

ÇOK DEĞİŞKENLİ KONTROL GRAFİKLERİ ve BİR UYGULAMA

Ayşe OĞUZLAR*

Özet

Bir süreci etkileyen çok sayıda değişken olduğu göz önüne alındığında, tek değişkenli kontrol grafiklerinin yetersiz kalacağı açıktır. Bir süreci etkileyen çok sayıda değişkenin birlikte ele alınması ve bunların aynı grafik üzerinde gösterilmeye başlanması sonucunda çok değişkenli kontrol grafikleri gündeme gelmiştir. İlk olarak Shewhart kontrol grafiklerinin çok değişkenli karşılığı Hotelling tarafından geliştirilmiştir. Hotelling T^2 grafiği olarak bilinen bu grafik, çok değişkenli Shewhart veya χ^2 grafiği olarak da adlandırılmaktadır. Bu grafikler $1,5\sigma$ veya daha büyük kaymaların araştırılmasında etkilidir. $1,5\sigma$ ' dan daha küçük kaymalarda etkili olan çok değişkenli kontrol grafikleri arasında ise Cot, Mcusum ve Mewma sayılabilir. Çalışmanın uygulama kısmında, bir otomotiv yan sanayi firmasından elde edilen verilerden yararlanılmıştır. Verilere öncelikle değişken sayısının azaltılmasına yönelik olarak faktör analizi uygulanmıştır. Ardından Hotelling T^2 ve MEWMA grafikleri MINITAB paket programında oluşturularak yorumlanmaya çalışılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Hotelling T^2 grafiği, Mewma grafiği.

Abstract

Multivariate Control Charts and an its Application

When it is taken a lot of variables which effect the process into consideration. It is clear case of dissatisfaction of one variable control charts. In the result of considering together with a lot of variables effecting this process and embarking on to show their on the same graph, multivariate control charts are put

* Doç. Dr.; Uludağ Üniversitesi İ.İ.B.F., Ekonometri Bölümü.

on the agenda. Firstly, the multivariate response of Shewhart control graphs has been improved by Hotelling. This graph is known as Hotelling T^2 graph is called multivariate Shewhart or χ^2 graph too, which has effect on $1,5\sigma$ or investigation of bigger slipping. Cot, Mcusum and Mewma are showed among multivariate control charts which effect on slipping smaller than $1,5\sigma$. In practice section of this study, firstly factor analysis towards the reducing of variable number is carried out based on data from which are acquired the firm of by-automotive industry. Then, Hotelling T^2 and Mewma graphs are stemmed from by MINTAB packet program is interpreted.

Key Words: Hotelling T^2 chart, Mewma chart.

I. GİRİŞ

İşletmeler rekabet edebilmek için koşullarını yeniden inceleyerek farklı önlemler almak amacıyla sürekli olarak yeni stratejiler geliştirmeye çalışmaktadırlar. Bu amaçla uygulanan işletme stratejilerinden birisi de kalitesi yüksek düzeyde mal ve hizmet üretmektir. Kalitenin kontrol edilmesi için de bir takım istatistiksel yöntemler araç olarak kullanılmaktadır (Çılan, 2005: 1).

İstatistiksel süreç kontrolü, süreç durağanlığının gerçekleştirilmesi ve değişkenliğin azaltılması amaçlarına yönelik olarak, yeterliliğin artırılmasında kullanışlı problem çözme tekniklerinin bütününe verilen isimdir (Montgomery, 1991: 101). İstatistiksel süreç kontrolünün nihai amacı süreçteki değişkenliğin ortadan kaldırılmasıdır. Sürecin değişkenliğini ortadan tamamen kaldırmak mümkün olmasa bile, istatistiksel süreç kontrolünde sıkça yararlanılan kontrol grafikleri değişkenliğin mümkün olduğunca azaltılmasında yararlanılan etkin araçlardır.

