



ÇANAKKALE KALE SERAMİK İŞLETMESİ KARO ÜRETİMİNDE \bar{x} -S, CUSUM VE EWMA KALİTE KONTROL GRAFİKLERİNİN UYGULANMASI

Betül Canan TÜRKMEN* İbrahim Zeki AKYURT†

Öz

Çağımızda ülkeler arasındaki rekabet savaşının arkasında kalite yönetimi yatmakta ve bunu en iyi başarabilen ülke ekonomik açıdan lider koltuğuna oturmaktadır. Küresel rekabet ortamı ile işletmelerin ürün veya hizmet piyasasında var olmasında kalite kavramı çok fazla önem kazanmıştır. Bu çalışmanın amacı seramik karo ürününe ait kalite seviyelerini arttırmaya yönelik kalite araçlarından kontrol grafiklerinin kullanımını örneklemektir. Çalışmanın uygulama kısmında, Kale Seramik'ten en çok üretilen seramik karolara ait ağırlık değerlerini içeren veri alınmıştır. Alınan verinin kontrol altında olup olmadığını anlamak için \bar{x} -S, Cusum ve Ewma kalite kontrol grafikleri oluşturulmuştur. Hedeflenen kalite düzeyini tespit etmek amacıyla oluşturulan \bar{x} -S, Cusum ve Ewma kalite kontrol grafikleri aralarındaki farklılıklar sunulmuştur.‡

Anahtar Kelimeler: Kalite, İstatistiksel Kalite Kontrol, Kalite Kontrol Grafikleri, \bar{x} -S, Cusum, Ewma.

APPLICATION OF \bar{x} -S, CUSUM AND EWMA QUALITY CONTROL CHARTS ON A ÇANAKKALE KALE SERAMİK CERAMIC TILE MANUFACTURING OPERATION

Abstract

By the time quality control and quality guarantee lie down behind the competition war between countries and the best succeed country comes a leader in the aspect of economy. Because of global competition, the concept quality has gained much importance for the businesses to exist in the product or service market. The aim of this study is to sample the use of control charts which are the quality tools for increasing the levels of ceramic tile product. In the application section of this study, the data including the weight values of the most produced ceramic tile from Kale Seramik were taken. \bar{x} -S, Cusum and Ewma quality control charts were created to understand whether the obtained data was under control. Differences between \bar{x} -S, Cusum and Ewma quality control charts were introduced to determine the targeted quality level.

Keywords: Quality, Statistical Quality Control, Quality Control Charts, \bar{x} -S, Cusum, Ewma.

GİRİŞ

Günümüzde teknik ve ekonomik alandaki gelişmelerin üretimden tüketime kadar her aşamada meydana getirdiği değişimler, ürün kalitesinin önemini daha da artırdığı gibi çok sayıda kalite sorununu da beraberinde getirmiştir. Kalite kavramı birçok ürün tasarımcısını, mühendisi, girişimciyi, yöneticiyi, üreticiyi ve tüketiciyi ilgilendiren başlıca konulardan biri haline gelmiştir. İnsanlar yıllar boyunca farkında olarak veya olmadan, kalite kavramının gelişmesine, günümüzdeki kalite anlayışının şekillenmesine katkıda bulunmuşlardır.

Kalitenin muayeneye dayalı olarak sağlanmaya çalışılmasının zorluğundan dolayı kalite, üretimle ilgili bilimsel çalışmalar sonucunda özellikle Walter A. Shewart'ın kalite kontrol

* Yüksek Lisans Öğrencisi, İstanbul Üniversitesi, İşletme Fakültesi, İşletme Bölümü, Üretim Anabilim Dalı, bcturkmen@gmail.com

† Dr. Öğretim Üyesi, İstanbul Üniversitesi, İşletme Fakültesi, İşletme Bölümü, Üretim Anabilimi Dalı, akyurt@istanbul.edu.tr

‡ Bu makalenin uygulama aşamasındaki verilere ulaşmanı sağlayan Çanakkale Kale Seramik A.Ş. İnsan Kaynakları Müdürü Kadir Haliloğlu'na ve mühendis Doğan Kurt'a teşekkür ederiz.



grafikleri uygulaması ile- istatistiksel kalite kontrol anlayışı olarak değerlendirilen bir döneme geçiş yapmıştır. Kalite kontrol grafikleri ve istatistiksel kalite kontrol grafikleri kullanımı sayesinde üretimle ilgili süreçlerin iyileştirilmesi ve kalitenin artırılması kolaylaştırılmıştır. Üretim sürecine bağlı değişkenlikler daha iyi gözlemlenebilir hale gelmiş ve üretimin kontrolü noktasında önlem alınması kolaylaşmıştır.

Minimum malzeme ve işçilikle en yüksek kalite düzeyinde ve büyük miktarlarda üretimi zorunlu kılan üretimle ilgili istatistiğin kalite kontrolünde geniş uygulama olanakları bulması, II. Dünya Savaşı yıllarında gerçekleşmiştir. II. Dünya Savaşı ortamından kaynaklanan çeşitli ihtiyaçlar, üretimle ilgili kalite kontrolde, kontrol grafiklerinin ve örnekleme ile yapılan kabul testlerinin geniş çapta kullanılmasını gündeme getirmiştir. Savaşın sonra her alanda büyük bir hızla gelişen endüstri, aynı trendin günümüze kadar sürmesini sağlamıştır.

Kalite kontrol grafikleri, belirli bir mal grubunun önceden belirlenen kalite sınırlarında gösterdiği değişim durumunun ölçülmesi amacıyla hazırlanan grafiklerdir. Bu grafikler yardımıyla, ortaya çıkan değişikliklerin en yüksek ve en düşük sınırları belirlenir. Kalite değişikliklerinin her zaman bu sınırlar içinde kalması ve diğer nedenler ile ortaya çıkan değişikliklerin ortadan kaldırılması sağlanır.

Bu çalışmaya dair uygulama kapsamında, \bar{x} -S, Cusum ve Ewma kalite kontrol grafikleri dikkate alınmıştır. Konuyla ilgili yapılan literatür taramasında farklı alan ve farklı yöntemler ile bu kontrol grafikleri kullanıldığı görülmüştür. Wu vd. (2008), örneklem ortalamasının kayması olan ek bir grafikleme parametresiyle ilgili olarak Cusum grafiğinin yeni bir özelliğini incelemiştir. Cusum grafiğinin performansını arttırmayı amaçlamışlardır. Nenes (2011), Shewart, Cusum ve Ewma kontrol grafiklerinin maliyetini düşürerek optimallığı sağlamak amacıyla değişken parametreleri sabitlemeye yönelik bir çalışma sunmuştur. Han vd. (2010), hastalık belirtileri tespitinde performansı arttırmak için poisson dağılımına sahip gözlemleri geçici istatistiksel tarama, Cusum ve Ewma kontrol grafikleri ile incelemiştir. Riaz vd. (2010), Cusum grafikleri için iki çalıştırma kuralı içeren grafik önermişlerdir. Önerilen şemaların küçük ve orta düzey değişiklikler için daha iyi performans gösterdiğini belirtmişlerdir. Huwang vd. (2010), dağılımdaki artma ve azalmaları tespit etmek için iki adet tek taraflı Ewma grafiği ve dağılımı izlemek için çift taraflı Ewma grafiği önermişlerdir. Dağılımdaki azalmaları saptamak için çift taraflı Ewma grafiğinin belirgin şekilde daha iyi performans gösterdiğini belirtmişlerdir. Ryu vd. (2010), bilgi eksikliğini göstermek için ortalama kayma boyutuna bir olasılık dağılımı belirlemişlerdir. CUSUM şemasını optimal olarak tasarlamak için ortalama çalışma süresi (ARL) temelli, beklenen ağırlıklandırılmış çalışma süresi (EWRL) olarak adlandırılan bir performans ölçütü kullanmışlardır. Sayısal sonuçlar da EWRL açısından Cusum temelli grafiklerin geliştirilebileceğini göstermiştir. Patel ve Divecha (2011) süreçteki değişimleri ve hataları daha etkili tespit edebilmek için normal dağılım varsayımı altında Markov Zinciri yaklaşımından faydalanarak değiştirilmiş bir Ewma kalite kontrol grafiği önerisinde bulunmuşlardır. Abbas vd. (2012), süreç ortalamasındaki bir kaymayı saptamak için karma Cusum Ewma kalite kontrol grafiğini önermişler ve ortalama çalışma süresini değerlendirmişlerdir. Abbas vd. (2012), prosesteki dağılımı incelemek için yeni bir bellek tipi kontrol grafiği önermiş ve üstel ağırlıklandırılmış hareketli ortalamaların kümülatif toplamına dayandığı için grafiği CS-EWMA olarak adlandırmışlardır. Süreçteki dağılımı izlemek için, ortalama çalışma süresi vasıtasıyla diğer bellek grafikleri ile karşılaştırmalar yapmışlardır. Abbasi vd. (2012), kontrol grafiklerinin duyarlılığını artıran bir Cusum kalite kontrol grafiği modeli ile Shewart, Ewma, standart Cusum ve Comb kontrol grafiklerini kıyaslayan bir çalışma sunmuştur. Yang vd. (2012), bir değişkene ait ortalama ve



