

پایش سن بتن با روش مطالعه ابزار و تحلیل پروفایل‌ها، مطالعه موردی: یک پروژه اجرایی

کریم آتشگر^۱

(نویسنده مسئول)، دانشیار، گروه مهندسی صنایع، دانشگاه صنعتی مالک اشتر، تهران، ایران. atashgar@iust.ac.ir

فاطمه ملکایی آشتیانی

دانشجوی دکتری کیفیت و بهره‌وری، دانشکده مدیریت و مهندسی صنایع، دانشگاه صنعتی مالک اشتر، تهران، ایران. malekaee@mut.ac.ir

چکیده: رابطه سن با مقاومت فشاری بتن با استفاده از تحلیل پروفایل‌ها در یک پروژه احداث ساختمان ۶ طبقه توسط کارشناسان کنترل کیفیت بتن بررسی شده است. در این پژوهش، ۱۰ نمونه بتن در شرایط آزمایشگاهی عمل‌آوری شدند و مقاومت فشاری نمونه‌ها توسط ۳ کارشناس مورد بررسی قرار گرفت. در فاز صفر با روش مطالعه ابزار، متأثر نبودن داده‌ها از خطای اندازه‌گیری مورد بررسی قرار گرفت. در فاز یک با استفاده از نمودار کنترل استور و بریل، پروفایل‌های خارج از کنترل حذف شدند و مدلی برای برآورد مقاومت فشاری بتن برحسب سن نمونه ارائه شده است. در فاز دو با استفاده از ۱۰۰۰۰ داده شبیه‌سازی شده توسط نرم‌افزار متلب^۲، عملکرد مدل با استفاده از نمودار EWMA^۳ مورد بررسی قرار گرفت، نتایج نشان می‌دهد که نمودار EWMA قادر به شناسایی سیگنال خارج از کنترل را است، لذا کارشناسان کنترل کیفیت بتن می‌توانند عوامل تخریب بتن را پیش‌بینی کنند و اقداماتی برای ترمیم بتن بدون صرف هزینه‌های زیاد انجام دهند.

واژگان کلیدی: بتن، پروفایل، مطالعه ابزار، استور و بریل، EWMA.

هستند [۱]. تمام عوامل مؤثر بر مقاومت بتن به غیر از سن آن با انجام تغییراتی در طرح اختلاط قابل کنترل است، اگر بتن در معرض عوامل مخرب قرار نگیرد، هرچه سن بتن (تعداد روز سپری شده از زمان ساخت بتن) بالاتر باشد، مقاومت فشاری آن نیز بیشتر می‌شود. لذا، در این پژوهش به بررسی تأثیر سن بتن بر مقاومت فشاری آن با استفاده از تحلیل پروفایل‌ها پرداخته شده است. مقاومت فشاری بتن با استفاده از چکش اشمیت^۴ به دست می‌آید. به طوری که انرژی ضربه‌ای مشخصی به سطح بتن وارد شده و بزرگی بازگشت آن اندازه‌گیری می‌شود و با استفاده از بزرگی بازگشت اندازه‌گیری شده، مقدار مقاومت فشاری بتن به دست می‌آید.

برای اینکه یک فرآیند بتواند با تغییرات کم، حول مقدار هدف فعالیت کند، استفاده از روش کنترل کیفیت آماری در حین تولید نقش حیاتی دارد، این روش با استفاده از نمودارهای کنترل به

۱- مقدمه

بتن به دلیل دوام بالا و هزینه کم، متداول‌ترین مصالح در صنعت ساختمان است. مقاومت فشاری بتن نشان‌دهنده توانایی سازه در تحمل بارهای وارده بدون رخداد ترک یا تغییر شکل است، از این ویژگی برای ارزیابی کیفیت بتن استفاده می‌شود. این مقاومت برحسب مگا پاسکال بیان می‌شود. عواملی از جمله رطوبت، نسبت آب به سیمان، ترکیبات سیمان، ابعاد سنگ‌دانه‌ها و سن در مقاومت بتن مؤثر بوده، از این رو پژوهشگران به دنبال یافتن رابطه بین پارامترهای مؤثر برای افزایش مقاومت فشاری بتن

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۳/۰۹ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۶/۲۱

دوره ۱۲/ شماره ۴

صفحات ۴۶۱-۴۷۹

¹ Corresponding author: atashgar@iust.ac.ir

² Matlab

³ Exponentially Weighted Moving Average

⁴ Schmidt Hammer

بدون میکرو سیلیس می‌شود و پارامتر عرض از مبدأ در مدلی که رابطه تابعی بین مقاومت فشاری و سن بتن را بیان می‌کند تغییر زیادی داشته است [۵]، [۱]. در مرجع [۶] مقاومت فشاری و کششی بتن پودری در سنین مختلف با استفاده از محاسبه میانگین، انحراف معیار و ضریب پراکندگی نمونه‌ها بررسی شده است و عملکرد مقاومت فشاری و کششی طرح‌های اختلاط با در نظر گرفتن درصد مختلف نانو کربنات کلسیم به جای سیمان بررسی شده است و نتایج نشان می‌دهد با افزایش بهینه پودر نانو کربنات کلسیم و حرارت اولیه بتن غلتکی، مقاومت فشاری و کششی نمونه‌ها فقط در سنین بالا دارای افزایش چشمگیر می‌باشد. محققان با استفاده از آزمون اصطکاک به بررسی اثر انواع سنگ‌دانه‌ها و سن نمونه‌ها بر دوام بتن خود متراکم در معرض محیط‌های مخرب سولفاتی پرداخته‌اند. در این پژوهش، نمونه بتن‌ها در آب و محلول سولفات سدیم عمل‌آوری شده‌اند. نتایج نشان داد که در طرح اختلاطی که از سنگ‌های با توانایی جذب آب بالاتر استفاده شده است، رابطه مستقیم بین مقاومت فشاری و سن بتن در تمام سنین مشاهده می‌شود [۷]. اخیراً علاوه بر ویژگی مقاومت، به دوام بتن در محیط‌های مخرب نیز توجه می‌شود و در پژوهشی به بررسی تأثیر انواع مواد افزودنی شامل میکرو سیلیس، زئولیت، خاکستر بادی و نانو سیلیس به‌عنوان درصدی از سیمان بر مقاومت بتن پرداخته شده و نمونه بتن‌ها در محیط‌های اشباع شده از سولفات آهن، منیزیم، سدیم و کلسیم عمل‌آوری شده‌اند. نتایج در سنین مختلف حاکی از این است که در طرح اختلاط بتن‌های حاوی میکرو سیلیس و نانو سیلیس رابطه مستقیمی بین سن بتن و مقاومت فشاری آن وجود دارد و میزان تخریبی بودن محیط‌ها به ترتیب سولفات منیزیم، سدیم، کلسیم و آهن است [۸]. در پژوهش مرجع [۹] به‌منظور مقایسه مشخصات مکانیکی و دوام بتن‌ها، از مقایسه چند طرح اختلاط با استفاده از جایگزینی رس کلسینه، کائولیت و پودر سنگ به جای سیمان استفاده شده است و آزمایش‌های مقاومت فشاری بتن در سنین مختلف مورد ارزیابی قرار گرفته است، در این پژوهش برخلاف سایر مطالعات ارتباط معکوس بین سن و مقاومت فشاری بتن نتیجه‌گیری شده است. به طوری که، استفاده از مواد جایگزین سیمان باعث کاهش مقاومت فشاری و افزایش دوام نمونه‌ها تحت شرایط حمله کلرایدی شده است [۹]. مرجع [۱۰] تأثیر متاکائولین و نسبت وزنی محلول سیلیکات سدیم به هیدروکسید سدیم در سن ۷ و ۲۸ روز را مورد ارزیابی قرار داده

بررسی تغییرپذیری می‌پردازد [۲] مطالعاتی در خصوص توسعه نمودارهای کنترل فاز یک و دو انجام شده است و از نظر تئوری این روش‌ها مؤثر هستند [۳]. از آنجایی که عملکرد فاز یک به کیفیت داده‌ها بستگی دارد، لذا با استفاده از روش مطالعه ابزار^۵ و تحلیل واریانس صحت داده‌ها از حیث ابزار و مهارت کارشناسان در فاز صفر مورد بررسی قرار گرفته است. در این تحقیق، در فاز یک با بررسی آماری داده‌ها، نمونه‌های متأثر از عوامل غیر طبیعی شناسایی و حذف می‌شوند و در یک رویکرد پروفایلی، رابطه خطی بین پارامترهای مورد بررسی، برآورد شده و با استفاده از نمودار استور و بریل تحت کنترل بودن داده‌ها مورد بررسی قرار می‌گیرند. در فاز دو این تحقیق با استفاده از نمودار EWMA عملکرد مدل، با اعمال تغییرات ($\lambda\sigma$) به ازای مقادیر مختلف λ در پارامتر عرض از مبدأ، شیب و هر دو پارامتر مورد مقایسه قرار گرفته است. سیگنال خارج از کنترل در نمودار EWMA هشدار برای وجود علائمی مانند ترک، شن زدگی و خرابی بتن در سنین بالاتر است. با استفاده از روش پیشنهادی این مقاله، مدیران می‌توانند در سن کم، عوامل مخرب بتن را شناسایی نمایند و اقداماتی جهت مرتفع نمودن خرابی در مرحله ساخت را انجام دهند.

در این مقاله، پس از مروری بر مطالعات و تحقیقات گذشته و علل نوآوری پژوهش، روش‌شناسی پژوهش، یافته‌ها و مدل پیشنهادی برای مقاومت فشاری برحسب سن بتن ارائه شده است و در پایان بحث و نتیجه‌گیری ارائه می‌شود.

۲- مرور ادبیات

کابوسی و همکارانش در مرجع [۴] با استفاده از روش طراحی آزمایش‌ها، رابطه سن نمونه، پساب صنعتی، زئولیت و عیار مختلف سیمان با مقاومت فشاری بتن را با استفاده از طراحی آزمایش‌ها بررسی کرده‌اند. و نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر ساده عوامل مورد بررسی و اثرات متقابل به‌جز نوع آب در سن بتن و زئولیت در سن بتن معنی‌دار است. در پژوهشی دیگر با استفاده از ۱۰۰ نمونه بتن با طرح اختلاط‌های مختلف، تأثیر درصدهای مختلف میکرو سیلیس بر مقاومت فشاری بتن در سنین ۷-۱۴-۲۱-۲۸ روز بررسی شده است و نتایج نشان می‌دهد که افزودن میکرو سیلیس به سیمان به نسبت ۱۵٪ باعث ایجاد مقاومت فشاری بیشتری در تمام سنین نسبت به طرح اختلاط

5. Gage Study

نشریه مهندسی و مدیریت کیفیت

داده‌های تجربی با داده‌های مدل، دقت مدل را تأیید می‌کند [۱۴]. مرور ادبیات نشان می‌دهد که هرچند تحقیقات متعددی در حوزه مقاومت فشاری بتن انجام شده است، ولی، رویکرد تابعی، برای کنترل تغییرپذیری آن، در تحقیقات گذشته مورد توجه قرار نگرفته است. رویکرد تابعی کمک می‌کند که شرایط واقعی تری از فرآیند به وسیله محققین مدل شود.

