

## کنترل کیفیت آماری آزمون مقاومت فشاری در فرآیند تولید بتن - مطالعات موردی پروژه‌های شهری تهران

سید علیرضا طباطبایی<sup>۱</sup>، مهیار پورلک<sup>۲</sup>، علیرضا قلمبر<sup>۳</sup>

۱- دانشجوی دکترای مدیریت ساخت دانشگاه آزاد اسلامی - واحد تهران جنوب

۲- دانشجوی دکترای آب و سازه‌های هیدرولیکی، دانشگاه قم

۳- کارشناس ارشد مهندسی عمران-ژئوتکنیک، دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی

(Mahyar\_Pourlak@yahoo.com)

### چکیده

ارزیابی کیفی بتن از دیرباز به لحاظ پیچیدگی‌های ذاتی آن مورد توجه متخصصان و مهندسان بوده است. تلاش‌های زیادی در خصوص توجه به آزمون مقاومت فشاری در کنار لحاظ کردن معیارهای دوامی و ویژگی‌های بتن تازه انجام شده است و ادامه دارد. با توجه به اهمیت نقش بتن و جایگاه سازه‌ای آن در پروژه‌های کشور و همچنین نیاز بهره‌وری مناسب از آن در پروژه‌ها، یک روند پایدار، تحت کنترل و توانمند نیاز می‌باشد. با توجه به تکیه نظام فنی اجرایی کشور بر آزمون مقاومت فشاری بتن در ضوابط و قوانین این موضوع مورد بحث در این مقاله قرار گرفته است. بررسی نتایج آزمایشات عموماً به صورت یک به یک بوده و به تعبیری گسسته صورت می‌گیرد و یک ملاک معیار مناسب برای تحقیق، مناسب بودن و نبودن شرایط بتن تولید شده در قالب یک فرآیند وجود ندارد. در این مقاله با توجه به اهمیت موضوع و بهره‌گیری از روش‌های کنترل کیفیت آماری (SQC) و کنترل فرآیند آماری (SPC) در مورد کیفیت بتن‌های تولیدی اظهار نظر می‌شود. در این راستا با معرفی ابزارهای مناسب کنترل کیفیت و تحلیل قابلیت فرآیند آن نسبت به ارائه مدلی مناسب برای رصد شرایط بتن اقدام شده است. با توجه به پارامترهای در نظر گرفته شده در مطالعات آماری می‌توان در مورد توانایی و تحت کنترل بودن فرآیند و در نهایت در مورد کیفیت بتن اظهار نظر کرد. در این مقاله از نتایج چند پروژه فعال شهری تهران استفاده شده است و نتایج ۲۸ روزه مقاومت فشاری آن‌ها مورد این بررسی‌های آماری قرار گرفته اند.

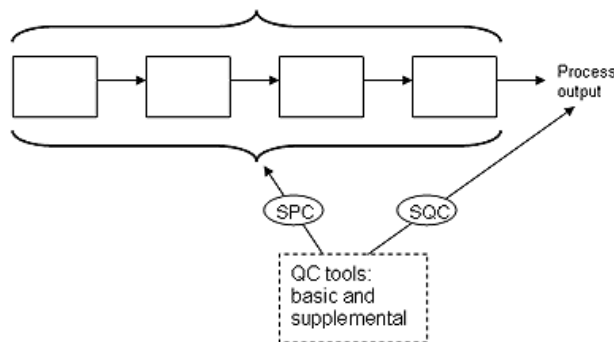
کلمات کلیدی: کنترل کیفیت آماری، آزمایش مقاومت فشاری، نمودار هیستوگرام، ابزارهای کنترل کیفیت، مدیریت کیفیت

### ۱. مقدمه

کنترل کیفیت آماری (SQC) شاخه‌ای از کنترل کیفیت است که شامل جمع‌آوری، تحلیل و تفسیر داده‌ها برای استفاده در فعالیتهای کنترل کیفیت می‌باشد. کنترل کیفیت شامل فعالیت‌هایی از قبیل تعیین مشخصات، طراحی، تولید یا نصب، بازرسی و بررسی عملکرد است ولی تضمین کیفیت علاوه بر موارد بالا تمامی سیستم کیفیت را نیز دربر می‌گیرد. این نکته حائز اهمیت است و باید در نظر گرفته شود که کیفیت با تولید تعارضی ندارد، بلکه افزایش کیفیت باعث بهره‌وری بیشتر خواهد شد. [1]

در سال ۱۹۷۴، دکتر ایشیکاوا [2] مجموعه‌ای از ابزارهای تقویت فرآیند را در کتاب خود جمع‌آوری کرده است که در جهان به هفت ابزار کیفیت شناخته می‌شوند، این ابزارها عبارتند از: هیستوگرام (Histogram)، برگه کنترل (Check Sheet)، نمودار پارتو (Pareto Chart)، نمودار علت و معلول (Cause-and-Effect Diagram)، نمودار تمرکز نقص‌ها (Flowcharting)، نمودار