varyans değişimini izlemek için uygun kontrol grafiği seçimi için Shewart ve Cusum kalite kontrol grafiği türlerini kıyaslamışlardır. Maravelakis (2012), ölçüm hatalarının Cusum ve Ewma kalite kontrol grafikleri üzerindeki etkisini incelemiştir. Ou vd. (2012), Shewart, Cusum ve SPRT (Sıralı Aralık Oranı Testi) olmak üzere kontrol grafiklerini sınıflandırarak kontrol grafiklerinin duyarlılığını ve verimliliğini ölçen PCI (Performans Karşılaştırma İndeksi) içeren bir çalışma yapmışlardır. Ertuğrul ve Özçil (2013), ürün veya hizmetlerin kalite seviyelerini arttırmaya yönelik kalite araçlarından Shewart, Cusum ve Ewma kalite kontrol grafiklerini kullanmış ve aralarındaki farkları göstermişlerdir. Zaman vd. (2014), bir prosesin yerini izlemek için karma Cusum Ewma olarak adlandırılan yeni bir kontrol şeması önermişlerdir. Önerilen karma Cusum-Ewma kalite kontrol grafiğinin performansını, ortalama çalışma süresi, göreceli çalışma süresi ve performans karşılaştırma indeksi çalışması ile ölçmüşlerdir. Henning vd. (2015), süreç ortalamasındaki büyük kaymalardaki ikili veri setleri için, tekli Shewart ve Cusum kontrol grafikleri ile birleştirilmiş Shewart-Cusum grafiğinin performansını karşılaştırmışlardır. Karşılaştırmada, ARL (Ortalama Çalışma Süresi) ölçümlerini analiz ederek gerçekleştirilmiş ve birleştirilmiş kontrol grafiklerinin ARL'si Monte Carlo simülasyonu ile tanımlanmıştır. Birleştirilmiş grafiklerin Cusum grafiğinin duyarlılığını arttırdığı sonucuna ulaşmışlardır. Ajadi vd. (2015), hızlı ilk tepki (FIR) ve üst kontrol limitinin üzerinde kalan ardışık üç noktadan ikisinde bir çalışma kuralı özelliklerine sahip karma Ewma Cusum (MCE) grafiği geliştirmişlerdir ve çalışma uzunluğu özelliklerini araştırmışlardır. Demir ve Mirtağoğlu (2016), veri setine önce Shewart daha sonra Cusum ve Ewma kalite kontrol grafiklerini uygulamıştır. Bu sayede süreç hakkında bilgi edinilmiş, geçici kontrol sınırları belirlenmiş, genel ortalamadan sapmalar tespit edilmiş ve üretim süreci için ileriye dönük tahminler yapmışlardır. Ajadi ve Riaz (2016), tasarım ayarlarının karışık bir versiyonunu kullanarak iki yeni çok değişkenli kontrol grafiği önermişlerdir. Önerilen tabloların grafik çizimi, çok değişkenli üstel ağırlıklandırılmış hareketli ortalamaların kümülatif toplamına dayanmaktadır. Grafiklerin performansı ortalama çalışma süresi açısından değerlendirilmiştir. Aslam (2016), Weibull dağılımlı (olasılık yoğunluk fonksiyonu) kalite özellikleri için bir karma Cusum Ewma kalite kontrol grafiği tasarlamıştır. Weibull dağılımını şekil ve ölçek parametrelerinin esnek seçimi nedeniyle arıza mekanizmasını modellemede kullanılan en popüler dağılımlardan biri olduğu için kullanılmıştır. Zaman vd. (2016), ürün karakteristiğindeki özel nedenli değişimleri ölçmek için karma Cusum Ewma (MCE) kalite kontrol grafiğini önermiş ve önerilen MCE grafiği ile diğer mevcut kontrol grafikleri ve onların bazı değişiklikleriyle karşılaştırma yapmışlardır.

İstatistiksel Kalite Kontrol (İKK); ürün kalitesini ölçmek, yorumlamak ve sonunda kontrol etmek için istatistiksel teknikleri kullanan bir yöntemdir. İstatistiksel Kalite Kontrol, doğrudan problemin altında yatan nedenin tanımlanması ve sonunda ortadan kaldırılmasına yöneliktir. Böylelikle İKK'nin odağı hem kalitenin hem de üretimin geliştirilmesidir.

Bu çalışmada istatistiksel kalite kontrol grafiklerinden \bar{x} -S, Cusum ve Ewma kalite kontrol grafikleri incelenmiştir. Bu grafik yöntemlerin tanıtımı, uygulanması ve sonuçlarının yorumlanması; Kale Seramikten elde edilen seramik karoların presleme sonrası ham ağırlıklarının içeren veriler ile gösterilmiştir.

Çalışmanın sonuç bölümünde ise yapılan uygulamaya ait kontrol grafiği seçim önerisinde bulunmuş ve kullanılan kontrol grafiği türleri analiz edilmiştir. İşletme yapısına uygun olabilecek kontrol grafiği farklılıkları ve uygulama kapsamındaki işletmenin kullanımına uygun Ewma kalite kontrol grafiği önerisi sunulmuştur.



1. ÇALIŞMANIN YÖNTEMİ

İstatistiksel kalite kontrol teknikleri ürün kalitesini geliştirmek ve süreçleri izlemek için endüstride yaygın şekilde kullanılmaktadır. Çeşitli kontrol grafikleri de süreç içerisindeki değişkenleri izlemek ve ürünlerin kalitesini düşüren kontrol dışı durumları tespit etmek için geliştirilmiştir (Noorossana and Vaghefi, 2006: 191). Bu çalışmada kullanılan kalite kontrol grafiği türleri şunlardır; \bar{x} - S , Cusum, Ewma.

1.1. \bar{x} - S Kalite Kontrol Grafikleri

Ortalama (\bar{x}) kontrol diyagramları; örnek ortalamalarının istenilen ortalamaya ya da genel ortalamaya göre nasıl karşılaştırılacağını gösterir. Değişim aralığı (R) kontrol diyagramları; örnek içindeki tekli gözlemlerin farklılığını belirler. Standart sapma (S) kontrol diyagramları; Örnek standart sapmalarının ortalamaları ile ilişkili olduğu için bu diyagramları alt örnek dağılımlarının değişimini belirler. Uygulamalarda yaygın olarak \bar{x} - R veya \bar{x} - S kontrol grafikleri kullanılır. Bunun nedeni ise örnek ortalamaları aynı olsa bile standart sapmalar veya değişim aralıkları büyük olursa süreç kontrol dışı olabilir (Demir ve Mirtağoğlu, 2016: 256).

\bar{x} ve R kontrol grafikleri en çok kullanılan kontrol grafikleri olsa da, $n \geq 10$ olduğu durumda değişim aralığının etkinliği ve güvenilirliği azaldığından dolayı R kontrol diyagramı yerine S kontrol diyagramı kullanılır. S kontrol diyagramı, $n < 10$ olduğu durumda da kullanılabilir. Ancak hesaplama kolaylığı bakımından R diyagramı tercih edilmektedir.

