

İSTATİSTİKSEL PROSES KONTROLÜ TEKNİKLERİ İLE KÖMÜR KALİTESİNDEKİ DEĞİŞKENLİĞİN BELİRLENMESİ

Determination of Variation in Coal Quality by Statistical Process Control Techniques

Sermin ELEVLİ^(*)
Sema BEHDİOĞLU^(**)

ÖZET

İstatistiksel Proses Kontrol (İPK), üretim faaliyetlerinin önceden belirlenen kalite spesifikasyonlarına uygun şekilde yapılmasını sağlamak ve standart dışı üretimi büyük ölçüde önleyerek kusurlu ürün/mal üretimi minimize etmek amacıyla bir araya getirilmiş olan bir yöntemdir. Bu çalışmada, Seyitömer Linyitleri İşletmesi (SLİ) tarafından Seyitömer Termik Santrali (STS)'nde kullanılmak üzere üretilen 1-2. grup kömürlere ait kalorifik değer ölçümlerinin istatistiksel olarak kontrol altında olup olmadığı İPK'nın temel araçlarından birisi olan kontrol grafikleri kullanılarak belirlenmiştir. Varyans Analizi ile \bar{x} ve R kontrol grafiklerinin sonuçları ayrıca desteklenmiştir. Söz konusu kalite kontrol grafiklerinden elde edilen bilgiler ışığında üretim sürecinin daha önceden belirlenen spesifikasyonları karşılama yeteneğini belirlemek üzere Proses Yeterlilik Analizi yapılmıştır. Bu aşamada sürecin normal dağılıma sahip olduğu varsayımı ayrıca ispatlanmıştır. Son olarak, hesaplanan spesifikasyon dışı oranlar, kömür sözleşmelerinde belirtilen prim/ceza uygulaması ve harmanlama işlemleri dikkate alınarak işletmenin satış geliri irdelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Kontrol Grafikleri, Normal Dağılım, ANOVA, Kalorifik Değer, Satış Geliri .

ABSTRACT

Statistical Process Pre-Control (SPC) is a collection of methods to ensure production activities in accordance with predefined quality specifications preventing off- quality production to minimize defective production. In this paper, control charts which is one of the main tools of SPC has been used to determine calorific values of 1st and 2nd group of coals produced for Seyitömer Thermal Power Plant by Seyitömer Linyitleri İşletmesi under statistical control. Analysis of variance verified the results of \bar{x} and R control charts. Process capability analysis has been carried out to determine the capability of production process in respect to contract specifications under the light of results drawn from control charts. It has been also proofed that the process is normally distributed. Finally, the revenue of coal company has been examined by considering the off- specification rates, premium/ penalty application of coal contract and blending process.

Keywords: Control Charts, Normal Distribution, Anova Analysis, Calorific Value, Revenue

^(*) Yrd. Doç. Dr., Dumlupınar Üniversitesi, Müh. Fak., Endüstri Müh. Bölümü, Kütahya, selevli@dumlupinar.edu.tr

^(**) Yrd. Doç. Dr., Dumlupınar Üniversitesi, Müh. Fak., Endüstri Müh., Kütahya

1. GİRİŞ

İstatistiksel Proses Kontrolü (İPK), istatistik tekniklerinin veri toplamak, analiz etmek, yorumlamak ve çözümler getirmek üzere kalite problemlerine uygulanması olarak tanımlanmaktadır. İPK, üretimin önceden belirlenmiş kalite özelliklerine uygunluğunu ve kusurlu ürün üretiminin en aza indirgenmesini sağlayıcı bir nitelik taşımaktadır.

İPK uygulamalarında proses sürekli gözlemlenerek problemler tespit edilir, problemin sebepleri belirlenir, çözüm geliştirilir, geliştirilen çözüm uygulanır ve proses tekrar izlenir. Bu döngü sonsuz olup bu sayede prosesin sürekli iyileştirilmesi sağlanır (Devor ve ark., 1992).

İPK Yöntemleri içinde en fazla kullanılan ve bilinen araç Kontrol Grafikleri olup, 1924 yılında Shewhart tarafından üretim prosesindeki değişimleri araştırmak ve anlamakta yardımcı olmak amacıyla hazırlanmıştır. Özellikle imalat sanayinde yoğun bir şekilde kullanılan kontrol grafiklerinden son yıllarda madencilik alanında da faydalanılmaya başlanmıştır. Bu kapsamda bazı örnek uygulamalar Ankara ve Bilir (1995), Bayat ve Arslan (2004), Aykul ve ark. (2005) ve Vapur ve ark. (2005) tarafından yapılmıştır.

