



کاربرد روشهای آماری جهت کنترل کیفیت آسفالت گرم

امیر کاووسی¹، هادی نظر پور²، علیرضا خراشاهی³

1- دانشیار دانشگاه تربیت مدرس

2- مدیر کل دفتر نظارت و ارزیابی فناوری وزارت علوم، تحقیقات و فناوری

3- دانشجوی کارشناسی ارشد راه و ترابری دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران جنوب

kavussia@mail.modares.ac.ir
h_nazarpour@msrt.ir
alireza.khorashahi@gmail.com

خلاصه

کنترل کیفیت آسفالت تولیدی یکی از معیار مهم در خصوص افزایش طول عمر راهها می باشد. در روند فعلی کنترل کیفیت آسفالت در داخل مهندسی ناظر پروژهها با بررسی نتایج حاصل از انجام آزمایشات، ویژگیهای آسفالت را با مشخصه‌های طرح اختلاط و آیین‌نامه‌ها مطابقت می دهند. در این شیوه امکان مشاهده و تصمیم‌گیری عملکرد خط نحوه تولید جهت انجام فرآیند کنترل کیفیت آسفالت تولید شده، توسط تولید کننده یا پیمانکار وجود ندارد. در این مقاله، ارزیابی کیفیت آسفالت بر اساس بررسی دو عامل "عدم تغییر پذیری ویژگیها و اجزاء آسفالت تولید شده در طی زمان تولید" و "پایداری آماری و چگونگی پراکندگی داده‌ها نسبت به مقادیر شاخص" انجام می پذیرد. جهت بررسی عامل اول از روش آماری تحلیل تغییرات و برای بررسی عامل دوم از روش نمودارهای کنترل استفاده شده است. کاربرد روشهای آماری مذکور برای تحلیل عوامل موثر نشان می دهد که می توان جهت تصمیم‌گیری در خصوص کیفیت آسفالت قبل از پخش و یا حمل اظهار نظر نمود.

کلمات کلیدی: آسفالت گرم، کنترل کیفیت، تحلیل تغییر پذیری، تحلیل پایداری

1. مقدمه

تولید آسفالت با کیفیت مناسب از جمله وظایف اصلی پیمانکاران و تولید کنندگان می باشد [1] لذا دستیابی به شیوه‌ای مناسب جهت نمایش روند کیفی ویژگیهای آسفالت تولیدی در حین فرآیند تولید از اهمیت بالایی برخوردار است. امروزه در داخل کشور کیفیت آسفالت تولیدی تنها با بررسی نتایج آزمایشات توسط مهندسی ناظر طرح جهت بررسی انطباق ویژگیهای محصول با مشخصه‌ها انجام می گیرد و شیوه خاصی جهت بررسی روند کنترل کیفیت آسفالت تولید شده رایج نمی باشد.

وجود تغییرات در بین ویژگیهای محصولات از جمله عوامل اجتناب ناپذیر هر فرآیند تولید می باشد. تغییرات تا بیک حدی جزء فرآیند تولید بشمار می آیند. از آنجا که بر طرف نمودن اینگونه تغییرات از نظر اقتصادی چندان بصره نیست از آن صرف نظر می شود. در صورت خروج تغییرات از حدود مورد نظر، کیفیت محصول تحت تاثیر قابل توجهی قرار می گیرد که در این مرحله باید از روشهای مناسب جهت کنترل آن استفاده نمود. تغییرات موجود در ویژگیهای محصولات مربوط به دو گونه تغییرات میان هر ویژگی و تغییرات ویژگیها نسبت به مشخصه‌های استاندارد و پایداری آنها می باشند. در این تحقیق جهت بررسی تغییرپذیری، پایداری آماری و نمایش روند ایجاد تغییرات ویژگیهای آسفالت تولیدی از تحلیلهای آماری استفاده شده است.