Üretilen parçaların kalitesi birden çok özelliğin birlikte değerlendirilmesi ile belirlenebilir (Kutay, 1989: 83). İstatistiksel süreç kontrolü ile ilgili çalışmalarda bir parçayı etkileyen çok sayıda değişken olduğundan, bunların eşanlı olarak görüntülenmesi tek tek görüntülenmesi durumunda gizlenen bazı bilgilerin açığa çıkarılması açısından önem taşımaktadır. Günümüzde bilgisayarlar ve otomatik veri toplama araçları sayesinde çok sayıda veri toplanabilmektedir (Fuchs ve Kenett, 1998:4). Bir parçayı etkileyen çok sayıda değişkenin eşanlı görüntülenmesi sayesinde, bu değişkenlerin bütününden açığa çıkabilecek kaynağı belirlenebilir nedenler de ortaya çıkarılabilir. Kaynağı belirlenebilir nedenler şans nedenlerinin bir parçası değildir. Bir süreç kaynağı belirlenebilir nedenler altında işlem görüyorsa kontrol dışıdır (Gürsakal ve Oğuzlar, 2003:176).

Bu çalışmada çok değişkenli kontrol grafiklerinden olan Hotelling T^2 ve Mewma grafikleri açıklanmaya çalışılmıştır. Çok değişkenli kontrol

grafiklerinden biri olan Hotelling T^2 grafiğinin uygulanabilmesi için, diğer çok değişkenli kontrol grafiklerinde de olduğu gibi X_j ' lerin ($j=1,2,\dots,p$ için) ortalama vektörleri ile bağımsız çok değişkenli normal rassal vektörler oldukları varsayımı geçerli olacaktır. Bağımsızlık varsayımı sağlanamıyorsa, kontrol-dışı sinyaller anlamsız olmaya başlayacaktır. Bu çalışmanın uygulamasında bağımsızlık varsayımının sağlanması amacıyla faktör analizi uygulanmış, bu sayede hem bağımsızlık ve hem de değişken sayısının indirgenmesi başarılmıştır.

II. ÇOK DEĞİŞKENLİ SHEWHART (HOTELLING T^2) GRAFİĞİ

Hotelling' in (1947) geliştirdiği çok değişkenli kontrol grafiği, T^2 değerlerine bağlı olarak oluşturulduğundan, Hotelling T^2 grafiği olarak adlandırılmaktadır (Bkz. Özdamar, 2002:95). Bazı kaynaklarda çok değişkenli Shewhart kontrol grafiği veya χ^2 grafiği olarak da isimlendirildiği görülmektedir (Montgomery, 1991:326). Bu grafiğe χ^2 grafiği de denilmesinin nedeni T^2 değerlerinin χ^2 dağılımı göstermesindedir. Çok değişkenli Shewhart grafiği olarak anılmasının nedeni ise tek değişkenli Shewhart grafiklerinde olduğu gibi, ortalamada meydana gelebilecek küçük kaymalara karşı duyarsız olmasıdır. Bu grafikler $1,5\sigma$ ' dan daha büyük kaymaların araştırılmasında etkindirler. Hotelling T^2 grafiği, örneklem sayılarına karşı T^2 değerlerinin çiziminden oluşmaktadır (Ryan, 1989:216). Grafikte yer alan T^2 değerleri aşağıdaki şekilde bulunmaktadır:

$$T_i^2 = (X_i - a)' \Sigma^{-1} (X_i - a) \quad i=1,2,\dots,n \text{ için} \quad (1)$$

(1) nolu eşitlikteki a değişkenlerin genel ortalamasını veya hedeflenen ortalamayı, X_i $n \times p$ boyutlu gözlem matrisini ve Σ^{-1} $p \times p$ boyutlu varyans-kovaryans matrisinin tersini göstermektedir. Hotelling T^2 grafiği için ÜKL (Üst kontrol limiti), merkezi çizgi ve AKL (Alt kontrol limiti) aşağıda görüldüğü gibidir:

$$\begin{aligned} \text{ÜKL} &= \chi^2_{(\alpha;p)} \\ \text{Merkezi çizgi} &= \bar{T}_i^2 \\ \text{AKL} &= 0 \end{aligned} \quad (2)$$

Hotelling T^2 grafiği, $T_i^2 > \text{ÜKL}$ durumunda bir kontrol dışı sinyal üretecektir. h değeri belirli bir kontrol içi ARL' yi sağlayacak biçimde belirlenen bir kritik değeri sembolize etmektedir.

