

MADENCİLİK

TMMOB MADEN MÜHENDİSLERİ ODASI DERGİSİ
THE JOURNAL OF THE CHAMBER OF MINING ENGINEERS OF TURKEY

MART
MARCH
2007

CİLT
VOLUME
46

SAYI
NUMBER
1

İÇİNDEKİLER / CONTENTS

Özgür AKKOYUN, Hüseyin ANKARA

3

Kalite Maliyet Modelleri ve Mermer Fabrikaları İçin Bir Uygulama

Quality Cost Models and an Application for Marble Plants

Özer ÖREN, Cem ŞENSÖĞÜT

15

Kütahya Bölgesi Linyitlerinin Kendiliğinden Yanmaya Yatkinliklarının Araştırılması

An Investigation on the Liability of Kutahya Region Lignites to Spontaneous Combustion

Mehmet UYGUN, Yaşar KASAP,
Adnan KONUK

25

Tunçbilek Bölgesi Kömür Madenciliğinde Uygulanan İşletme Yöntemlerinin Verimlilik Analizi

Productivity Anaysis of Extraction Methods Applied in Coal Mining at Tunçbilek Region

Teknik Not / Technical Note

Hasan HACİFAZLIOĞLU, C. Cengiz PİLEVNELİ
İhsan TOROĞLU

33

Dikey Pinli Karıştırıcı Değirmende Armutçuk Kömürünün Kuru Öğütülmesi ve Bilya Boyutunun Ürün İnceliğine Etkisi

Dry Grinding of Armutçuk Coal in a Pin-Type Vertical Stirred Mill and the Effect of Bead Size on Product Fineness

MADENCİLİK dergisi yazı dizin ve özetlerinin yer aldığı veri tabanları / INDEXED in
IMM Abstracts, GeoRef, Aluminium Industry Abstracts, Cambridge Scientific Abstracts, PASCAL, Chemical Abstracts, ENCOMPLIT, ENCOMPLIT2, ENERGY, Compendex

Abone Koşulları:

Yıllık abone bedeli 100,00 YTL'dir

Subscription

Annual subscription rate is 100,00 YTL. All subscription inquiries should be made to the correspondence address

Banka Hesap No:

Türkiye İş Bankası Meşrutiyet Şubesi: 8120
T.C. Ziraat Bankası Kızılay Şb. 39009031-5001
Posta Çeki Hesap No: 86665

Baskı / Printed in: Ertem Matbaacılık, Ankara • Tel: 0312 284 18 14

ISSN: 0024-9416

MADENCİ ÖYKÜLERİ YARIŞMASI

Maden Mühendisleri Odası tarafından Edebiyatçılar Derneği'nin katkılarıyla, ilk defa bu yıl "Madenci Öyküleri Ödülü" verilecektir.

- 1- Yarışma, amatör ya da profesyonel tüm öykücülere açıktır. Yarışmaya; madencilikte emeğiyle geçinenler hakkında yazılmış her türlü öykü katılabilir.
- 2- Ödüle aday yapıtlarda, Türkçeyi kullanmadaki başarı, yazınsal duyarlık da aranacaktır. Öyküler daha önce yayımlanmamış olmalıdır.
- 3- Öyküler; çift aralıkla, daktilo ya da bilgisayarla yazılmış olmalıdır.
- 4- Yarışmaya en çok üç öyküyle aday olunabilir. Öykülerde sayfa sınırlaması yoktur. Yapıtlar Bilgisayar ortamında (Times New Roman, 12 punto, 1.5 satır aralığı ölçüleri ile) yazılacaktır.
- 5- Öykülerde açık ad ya da imza kullanılmamalı, bir rumuz yazılmalıdır. "Öykücünün adı, soyadı, adres ve telefonları, yaşam öyküsü ve fotoğrafı" ayrı bir zarfa konmalı, öykülerde kullanılan rumuz bu zarfın üzerine de yazılmalı ve zarf kapatılmalıdır.
- 6- **Seçici Kurul;**
Aysu Erden, Özcan Karabulut, Sezer Ateş Ayvaz, Hürriyet Yaşar, Engin Çetinbağ'dan oluşmaktadır.
- Son başvuru tarihi:** 02 Kasım 2007
- 7- Ödüller; birinci 1000 YTL, ikinci 750 YTL, üçüncü 500 YTL'dir. Sonuçlar "**Dünya Madenciler Günü**" olan 4 Aralık 2007 tarihinde açıklanır.
- 8- Maden Mühendisleri Odası; ödül kazanan öykülerle yayınlanmaya değer görülen öyküleri, her birine 100 YTL telif ücreti ödemek üzere kitap olarak yayımlayabilir. Bu öyküleri diğer yayın araçlarında da kullanabilir. Ödüle katılan yapıtlar geri verilmez.
- 9- Ödüle aday yapıtlar 5 kopya öykü ile birlikte aşağıdaki adrese **taahhütlü olarak** gönderilecek ya da elden teslim edilecektir.