در پژوهش‌های گذشته با ثبت ویژگی‌های مکانیکی و دوامی بتن در سن‌های مختلف و مقایسه آن‌ها با حدود استاندارد یا روش‌های طراحی آزمایش‌ها، شبکه عصبی، رگرسیون چند متغیره و سیستم استنتاج فازی عصبی مقاومت بتن مورد ارزیابی قرار گرفته است. در پژوهش حاضر برای اولین بار، با استفاده از روش مطالعه گیج و پایش پروفایل‌ها، یک رابطه تابعی (رگرسیونی) بین سن بتن و مقاومت فشاری، برای کنترل تغییرپذیری ارائه شده است. این روش به مهندسان کمک می‌کند تا با پایش فرآیند، از شرایط خارج از کنترل، در حین تولید آگاه شوند و بتوانند اقدامات اصلاحی جهت ترمیم بتن به محض مطلع شدن از شرایط عدم انطباق با شرایط غیرطبیعی را به عمل آورند. استفاده از این روش موجب می‌شود که اقدامات تولید و ارزیابی بتن در زمان بهینه، و بدون صرف هزینه‌های گزاف انجام شود و تولید بتن فقط تحت تأثیر تغییرات ذاتی قرار داشته باشد.

۳- روش‌شناسی

۳-۱- روش مطالعه گیج به‌عنوان فاز صفر

شناسایی رفتار تغییرات کمک به کاهش تغییرپذیری در فرآیندها می‌کند و نمودارهای کنترل یکی از روش‌های متداول برای مدل کردن و ارزیابی میزان تغییرپذیری است. عملکرد این نمودارها به دقت داده‌ها بستگی دارد. اندازه‌گیری داده‌ها متأثر از ابزار، دستورالعمل‌ها و کارشناسان است. مطالعات گیج که به نام مطالعه تکرارپذیری و تجدیدپذیری^۶ (Gage R&R) شناخته می‌شود برای تعیین کیفیت سیستم اندازه‌گیری استفاده می‌شود [۱۵] و به دلیل اهمیت آن، این روش به‌عنوان فاز صفر در کنترل کیفیت آماری یاد می‌شود [۳]. منظور از تکرارپذیری، وجود پراکندگی در اندازه‌گیری‌های مکرر با استفاده از یک ابزار مشخص، توسط یک شخص مشخص است و از رابطه ۱ محاسبه می‌شود [۸]:

$$EV = 6 * \sigma \quad (1)$$

است. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که نسبت وزنی محلول سیلیکات سدیم به هیدروکسید سدیم و متاکائولین باعث افزایش مقاومت فشاری بتن تا ۲۲ و ۳۰ درصد نسبت به طرح اختلاط شامل سیمان می‌شود. در این تحقیق با ترکیب روش‌های شبکه عصبی مصنوعی و رگرسیون چند متغیره، رابطه‌ای برای تخمین مقاومت فشاری بتن برحسب سن بتن و درصد استفاده از مواد جایگزین سیمان ارائه شده است [۱۰]. پژوهش انجام شده در مرجع [۱۱] به مقایسه تأثیر وجود خاکستر بادی و میکرو سیلیس بر دوام بتن و رشد مقاومت فشاری آن در سنین مختلف در آب‌های سولفات‌دار پرداخته است. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که رابطه مستقیمی بین مقاومت فشاری باسن و میزان تقویت بتن با استفاده از پوزولان طبیعی وجود دارد و در محیط سولفاتی، بتن تقویت شده با خاکستر بادی و میکرو سیلیس نسبت به بتن بدون این ترکیبات دارای مقاومت فشاری بالاتری می‌باشد [۱۱]. در مرجع [۱۲] با تهیه طرح اختلاط‌هایی با درصد مختلفی از خاکستر پسماند کاغذ و سیلیکافیوم، تأثیر خاکستر پسماند کاغذ بر خواص مکانیکی بتن در سازه بررسی شده است. در این تحقیق، آزمایش‌های مقاومت فشاری، کشش غیر مستقیم، کشش ناشی از خمش، ضربه، اسلامپ و خزش را در سنین مختلف انجام شده و برای هر یک از این آزمایش‌ها، روابطی برای متغیر مورد بررسی برحسب سن بتن برآورد شده است. در این گزارش، برای تحلیل حساسیت روابط ارائه شده، نتایج حاصل از مدل‌ها با آیین‌نامه‌های بتن آمریکا و ایران مقایسه شده و صحت روابط تأیید می‌شود [۱۲]. در پژوهشی دیگر، با تهیه طرح‌های اختلاطی با ۰-۵-۱۰-۱۵-۲۰-۲۵-۳۰ درصد سرباره مس همراه با ۱۰٪ میکرو سیلیس به بررسی مقاومت فشاری، کششی و خمشی بتن در سن ۷-۲۸ و ۹۰ روزه پرداخته شده است، و نتایج نشان می‌دهد که وجود میکرو سیلیس باعث کاهش دوام بتن و افزایش مقاومت فشاری، کششی و خمشی باگذشت سن بتن شده است و وجود درصدی از سرباره مس باعث افزایش دوام، مقاومت فشاری، کششی و خمشی در بتن می‌شود [۱۳]. مرجع [۱۴] با تهیه طرح‌های اختلاط با درصد‌های مختلفی از الیاف بازالتی، به بررسی خصوصیات مکانیکی بتن پرداخته است. نتایج این مرجع نشان می‌دهد، حضور بازالت موجب کاهش مقاومت فشاری تا ۱۳٪ نسبت به عدم مصرف این الیاف می‌شود. در این پژوهش برای برآورد رابطه مقاومت فشاری بتن با سن نمونه‌ها از روش سیستم استنتاج عصبی فازی استفاده شده است و نتایج مقایسه

^۶Gage Repeatability and Reproducibility

استفاده از Contribution % نسبت تغییرات ابزار اندازه‌گیری و اپراتور نسبت به کل تغییرات به دست می‌آید [۱۷].

۳-۲- پایش پروفایل در فاز یک کنترل کیفیت آماری

پایش رابطه تابعی بین مشخصه‌های فرآیند، در کنترل کیفیت آماری، به نام پایش پروفایل شناخته می‌شود. در فاز یک، هدف اطمینان از شایستگی مدل، حذف نمونه متأثر از عوامل غیرطبیعی و تخمین پارامترهای مدل است [۱۸]، [۱۹]، [۲۰]. برای بررسی صحت مدل از آزمون‌های نرمال، واریانس همسان و مستقل بودن جملات خطا استفاده می‌شود. در این مطالعه از نمودار T^2 استور و بریل که بر پایه میانگین، ماتریس واریانس و کوواریانس نمونه است [۲۱]، طبق مراحل زیر استفاده می‌شود. (۱) عرض از مبدأ و شیب طبق رابطه ۶ و ۷ به دست می‌آید [۲۲].

$$a_j = \widehat{\beta}_{\cdot j} = \bar{Y}_j - \widehat{\beta}_{\cdot j} \bar{X} \quad (۶)$$

$$b_j = \widehat{\beta}_{\cdot j} = \frac{S_{xyj}}{S_{xxj}} \quad (۷)$$

(۲) میانگین عرض از مبدأ و شیب طبق رابطه ۸ و ۹ به دست می‌آید [۲۲]

$$\bar{a} = \sum_{j=1}^m \frac{a_j}{m} \quad (۸)$$

$$\bar{b} = \sum_{j=1}^m \frac{b_j}{m} \quad (۹)$$

(۳) ماتریس واریانس-کواریانس طبق رابطه ۱۰ به دست می‌آید [۲۲]

$$S = \begin{bmatrix} \frac{\sum_{j=1}^m (a_j - \bar{a})^2}{m-1} & \frac{\sum_{j=1}^m (a_j - \bar{a})(b_j - \bar{b})}{m-1} \\ \frac{\sum_{j=1}^m (a_j - \bar{a})(b_j - \bar{b})}{m-1} & \frac{\sum_{j=1}^m (b_j - \bar{b})^2}{m-1} \end{bmatrix} \quad (۱۰)$$

(۴) بردارهای \bar{Z} و Z_j طبق روابط ۱۱ و ۱۲ به دست می‌آید [۲۲].

$$\bar{Z} = (\bar{a}, \bar{b})^T \quad (۱۱)$$

$$Z_j = (a_j, b_j)^T \quad (۱۲)$$

(۵) مقدار آماره T^2 مطابق رابطه ۱۳ به دست می‌آید [۲۲].

$$T_j^2 = (Z_j - \bar{Z})^T S^{-1} (Z_j - \bar{Z}) \quad j = 1, \dots, m \quad (۱۳)$$

که σ انحراف استاندارد نمونه‌های اندازه‌گیری تکرارپذیری است. منظور از تجدیدپذیری، وجود پراکندگی در اندازه‌گیری به دلیل وجود کارگران یا کارشناسان مختلف در یک سیستم اندازه‌گیری است، به طوری که یک قطعه، با استفاده از یک ابزار توسط چند شخص اندازه‌گیری می‌شود و از رابطه ۲ به دست می‌آید [۸].

$$AV = \sqrt{(\epsilon\sigma)^2 - \frac{EV^2}{n*r}} \quad (۲)$$

که σ انحراف استاندارد داده‌های تجدیدپذیری، EV مقدار تکرارپذیری، n تعداد نمونه‌ها و r تعداد دفعات اندازه‌گیری هست. Gage R&R برآیند تکرارپذیری و تجدیدپذیری است و از رابطه ۳ به دست می‌آید [۸].

$$R\&R = \sqrt{EV^2 + AV^2} \quad (۳)$$

اختلاف نمونه‌ها، تجدیدپذیری، تکرارپذیری و مقدار گیج در پراکندگی داده‌ها مؤثرند. مطالعه گیج برای حالتی که دارای i نمونه، j اپراتور و هر اپراتور k بار آزمایشی را تکرار می‌کند، طراحی شده است و نتایج حاصل اندازه‌گیری را با M_{ijk} به شرح رابطه ۴ نمایش می‌دهند [۱۶]، [۱۵].

$$M_{ijk} = \mu + P_i + o_j + (op)_{ij} + \varepsilon_{ijk} \quad (۴)$$

μ ارزش انتظاری مقدار اندازه‌گیری، $P_i, o_j, (op)_{ij}$ متغیرهای تصادفی مستقل هستند که اثر عامل نمونه، اپراتور و اثر متقابل نمونه و اپراتور را نشان می‌دهند و ε_{ijk} یک متغیر تصادفی مستقل است و خطای اندازه‌گیری را نشان می‌دهد. فرض می‌شود متغیرهای تصادفی دارای توزیع نرمال به صورت $p_i \sim N(0, \sigma_p^2)$ ، $\varepsilon_{ijk} \sim N(0, \sigma_e^2)$ و $(op)_{ij} \sim N(0, \sigma_{(op)}^2)$ ، $o_j \sim N(0, \sigma_o^2)$ هستند. واریانس متغیر تصادفی M_{ijk} بصورت رابطه ۵ است [۳].

$$\begin{aligned} \sigma_{M_{ijk}}^2 &= \sigma_p^2 + \sigma_o^2 + \sigma_{(op)}^2 + \sigma_e^2 \\ \sigma_G^2 &= \sigma_o^2 + \sigma_{(op)}^2 + \sigma_e^2 \end{aligned} \quad (۵)$$

σ_G^2 واریانس اثر ابزار اندازه‌گیری است. با روش تحلیل واریانس و نتایج Contribution % و Study Variance % تغییرپذیری و منبع تغییرپذیری مشخص می‌شود. اگر Study % کمتر از ۱۰٪ باشد، تغییرپذیری در سیستم موردقبول است، اگر Study % بین ۱۰ تا ۳۰٪ باشد، اندازه‌گیری مشروط قبول است و اگر Study % بیشتر از ۳۰٪ باشد تغییرپذیری در سیستم موردقبول نیست. با

۴- مطالعه کاربردی و یافته‌ها

برای بررسی رابطه مقاومت فشاری بتن با سن بتن از اطلاعات تهیه بتن در یک پروژه احداث یک ساختمان ۶ طبقه استفاده شده است.