Hotelling T² grafiğinin ARL değeri, d ile gösterilen merkezi olmayan parametre aracılığıyla yalnızca ortalama vektörü μ ile kovaryans matrisi Σ ' ya bağlıdır (Oğuzlar, 1998:44):

$$d = + \left[(\mu - a)' \Sigma^{-1} (\mu - a) \right]^{1/2} \quad (3)$$

(3) nolu eşitlikte a hedeflenen ortalamayı göstermekte ve bu ortalamanın da değeri 0'a eşittir. ARL'yi d'nin bir fonksiyonu olarak düşünmek mümkündür. ARL değeri tek değişkenli Shewhart grafiklerinde olduğu gibi bulunmaktadır:

$$ARL = \frac{1}{p} \quad (4)$$

(4) nolu eşitlikte $p = P(T^2 > \chi^2_{(\alpha;p)})$ olarak elde edilir. Genellikle çok değişkenli kontrol grafiklerinin ARL performanslarına ilişkin kıyaslama yaparken kontrol içi ARL 200 veya 500 olacak şekilde seçilir. Bu kontrol içi ARL değerlerini, Hotelling T² grafiği için p serbestlik dereceli χ^2 dağılımının 99,5. ve 99,8. santilleri sağlamaktadır.

III. ÇOK DEĞİŞKENLİ EWMA (MEWMA) GRAFİĞİ

Ortalama vektöründeki küçük kaymalarla ilgilenildiğinde, Mcusum veya Mewma grafikleri çok değişkenli Shewhart veya Hotelling T² grafiğine iyi birer alternatif oluşturmaktadırlar. Mewma tek değişkenli Ewma grafiğinin bir genişletimi olarak düşünülmelidir. Şunu da belirtmek gerekir ki Mcusum grafiklerine göre Mewma grafiği tek değişkenli karşılığına daha büyük benzerlikler göstermektedir.

Tek değişkenli Ewma istatistiği aşağıdaki biçimde ifade edilebilir (Domangue ve Patch, 1991:300):

$$Z_i = rX_i + (1-r)Z_{i-1} \quad i=1,2,3,\dots,n \quad (5)$$

(5) nolu eşitlikte $Z_0 = \mu_0 = 0$ ve r geçmiş gözlemlere verilen ağırlık katsayılarıdır ($0 < r \leq 1$). X_i ise $n \times 1$ boyutlu gözlem matrisidir. r için en sık kullanılan değerler 0,08, 0,10 ve 0,15 değerleridir (Montgomery, 1991: 306). Bu değerlerin içinden 0,10 değeri küçük kaymalara etkin olduğundan en çok kullanılan değerdir. (5) nolu eşitlikte gözlem değerleri yerine ortalama değerler kullanılarak da Ewma grafiği düzenlemek mümkün olmaktadır. Ewma grafiği örneklem sayılarına karşılık Z_i değerleri çiziminden oluş-

maktadır. Ewma grafiğinin ortasından geçen merkezi çizgi ortalama değer veya hedeflenen ortalamayı göstermektedir. Bu merkezi çizginin her iki yanında uzanan kesikli çizgilerle gösterilen değerler ÜKL ve AKL'ni göstermektedir. Bu grafikte her bir örnekleme ilişkin Z_i değerlerinin ÜKL ve AKL bulunarak Z_i değerlerinin ilgili limitler içine düşüp düşmediği incelenerek sürecin kontrol dışı sinyal üretip üretmediğine bakılır. ÜKL ve AKL, merkezi değere $3\sigma_{Z_i}$ eklenerek ve çıkarılarak elde edilmektedir.