Her biri n adet gözlemden oluşan m adet örneğin standart sapması S_1, S_2, \dots, S_m şeklinde gösterilirse m adet standart sapmanın ortalaması,

$$\bar{S} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m S_i = \frac{S_1 + S_2 + \dots + S_m}{m} \quad (1)$$

eşitliği ile ve örnek standart sapmaları ise,

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \quad (2)$$

eşitliği ile ifade edilir.

Buna göre S diyagramının kontrol sınırları,

$$\text{ÜKS} = B_4 \bar{S} \quad (3)$$

$$OÇ = \bar{S} \quad (4)$$

$$\text{AKS} = B_3 \bar{S} \quad (5)$$

şeklinde düzenlenir. B_3 ve B_4 katsayıları örnek hacimlerine göre değişim göstermekte

$$B_3 = 1 - \frac{3}{C_4} \sqrt{1 - C_4^2} \quad (6)$$

$$B_4 = 1 + \frac{3}{C_4} \sqrt{1 - C_4^2} \quad (7)$$



eşitlikleri ile hesaplanmaktadır. Örnek hacimlerine göre değer alan C_4 özellikler örnek hacmi 25'ten büyük olduğu zaman $4(n-1)/(4n-3)$ eşitliği ile hesaplanmaktadır. Ayrıca \bar{x} diyagramının kontrol sınırları ise,

$$\bar{ÜKS} = \bar{\bar{x}} + A_3\bar{S} \quad (8)$$

$$OÇ = \bar{\bar{x}} \quad (9)$$

$$AKS = \bar{\bar{x}} - A_3\bar{S} \quad (10)$$

şekline dönüşür. A_3 'ün alacağı değer $\frac{3}{C_4\sqrt{n}}$ eşitliği ile hesaplanmaktadır (May ve Spanos, 2006: 113).

Shewhart kontrol diyagramları sürecin kontrol altında olup olmadığını ve sürecin kontrol altında olmamasına neden olan özel nedenlerin belirlenmesini sağlamaktadır. Bununla birlikte Shewhart diyagramları, diyagram üzerinde işaretlenen son noktanın değerlendirmesini yapmaktadır ve sürecin tüm yapısını yansıtmamaktadır. Bu nedenle bu diyagramlar, süreçteki yaklaşık $1,5\sigma$ ve altındaki değişimlere duyarsızlık göstermektedirler. Bu sorunu çözmek için süreçteki küçük değişimlerle ilgilenildiğinde kümülatif toplam (CUSUM) ve üstel ağırlıklandırılmış hareketli ortalama (EWMA) kontrol diyagramları kullanılmaktadır (Montgomery, 2005: 199).

1.2. Cusum (Kümülatif Toplam) Kalite Kontrol Grafikleri

Cusum kontrol grafiği, $\bar{x}-S$ kontrol grafiklerinin örneklem ortalamalarındaki küçük ancak sürekli kaymalara karşı duyarsızlığı nedeniyle, bu grafiklere alternatif olarak geliştirilen grafik türlerinden birisidir (Özçil, 2014). Cusum kontrol grafiği örneklem değerlerinin hedef değerden cebirsel sapmalarının kümülatif toplamını (C_i) grafik üzerine işaretleyerek örneklem verilerindeki bütün bilgiyi dikkate almaktadır. Ayrıca, Cusum kontrol grafikleri, küçük süreç kaymalarını belirlemek için birkaç örneklemdeki bilgiyi birleştirmeleri nedeniyle $\bar{x}-S$ grafiklerinden daha üstündür. Bu üstünlük özellikle, $n=1$ örneklem hacminde daha etkilidir. Bir süreçte hedeflenen belli bir değerden pozitif ve negatif yönde kaymalar meydana gelebilmektedir. CUSUM kontrol grafiğine göre süreç ortalamasında meydana gelebilecek kaymaların kontrol dışı olup olmadığını tespiti için karar aralıkları ve V maskesi olmak üzere iki yöntem kullanılmaktadır. Şekil 1'de tipik bir V Maskesi gösterilmektedir.

CUSUM kontrol grafiği, gözlemlerin bir hedef değerden sapmalarının kümülatif toplamlarını göstermektedir. Diğer bir deyişle, kümülatif toplam değeri;

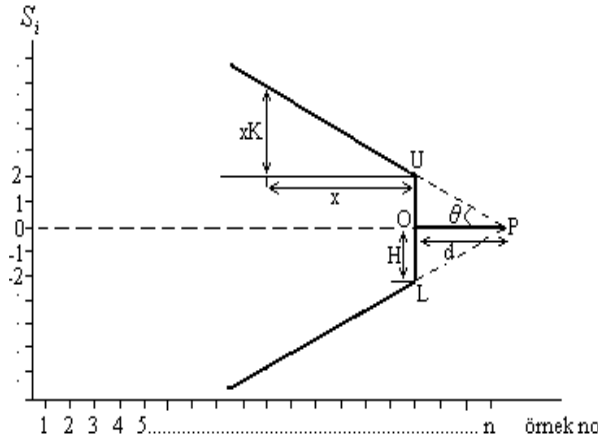
$$C_i = \sum_{j=1}^i (\bar{x}_j - \mu_0) \quad (11)$$

Alt örnek i olmak üzere kümülatif toplam parametreleri şu şekildedir;

C_i : j inci gözlemden i inci gözleme kadar olan sapmaların kümülatif toplamı

\bar{x}_j : j inci gözlemin ortalaması

μ_0 : hedef değer veya süreç ortalaması



Şekil 1: Standart V Maskesi

\bar{x}_i 'nin standart sapması $\sigma_{\bar{x}}$ ile gösterilir. α ve β 'nin de kabul edilir bir seviyede tutulması gerektiği düşünülürse V maskesi parametreleri,

$$d = \left(\frac{2}{\delta^2}\right) \ln\left(\frac{1-\beta}{\alpha}\right) \quad (12)$$

$$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{\Delta}{2A}\right) \quad (13)$$

$$\delta = \frac{\Delta}{\sigma_{\bar{x}}} \quad (14)$$

eşitliği ile hesaplanır. Eğer β değeri ihmal edilecek kadar küçük ise, (12) no'lu eşitlik

$$d = -2 \frac{\ln \alpha}{\delta^2} \quad (15)$$

şeklinde yeniden düzenlenir.

Eldeki bilgiler ile,

$$\tan \theta = \frac{\Delta}{2A} = \frac{\delta \sigma_{\bar{x}}}{2(2\sigma_{\bar{x}})} = \frac{\delta}{4} \quad (16)$$

şeklinde veya K değerinin örnek aralık başına V maskesi kollarının eğimini vermesi ve A 'nın CUSUM ölçeğinde bir örnek aralığına eşit olması nedeniyle,

$$\tan \theta = \frac{K}{A} = \frac{k \sigma_{\bar{x}}}{2\sigma_{\bar{x}}} = \frac{k}{2} \quad (17)$$

şeklinde de yazılabilir. Eşitlik (16) ve (17) birbirine eşitlenirse,

$$\frac{k}{2} = \frac{\delta}{4} \Rightarrow k = \frac{\delta}{2} \quad (18)$$

eşitliği ve

$$K = k \sigma_{\bar{x}} = \frac{\delta}{2} \sigma_{\bar{x}} = \frac{\Delta}{2} \quad (19)$$

eşitliği elde edilir. Ayrıca,

$$\tan \theta = \frac{H}{A.d} = \frac{h \sigma_{\bar{x}}}{(2\sigma_{\bar{x}})d} = \frac{h}{2d} \quad (20)$$

eşitliği de yazılabilir.



Yukarıdaki eşitliklerde;

α : Süreç ortalamasında bir kayma yok iken bir kaymanın olduğuna karar verme ihtimalini

β : Gerçekte kayma var iken bunu tespit edememe ihtimalini

Δ : Süreç ortalamasında meydana gelen kayma miktarını

A : Bir ölçek faktörüdür ve bu değer yatay eksen üzerindeki 1 birimlik uzunluğa dikey eksen üzerinde karşılık gelen değerini (A değeri, $\sigma_{\bar{x}}$ ile $2\sigma_{\bar{x}}$ arasında değişir ve bu değer $2\sigma_{\bar{x}}$ olarak alınması tercih edilir).