2. معرفی فرآیند کنترل کیفیت

کنترل کیفیت ترکیبی از دو واژه کنترل و کیفیت می باشد. جهت فهم بهتر واژه کنترل کیفیت تعریف جداگانه واژگان کیفیت و کنترل الزامی است. واژه کیفیت به معنای "شایستگی جهت استفاده بخصوص و میزانی است که یک محصول، انتظار مصرف کننده خود را برآورده می سازد." و واژه کنترل به

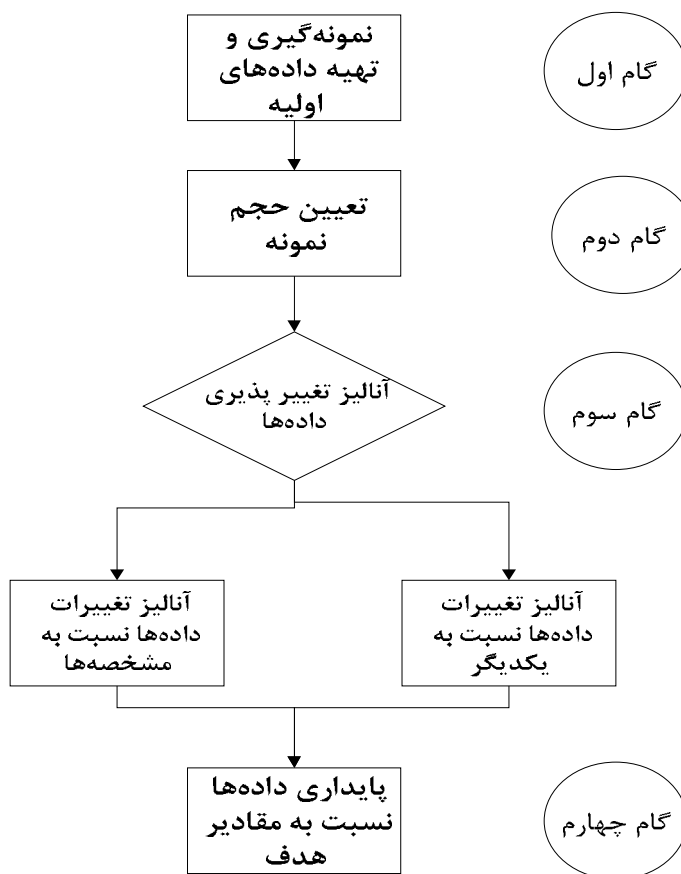


معنای "اعمال ضوابط و راهنمایی‌ها در مورد کسی یا چیزی جهت اطمینان از کسب نتایج مورد نظر می‌باشد." مفهوم کنترل کیفیت تعریف جداگانه دو واژه فوق را در بر می‌گیرد [2]. کنترل کیفیت در نگاه اول، در نظر بسیاری ناظران و صنعتگران، همان بازرسی جلوه می‌نماید، حال آنکه در واقع بازرسی بخشی از فرآیند کنترل کیفیت است.

برنامه و اجرای کنترل کیفیت در قالب طرح کنترل کیفیت ارائه می‌شود. طرح کنترل کیفیت در خصوص تولید آسفالت شامل فعالیتهایی نظیر بازرسی، نمونه‌گیری و آزمایشات می‌شود که توسط آنها می‌توان کیفیت پروژه را تحت کنترل قرار داد. همچنین در صورت خروج کیفیت پروژه از حدود مطلوب، می‌توان با راهکارهای مناسب و نیازمند زمانی کوتاه، جهت دخول کیفیت پروژه به حدود مطلوب استفاده نمود [3].

3. نحوه انجام مطالعات

جهت ارزیابی و کنترل کیفیت آسفالت تولید شده، تعیین ویژگی‌ها و مشخصه‌های مورد بررسی، نمونه‌گیری از آسفالت و انجام آزمایشات مربوطه ضروری می‌باشد. پس از تهیه داده‌ها می‌توان تحلیل‌های مورد نیاز را روی آنها انجام داده و در مورد کیفیت آسفالت تولید شده اظهار نظر نمود. با توجه به موارد مذکور گامهای فرآیند کنترل کیفیت آسفالت تولید شده در این تحقیق مطابق شکل (1) می‌باشد.



شکل 1- گامهای کنترل کیفیت آسفالت تولیدی

4. تهیه داده‌ها و تعیین حجم نمونه

در این مرحله، از آسفالت نمونه‌گیری شده و پس از انجام آزمایشات مقادیر درصد قیر نسبت به آسفالت، درصد فضای خالی آسفالت، درصد فضای خالی پر شده با قیر، درصد وزنی گذشته از الک شماره 8 الک شماره 200 نمونه‌ها به عنوان ویژگی‌های کیفی آسفالت مورد بررسی قرار می‌گیرند [4].



