

Yayın Geliş Tarihi: 27.04.2010
Yayına Kabul Tarihi: 23.06.2011

Dokuz Eylül Üniversitesi
Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi
Cilt: 13, Sayı: 2, Yıl: 2011, Sayfa: 31-41
ISSN: 1302-3284 E-ISSN:1308-0911

ÇOK DEĞİŞKENLİ KALİTE KONTROLDE REGRESYON DÜZELTMESİ

Süleyman ALPAYKUT*
Ali Rıza FİRUZAN**
Ümit KUVVETLİ***

Özet

Bir üretim sürecindeki değişkenliği takip etmek amacıyla yaygın olarak kullanılan yöntemlerden birisi, söz konusu süreçteki değişkenler için kontrol kartı tutulmasıdır. Eğer bir süreci etkileyen değişken sayısı birden fazla ise, oluşturulması gereken kontrol kartı sayısı ve buna bağlı maliyet de doğal olarak artacaktır. Her değişken için ayrı ayrı kontrol kartı tutmak yerine regresyon analizi uygulanarak, modelden elde edilen artıklarla ilgili kontrol kartları oluşturmak zaman ve maliyet açısından önemli kazançlar sağlayacaktır. Bu çalışmada, bir döküm firmasında, yedi bağımsız, bir bağımlı değişkenin bulunduğu örnek bir süreç incelenmiş, yeterlilik analizleri sonucunda regresyon modeli oluşturulmuş, elde edilen artıkların kontrol kartı oluşturulmuş ve kartın I. ve II. tip hata olasılıkları hesaplanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Çok Değişkenli Kalite Kontrol, Regresyon Düzeltmesi, Artıkların Kontrol Kartı, Adım Adım Regresyon, Çok Değişkenli Süreç Yeterliliği.

REGRESSION ADJUSTMENT IN MULTIVARIATE QUALITY

Abstract

One of the methods that is widely used to monitor variability in a manufacturing process is construction of control charts for the variables in the stated process. If the number of variables that affect a process is more than one, then the number of constructed control charts and accordingly the cost will naturally increase. In the processes that have more than one independent variable and a dependent variable associated with these independent variables, constructing control charts related with the residuals that are obtained from the model by applying regression analysis instead of constructing control charts for each variable individually will provide significant profits in terms of time and cost. In this study, in a die-casting firm, a sample process that has seven independent variables and a dependent variable was examined, control charts were constructed in consequence of capacity analysis and the probabilities of type 1 and type 2 errors were computed.

Key Words: Multivariate Quality Control, Regression Adjustment, Control Charts of Error, Stepwise Regression, Multivariate Process Capability.

* Yrd. Doç. Dr., DEÜ, Fen Fakültesi, İstatistik Bölümü, s.alpaykut@deu.edu.tr

** Yrd. Doç. Dr., DEÜ, Fen Fakültesi, İstatistik Bölümü, aliriza.firuzan@deu.edu.tr

*** Doktora Öğrencisi, DEÜ, Fen Fakültesi, İstatistik Bölümü, umit.kuvvetli@hotmail.com

JEL: C19- Diğer.

GİRİŞ

Günümüzde, bir süreci, ürünü veya hizmetin kalitesini etkileyen birçok değişken vardır. Değişken sayısının artması, değişkenlerin bir arada incelenmesi gereğini zorunlu hale getirmekte, bunun sonucu olarak da çok değişkenli analizlerin önemi artmaktadır. Bu çalışmada, çok değişkenli kalite kontrolü ve birden fazla değişkenin olduğu süreçlerde süreç yeterliliğinin ölçülmesi incelenmiştir.

Ayrıca bir döküm fabrikasında ürünün ağırlığını etkileyen yedi bağımsız değişkenin her biri için kontrol kartı tutulması yerine, bu değişkenler ile adım adım (stepwise) regresyon modeli aracılığıyla bağımlı değişken tahmin edilmiş, modelden elde edilen artıklar için çizilen kontrol kartı çizilmiştir. Bu kontrol kartı ile her değişken için ayrı olarak tutulan kontrol kartlarından sağlanan bilgiye daha kolay ve daha az maliyetle ulaşılmaktadır.