پراکندگی (Scatter Diagram) و نمودار کنترل (Control Charts)، علاوه بر هفت ابزار کنترل کیفیت، همچنین مقداری ابزارهای اضافی وجود دارد که به هفت ابزار الحاقی شناخته شده‌اند، این ابزارها عبارتند از: طبقه بندی اطلاعات (Data Stratification)، نقشه‌های عیب‌یابی (Defect Maps)، ثبت وقایع (Events Logs)، نمودارهای فرآیند (Process Flowcharts)، انتخاب تصادفی (Randomization) و تعیین اندازه نمونه (Sample Size determination)، کنترل کیفیت آماری (SQC) هر ۱۴ ابزار محاسباتی و تحلیلی (۷ ابزار کنترل کیفیت و ۷ ابزار الحاقی) به کار برده تا خروجی‌های فرآیند را نظارت کند (متغیرهای وابسته). کنترل فرآیند آماری (SPC)، همان ۱۴ ابزار را برای کنترل ورودی‌های فرآیند بکار برده است (متغیرهای غیروابسته). در شکل زیر این ارتباطات نشان داده شده است.



شکل ۱- ارتباط بین (SPC) و (SQC) در کنترل یک فرآیند [3]

SPC یک روش موثر برای دنبال کردن بهبود مستمر می‌باشد. بوسیله نظارت و کنترل کردن یک فرآیند، می‌توان از اینکه با حداکثر توان و بازده خود عمل کند، مطمئن شد. [4]

هارلوندکرنز [5] در بررسی تاریخچه کیفیت به این نتیجه رسید که در طول ۱۰۰ سال گذشته دیدگاه کیفیت به طور چشم‌گیری تغییر کرده است. قبل از جنگ جهانی اول، به کیفیت عمدتاً به عنوان بازرسی و مرتب سازی کالای خوب و بد نگریسته می‌شد. تا اوایل دهه ۱۹۵۰، هنوز تأکید بر روی مرتب‌سازی کالای خوب و بد بود. با این حال اصول کنترل کیفیت در قالب اشکالی به مانند جداول نمونه‌گیری، نمودارهای کنترل فرآیند و روش‌های آماری و ریاضی (SQC) در حال ظهور بود. رویکرد سینماتیک به کیفیت در تولید صنعتی در طول دهه‌ی ۱۹۳۰ آغاز گردید زمانی که توجه‌ها به سمت ضایعات و کارهای هرز و تکراری جلب شد. در اثر تولید انبوه که نیاز جنگ جهانی دوم بود، احتیاج به معرفی کنترل کیفیت دقیق بیشتر از هر وقتی احساس شد. این موضوع به وسیله‌ی ساخت واحدهایی سازماندهی شده و با عنوان کنترل کیفیت آماری (SQC) شناخته شده است. [6]

والتر شیهارت [7] یکی از نظریه پردازان کنترل کیفی آماری (SQC) در فرآیند بود. نظر او این بود که کیفیت مرتبط با محصول پایانی نیست بلکه مرتبط به فرآیندی است که محصول را بوجود می‌آورد. رویکرد او به کیفیت بر اساس نظارت مستمر بر مراحل مختلف بود. مفهوم کنترل کیفی آماری تولید و ساخت را از کنترل کیفیت ۱۰۰ درصد وقت‌گیر می‌رساند چرا که برای محدودیت‌های کنترل خاص پذیرفته شده بود، تنوع قابل تحمل است. بنابراین، تمرکز کنترل کیفیت به سمت انتهای خط تولید تغییر نمود.

اداره راه تگزاس با همکاری وزارت راه آمریکا [8] در سال ۱۹۶۸ به بررسی وضعیت بتن در بزرگراه‌ها با استفاده از روش‌های کنترل کیفیت آماری (SQC) با گرفتن نمونه‌های مشخص ۲۸ روزه در بتن و بررسی انحراف معیار آن‌ها و در نظر گرفتن اختلاف آن‌ها که بر اساس اندازه سنگدانه‌ها و شماره الک تقسیم شده و نتایج انحراف معیار مقاومت مشخصه بتن نباید از این حد بیشتر شود مثلاً برای بتن‌هایی که اندازه سنگدانه آن‌ها به گونه‌ای است که بر روی الک شماره ۴ و بیشتر قرار می‌گیرند ۴

درصد، الک شماره ۱۰، ۱۰ درصد، الک شماره ۴۰، ۶ درصد، الک شماره ۸۰، ۵ درصد و الک شماره ۲۰۰، ۳ درصد بوده است. نتیجه حاصله این گونه بود که با ریزتر شدن سنگدانه‌ها اجازه تغییر مقاومت کمتری برای بتن باید در نظر گرفته شود. آکادمی مهندسی سلطنتی انگلستان [9] در یک تحقیق در مورد بررسی محاسباتی کنترل کیفیت و بررسی نمونه‌های بتن مسلح متوجه شد که فقط ۵ درصد نمونه‌ها دارای مقاومتی کمتر از مقاومت مشخصه بودند و طبق انتظار ۹۵ درصد باقیمانده دارای مقاومتی بیشتر از مقاومت مشخصه بودند همچنین دریافتند که از لحاظ کیفی بتنی مناسب است که دارای منحنی توزیع نزدیک به منحنی نرمال باشد. همچنین دریافتند که حداقل مقاومت بتن از رابطه (۱) باید محاسبه شود، که در آن  $f_m$  مقاومت میانگین مشخصه نمونه‌ها و  $S$  نیز انحراف معیار مقاومت نمونه‌ها می‌باشد.