δ : Araştırılmasına karar verilen süreç seviyesindeki en küçük kayma miktarını ($\Delta = \delta\sigma_{\bar{x}}$)

$\sigma_{\bar{x}}$: Örnek ortalamaları için standart hatayı ($\sigma_{\bar{x}} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$)

H : Karar aralığı, OU veya OL uzunluğunu

h : Kendisiyle örnek istatistiğinin çarpılması durumunda karar aralığını veren değeri ($H = h\sigma_{\bar{x}}$)

K : V maskesi kollarının eğimini

k : Kendisiyle örnek istatistiğinin çarpımı sonucunda V maskesi kolları eğimini veren değeri ($K = k\sigma_{\bar{x}}$)

d : OP uzunluğunun değerini

θ : Orta çizgi ile kol arasındaki açığı verir (Demir, 2008: 17-18).

1.3. Ewma (Üstel Ağırlıklı Hareketli Ortalama) Kalite Kontrol Grafikleri

EWMA grafiği; zamanla eskiyen gözlemlere gittikçe azalan ağırlıklar vererek, verileri ortalamayan bir istatistiktir. Sahip olduğu ağırlık faktörünün seçimi dolayısıyla esnek bir yapıya sahiptir ve bu faktörü, eski ve yeni gözlemler arasında bir denge kurmak için kullanmaktadır (Özel, 2010: 71).

Örneklem hacmi n , örneklem ortalamaları $\bar{X}_j (j = 1, 2, 3, \dots, t, \dots, k)$ ve $\bar{x} = \frac{\sum_1^k \bar{x}_j}{k}$ olmak üzere t döneminin üstel ağırlıklı hareketli ortalaması Eşitlik 31'de gösterilen şekilde hesaplanır.

EWMA tahmin değerini hesaplamada;

t : Zamanı,

x_t : t zamandaki gözlem değerini,

z_t : t zamandaki tahmini EWMA değerini,

λ : En son gözleme verilecek ağırlığı belirtmek üzere;

t ve $t-1$ zamanlarında EWMA'nın tahmini değeri,

$$z_t = \lambda \bar{x}_t + (1 - \lambda)z_{t-1} \quad (21)$$

$$z_{t-1} = \lambda \bar{x}_{t-1} + (1 - \lambda)z_{t-2} \quad (22)$$

eşitlikleri ile hesaplanır. λ sabiti EWMA istatistiğinin gücünü göstermekte ve bu değer sıfır ile bir arasında değişmektedir. Ayrıca $\lambda=0.2$ değeri en küçük hata kareler toplamını verir.



$t=1$ zamanında EWMA'nın tahmin değeri $z_0 = \bar{x}$ olarak alınır. EWMA grafiğindeki ilk değer orta çizgi üzerinde bulunur. EWMA grafiğinde örnek hacmi 1 olduğundan her bir gözlem örnek ortalaması gibi işlem görür yani $\bar{x}_i = x_i$ olur. (21) no'lu eşitlikteki değer (22) no'lu eşitlikte yerine yazılırsa,

$$z_t = \lambda \bar{x}_t + \lambda(1 - \lambda)\bar{x}_{t-1} + (1 - \lambda)^2 z_{t-2} \quad (23)$$

olur. Bu da z_t değerinin EWMA kontrol grafiğinde daha önce alınan bütün örnek ortalamalarının ağırlıklı ortalaması olduğunu göstermektedir. Bu eşitlik daha genel bir ifade ile z_{t-j} ve $j=1,2,\dots,t$ olmak üzere tekrar düzenlenirse şöyle olur:

$$z_t = \lambda \sum_{j=1}^{t-1} (1 - \lambda)^j \bar{x}_{t-j} + (1 - \lambda)^t z_0 \quad (24)$$

Varyansı $\frac{\sigma^2}{n}$ olan \bar{x}_t tesadüf değişkeni olarak alınırsa, z_t 'nin varyansı,

$$\sigma_{z_t}^2 = \frac{\sigma^2}{n} \left(\frac{\lambda}{2-\lambda} \right) [1 - (1 - \lambda)^{2t}] \quad (25)$$

olur. Bu eşitlikte her iki tarafın karekökü alınırsa z_t 'nin standart sapması hesaplanmış olur. Ancak EWMA grafiği kontrol sınırlarını hesaplamada kullanılan standart sapma değerleri belli bir t değerine kadar artar daha sonra sabit kalır. t değeri yeterli büyüklüğe (10^4) ulaştığı zaman eşitlik

$$\sigma_{z_t} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \sqrt{\frac{\lambda}{2-\lambda}} \quad (26)$$

gibi daha basit bir hale dönüşür. Genel bir ifade ile EWMA kontrol grafiğinin kontrol sınırları,

$$\text{ÜKS} = \bar{x} + 3\sigma_{z_t} \quad (27)$$

$$\text{OÇ} = \bar{x} \quad (28)$$

$$\text{AKS} = \bar{x} - 3\sigma_{z_t} \quad (29)$$

olarak hesaplanır (Işığışık, 2012: 307-308).

λ , EWMA grafiğinin geçmiş derinliğine karar veren bir ağırlık faktörü olmak üzere, $0 < \lambda \leq 1$ arasında değerler alan sabit bir parametredir. λ parametresi, ağırlıkların ne ölçüde azalacağına, dolayısıyla önceki verilerin EWMA istatistiğinin hesaplanmasına ne oranda katılacağına karar verir. Örnek ortalamasının eskimesiyle, $\lambda(1 - \lambda)^j$ ağırlıkları, geometrik olarak azalmaktadır (Özkale, 2004: 121).

2. UYGULAMA

Çalışmada veri seti olarak; Kale Seramikten[§] alınan presleme sonrası seramik karonun ham ağırlıklarını içeren değerler kullanılmıştır. Bu veriler, Kale Seramikte en çok üretilen 10 farklı

[§] Bu makalede Türkiye'de 1957 yılından bu yana üretim yapan Kale Seramik işletmesi ele alınmıştır. Kale Grubu, Türkiye'de seramik sektörünün kuruluşuna öncülük etmiş, bu alandaki yatırımları ile bir dünya devi haline gelmiştir. Kale Grubu bugün Avrupa'nın 3'üncü, dünyanın 12'nci en büyük seramik karo üreticisi durumundadır. Kalebodur marka adı ile üretimini sürdüren Kale Seramik, 65 milyon metrekare yıllık üretim kapasitesi ile Çanakkale Çan'da tek bir alanda üretim yapan dünyanın en büyük seramik kuruluşudur.



ürünün gram cinsinden değerlerini içermektedir. 10 adet ürün ve her ürüne ait 25 gözlem olmak üzere 250 birimlik ağırlık değerlerinden oluşan örneklem Ek-1 numaralı tabloda gösterilmiştir. Verilerin hazırlanmasında Microsoft Excel 2007 programı ve kalite kontrol grafiklerinin çiziminde ise Minitab 18 programı kullanılmıştır.

Seramik en basit anlatımıyla, 'çok yüksek sıcaklıkta pişirilmiş toprak' demektir. Seramik karo, seramik malzemelerden çeşitli boyutlarda levhalar halinde üretilen zemin ve duvar kaplama malzemesidir. Seramik karoların üretiminde toprak ürünleri kullanılmaktadır. Seramik karo üretim süreci 4 ana başlıktan oluşur ve bunlar sırasıyla şu şekildedir; masse (çamur) hazırlama, şekillendirme (pres), fırınlama, kalite ayırımı ve ambalaj.