1. ÇOK DEĞİŞKENLİ KALİTE KONTROLÜ

Bir parçanın uzunluğu ve ağırlığı gibi, aynı anda kontrol edilmesi gereken, birbirleriyle ilişkili iki veya daha fazla kalite karakteristiğinin olduğu durumlarda, çok değişkenli kontrol kartlarının kullanılması gerekmektedir. Böyle durumlarda, ayrı kontrol kartlarının tutulması, kontrol bölgesinin dikdörtgensel olması anlamına gelirken, çok değişkenli methodlarda bu bölge elips şekline dönüşecektir. Bunun anlamı, bazı gözlemlerin duruma göre kontrol altında olması ya da kontrol dışı olması anlamına gelmesidir (Juran, Godfrey, 2000).

Günümüzde, endüstriyel kalite kontrolünde pek çok sorun, tek bir kalite karakteristiği yerine birkaç kalite karakteristiğinin bir arada ölçümleri ile ilgilidir. Bu durumlarda, değişkenlerin ayrı ayrı kontrol kartlarında takip edilebileceği gibi, birbirleriyle ilişkili bu değişkenlerin çok değişkenli yöntemlerle gözlenmesi daha duyarlı sonuçlar alınmasını sağlayacaktır (Hawkins, 1991).

Birçok çalışma, sabit ortalama etrafındaki değişimi kontrol etmek yerine Mendel'in (1969) ileri sürdüğü, geleneksel kontrol kartları ile regresyon analizinin bir araya getirildiği modelin daha etkili olduğu konusunda hemfikirdir.

Literatürde, çok değişkenli süreçlerin izlenmesi amacıyla geliştirilen birçok yöntem bulunmaktadır. Bu yöntemlerden birisi, Douglas C. Montgomery'nin (2003) yer verdiği regresyon düzeltmesidir. Buradaki amaç; birçok bağımsız değişken ve bu bağımsız değişkenlere bağlı bir bağımlı değişkenin olduğu süreçlerde, her değişken için ayrı ayrı kontrol kartı tutmak yerine, bağımsız değişkenleri kullanarak regresyon yardımıyla bağımlı değişkeni tahmin etmek,

daha sonra bağımlı değişkenin tahmini değeri ile gerçek değeri arasındaki farkın (artıkların) kontrol kartını tutmaktır. Bu durumda, birçok kontrol kartı yerine tek bir kontrol kartı tutulmuş olacak, böylece zaman ve maliyetlerde oluşan israf önlenmiş olacaktır.

2. ÇOK DEĞİŞKENLİ SÜREÇ YETERLİLİĞİ (ÇOK DEĞİŞKENLİ SÜREÇ YETERLİLİK İNDEKSLERİ)

Çok değişkenin olduğu durumlarda süreç yeterliliğinin ölçülmesi, tek değişkenin olduğu durumlara göre çok daha dikkat ve hassasiyet gerektirir. Kotz ve Johnson'ın (1983) belirttiği gibi, pek çok karakteristik üreten bir sürecin yeterliliğinin tek bir istatistikle incelenmesi yorum ve karar hatalarına düşme riskini artırır. Pek çok istatistiğin tek bir istatistiğe indirgenmesi çok değişkenden tek değişkene geçilmesini sağlarken bazı bilgilerin yok olmasına neden olmaktadır. Bununla birlikte süreç eğer durağan ise süreci bir tek indeksle incelemek, birçok kontrol kartını bir arada kullanmaktan daha kolaydır.

Çok değişkenli analiz fikrinin temelinde uygun olmayan parçalarda yapılan ölçümlerin birbirleriyle kuvvetle ilişkili olduğunun gözlenmesi yatmaktadır. Bunun sebebi, uygun olmayan bir parçanın pek çok boyutunun beraberce uygunsuz olmasıdır.