$$f_k = f_m - 1.64S \quad (1)$$

لاروسا و همکاران [10] نیز در تحقیقی در سال ۲۰۱۴ در ریوگرانده برزیل در بندرگاه این شهر که یکی از بزرگترین بندرگاه‌های برزیل می‌باشد و برای این بندرگاه دارای ۸ ترمینال محل جابجایی کالا در نظر گرفته شده است و با توجه به حجم بالای کار و حساسیت موجود بر روی کیفیت بتن ریزی صورت گرفته، نمونه‌هایی از مراحل بتن ریزی دال و شمع در طی یک سال جمع‌آوری شد و نتایج مقاومت ۲۸ روزه نمونه‌ها بدست آمد. برای بررسی کیفیت بتن در این پروژه از یکی از روش‌های کنترل کیفیت آماری بنام نمودار کنترل استفاده شده است که برای رسم آن پارامترهای زیر نیاز بوده است. برای رسم نمودار کنترل همان داشتن LCL و UCL و CL کفایت می‌کند که LCL یا همان خط کنترل کننده پایینی را برابر با مقاومت مشخصه میانگین به علاوه سه برابر انحراف معیار و UCL که همان خط کنترل کننده بالایی است برابر با مقاومت مشخصه میانگین بعلاوه سه برابر انحراف معیار و CL که همان خط مرکزی بوده و آن را با مقاومت میانگین مشخصه نشان داده و با بررسی نتایج نمونه با حدود مشخص شده این نتیجه بدست آمد که بتن کیفیت مناسبی داشته و مقاومت‌های مشخصه در محدوده مورد نظر قرار داشته است.

در دستور العمل فنی معیار پذیرش کیفی بتن در روسازی فرودگاه هند [11] نیز با توجه به روش‌های کیفی به بررسی کنترل کیفی بتن پرداخته‌اند و برای تعیین حد بالا و پایین نمودار خود از روابط زیر استفاده کرده‌اند.

$$LCL = \bar{X} - t.s \quad (2)$$

$$LCL = \bar{X} - t.s \quad (3)$$

$\bar{X}$  همان میانگین مقاومت مشخصه ۲۸ روزه نمونه‌ها،  $t$  ضریب رواداری تغییرات و  $S$  نیز انحراف معیار مقاومت نمونه‌ها می‌باشند. و با توجه به در نظر گرفتن حد بالا و پایین و نتایج مقاومت نمونه‌ها نمودارهای کنترلی را در نظر گرفته است.

## ۲. روش تحقیق

در رشته مهندسی عمران و در بحث کنترل کیفیت آماری (SQC) بتن به دنبال مطابقت نتایج آماری و رسیدن به اصول استفاده بهینه با در نظر گرفتن بتن به عنوان یک فرآیند و اینکه تابع المان‌های زیادی است و دقت در نتایج مقاومت آن که با توجه به عیار بتن تعیین می‌شود، بسیار مهم بوده و همچنین رسیدن به مقاوت بهینه که باعث صرفه‌جویی اقتصادی و بهبود کیفیت بتن خواهد شد، بنابراین با استفاده از روش‌های (SPC)، تاکید بر تحلیل قابلیت فرآیند که جز دسته هیستوگرام‌ها می‌باشد، مورد توجه بوده است.

کنترل کردن یک فرآیند کیفیت به زبان آماری شامل شروط زیر می‌باشد:

۱-۲- داشتن توزیع طبیعی (نرمال): یکی از شروط داشتن فرآیندی بهینه، نزدیک بودن منحنی نرمال با منحنی رسم شده برای نمونه‌ها است و این به معنی کم بودن اختلاف انحراف معیار استاندارد نرمال با انحراف معیار نمونه‌ها است.

$$\Delta SD = \left| \text{انحراف معیار استاندارد نرمال} - \text{انحراف معیار استاندارد نمونه‌ها} \right| \quad (۴)$$

لذا هرچه  $\Delta SD$  به صفر میل کند، فرآیند با توزیع طبیعی نرمال تر خواهد بود.

۲-۲- میانگین آن منطبق بر هدف باشد:

در نمودار قابلیت فرآیند برای توضیح این شرط از پارامتری بنام  $C_{pk}$  استفاده می‌کنیم. به طور تجربی هرچه به ۱,۳۳ نزدیک تر باشد فرآیند شرایط ایده‌آل تر و تحت کنترل تری را شاهد هستیم و اگر کم تر از ۱ شد فرآیند خارج از کنترل می‌باشد و این در فرآیندها مثلاً بتن، به معنی نزدیک بودن مقاومت هدف و بهینه مشخصه بتن به میانگین مقاومت مشخصه نمونه‌ها می‌باشد.