Seramik karo için öncelikle, ocaklardan çıkarılıp fabrika sahasına getirilen hammaddeler kırma ve eleme işlemlerinden sonra değirmenlerde değişik öğütme süresi ve öğütme yöntemlerine göre öğütülmektedir. Öğütlen hammaddeler sulu bilyalı değirmenden geçirilerek çamur stok havuzu oluşturulmaktadır. Oluşturulan havuzdaki çamurlar, püskürtmeli kurutucuya aktarılmaktadır. Elde edilen çamurun homojenliğini ve olgunlaşmasını sağlamak amacıyla pres üssü silolarda depolanarak bir süre bekletilmesi sağlanmaktadır. Depolanan çamur malzeme, pres tablolarındaki kalıpların şekline göre belirli bir basma gücü ile preslenmektedir (şekillendirilmektedir). Preslenen malzeme; kurutma, sırlama ve dekorlama işlemlerinden sonra yükleme ve stoklama noktasına getirilmektedir. Bu aşamada malzeme, soğutma işlemlerinden geçerek pişirilmek üzere fırına aktarılmaktadır. Pişmiş ürün konteyner yardımı ile kalite ayırma makinesine götürülmekte ve otomatik kutulama makinesi sayesinde seramik karolar ambalajlanmaktadır. Ambalajlanan mamul, sevk edilme durumuna göre paletler halinde stoklanmaktadır.

Uygulamada kontrolü yapılacak değişken seramik karonun presleme sonrasındaki ham ağırlıklarını içermektedir. Elde edilen örnekleme sırasıyla \bar{x} -S, Cusum ve Ewma kalite kontrol grafikleri uygulamaları yapılmıştır.

2.1. \bar{x} - S Kalite Kontrol Grafiğinin Uygulaması

Seçilen örnekleme ilişkin \bar{x} - S kontrol grafiği uygulaması, ortalamalar ve standart sapma değerleri ile birlikte hesaplanmıştır, hesaplanan değerler Tablo 1'de gösterilmiştir. \bar{x} - S kontrol grafiği de Şekil 2'de gösterilmiştir.

$$\bar{S} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m S_i = \frac{S_1 + S_2 + \dots + S_m}{m} = \frac{715,2024348}{25} = 28,6080974$$

**Tablo 1:** Örneklem Ortalama Ve Standart Sapma Değerleri

Örneklem Numaraları	\bar{x} Değerleri	S Değerleri
1	3037,5	28,35587
2	3046,8	26,30082
3	3045,9	32,18506
4	3055,7	31,18778
5	3052,7	26,36938
6	3059,8	33,64124
7	3050,7	27,70499
8	3037,9	35,82814
9	3038,2	34,78442
10	3061,5	29,27361
11	3061	24,89534
12	3051,4	28,34784
13	3053,3	31,41143
14	3053,2	32,14827
15	3037	22,00505
16	3046,2	37,63214
17	3059,6	29,66554
18	3046,1	26,25283
19	3048,5	30,29943
20	3069,7	23,27158
21	3040,2	22,98212
22	3048,3	29,00977
23	3037,4	23,46723
24	3063,8	21,31145
25	3067,5	26,87109

Ana kütle ortalaması ve standart sapması bilinmediği için faktör değerleri tablosu yardımı ile $A=0,949$ olarak alındığı zaman kontrol \bar{x} grafiği parametreleri;

$$\bar{ÜKS} = \bar{x} + A \bar{S} = 3050,796 + 0,949 \times 28,6080974 = 3077,945$$

$$OÇ = \bar{x} = \frac{\sum x_i}{m} = \frac{76269,9}{25} = 3050,796$$

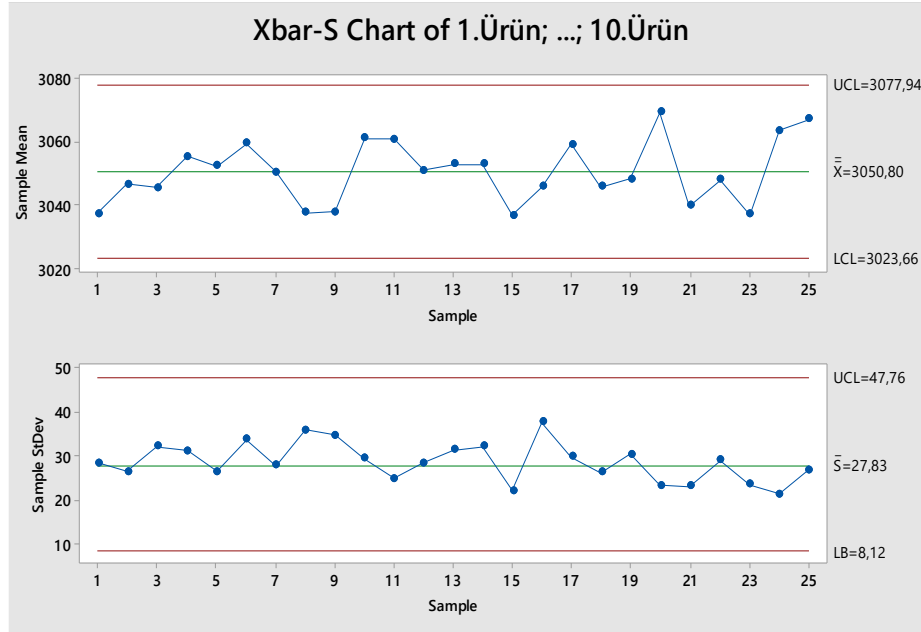
$$AKS = \bar{x} - A \bar{S} = 3050,796 - 0,949 \times 28,6080974 = 3023,657$$

Ana kütle standart sapmasının bilinmemesi durumunda, örnek hacmi 10 olduğundan $B_4=1,716$ ve $B_3=0,284$ olarak alındığı zaman S kontrol grafiği parametreleri şu şekildedir;

$$\bar{ÜKS} = B_4 \bar{S} = 47,7615$$

$$OÇ = \bar{S} = 28,6080974$$

$$AKS = B_3 \bar{S} = 8,1247$$



Şekil 2: Örnekleme Ait \bar{x} - S Kontrol Grafiği

Seçilen 25 örnekleme ait \bar{x} - S kontrol grafiği standart kullanım yöntemi ile hesaplanmıştır. Kontrol limitleri hesaplanırken 3 standart sapmalı ayrılışlar dikkate alınmıştır. Gösterilen kontrol grafiği sonucu olarak üretim sürecinin kontrol altında olduğu gözlemlenmiştir.

2.2. Cusum Kalite Kontrol Grafiğinin Uygulaması

Cusum kontrol grafiği için yapılan hesaplamalar sonucundaki ortalama değerler, ortalamadan sapmalar ve ortalamadaki sapmaların birikimli değerleri Tablo 2’de gösterilmektedir.



Tablo 2: Cusum Kontrol Grafiği İçin Hesaplanan Değerler

Örneklem Numaraları	x_i	$x_i - \bar{x}$	C_i	R
1	3037,5	-13,296	-13,296	70
2	3046,8	-3,996	-17,292	75
3	3045,9	-4,896	-22,188	84
4	3055,7	4,904	-17,284	84
5	3052,7	1,904	-15,38	79
6	3059,8	9,004	-6,376	92
7	3050,7	-0,096	-6,472	76
8	3037,9	-12,896	-19,368	92
9	3038,2	-12,596	-31,964	95
10	3061,5	10,704	-21,26	80
11	3061	10,204	-11,056	67
12	3051,4	0,604	-10,452	98
13	3053,3	2,504	-7,948	87
14	3053,2	2,404	-5,544	92
15	3037	-13,796	-19,34	51
16	3046,2	-4,596	-23,936	95
17	3059,6	8,804	-15,132	91
18	3046,1	-4,696	-19,828	76
19	3048,5	-2,296	-22,124	92
20	3069,7	18,904	-3,22	71
21	3040,2	-10,596	-13,816	65
22	3048,3	-2,496	-16,312	91
23	3037,4	-13,396	-29,708	59
24	3063,8	13,004	-16,704	53
25	3067,5	16,704	0	76

Eğer \bar{x}_i 'nin standart sapması $\sigma_{\bar{x}}$ ile gösterilir, literatürdeki benzer çalışmalarda olduğu gibi $\alpha=0,01$ ve $\beta=0$ olarak kabul edilir bir seviyede tutulursa, faktör değerleri tablosu yardımı ile $d_2=3,078$ olarak alınır. V maskesi kollarının eğimini veren değer yani standart ayrılışları dikkate alan $k=1$ olarak alınır, V maskesi parametreleri şu şekilde hesaplanmıştır.