Sürecin yeterliliği hakkında karar verirken, bu ilişki ve ilişkiler beraberce ele alınarak, örnek hacmini küçültmeye yardımcı olacak modern istatistiksel yöntemlerin kullanılması esastır. Genellikle imal edilen bir ürünün özelliklerini yani şeklini ve dizaynını tanımlamak için birden fazla değişkene ihtiyaç vardır (Taam, 1993).

Süreç yetenek analizinin ana hedefi olan uygunsuz parça sayısının minimum olması çok değişkenli analizin de ana hedefidir. Ayrıca, çok değişkenli süreç yetenek indekslerinde yine tek değişkenli durumlarda olduğu gibi ölçülen karakteristiklerin dağılımların sadece varyansları değil korelasyonları da hesaba katılmalıdır.

Taam (1993) bu ve benzeri görüşleri çok değişkenli koşullara adapte etmiş ve çok değişkenli süreç yeterlilik indekslerini, çok değişkenli sürecin spesifikasyonlarına göre olan durumunu incelemiştir. Bu çalışmada, tolerans bölgesi, süreç çıktısının dağılımına uygun olarak bir düzeltilmiş tolerans bölgesi haline getirilir ve süreç çıktılarının yayılım bölgesi %99,73'lük kısmı içerecek şekilde ölçeklendirilir. Düzeltilmiş tolerans bölgesi orijinal tolerans bölgesinin tam orta noktasına merkezlenmiş en büyük elipsoid olarak tanımlanır.

Çok değişkenli süreç yeterlilik indeksi ($M\bar{C}_{pm}$), tek değişkenli süreç yeterlilik indeksleri ile aynı özellikleri göstermektedir. Diğer bir deyişle, süreç

çıktıları tam hedef değerine merkezlendiğinde ve süreç yeterliliği 1'e eşit olduğunda süreç çıktılarının %99,73'ünün tolerans sınırları içinde olmaktadır. (Taam, 1993). Dolayısıyla, çok değişkenli süreç yeterlilik indeksinin 1'den fazla olduğu durumlarda, sürecin yeterli olduğu söylenebilmektedir.

$M\hat{C}_{pm}$, $vol(R_1)$, spesifikasyonları belirttiği düzeltilmiş tolerans bölgesi, $vol(R_3)$, hesaplanan çok boyutlu elipsoidin hacmi, T değişkenlerin sözleşme toleransları ve a,b,c,d her değişken için ortalama değer ile tolerans arasındaki uzaklık, $|\Sigma_0|$ varyans-kovaryans matrisinin determinantı, $K(m)$ m serbest dereceli χ^2 dağılımının 99,73'üncü persenteli, m değişken sayısı ve $\Gamma(m)$ gamma fonksiyonu olmak üzere;

$$vol(R_1) = \frac{1}{2} \pi^2 a \cdot b \cdot c \cdot d$$

$$vol(R_3) = \left| \Sigma_0 \right|^{1/2} (\pi K(m))^{m/2} \left[\Gamma\left(\frac{m}{2} + 1\right) \right]^{-1}$$

$$\hat{D} = \left[1 + \frac{n}{n-1} (\bar{X} - T)' \Sigma_0^{-1} (\bar{X} - T) \right]^{-1/2}$$

$$M\hat{C}_{pm} = \frac{vol(R_1)}{vol(R_3)} / \hat{D} \text{ formülüyle elde edilir (Taam,1993).}$$

3. ADIM ADIM REGRESYON

Bilindiği gibi, çoğu zaman, araştırmacı, iki ya da daha çok değişken arasında bir ilişki olup olmadığını bulmak ve bu ilişkinin bir denklemle nasıl ifade edildiğini göstermek ister. Örneğin, bir ziraatçı ürün ve gübre miktarı arasındaki ilişkiyi, bir doktor, hastanın yaşı ile hastalığın risk düzeyi, bir eğitmen, öğrencilerin ders çalışma saati ile başarı düzeyleri arasındaki ilişkiyi bilmek isteyecektir. Regresyon, iki ya da daha çok değişken arasındaki ilişkinin fonksiyonel şeklini göstermekle kalmaz, değişkenlerden birinin değeri bilindiğinde, diğeri hakkında tahmin yapılmasını sağlar.