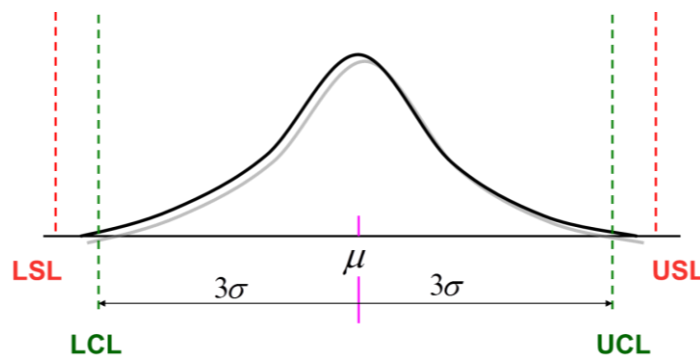
۳-۲- پراکندگی توزیع کم باشد:

در نمودار قابلیت برای توضیح این شرط از پارامتری بنام  $C_{pm}$  استفاده می‌کنیم نشان دهنده این امر می‌باشد و هرچه به ۱,۳۳ نزدیک تر باشد نشان از توانمندی بیش تر فرآیند داشته و اگر کمتر از ۱ باشد فرآیند رو به ناتوانی می‌گراید.

$$LSL, USL = A \pm a \quad (۵)$$

که در این رابطه منظور از  $A$  همان مقاومت هدف بتن است که در ادامه خواهد آمد،  $a$  نیز همان تلورانس یا محدوده تغییرات می‌باشد.

حدود کنترل: حدود آماری است و براساس نمونه‌های مشاهده شده در فرآیند بدست می‌آیند. این حدود نشان دهنده عملکرد طبیعی فرآیند می‌باشد.



شکل ۲-نمایی از شکل تحلیل قابلیت فرآیند

در تحلیل قابلیت فرآیند با توجه به شکل ۱ و رابطه ۵ اصلی‌ترین شرط مورد نیاز برای یک فرآیند قرارگیری در این محدوده می‌باشد. برای انجام این کار به مقاومت‌های فشاری ۲۸ روزه استوانه‌ای (مقاومت مشخصه  $f_c$ ) نمونه‌ها نیاز می‌باشد که با توجه به حجم بتن ریزی برای مراحل مختلف اجرایی نمونه‌ها گرفته می‌شوند.

همانطور که در رابطه ۱ ذکر شد برای ترسیم تحلیل قابلیت فرآیند نیاز به حد بالا و پایین نمودار است، که توسط مشتری تعیین می‌شود، حد پایین را با توجه به نقشه اجرایی و مقاومت مورد قبول کارفرما و مشاور بین  $f_c$  و  $0.8f_c$  در نظر گرفته می‌شود اما شامل جریمه می‌گردد، که برای اطمینان بیشتر انتخاب  $f_c$  منطقی تر به نظر می‌رسد. برای مقدار هدف نمودار، یعنی مقاومت مطلوب بتن از آیین‌نامه روش ملی طرح مخلوط بتن (ض-۴۷۹) و از روابط ۲ و ۳ استفاده می‌گردد. برای در نظر گرفتن مقاومت هدف مقدار حداکثر این دو رابطه در نظر گرفته می‌شود. [12] در واقع طبق مقادیری که آیین‌نامه طراح را ملزم به رعایت حاشیه امنیت می‌گرداند، به عنوان میزان هدف معرفی می‌شود.

$$f_{cm} = f_c + 1.34S + 1.5 \frac{N}{mm^2} \quad (۶)$$

$$f_{cm} = f_c + 2.33S - 4 \frac{N}{mm^2} \quad (7)$$

که در آن،  $f_{cm}$  = مقاومت فشاری متوسط بتن،  $\frac{N}{mm^2}$  و  $f_c$  = مقاومت فشاری مشخصه بتن بر اساس آزمون‌های استوانه‌ای  $S$  = انحراف استاندارد مقاومت فشاری آزمون  $\frac{N}{mm^2}$ ، (هر  $\frac{N}{mm^2}$  تقریباً معادل  $10 \frac{kg}{cm^2}$ ) می‌باشد.  
می‌توان بر اساس سطح نظارت و کنترل کیفیت کارگاه و مقاومت مشخصه بتن مقدار انحراف معیار برای مقاومت آزمون‌های استوانه‌ای را با استفاده از جداول ۱ و ۲ تخمین زد.