"TMMOB

Maden Mühendisleri Odası

Madenci Öyküleri Yarışması

Selanik Cad. 19/4 Kızılay-ANKARA"

İletişim: 0312 425 10 80 E-posta: maden@maden.org.tr

Bilgi: www.maden.org.tr

KALİTE MALİYET MODELLERİ VE MERMER FABRİKALARI İÇİN BİR UYGULAMA

Quality Cost Models and an Application for Marble Plants

Özgür AKKOYUN (*)
Hüseyin ANKARA (**)

ÖZET

Bu çalışmada, kalite ve ilişkili terimler ile kalite maliyet modelleri hakkında bilgi sunulduktan sonra en çok kullanılan kalite maliyet modellerinden birisi olan PAF modelinin mermer üretim sistemleri için uygulaması gerçekleştirilmiştir. Kalite kontrol yaklaşımı; kesin tanımlamalar, standartlar, ölçme ve kontrol yöntemlerini içermektedir, buna karşın madencilik ve ilişkili olan sanayi dallarında kalite ile ilgisi olan özelliklerden birçoğu kontrol edilemez ya da ölçülemez doğal ve jeolojik koşullar altında ve milyonlarca yıl önce meydana gelmiştir. Bu zorluklardan dolayı kalite maliyet modelleri uygulamalarına madencilik alanında az rastlanmaktadır. Bu çalışmada bir model geliştirilerek klasik muhasebe sistemleri tarafından kontrol edilemeyen kalite maliyetleri tespit edilip sınıflandırılmış ve muhasebe sistemlerinin kontrol edebilmesi için alt hesap adları önerilmiştir. Sonuçta önleme maliyetlerinin ürüne bağlı olarak değişmediği, değerlendirme ve özellikle de başarısızlık maliyetlerinin ise değiştiği gözlenmiştir. Ayrıca iki farklı doğal taş türü için kalite maliyetlerinin toplam maliyetler içindeki payı ürün tipine bağlı olarak %3-10 aralığında bulunmuştur.

Anahtar Sözcükler: Kalite, Kalite Maliyet Modelleri, PAF Modeli, Mermer Fabrikaları, Kalite Maliyet Muhasebesi

ABSTRACT

In this study, after giving brief information about quality related terms and quality cost models, an application of PAF model, which is one of the well known quality cost models, into marble production systems is realised. Quality concept includes definitions, standards, measurement and control methods, but in the mining and related industries most of properties associated with quality depend on uncontrolled and immeasurable natural and geological conditions occurred million years ago. Because of these troubles, it is too difficult to apply quality cost models into mining industry and in literature have not been practised into marble industry yet. In this study quality costs that cannot be controlled by traditional accounting system are revealed, classified and sub-account titles for accounting system to control them are suggested. Finally, it is found out that preventing costs do not change with types of products but appraisal and especially failure costs change with types of products. In addition that total quality costs are about 3-11 % of total production costs vary depend on product types for two different stone types.

Keywords: Quality, Quality Cost Models, PAF Model, Marble Plants, Quality Cost Accounting

(*) Dr., Dicle Üniversitesi, Müh. Mimarlık Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, DİYARBAKIR oakoyun@dicle.edu.tr
(**) Yard. Doç. Dr., Dicle Üniversitesi, Müh. Mimarlık Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, DİYARBAKIR

1. GİRİŞ

20. yüzyılın son çeyreğinde yaşanan teknolojik gelişmelerin de katkısıyla yaşanan ekonomik ve siyasal değişimlerin sonucunda dünya neredeyse tek bir küresel pazar haline gelmektedir. Gelişen teknoloji dünyanın bir yerinde üretilen bir mal ya da hizmetin, diğer ucundaki tüketicilere ulaştırılması konusunda çok önemli ilerlemeler kaydedilmesini sağlamıştır. Bunun sonucunda da mal ve hizmet üretenler için pazar, tüm dünya olmuştur. Pazarın bu kadar büyümesi rekabet edilecek ortamın da büyümesine neden olmuştur. Rekabetin anahtarı ise kaliteli mal ve/veya hizmet üretmektir. Yüksek rekabet ve iletişim çağında başarılı olabilmek için kaliteli ürün ve hizmet üretmek artık zorunluluktur.