Regresyon analizinin en küçük kareler yöntemi ile uygulanabilmesi için bazı varsayımların sağlanması gerekmektedir. Bu varsayımlar, değişkenlerin normal dağılması, bağımsız değişkenlerin birbirinden bağımsız olması, hataların sıfır ortalama ve sabit varyans ile normal dağılması ve hata terimleri arasında otokorelasyonun olmamasıdır. Bu varsayımların sağlanamaması durumunda uygulanacak olan regresyon analizi sağlıklı sonuçlar vermeyecektir. Bu varsayımlara ilaveten, kalite konusunda uygulanacak olan regresyon analizinin bir

varsayımına daha ihtiyacı olacaktır. Bu varsayım, söz konusu bağımsız değişkenlerin (kalite karakteristiklerinin) kontrol altında olmasıdır. Bu varsayım sağlanmadığı takdirde, ortaya çıkacak ürün sözleşme koşullarını yerine getirmediği için hatalı olacaktır. Bunun yanı sıra, Alwan (1992) otokorelasyonun olduğu durumlarda, geleneksel kontrol kartlarının yanlış alarm verme olasılığının arttığını göstermiştir.

Regresyon analizi, çok değişkenli kalite kontrolde tanımlama amacıyla kullanılmaktadır. Hawkins, değişkenlerin regresyon düzeltilmesinin, klasik çok değişkenli kalite kontrole göre daha etkili bir yol olduğu önermiştir. Hawkins, çalışmasında birbiriyle ilişkili değişkenleri regresyon yardımıyla analiz ederek, regresyon artıklarının kartını kullanmıştır. Bu kartın kullanımı sonucunda, bir değişkendeki potansiyel kaymalara karşı, kartın klasik kontrol kartlarına göre daha etkili olduğunu göstermiştir (Hawkins, 1993).

Bir ekonominin durumu, bir firmanın karlılığı veya bir ürünün kalitesi gibi çok sayıda değişkenin olduğu durumlarda, hangi değişkenlerin daha fazla etkin olduğu önemlidir. Çok sayıda değişkenin olduğu buna benzer durumlarda, regresyon modelinde hangi değişkenlerin olması gerektiği problemini ortaya çıkarmaktadır. Çok değişkenli etkileşimlerin ve yüksek dereceli polinomların (karesel, kübik vb.) olduğu durumlarda sistematik bir yaklaşımda bulunmak zordur. Bu nedenle, çok değişkenin olduğu durumlarda adım adım regresyon diye bilinen yöntem sıklıkla kullanılmaktadır (Mendenhall&Sincich, 1996). Kısaca, adım adım regresyon, modelde hangi değişkenlerin olması gerektiğine, hangi değişkenlerin modele eklenip, eklenmeyeceğine karar verilmesini sağlayan, F-testine dayalı bir yöntemdir. Adım adım regresyon, regresyonda kullanılan ileriye dönük (forward) ve geriye dönük (backward) seçim modellerinin kombinasyonudur. Adım adım regresyon, her değişkenin modelde yer alabilmesi için sahip olması gereken en düşük F değerinin (veya p değeri) belirlenmesinin ardından, her seferinde bir değişkenin modele eklenmesi, eklenen değişkenin modelde kalması ya da çıkartılması konusunda kararın F değerine göre verildiği bir yöntemdir.

4. UYGULAMA

Uygulama, ABC Döküm fabrikasında gerçekleştirilmiştir. Fabrikada üretimi yapılan alüminyum döküm parça üzerinde birbirinden bağımsız kalite karakteristiği olan yedi değişken belirlenmiş, parça ağırlığı ise bağımlı değişken olarak tanımlanmıştır. Regresyon analizi için öncelikle üretimden birbirini takip eden 100 adet parça örnek olarak alınmış ve ölçümleri yapılmıştır. Değişkenlere ilişkin ortalama, standart sapma ve alt ve üst sözleşme limitleri Tablo 1’de verilmiştir. Bu verilerin ışığı altında tüm değişkenler açısından sürecin yeterli olup olmadığı analiz edilmiş ve kurulacak regresyon modelinin geçerliliği için varsayımlar testten geçirilmiştir.