جدول ۱- انحراف معیار بر اساس رتبه‌بندی کارگاه و مقاومت مشخصه بتن. [12]

مقاومت مشخصه بتن ( $\frac{N}{mm^2}$ )					رتبه بندی کارگاه
۴۰ و بیشتر	۳۵ و ۳۰	۲۵	۲۰	۱۶	الف
۴/۵	۴	۳/۵	۳	۲/۵	ب
۵/۵	۵	۴/۵	۴	۳/۵	ج
۶/۵	۶	۵/۵	۵	۴/۵	

جدول ۲- رتبه بندی کارگاه‌ها بر اساس وضعیت تولید بتن، نظارت و کنترل کیفیت. [12]

وضعیت کنترل کیفیت			شرایط تولید و کنترل
ج	ب	الف	
حجمی	وزنی	وزنی	توزین یا پیمانانه کردن سیمان
حجمی	حجمی	وزنی	توزین یا پیمانانه کردن سنگدانه
بدون کنترل	کنترل شده	کنترل شده	کنترل دانه‌بندی سنگدانه
بدون کنترل	کنترل شده	کنترل شده	کنترل رطوبت سنگدانه
در سطح ضعیف	در سطح خوب	در سطح عالی	نظارت بر تولید
در سطح محدود	موجود است	موجود است	امکانات آزمایشگاهی
در سطح محدود	گاهی اوقات	مداوم	تداوم در آزمایش
در سطح محدود	وجود دارد	وجود دارد	نیروی متخصص تولید بتن

بتن‌ریزی‌های انجام شده و نمونه‌های گرفته شده در کارگاه‌های پروژه‌های شهری شهرداری تهران صورت گرفته است، با توجه به جدول ۲ و شرایط ساخت بتن و بچینگ موجود در کارگاه‌ها نویسندگان به جمع بندی نهایی کارگاه (ب) برای پروژه‌های مد نظر رسیدند بنابراین وضعیت کنترل کیفیت کارگاه‌ها در گروه (ب) قرار گرفته است.  
با توجه به تعیین کارگاه (ب) برای تولید بتن‌ها، با توجه به جدول ۱ می‌توان مقدار انحراف معیار را توسط مقاومت مشخصه بتن برای پروژه‌ها تعیین کرد. در ادامه، هر کدام از  $f_{cm}$ ها که در روابط ۶ و ۷ که مقدار بیشتری داشتند برای تعیین مقادیر هدف در نظر گرفته می‌شود و برای تعیین USL نیز هر چه تفاضل بین LSL و  $f_{cm}$  بوده را به خود  $f_{cm}$  اضافه می‌کنیم. با داشتن این پارامترها و مقاومت فشاری بتن‌ها می‌توان تحلیل قابلیت فرآیند بتن را صورت داد. لازم به ذکر است که هر چه تعداد نمونه‌ها بیشتر باشد دقت نمودار و تحلیل با توجه به افزایش داده‌های آماری افزایش پیدا می‌کند.  
در ادامه به بیان چهار مطالعه موردی در پروژه‌های شهری پرداخته می‌شود که کلیه آنها مربوط به پروژه‌های راه و باند در سطح شهر تهران می‌باشند.

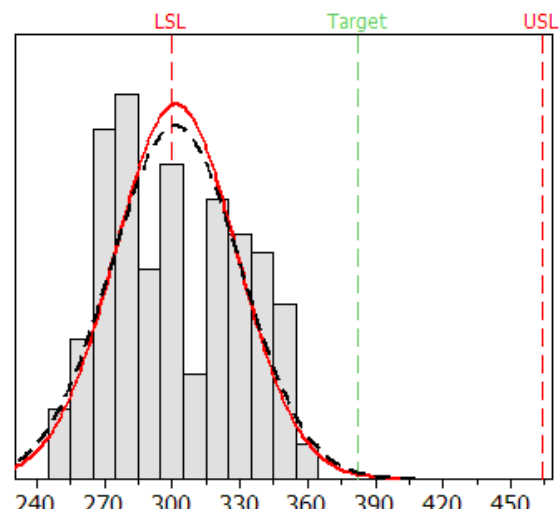
### ۳. مطالعات موردی

در این پژوهش جواب نمونه‌های ۲۸ روزه آزمایشگاهی چند پروژه در تهران مورد بررسی قرار گرفته است. هدف دریافت این موضوع است که با توجه به نتایج آزمایشگاهی و نمونه‌های رد یا پذیرفته شده نگاه به شرایط بتن بصورت یک فرآیند کلی باشد.

#### ۳-۱- پروژه ۱ واقع در تهران

جدول ۳- مشخصات مطالعه پروژه

LSL	۳۰۰
Target	۳۸۲
USL	۴۶۴
Sample Mean	۳۰۱٫۷۶
Sample N	۱۴۵
انحراف معیار استاندارد نرمال (خط نقطه چین)	۲۷٫۰۰۱
انحراف معیار نمونه‌ها (خط قرمز رنگ)	۲۸٫۶۵
$C_{pm}$	۰٫۳۲
$C_{pk}$	۰٫۰۲



