

Makalenin Geliş Tarihi : 25.02.2011
Makalenin Kabul Tarihi : 15.03.2011

KÖMÜR FLOTASYONUNDA KULLANILAN GAZYAĞI MİKTARININ ORANLARIN FARKI TESTİ İLE OPTİMİZASYONU

Kemal BİLİR

ÖZET : Bilimsel araştırmaların vazgeçilmez bir unsuru olan deneysel çalışmalar, uzun zaman alan ve uğraşı gerektiren çalışmalardır. Bu nedenle, bu tür çalışmalar öncesinde doğru ve güvenilir verilerin elde edilebilmesi için, en uygun deneysel tasarımın yapılması gerekmektedir. Bu aşamada kullanılacak deneysel tasarım yöntemi, yapılan çalışmanın amacına ve eldeki verilere uygun olmalıdır. Verilerin yorumlanarak anlamlı sonuçların elde edilmesi ancak istatistiksel yöntemlerin kullanılması ile mümkün olmaktadır. İstatistiksel hipotez testi iki deney arasındaki farklılığın gerçek farklılık mı yoksa rassal olayların sebep olduğu deneysel hatalardan mı kaynaklandığını belirlemede kullanılabilen bir yöntemdir. Bu özelliği nedeniyle, yapılacak deney sayısının azaltılmasında veya deneylerin sonlandırılmasında istatistiksel hipotez testi kullanılabilir. Bu çalışmada, negatif biaslı flotasyon kolonu kullanılarak gazyağı miktarının kömürün yanabilir madde verimi ve kül içeriği üzerine olan etkisi çalışılmış ve kullanılan gazyağı miktarının optimum değerini belirleyebilmek için oranların farkı yöntemi olarak bilinen hipotez testinden yararlanılmıştır.

ANAHTAR KELİMELELER : Oranların farkı testi, Hipotez testi, Kömür, Flotasyon

OPTIMIZATION OF THE AMOUNT OF KEROSENE USED AT COAL FLOTATION WITH DIFFERENCE BETWEEN PROPORTIONS TEST

ABSTRACT : Experimental studies being an indispensable element of scientific researches require long time and effort. Therefore, before such studies the most appropriate experimental design must be performed to obtain accurate and reliable data. Experimental design method used at this stage must be suitable to the purpose of the study and to available data. Obtaining meaningful results from interpreted data could only be possible by using statistical methods. Statistical hypothesis test is a method that can be used to determine the difference between two experiments whether it is coincidental or real. Because of this feature, statistical hypothesis test could be used in reducing the number of experiments or terminating experiments. In this study, the effect of kerosene dosage on the recovery of combustible matter and ash content of coal has been studied using flotation column with negative bias. The optimum value of kerosene dosage was determined using hypothesis test known as the difference between proportions.

KEYWORDS : Difference between proportions, Hypothesis test, Coal, flotation

¹ Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Maden Müh. Blm., Meşelik Kamp., 26480 ESKİŞEHİR

I. GİRİŞ

Tükenebilir fosil yakıtlardan olan kömür, halen dünya enerji üretiminde oldukça önemli bir yere sahiptir. Türkiye’de de fosil yakıt kaynakları içerisinde en büyük rezerve sahip olan kaynak kömürdür. Petrol ve doğalgaz gibi diğer fosil yakıt kaynaklarının her geçen gün hızla tükendiği göz önüne alınırsa, gelecekte de enerji üretiminde önemli rol oynayacak olan kömür rezervlerinin en etkin şekilde kullanılması ve değerlendirilmesi gereği ortaya çıkmaktadır.

Türkiye Kömürlerinin üretilmesi ve tüketime hazırlanması esnasında oldukça yüksek miktarda ince boyutlu toz kömür ortaya çıkmaktadır. Yüksek kül içerikli bu kömürlerin (1–2 mm altı) değerlendirilmesi ülke ekonomisi ve gelecekteki enerji hammadde gereksinimleri açısından bir zorunluluktur.

Kömür, oldukça iri boyutta (0,2–2 mm) serbestleştigiinden bunların flotasyon hücrelerinde [1–5] ve mekanik karıştırıcısı bulunmayan klasik flotasyon kolonlarında flotasyon verimi düşük olmaktadır [6–10].