Çok değişken söz konusu olduğunda Ewma vektörünün genişletimi aşağıdaki biçimde elde edilir:

$$Z_i = RX_i + (1 - R)Z_{i-1} \quad i=1,2,3,\dots,n \quad (6)$$

(6) nolu eşitlikte $Z_0 = 0$, $R =$ köşegen (r_1, r_2, \dots, r_p) ve $0 < r_j \leq 1$ ($j=1,2,\dots,p$) biçimindedir.

Mewma grafiği aşağıdaki eşitsizlik sağlandığı durumda kontrol dışı bir sinyal üretir:

$$T_i^2 = Z_i \Sigma^{-1} Z_i > h_4 \quad (7)$$

(7) nolu eşitlikte yer alan h_4 (>0 , üst kontrol limit değeri hesaplanışı için Bkz. MINITAB Help), önceden belirlenmiş bir kontrol içi ARL'yi gerçekleyecek biçimde seçilir. Ayrıca yine yukarıdaki eşitlikte yer alan Σ_{Z_i} , Z_i 'nin kovaryans matrisidir. Ele alınan p değişken için geçmiş gözlemlerin farklı bir biçimde ağırlıklandırılması için öncül bir sebep bulunmadığında; $r_1=r_2=\dots=r_p=r$ olur.

Hotelling T^2 ve MEWMA grafikleri ile ilgili olarak yukarıda belirtildiği şekilde kısa bilgilerin verilmesinin ardından, son bölüm olan dördüncü bölümde anlatılanlar ile ilgili olarak bir uygulamaya yer verilmeye çalışılmıştır. Uygulama bölümünde yararlanılan faktör analizi SPSS 10.0 ve çok değişkenli kontrol grafikleri ise MINITAB 14.0 paket programında gerçekleştirilmiştir.

IV. UYGULAMA

Uygulama bölümünde Bursa'da faaliyette bulunan bir otomotiv yan sanayi firmasından alınan alternatör parçalarından birine ilişkin veriler kullanılmıştır. İlgili parça üzerinde 10 farklı değişkene ilişkin ölçümler yapılmaktadır. Veriler rassal olarak seçilen 20 gün boyunca yapılan toplam 5000 ölçüm sonucundan oluşmaktadır. Her bir değişkene ilişkin toplam 500 gözlem değeri bulunmaktadır. Ele alınan değişkenler 2 farklı daire çapı

(Çap1, Çap2), 5 farklı uzaklık (Uz1, Uz2, Uz3, Uz4, Uz5), 1 merkez kaçıklığı (M.Kaç.) ve 2 açığı (Aç1 ve Aç2) değerinden oluşmaktadır.

Çalışmada yer alan 10 farklı değişken ile çalışmanın zorluğu ve bağımsızlık şartının sağlanması gerektiğinden verilere öncelikle faktör analizi uygulanmıştır. Burada faktör analizi uygulanması için gerekli örneklem büyüklüğünün yeterliliğini belirten KMO testi değeri 0,519 bulunmuş ve örneklem büyüklüğünün sınırda da olsa kabul edilebilir olduğuna karar verilmiştir. Ayrıca, Bartlett Testi 0,05'den küçük bulunduğundan (0,043), analize dahil edilen değişkenlerin birbiriyle yüksek korelasyon içinde oldukları anlaşılmıştır. Bu iki sonuçtan yola çıkılarak faktör analizi uygulanabileceğine karar verilmiştir. Faktör analizi uygulanması sonucunda, Varimax döndürmesi sonucunda çok daha anlamlı sonuçlara ulaşılabilmektedir. Ayrıca uygulanan döndürme sonucunda da anlamlı sonuç elde edilmeyen Aç1 değişkenin değişken kümesinden çıkarılmasına karar verilmiştir. Kalan dokuz değişken üzerinden gerçekleştirilen faktör analizi sonuçları Tablo 1 ile gösterilmiştir. Elde edilen döndürülmüş faktör yükleri matrisi ise Tablo 2 ile gösterilmiştir.