۴-۱- پایش سیستم اندازه‌گیری در فاز صفر

مقاومت فشاری ۱۰ نمونه بتن با طرح اختلاطی مطابق جدول ۱ تهیه شده است. در این تحقیق، نمونه‌های بتن در قالب مکعبی به ابعاد ۱۵ سانتی‌متری ریخته شدند و به‌وسیله یک دستگاه لرزاننده (ویبره) متراکم گردیدند و سپس در یک محل ایمن و دور از تابش مستقیم آفتاب و گرد و غبار در کارگاه نگهداری شدند. پس از گذشت ۲۴ ساعت نمونه‌ها جهت انجام آزمون مقاومت فشاری به آزمایشگاه منتقل شدند. در این فرآیند، نمونه‌ها از قالب‌ها باز شدند و بدون ایجاد تکان شدید تا رسیدن به زمان آزمایش در آب‌آهک اشباع‌شده با دمای ۲۲ درجه سانتی‌گراد با دو درجه نوسان نگهداری شدند. نمونه‌ها پس از گذشت زمان مورد نظر جهت آزمایش، از آب خارج شدند و تا زمانی که نمونه‌ها مرطوب بودند، مقاومت فشاری آن‌ها با استفاده از چکش اشمیت توسط ۳ کارشناس کنترل کیفیت و هر کارشناس، هر نمونه را ۳ بار اندازه‌گیری و نتایج مطابق جدول ۲ ثبت شد.

جدول ۱. طرح اختلاط

ردیف	شرح مصالح	مقدار (کیلوگرم)
۱	شن ریزدانه	۵۳۰
۲	شن درشت‌دانه	۳۴۰
۳	ماسه	۱۰۵۰
۴	سیمان	۳۵۰
۵	آب	۱۲۸
۶	فوق روان‌کننده	۲

مأخذ: اطلاعات کسب‌شده از پروژه مذکور

جدول ۲. نتایج اندازه‌گیری مقاومت فشاری بتن

شماره	سن (روز)					
	۱	۳	۷	۱۴	۲۸	۶۰
۲	۸/۲	۲۰/۷	۳۱/۶	۴۵/۳	۴۹/۶	۵۱/۱
	۲	۸/۲	۲۰/۵	۳۱/۶	۴۵/۳	۴۹/۶
۲	۸/۶	۲۰/۵	۳۱/۶	۴۵/۳	۴۹/۶	۵۱/۱

جلد ۱۲- شماره ۴- زمستان ۱۴۰۱

۶) حد بالای کنترل نیز طبق روابط ۱۴ و ۱۵ به دست می‌آید [۲۲].

$$\alpha_1 = 1 - \sqrt[m]{1 - \alpha} \quad (14)$$

$$UCL = \frac{(m-1)^2}{m} \beta_{p, \frac{(m-p-1)}{2}, \alpha_1} \quad (15)$$

که m تعداد پروفایل‌ها، p تعداد پارامترهایی است که تخمین زده می‌شود و α_1 خطای نوع اول است. در نهایت پارامترهای مدل به‌صورت مدل $\hat{Y} = A. + B.X_i$ به دست می‌آید.

۳-۳- پایش پروفایل در فاز دو کنترل کیفیت آماری

فاز دو کنترل فرآیند وقوع تغییر در ساختار پروفایل را با استفاده از داده‌های برخط شناسایی می‌کند [۲۳]. در این مرحله از روش EWMA برای پایش ساختار پروفایل استفاده می‌شود. مقادیر آماره دربرگیرنده اطلاعات زمان‌های گذشته است، این نمودار نسبت به تغییرات کوچک و متوسط حساس است و در مقابل وجود سیگنال خارج از کنترل مقاومت کمتری از خود نشان می‌دهد. برای پایش پروفایل با روش EWMA مراحل زیر انجام می‌شود:

(۱) باقیمانده پروفایل‌ها به‌صورت رابطه ۱۶ محاسبه می‌شود [۲۲].

$$e_{ij} = Y_j - A. - B.X_i \quad i = 1, \dots, n \quad j = 1, \dots \quad (16)$$

(۲) میانگین باقیمانده نمونه \bar{e}_j به‌صورت رابطه ۱۷ هست.

$$\bar{e}_j = \sum_{i=1}^n \frac{e_{ij}}{n} \quad (17)$$

(۳) آماره EWMA برای نمونه j به‌صورت رابطه ۱۸ هست [۲۲]

$$EWMA(e)_j = \theta \bar{e}_j + (1 - \theta) EWMA(e)_{j-1} \quad 0 < \theta \leq 1 \quad (18)$$

$EWMA(e)$ مقدار میانگین جملات خطا مورد انتظار است که برابر با صفر در نظر گرفته می‌شود.

(۴) حدود کنترل طبق روابط ۱۹ و ۲۰ به دست می‌آید [۲۲].

$$lcl = EWMA(e) - 3\sigma \sqrt{\frac{\theta}{(1-\theta)n}} \quad (19)$$

$$ucl = EWMA(e) + 3\sigma \sqrt{\frac{\theta}{(1-\theta)n}} \quad (20)$$

جدول ۲. نتایج اندازه‌گیری مقاومت فشاری بتن

شماره	سن (روز)					
	۱	۳	۷	۱۴	۲۸	۶۰
۱	۸/۴	۲۰/۷	۳۱/۶	۴۵/۳	۴۹/۸	۵۱/۱
	۱	۸/۲	۲۰/۷	۳۱/۸	۴۵/۳	۴۹/۶
۱	۸/۴	۲۰/۵	۳۱/۸	۴۵/۳	۴۹/۶	۵۱/۱

نشریه مهندسی و مدیریت کیفیت

جدول ۲. نتایج اندازه‌گیری مقاومت فشاری بتن

شماره	نفر	سن (روز)					
		۱	۳	۷	۱۴	۲۸	۶۰
۲	۱	۸/۲	۲۰/۵	۳۱/۸	۴۵/۲	۴۹/۶	۵۰/۸
	۲	۸/۲	۲۰/۵	۳۱/۹	۴۵/۲	۴۹/۶	۵۰/۸
	۳	۸/۲	۲۰/۵	۳۱/۸	۴۵/۲	۴۹/۶	۵۰/۸
۳	۱	۸/۲	۲۰/۵	۳۱/۷	۴۵/۲	۴۹/۶	۵۰/۸
	۲	۸/۲	۲۰/۵	۳۱/۷	۴۵/۲	۴۹/۵	۵۰/۸
	۳	۸/۲	۲۰/۵	۳۱/۸	۴۵/۲	۴۹/۵	۵۰/۸
۷	۱	۸/۱	۲۰/۴	۳۱/۸	۴۵/۹	۴۹/۵	۵۰/۸
	۱	۸/۱	۲۰/۸	۳۱/۷	۴۵/۴	۴۹/۵	۵۰/۹
	۱	۸/۱	۲۰/۶	۳۱/۷	۴۵/۲	۴۹/۵	۵۰/۹
۷	۲	۸/۱	۲۰/۶	۳۱/۶	۴۵/۲	۴۹/۵	۵۰/۷
	۲	۸/۱	۲۰/۶	۳۱/۷	۴۵/۲	۴۹/۵	۵۰/۹
	۳	۸/۹	۲۰/۶	۳۱/۷	۴۵/۲	۴۹/۵	۵۰/۹
۷	۳	۸/۹	۲۰/۶	۳۱/۵	۴۵/۲	۴۹/۵	۵۰/۷
	۳	۸/۹	۲۰/۶	۳۱/۷	۴۵/۲	۴۹/۵	۵۰/۹
	۳	۸/۹	۲۰/۶	۳۱/۷	۴۵/۲	۴۹/۵	۵۰/۹
۸	۱	۸/۲	۲۰/۳	۳۱/۸	۴۵/۱	۴۹/۶	۵۱
	۱	۸/۶	۲۰/۴	۳۱/۸	۴۵/۳	۴۹/۶	۵۱
	۱	۸/۴	۲۰/۳	۳۱/۸	۴۵/۱	۴۹/۶	۵۱
۸	۲	۸/۴	۲۰/۳	۳۱/۸	۴۵/۳	۴۹/۶	۵۱
	۲	۸/۶	۲۰/۵	۳۱/۸	۴۵/۸	۴۹/۶	۵۱
	۲	۸/۲	۲۰/۳	۳۱/۸	۴۵/۸	۴۹/۶	۵۱
۸	۳	۸/۶	۲۰/۴	۳۱/۸	۴۵/۳	۴۹/۶	۵۱
	۳	۸/۶	۲۰/۴	۳۱/۸	۴۵/۳	۴۹/۶	۵۱
	۳	۸/۶	۲۰/۴	۳۱/۸	۴۵/۳	۴۹/۶	۵۱
۹	۱	۸/۶	۲۰/۹	۳۱/۷	۴۵/۳	۴۹/۵	۵۱
	۱	۸/۵	۲۰/۴	۳۱/۵	۴۵/۲	۴۹/۵	۵۰/۹
	۱	۸/۵	۲۰/۹	۳۱/۷	۴۵/۲	۴۹/۵	۵۰/۹
۹	۲	۸/۳	۲۰/۳	۳۱/۷	۴۵/۲	۴۹/۵	۵۰/۹
	۲	۸/۵	۲۰/۳	۳۱/۷	۴۵/۲	۴۹/۵	۵۱
	۲	۸/۴	۲۰/۴	۳۱/۷	۴۵/۲	۴۹/۵	۵۱
۹	۳	۸/۵	۲۰/۴	۳۱/۷	۴۵/۲	۴۹/۵	۵۰/۹
	۳	۸/۵	۲۰/۹	۳۱/۷	۴۵/۲	۴۹/۵	۵۱
	۳	۸/۵	۲۰/۹	۳۱/۷	۴۵/۲	۴۹/۵	۵۰/۹
۱۰	۱	۸/۲	۲۰/۲	۳۱/۹	۴۵/۹	۴۹/۴	۵۰/۸
	۱	۸/۲	۲۰/۲	۳۱/۹	۴۵/۹	۴۹/۴	۵۰/۸
	۱	۸/۲	۲۰/۳	۳۱/۷	۴۵/۹	۴۹/۴	۵۰/۸
۱۰	۲	۸/۲	۲۰/۳	۳۱/۷	۴۵/۷	۴۹/۳	۵۰/۷
	۲	۸/۲	۲۰/۳	۳۱/۹	۴۵/۷	۴۹/۳	۵۰/۷
	۲	۸/۶	۲۰/۵	۳۱/۷	۴۵/۷	۴۹/۳	۵۰/۷
۱۰	۳	۸/۸	۲۰/۵	۳۱/۷	۴۵/۹	۴۹/۴	۵۰/۷
	۳	۸/۶	۲۰/۳	۳۱/۹	۴۵/۷	۴۹/۳	۵۰/۷
	۳	۸/۳	۲۰/۳	۳۱/۹	۴۵/۵	۴۹/۳	۵۰/۷

