف معیار، ضریب تنوع و درصد اطمینان کاهش می‌یابد و دو ضریب Z و k در دو فرمول $X = \mu - k\sigma$ و $f_c + Z\sigma$ رابطه‌ی عکس با هم دارند و هرچه نتیجه مجموع تست‌های انجام شده به سمت جواب دقیق‌تر می‌رود و مقاومت فشاری متوسط لازم به میانگین نزدیک‌تر می‌شود درصد خطا کاهش می‌یابد.

۴- مراجع

[1] Shetty, M.S., (2019). *Concrete Technology*, Google Books.

- [33] Akkurt, I., Altindag, R., Basyigit, C., Kilincarslan, S. (2008). The effect of barite rate on the physical and mechanical properties of concretes under F-T cycle, *Materials and Design*, 29(9), 1793-1795 p.
- [34] Yanxia Ye, Jilei Liu, Zhiyin Zhang, Zongbin Wang, Qiongwu Peng, (2020), "Experimental Study of High-Strength Steel Fiber Lightweight Aggregate Concrete on Mechanical Properties and Toughness Index", *Advances in Materials Science and Engineering*, vol. 2020, Article ID 5915034, 10 pages, 2020.
- [35] Babar Ali, Liaqat Ali Qureshi, Sibghat Ullah Khan, (2020), Flexural behavior of glass fiber-reinforced recycled aggregate concrete and its impact on the cost and carbon footprint of concrete pavement, *Construction and Building Materials*, 10.1016/j.conbuildmat.2020.120820, 262, (120820).
- [۳۶] دالوند، احمد. (۱۳۹۳). بررسی آزمایشگاهی و تحلیلی خصوصیات مکانیکی و سازه‌ای بتن‌های کامپوزیتی سیمانی حاوی پودرهای سیلیس، پایان‌نامه دکترای تخصصی، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه سمنان.
- [37] Nikoui, A., Dalvand, A., Sharbatdar, M.K., Kheyroddin, A., (2014). Assessment of statistical variations in experimental impact resistance and mechanical properties of silica fume concrete, *Faculty of Civil Engineering, Semnan University, Semnan*, 21(5), 1577-1590 p.
- [38] Nikoui, A., Dalvand, A., Sharbatdar, M.K., Kheyroddin, A., (2015). Experimental and statistical investigation on mechanical properties and impact resistance of synthetic fiber reinforced concrete, *Transactions of Civil Engineering, Printed in the Islamic Republic of Iran*, 39(2), 449-468 p.
- [۳۹] دالوند، محمد حسین. (۱۳۹۷). بررسی آزمایشگاهی و آماری خصوصیات مکانیکی و مقاومتی بتن ژئوپلیمری الیافی، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه سمنان.
- [19] Kosmatka, S.H. Kerkhoff, B. Panarese, W.C. (2003). *Design and control of concrete mixtures*, 14th Ed., USA, Portland Cement Association.
- [20] Vandegrift, D., Schindler, K.A. (2005). *The Effect of Test Cylinder Size on the Compressive Strength of Sulfur Capped Concrete Specimens*, Highway Research Center and Department of Civil Engineering at Auburn University.
- [21] Mogahzy, Y. E. (2001). *Statistics and Quality Control for Engineers and Manufacturers*. Auburn University.
- [22] Domagała, L., (2020), Size Effect in Compressive Strength Tests of Cored Specimens of Lightweight Aggregate Concrete, *Materials* 2020, 13(5), 1187.
- [23] ACI 214, (2010). *Evaluation of Strength Test Results of Concrete*, Manual of Concrete Practice
- [24] Cevik, A. (2011). Modeling Strength Enhancement of FRP Confined Concrete Cylinders Using Soft Computing, *Expert Systems with Applications*, 38(5), 5662-5673 p.
- [۲۵] استاندارد ملی ایران، ۶۰۴۴، (۱۳۸۱)، بتن آماده-ویژگی‌ها، مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، تهران.
- [26] Brunarski, L., Dohojda, M. (2015). Diagnostics of concrete strength in structures, *ITB, Warsaw*, 64(4), 687-695 p.
- [27] ASTM C94. (2010). Standard specification for ready-mixed concrete, *Annual Book of ASTM Standards, Vol 04.02.*, Philadelphia.
- [28] BS-EN 206. (2000). Concrete. Specification, performance, production and conformity, *European Committee for Standardization*.
- [29] Badr, A. (2016). Statistical Analysis of the Variability in Shotcrete Strength, *Global Journal of Research in Engineering*, 16(4), 13-23 p.
- [30] Kepniak, M., Woyciechowski, P. (2016). The Statistical Analysis of Relation between Compressive and Tensile, Flexural Strength of High Performance Concrete, *Archives of Civil Engineering*, 62(4), 95-108 p.
- [31] EN 1992-1-1. (2004). *EUROCODE 2: Design of concrete structures. Part 1: General rules and rules for buildings*, European Committee for Standardization.
- [32] Mutiu, A.A., Samson, O.O., Oladipupo, S.O., Fatima, Z.M. (2017). Investigating the relationship between tensile pulling and compression of self compacting concrete, *Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Kwara State University, Journal of King Saud University*.

Statistical calculation of average strength for mix design and coefficient of confidence of special concretes; shotcrete, Geopolymer, FRC and conventional in-place concrete

Mohammad Kazem Sharbatdar *

Associate Professor, Faculty of Civil Engineering, Semnan University, Semnan, Iran.

Esfandiar Naderi

MS Graduated, Faculty of civil engineering, Semnan University, Semnan, Iran.

Abstract

Considering the positive attitude of special concrete, the main focus should be on statistical relationships such as acceptance control and regulations. The purpose of this paper was to statistical analysis of the special concretes, the information from previous researches and the statistical information was collected. The collected information and results were analyzed with the software SPSS and Minitab and the histogram curves were drawn and their standard deviation were calculated. And using the formulas of the coefficients and intervals of reliability and the average compressive strength obtained from the available research and 95 and 90% confidence intervals, these results have been analyzed and compared with the proposed formulas of the design codes. The results of the analyzes showed that the use of fibers can not have a positive effect on the compressive strength of concrete, but the standard deviation and the coefficient of variation were increased and the concrete's reliability were reduced. In the case of geopolymer concrete it can be seen that the standard deviation and the coefficient of variation were improved. Statistical analysis of the results of compressive strength of samples manufactured in ready-made concrete companies that received quality control labs showed that the deviation standard and coefficient of variation the concretes made in August and September were less than the corresponding interval from May to June, the reason for this was the increased use of concrete precision manufacturing workshops and more customer focus in the summer as well as the quality of testing.

Keywords: Special Concrete, Statistical Topics, Coefficient Of Confidence, Compressive Strength, Standard Deviation.

* Corresponding Author: msharbatdar@semnan.ac.ir