Tablo 1. Faktör Analizi Sonuçları

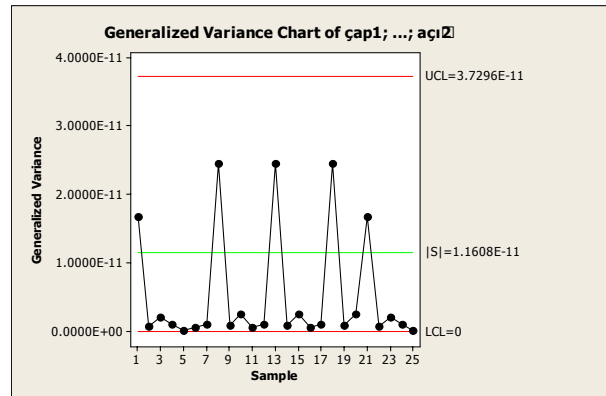
Bileşenler	Başlangıç Özdeğerleri			Döndürülmüş			Döndürülmüş		
	Toplam	Varyansın %'si	Kümülatif %	Toplam	Varyansın %'si	Kümülatif %	Toplam	Varyansın %'si	Kümülatif %
1	1.505	16.725	16.725	1.505	16.725	16.725	1.320	14.666	14.666
2	1.396	15.512	32.236	1.396	15.512	32.236	1.300	14.443	29.109
3	1.165	12.941	45.177	1.165	12.941	45.177	1.263	14.028	43.137
4	1.051	11.675	56.852	1.051	11.675	56.852	1.234	13.715	56.852
5	.991	11.009	67.861						
6	.848	9.425	77.286						
7	.738	8.197	85.482						
8	.682	7.583	93.066						
9	.624	6.934	100.000						

Tablo 2 ile gösterilen döndürülmüş faktör yükleri matrisine bakıldığında; faktör 1 üzerinde Uz2 ve Uz5 değişkenlerinin, faktör 2 üzerinde Çap2, Uz3 ve Uz4 değişkenlerinin, faktör 3 üzerinde Uz1 ve M.kaç değişkenlerinin ve faktör 4 üzerinde de Çap1 ve Aç2 değişkenlerinin faktör yüklerinin ağırlıkta olduğu anlaşılmıştır. Elde edilen 4 faktör için öncelikle normallik varsayımının sağlanıp sağlanmadığı araştırılmak istenmiştir. Elde

edilen bu dört faktörün de normal dağılım göstermediği anlaşıldığından, orijinal değişkenlere dönülmüş ve bu kez orijinal değişkenlerin normal dağılım gösterip göstermediği incelenmiştir. Uygulanan grafikler ve SPSS ve MINITAB' da uygulanan bazı normallik testleri sonucunda, Çap1, Uz3, M.kaç. ve Açı2 değişkenlerinin normal dağılıma yakın sonuçlar gösterdiği ve analize alınması gerektiğine karar verilmiştir. Çok değişkenli normalliğin sağlanması durumunda genellikle her değişkenin tek değişkenli normal dağılıma uyduğu gözlenmektedir. Ancak ele alınan tüm değişkenlerin tek değişkenli normal dağılıma uygun olması veri kümesinin çok değişkenli normal dağılıma uyduğunu garanti etmemektedir. Ancak yine de bu yaklaşım çok değişkenli normalliğin araştırılmasında iyi bir başlangıç noktası olarak kabul edilmektedir (Nijhuis, Jong ve Vandeginste, 1999: 110). Dolayısıyla normal dağılıma yakın dağılım gösteren Çap1, Uz3, M.kaç. ve Açı 2 değişkenleri için oluşturulan genelleştirilmiş varyans grafiği Şekil 1'de gösterilmiştir.