مأخذ: اطلاعات کسب‌شده از پروژه مذکور

جدول ۲. نتایج اندازه‌گیری مقاومت فشاری بتن

شماره	نفر	سن (روز)					
		۱	۳	۷	۱۴	۲۸	۶۰
۳	۱	۸/۶	۲۰/۶	۳۱/۶	۴۵/۳	۴۹/۶	۵۱/۱
	۳	۸/۶	۲۰/۶	۳۱/۸	۴۵/۳	۴۹/۶	۵۱/۱
	۳	۸/۴	۲۰/۷	۳۱/۸	۴۵/۳	۴۹/۶	۵۱/۱
۱	۱	۸/۴	۲۰/۵	۳۲	۴۵/۵	۴۹/۷	۵۱/۴
	۱	۸/۳	۲۰/۴	۳۱/۹	۴۵/۸	۴۹/۷	۵۱/۶
	۱	۸/۳	۲۰/۴	۳۱/۹	۴۵/۸	۴۹/۷	۵۱/۴
۲	۲	۸/۴	۲۰/۴	۳۱/۹	۴۵/۸	۴۹/۹	۵۱/۴
	۲	۸/۴	۲۰/۵	۳۱/۹	۴۵/۶	۴۹/۹	۵۱/۲
	۲	۸/۳	۲۰/۵	۳۲	۴۵/۵	۴۹/۹	۵۱/۲
۲	۳	۸/۶	۲۰/۵	۳۲	۴۵/۴	۴۹/۹	۵۱/۶
	۳	۸/۴	۲۰/۷	۳۲	۴۵/۴	۴۹/۹	۵۱/۲
	۳	۸/۵	۲۰/۷	۳۲	۴۵/۴	۴۹/۹	۵۱/۲
۱	۱	۸/۲	۲۰/۴	۳۱/۹	۴۵/۲	۴۹/۹	۵۱
	۱	۸/۲	۲۰/۴	۳۱/۷	۴۵/۴	۴۹/۷	۵۱
	۱	۸/۱	۲۰/۸	۳۱/۷	۴۵/۴	۴۹/۷	۵۱
۲	۲	۸/۲	۲۰/۷	۳۱/۵	۴۵/۴	۴۹/۵	۵۱
	۲	۸/۲	۲۰/۶	۳۱/۵	۴۵/۴	۴۹/۵	۵۱
	۲	۸/۲	۲۰/۶	۳۱/۷	۴۵/۲	۴۹/۵	۵۱
۲	۳	۸/۲	۲۰/۸	۳۱/۷	۴۵/۲	۴۹/۵	۵۱
	۳	۸/۲	۲۰/۸	۳۱/۷	۴۵/۲	۴۹/۵	۵۱
	۳	۸/۲	۲۰/۸	۳۱/۷	۴۵/۲	۴۹/۵	۵۱
۱	۱	۸/۵	۲۰/۴	۳۱/۱	۴۵/۲	۴۹/۵	۵۱/۶
	۱	۸/۶	۲۰/۴	۳۱/۲	۴۵/۴	۴۹/۵	۵۱/۷
	۱	۸/۶	۲۰/۳	۳۱/۲	۴۵/۴	۴۹/۳	۵۱/۵
۲	۲	۸/۶	۲۰/۵	۳۱/۹	۴۵/۲	۴۹/۳	۵۱/۵
	۲	۸/۶	۲۰/۵	۳۱/۹	۴۵/۲	۴۹/۲	۵۱/۴
	۲	۸/۶	۲۰/۳	۳۱/۹	۴۵/۲	۴۹/۱	۵۱/۳
۲	۳	۸/۶	۲۰/۳	۳۱/۹	۴۵/۲	۴۹/۱	۵۱/۳
	۳	۸/۲	۲۰/۴	۳۱/۸	۴۵/۲	۴۹/۲	۵۱/۳
	۳	۸/۲	۲۰/۳	۳۱/۷	۴۵/۲	۴۹/۲	۵۱
۱	۱	۸/۲	۲۰/۸	۳۱/۷	۴۵/۲	۴۹/۵	۵۱
	۱	۸/۱	۲۰/۸	۳۱/۹	۴۵/۲	۴۹/۵	۵۱
	۲	۸/۱	۲۰/۸	۳۱/۷	۴۵/۲	۴۹/۵	۵۱
۲	۲	۸/۱	۲۰/۷	۳۱/۷	۴۵/۲	۴۹/۵	۵۱
	۲	۸/۱	۲۰/۶	۳۱/۹	۴۵/۲	۴۹/۵	۵۱
	۳	۸/۱	۲۰/۲	۳۱/۸	۴۵/۲	۴۹/۶	۵۱
۳	۳	۸/۱	۲۰/۴	۳۱/۷	۴۵/۲	۴۹/۷	۵۱
	۳	۸/۱	۲۰/۴	۳۱/۹	۴۵/۲	۴۹/۵	۵۱
	۳	۸/۱	۲۰/۴	۳۱/۹	۴۵/۲	۴۹/۵	۵۱
۱	۱	۸/۲	۲۰/۵	۳۱/۸	۴۵/۲	۴۹/۴	۵۰/۶
	۱	۸/۲	۲۰/۵	۳۱/۸	۴۵/۲	۴۹/۴	۵۰/۶
	۱	۸/۲	۲۰/۵	۳۱/۹	۴۵/۱	۴۹/۴	۵۰/۷
۲	۲	۸/۲	۲۰/۵	۳۱/۷	۴۵/۱	۴۹/۶	۵۰/۸

نشریه مهندسی و مدیریت کیفیت

۱ تا ۶ مشخص است که مقدار total Gage R&R از ۳۰٪ کمتر است و تغییرات ابزار به صورت سهل‌گیری مورد پذیرش است و مقاومت فشاری بتن در سنین مختلف مورد تأیید است.

Gage Evaluation

Source	StdDev (SD)	Study Var (6 × SD)	%Study Var (%SV)
Total Gage R&R	0.0092496	0.055498	9.90
Repeatability	0.0076739	0.046043	8.22
Reproducibility	0.0051640	0.030984	5.53
operator	0.0010344	0.006206	1.11
operator*part	0.0050593	0.030356	5.42
Part-To-Part	0.0929434	0.557660	99.51
Total Variation	0.0934025	0.560415	100.00

شکل ۲. نتایج محاسبات Gage R & R برای سن ۳ روزه

مأخذ: محاسبات نرم‌افزار مینی‌تب

Gage Evaluation

Source	StdDev (SD)	Study Var (6 × SD)	%Study Var (%SV)
Total Gage R&R	0.0150548	0.090329	16.07
Repeatability	0.0144933	0.086960	15.47
Reproducibility	0.0040732	0.024439	4.35
operator	0.0040732	0.024439	4.35
Part-To-Part	0.0924588	0.554753	98.70
Total Variation	0.0936764	0.562058	100.00

شکل ۴. نتایج محاسبات Gage R & R برای سن ۱۴ روزه

مأخذ: محاسبات نرم‌افزار مینی‌تب

Gage Evaluation

Source	StdDev (SD)	Study Var (6 × SD)	%Study Var (%SV)
Total Gage R&R	0.016722	0.100333	11.79
Repeatability	0.010853	0.065115	7.65
Reproducibility	0.012722	0.076333	8.97
operator	0.007263	0.043580	5.12
operator*part	0.010445	0.062669	7.36
Part-To-Part	0.140854	0.845124	99.30
Total Variation	0.141843	0.851059	100.00

شکل ۶. نتایج محاسبات Gage R & R برای سن ۶۰ روزه

مأخذ: محاسبات نرم‌افزار مینی‌تب

خطا در سطح اطمینان ۹۵ درصد، نرمال می‌باشند. برای بررسی واریانس همسان بودن جملات خطا از رسم نمودار خطا در مقابل مقدار برازش شده متغیر پاسخ مطابق شکل ۸ استفاده می‌شود، از آنجایی که جملات خطا حول خط صفر دارای پراکندگی غیر طبیعی می‌باشند، می‌توان نتیجه گرفت که جملات خطا دارای واریانس همسان می‌باشند. طبق شکل ۹ جملات خطا از الگوی خاصی پیروی نمی‌کند و به صورت تصادفی حول میانگین توزیع شده‌اند.

طبق تفسیر ارائه شده در شکل ۱ تأثیر اپراتورها به میزان ۱۲٪/۹۲، مقدار total Gage R&R برابر با ۱۵/۸۶٪، مقدار تکرارپذیری ۹/۱۹٪ و مقدار تجدیدپذیری ۱۲/۹۲٪ می‌باشد. از آنجایی که مقدار total Gage R&R کمتر از ۳۰٪ است، می‌توان نتیجه گرفت که چکش اشمیت مناسب بوده و مقاومت فشاری بتن در سن یک‌روزه مورد تأیید است. با بررسی شکل‌های

Gage Evaluation

Source	StdDev (SD)	Study Var (6 × SD)	%Study Var (%SV)
Total Gage R&R	0.0120646	0.072388	15.86
Repeatability	0.0069921	0.041952	9.19
Reproducibility	0.0098319	0.058992	12.92
operator	0.0022407	0.013444	2.95
operator*part	0.0095732	0.057439	12.58
Part-To-Part	0.0751161	0.450697	98.73
Total Variation	0.0760788	0.456473	100.00

شکل ۱. نتایج محاسبات Gage R & R برای سن ۱ روزه

مأخذ: محاسبات نرم‌افزار مینی‌تب

Gage Evaluation

Source	StdDev (SD)	Study Var (6 × SD)	%Study Var (%SV)
Total Gage R&R	0.0132497	0.079498	17.25
Repeatability	0.0070711	0.042426	9.20
Reproducibility	0.0112052	0.067231	14.58
operator	0.0046614	0.027968	6.07
operator*part	0.0101896	0.061137	13.26
Part-To-Part	0.0756783	0.454070	98.50
Total Variation	0.0768294	0.460976	100.00

شکل ۳. نتایج محاسبات Gage R & R برای سن ۷ روزه

مأخذ: محاسبات نرم‌افزار مینی‌تب

Gage Evaluation

Source	StdDev (SD)	Study Var (6 × SD)	%Study Var (%SV)
Total Gage R&R	0.013439	0.080636	12.16
Repeatability	0.007149	0.042895	6.47
Reproducibility	0.011380	0.068280	10.30
operator	0.000000	0.000000	0.00
operator*part	0.011380	0.068280	10.30
Part-To-Part	0.109684	0.658102	99.26
Total Variation	0.110504	0.663023	100.00

شکل ۵. نتایج محاسبات Gage R & R برای سن ۲۸ روزه

مأخذ: محاسبات نرم‌افزار مینی‌تب

۴-۲- پایش پروفایل در فاز یک کنترل

اطلاعات پروفایل‌ها پس از میانگین‌گیری به صورت جدول ۳ به دست می‌آید. قبل از پایش پروفایل‌ها شایستگی مدل‌ها بررسی می‌شود و باید بتوان نتیجه گرفت که خطاها نا همبسته با میانگین صفر و واریانس برابر هستند و از توزیع نرمال پیروی می‌کنند. برای بررسی نرمال بودن جملات خطا از آزمون Ryan-Joiner استفاده شده است که در نرم‌افزار مینی‌تب این آزمون معادل آزمون Shapiro-Wilk هست. مطابق با شکل ۷ مقدار P-value برابر با ۰.۰۷۶ هست و از ۰.۰۵ بزرگ‌تر است، لذا جملات