İri taneli kömürlerin flotasyon verimini iyileştirmek amacıyla, çalışma prensipleri klasik flotasyon kolonu ile hemen hemen aynı olan negatif biaslı flotasyon kolonu kullanılmış ve böylece iri tanelerin de flotasyon ile zenginleştirilmesi (laboratuvar ve pilot ölçekte) mümkün olmuştur [6–11]. Negatif biaslı flotasyon kolonunu klasik flotasyon kolonundan ayıran en belirgin özellikler; yıkama suyunun kullanılmaması, hemen hemen hiç köpük zonu bulunmaması ve ters akımlı su sisteminin varlığıdır [6].

Kömürlerin flotasyon yeteneği kömürleşme derecesine, kül içeriğine, nem taşıma ve yüzey oksidasyonu özelliklerine bağlı olarak değişir. Kömürlerin kimyasal ve yüzey özelliklerine göre, zenginleştirme verimini arttırmak için çeşitli nötr yağlar ve bastırıcılar kullanılmaktadır [12].

Kimyasal yapı bakımından doğal olarak hidrofobik olması gereken kömür, kül içeriği arttıkça hidrofilik özellik kazanabilir. Ayrıca yüzey oksidasyonu ve kömürün nem taşıma kapasitesinin fazla olması da flotasyonu olumsuz yönde etkiler. Bu nedenle pek çok kömür türünde yüksek verime ulaşmak için nötr hidrokarbon yağların kullanılması gerekir. Genellikle kömür flotasyonunda flotasyon reaktifi (toplayıcı) olarak gazyağı, kreozot, fueloil gibi nötr yağlar kullanılır [12–17].

Deneyisel çalışmalarda deney tasarım yöntemlerinin kullanımı ile deney sayısının azaltılması, tahminlerin en az hatayla yapılması ve deney analiz sonuçlarının güvence altına alınması amaçlanmaktadır. İstatistiksel deney tasarımında, bir veya birden fazla bağımsız değişkenin bağımlı değişken üzerindeki etkisi analiz edilirken ortaya çıkan değişkenliğin rassal hatalardan mı yoksa deney hatalarından mı ortaya çıktığı ve optimum deney sayısı belirlenmeye çalışılmaktadır [18–23].

Cevher zenginleştirme laboratuvarlarındaki çok ve zor olan deney koşulları göz önüne alındığında, bu deneyleri en aza indirmek ve en verimli şekilde gerçekleştirebilmek ve sonuçları doğru yorumlayabilmek için deney tasarımı yöntemlerinin uygulaması son derece önemlidir. Deney tasarım yöntemleri, deney optimizasyonu problemlerinin çözümünde, deney sayısını azaltmaya yardımcı olduğu gibi, aynı zamanda deney koşullarından kaynaklanan hataları da minimize eden çözümler de ortaya koyar.

Bu çalışmada, negatif biaslı flotasyon kolonunda yapılan kömür flotasyonunda, toplayıcı olarak kullanılan gazyağı miktarına göre elde edilen deney sonuçları kullanılmıştır [6]. Gazyağı miktarının yanıcı madde verimi ve konsantredeki kül miktarı üzerine olan etkisi araştırılmıştır. Elde edilen deney sonuçları arasındaki farklılıkların yorumlanması ve en uygun gazyağı miktarının tespiti, istatistiksel hipotez testi yöntemlerinden olan oranların farkı testi ile yapılmıştır.

II. NEGATİF BİASLI FLOTASYON KOLONU

Negatif Biaslı Flotasyon kolonu, iri boyutta serbestleşen (2–3 mm ve altı) cevherleri zenginleştirmek veya gereksiz ince öğütmeyi önlemek amacıyla değirmen-klasifikatör arasına yerleştirilip kaba zenginleştirmeyi sağlamak için geliştirilmiş bir flotasyon aletidir. Negatif biaslı kolon, çalışma prensipleri açısından klasik kolona benzer [6–11]. Ancak, aralarında şu önemli farklılıklar vardır:

Bias değeri negatiftir, köpük zonu ve yıkama suyuna gereksinim yoktur.