Tablo 1. Değişkenler için tanımlayıcı istatistikler (n=100)

Değişkenler	\bar{X}	Std. Sapma	ASL	USL
X_1	154.51	0.108	154.0	155.0
X_2	102.00	0.109	101.6	102.4
X_3	99.997	0.101	99.6	100.4
X_4	68.210	0.142	67.5	69.00
X_5	13.992	0.112	13.5	14.5
X_6	9.996	0.106	9.5	10.5
X_7	78.979	0.120	78.5	79.5
y	2110.00	0.363	2108	2112

Regresyon modeli oluşturulmadan önce, model için gerekli olan varsayımların sağlanıp sağlanamadığı oldukça önemlidir. Bu varsayımlardan bir tanesi, değişkenlerin normal dağılması gerekliliğidir. “ H_0 :Veri normal dağılımdan gelmektedir.” Hipotezi, her bir değişken için test edilmiş olup, elde edilen p değerleri Tablo 2’de verilmiştir. Ayrıca, değişkenlerin bir arada iken sürecin yeterliliği ölçülmeden önce, değişkenlerin bireysel olarak yeterli olup olmadıkları, analiz için gerekli olan diğer bir varsayımdır. Değişkenlerin bireysel olarak yeterli olmadığı durumlarda, sürecin çoklu yeterliliğe sahip olma olasılığı düşüktür. Değişkenlerin bireysel olarak yeterlilikleri, NCSS paket programı yardımıyla ölçülmüş ve her değişken için elde edilen C_p ve C_{pk} değerleri Tablo 2’de yer almaktadır.

Tablo 2. Değişkenler için süreç yeterlilik indeksleri ve p değerleri

Değişkenler	C_p	C_{pk}	p-değeri
X_1	1.53	1.50	0.847
X_2	1.21	1.21	0.771
X_3	1.31	1.30	0.868
X_4	1.76	1.66	0.741
X_5	1.48	1.45	0.790
X_6	1.56	1.55	0.922
X_7	1.38	1.33	0.901
Y	1.83	1.83	0.549

Yapılan normallik testleri ve süreç yeterlilik analizleri sonucunda, tüm değişkenlerin normal dağıldığı ve her değişkenin C_p ve C_{pk} değerlerinin yeterli büyüklüğe sahip olduğu görülmektedir. Regresyon düzeltmesi için gerekli olan bu

varsayımların sağlandığı görüldükten sonra, Minitab aracılığıyla oluşturulan regresyon modeli ve modele ilişkin diğer değerler şöyledir:

$$y = 2046 + 0,079 x_1 - 0,289 x_2 + 1,17 x_3 + 0,351 x_4 - 0,835 x_5 - 0,917 x_6 - 0,494 x_7$$

	Katsayılar	St. H.	T	P
Sabit	2046,31	64,91	31,53	0,000
X_1	0,0792	0,2613	0,30	0,763
X_2	-0,2889	0,2753	1,05	0,297
X_3	1,1679	0,3110	3,75	0,000
X_4	0,3515	0,2310	1,52	0,132
X_5	-0,8349	0,2635	-3,17	0,002
X_6	-0,9168	0,2690	-3,41	0,001
X_7	-0,4936	0,2287	-2,16	0,033
S=0,278500	R-Kare=35,0%		R-Kare(düz)=30,0%	

Varyans Analizi

	S.d.	HKT	HKO	F	P
Regresyon	7	3,83876	0,54839	7,07	0,000
Artık	92	7,13573	0,07756		
Toplam	99	10,97449			

Elde edilen model anlamlı olmasına rağmen, x_1 , x_2 ve x_4 değişkenleri anlamsız olarak bulunmuştur. Adım adım regresyon analizi ile bu değişkenlerin yer almadığı model ve diğer değerler aşağıdaki gibi bulunmuştur.