پس از تعیین داده‌های حاصل از آزمایشات کنترل کیفیت، مقادیر حجم نمونه¹ و انباشته² تعیین می‌گردد. منظور از انباشته معمولاً آسفالت تولید شده در یک بازه زمانی مشخص تولید (مانند یک یا چند روز، یک یا چند ماه و...) یا تناژ معینی از آسفالت تولید شده می‌باشد [5]. پس از تعیین انباشته، داده‌های برداشت شده به نمونه‌هایی مشخص تقسیم بندی شده و مورد بررسی قرار می‌گیرند.

5. تحلیل تغییرات داده‌ها

جهت بررسی تغییرات داده‌های ویژگی‌ها از روش تحلیل تغییرات³ استفاده شده است. روش تحلیل تغییرات از جمله روشهای آماری می‌باشد که می‌توان برای مقایسه میانگین‌های دو یا چند دسته یا جامعه از آن استفاده نمود. روش تحلیل تغییرات تکنیکی توانمند جهت تفسیر داده‌ها و مشاهدات چندین جامعه آماری یا دسته‌های مربوط به آنها می‌باشد. تغییرات میان جوامع یا دسته‌های آماری نشات گرفته از دو منبع زیر می‌باشد.

- تغییرات میان میانگین‌های احجام نمونه جامعه

- تغییرات میانگین هر کدام از احجام نمونه با میانگین کل جامعه (خطا)

نمونه‌برداری تصادفی یکی از پیش زمینه‌های این روش است. تعداد احجام دسته‌های (یا دسته‌های هم رفتار) داده‌های هر جامعه می‌تواند از 2 تا n دسته متغیر باشد که احجام هر کدام از این دسته‌ها با n_1 تا n_k نشان داده می‌شود [6]. در تحلیل نتایج، مشاهدات متشکل از چند جزء می‌باشد. این اجزاء شامل میانگین کلی⁴ جامعه، انحراف مربوط به هر دسته⁵ و مانده⁶ است که مطابق رابطه (1) هر کدام از داده‌ها را می‌توان به این اجزاء تجزیه نمود [6].

رابطه 1- $(\text{مانده‌ها}) + (\text{انحراف مربوط به دسته}) + (\text{میانگین کلی جامعه}) = \text{مشاهدات}$

مجموع مقادیر مربعات جمله دوم رابطه (1) که نشان دهنده خطای میانگین هر دسته نسبت به میانگین کل جامعه می‌باشد با نام SS_T شناخته می‌شود. میزان انحراف داده‌های هر دسته نسبت میانگین آن دسته با نام مانده شناخته می‌شود. خطای حاصل از مانده‌ها که حاصل جمع مربعات مانده‌ها است، SSE ⁸ نام دارد. جدول (1) نمایش دهنده جملات مختلف رابطه (1) می‌باشد. این جدول، جدول تحلیل تغییرات⁹ یا جدول آنوا¹⁰ نامیده می‌شود.

جدول 1- جدول آنوا برای مقایسه دسته‌ها [6]

منبع	جمع مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات
انحراف دسته‌ها	$\sum_{i=1}^k (\bar{y}_i - \bar{y})^2$	$d. f = k - 1$	$MS_T = \frac{SS_T}{k-1}$
مانده‌ای	$\sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^{n_i} (y_{ij} - \bar{y}_i)^2$	$d. f = \sum_{i=1}^k n_i - k$	$MSE = \frac{SSE}{d. f = \sum_{i=1}^k n_i - k}$
مجموع	$\sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^{n_i} (y_{ij} - \bar{y})^2$	$\sum_{i=1}^k n_i - 1$	-

در این جدول y_{ij} آمین مشاهده از i ام دسته و \bar{y}_i میانگین دسته i ام می‌باشد. توسط آزمون F می‌توان به وجود تفاوت قابل توجه میان میانگین‌های k دسته یک جامعه آماری (μ) پی برد. در این آزمون، فرضیه صفر عدم وجود تفاوت قابل توجه میان میانگینهای k دسته جامعه آماری است که بصورت زیر نشان داده می‌شود. میزان توزیع F مطابق رابطه (2) محاسبه می‌گردد.

$$H_0: \mu_1 = \mu_2 = \dots = \mu_k \quad \text{فرضیه صفر}$$

$$F = \frac{SS_T / (k-1)}{SSE / \sum_{i=1}^k (n_i - 1)} \quad \text{رابطه 2-}$$

در مرحله بعد مقادیر حاصل از رابطه (2) با مقدار استخراج شده از جدول توزیع F با درجه آزادی‌های $v_1 = k - 1$ و $v_2 = n - k$ مقایسه می‌شود. در صورتی که مقدار F حاصل از رابطه (2) بزرگتر از F جدول باشد فرض صفر رد شده و نتیجه می‌گردد که تفاوت معنی دار میان دسته‌ها وجود دارد.