شکل ۳- هیستوگرام نتایج تحلیل فرآیند پروژه اول

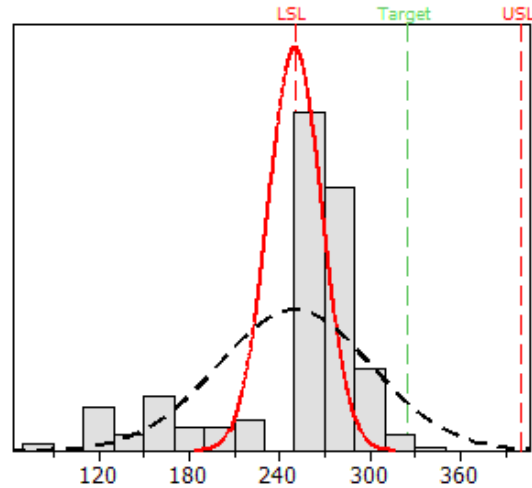
در این پروژه نتایج بتن  $C_{30}$  (بتن با مقاومت فشاری  $300 \frac{kg}{cm^2}$ ) (۱۴۵ نمونه مورد بررسی آماری قرار گرفته‌اند. این نتیجه بصورت تحلیل قابلیت فرآیند برای این پروژه می‌باشد که با توجه به مطالب گفته شده سه شرط برای بررسی شرایط فرآیند الزامی است. شرط اول نزدیک بودن انحراف استاندارد نمونه‌ها با توزیع نرمال بوده که خطوط نقطه چین بیانگر منحنی نرمال و خط قرمز نمایه انحراف معیار داده‌ها می‌باشد این شرط در این پروژه برقرار بوده است. نزدیک بودن این دو عامل نشان دهنده نزدیک بودن و در یک محدوده قرار داشتن نتایج مقاومت‌ها بوده است، شرط دوم میانگین نمونه‌ها منطبق و حداکثر نزدیک به مقاومت هدف باشد، که پارامتر  $C_{pm}$  نشان دهنده این امر می‌باشد و هرچه به ۱٫۳۳ نزدیک تر باشد نشان از توانمندی بیشتر فرآیند داشته و اگر کمتر از ۱ باشد فرآیند رو به ناتوانی می‌گراید. همانطور که در شکل ۲ می‌بینید، این پارامتر برابر ۰٫۳۲ می‌باشد که نشان از ناتوان بودن فرآیند دارد. شرط سوم: اگر پراکندگی توزیع کم باشد این شرایط را با پارامتری بنام  $C_{pk}$  نشان می‌دهد، منظور از توزیع مناسب قرار گرفتن مناسب نمودار بین دو حد بالا و پایین و به عبارت دیگر تحت کنترل می‌باشد. مقدار  $C_{pk}$  به طور تجربی هرچه به ۱٫۳۳ نزدیکتر باشد فرآیند شرایط ایده‌آل تر و تحت کنترل تری را شاهد هستیم و اگر کمتر از ۱ شد فرآیند خارج از کنترل می‌باشد.

با توجه به شکل ۲ مقدار  $C_{pk}$  ۰٫۰۲ می‌باشد که مقدار خیلی کمی بوده و بدلیل پراکندگی زیاد داده‌ها بوده است. با توجه به دو مقدار  $C_{pm}$  و  $C_{pk}$  در فرآیند بتن ریزی نتیجه می‌گیریم علاوه بر ناتوان بودن فرآیند، تحت کنترل نیز نیست.

### ۲-۳- پروژه ۲ واقع در تهران

جدول ۲- مشخصات مطالعه پروژه

LSL	۲۵۰
Target	۳۲۵
USL	۴۰۰
Sample Mean	۲۵۰٫۴۶
Sample N	۲۳۰
انحراف معیار استاندارد نرمال (خط نقطه چین)	۱۷٫۹۴
انحراف معیار نمونه‌ها (خط قرمز رنگ)	۵۱٫۲۶
$C_{pm}$	۰٫۲۸
$C_{pk}$	۰٫۰۱



شکل ۴- هیستوگرام نتایج تحلیل فرآیند پروژه دوم

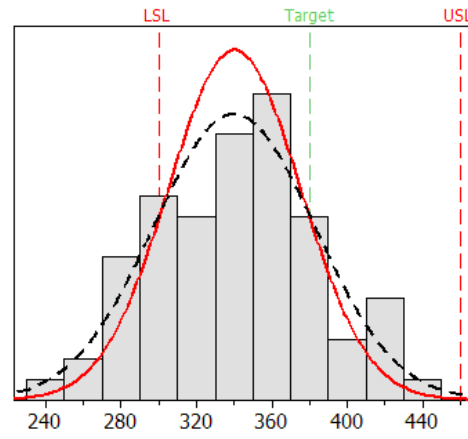
این پروژه که یکی از پروژه‌های فعال تهران می‌باشد، نتایج بتن (C25) ۲۳۰ نمونه گرفته شده بوسیله تحلیل قابلیت فرآیند تحلیل شده است.

در این پروژه با توجه به شکل ۲، خطوط نقطه چین بیانگر منحنی نرمال و خط قرمز رنگ نمایه انحراف معیار داده‌ها می‌باشد، اختلاف انحراف استانداردها زیاد بوده یعنی نمودار بدست آمده با منحنی نرمال اختلاف زیادی دارد و با توجه به مقدر جدول ۴، مقادیر  $C_{pm}$  و  $C_{pk}$  به ترتیب ۰٫۲۸ و ۰٫۰۱ می‌باشد و این نشان دهنده مشکل داشتن فرآیند بتن می‌باشد. پس بتن استفاده شده در این مجموعه نیز از لحاظ کنترل کیفیت آماری وضعیت مناسبی ندارد.