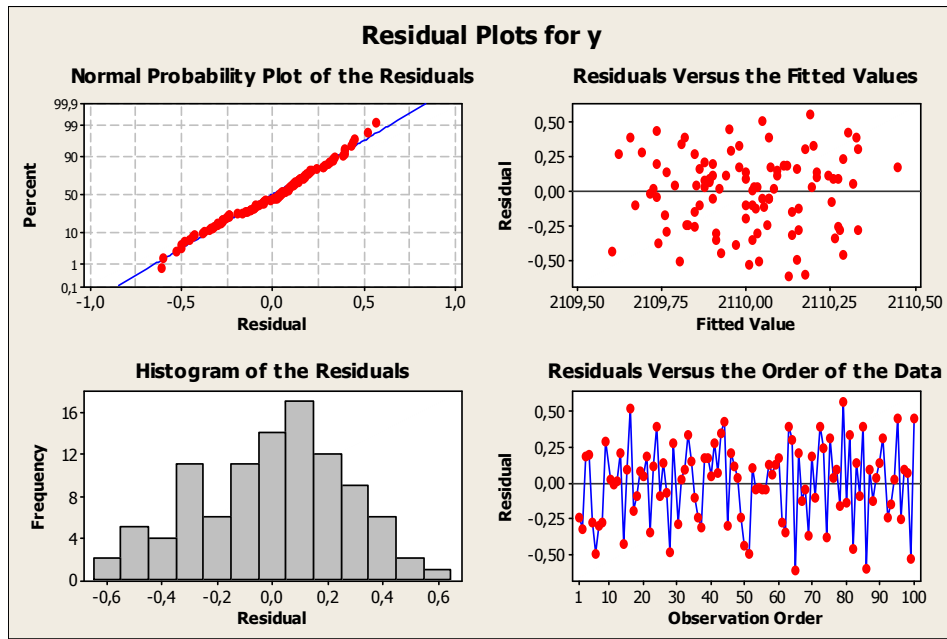
$$y = 2063 + 1,08 x_3 - 0,858 x_5 - 0,917 x_6 - 0,504 x_7$$

	Katsayılar	St. H.	T	P
Sabit	2063,13	36,76	56,13	0,000
X_3	1,0783	0,3003	3,59	0,001
X_5	-0,8583	0,2630	-3,26	0,002
X_6	-0,9169	0,2625	-3,49	0,001
X_7	-0,5037	0,2279	-2,21	0,029
S=0,278662	R-Kare=32,8%		R-Kare(düz)=30,0%	

Varyans Analizi

	S.d.	HKT	HKO	F	P
Regresyon	4	3,59752	0,89938	11,58	0,000
Artık	92	7,37697	0,07765		
Toplam	99	10,97449			

Şekil 1: Artıkların grafikleri



Elde edilen modelin geçerli olduğu ($p < 0,05$), bağımsız değişkenlerin her birinin anlamlı çıktığı görülmektedir. Regresyon analizinin diğer varsayımları kontrol edildiğinde ise, Şekil 1’de görüleceği gibi artıkların sıfır ortalama, sabit varyans ile normal dağıldığı, rassal ve bağımsız sıralandığı bir başka deyişle varsayımların sağlandığı anlaşılmaktadır.

Bağımsız değişkenlerin bireysel olarak yeterli olmasına karşılık, bir araya geldiklerinde nasıl bir davranış içinde olacakları araştırılmış, bu amaçla modelde kalan 4 değişken için çok değişkenli süreç yeterlilik indeksi hesaplanmıştır Çok değişkenli süreç yeterlilik indeksi hesaplanırken, kullanılan değerler;

$$vol(R_1) = \frac{1}{2} \cdot \pi \cdot (0.4) \cdot (0.5) \cdot (0.5) \cdot (0.5) = 0.2469$$