¹ Sample size (n)

² Lot

³ Analyze of Variance (ANOVA)

⁴ Grand mean

⁵ Deviation due to treatment

⁶ Residual

⁷ Treatment Sum of Squares

⁸ Error Sum of Squares

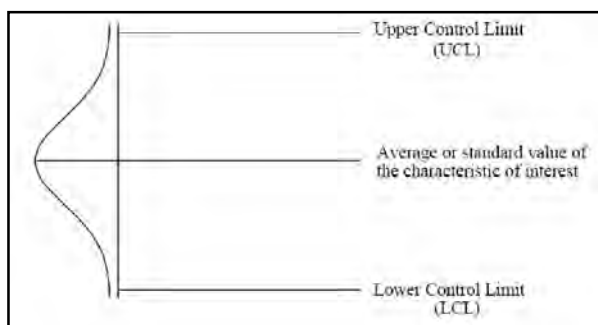
⁹ Analysis if variance table

¹⁰ ANOVA table



6. تحلیل پایداری داده‌ها

جهت بررسی پایداری داده‌های حاصل از نتایج آزمایشات، از نمودارهای کنترل کیفیت آماری استفاده شده است. نمودارهای کنترل دارای انواع مختلفی می‌باشند و برای محاسبه هر کدام از آنها روابطی مختص به خود وجود دارد. هر کدام از نمودارهای کنترل برای بررسی داده‌ها و خلاصه‌های آماری مخصوصی مورد استفاده قرار می‌گیرد [7 و 8 و 9]. در این تحقیق از نمودارهای کنترل میانگین استفاده شده است. نمودار پیش فرض اولیه برای ترسیم این نمودار توزیع نرمال داده‌ها می‌باشد [10]. در شکل (2) خط مرکزی، تخمینی از مقدار میانگین جامعه (μ)، میانگین نمونه‌ها تصادفی (\bar{X})، انحراف معیار یا سایر خلاصه‌های آماری جامعه می‌باشد [11]. نمودار کنترل \bar{X} (میانگین) برای بررسی پایداری میانگین داده‌ها و تغییرات آنها حول مقادیر هدف می‌باشد. \bar{R} و \bar{X} ، R و \bar{R} بترتیب معرف میانگین داده‌ها، دامنه تغییرات (اختلاف بزرگترین داده و کوچکترین داده) و میانگین کل دامنه‌های تغییرات دسته‌ها می‌باشند. مقادیر حد مرکزی، حد بالا و حد پایین توسط روابط موجود در جدول (2) محاسبه می‌گردند. n در جدول (2) معرف تعداد دسته‌ها می‌باشد.



شکل 2- شکل کلی نمودار کنترل [11]

جدول 2- نحوه محاسبه مقادیر حد مرکزی، حد بالا و حد پایین در نمودار کنترل \bar{X} [12]

نمودار کنترل \bar{X}
$\bar{X} = \sum_{i=1}^n \bar{X}_i/n$ و $\bar{R} = \sum_{i=1}^n R_i/n$
$UCL_{\bar{X}} = \bar{X} + A_2 \bar{R}$
$LCL_{\bar{X}} = \bar{X} - A_2 \bar{R}$

7. مطالعه موردی

جهت انجام مطالعات موردی از مقادیر ویژگی‌های مختلف آسفالت تولیدی کارخانه "های وی" برای قشر آستر در ماههای بهمن و اسفند سال 1385 استفاده شده است [13]. انباشته مورد نظر بر اساس بازه زمانی تولید 6 ماهه دوم کاری کارخانه می‌باشد. نمونه‌های برداشته شده از پشت قسمت بار کامیون در هنگام تخلیه آن در دستگاه فینیشر برداشته شده است. از آنجاییکه نمونه برداری‌ها چندان تابع زمان نبوده است لذا جهت تعیین حجم نمونه از روش آماری کوکران استفاده شده است. بر اساس این روش، حجم نمونه توسط رابطه (2) محاسبه می‌گردد [14]:

$$n = \frac{n_0}{1 + \frac{n_0 - 1}{N}}, \quad n_0 = \left(\frac{tS}{r\bar{Y}} \right)^2 \quad \text{رابطه 2-}$$