Bu çalışmada, kontrol grafikleri ve bazı yardımcı istatistiksel yaklaşımlar kullanılarak Seyitömer Termik Santrali 1-2. grup kömürlerine ait kalorifik değer ölçümlerinin istatistiksel olarak kontrol altında ve kömür anlaşmasında belirtilen spesifikasyonları karşılamada yeterli olup olmadığının belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu analizler neticesinde elde edilecek bilgilerin, kömür işletmesinin satış gelirini artırmasına katkıda bulunulacağı öngörülmektedir.

2. KALİTE KONTROL GRAFİKLERİ VE PROSES YETERLİLİK ANALİZİ

Bir üretim sürecinde üretilen her ürünün kalite özellikleri ile ilgili olarak değişkenlik göstermesi doğaldır. Kalite ile ilgili özelliklerde meydana gelen değişimler tesadüfi değişimler ve belirlenebilir değişimler olmak üzere iki gruba ayrılmakta olup, tesadüfi değişimler prosesin doğasında bulunan değişimlerdir. Genellikle toplam değişme içerisindeki payı oldukça küçük olan bu değişkenlik kaçınılmazdır ve kabul edilebilir düzeydedir. Öte yandan; işçi, makine ve malzemeler arasındaki farklılıktan kaynaklanan

belirlenebilir değişimler daha önemli olup, bu değişimlere yol açan etkenlerin tespit edilip düzeltilmesi kalite kontrolün ana amaçlarındandır. Sadece tesadüfi etkenlerden kaynaklanan değişimler olması durumunda proses istatistiksel anlamda kontrol altında, belirlenebilir etkenlerden kaynaklanan değişimler olması durumunda ise proses kontrol dışındadır.

Üretimden belirli ve eşit zaman aralıklarında alınan örneklerden elde edilen ölçüm değerlerinin zaman içerisindeki değişimlerinin gösterildiği grafiklere kontrol grafikleri adı verilir (Bircan ve Özcan, 2003). Kontrol grafikleri belirlenebilir nedenlerden kaynaklanan değişimlerin tespit edilmesini sağlayarak, düzeltilmesine imkan tanıyan etkili bir İPK aracıdır.

Bir kontrol grafiği esas olarak üç çizgiden oluşur. Bunlar; alt kontrol sınır limiti (AKL), üst kontrol sınır limiti (ÜKL) ve orta değer (OÇ) çizgisidir. Kalite özelliğinin ortalama değeri aynı zamanda hedeflenen değer olarak da ifade edilen orta çizgi ile temsil edilir. Eğer ilgilenilen kalite özelliği ölçülebilir özellikte ise, bu durumda merkezi eğilim ölçülerinden aritmetik ortalama, dağılım ölçülerinden ise değişim aralığı ve standart sapma kullanılır. Merkezi eğilim ve dağılım için kontrol grafikleri "Değişkenler İçin Kontrol Grafikleri" olarak adlandırılır. Kalite özelliğinin sürekli ve sayısal olarak ölçülememesi, yani kusur sayısı gibi belli bir olayın gözlem sayısına dayanması durumunda kullanılan kontrol grafiklerine ise "Özellikler İçin Kontrol Grafikleri" adı verilir. Her iki tip grafiğin oluşturulmasında da izlenecek yol aynı olup, aşağıda sıralanmaktadır (Ertuğrul, 2004).

- İncelenecek olan kalite özelliği tespit edilir.
- Belirli bir örnek alma yöntemine göre yeterli sayıda birimden oluşan örnekler alınarak ölçüm değerleri kaydedilir.
- Kontrol grafiği tipi belirlenir.
- Kontrol limitleri saptanır.
- Saptanan limitlerin yeterliliği tespit edildikten sonra limitler grafiklendirilir.
- Kontrol limitleri dışında yer alan noktalar belirlenir ve bu noktaların sebepleri araştırılır.