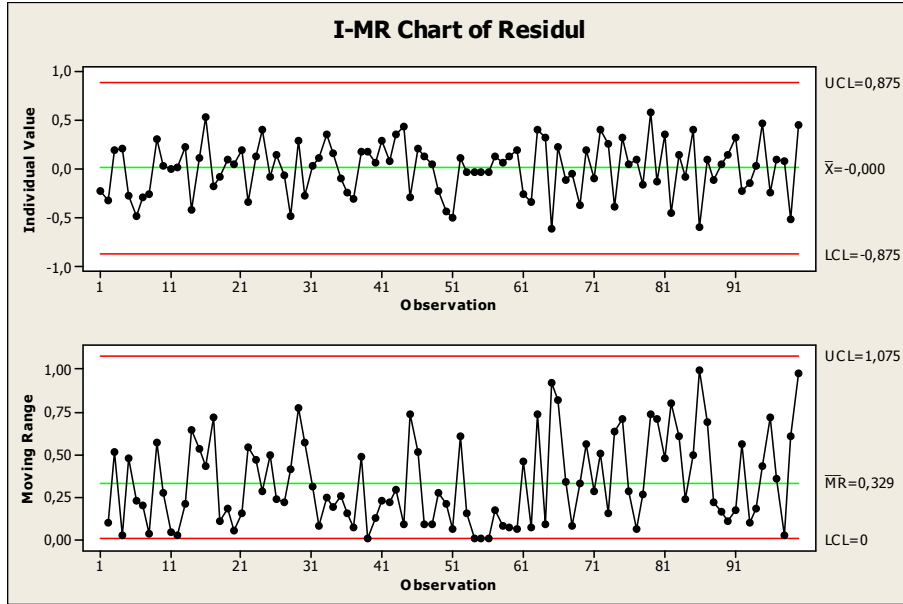
$$vol(R_3) = (0.00013) \cdot (2608.64) \cdot (0.5) = 0.1736$$

$\hat{D} = 1.005$ olarak elde edilmiştir.

Sonuç olarak, söz konusu süreç için çok değişkenli süreç yeterlilik indeksi ($M\hat{C}_{pm}^*$) 1,41 olarak bulunmuş olup, söz konusu dört değişkenin birlikte iken, bir süreci temsil edebilme yeteneğinin yeterli düzeyde olduğunu göstermektedir.

Regresyon modeli kurulup, gerekli olan tüm varsayımların sağladığı görüldükten sonra, bir sonraki aşama modelden elde edilen artıklar için kontrol kartının çizilmesidir. Ölçülerek bulunan gerçek y değerlerinden, bu değerlerin modelden elde edilen tahmini değerleri çıkartılarak hesaplanan artık değerleri için çizilen kontrol kartı Şekil 2’de gösterilmiştir.

Şekil 2: Artıkların kontrol kartı



Elde edilen bu kontrol kartı, analizden sağladığı bilgiyi sağlamaktadır. Bu gibi çalışmalarda, bir gözlem setinde yer alan bağımsız değişkenlerden en az birinin sözleşme limitleri dışında bulunması durumunda, o gözleme ait regresyon modelinden bulunan artık değerinin de yeni çizilen kontrol kartında limitler dışında olması istenilecektir ve bu durumda, modelde bulunan bağımsız değişkenlere ait kontrol kartlarının tutulması ihtiyacını ortadan kaldıracaktır. Ancak istatistiksel süreç kontrol kartlarının kullanılması esnasında ortaya çıkan dört durum, bu kartın kullanılması sürecinde de ortaya çıkacaktır. Bunlar;

1. Hata değeri kontrol altında, değişkenler sözleşme limitleri içerisinde;
2. Hata değeri kontrol altında, değişkenler sözleşme limitleri dışında;
3. Hata değeri kontrol dışında, değişkenler sözleşme limitleri içerisinde;
4. Hata değeri kontrol dışında, değişkenler sözleşme limitleri dışında;

Bu ihtimallerden 1. ve 4. durumlar doğru karar vermeyi sağlar iken, 2. ve 3. durumlar yanlış karar vermeye yönlendirmektedir. Bilindiği gibi, 3. durum, istatistikte I. tip hata olarak adlandırılır ve değişkenlerin sözleşme limitleri içerisinde olmasına rağmen, kontrol kartının verdiği bir yanlış sinyaldir. Kontrol kartının bu yanlış sinyali verme olasılığı, istatistikte doğru olan bir hipotezi reddetme olasılığı olan α kadardır. 2. Durum ise, II. tip hata olarak adlandırılır ve bu durum; değişkenlerden en az birinin sözleşme limitleri dışında olmasına rağmen, kartın doğru sinyali vermemesidir. Kartın bu doğru sinyali vermeme olasılığı ise, yanlış olan bir hipotezi kabul etme olasılığı olarak bilinen β kadardır.