Uzunluğu oldukça azdır (iri taneli cevherlerin flotasyon kinetiği oldukça yüksek olduğundan, flotasyon süresi oldukça kısadır. Bu nedenle kolon uzunluğu 2–4 m arasında değişir)

Yukarıda belirtilen farklılıklar, negatif biaslı flotasyon kolonuna aşağıda belirtilen üstünlükleri sağlar [6–11];

İri boyutlu (2–3mm ile 0,1mm arası) cevherleri zenginleştirme,

Daha düşük kolon yüksekliği,

Daha düşük çalışma maliyeti

Deneylerde kullanılan negatif biaslı flotasyon kolonu, 300 cm uzunluğunda ve 6 cm çapında olacak şekilde saydam polyester malzemeden imal edilmiştir. Bu flotasyon kolonunun çalışma özellikleri aşağıdaki gibidir [6].

Koşullandırılan pülp, 20 litrelik karıştırma kabına konulmakta ve besleme pompası yardımı ile kolon tabanından 173 cm yüksekliğindeki besleme noktasından kolona verilmektedir. Hava ise, paslanmaz bir malzemeden yapılmış olan sparger (hava üretici) yardımıyla kolonun alt kısmından belirli bir basınç ve debide kolona verilmektedir. Oluşan hava kabarcıkları yukarı doğru yükselir iken, aşağıya doğru inen taneler ile karşılaşmakta ve flotasyonun mikro-olayları sonucunda oluşan kabarcık-tane agregaları kolonun üst kısmındaki toplama kabına doğal taşma ile boşalmakta ve oradan da toplama kovasına alınmaktadır. Yüzmeyen taneler ise kolonun alt kısmından artık pompası yardımıyla alınmakta ve diğer kovada toplanmaktadır. Besleme debisi (hız kontrol ünitesi ile) ve hava debisi (debi ölçer ile) elle kolaylıkla ayarlanabilmektedir.

III. ORANLARIN FARKI HİPOTEZ TESTİ

İki ayrı deney yapılarak elde edilen konsantre kömür örneklerinin yanıcı madde verim oranları arasında fark olup olmadığını belirlemede, oranların farkı hipotez testi yöntemi uygulanabilmektedir [18–23].

İki ayrı deneyin konsantre kömür örnekleri büyüklüğü ve yanıcı madde verim oranları,

n_1 : Birinci deney konsantre kömür örneği ağırlık yüzdesi

n_2 : İkinci deney konsantre kömür örneği ağırlık yüzdesi

P_1 : Birinci deney konsantre kömür örneği yanıcı madde verim oranı

P_2 : İkinci deney konsantre kömür örneği yanıcı madde verim oranı

Olmak üzere, hipotez testi aşağıdaki gibi gerçekleştirilir.

III.1. Hipotezlerin Kurulması

Öncelikle iki deney konsantre yanıcı madde verim oranları arasında fark olmadığını ifade eden sıfır hipotezi (H_0) kurularak, aksi ispatlanmadığı sürece, deney sonuçları arasında fark olmadığı, farkın deney hatalarından veya rassal olayların etkisiyle meydana geldiği kabul edilir.

$$H_0 : (P_1 - P_2) = 0 \quad (1)$$

Daha sonra, iki deney konsantre yanıcı madde verim oranları arasında anlamlı bir fark olduğunu ifade eden karşıt hipotez (H_1) kurulur:

$$H_1 : (P_1 - P_2) \neq 0 \quad (2)$$

III.2. Red ve Kabul Bölgelerinin Tanımlanması

H_0 ve H_1 hipotezlerinin red veya kabul edilip edilmeyeceğini belirlemek için öncelikle, red ve kabul bölgelerinin tanımlanması gerekir. Red ve kabul bölgeleri arası sınırı tanımlayan teorik test istatistiği, belirli bir α güven seviyesi için, ana kütleden yapılan örneklerin oranları dağılımının normal olması nedeniyle, z tablosundan elde edilir. H_1 hipotezi, eşitsizlik koşulu için kurulduğundan, red bölgesi sınırı ($Z_{\alpha/2}$) çift taraflı olarak $\alpha/2$ güven seviyesine göre belirlenir.

III.3. Test İstatistiğinin Hesaplanması

İki deney konsantre örneği yanıcı madde verim oranlarının ağırlıklı ortalaması (P) aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$P = \frac{(n_1 \cdot P_1) + (n_2 \cdot P_2)}{n_1 + n_2} \quad (3)$$

Bu durumda, iki deney artık örneği yanıcı madde verim oranlarının ağırlıklı ortalaması (Q) olur.

$$Q = 100 - P \quad (4)$$

Bu durumda, iki deney konsantre örneği yanıcı madde verim oranları farklarının standart hatası aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$\sigma_{P_1-P_2} = \sqrt{P \cdot Q \cdot \left(\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2} \right)} \quad (5)$$

Oran farklarının standart hatası yardımıyla da, örnek kütlelerin verim oranları farklarının test istatistiği;

$$Z_h = \left| \frac{(P_1 - P_2) - 0}{\sigma_{P_1-P_2}} \right| \quad (6)$$

eşitliği ile hesaplanır.