Çizelge 1. Kontrol Grafikleri Limitleri

Grafik Türü	Merkez Hattı	Alt Kontrol Limiti (AKL)	Üst Kontrol Limiti (ÜKL)
Ortalama	\bar{X}	$\bar{X} - A_2 \bar{R}$	$\bar{X} + A_2 \bar{R}$
Değişim Aralığı	\bar{R}	$D_3 \bar{R}$	$D_4 \bar{R}$

Çizelge 2. TKİ ve EÜAŞ Arasında Yapılan Protokol Değerleri

	Orhaneli	Seyitömer 1-3	Seyitömer 4	Tunçbilek A	Tunçbilek B	Çan 1-2
Baz kal. değer fiyatı (YTL/ton)	46	22	21	55	48	46
Baz kal. değeri (kcal/kg)	2100±100	1750±100	1600±100	3500±100	2350±200	2600-100
Prime esas tavan kal. değ. (kcal/kg)	2500	2200	2100	4300	2800	3500
En düşük kal. değeri (kcal/kg)	1900	1400	1400	3000	1600	2300
Kül (%)	30(+%10)	35(+%10)	45(+%10)	18(+%10)	42(+%10)	32(+%10)
Nem 3(%)	32(+%10)	40(+%10)	40(+%10)	22(+%10)	24(+%10)	22(+%10)

Kontrol grafiğine işlenen noktalar, kontrol limitleri arasında kalacak şekilde uzayıp gidiyorsa prosesin kontrol altında olduğu farz edilir ve herhangi bir müdahaleye ihtiyaç duyulmaz. Bununla birlikte kontrol limitleri dışına çıkmamakla beraber noktaların sistematik bir eğilim göstermesi veya noktalardan en az bir tanesinin kontrol limitleri dışına çıkmış olması kontrol dışı duruma işaret etmektedir. Bu durumda üretime müdahale edilip hatanın bulunması ve düzenlemelerin yapılması gerekir.

Bu çalışmada, kalite özelliği olarak sürekli bir değişken olan kömürün kalorifik değeri esas alındığından ötürü, ortalama (\bar{X}) ve değişim aralığı (R) grafikleri kullanılacaktır. Bu grafikler için kontrol limitleri Çizelge 1'de verildiği gibi hesaplanmaktadır (Juran & Godfrey, 1998).

Burada \bar{X} alt grup ortalamalarının genel ortalamasını ve \bar{R} alt grup değişim aralıklarının ortalamasını vermektedir. A_2 , D_3 ve D_4 ise alt grup örnek büyüklüğüne bağlı katsayılardır (Juran and Gryna, 1993; Montgomery, 1991). Ek 1'de bu katsayıların aldığı değerler verilmektedir.

Üretim faaliyetlerinde, kalite özelliklerindeki değişkenliğin azaltılmasının yanı sıra spesifikasyon hedeflerinin de sürekli olarak karşılanması istenir. Bunun için, ürün gerekliliklerinin veya spesifikasyonların üretim süreci içerisinde sağlanma derecesi sürekli olarak incelenmelidir. Bu inceleme proses yeterlilik analizi ile yapılabilmektedir.

Bu kapsamda proses yeterlilik analizinin amacı; proses ortalaması ve standart sapmasını, spesifikasyonlar ile ilişkilendirerek prosesin

tüketici isteklerine uygun ürün oluşturma yeteneğini değerlendirmektir. İşletmelerin ulaşmak istediği amaç; proses ortalamasının hedef değer üzerinde ve yayılımın spesifikasyonlar içerisinde, mümkün olan en küçük değerde oluşmasıdır.

Prosesin $\mu \pm 3\sigma$ ile verilen doğal tolerans limitleri spesifikasyon limitleri içinde yer alıyorsa, proses spesifikasyonları karşılamaktadır. Aksi durumunda tolerans limitleri spesifikasyonları kapsadığı için proses spesifikasyonları karşılamaz. Proses yeterlilik analizinde proses yeterlilik indeksleri, histogram, normal olasılık işaretlemesi ve kontrol grafiği yaklaşımları kullanılabilir. Ancak bu çalışmada sürecin potansiyel yeterliliğini de göstermesi nedeniyle bu yaklaşımlardan kontrol grafiği kullanılacaktır (Montgomery, 1991).

3. KÖMÜR ANLAŞMASI İÇERİĞİ VE VERİLER

Türkiye Kömür İşletmeleri (TKİ) ve Elektrik Üretimi A.Ş. (EÜAŞ) arasında her yıl yapılan protokollerde Orhaneli, Seyitömer, Tunçbilek ve Çan Termik Santrallerin ihtiyacı olan kömürün teminine ilişkin esaslar tespit edilmektedir. 2005 yılı için yapılan protokolda yer alan unsurlar ve içerikleri Çizelge 2'de verilmektedir.