برای بررسی استقلال و نا همبسته بودن جملات خطا از آماره دوربین واتسون استفاده می‌شود، مقدار بحرانی بالایی و پایینی آزمون در سطح اطمینان ۹۵٪ برابر با ۱/۶۱ و ۱/۵۴ است. مقدار آماره دوربین واتسون طبق رابطه ۲۱ و نتیجه نرم‌افزار مطابق شکل ۱۰ عدد ۱/۵۵ محاسبه می‌شود، مقدار آماره بین حد بالا و پایین قرار دارد، لذا نا همبسته بودن جملات خطا مورد تأیید است.

$$DW = \frac{\sum_{i=1}^n (e_i - e_{i-1})^2}{\sum_{i=1}^n e_i^2} \quad (21)$$

Durbin-Watson Statistic

Durbin-Watson Statistic = 1.55588

شکل ۱۰. مقدار آماره دوربین واتسون
 مأخذ: محاسبات نرم‌افزار مینی‌تب

برای بررسی کفایت مدل از ضریب تعیین و ضریب تعیین تعدیل‌شده، استفاده می‌شود. این دو ضریب به ترتیب طبق رابطه ۲۲ و ۲۳ بدست می‌آید. در این معادلات n حجم کل نمونه و k تعداد متغیرهای برون‌زا برای پیش‌بینی مدل هست. در این مدل n برابر با ۶۰ و k برابر یک هست. طبق نتایج نرم‌افزار مطابق شکل ۱۱ ضریب تعیین و ضریب تعیین تعدیل‌شده به ترتیب برابر با ۵۷/۷۶ و ۵۸/۴۸ است. عبارت دیگر، این مدل با استفاده از متغیر سن، توانسته است ۵۷/۷۶٪ تغییرات مقاومت فشاری بتن را توضیح دهد.

$$R^2 = \frac{SSR}{SST} = 1 - \frac{SSE}{SST} \quad (22)$$

$$R^2_{adj} = 1 - (1 - R^2) * \frac{n-1}{n-k-1} \quad (23)$$

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)
10.3890	58.48%	57.76%

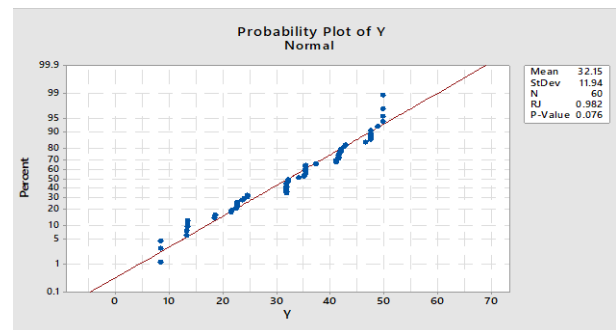
شکل ۱۱. مقدار ضریب تعیین تعدیل‌شده
 مأخذ: محاسبات نرم‌افزار مینی‌تب

پارامترهای عرض از مبدأ و شیب (a_j و b_j) طبق روابط ۶ و ۷ محاسبه می‌شود و $Z_j = (a_j, b_j)^T$ تشکیل می‌شود، میانگین عرض از مبدأ و شیب پروفایل‌ها طبق روابط ۸ و ۹ به صورت $\bar{Z} = (\bar{a}, \bar{b})^T$ دست می‌آید. نتایج محاسبات در جدول ۴ نمایش داده شده است.

جدول ۳. مقدار پروفایل‌ها

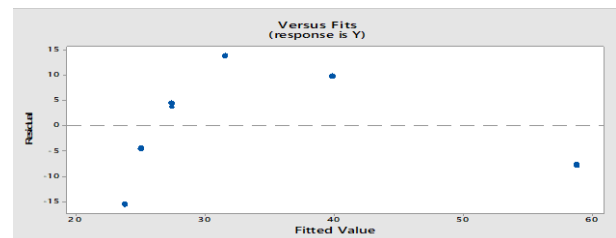
شماره	سن (روز)					
	۱	۳	۷	۱۴	۲۸	۶۰
۱	۸/۲۵	۲۰/۵۶	۳۱/۸۶	۴۵/۳۶	۴۹/۶۶	۵۱/۱۷
۲	۸/۴۳	۲۰/۷۵	۳۲/۰۱	۴۵/۴۹	۴۹/۷۹	۵۱/۲۵
۳	۸/۲۲	۲۰/۴۷	۳۱/۷۷	۴۵/۲۴	۴۹/۵۶	۵۱/۰۵
۴	۸/۲۶	۲۰/۵۳	۳۱/۰۸	۴۵/۲۳	۴۹/۵۲	۵۰/۹۵
۵	۸/۱۹	۲۰/۴۷	۳۱/۷۹	۴۵/۲۵	۴۹/۵۶	۵۱/۰۴
۶	۸/۲۸	۲۰/۵۵	۳۱/۸۰	۴۵/۲۱	۴۹/۴۵	۵۰/۸۵
۷	۸/۱۹	۲۰/۴۶	۳۱/۷۷	۴۵/۲۲	۴۹/۵۳	۵۰/۹۷
۸	۸/۲۵	۲۰/۵۳	۳۱/۸۲	۴۵/۳۱	۴۹/۶۲	۵۱/۰۸
۹	۸/۱۵	۲۰/۳۹	۳۱/۷۴	۴۵/۲۳	۴۹/۵۳	۵۱/۰۰
۱۰	۸/۲۶	۲۰/۵۳	۳۱/۷۹	۴۵/۱۸	۴۹/۴۰	۵۰/۷۸

مأخذ: محاسبات تحقیق



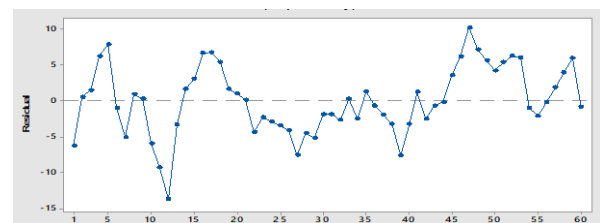
شکل ۷. نمودار احتمال نرمال

مأخذ: محاسبات نرم‌افزار مینی‌تب



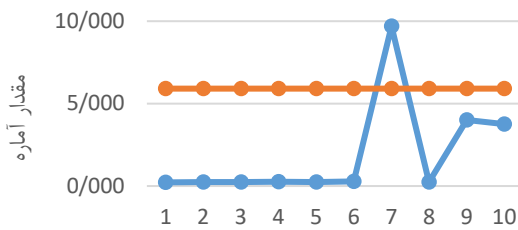
شکل ۸. نمودار پراکنده‌گی خطا در مقابل مقدار برازش شده

مأخذ: محاسبات نرم‌افزار مینی‌تب



شکل ۹. نمودار جملات خطا در مقابل زمان

مأخذ: محاسبات نرم‌افزار مینی‌تب



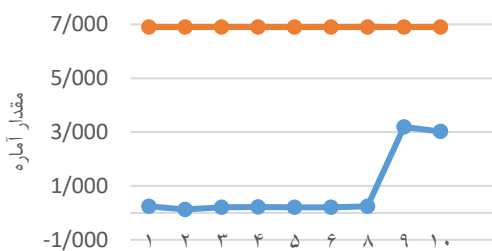
شکل ۱۲. نمودار کنترل
مأخذ: محاسبات تحقیق

شکل ۱۲ نشان می‌دهد که پروفایل ۷ام خارج از کنترل است، این پروفایل حذف می‌شود و بررسی‌ها مجدداً تکرار می‌شود. با توجه به مقادیر آماره و حدود کنترل برای پروفایل‌ها مطابق جدول ۶، نمودار کنترل جدید در شکل ۱۳ رسم می‌شود.

جدول ۶. مقدار آماره T^2 پس از حذف پروفایل خارج کنترل

شماره	مقدار آماره استور و بریل	محدوده کنترل
۱	۰/۲۴۳	(۶-۰/۸۹)
۲	۰/۱۲۹	(۶-۰/۸۹)
۳	۰/۲۰۶	(۶-۰/۸۹)
۴	۰/۲۲۴	(۶-۰/۸۹)
۵	۰/۲۰۲	(۶-۰/۸۹)
۶	۰/۲۰۷	(۶-۰/۸۹)
۸	۰/۲۴۸	(۶-۰/۸۹)
۹	۳/۱۸۷	(۶-۰/۸۹)
۱۰	۳/۰۲۰	(۶-۰/۸۹)

مأخذ: محاسبات تحقیق



شکل ۱۳. نمودار کنترل پس از حذف نمونه خارج از کنترل
مأخذ: محاسبات تحقیق

با توجه به تحت کنترل بودن پروفایل‌ها، پارامترهای مدل با استفاده از میانگین‌گیری از عرض از مبدأ و شیب به صورت رابطه

جدول ۴. مقدار پارامترهای پروفایل

پروفایل	(a_j)	(b_j)	$Z_j = (a_j, b_j)^T$
۱	۲۳/۲۸	۰/۵۹۵	$(۲۳/۲۸, ۰/۵۹۵)^T$
۲	۲۳/۴۵	۰/۵۹۳	$(۲۳/۴۵, ۰/۵۹۳)^T$
۳	۲۳/۲۱	۰/۵۹۴	$(۲۳/۲۱, ۰/۵۹۴)^T$
۴	۲۳/۲۵	۰/۵۹۱	$(۲۳/۲۵, ۰/۵۹۱)^T$
۵	۲۳/۲۰	۰/۵۹۴	$(۲۳/۲۰, ۰/۵۹۴)^T$
۶	۲۳/۲۶	۰/۵۸۹	$(۲۳/۲۶, ۰/۵۸۹)^T$
۷	۲۳/۲۰	۰/۵۹۳	$(۲۳/۲۰, ۰/۵۹۳)^T$
۸	۲۳/۲۶	۰/۵۹۳	$(۲۳/۲۶, ۰/۵۹۳)^T$
۹	۱۸/۵۶	۰/۸۳۸	$(۱۸/۵۶, ۰/۸۳۸)^T$
۱۰	۱۸/۶۶	۰/۸۳۲	$(۱۸/۶۶, ۰/۸۳۲)^T$
(\bar{a})	۲۲/۳۳		$\bar{Z} = (۲۲/۳۳, ۰/۶۴)^T$
(\bar{b})		۰/۶۴	

مأخذ: محاسبات تحقیق

طبق رابطه ۱۰ ماتریس واریانس و کوواریانس به صورت

$$S = \begin{bmatrix} ۶۳/۵۴ & -۰/۳۲ \\ -۰/۳۲ & ۰/۱۰ \end{bmatrix}$$

طبق رابطه ۱۴ به صورت $\alpha_1 = 1 - \sqrt[۱]{1 - ۰/۰۵} = ۰/۰۱$ و حد بالای کنترل به ازای p برابر با عدد ۲ و m برابر با عدد ۱۰، طبق رابطه ۱۵ به صورت

$$UCL = \frac{(۱۰-۱)(۱۰-۱)}{۱۰} \beta_{۱, (۱۰-۲), \alpha_1} = ۵/۹۱$$

طبق رابطه ۱۳ به صورت $T_j^2 = (Z_j - \bar{Z})^T S^{-1} (Z_j - \bar{Z})$ مطابق جدول ۵ محاسبه می‌شود. نمودار کنترل در شکل ۱۲ رسم شده است.