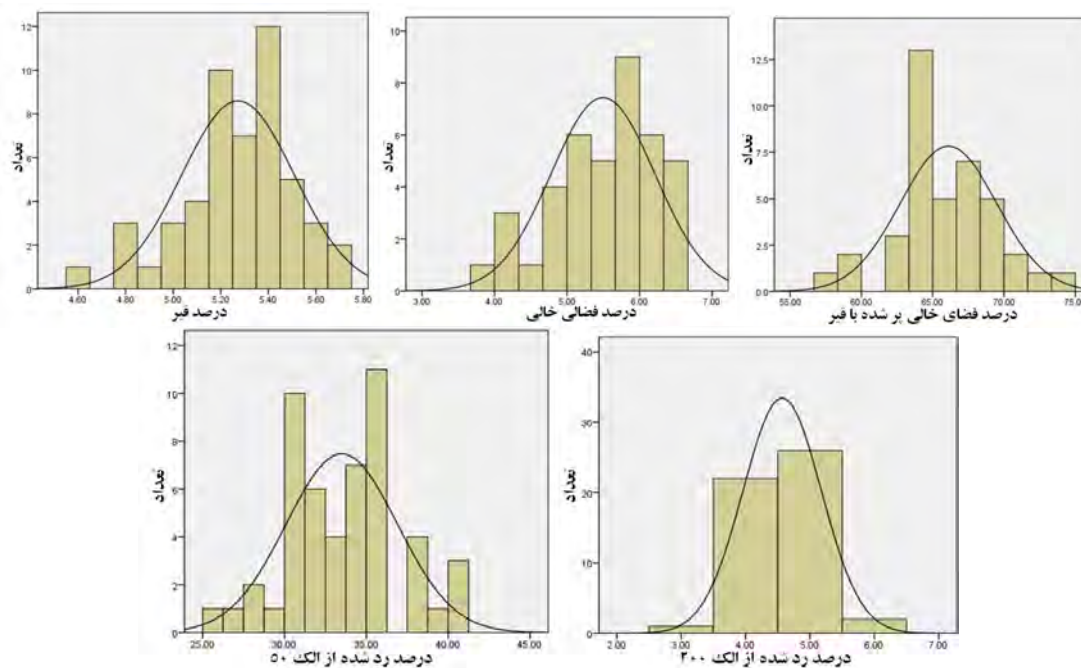
که در این رابطه N حجم جامعه آماری، S انحراف معیار جامعه آماری، \bar{Y} میانگین جامعه، t طول منحنی نرمال و Γ خطای نسبی میانگین دسته‌ها نسبت به میانگین جامعه می‌باشد. جهت محاسبه حجم نمونه از خطای 5٪ برای پارامترهای t و Γ استفاده شد که در نتیجه Γ برابر 0.05 و t برابر 1.96 می‌شود. با توجه به وجود مقادیر مختلف ویژگی‌های هر برگه حجم نمونه برای تمامی ویژگی‌ها محاسبه شد و در نهایت میانگین n های محاسبه شده در نظر گرفته شده که برابر 5 بدست آمد. خلاصه‌های آماری ویژگی‌ها در جدول (3) نشان داده شده است. جهت نمایش تغییرات موجود میان دسته از هیستوگرام به همراه نمودار توزیع نرمال داده‌ها استفاده شده است. هیستوگرام ویژگی‌ها مطابق شکل (3) می‌باشد.



جدول 3- خلاصه‌های آماری ویژگی‌ها

کشیدگی	چولگی	واریانس	انحراف معیار	میانگین	دامنه	مینیمم	ماکزیمم	N	
0.486	-0.647	0.056	0.237	5.27	1.1	4.6	5.7	51	درصد قیر
-0.346	-0.563	0.512	0.715	5.5	2.8	3.80	6.6	40	درصد فضای خالی آسفالت
0.695	-0.181	11.579	3.403	66.1	17	57	74	40	درصد فضای پر شده با قیر
-0.356	0.002	11.590	3.404	33.5	14	26	40	51	درصد رد شده از الک 8
-0.284	0.004	0.370	0.608	4.57	3	3	6	51	درصد رد شده از الک 200