Çizelge 2'de görüldüğü üzere söz konusu kontratta baz kalorifik değer için belirlenmiş olan bir fiyat bulunmaktadır. Bu fiyat belirtilen baz kalori değeri aralığı için de geçerlidir. Örneğin Seyitömer 1-3 Termik Santrali için 22 YTL/ton'luk fiyat, kalorifik değeri 1650 ve 1850 kcal/kg olan kömürler için geçerlidir. Farklı kalorifik değere

sahip olan kömürlerin fiyatı ise (1) nolu eşitlikte verildiği gibi hesaplanmaktadır.

$$\text{Kömür Fiyatı} = \frac{\text{Fiili Kal. Değer}}{\text{Baz Kal. Değer}} \times \text{Baz Kal. Değer Fiyatı} \quad (1)$$

Bu protokollerde temel kalorifik değer üzerindeki kaloriler fiyat tespitinde dikkate alınmamaktadır. Bir başka ifade ile baz kalorifik değer, üst sınırı ve tavan kalorifik değer arasındaki kömürlerin fiyatları kalorifik değerdeki artışa bağlı olarak (1) nolu eşitlikte verilen kural doğrultusunda doğru orantılı bir şekilde artarken, tavan kalorifik değer üzerindeki kömürlerin fiyatları tavan kalorifik değer üzerinden belirlenmektedir. Bu şekilde tavan kalorifik değer üzerindeki kömürler gerçek değerinin altında bir değerle satılmaktadır. Öte yandan, en düşük kalorifik değer altındaki kömürlerin fiyatı, baz kalorifik değer fiyatınının 0.2 katsayısı ile çarpımıyla elde edilmektedir. Bu tip bir sınırlama getirilmesindeki temel nokta, termik santrallerin maliyet ve verimlilik kaygılarından ötürü özelliklerinde daha az değişkenlik gösteren kömürleri temin etmek istemeleridir.

Çizelge 2'de görüldüğü üzere protokolde nem ve kül içeriğine dönük sınırlamalar getirilmiş olmasına rağmen fiyat belirlenmesinde bu unsurlar herhangi bir rol oynamamaktadır.

Bu durumda protokollerde yer alan koşullar dikkate alındığında, kömürün homojen özellikler göstermeyen bir yakıt olması nedeni ile tek bir fiyatın geçerli olmadığı gerçeği ön plana çıkmaktadır. Bu tip durumlarda satış gelirinin hesaplanmasında, kömürün kalorifik değerindeki değişimlerin belirlenmesi ve belirli kalorifik değer aralıklarına düşen kömür miktarlarının tespit edilmesi faydalı olacaktır.

4. KALORİFİK DEĞER VERİLERİNİN ANALİZİ

Seyitömer Termik Santrali 1-2. grup kömürlerine dönük Mayıs 2005 ve Temmuz 2005 tarihleri arasında elde edilen 44 günlük veri bu çalışmanın materyalini oluşturmaktadır. Bu tarihler arasında bazı günlerde kömür sevkinin yapılmamasından ötürü veri temin edilememiştir. Santralde üretim 3 vardiya halinde gerçekleştiğinden dolayı her bir güne ait 3 adet veri elde edilmiştir. Çalışmada kalite kontrol grafikleri, ANOVA analizi ve normallik testi kullanılmıştır. Söz konusu analizler SPSS 11 Paket İstatistik Programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

4.1. Proses Kararlılığının Kontrol Grafikleri ve Anova Analizi ile Tespiti

Örnek sayısı 44 ve örnek büyüklüğü 3 olmak üzere kalorifik değer için elde edilen \bar{X} ve R grafikleri Şekil 1 ve 2'de verilmektedir. Bu grafiklerde yer alan değerler Çizelge 1' de verilen formüller ve Ek 1'de n=3'e karşılık gelen katsayılar yardımıyla hesaplanmaktadır.

Şekil 1'den anlaşılabilceği üzere, veriler alt ve üst kontrol sınırları arasında olmasına rağmen orta çizgi etrafında düzensiz bir dağılım göstermektedir. Ayrıca bazı noktalar üst ve alt kontrol sınırlarına oldukça yakın konumlanmış bulunmaktadır. Buradan örnekler arası değişimin fazla olduğu, başka bir deyişle prosesin istatistiksel anlamda kontrol altında olmadığı anlaşılmaktadır. Diğer taraftan önemli bir kömür yüzdesinin protokolde belirtilen spesifikasyon sınırları dışında olduğu görülmektedir. Bir başka ifade ile mevcut proses istenen spesifikasyonları karşılamada yeterli değildir.