Değişkenlerin her birinin sözleşme limitleri içerisinde olduğu durumda, modelden elde edilen artıklar da $1-\alpha$ olasılıkla kontrol limitleri içerisinde, α olasılıkla kontrol limitleri dışında olmaktadır. Benzer şekilde, değişkenlerden en az bir tanesinin sözleşme limitleri dışında olduğu durumlarda, hatalar $1-\beta$ olasılıkla kontrol limitleri dışında, β olasılıkla kontrol limitleri içerisinde olmaktadır. Kurulmuş olan bu modele ilişkin α ve β olasılıklarını tahmin etmek amacıyla 1000 adet veri alınmış ve elde edilen sonuçlar aşağıdaki tabloda özetlenmiştir.

Tablo 3: Tüm olası durumlar

		Artık Değişkeni	
		Kontrol Altında	Kontrol Dışında
Değişkenler	Kontrol Altında	771	110
	Kontrol Dışında	14	105

Tablodaki değerlerden yapılan hesaplamalar sonucu, bu kontrol kartına ait $\alpha = 0.1248$, $\beta = 0.1176$ olarak hesaplanmıştır. Bu değerler herhangi bir kontrol kartı için kabul edilebilir sınırlar arasındadır.

SONUÇ VE YORUMLAR

Yedi bağımsız, bir bağımlı değişkenin olduğu döküm fabrikasında gerçekleştirilen örnek sürecimizde, 5 kontrol kartı tutulması gerekirken tek bir kontrol kartı çizilmiştir. Söz konusu değişkenlerin bireysel süreç yeterlilikleri ve bir arada iken süreçlerin yeterli olduğu ve regresyon analizi varsayımlarını sağladığı gösterilmiş, daha sonra analiz uygulanmıştır. Yapılan analiz sonucu bazı değişkenlerin modelde bulunmalarına gerek olmadığına karar verilmiş ve bu değişkenler adım adım regresyon yardımıyla modelden çıkarılmıştır. Diğer değişkenler ile kurulan modelden elde edilen artıklar için kontrol kartının alt ve üst sınırları hesaplanmış olup, bu kontrol kartının, söz konusu tüm değişkenler için çizilen kontrol kartlarının yerine kullanılabileceği gösterilmiştir. Son olarak da tüm kontrol kartlarında bulunan I. ve II. tip hata yapma olasılıkları hesaplanmıştır.

KAYNAKÇA

Alwan, L. C., (1992), Effects of autocorrelation on control chart performance. *Communications in Statistics: Theory and Method*, 21(4): 1025-1049.

Anscombe, F. J. and Tukey, J. W. (1963), The examination and analysis of residuals. *Techometrics*, 5 (2): 141-160.

Hawkins, D.M. (1991), Multivariate quality control using regression-adjusted variables. *Technometrics*, 33(1): 61-75.

Hawkins, D.M. (1993), Regression adjustment for variables in multivariate quality control. *Journal of Quality Technology*, 25(3): 170-182.

Juran, J., Godfrey A.B. (2000), *Juran's quality handbook*. New York. McGraw-Hill.

Kotz, S., Johnson, L. (1995), *Process capability indices*. London: Chapman&Hall.

Mendel, B.S. (1969), The regression control chart. *Journal of Quality Technology*, 1(1): 1-9.

Mendenhall, W., Sincich T. (1996), *A Second Course in Statistics-Regression Analysis*. New Jersey: Prentice Hall.

Montgomery D. (2003), *Introduction to statistical quality control*. New York: John Wiley& Sons. Inc.

Taam, W., Subbaiah, P. and Liddy J. W., (1993), A note on multivariate capability indices. *Journal of Applied Statistics*, 20(3): 339-351.