جدول ۵. مقدار آماره T^2

شماره	مقدار آماره استور و بریل	محدوده کنترل
۱	۰/۲۲۲	(۵-۰/۹۱)
۲	۰/۲۳۶	(۵-۰/۹۱)
۳	۰/۲۳۳	(۵-۰/۹۱)
۴	۰/۲۶۰	(۵-۰/۹۱)
۵	۰/۲۳۴	(۵-۰/۹۱)
۶	۰/۲۸۳	(۵-۰/۹۱)
۷	۹/۶۹۳	(۵-۰/۹۱)
۸	۰/۲۸۵	(۵-۰/۹۱)
۹	۴/۰۱۱	(۵-۰/۹۱)
۱۰	۳/۷۶۳	(۵-۰/۹۱)

مأخذ: محاسبات تحقیق

مختلف $\sigma\lambda$ بر روی پارامترهای مدل بر روی داده‌های شبیه‌سازی شده مورد بررسی قرار گرفته است و میانگین طول دنباله تا نمایش اولین پروفایل خارج از کنترل برای مقادیر مختلف λ در جدول ۷ به‌عنوان طول دنباله خارج از کنترل نمایش داده شده است.

جدول ۷. طول دنباله خارج از کنترل به ازای مقدار مختلف تغییر

ردیف	λ	تغییر $\sigma\lambda$ در شیب	تغییر $\sigma\lambda$ در عرض از مبدأ	طول دنباله خارج از کنترل
۱	۰/۰۳	۰	۰/۳۷	۵
۲	۰/۰۳	۰/۳۷	۰	۹
۳	۰/۰۳	۰/۳۷	۰/۳۷	۴
۴	۰/۰۵	۰	۰/۶۳	۴
۵	۰/۰۵	۰/۶۳	۰	۷
۶	۰/۰۵	۰/۶۳	۰/۶۳	۳
۷	۰/۰۷	۰	۰/۸۸	۳
۸	۰/۰۷	۰/۸۸	۰	۶
۹	۰/۰۷	۰/۸۸	۰/۸۸	۲
۱۰	۰/۰۹	۰	۱/۱۳	۲
۱۱	۰/۰۹	۱/۱۳	۰	۴
۱۲	۰/۰۹	۱/۱۳	۱/۱۳	۲
۱۳	۰/۰۳	۰	۳/۷۵	۱
۱۴	۰/۰۳	۳/۷۵	۰	۱
۱۵	۰/۰۳	۳/۷۵	۳/۷۵	۱

مأخذ: محاسبات تحقیق

عملکرد نمودار کنترل در فاز دو با استفاده از متغیر تصادفی طول دنباله خارج از کنترل سنجیده می‌شود [۲۴]، [۲۵] و [۲۶]. تغییر در پارامترهای مدل به ازای مقادیر مختلف λ باعث تغییر حساسیت نمودار کنترل EWMA در شناسایی پروفایل‌های خارج از کنترل شده است. با بررسی جدول ۷ مشخص می‌شود که روش EWMA می‌تواند تغییرات کوچک به‌اندازه ۰/۰۳ انحراف استاندارد در پارامترهای مدل را شناسایی نماید و حساسیت این روش به ازای تغییر $\lambda\sigma$ برای یک مقدار λ ، در شناسایی پروفایل خارج از کنترل زمانی که تغییر در عرض از مبدأ رخ می‌دهد نسبت به حالتی که تغییر در شیب رخ می‌دهد زودتر شناسایی می‌شود. زمانی که تغییر در پارامترهای مدل بزرگ‌تر می‌شود، عملکرد نمودار کنترل نیز بهبود می‌یابد و پروفایل خارج از کنترل زودتر شناسایی می‌شود و متغیر طول دنباله خارج از کنترل کاهش می‌یابد، تغییرات بزرگ مانند ۰/۳ انحراف استاندارد به‌سرعت پس از یک نمونه مشخص می‌شود. وجود سیگنال‌های خارج از کنترل می‌تواند هشدار مبنی بر

۲۴ با مقدار انحراف استاندارد ۱۲/۵۱ (۵۱/۱۲) $(\sigma=)$ به دست می‌آید.

$$Y = 22/24 + 0/65x_i \quad i=1, 2, 3, \dots, 6 \quad (24)$$

برای اطمینان از وجود رابطی خطی در مدل برازش شده از آزمون فقدان برازش خطی (Lack of Fit) استفاده می‌شود. از آنجایی که مقدار P-value برای این آزمون طبق شکل ۱۴ از ۰/۰۵ بزرگ‌تر است، از وجود رابطه خطی مدل برازش شده طبق رابطه ۲۴ اطمینان حاصل می‌شود.

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Regression	1	11284.2	11284.2	8001.09	0.000
x	1	11284.2	11284.2	8001.09	0.000
Error	58	81.8	1.4		
Lack-of-Fit	4	4.1	1.0	0.71	0.592
Pure Error	54	77.7	1.4		
Total	59	11366.0			

شکل ۱۴- آزمون فقدان برازش خطی

مأخذ: محاسبات نرم‌افزار مینی‌تب

۳-۴- پایش پروفایل در فاز دو کنترل

کنترل فرآیند در فاز دو، شرایط خارج از کنترل را که ناشی از عواملی که منجر به تغییر پارامترهای مدل می‌شود را شناسایی می‌کند. با توجه به عدم دسترسی به داده‌های برخط، برای بررسی دقت مدل، تغییری به‌اندازه $\sigma\lambda$ در پارامتر عرض از مبدأ، شیب و هر دو پارامتر برای ۱۰۰۰۰ داده شبیه‌سازی شده توسط نرم‌افزار متلب ایجاد می‌شود. این تغییرات در شرایط واقعی مصداق تغییر کیفیت مواد اولیه، تغییر طرح اختلاط یا شرایط عمل‌آوری بتن در آزمایشگاه است. پایش پروفایل‌ها با استفاده از داده‌های شبیه‌سازی شده با روش EWMA انجام می‌شود. جمله خطا طبق رابطه ۱۶ به‌صورت

$$e_{ij} = Y_j - (22/24 + 0/65x_i) \quad \text{برای } j = 1, 2, \dots$$
و $i = 1, 2, 3, \dots, 6$ به دست می‌آید. میانگین جملات خطا طبق رابطه ۱۷ به‌صورت $\bar{e}_j = \sum_{i=1}^6 \frac{e_{ij}}{6}$ به دست می‌آید. آماره EWMA طبق رابطه ۱۸ به‌صورت زیر به دست می‌آید $EWMA(e)_j = \theta \bar{e}_j + (1 - \theta)EWMA(e)_{j-1}$ ، اگر مقدار $\theta = 0/1, 0/08, 0/01$ و برای θ در نظر گرفته شود، نتایج بهتری نسبت به سایر مقادیر به دست می‌آید [۱۶]. در این پژوهش $\theta = 0/1$ در نظر گرفته شده است و حدود کنترل طبق رابطه ۱۹ و ۲۰ به‌صورت $\bar{\pm} 3 * 12/51 \sqrt{\frac{0/1}{(2-0/1)^{*6}}}$ است. اثر تغییرات مقادیر

وجود مشکلات احتمالی در حین تولید و عمل‌آوری بتن آگاه می‌نماید و با انجام اقدامات پیشگیرانه و اصلاحی می‌توان تولید و ترمیم بتن را در سنین کم انجام دهند و از مصرف هزینه‌های گزاف پیشگیری نمایند. با توجه به مسائل زیست‌محیطی موجود برای تولید سیمان و مقرون به صرفه نبودن سیمان در طرح‌های اختلاط، پیشنهاد می‌شود مسئولان اجرایی روش فوق را برای طرح اختلاط‌های مختلف با در نظرگیری مواد جایگزین سیمان نیز مورد بررسی قرار دهند و رابطه مقاومت فشاری با سن بتن را بررسی نمایند. این پژوهش فقط به بررسی رابطه مقاومت فشاری با سن بتن پرداخته است و تأثیر سایر عوامل از قبیل شکل نمونه بتن‌ها، شرایط به عمل‌آوری نمونه‌ها در آزمایشگاه، نوع ابزار اندازه‌گیری و سایر عوامل درگیر در طرح اختلاط بتن، در نظر گرفته نشده است. با در نظر گرفتن موارد فوق، ممکن است رابطه مجموعه متغیرهای مستقل با متغیر مقاومت فشاری بتن به‌صورت خطی نباشد، لذا پیشنهاد می‌شود تأثیر عوامل مختلف بر مقاومت فشاری بتن به‌صورت هم‌زمان نیز بررسی شود.

۶- نتیجه‌گیری

بررسی رابطه تابعی بین مقاومت فشاری بتن و سایر عوامل مؤثر بر آن و پایش تغییرپذیری آن، نقش به‌سزایی در افزایش کیفیت بتن دارد. تحلیل تغییرات این رابطه تابعی و تفکیک تغییرات غیر تصادفی از تغییرات تصادفی، که می‌تواند ناشی از رویه‌های نادرست، عدم مهارت عوامل انسانی یا نامناسب بودن ابزارهای اندازه‌گیری باشد، در فرآیند تولید بتن تأثیر به‌سزایی دارد. نمودارهای کنترل یکی از روش‌های متداول برای ارزیابی میزان تغییرپذیری فرآیند است ولی عملکرد نمودارهای کنترل به دقت داده‌ها بستگی دارد. صحت داده‌ها متأثر از وضعیت ابزار اندازه‌گیری و مهارت کارشناس اندازه‌گیری است، وجود نقص در هر یک از این عوامل، منجر به تولید داده غیر واقعی می‌شود و می‌تواند تأثیر به‌سزایی در عملکرد نمودار کنترل داشته باشد. در این پژوهش، صحت داده‌ی اندازه‌گیری‌شده با استفاده از روش مطالعه ابزار در فاز صفر مورد بررسی قرار گرفت، و نتایج نشان داد که داده‌های به دست آمده قابل‌اطمینان هستند. در فاز یک کنترل کیفیت آماری، با استفاده از داده‌های تاریخی و روش استور و بریل، رابطه بین مقاومت فشاری و سن بتن به‌عنوان مدلی برای فرآیند، به دست آمد، و تحت کنترل بودن داده‌های برخط مورد بررسی قرار گرفت. در این پژوهش به دلیل عدم دسترسی

وجود علائمی مانند ترک، کرم‌زدگی، شن‌زدگی، تغییر رنگ و تیرگی بتن، کاهش مقاومت بتن در محیط‌های قلیایی و اسیدی و ... در سنین بالاتر باشد، لذا مدیران با دریافت سیگنال‌های خارج از کنترل، عوامل تخریب بتن را در حین تولید متوجه می‌شوند و اقداماتی از جمله بازنگری درصد و کیفیت مواد اولیه در طرح اختلاط، بهینه‌سازی شرایط عمل‌آوری بتن، کنترل ویبره نمودن تمام سطح بتن و درزبندی قالب تهیه بتن، تهیه پوشش مناسب برای بتن پس از ساخت و دیگر موارد را در حین تولید مورد بررسی قرار می‌دهند تا از مصرف هزینه و زمان گزاف برای برطرف نمودن خرابی بتن در سنین بالا اجتناب کنند. انجام این اقدامات اصلاحی در سن کم باعث افزایش عمر و عملکرد بتن در سازه خواهد شد. پیشنهاد می‌شود محققان و کارشناسان اجرایی روش فوق را برای طرح اختلاط‌های مختلف با عیار مختلف سیمان و در نظرگیری مواد جایگزین سیمان مورد بررسی قرار دهند و رابطه مقاومت فشاری با سن بتن مورد مقایسه قرار بگیرد، همچنین پیشنهاد می‌شود تأثیر عوامل مختلف بر مقاومت فشاری به‌صورت هم‌زمان مورد پایش قرار داده شود.