Örnek içi değişkenliği gösteren Şekil 2'ye göre ise, değişim aralığı değerleri kontrol sınırları içerisinde yer almaktadır. Bununla birlikte bazı örneklerin değişkenliğinin fazla olması, \bar{X} grafiğinin bulgularını destekleyerek prosesin istatistiksel anlamda kontrol altında olmadığını işaret etmektedir. Kalorifik değer verilerinin istatistiksel anlamda kontrol altında olmadığı gerçeğinin ikiden fazla anakütle ortalamasının birbirine eşit olup olmadığını F testi kullanarak analiz etme mantığına dayanan varyans analizi ile ayrıca desteklenmesi mümkündür (Özdamar, 1999; Tatlıdil, 1996). Madencilik alanında da iyi bilinen ve yaygın kullanılan varyans analizi sonuçları Çizelge 3'de verilmektedir.

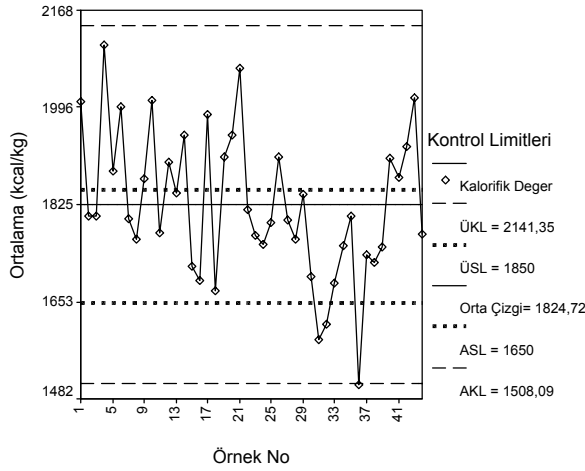
Çizelge 3' deki sonuçlara göre, kalorifik değerlerin günlük ölçümleri arasında anlamlı bir farklılık

bulunmuştur ($F_{(43;88;0.05)} = 1.749 ; p < 0.05$).

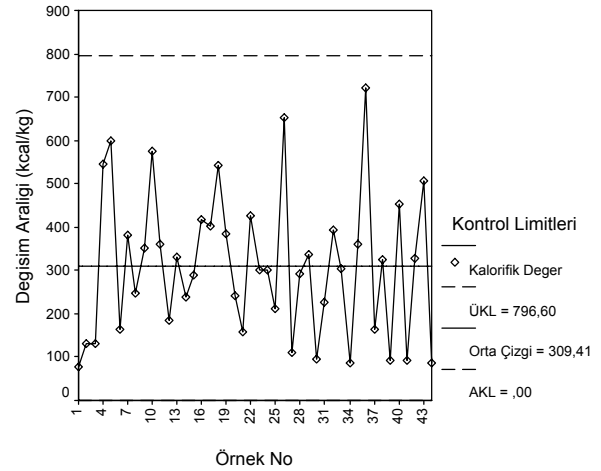
Başka bir deyişle SLI kömürleri kalorifik değerleri günlere bağlı olarak 0.05 anlamlılık düzeyinde önemli bir farklılık göstermektedir.

4.2. Proses Yeterlilik Analizi ve Satış Gelirinin İrdelenmesi

Bölüm 4.1' de verilen kontrol grafikleri kalorifik değerdeki değişkenliğin analiz edilmesinin yanı sıra prosesin yeterliliğinin bir başka ifade ile kalorifik değer ölçümlerinin ilgili spesifikasyonları



Şekil 1. \bar{X} Grafiği



Şekil 2. R Grafiği

Çizelge 3. Kalorifik Değer Ölçümlerinin Anova Sonuçları

	Kareler Toplamı	s.d.	Kareler Ortalaması	F	P
Gruplar Arası	2838454	43	66010.567	1.749	0.014
Gruplar İçi	3321507	88	37744.402		
Toplam	6159962	131			

karşılıyıp karşılayamadığının tespitinde de kullanılabilir. \bar{X} grafiğinden $\bar{\bar{X}} = 1824.72$ ve R grafiğinden $\bar{R} = 309.41$ olarak elde edilmişti. Proses standart sapması ise d_2 alt grup büyüklüğü (n)' ne bağlı bir katsayı olmak üzere

$$\hat{\sigma} = \frac{\bar{R}}{d_2} = \frac{309.41}{1.693} = 182.7584 \text{ olarak hesaplanmıştır}$$

(Farklı alt grup büyüklükleri için d_2 'in değeri Ek 1'de verilmiştir).