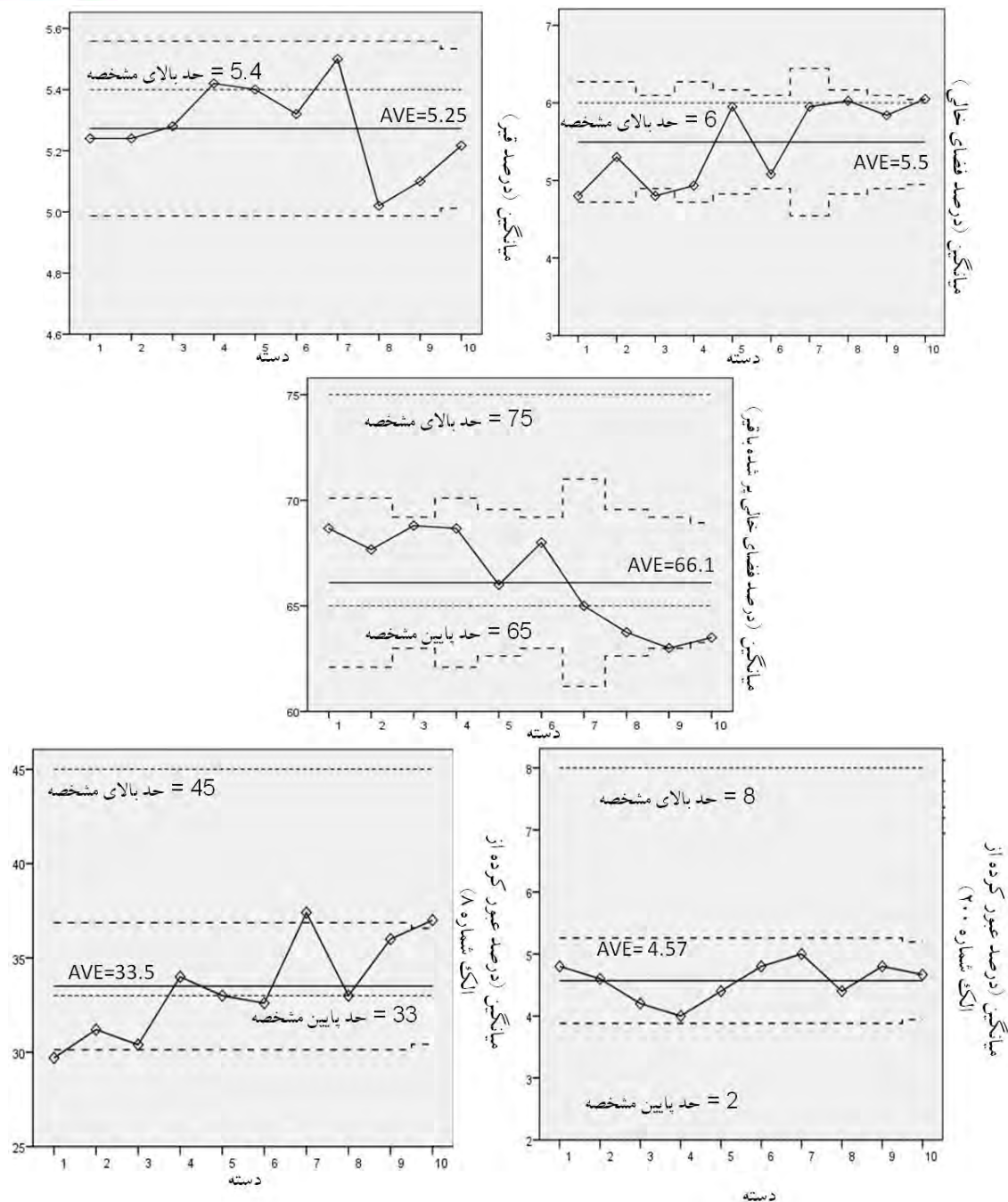
دسته‌بندی داده‌ها بر اساس حجم نمونه میانگین محاسبه شده توسط رابطه (2) انجام شده است. جهت بررسی معنا دار بودن تفاوت میان دسته‌ها از روش تحلیل تغییرات استفاده شده که نتایج آن مطابق جدول (4) می‌باشد. لازم به ذکر سطح اهمیت در این تحلیل 95 درصد در نظر گرفته شده است. در گام بعدی وجود تفاوت میانگین کلی مقادیر ویژگی‌ها با مشخصه‌ها استاندارد کنترل می‌گردد. با توجه طرح اختلاط پایه کارخانه مقادیر درصد قیر نسبت به آسفالت برابر 5 درصد می‌باشد. بازه‌های درصد فضای خالی آسفالت، درصد فضای خالی پر شده با قیر و درصد رد شده برای الکهای شماره 8 و 200 برترتیب برابر (6,3)، (65,75)، (33,45) و (2,8) می‌باشد [16]. حدود رواداری برای قشر آستر (بندر) در درصد قیر نسبت به آسفالت برابر 0.4 درصد می‌باشد [15] لذا تمامی میانگینها در محدوده مجاز آیین نامه‌ای قرار گرفته‌اند. نمودارهای کنترل هر کدام از ویژگی‌ها مطابق شکل (4) می‌باشند. لازم به ذکر است خط چین ریز و درشت در نمودارهای کنترل بترتیب نشان دهنده حدود آیین نامه‌ای مشخصه و حدود آماری می‌باشند.