Bu süreçte kalitenin de tanımı değişmiştir. Artık kalite; müşteri ne talep ediyorsa odur. Yani kalitenin tanımı müşteri tarafından yapılmaktadır. Bu nedenle kalite kavramının tek bir tanımı olmadığı gibi bu tanımlar sabit de değildir. Müşteri memnuniyeti için bir yandan kaliteli mal ve hizmet üretmek, bir yandan da üretim maliyetlerini kontrol edebilmek için kalite maliyetlerini kontrol etmek gerekmektedir. Ancak kalite maliyetlerinin üzerinde hemfikir olunan tek bir tanımı olmadığı gibi nasıl kontrol edilecekleri üzerine de tek bir model bulunmamaktadır.

Bu zorluğun nedeni ise klasik muhasebe sistemlerinin kalite maliyeti olarak nitelendirilebilecek maliyetleri başka maliyet kalemleri altına dağıtmalarıdır. Bu nedenle çeşitli araştırmacılar tarafından kalite maliyet modelleri geliştirilmiştir. Bu modeller kullanılarak kalite maliyetlerini tespit edip sınıflandırmak ve değerlendirmek mümkün olmaktadır.

Bu çalışmada, kalite maliyetleri ve ilişkili konular hakkında bilgi verildikten sonra kalite maliyet modelleri incelenmiş ve yaygın kullanılan bir kalite maliyet modeli olan PAF (preventing:önleme, appraisal:değerlendirme, failure:başarısızlık) modelinin mermer fabrikaları için geliştirilmesi çalışması sunulmuştur. Geliştirilen model sayesinde mermer fabrikalarında ortaya çıkan kalite maliyetleri tanımlanmış ve sınıflandırılmıştır. Tanımlanan bu maliyetlerin kontrol edilebilmeleri için klasik muhasebe sistemleri içinde yeni açılacak olan kalite maliyetleri adlı hesapta alt hesap adları olarak kullanılmaları önerilmiştir.

1.1.Kalite Maliyetleri

Üreticiler, ürün ya da hizmetlerini müşteriler tarafından belirlenen bir kalite seviyesine sahip olarak ve mümkün olan en düşük maliyet ile üretmek zorundadırlar. Kalite maliyeti ise bu kalite seviyesini yakalamak için yapılması gerekli maliyetler olarak görülebilir. Kimi zaman kalite maliyetleri ile kalitesizlik maliyetlerinin aynı olduğu düşünülse de bu düşünce doğru değildir. Kalite maliyetleri, bir ürün ya da hizmetin sadece kötü kalitesinden (kalitesizliğinden) kaynaklanan maliyetlerden oluşmazlar. İstenen kalite seviyesine ulaşmak için yapılması gereken hazırlık ve kontrol maliyetleri de kalite maliyetleri olarak değerlendirilir.

Deming'e (1986) göre kalite, beklenen hedefe ulaşılmadaki istikrardır. Crosby (1983), kalite maliyetlerini uygunsuzluğun maliyeti olarak, Bohan ve Horney (1991) ise herhangi bir işletme için tüm kalite standartlarının gerçekleştirilmesi için harcanan toplam maliyet olarak tanımlar. Kalite maliyetleri birçok araştırmacı tarafından işletmelerin yönetim aracı olarak tanımlanmıştır. Bu görüştekilerden Gryna (1978) ve Szymanski (1985) kalite maliyet verilerinin kalite problemlerini değerlendirmede bir araç, bir dil olarak kullanılabileceğini ve bu dilin üst yönetim kademesinin dikkatini çekmek için önemli olduğunu belirtmişlerdir.