$$\sigma = \frac{\bar{R}}{d_2} \Rightarrow \frac{79,64}{3,078} = 25,8739$$

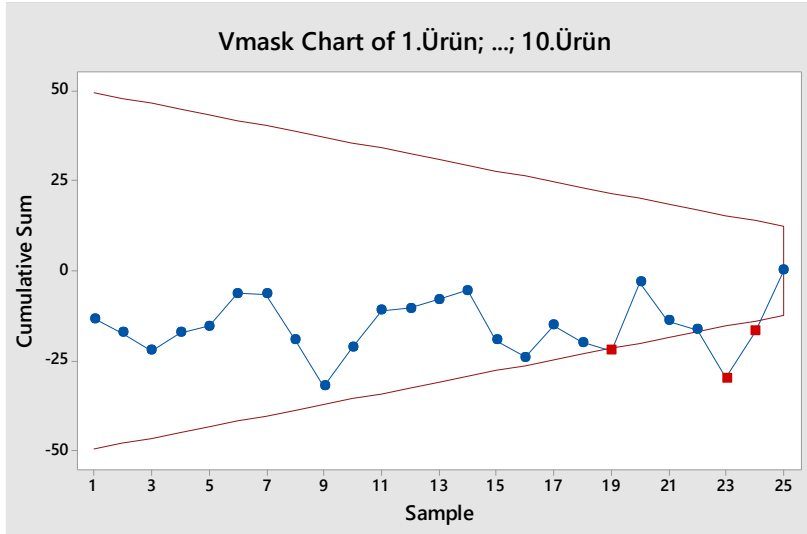
$$\sigma_{\bar{x}} = \frac{\sigma}{\sqrt{n-1}} \Rightarrow \frac{25,8739}{\sqrt{24}} = 5,2815$$

$$\delta^2 = \left(\frac{\Delta}{\sigma_{\bar{x}}}\right)^2 \Rightarrow \left(\frac{25,8739}{5,2815}\right)^2 = 23,9998$$

$$d = -2 \frac{\ln \alpha}{\delta^2} \Rightarrow -2 \frac{\ln 0,01}{23,9998} \Rightarrow 0,3838$$

$$A = 2\sigma_{\bar{x}} \Rightarrow 2 * 5,2815 = 10,563$$

$$\theta = \tan^{-1} \left(\frac{\Delta}{2A}\right) \Rightarrow \tan^{-1} \left(\frac{25,8739}{2*10,563}\right) \Rightarrow 50,7684^\circ$$



Şekil 3: Örneklemeye Ait V maskesi

Uygulama kapsamında değerlendirilen veri setine ait Cusum kontrol grafiği literatürdeki yaygın kullanım yöntemi ile hesaplanmıştır. Uygulama için oluşturulan Cusum grafikleri için V maskesi hesaplanırken 1 standart sapmalı ayrılışlar dikkate alınmıştır. Hesaplanan değerler doğrultusunda Şekil 3'te V maskeli Cusum kontrol grafiği gösterilmiş ve süreçteki 3 noktanın kontrol dışı olduğu gözlenmiştir.

2.3. Ewma Kalite Kontrol Grafiğinin Uygulaması

Ewma kontrol grafiği için hesaplanan ortalamalar ve Z değerleri Tablo 3'te gösterilmiştir. Süreçteki büyük ve küçük kaymaların aynı oranda tespiti için önceki örnekleri ağırlıklandırma katsayısı $\lambda=0,5$ olarak alınmıştır.

**Tablo 3.** Ewma Kontrol Grafiği İçin Ortalamalar Ve Z Değerleri

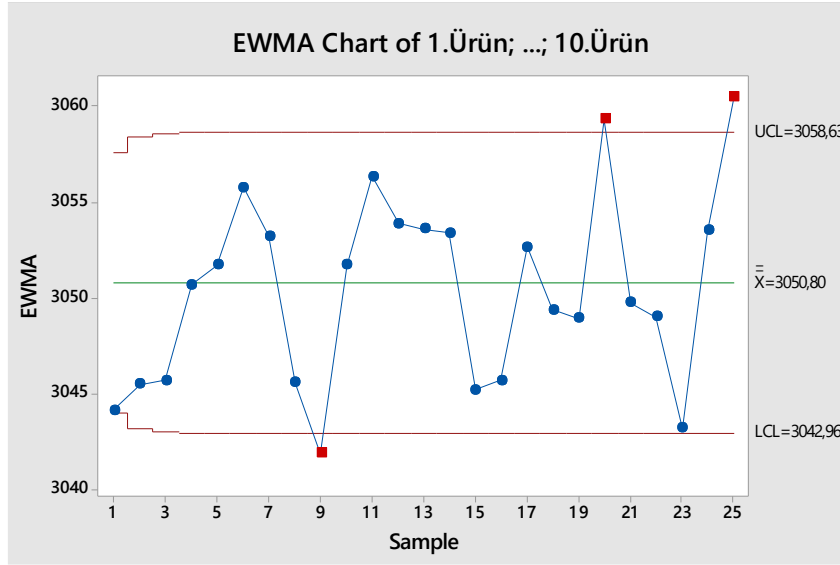
Örneklem Numaraları	x_i	Z_i
1	3037,5	3044,148
2	3046,8	3045,474
3	3045,9	3045,687
4	3055,7	3050,6935
5	3052,7	3051,69675
6	3059,8	3055,748375
7	3050,7	3053,224188
8	3037,9	3045,562094
9	3038,2	3041,881047
10	3061,5	3051,690523
11	3061	3056,345262
12	3051,4	3053,872631
13	3053,3	3053,586315
14	3053,2	3053,393158
15	3037	3045,196579
16	3046,2	3045,698289
17	3059,6	3052,649145
18	3046,1	3049,374572
19	3048,5	3048,937286
20	3069,7	3059,318643
21	3040,2	3049,759322
22	3048,3	3049,029661
23	3037,4	3043,21483
24	3063,8	3053,507415
25	3067,5	3060,503708

Ana kütleyle ait ortalama ve standart sapma değerleri bilinmediği için 1,5 standart sapmalı kontrol sınırları şu şekildedir:

$$\text{Üst Kontrol Sınırı (ÜKS)} = \bar{x} + A_2 \bar{R} \sqrt{\frac{\lambda}{(2-\lambda)}} * \frac{1,5}{3} \Rightarrow 3058,630$$

$$\text{Orta Çizgi (OÇ)} = \bar{x} \Rightarrow 3050,796$$

$$\text{Alt Kontrol Sınırı (AKS)} = \bar{x} - A_2 \bar{R} \sqrt{\frac{\lambda}{(2-\lambda)}} * \frac{1,5}{3} \Rightarrow 3042,952$$



Şekil 4: Örneklem Ait Ewma Kontrol Grafiği

Şekil 4'te hesaplanan değerler doğrultusunda gösterilen Ewma kontrol grafiği sonucunda 3 noktanın kontrol dışı olduğu görülmüştür. Örneklemdeki çoğu değer için orta çizgi sınırlarında olduğu görülmüştür.

DEĞERLENDİRME VE SONUÇ

Alınan örneklem doğrultusunda seramik karonun üretim sürecindeki ağırlık değişimini gösteren kontrol grafikleri uygulama bölümünde yer almıştır. Uygulamada gösterilen kontrol grafiği türleri genel kabul görmüş kullanım yöntemleri ile hesaplanmıştır.