Proses ortalaması ve standart sapması hesaplandıktan sonraki adım prosesin doğal değişkenliğini belirlemek üzere doğal tolerans sınırlarının hesaplanmasıdır. Ancak bu hesaplama için öncelikle kalorifik değer $\bar{\bar{X}} = 1824.72$ ortalama ve $\hat{\sigma} = 182.7584$ standart sapma ile normal dağılım gösteren rasgele bir değişken olduğu ispat edilmelidir. Bu çalışmada, sürekli değişkenlere ait dağılımların en önemlisi olan normal dağılıma uygunluğun belirlenmesinde histogram ve normal olasılık işaretlemesi yöntemleri uygulanmış, sonuçlar Şekil 3 ve 4'de verilmiştir.

Şekil 3'de kalorifik değer ölçümlerinin histogramı incelendiğinde söz konusu verilerin normale yakın bir dağılım gösterdikleri anlaşılmaktadır. Artan düzende sıralanmış verilerin karşı gelen birikimli olasılıklara karşı gösterildiği Şekil 4'te

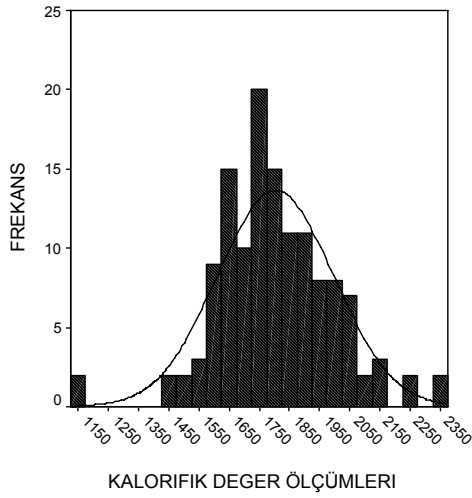
ise, verilerden hareketle hesaplanan birikimli olasılıklar bir doğru üzerinde yer aldığından verilerin normal dağılıma uyduğu yorumu yapılmıştır. Grafik üzerinde yer alan Kolmogorov-Smirnov Testi sonucu da bu bulguyu desteklemektedir. Nitekim test istatistiği (D=0.054) kritik değerden (KD=0.1183) küçük olduğundan, %5 önem seviyesinde verilerin normal dağılmış olduğu hipotezi doğru çıkmıştır.

Kalorifik değer normal dağılım gösterdiği ispatlandığından dolayı üst ve alt doğal tolerans sınırları (ÜDTS, ADTS) aşağıdaki gibi hesaplanacaktır.

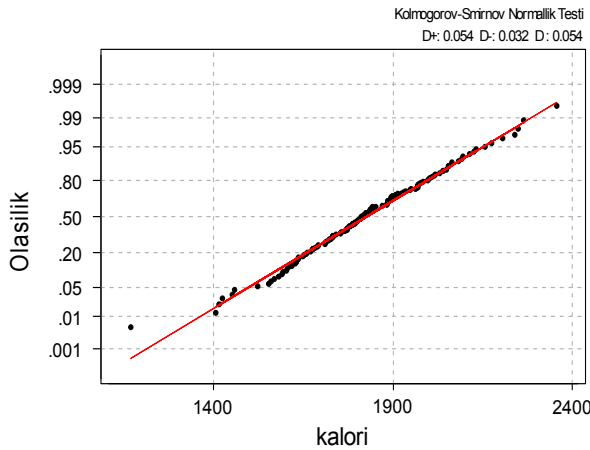
$$\text{ÜDTS} = \bar{\bar{X}} + 3 \cdot \hat{\sigma} = 1824.72 + 3 \cdot 182.7584 = 2372.9952$$

$$\text{ADTS} = \bar{\bar{X}} - 3 \cdot \hat{\sigma} = 1824.72 - 3 \cdot 182.7584 = 1276.4448$$

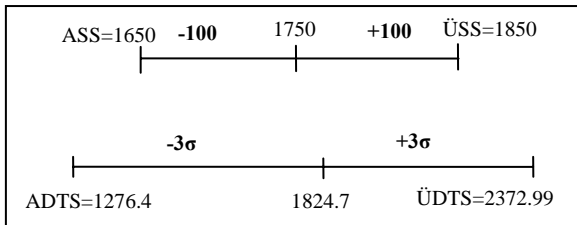
Şekil 5'de hesaplanan doğal tolerans sınırları ve protokole belirtilen spesifikasyon sınırları karşılaştırılmaktadır. Buradan prosesdeki değişimin yüksek ve genel ortalamasının nominal değerden büyük olduğu açıkça anlaşılmaktadır. Bir başka ifade ile proses spesifikasyonları karşılamada yeterli değildir.