### ۳-۳- پروژه ۳ واقع در تهران

جدول ۵- مشخصات مطالعه پروژه

LSL	۳۰۰
Target	۳۸۰
USL	۴۶۰
Sample Mean	۳۴۰٫۱۳۷
Sample N	۷۵
انحراف معیار استاندارد نرمال (خط نقطه چین)	۳۴٫۹۹
انحراف معیار نمونه‌ها (خط قرمز رنگ)	۴۲٫۸۲
$C_{pm}$	۰٫۴۵
$C_{pk}$	۰٫۳۸



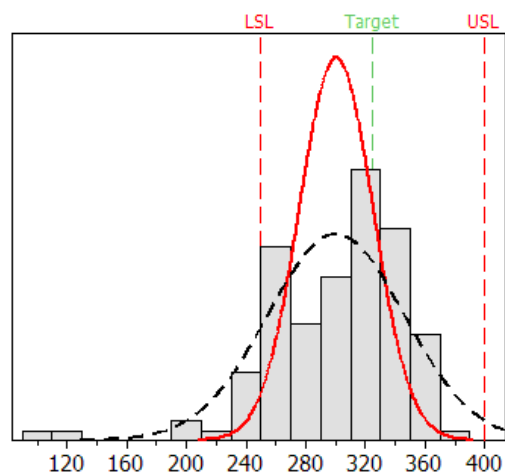
شکل ۵- هیستوگرام نتایج تحلیل فرآیند پروژه سوم

در این پروژه نیز نتایج بتن C30 (بتن با مقاومت فشاری  $30 \cdot \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$ ) (۷۵ نمونه) را بررسی آماری شده است. این نتیجه بصورت تحلیل قابلیت فرآیند برای این پروژه می‌باشد، با توجه به شکل ۳، خطوط نقطه چین بیانگر منحنی نرمال و خط قرمز رنگ نمایه انحراف معیار داده‌ها می‌باشد، اختلاف انحراف استانداردها زیاد بوده یعنی نمودار بدست آمده با منحنی نرمال اختلاف زیادی دارد و با توجه به مقادیر جدول ۵، مقادیر  $C_{pk}$  و  $C_{pm}$  به ترتیب ۰,۳۸ و ۰,۴۵ می‌باشد مقادیر بدست آمده نسبت به دو پروژه قبلی بیشتر بوده و این نشان از پیشرفت کیفیت بتن ریزی در این پروژه داشته است.

### ۳-۴- پروژه ۴ واقع در تهران

جدول ۵- مشخصات مطالعه پروژه

LSL	۲۵۰
Target	۳۲۵
USL	۴۰۰
Sample Mean	۳۰۰,۵۶
Sample N	۱۲۳
انحراف معیار استاندارد نرمال (خط نقطه چین)	۲۴,۷۷
انحراف معیار نمونه‌ها (خط قرمز رنگ)	۴۶,۰۱
$C_{pm}$	۰,۴۸
$C_{pk}$	۰,۶۸



شکل ۶- هیستوگرام نتایج تحلیل فرآیند پروژه سوم

در این پروژه نیز نتایج بتن C25 (بتن با مقاومت فشاری  $25 \cdot \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$ ) (۱۲۳ نمونه) را بررسی آماری شده است. این نتیجه بصورت تحلیل قابلیت فرآیند برای این پروژه می‌باشد، با توجه به شکل ۴، خطوط نقطه چین بیانگر منحنی نرمال و خط قرمز رنگ نمایه انحراف معیار داده‌ها می‌باشد، اختلاف انحراف استانداردها زیاد بوده یعنی نمودار بدست آمده با منحنی نرمال اختلاف زیادی دارد و با توجه به مقادیر جدول ۵، مقادیر  $C_{pk}$  و  $C_{pm}$  به ترتیب ۰,۶۸ و ۰,۴۸ می‌باشد مقادیر بدست آمده نسبت به سه پروژه قبلی بیشتر بوده و اختلاف مقادیر  $C_{pk}$  و  $C_{pm}$  تا ۱ کمتر شده و این خود نشان از افزایش بهبود کیفیت بتن در این پروژه دارد.

### ۴. تشکر و قدردانی

بدین وسیله از کلیه عزیزان و پروژه‌هایی که در ارائه نتایج اطلاعات آزمایشات بتن خود نویسندگان را یاری نموده‌اند، کمال تشکر و قدردانی به عمل می‌آید.