Çalışmada \bar{x} -S grafiği için 3, Cusum grafiği için 1 ve Ewma grafiği için 1,5 olan temel standart sapma değerleri için elde edilen sonuçlar ile kalite kontrol grafikleri analiz edilmiştir. Buna göre, \bar{x} -S kontrol grafiğinde sürecin kontrolde olduğu gözlenmiştir. \bar{x} -S kontrol grafikleri sürecin kontrol altında olup olmadığını ve sürecin kontrol altında olmamasına neden olan özel nedenlerin belirlenmesini sağlamaktadır. \bar{x} -S grafikleri grafik üzerinde işaretlenen son noktanın değerlendirmesini yapmaktadır ve sürecin tüm yapısını yansıtamamaktadır. Bu grafikler daha çok süreçteki büyük değişimler için uygundur. Cusum kontrol grafiğine göre sürecin kontrol altında olmadığı, 3 noktanın kontrol dışı olduğu ortaya çıkmıştır. Cusum grafiklerindeki noktaların yapısı kontrol sınırları yerine V maskesi kullanıldığında \bar{x} -S grafiklerinde kullanılan kontrol sınırlarından daha etkilidir. Cusum grafiklerinde değişim noktaları çok belirgin iken \bar{x} -S grafiklerinde gizlidir. Cusum grafiklerinde örneklem ölçülerinin birikimli toplamları alındığından farklılıklar ve sonuçlar daha iyi görülmektedir. Ewma kontrol grafiğine göre sürecin kontrol altında olmadığı, süreçteki 3 noktanın kontrol sınırları dışında kaldığı tespit edilmiştir. Ewma kontrol grafiği türünün birbirine bağımlı veya etkilenen süreç çıktıları için uygun olduğu tespit edilmiştir. Cusum kontrol grafiklerinin ise Ewma kontrol grafiğinde olduğu gibi küçük ani değişimler için uygun olduğu ve Ewma kontrol grafiklerine kıyasla daha az ilişkili çıktıları test etmede uygun olacağı sonucuna varılmıştır.



Ewma ve Cusum kontrol grafiklerinin avantajı, önceki gözlem değerlerinin kontrol noktalarını etkilemesidir. Ewma kontrol grafiklerinin Cusum kontrol grafiklerinden üstünlüğü hata derecelerini birikimli olarak ele alırken önceki gözlemleri derecelendirmesi veya ağırlıklandırmasıdır. Cusum kontrol grafikleri kullanım ve yorumlama zorluklarının yanında, α ve β 'nin tayinindeki belirsizlikler gibi sebeplerle Montgomery V maskesi yöntemine şiddetle karşı çıkmaktadır.

Sonuç olarak ele alınan süreç kapsamında Ewma kontrol grafiklerinin kullanılması maliyet ve pratik olma açısından daha uygun olacağı değerlendirilmektedir. Ewma kontrol grafiklerinin seçimi ile bahse konu işletme, uygun hata kontrol düzeyinde üretim sürecini daha iyi değerlendirebilecektir. Ölçüm değerlerinden hatalı olanların nedenlerinin araştırılması, hatalı mamul üreten operatör için gerekli düzenlemelerin yapılması hata düzeyinin düşürülmesini sağlayacaktır. İşletme, bu ölçüm yöntemi sayesinde hatalarının istenilen derecede kontrol altında olup olmadığını tespit edebilecektir.

Gelecek çalışmalarda, işletmenin farklı bölümleri için de kalite kontrol grafikleri uygulamalarının yapılması veya incelenecek özelliklerin tüm işletmeyi kapsayacak şekilde belirlenmesi yoluyla uygulamanın geliştirilmesi önerilebilir. Aynı zamanda farklı kalite kontrol grafikleri kullanılarak bu çalışmada kullanılan grafikler ile karşılaştırılması yapılabilir.

KAYNAKÇA

- Abbas, N., Riaz, M. and Does, R. J. M. M. (2010). Enhancing the Performance of EWMA Charts, *Quality and Reliability Engineering International*, 27(6): 821–833.
- Abbas, N., Riaz, M. and Does, R. J. M. M. (2012). Mixed Exponentially Weighted Moving Average–Cumulative Sum Charts for Process Monitoring, *Quality and Reliability Engineering International*, 29(3): 345-356.
- Abbas, N., Riaz, M. and Does, R. J. M. M. (2013). CS-EWMA Chart for Monitoring Process Dispersion, *Quality and Reliability Engineering International*, 29(5):653–663.
- Abbas, N., Riaz, M. and Does, R. J. M. M. (2014). An EWMA-Type Control Chart for Monitoring the Process Mean Using Auxiliary Information, *Communication in Statistics - Theory Methods*, 43, 3485–3498.
- Abbas, N., Riaz, M. and Does, R. J. M. M. (2014). Memory-type Control Charts for Monitoring the Process Dispersion. *Quality and Reliability Engineering International*, 30(5):623–632.
- Abbasi, S. A., Riaz, M., & Miller, A. (2012). Enhancing the performance of CUSUM scale chart. *Computers & Industrial Engineering*, 63(2), 400–409.
- Ajadi, J. O. ve Riaz, M. (2016). Mixed Multivariate Ewma- Cusum Control Charts for an Improved Process Monitoring, *Communications in Statistics - Theory and Methods*, Doi: 10.1080/03610926.2016.1139132.
- Ajadi, J. O., Riaz, M. ve Al-Ghamdi, K. (2015). On increasing the sensitivity of mixed EWMA–CUSUM control charts for location parameter, *Journal of Applied Statistics*, Doi: 10.1080/02664763.2015.1094453.



- Akın, B. ve Öztürk, E. (2005). İstatistik Proses Kontrol Tekniklerinin Bilgisayar Ortamında Uygulanması, VII. Ulusal Ekonometri ve İstatistik Sempozyumu.
- Akkurt, M. (2002). *Kalite Kontrol Excel Destekli*, Birsen Yayınevi, İstanbul.
- Aslam, M. (2016). A Mixed EWMA–CUSUM Control Chart for Weibull-Distributed Quality Characteristics, *Quality and Reliability Engineering International*, Doi: 10.1002/qre.1982.
- Baray, A. (2008). *Üretimde Varyasyon: İstatistiksel Yaklaşım*, Çağlayan Kitabevi, İstanbul.
- Büker, E. (2007). Toplam Kalite Yönetimi Anlayışı İle Altı Sigma Kalite Yönetimi Anlayışının Karşılaştırılması, Deniz Harp Okulu, Deniz Bilimleri Ve Mühendisliği Enstitüsü, İstanbul.
- Castellini, P., Cristalli, C., Foehr, M., Leitao, P., Paone, N., Schjolberg, I., Tjonnas, J., Turrin, C. And Wagner, T. (2011). Towards The Integration Of Process And Quality Control Using Multi-Agent Technology, 37th Annual Conference on IEEE Industrial Electronics Society, 421 - 426, Melbourne, VIC.
- Demir, H. ve Gümüsoğlu, S. (2003). *Üretim Yönetimi*, İstanbul, Beta Basım Yayın Dağıtım.
- Demir Y., Mirtağoğlu H. (2016). Shewart CUSUM ve EWMA Kontrol Grafiklerinin Makine Sanayine Uygulanması, *Yüzüncü Yıl Üniversitesi Tarım Bilimleri Dergisi*, 26(2), 254-265.
- Dülgeroğlu Kısaoğlu, Ö. (2010). Orta Büyüklükte Bir Dokuma İşletmesinde İstatistiksel Proses Kontrol Sistemi: I. Kumaş Hatalarının Kontrolü, *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, Cilt:16, Sayı:3, s. 292-293.
- Ertuğrul, İ., Özçil, A. (2015). Kalite Kontrol Grafiklerinden “Shewart, Cusum ve Ewma”nın Bir Üretim İşletmesinde Uygulanması, *KMÜ Sosyal ve Ekonomik Araştırmalar Dergisi*, 17(28), 14-26.
- Fırat, S. Ü. O. (2001). Çok Değişkenli Süreçler İçin İstatistiksel Kontrol Araçları, II. Üretim Araştırmaları Sempozyumu, Maçka, İstanbul, 59-63, 8-9 Kasım.
- Gümüsoğlu, Ş. (2000). *İstatistiksel Kalite Kontrolü ve Toplam Kalite Yönetimi Araçları*, Beta Yayınevi, İstanbul.
- Han, D., Tsung, F, Li, Y. (2007). A CUSUM Chart With Local Signal Amplification for Detecting A Range of Unknown Shifts, *International Journal of Reliability and Quality Engineering*, 14(2):81–97.
- Henning, E., Samohyl, R. W., Walter, O. M. F. C., & Konrath, A. C. (2015). Performance of a Combined Cusum-Shewhart Chart for Binomial Data for Large Shifts in the Process Mean, *International Journal of Engineering Research and Application*, 5(8), 235–243.
- Huwang, L., Huang, C.J., Wang, Y.T. (2010). New EWMA Control Charts for Monitoring Process Dispersion, *Computational Statistics and Data Analysis*, 54(10):2328–2342.
- Işığışık, E. (2012). *Toplam Kalite Yönetimi Bakış Açısıyla İstatistiksel Kalite Kontrol*, Ezgi Kitabevi, 2. Baskı, Bursa.
- Khoo, M. B. C. (2009). A Study on the Effects of Trends due to Inertia on EWMA and CUSUM Charts. *Journal of Quality Measurement and Analysis*, 5 (2): 73–80.