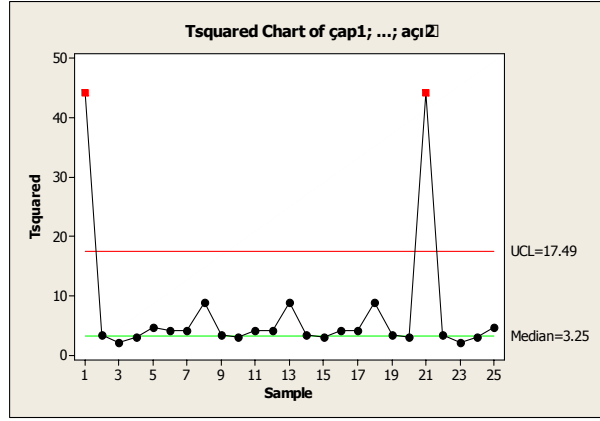
Tablo 2. Döndürülmüş Faktör Yükleri Matrisi

	Faktörler			
	1	2	3	4
ÇAP1	.149	4.126E-03	-.116	.834
ÇAP2	-2.219E-02	.645	.180	-1.167E-02
UZ1	-.128	-.120	-.658	-.171
UZ2	.676	.155	-.203	5.555E-02
UZ3	.154	-.664	.337	4.191E-02
UZ4	.383	.614	.182	.213
UZ5	.704	-.151	.137	-.110
M.KAÇ	-.197	-2.533E-02	.725	-.136
AÇI2	.345	-5.615E-02	-.226	-.655



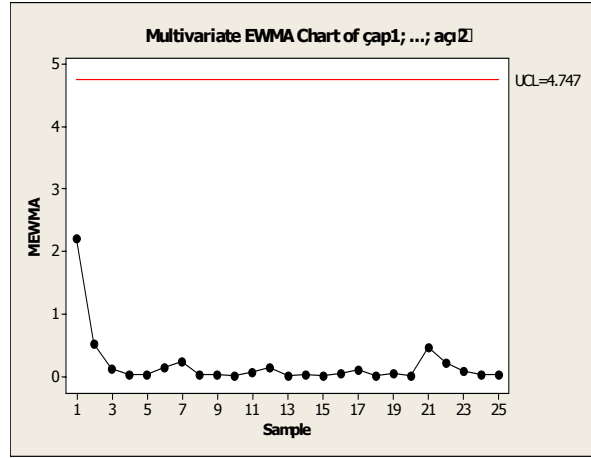
Şekil 1. Genelleştirilmiş Varyans Grafiği

Şekil 1'den genelleştirilmiş varyans grafiğindeki tüm örneklem noktalarının kontrolde olduğu anlaşılmaktadır. Bu grafik kontrol durumunu gösterdiğinden dolayı, ikinci aşama olan Hotelling T^2 grafiğinin uygulanmasına geçilmiştir. Hotelling T^2 grafiği ise, Şekil 2 ile gösterilmiştir.



Şekil 2. Hotelling T^2 Grafiği

Şekil 2 incelendiğinde Hotelling T^2 grafiğindeki iki örneklemin (1. ve 21. örneklem) üst kontrol limiti dışına düştüğü anlaşılmaktadır. Dolayısıyla Hotelling T^2 grafiği kontrol dışı bir durum sergilemektedir. Birinci ve yirmibirinci örneklem noktalarına geri dönülerek, kontrol dışılığa yol açan etmenlerin araştırılması gerekmektedir. Ayrıca bu grafik bize, sürecin $1,5\sigma$ ' dan büyük kaymalar gösterdiğini anlatmaktadır. Sürecin aynı zamanda küçük kaymalar ($1,5\sigma$ ' dan daha küçük) gösterip göstermediği ise Şekil 3 ile gösterilen Mewma grafiği ile araştırılmıştır.



Şekil 3. Mewma Grafiği

Şekil 3 incelendiğinde sürecin kontrol altında olduğu anlaşılmaktadır. Ele alınan süreçte küçük kaymaların mevcut olmadığı da bu grafikte ortaya konulmuştur.

V. SONUÇ

Bu çalışmada, bir parçayı etkileyen çok sayıda değişkenin eşanlı olarak kontrolde olup olmadığının belirlenmesinde, en çok kullanılan iki çok değişkenli kontrol grafiği olan Hotelling T^2 ve Mewma grafiklerinin kısaca açıklanması hedeflenmiş ve bu konuda yapılan bir uygulamaya yer verilmiştir. Çok değişkenli kontrol grafikleri, bir parçayı etkileyen çok sayıda değişken için tek tek uygulanan kontrol grafikleri durumunda, gizlenen bazı bilgilerin açığa çıkarılması açısından kullanışlı araçlardır.