شکل 3- هیستوگرام تغییرات داده‌های ویژگی‌های آسفالت

جدول 4- نتایج تحلیل تغییرات (ANOVA) بر روی دسته‌ها

معنی داری تفاوت	p-value	F توزیع	
معنی دار	0.03	2.364	درصد قیر
معنی دار	0.003	3.771	درصد فضای خالی آسفالت
معنی دار	0.011	3.017	درصد فضای پر شده با قیر
معنی دار	0.00	6.255	درصد رد شده از الک 8
بی معنی	0.215	1.411	درصد رد شده از الک 200



شکل 4- نمودارهای کنترل میانگین ویژگی‌ها

8. تحلیل نتایج

وجود تغییرات و ناپایداری آنها حول مشخصه‌های مطلوب برای ویژگی‌های آسفالت تولیدی از عوامل مهم کاهش کیفیت آن می‌باشد. در این تحقیق تغییرات موجود در ویژگی‌ها و همچنین پایداری آنها حول مشخصه‌های مطلوب مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج حاصل از این تحلیل‌ها بر روی داده‌های مطالعه موردی به شرح زیر می‌باشد.

- درصد قیر: مطابق با جدول (4) تغییرات معنی دار در بین دسته‌ها دیده می‌شود. اختلاف قابل توجه میانگینهای دسته‌های 7 و 8 در نمودار کنترل دیده می‌شود. مطابق با نمودار کنترل درصد در شکل (4) با گذر زمان میزان قیر اضافه شده به مخلوط افزایش یافته است و در دسته‌های 4 و 5 این میزان از حدود مشخصه خارج شده است (حال آنکه کماکان از نظر آماری پایدار می‌باشد) با این وجود پیمانکار چندان



بدان توجه نکرده‌اند و در نهایت در دسته 7 به حداکثر مقدار خود رسیده است. پس از دسته 7 پیمانکار اقدام به اصلاح میزان قیر نموده که در دسته 8 آنرا تحت کنترل درآورده است. روند صعودی درصد قیر از دسته 8 به بعد نشانگر عملکرد نامناسب و انجام بازرسی‌های پمپ قیر می‌باشد.

- درصد فضای خالی آسفالت: اگر چه در میان دسته‌های مختلف این ویژگی تغییرات معنی‌دار وجود دارد اما روند زیکزایی عملکردی پیمانکار نشان دهنده کنترل نسبتاً مناسب این ویژگی می‌باشد. با این حال تغییرات موجود در بین داده‌های این ویژگی با عث خروج از حدود مشخصه برخی از دست‌ها شده است.
- درصد فضای خالی پر شده با قیر: وجود تغییرات و همچنین سیر نزولی مقادیر میانگین دسته‌های این ویژگی (بجز در دسته‌های 4 تا 6) بیانگر عملکرد نامناسب پیمانکار در زمینه کنترل این ویژگی می‌باشد.
- درصد گذشته از الک شماره 8: عملکرد کارخانه در مورد این ویژگی نیز مشابه ویژگی قبلی می‌باشد با این تفاوت که پیمانکار در ابتدا نتوانسته مقادیر این ویژگی تا تحت کنترل بگیرد لذا با انجام اصلاحات تلاش نموده است تا این ویژگی را تحت کنترل در آورد که در این زمینه نیز عملکرد پیمانکار نسبتاً مناسب نیست.
- درصد گذشته از الک شماره 200: عدم وجود تغییرات و همچنین شکل زیکزایی نمودار کنترل و قرار گیری مقادیر میانگین‌ها در بین حدود آماری و حدود مشخصه نشان دهنده عملکرد مناسب پیمانکار در این زمینه می‌باشد.