۵- بحث

سنجش صحت داده‌های جمع‌آوری‌شده و بررسی رابطه مقاومت فشاری با سن بتن و پایش این رابطه به‌صورت مستمر می‌تواند به تولید باکیفیت بتن بسیار کمک نماید. یافته‌های این تحقیق نشان می‌دهد که داده‌های جمع‌آوری‌شده از حیث ابزار اندازه‌گیری و مهارت کارشناسان اندازه‌گیری مورد تأیید بوده است و رابطه مقاومت فشاری بتن با سن به‌صورت $Y = 22/24 + 0/65x_i$ روش EWMA توانایی شناسایی تغییرات کوچک به‌اندازه ۰/۰۳ انحراف استاندارد در پارامترهای مدل را دارد و تغییرات بزرگ مانند ۰/۳ انحراف استاندارد نیز به‌سرعت پس از یک نمونه قابل‌شناسایی است. اکثر مطالعات با ثبت ویژگی‌های مکانیکی و دوامی بتن و مقایسه آن‌ها با حدود استاندارد یا روش‌های طراحی آزمایش‌ها، شبکه عصبی، رگرسیون چندمتغیره و سیستم استنتاج فازی عصبی مقاومت بتن را مورد ارزیابی قرار داده‌اند ولی در این پژوهش با استفاده از پایش پروفایل رابطه تابعی مقاومت فشاری بتن با سن آن مدل شده است و تغییرپذیری آن قابل پایش کردن است. از مزیت این روش می‌توان به پایش تغییرپذیری داده‌های در حین تولید و دریافت سیگنال خارج از کنترل اشاره نمود که مسئولان را از

بررسی نمایندند. در تحقیقات آتی می‌توان تأثیر عوامل مختلف بر مقاومت فشاری به‌صورت هم‌زمان بررسی شود.

۷- اعلام تعارض منافع

نویسندگان این مقاله اعلام می‌کنند که هیچ نوع تعارض منافی وجود ندارد.

۸- مراجع

- [1] Arjmand, M., Najafian azar, M., & Heydar rihani, P. (2018). Laboratory investigation of the effect of micro silica on the compressive strength of concrete at different ages. *Science and Engineering Elite Magazine*, 3(6), 63-68
- [2] Atashgar, K. (2014). Advanced statistical quality control. Tehran. Malek Ashtar University of Technology. 2014.1. 19.
- [3] Dastoorian, R., & Wells, L. (2020). Gauge capability studies for high-density data: SPC phase 0. *Procedia Manufacturing*, 48, 105-113.
- [4] Kaboosi, K., Emami, K.H., & Fadavi, M. (2019). Investigating the interaction of industrial wastewater, zeolite and cement grade on non-reinforced concrete at different ages. *Concrete research*, 12(3), 105-119.
- [5] Dashti Rahmat Abadi, M.A., Shahabian Moghadam, F., & Haji Kazemi, H. (2020). Laboratory and statistical investigation of compressive and tensile strength of powdered concrete (RPC) at different ages. *Journal of structural and construction engineering*, 7(2), 63-83.
- [6] Daneshjo, V., & Farokhzad, R. (2019). Investigating the mechanical resistance of rolled concrete containing Calcium Nano carbonate against subsidence phenomenon. *Journal of Engineering Geology*, 13(1), 45-68.
- [7] Naderi, M., Rashvand Aveh, A., & Saberi Varzaneh, A. (2022). Investigating the effect of different aggregates on the durability of

به داده‌های برخط، با داده‌های شبیه‌سازی‌شده، عملکرد نمودار کنترل برای پایش مدل، در فاز دو کنترل کیفیت آماری با استفاده از مدل به دست آمده، سنجیده شده است. هدف از اجرای فاز دو کنترل، شناسایی شرایط خارج از کنترل پروفایل‌ها است، در این فاز از روش EWMA برای پایش پروفایل‌ها استفاده شد. نتایج این تحقیق نشان داد که رویکرد پروفایلی به‌خوبی می‌تواند برای کنترل کیفیت بتن استفاده شود. لذا پیشنهاد می‌شود کارشناسان اجرایی روش فوق را برای طرح اختلاط‌های مختلف مورد بررسی قرار دهند و رابطه مقاومت فشاری باسن بتن را

self-compacting concrete exposed to sulfate using the friction transfer test. *Journal of structural and construction engineering*, 7(3), 65-80.

- [8] Taheri Ghahfarokhi, A. (2008). Optimizing the measurement system of Bandar Imam Petrochemical Central Laboratory through Gage R&R. Iran's first petrochemical conference, 10-15.
- [9] Ramezani Pour, A.A., Yadak Yaraghi, A.H., Zolfaghar Nasab, A., & Ramezani Pour, A.M. (2022). Investigating the mechanical characteristics and permeability of chloride ions in concretes containing calcined clay. *Amirkabir Civil Engineering Journal*, 54(3), 15-15.
- [10] Joyande Mirza, A., Alizadeh, M.H., & Adabi, M. (2022). Investigating the effect of the ratio of sodium hydroxide to sodium silicate on the compressive strength of geopolymer concrete containing recycled concrete aggregates: a laboratory study and modeling. *Journal of structural and construction engineering*, 7(3), 60-70.
- [11] Arabzadeh, A., & Ahmadi, A. (2022). Investigating the mechanical properties of limestone-pozzolanic concrete containing silica fume, iron smelting furnace slag and zeolite. *Modrras Civil Engineering*, 22(3), 10-10.
- [12] Pourazar, J., Najarchi, M., Senaati, B., Najafi Zadeh, M.H., & Mir Hosseini, S.M. (2021). Laboratory investigation of the effect of the combination of waste paper waste ash with silica fume on the mechanical properties of concrete. *Civil engineering*, 372(11), 47-60.

- [13] Mazloun, M., Akbari Jamkarani, M., & Afzali, F. (2021). Investigating the mechanical characteristics of self-compacting lightweight concrete containing copper slag. *Journal of structural and construction engineering*, 8(9), 289-305.
- [14] Ghasem Zadeh, S.H., Johari Majd, F., & Sardar, A. (2021). Prediction of mechanical properties of lightweight concrete reinforced with basalt fibers containing silica fume and fly ash with a compatible neural-fuzzy inference system. *Journal of civil and environmental engineering of Tabriz University*, 50-63.
- [15] Burdick, R. K., Borrer, C. M., & Montgomery, D. C. (2003). A review of methods for measurement systems capability analysis. *Journal of Quality Technology*, 35(4), 342-354.
- [16] Montgomery, D. C. (2007). Introduction to statistical quality control. John Wiley & Sons.
- [17] Shi, L., Chen, W., & Lu, L. F. (2014). An approach for simple linear profile gauge R&R studies. *Discrete Dynamics in Nature and Society*, 2014.
- [18] Atashgar, K., Saffari, H., & Mabhoot, A. (2020). Monitoring the status of Covid-19 patients using the profile approach. *Iranian Journal of Surgery*, 28(4), 50-64.
- [19] Kazemzadeh, R. B., Noorossana, R., & Amiri, A. (2008). Phase I monitoring of polynomial profiles. *Communications in Statistics-Theory and Methods*, 37(10), 1671-1686.
- [20] Kang, L., & Albin, S. L. (2000). On-line monitoring when the process yields a linear profile. *Journal of quality Technology*, 32(4), 418-426.
- [21] Vargas, N. J. A. (2003). Robust estimation in multivariate control charts for individual observations. *Journal of Quality Technology*, 35(4), 367-37.
- [22] Atashgar, K. (2019). Advanced statistical process control (simple linear profile monitoring). Malek Ashtar University of Technology.
- [23] Atashgar, K., & Roshandel, S. (2021). Monitoring the impact of ambient temperature on the covid 19 pandemic using profile analysis. *Razi Journal of Medical Sciences*, 28(5), 125-144.
- [24] Imai, N., Cori, A., Dorigatti, I., Baguelin, M., Donnelly, C. A., Riley, S., & Ferguson, N. M. (2020). Report 3: transmissibility of 2019-nCoV. Imperial College London, 625, 1-6.
- [25] Atashgar, K., & Abbassi, L. (2020). A new model to monitor very small effects of a polynomial profile. *International Journal of Quality & Reliability Management*.
- [26] Farokhzad, R., Yaseri, S., Entezarian, M.H., & Yavari, A. (2016). Investigating the effect of sulfates on the compressive strength of various types of pozzolanic concretes and measuring the amount of penetration by ultrasonic testing at different ages. *Concrete research*, 9(1), 130-133.

Analyzing the Age of Concrete with the Method of Gage Study and Profile Monitoring, Case Study: an Executive Project

Karim Atashgar⁷

Associate Professor, Department of Industrial Engineering, Faculty of Management and Industrial Engineering, Malek Ashtar University of Technology, Tehran, Iran. atashgar@iust.ac.ir

Fateme Malekaee Ashtiyani

PhD Student in Quality and Productivity, Faculty of Management and Industrial Engineering, Malek Ashtar University of Technology, Tehran, Iran. malekaee@mut.ac.ir

ABSTRACT: Compressive strength is one of the important properties of concrete, which is affected by factors such as humidity, water-cement ratio, cement composition, aggregate dimensions, and age of concrete. All cases except age can be controlled by making changes in the mixing plan, therefore, in this research, the relationship between age and compressive strength of concrete has been investigated using profile analysis in a 6-story building construction project by concrete quality control experts. In this research, 10 concrete samples were processed in laboratory conditions after preparation, and the compressive strength of the samples was checked by 3 experts and each expert checked each sample 3 times. In the zero phase, with the Gage study method, the data is not affected by the measurement error. In phase one, by using the Storr and Braille control chart, out-of-control profiles have been removed, and a model has been presented to estimate the compressive strength of concrete according to the age of the sample. In the second phase, using 10,000 data simulated by MATLAB software, the performance of the model has been examined using the (EWMA) chart, the results show that the EWMA chart is able to identify out-of-control signals by applying changes in the model parameters. An out-of-control signal can be a warning for signs such as cracking, cracking, sanding, and discoloration at older ages of concrete. Therefore, managers and concrete quality control experts can predict the factors of concrete destruction and take measures to restore concrete without spending a lot of money.

Key Words: Concrete, Profiles, Gage Study, Stover and Brill, EWMA

1- Introduction

Due to its high durability and low cost, concrete is the most common material in the construction industry and is generally composed of water, cement and aggregate. The compressive strength of concrete is the ability of the structure to withstand incoming loads without cracking or deformation [1]. In this research, the effect of concrete age on its compressive strength has been investigated using profile analysis. The performance of control charts depends on the quality of the data [2], using the method of gage study and variance analysis, the accuracy of the data

⁷ Corresponding author: atashgar@iust.ac.ir

has been investigated in terms of tools and experts' skills using the Minitab software in phase zero. In phase one, the samples affected by abnormal factors have been identified and eliminated by statistical analysis of the data, and the linear relationship between the investigated parameters has been estimated and the controllability of the data has been investigated using Stover's and Braille charts, and in phase two Using the EWMA diagram, the performance of the model has been compared by applying changes ($\lambda\sigma$) for different values of λ in the parameter width from the origin, slope and both parameters. The out-of-control signal in the EWMA chart is a warning for the presence of signs such as cracks, sandblasting, and concrete failure at older ages.