Çalışmada öncelikle $1,5\sigma$ ' dan daha büyük kaymaların araştırılmasında etkili olan Hotelling T^2 grafiği ve ardından da $1,5\sigma$ ' dan daha küçük kaymalarda etkili Ewma grafiğinin çok değişkenli genişletimi olan Mewma grafiği hakkında kısa teorik bilgiler verilmeye çalışılmıştır. Bunun ardında uygulama kısmında, bir alternatör parçasına ilişkin olarak 10 değişken ele alınmış ve bu değişkenlerin birleşiminden oluşan 4 faktör, faktör analizi ile elde edilmiştir. Faktör analizi uygulanması sırasında anlamlı sonuç elde edilemeyen bir değişken ise analiz dışında bırakılmıştır. Ardından elde edilen faktörlerin normal dağılıma uygun olmadığı anlaşıldığından orijinal verilere geri dönmüştür. Orijinal veriler içerisinde normal dağılıma yakın bir dağılım sergileyen Çap1, Uz3, M.kaç. ve Açık 2 değişkenleri için çok değişkenli kontrol grafikleri uygulamasına geçilmiştir. Öncelikle uygulanan genelleştirilmiş varyans grafiği kontrol altında bir durum sergilediğinden, Hotelling T^2 grafiğinin uygulanmasına geçilmiştir. Hotelling T^2 grafiği sürecin kontrol altında olmadığına işaret etmektedir. Dolayısıyla ilgilenilen süreçte $1,5\sigma$ ' dan daha büyük kaymaların mevcut olduğu sonucuna varılmıştır. Hotelling T^2 grafiğinin ardından süreçte $1,5\sigma$ ' dan daha küçük kaymaların bulunup bulunmadığını araştırmak üzere Mewma grafiği oluşturulmuştur. Mewma grafiği sürecin kontrol altında bulunduğunu gösterdiğinden süreçte küçük kaymaların da bulunmadığını ($1,5\sigma$ ' dan daha küçük) söylemek mümkün olmuştur.

KAYNAKLAR

- ÇİLAN Çiğdem, (2005), "Kalite Kontrol Diagramlarında Varsayımların Sağlanması ve Cam Sanayinde Bir Uygulama", Yedinci Ulusal Ekonometri ve İstatistik Sempozyumu Bildirisi, İstanbul Üniversitesi.
- DOMANGUE Rickie ve PATCH Steven C., (1991), "Some Omnibus Exponentially Weighted Moving Average Statistical Process Monitoring Schemes", Technometrics, Vol. 33, No.3.

- FUCHS Camil, KENETT Ron S., (1998), *Multivariate Quality Control-Theory And Applications*, Marcel-Dekker, USA.
- GÜRSAKAL Necmi ve OĞUZLAR Ayşe, (2003), *Altı Sigma, VİPAŞ*, Bursa.
- KUTAY Fevzi, (1989), “Çok Değişkenli Kalite Kontrolünde Önemli Bileşenlerin Kullanılması”, *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, Cilt.4, No. 1-2.
- MONTGOMERY Douglas C., (1991), *Introduction to Statistical Quality Control-Second Edition*, John Wiley Sons, Singapore.
- NIJHUIS A., JONG S. ve VANDEGINSTE B.G.M., (1999), “The Application of Multivariate Quality Control in Gas Chromatography”, *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems*, Vol.XLVII, No:1.
- OĞUZLAR Ayşe, (1998), *Çok Değişkenli İstatistiksel Süreç Kontrolü ve Bir Uygulama Denemesi*, Yayınlanmamış Doktora Tezi, Bursa.
- ÖZDAMAR Kazım, (2002), *Paket Programlar İle İstatistiksel Veri Analizi*, Kaan Kitabevi, Eskişehir.
- RYAN Thomas P., (1989), *Statistical Methods For Quality Improvement*, Wiley Series, USA.