III.4. Karar Verme

Test istatistiğinin hesaplanması sonrasında $Z_h > Z_{\alpha/2}$ ise Z_h red bölgesinde kalacağından H_0 hipotezi red , H_1 hipotezi ise kabul edilir. Bu durumda iki deney konsantre örneği yanıcı madde verim oranları arasında anlamlı bir fark olduğu söylenebilir.

$Z_h \leq Z_{\alpha/2}$ ise Z_h kabul bölgesinde kalacağından H_0 hipotezi kabul , H_1 hipotezi ise red edilir. Bu durumda, iki deney konsantre örneği yanıcı madde verim oranları arasında anlamlı bir fark olmadığı, farklılığın deney hatalarından veya rassal olayların etkisiyle meydana geldiği kabul edilir.

IV. DENEYSEL TASARIM VE TEST

Birinci deneyde gazyağı miktarı 0 g/t ve ikinci deneyde 500 g/t olarak alınmış olup, konsantre kömür ürünü ağırlık yüzdeleri ve yanıcı madde verimleri Çizelge 1’de verilmiştir [6].

Çizelge 1. İlk iki deneye ait sonuçlar

| 1. Deney (Gazyağı miktarı 0 g/t) | | 2. Deney (Gazyağı miktarı 500 g/t) | |
|----------------------------------|--|------------------------------------|--|
| Ağırlık (n ₁) (%) | Yanıcı Madde Verimi (P ₁) (%) | Ağırlık (n ₂) (%) | Yanıcı Madde Verimi (P ₂) (%) |
| 12,49 | 19,40 | 29,59 | 49,10 |

Deney sonuçları ele alınarak yanıcı madde verim oranları farkları için hipotez testi aşağıdaki gibi gerçekleştirilmiştir.

$$H_0 : (P_1 - P_2) = 0$$

$$H_1 : (P_1 - P_2) \neq 0$$

Teorik Red Sınırı : $\alpha=0,10$ ve $\alpha/2=0,05$ için $Z_{\alpha/2}=1,645$

Red Bölgesi : $Z_h > Z_{\alpha/2}$ ise H_0 red, H_1 kabul edilir.

İki deney konsantre örneği yanıcı madde verim oranlarının ağırlıklı ortalaması (P) değeri, (3) no’lu eşitlik yardımıyla hesaplanır.

$$P = \frac{(12,49 \cdot 19,40) + (29,59 \cdot 49,10)}{12,49 + 29,59} = \mathbf{40,28\%}$$

İki deney artık örneği yanıcı madde verim oranlarının ağırlıklı ortalaması (Q) değeri ise (4) no'lu yardımıyla hesaplanır.

$$Q = 100 - 40,28 = \mathbf{59,72}$$

İki deney konsantre örneği yanıcı madde verim oranları farklarının standart hatası (5) no'lu eşitlik yardımıyla hesaplanır.

$$\sigma_{P_1-P_2} = \sqrt{40,28 \cdot 59,72 \cdot \left(\frac{1}{12,49} + \frac{1}{29,59} \right)} = \mathbf{16,55}$$

Oran farklarının standart hatası yardımıyla da, örnek kütlelerin verim oranları farklarının test istatistiği de eşitlik (6) ile hesaplanır.

$$Z_h = \left| \frac{(19,40 - 49,10) - 0}{16,55} \right| = \mathbf{1,79}$$

Karar : $Z_h = 1,79 > Z_{\alpha/2} = 1,645$ olduğundan H_0 red, H_1 kabul edilir.

Yorum : Gazyağı miktarının 500 g/t olması, kömür yanıcı madde veriminde yeterli bir iyileşme sağlamaktadır. Verim oranları farkları anlamlıdır.

İlk iki deney sonrasında, yanıcı madde verim oranları arasında anlamlı bir fark elde edilmesine karşın, bu sonuç kullanılan gazyağı miktarının optimum değer olup olmadığı hakkında tam bir fikir vermemektedir. Bu nedenle gazyağı miktarı artırılarak yeni deneyler yapılır ve bir önceki deney ile yeni deneylerin verim oranları farkları arasında hipotez testi tekrarlanır.