- Kobu, B. (1987). *Endüstriyel Kalite Kontrolü*, İkinci Baskı, İ.Ü. Yayın No. 3475.
- Küçük, O. (2012). *Kalite Kontrol ve Kalite Güvence Sistemleri*, Seçkin Yayıncılık, Ankara.
- Lin, Y. C. and Chou, C. Y. (2005). On the Design of Variable Sample Size and Sampling Intervals X Charts under Non-Normality, *International Journal of Production Economics*, 96, 249–261.
- Maravelakis, P. E. (2012). Measurement Error Effect on the Cusum Control Chart, *Journal of Applied Statistics*, 39(2), 323-336.
- Montgomery, D. C. (2005). *Introduction To Statistical Quality Control*, Fifth Edition, John Wiley And Sons Inc., United States of America.
- Motorcu, A. R. And Güllü, A. (2006). Statistical Process Control In Machining, A Case Study For Machine Tool Capability And Process Capability, *Materials & Design*, Volume: 27, Issue: 5, 364–372.
- Noorossana, Rassoul. and Vaghefi, Seyed Jamal M. (2006). Effect of Autocorrelation on Performance of The M-Cusum Control Chart, *Quality And Reliability Engineering International*, Volume: 22, 191-197.
- Nenes, G. (2011). A New Approach for the Economic Design of Fully Adaptive Control Charts, *International Journal of Production Economics*, 131(2), 631-642.
- Oktay, E., Özçomak, M. S. (2001). CUSUM Kontrol Grafikleri ve Bir Uygulama, *Atatürk Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, 15(1-2), 361-387.
- Ou, Y. J., Wu, Z., Tsung, F. (2012). A Comparison Study of Effectiveness and Robustness of Control Charts for Monitoring Process Mean, *International Journal of Production Economics*, 135(1):479–490.
- Özkale, M. R. (2004). *İstatistiksel Kalite Kontrol Yöntemleri ve Uygulamalar*, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- Öztürk, A. (2013). *Kalite Yönetimi ve Planlaması*, Ekin Kitabevi, 2. Baskı, Bursa.
- Paliska, G., Pavletic, D. ve Sokovic, M. (2007). Quality Tools – Systematic Use In Process Industry, *Journal Of Achievements In Materials And Manufacturing Engineering*, Volume: 25, Issue: 1, 79-82.
- Patel, A. K. ve Divecha, J. (2011). Modified Exponentially Weighted Moving Average (EWMA) Control Chart for an Analytical Process Data, *Journal of Chemical Engineering and Materials Science*, 2(1), 12-20.
- Riaz, M., Abbas, N. ve Does, R. J. M. M. (2011). Improving the Performance of CUSUM Charts, *Quality and Reliability Engineering International*, 27(4): 415–424.
- Russo, S. L., Camargo, M. E. and Fabris, J. P. (2012). *Practical Concepts of Quality Control*, Edited by Mohammed Saber Fallah Nezhad, Intech, Rijeka, Croatia.
- Ryu, J. H., Wan, H., Kim, S. (2010). Optimal Design of a CUSUM Chart for A Mean Shift of Unknown Size, *Journal of Quality Technology*, 42(3):311–326.
- Shu, L., and Jiang, W. (2008). A new EWMA Chart for Monitoring Process Dispersion, *Journal of Quality Technology*, (40), 319–331.



- Smeti, E. M., Thanasoulis, N. C., Kousouris, L. P. And Tzoumerkas, P. C. (2007). An approach for the application of statistical process control techniques for quality improvement of treated water, *Desalination*, Volume: 213, Issue: 1-3, 273-281.
- Sokovic, M., Jovanovic, J., Krivokapic, Z. and Vujovic, A. (2009). Basic Quality Tools in Continuous Improvement Process, *Journal of Mechanical Engineering*, Volume:55, Issue:5, 1-9.
- Wu, Z., Jiao, J., Yang, M., Liu, Y., Wang, Z. (2009). An enhanced adaptive CUSUM control chart. *IIE Transactions*. 41, 642–653.
- Wu, Z., Yang, M., Jiang, W., & Khoo, M. B. C. (2008). Optimization designs of the combined Shewhart-CUSUM control charts. *Computational Statistics & Data Analysis*, 53(2), 496–506.
- Yang, K. ve Trewn, J. (2004). *Multivariate Statistical Methods in Quality Management*, McGraw-Hill.
- Zaman, B., Riaz M., Abbas, N. ve Does R. J. M. M. (2014). Mixed cumulative sum–exponentially weighted moving average control charts: an efficient way of monitoring process location, *Quality and Reliability Engineering International*, Doi: 10.1002/qre.1678.
- Zaman, B., Abbas, N., Riaz, M. Ve Lee, M. H. (2016). Mixed CUSUM-EWMA chart for monitoring process dispersion, *Internatioanl Journal of Advanced Manufacturing Technology*, Doi: 10.1007/s00170-016-8411-0.
- Zhang, J., Li, Z. ve Wang, Z. (2010). A Multivariate Control Chart for Simultaneously Monitoring Process Mean and Variability, *Computational Statistics and Data Analysis*, 54, 2244-2252.
- Zhang, C. W., Xie, M., & Jin, T. (2012). An improved self-starting cumulative count of conforming chart for monitoring high-quality processes under group inspection. *International Journal of Production Research*, 50, 7026–7043.



EKLER

Ek 1: Seramik Karo Ağırlık Değerleri (KALE Seramik)

Örneklem Numaraları	1.Ürün (gram)	2.Ürün (gram)	3.Ürün (gram)	4.Ürün (gram)	5.Ürün (gram)	6.Ürün (gram)	7.Ürün (gram)	8.Ürün (gram)	9.Ürün (gram)	10.Ürün (gram)
1	3023	3001	3066	3003	3070	3055	3023	3010	3053	3071
2	3090	3072	3025	3026	3057	3017	3015	3074	3040	3052
3	3085	3081	3088	3061	3024	3023	3016	3023	3001	3057
4	3091	3059	3017	3038	3086	3007	3077	3029	3090	3063
5	3047	3087	3008	3015	3066	3064	3080	3060	3066	3034
6	3099	3085	3035	3088	3068	3015	3091	3074	3036	3007
7	3026	3030	3050	3040	3066	3092	3054	3025	3100	3024
8	3097	3060	3009	3005	3012	3091	3012	3061	3016	3016
9	3003	3029	3030	3009	3011	3089	3012	3098	3031	3070
10	3033	3097	3066	3016	3075	3081	3065	3075	3017	3090
11	3067	3070	3094	3032	3037	3041	3097	3078	3030	3064
12	3086	3030	3046	3100	3060	3049	3055	3002	3059	3027
13	3077	3012	3099	3081	3012	3060	3077	3053	3046	3016
14	3051	3006	3092	3098	3055	3010	3040	3038	3089	3053
15	3020	3058	3050	3058	3010	3027	3059	3010	3017	3061
16	3073	3003	3012	3083	3098	3083	3061	3038	3005	3006
17	3069	3051	3093	3082	3096	3075	3005	3026	3061	3038
18	3045	3087	3029	3041	3027	3052	3043	3021	3096	3020
19	3042	3051	3095	3003	3012	3024	3052	3047	3087	3072
20	3075	3100	3076	3068	3040	3084	3029	3052	3098	3075
21	3024	3007	3051	3044	3066	3063	3035	3051	3001	3060
22	3046	3026	3033	3030	3082	3064	3002	3075	3032	3093
23	3069	3071	3016	3026	3016	3067	3012	3022	3041	3034
24	3031	3080	3027	3080	3094	3072	3061	3056	3073	3064
25	3067	3065	3076	3048	3032	3095	3092	3093	3088	3019