### ۵. نتایج

فارغ از نتایج مورد پذیرش و یا عدم پذیرش بتن‌های مورد استفاده در پروژه‌های عمرانی که به صورت گسسته می‌باشد، احتیاج به بررسی و ارزیابی پیوسته و با دید فرآیندی در خصوص مشخصات کیفی بتن لازم به نظر می‌رسد. در این راستا نتایج مورد



بررسی برای کارگاه های ۱ تا ۴ مورد بررسی قرار گرفت و با توجه به واقعی بودن و سطح بالای این پروژه‌های شهری، استفاده از عملکرد فرآیند محور بسیار ضروری به نظر می‌رسد. با توجه به نمودار های ارائه شده موارد زیر قابل استنتاج می‌باشد:

۱- در پروژه اول نتایج مقادیر مقاومت فشاری نشان می‌دهد که اختلاف انحراف معیار استاندارد نرمال با انحراف معیار نمونه‌ها کم بوده و نشان از این دارد که محدوده مقاومت فشاری نمونه‌ها به یکدیگر نزدیک بوده‌اند. اما در برقراری دوشروط دیگر یعنی مقادیر  $C_{pk}$  و  $C_{pm}$  خیلی کمتر از ۱ بوده و فرآیند بتن ریزی در این پروژه از حالت مطلوب فاصله دارد.

۲- در پروژه دوم هیچکدام از سه شرط برقرار نبوده و عملاً فرآیند بتن ریزی تحت کنترل نبوده و ناتوان می‌باشد، یعنی بتن کیفیت مناسبی ندارد.

۳- در پروژه سوم علی‌رغم اینکه اختلاف انحراف معیار استاندارد نرمال با انحراف معیار نمونه‌ها زیاد بوده، دو پارامتر دیگر یعنی  $C_{pk}$  و  $C_{pm}$  مقادیر بیشتری نسبت به دو حالت قبل داشته است و این نشان از بهبود فرآیند بتن‌ریزی و همچنین کیفیت بیشتر بتن داشته است.

۴- در پروژه چهارم مقادیر پارامترها پیشرفت خیلی خوبی داشته‌اند، به طوریکه مقدار  $C_{pk}$  به نزدیک ۷۰٪ رسیده که نشان از این دارد که فرآیند تحت کنترل بوده و بتن با کیفیت بهتری نسبت به پروژه‌های قبلی دارد.

با توجه به اهمیت نقش بتن و جایگاه سازه‌های آن در پروژه‌های کشور و همچنین نیاز بهره‌وری مناسب از آن در پروژه‌ها، یک روند پایدار، تحت کنترل و توانمند مورد نیاز می‌تواند با کمک گرفتن از مبانی آماری و دقت در عملکرد فرآیندها صورت پذیرد. در این صورت، می‌توان در کنار روند گسسته فعلی (به دلیل اهمیت موضوع و هر عضو سازه ای) به نگرش فرآیندی و تولیدی بتن با کیفیت بالا و تحت کنترل رسید. همانطور که در مقاله ذکر شد، امید است با استفاده از این روش‌ها به کنترل بتن با دیدگاه فرآیندی و با اهداف داشتن توزیع طبیعی (نرمال) (حداقل بودن اختلاف انحراف معیار استاندارد نرمال و انحراف معیار استاندارد نمونه جاری)، انطباق میانگین با هدف فرآیند باشد و حداقل بودن پراکندگی توزیع نمونه‌ها کمک شایانی در این زمینه انجام داد.

- [1] W. Deming, Out Of Crisis Quality, Productivity and Competitive Position, New York: Cambridge university press, 1988
- [2] .K. Ishikawa, Guide to Quality Control, Japan, 1974
- [3] J. B. Revelle, Quality Essentials (e-book) A Reference Guide from A to Z, ISBN: 978-0-87389-618-4, 2004.
- [4] Clawson, Michigan, USA, "Quality-One International Discover the Value", Q.-O. I. D. t. Value 2016
- [5] S. E. D. f. P. M. Harold Kerzner, A SYSTEMS APPROACH TO PLANNING, Sons, Inc., 2009 & SCHEDULING AND CONTROLLING, New York: John Wiley
- [6] A. R. Rumane, Quality Management in Construction projects, New York: Taylor and Francis Group, 2011
- [7] w. shehart, STATISTICAL METHOD, FROM THE VIEWPOINT OF, QUALITY CONTROL, Washington: USDA National Agricultural library 10301 Baltimore Blvd. Beltsville, MO 20705-2351, JAN 31, 1940
- [8] J. G. D. R. Statistician, Application of Statistical Quality Control Principles, Texas: The Texas Highway Department, 1968
- [9] Construction And The Built "The Mathematics of Material Quality", T. R. A. o. Engineering



مرکز تحقیقات  
راه، مسکن و شهرسازی

نهمین کنفرانس ملی بتن ایران  
۱۵ و ۱۶ مهرماه ۱۳۹۶  
مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی



انجمن علمی بتن ایران



انجمن بتن ایران  
انجمن علمی بتن ایران

.Environment Diploma, London, 2010

- [10] Statistical analysis and conformity “ M. C. Larrossa I ; M. V. Real; C. R. R. Dias; F. C. Magalhães  
Statistical *Revista IBRACON de Estruturas e Materiais* ”,testing of concrete in port construction work  
.analysis and conformity testing of concrete in port construction work, 2014
- [11] I. MILITARY ENGINEERING SERVICE, Testing and acceptance of Quality Concrete for  
.Airfield Pavement, INDIA: MILITARY ENGINEERING SERVICE, INDIA, 1987
- [12] وزارت مسکن و شهرسازی، روش ملی طرح مخلوط، تهران: مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، ۱۳۸۸.