Kalite maliyetlerinin belirlenmesi ilk anda düşünüldüğü kadar kolay değildir zira geleneksel muhasebe sistemleri bu türden maliyetleri işçilik, malzeme, sabit maliyetler gibi farklı maliyet kalemlerine dağıtmaktadır. Bu nedenle kalite maliyetlerini tespit etmek için anket düzenleme, beyin fırtınası toplantıları, kilit görevdeki işgörenler ile bilgilendirme toplantıları, sebep sonuç tabloları ve değer zinciri yaklaşımları gibi çeşitli yaklaşımlar önerilmiştir (Hollocker,1986; Dahlgaard vd., 1992; Asher, 1987; Gibson vd., 1991; Morse, 1993).

Mevcut muhasebe sistemleri içinden kalite maliyetlerini kontrol edebilmek için ise işletmelerin kendi özelliklerini dikkate alan ekonomik modellerle ihtiyaç duyulmaktadır.

1.2. Kalite Maliyet Modelleri

Genel olarak, çok parametrelili karmaşık bir sistemi anlaşılır hale getirmek için o sistemin özelliklerini taşıyan bir model geliştirilerek sistemin davranışları

incelenir (Kara, 1985). Üretim sistemlerinde meydana gelen ancak takip edilemeyen maliyetleri gözlemleyebilmek için maliyet ilişkilerine ışık tutan modellere ihtiyaç duyulur.

Kalite maliyet modelleri de kalite maliyetlerini tespit edip sınıflandırmak ve kayıt altına almak amacıyla geliştirilip kullanılırlar. Morse ve Poston (1986), bu modellerin kalite ile ilişkili problemlerin değerlendirilmesi ve çözüm için karar alınması konusunda yöneticilerin elindeki en önemli araçlardan birisi olduğuna inanır.

Kalite maliyet modellerinin geliştirilmesi çabaları 1930'lara kadar gitmektedir (Miner, 1933; Crockett, 1935) ancak kullanışlı bir modelin ortaya konulması için yirmi yıl daha geçmesi gerekmiştir ve en yaygın kullanılan kalite maliyet modeli olan PAF modeli Feigenbaum (1956) ve Masser (1957) tarafından geliştirilmiştir. Bu model kalite uygulayıcıları tarafından hem mal ve hem de hizmet üretiminde en bilinen ve tercih edilen modellerin başında gelmektedir.

PAF modelinin temeli, kalite maliyetlerini üç temel sınıfa ayırmasıdır; önleme, değerlendirme ve başarısızlık. Bu üç sınıfa ek olarak Abed ve Dale (1987) başarısızlık maliyetlerini de iç ve dış olarak ikiye ayırmayı önermişler ve böylece kalite maliyetleri dört ana sınıf altında toplanmaya başlanmıştır. Bu sınıflar, kalite alanındaki en önemli kaynaklardan birisi olan 'Kalite Maliyetlerinin Temel Prensipleri' adlı eserinde Campanella (1990) tarafından şu şekilde tanımlanmaktadır;

- Önleme maliyetleri; Kalitesiz ürün ya da hizmet üretmekten kaçınmak için yapılan tüm maliyetleri kapsar.
- Değerlendirme maliyetleri; Ürün ya da hizmetin hedeflenen kalite seviyesine ulaşması için yapılması gereken ölçme, değerlendirme ve denetleme maliyetlerini kapsamaktadır.
- İç başarısızlık maliyetleri; Ürünün müşteriye ulaşması aşamasından önce tespit edilen kusurlardan kaynaklanan maliyetlerdir.
- Dış başarısızlık maliyetleri; Ürünün müşteriye ulaştıktan sonra tespit edilen kusurlardan, iade, garanti, yeniden işleme gibi maliyetlerden kaynaklanan maliyetlerdir.

Kaliteyi gerçekleştirmenin ve karlılığı artırmanın anahtarı uygun olmayan üründen sakınmaktır. Önleme maliyetleri, bu uygun olmayan üründen

kaçınmak için yapılması gereken önleyici çalışmaların maliyetlerinden oluşmaktadır (Oberlender, 1983). Kalite yönetimi açısından ikinci önemli harcama kalemi değerlendirme maliyetleridir ve ihtiyaçlara uygunluğun ölçülmesi ve kontrol edilmesi çabalarının maliyetlerinden oluşur (Crosby, 1979). Başarısızlık maliyetleri ise müşteriye ulaşmadan önce (iç başarısızlık) veya sonra (dış başarısızlık), kalite özellikleri taşımayan ürünlerden kaynaklanan maliyetlerden meydana gelmektedir (Feigenbaum, 1956).