Şekil 3. Kalorifik Değer Ölçümlerinin Gösterimi



Şekil 4. Kalorifik değer ölçümlerinin normal olasılık grafiği



Şekil 5. Spesifikasyon ve doğal tolerans sınırlarının karşılaştırılması

Yukarıda verilen bilgilerden hareketle protokole belirtilen kalorifik değerler için kömür oranlarının

tespit edilmesi mümkün olmaktadır. Çizelge 4'te söz konusu oranlara bağlı olarak çeşitli kalorifik değerler için hesaplanan tonaj değerleri verilmektedir. Bu hesaplamalar yıllık talebin 2 milyon ton olduğu kabulüne dayanmaktadır. Çizelge 4' te ayrıca 16.3 \$/ton fiyattan işletmenin yıllık satış geliri de hesaplanarak son sütunda verilmiştir (1 \$= 1.35 YTL).

Satılan kömürlerin tümü spesifikasyon sınırları içerisinde olsaydı, satış geliri 32 600 000 \$ ($2 \cdot 10^6 \times 16.3$) olacaktı. Bu durumda kalorifik değer istatistiksel anlamda kontrol altında olmamasına ve spesifikasyonları karşılayamamasına rağmen satış geliri 1 385 200 \$ daha fazla olmuştur.

Kömür işletmesinin termik santralin istediği kalitede kömürü arz etmesinin yollarından birisi yüksek kalorili ve düşük kalorili kömürlerin harmanlanmasıdır. Çizelge 4' de görüleceği üzere 2200 kcal/kg üzeri kömürlere gerçek değerinin altında satılırken, benzer şekilde 1400 kcal/kg altındaki kömürlere ceza uygulanmaktadır. 2200 kcal/kg üzeri kömürlerin kalorifik değer ortalaması 2300 kcal/kg ve 1400 kcal/kg altı kömürlerin kalorifik değeri ortalaması 1300 kcal/kg kabul edilmek üzere, bu iki kömür harmanlandığında ortalama kalorifik değer aşağıdaki gibi olacaktır.

$$\text{Ort. Kal.} = \frac{(2300 \times 40000) + (1300 \times 20000)}{40000 + 20000} = 1966.7$$

Bu kalorifik değere karşılık gelecek olan fiyat 18.32 \$/ton ($\frac{1966.7}{1750} \times 16.3$) dur. Bu durumda harmanlanan miktarın satış geliri 1,099,200 \$ ($18.32 \times 60,000$) olacaktır. Bu iki gruptan elde edilen daha önceki satış geliri 884,800 \$ ($819,600 + 65,200$) idi. Bu durumda harmanlama yoluyla satış gelirin 214.400 \$ artacaktır.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışma kapsamında, kalite kontrol grafikleri ve Anova analizi yardımıyla SLI kömürlerine ait kalorifik değer ölçümlerinin önemli ölçüde değişkenlik gösterdiği, bir başka ifade ile istatistiksel anlamda kontrol altında olmadığı saptanmıştır. Her ne kadar aynı maden yatağında bile farklı özellikler göstermesi ve heterojen bir yakıt olması nedeni ile kömür özelliklerine ilişkin belirli bir miktar değişim beklenmesine rağmen, bu işletme için özellikle selektif madencilik ve harmanlama gibi kömür

Çizelge 4. Gelir Hesaplaması

KÖMÜR TİPİ	ORAN	MİKTAR (ton)	FİYAT (\$/ton)	GELİR (\$)
2200 kcal/kg üzeri ¹	0.02	40 000	20.49 $\left(\frac{2200}{1750} \times 16.3\right)$	819 600
1850-2200 kcal/kg arası ²	0.42	840 000	18.86 $\left(\frac{2025}{1750} \times 16.3\right)$	15 842 400
1650-1850 kcal/kg arası ⁵	0.39	780 000	16.3	12 714 000
1650-1400 kcal/kg arası ⁴	0.16	320 000	14.20 $\left(\frac{1525}{1750} \times 16.3\right)$	4 544 000
1400 kcal/kg altı ³	0.01	20 000	3.26 (0.2×16.3)	65 200
TOTAL	1	2 000 000	-	33 985 200

$$^1 P\{x > 2200\} = P\left\{Z > \frac{2200 - \mu}{\sigma}\right\} = \Phi\left(\frac{2200 - 1824.72}{182.7584}\right) = \Phi(2.05) = 0.02$$