2- Methodology

Gage studies known as Gage R&R are used to determine the capability of the measurement system and because of its importance, this method is known as the zero phase in statistical quality control [3]. The meaning of repeatability is the presence of dispersion in repeated measurements using a specific tool by the same person and is calculated from equation 1 [4]:

$$EV=6*\sigma \quad (1)$$

Where σ is the standard deviation of the repeatability measurement samples. The meaning of reproducibility is the presence of dispersion in the measurement due to the presence of different operators in a measurement system, so that a part is measured by one tool by several operators and it is obtained from equation 2 [4].

$$AV = \sqrt{(\sigma)^2 - \frac{EV^2}{n*r}} \quad (2)$$

Where σ is the standard deviation of reproducibility data, EV is the reproducibility value, n is the number of samples and r is the number of measurement times. Gage R&R is the result of repeatability and reproducibility and is obtained from equation 3 [4].

$$R\&R = \sqrt{EV^2 + AV^2} \quad (3)$$

The gauge study is designed for the situation with i samples, j operators and each operator repeats the test k times, and the measurement results are displayed with M_{ijk} as described in equation 4 [5],[6].

$$M_{ijk} = \mu + P_i + o_j + (op)_{ij} + \varepsilon_{ijk} \quad (4)$$

μ expected value of measured value, P_i , O_j , OP_{ij} are independent random variables that show the effect of sample factor, operator and the interaction effect of sample and operator, and ε_{ijk} is an independent random variable and shows the measurement error. It is assumed that the random variables have a normal distribution as $p_i \sim N(0, \sigma_p^2)$, $o_j \sim N(0, \sigma_o^2)$,

$(op)_{ij} \sim N(0, \sigma_{(op)}^y)$ and $\varepsilon_{ijk} \sim N(0, \sigma_e^y)$. The variance of the random variable M_{ijk} is defined as equation 5 [2].

$$\sigma_{M_{ijk}}^y = \sigma_p^y + \sigma_o^y + \sigma_{(op)}^y + \sigma_e^y \quad , \quad \sigma_G^y = \sigma_o^y + \sigma_{(op)}^y + \sigma_e^y \quad (5)$$

σ_G^y is the variance of the effect of the measuring device, Variance analysis method and the results of %Contribution and %Study Variance determine the variability and the source of variability. If %Study is less than 10%, the variability in the measurement system is acceptable, if %Study is between 10 and 30%, according to the sensitivity of the process, the measurement is conditionally acceptable, and if %Study is greater than 30%, the variability in the system It is not acceptable [7]. In phase one, the goal is to ensure the suitability of the model, remove the sample affected by abnormal factors and estimate the parameters of the model [8]. To check the correctness of the model, tests of normality, equal variance and independence of error sentences are used [9]. In this study, Stover and Brill's T^2 control chart, which is based on the mean, variance and covariance matrix of the sample is used [9]. After we were statistically sure that the process is under control and the profile parameters were estimated as $\hat{Y} = A. + B.X_i$, using online data, the controllability of the process is checked. "The second phase of the statistical control process identifies the occurrence of changes in the profile structure" [10]. In this step, the EWMA control chart is used to monitor the profile structure. The statistical values include the information of the past times, this chart is sensitive to small and medium changes and shows less resistance to the presence of an out-of-control signal [11].

3- Applied study and findings

In order to investigate the relationship between compressive strength and age of concrete, concrete manufacturing information has been used in a construction project of a 6-story building.

10 samples of concrete with the mixing plan according to table 1 at the age of 1, 3, 7, 14, 28 and 60 days were taken from the mentioned project and the compressive strength of the samples was tested by 3 experts and each expert tested each sample using a Schmidt hammer 3 times have been measured. Since the value of total Gage R&R is less than 30%, it can be concluded that the measurement changes of the tool are acceptable and the compressive strength of concrete at different ages is confirmed.

First, the parameters of the width from the origin a_j and slope b_j are calculated ($Z_j = (a_j, b_j)^T$) is formed,

Table 1. Value of profile parameters

Profile	(a_j)	(b_j)	$Z_j = (a_j, b_j)^T$
۱	۲۳/۲۸	۰/۵۹۵	$(۲۳/۲۸, ۰/۵۹۵)^T$
۲	۲۳/۴۵	۰/۵۹۳	$(۲۳/۴۵, ۰/۵۹۳)^T$
۳	۲۳/۲۱	۰/۵۹۴	$(۲۳/۲۱, ۰/۵۹۴)^T$
۴	۲۳/۲۵	۰/۵۹۱	$(۲۳/۲۵, ۰/۵۹۱)^T$
۵	۲۳/۲۰	۰/۵۹۴	$(۲۳/۲۰, ۰/۵۹۴)^T$
۶	۲۳/۲۶	۰/۵۸۹	$(۲۳/۲۶, ۰/۵۸۹)^T$
۷	۲۳/۲۰	۰/۵۹۳	$(۲۳/۲۰, ۰/۵۹۳)^T$
۸	۲۳/۲۶	۰/۵۹۳	$(۲۳/۲۶, ۰/۵۹۳)^T$
۹	۱۸/۵۶	۰/۸۳۸	$(۱۸/۵۶, ۰/۸۳۸)^T$
۱۰	۱۸/۶۶	۰/۸۳۲	$(۱۸/۶۶, ۰/۸۳۲)^T$
(\bar{a})	۲۲/۳۳		$\bar{Z} = (۲۲/۳۳, ۰/۶۴)^T$
(\bar{b})	۰/۶۴		

The T^2 statistic is calculated as $T_j^2 = (Z_j - \bar{Z})^T S^{-1} (Z_j - \bar{Z})$ according to table 2.

Table2. Value of T^2

Number	T^2	Range
۱	۰/۲۲۲	(۵-۰/۹۱)
۲	۰/۲۳۶	(۵-۰/۹۱)
۳	۰/۲۳۳	(۵-۰/۹۱)
۴	۰/۲۶۰	(۵-۰/۹۱)
۵	۰/۲۳۴	(۵-۰/۹۱)
۶	۰/۲۸۳	(۵-۰/۹۱)
۷	۹/۶۹۳	(۵-۰/۹۱)
۸	۰/۲۸۵	(۵-۰/۹۱)
۹	۴/۰۱۱	(۵-۰/۹۱)
۱۰	۳/۷۶۳	(۵-۰/۹۱)

The above diagram shows that the 7th profile is out of control, this profile is deleted and the checks are repeated. Considering that the profiles are under control, the parameters of the model are obtained by averaging the width from the origin and the with a standard deviation of 12.51

$Y=22/24+0/65x_i$ $i=1, 2, 3, \dots, 6$. Process control in the second phase identifies out-of-control conditions, and any factor that leads to a change in model parameters is an out-of-control condition. To check the accuracy of the model, a change of $\sigma\lambda$ is made in the width parameter from the origin, slope and both parameters for 180 out-of-control. The error sentence is obtained as $e_{ij}=y_j-(22/24+0/65x_i)$, $i=1, 2, 3, \dots, 6$ & $j=1, 2, \dots$

The average of error sentences is obtained as $\bar{e}_j = \sum_{i=1}^6 \frac{e_{ij}}{6}$, the EWMA statistic is obtained as $EWMA(e)_j = \theta \bar{e}_j + (1 - \theta)EWMA(e)_{j-1}$. In this

research, $\theta=0.1$ and the control are $\mp 3 * 12/51 \sqrt{\frac{0/1}{(2-0/1)*6}}$. The sequence length until the appearance of the first out-of-control profile for different values of λ is shown in Table 3.

Table 3- Out-of-control sequence length				
Number	λ	$\sigma\lambda$ change in slope	$\sigma\lambda$ Change in width from the origin	length out of control
1	0/0.3	.	0/37	6
	0/0.3	0/37	.	10
3	0/0.3	0/37	0/37	5
4	0/0.5	.	0/63	4
5	0/0.5	0/63	.	8
6	0/0.5	0/63	0/63	3
7	0/0.7	.	0/88	3
8	0/0.7	0/88	.	6
9	0/0.7	0/88	0/88	2
10	0/0.9	.	1/13	2
11	0/0.9	1/13	.	4
12	0/0.9	1/13	1/13	2
13	0/3	.	3/75	1
14	0/3	3/75	.	1
15	0/3	3/75	3/75	1

The performance of the control chart in the second phase is measured using the random variable of the length of the out-of-control sequence [12], [3], the change in the model parameters for different values of λ has changed the sensitivity of the EWMA method in identifying out-of-control profiles. According Table 7, EWMA method can identify small changes as small as 0.03 standard deviation in the model parameters, when the change in the model parameters becomes larger, the performance of the control chart also improves and the out-of-control profile is identified earlier and the sequence length variable Out of control decreases, large changes such as 0.3 standard deviation are quickly identified after one sample.

4- Conclusion

Control charts are one of the common ways to evaluate process variability, but the performance of control charts depends on the accuracy of the data. The accuracy of the data is affected by the state of the measuring instrument and the skill of the measuring expert, the presence of defects in any of these factors leads to unrealistic data and can have a significant impact on the performance of the control chart. In this research, the accuracy of the data was investigated using the tool study method and the results show that the obtained data are reliable. In the next step, using Stover and Brill's method, the relationship between compressive strength and age of concrete was obtained as a model for the process, and using the obtained model, the control of online data was investigated. With the simulated data, the performance of the control chart for model monitoring has been measured.

In this phase, the EWMA control chart was used to monitor the profiles. The results showed that the profile approach can be used to control the quality of concrete.

Reference

- [1] Arjmand, M., Najafian azar, M., & Heydar rihani, P. (2018). Laboratory investigation of the effect of micro silica on the compressive strength of concrete at different ages. *Science and Engineering Elite Magazine*, 3(6), 63-68
- [2] Dastoorian, R., & Wells, L. (2020). Gauge capability studies for high-density data: SPC phase 0. *Procedia Manufacturing*, 48, 105-113.
- [3] Burdick, R. K., Borrer, C. M., & Montgomery, D. C. (2003). A review of methods for measurement systems capability analysis. *Journal of Quality Technology*, 35(4), 342-354.
- [4] Taheri Ghahfarokhi, A. (2008). Optimizing the measurement system of Bandar Imam Petrochemical Central Laboratory through Gage R&R. *Iran's first petrochemical conference*, 10-15.
- [5] Montgomery, D. C. (2007). *Introduction to statistical quality control*. John Wiley & Sons.
- [6] Burdick, R. K., Borrer, C. M., & Montgomery, D. C. (2003). A review of methods for measurement systems capability analysis. *Journal of Quality Technology*, 35(4), 342-354.
- [7] Shi, L., Chen, W., & Lu, L. F. (2014). An approach for simple linear profile gauge R&R studies. *Discrete Dynamics in Nature and Society*, 2014.
- [8] Atashgar, K., Saffari, H., & Mabhoot, A. (2020). Monitoring the status of Covid-19 patients using the profile approach. *Iranian Journal of Surgery*, 28(4), 50-64.
- [9] Vargas, N. J. A. (2003). Robust estimation in multivariate control charts for individual observations. *Journal of Quality Technology*, 35(4), 367-37.
- [10] Atashgar, K. (2019). *Advanced statistical process control (simple linear profile monitoring)*. Malek Ashtar University of Technology.
- [11] Atashgar, K., & Roshandel, S. (2021). Monitoring the impact of ambient temperature on the covid 19 pandemic using profile analysis. *Razi Journal of Medical Sciences*, 28(5), 125-144.
- [12] Imai, N., Cori, A., Dorigatti, I., Baguelin, M., Donnelly, C. A., Riley, S., & Ferguson, N. M. (2020). Report 3: transmissibility of 2019-nCoV. *Imperial College London*, 625, 1-6.
- [13] Atashgar, K., & Abbassi, L. (2020). A new model to monitor very small effects of a polynomial profile. *International Journal of Quality & Reliability Management*.