9. نتیجه گیری

تحلیل پایداری و تحلیل تغییرات ابزاری مفید جهت کنترل کیفیت ویژگی‌های مختلف آسفالت تولید برای پیمانکاران شده می‌باشند. با توجه نتایج توصیه می‌شود که از ایندو ابزار بطور همزمان استفاده گردد. این روشها این امکان را به پیمانکاران یا تولید کنندگان می‌دهند که روند ویژگی‌های آسفالت تولید شده خود را کنترل نموده و در صورت وجود اختلال در امر تولید یا خروج از کیفیت محصول، از آن مطلع گردیده و دوباره خط تولید خود را به وضعیت مطلوب هدایت نمایند.

10. تشکر و قدردانی

در اینجا لازم است به دلیل همکاری‌های بی‌دریغ و صمیمانه مدیران و کارشناسان محترم شرکت "مهندسی مشاور تدبیر فرود راه" در زمینه ارائه داده‌های اولیه و اطلاعات مورد نیاز این تحقیق تشکر و قدردانی شود.

11. منابع و ماخذ

1. AASHTO, (2007), "Standard Recommended Practice for Acceptance Sampling Plans for Highway Construction" American Association of State Highway and Transportation Officials, Washington, D.C., USA.
2. نقندریان، ک، (1387)، "کنترل کیفیت آماری"، مرکز انتشارات دانشگاه علم و صنعت ایران. تهران، ایران
3. State of California Department of Transportation, (2002), "Quality Control and Quality Assurance Manual", California, USA.
4. Akkinepally, R and Attoh-Okine, N., (2006), "Quality Control and Quality Assurance of Hot Mix Asphalt Construction in Delaware", Department of Civil and Environmental Engineering University of Delaware, USA.
5. Schmitt, R.L., (1998), "Development of Statistically-Base Methods for Determine QC/QA Testing Levels for Hot-Mix Asphalt Constructions", University of Wisconsin-Madison, USA.



6. Johnson, R.A and Bhattacharyya, G.K, (1996), "*Statistics Principle and Methods*", Third Edition, University of Wisconsin-Madison, John Wiley and Sons Inc, USA.
7. Montgomery D. C., (1997), "*Introduction to Statistical Quality Control*", 3rd edition. New York: Wiley.
8. Gitlow H., Gitlow S., Oppenheim A., (1989), "*Oppenheim R. Tools and Methods for the Improvement of Quality*", Homewood, IL: Irwin.
9. Banks J., (1981), "*Principles of Quality Control*", New York: Wiley, USA.
10. Moameni, A and Zinck, J. A. "*Application of Statistical Quality Control Charts and Geo statistics to Soil Quality Assessment in a Semi-Arid Environment of South-Central Iran*", International Institute for Aerospace Survey and Earth Sciences (ITC), Enschede, Netherland.
11. Ryan, T., (1989), "*Statistical methods for quality improvement*", John Wiley & Sons Inc., USA.
12. J. Reed, Stephanie @ all, "*The Use of Statistical Quality Control Charts in Monitoring Interviewers*", USA.
۱۳. مهندسین مشاور تدبیر فرود راه، (1386)، "برگه‌های آزمایش آسفالت طرح نظارت عملیات آسفالت شهر تهران (کارخانه های‌وی)"، کارفرما: سازمان مهندسی و عمران شهر تهران، تهران، ایران.
14. کوکران، وج، ترجمه صالح اردستانی، ع و سعدی، م، (1385)، "تکنیکهای نمونه‌گیری"، انتشارات نشر اتحاد، ایران.
۱۵. سازمان مدیریت و برنامه ریزی کشور، معاونت امور فنی، دفتر امور فنی و تدوین معیارها، (1381)، "آیین نامه روسازی آسفالتی راههای ایران (نشریه 234)"، وزارت راه و ترابری، ایران.
16. سازمان مشاور فنی و مهندسی شهر تهران، (1385)، "گزارش طرح اختلاط بیندر کارخانه آسفالت شرکت های‌وی"، مرکز مطالعات ژئوتکنیک و مقاومت مصالح، ایران.