$$^2 P\{x > 1850\} = P\left\{Z > \frac{1850 - \mu}{\sigma}\right\} = \Phi\left(\frac{1850 - 1824.72}{182.7584}\right) = \Phi(0.14) = 0.44$$

$$P\{1850 < x < 2200\} = 0.44 - 0.02 = 0.42$$

$$^3 P\{x < 1400\} = P\left\{Z < \frac{1400 - \mu}{\sigma}\right\} = \Phi\left(\frac{1400 - 1824.72}{182.7584}\right) = \Phi(-2.32) = 0.01$$

$$^4 P\{x < 1650\} = P\left\{Z < \frac{1650 - \mu}{\sigma}\right\} = \Phi\left(\frac{1650 - 1824.72}{182.7584}\right) = \Phi(-0.96) = 0.17$$

$$P\{1400 < x < 1650\} = 0.17 - 0.01 = 0.16$$

$$^5 P\{1650 < x < 1850\} = 1 - (0.44 + 0.17) = 0.39$$

kalitesini kontrol edebilecek unsurların etkili bir şekilde uygulanmadığı, dolayısıyla değişkenliğin fazla miktarda olduğu anlaşılmıştır.

Daha sonraki aşamada, kalorifik değer ölçümlerinin istatistiksel anlamda kontrol altında olmamasının yanı sıra termik santral ile yapılan anlaşmada yer alan spesifikasyonları karşılamada da yeterli olmadığı tespit edilmiştir. Her ne kadar kömür işletmesi bu koşullarda satış geliri açısından avantaj sahibi olmuş gibi gözükse de termik santralin daha az değişkenlik gösteren kömür talebi karşılanamamıştır. Bununla birlikte proseste yapılacak bir harmanlama işleminin hem kömür işletmesinin gelirini artırmak, hem de termik santrale daha az değişkenlik içerecek kömürü sevk etmek açısından yararlı olacağı yapılan hesaplamalarla ortaya konulmuştur.

KAYNAKLAR

Ankara H., Bilir K., 1995; "Kriblaj Tesisinde Kalite Denetimi", Madencilikte Bilgisayar Uygulamaları Sempozyumu, 235-240.

Aykul H., Akçakoca H., Ediz G. and Taksuk M., 2005; "Garp Linyitleri İşletmesi Termik Santral Kömürleri İçin İstatistiksel Süreç Kontrol Analizi",

Türkiye 19. Uluslararası Madencilik Kongresi, 313-321.

Bayat O. ve Arslan V., 2004; "Statistical Analysis in Turkish Chromite Mining", Scandinavian Journal of Metallurgy, **33**, 322-327

Bircan H. ve Özcan S., 2003; Excel Uygulamalı Kalite Kontrol, Yargı Yayınevi, Sivas, 133-138.

Devor, R.E., Chang, T., Sutherland, J.W., 1992; Statistical Quality Design and Control, Macmillan Publishing company, NewYork, USA.

Ertuğrul, İ., 2004; Toplam Kalite Kontrol ve Teknikleri, Hünkar Ofset, İstanbul, 209-258.

Juran, J.M. & Gryna, F.M., 1993; Quality Planning and Analysis, 3rd Edition, Mc Graw-Hill International Edition. 383-396.

Juran, J.M. & Godfrey, A.B., 1998; Juran's Quality Handbook, Fifth Edition, Mc Graw-Hill International Edition. 45.5-45.10.

Montgomery, D.C., 1991; Introduction to Statistical Quality Control, 3rd Edition, John Wiley & Sons Inc., 129-132, 180-186.

Özdamar, K., 1999; Paket Programlama ile İstatistiksel Veri Analizi-2, Vol:2, Kaan Kitabevi, Eskişehir.

Tatlidil, H. 1996; Uygulamalı Çok Değişkenli İstatistiksel Analiz, 1. Basım, Vol:1, Engin Yayınları, Ankara.

Vapur H., Bayat O. ve Akyol F., 2005; "Eti Gümüş A.Ş. Liç Prosesinde İstatistiksel Proses Kontrolü Uygulaması", Türkiye 19. Uluslararası Madencilik Kongresi, 347-356.

Ek 1. Kontrol Grafiği Katsayıları

Alt Grup Büüklüğü (n)	A ₂	D ₃	D ₄	d ₂
2	1.880	0	3.269	1.128
3	1.023	0	2.574	1.693
4	0.729	0	2.282	2.059
5	0.577	0	2.114	5.326