Gazyağı miktarının değişken olduğu deneyler için yapılan hipotez testi sonuçları Çizelge 2'de verilmiştir.

Çizelge 2 Deneylere ait hipotez testi sonuçları

| Gazyağı Miktarı (g/t) | 1. Deney | | 2. Deney | | Test İstatistiği Z_h | Test Sonucu |
|--------------------------------|-------------------------|-----------------------|-------------------------|-----------------------|---------------------------|-------------|
| | Ağırlık (%) n_1 | Verim (%) P_1 | Ağırlık (%) n_2 | Verim (%) P_2 | | |
| 1. Deney=0 2. Deney=500 | 12,49 | 19,40 | 29,59 | 49,10 | 1,79 | H_1 Kabul |
| 1. Deney=500 2. Deney=1000 | 29,59 | 49,10 | 41,09 | 71,40 | 1,91 | H_1 Kabul |
| 1. Deney=1000 2. Deney=1500 | 41,09 | 71,40 | 43,58 | 77,30 | 0,62 | H_0 Kabul |
| 1. Deney=1500 2. Deney=2000 | 43,58 | 77,30 | 49,00 | 80,40 | 0,37 | H_0 Kabul |
| 1. Deney=2000 2. Deney=2500 | 49,00 | 80,40 | 49,97 | 81,20 | 0,10 | H_0 Kabul |

Deneylerin test sonuçlarını incelediğimizde gazyağı miktarının 1000 g/t olduğu durumda da, H_0 hipotezi ret edilmekte yani H_1 kabul edilmektedir. Kömür flotasyonunda gazyağı miktarının 1000 g/t'a çıkması ile yanıcı madde verimi oranında anlamlı bir fark oluşmaktadır. Ancak, gazyağı miktarını 1000 g/t'dan 1500 g/t'a çıkardığımızda, H_0 hipotezi kabul edilmektedir. 2000 ve 2500 g/t gazyağı miktarları denendiğinde de H_0 hipotezi kabul edilmektedir. Yani 1500–2500 g/t'luk gazyağı kullanımında elde edilen yanıcı madde verim oranları arasında anlamlı bir fark söz konusu olmamaktadır.

Bu durumda, kömür yanıcı madde verimini arttırmak için gazyağı miktarını 1000 g/t'dan daha fazla arttırmanın önemi bulunmamaktadır. Ayrıca, flotasyon ekonomisi açısından da, anlamsız bir verim farkı için gazyağı miktarını arttırmaya gerek olmadığı da bir gerçektir.

V. SONUÇLAR

İri boyutta serbestleşen kömürlerin negatif biaslı flotasyon kolonu ile zenginleştirilmesinde gazyağı miktarının etkisinin ve optimum gazyağı miktarının tespitinde oranların farkı testinin kullanılabilirliğinin araştırıldığı bu çalışmada, aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

Gazyağı miktarının 0–1000 g/t olduğu bölgede, gazyağı miktarı arttırıldığında iri taneli kömürlerin yüzebilirliği artarken; kül yapıcı maddelerin gazyağından etkilenmemeleri nedeniyle konsantreye doğru sürüklenmesi sabit kalmaktadır. Bunun sonucunda hem konsantrenin külü azalmakta hem de yanıcı madde verimi artmaktadır.

Gazyağı miktarının 1000 g/t'dan daha da fazla arttırılması durumunda ise, yanıcı madde verimi artışında önemli bir değişim gözlenmemektedir. Bu durumda, flotasyon ekonomisi açısından, gazyağı miktarını daha fazla arttırarak deneyler yapmaya devam etmenin anlamı bulunmamaktadır.

Flotasyon yöntemiyle yapılacak kömür zenginleştirme deneylerinde, istatistiksel hipotez testi yöntemlerinden oranların farkı testi kullanıldığında, zenginleştirme verimi artışlarının rassal etkiler veya deney hatalarından meydana gelip gelmediğinin tespit edilebileceği belirlenmiştir. Bu tespit sonucunda ise optimum zenginleştirme verimini sağlayan bağımsız değişken değerinin, daha az sayıda deney yapılarak gerçekleştirilmesi mümkün olabilecektir.

VI. KAYNAKLAR

- [1] H.J. Schulze, “*Physico-Chemical Elementary Processes in Flotation*”, Elsevier, 1984.
- [2] J.A. Finch and G.S. Dobby, “*Column Flotation*”, Pergomon Press, 1990.
- [3] H.J. Schulze, “New theoretical and experimental investigation on stability of bubble/particle aggregates in flotation: a theory on the upper particle size of floatability”, *Int. J. Min. Proc.*, Vol. 4, pp. 241-259, 1977.
- [4] Y.A. Attia and Yu Shaning, Feasibility of separation of coal flocks by column flotation, *Column Flotation'88*, Chap. 27, pp. 249-253, 1988.

- [5] R. Sivamohan, “The problem of recovering very fine particles in mineral processing-A Review”, *International Journal of Mineral Processing*, Vol. 28, pp. 247-288, 1990.
- [6] K. Bilir, “Entrainment of fine particles and enrichment of coarse particles in modified flotation column”, Eskişehir Osmangazi University, PhD thesis, 1997.
- [7] H. Soto, “Column Flotation with Negative Bias”, *Processing of Complex Ores*, Pergomon Press, Dobby and Rao (Eds), pp. 379-385, 1989.
- [8] H. Soto and G. Barbery, “Flotation of coarse particles in a counter-current column cell”, *Minerals and Metallurgical Processing*, pp. 16-21, 1991.
- [9] W. Aliaga and H. Soto, “Application of column cells to potash flotation in brines”, *Mineral Processing and Extractive Metallurgy*, Vol. 102, C70-73, 1993.
- [10] B. Öteyaka and H. Soto, “Modeling of negative bias column for coarse particles flotation”, *Minerals Engineering*, Vol. 8, No. 1/2, pp. 91–100, 1995.
- [11] B. Öteyaka and H. Soto, “Modeling of negative bias column for coarse particle flotation”, Proceedings of 4th International Mineral Processing Symposium, Özbayoğlu (ed.), 20-22 October, Antalya, Vol. 1, pp. 315-326, 1992.
- [12] M. Kemal, “*Kömür Teknolojisi*”, Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi, MM/MAD-87 EY 033, İzmir, pp. 153–154, 1987.
- [13] S. Atak, “*Flotasyon İlkeleri ve Uygulamaları*”, İTÜ Vakfı, İstanbul, 1982.
- [14] G. Önal, Z. Doğan, S. Atak ve G. Ateşok, “*Kömürün zenginleştirilmesi ve lavvar tesislerinin çalıştırılması*”, İTÜ Teknoloji ve Uygulama Geliştirme Projesi, YBYK-TKİ 86–01, İstanbul, s.117, 1986.
- [15] M.L.M. Oliveria and A.E.C. Peres, “Column flotation applied to Brazilian coal”, Column’91 Proceedings of an International Conference on Column Flotation, Vol. 1, pp. 3-13, 1991.
- [16] O. Dalahmetoğlu and M. Kemal, “Optimization of enrichment conditions of Zonguldak hard coal with column flotation”, Changing Scopes in Mineral Processing, Kemal, Arslan, Akar and Canbazoğlu (eds), 24-26 September, Kuşadası, pp.. 355-360, 1996.

- [17] A.J. Lynch, N.W. Johnson, E.V. Manlapig and C.G. Thorne 1981, “*Mineral and coal flotation circuits-Their simulation and control*”, Elsevier, Amsterdam, 1981.
- [18] A. Konuk ve S. Önder, “*Maden İstatistiği*”, ESOGÜ Yayınları, 1999.
- [19] Ö. Serper, “*Uygulamalı İstatistik 2*”, 5. Baskı, Ezgi Kitabevi, 2004.
- [20] J. Neter, W. Wasserman and G.A. Whitmore, “*Applied Statistics*”, Third edition, Ally and Bacon, 1988.
- [21] D.C. Montgomery and G.C. Runger, “*Applied Statistics and Probability for Engineers*”, Third Edition, John Wiley & Sons, Inc., 2003.
- [22] A.K. Jaiswal and A. Khandelwal, “*Textbook of Computer Based Numerical and Statistical Techniques*”, Chapter 12, New Age International, 2009.
- [23] R.E. Walpole, R.H. Meyers, S.L. Meyers and K. Ye, “*Probability and Statistics for Engineers and Scientists*”, Chapter 10, Prentice Hall, 2002.