Kalite maliyetlerini kontrol etmek için bir başka model de "Üretim maliyet modeli" adı ile Crosby tarafından önerilmiştir (Crosby, 1979; 1983; 1984). Bu modele göre kalite maliyeti, uygunluğun (CoC) ve uygunsuzluğun (CoNC) maliyetlerinin toplamı olarak ifade edilmektedir. Uygunluk maliyetleri ürün ya da hizmetin istekler doğrultusunda belirlenen standartlar içerisinde gerçekleştirilebilmesi için harcanması gereken maliyetleri kapsamaktadır. Uygunsuzluk maliyeti ise müşteriyi tatmin etmeyecek ürünlerin ortaya çıkmasından kaynaklanan her türlü boşa giden zaman, malzeme ve kaynakların neden olduğu maliyetleri kapsamaktadır.

Kaliteye ilişkin kayıpların, kabul edilebilir üretim sınırlarının dışında özelliklere sahip ürünlerden kaynaklandığı düşüncesi yaygın bir düşüncedir (Hwang ve Aspinwall, 1996). Buna göre, eğer üretim ya da hizmet özellikleri, önceden belirlenen sınırlar içinde ise dış başarısızlık maliyetinin oluşmaması gerekir. Oysa gerçekte böyle değildir. Bu sınırlar içindeki ürünler de teslim sonrası müşteri memnuniyetsizliğine ya da satış kaybına bağlı maliyetlere maruz kalabilmektedir. Taguchi (1987), bu dış başarısızlık maliyetlerinin matematiksel bir biçimde ifade etmiş ve bu ilişkiyi kayıp fonksiyonu olarak adlandırmıştır. Bu yaklaşım da bir kalite maliyet modeli olarak değerlendirilmekte ve "Taguchi'nin kayıp fonksiyonu" olarak adlandırılmaktadır (Hwang ve Aspinwall, 1996).

Kalite maliyet sınıfları ve bu sınıfların boyutları, işletmenin kendisine özgü özelliklerine bağlıdır ve her işletme için kendi özellikleri dikkate alınarak bir kalite maliyet modeli geliştirmek en doğru yaklaşım olacaktır. Uygulamada ise PAF modelinin işletme şartlarına göre değiştirilmiş, her işletmenin kendilerine özgü maliyetlerini tanımlayıp kontrol edecek bir sistemi ortaya koyması şeklinde gerçekleştirilmektedir (Plunket ve Dale, 1987).

Bu çalışmada mermer üretim sistemi için PAF modeli geliştirilerek meydana gelen kalite maliyetlerinin tespit edilmesi, sınıflandırılması ve hesaplanması yapılmaya çalışılmıştır. Ayrıca bu maliyetlerin kaynakları ile ilgili değerlendirmeler yapılarak kalite maliyetlerini göstermeyen klasik muhasebe sistemi için alt hesap adları önerilmiştir. Bu sayede kalite maliyetleri de muhasebe kayıtları üzerinden kontrol edilebilir hale dönüştürülebilecektir.

Kalite ile ilgili çalışmalarının hemen tümü şu aşamaları içermektedir; müşterinin ne istediğinin tespit edilmesi, talepler doğrultusunda ürün özelliklerinin belirlenmesi, bu özelliklere ulaşmak için gerekli olan üretim standartlarının belirlenmesi, ortaya çıkan standartların hedefe konularak üretime geçilmesi, üretim süreci sırasında da müşteri talepleri ve üretim sistemindeki değişimlerin takip edilmesi. Bu anlamda kalite denildiğinde ilk akla gelen tanımlamalar, standart ve hedefler ile bu hedeflere uygunluğu ölçmeye yarayan istatistiksel araçlardır.

Madencilik sektöründe kalite maliyetlerini tespit ve kontrol etmek bu nedenle zordur. Çünkü genelde madencilik sektöründe ve özelde mermer sektöründe ürün kalitesini belirleyen özelliklerin hemen tamamı doğaltaşın oluşumu ile ilgili özelliklerden kaynaklanmaktadır ve bu özellikler, oluşumlarını milyonlarca yıl önce tamamlamış kontrol edilemez doğal süreçlerdir.

Bu nedenle mermer sektöründe kalite maliyetlerini ortaya koymak ve kontrol etmek bir kat daha güç olmaktadır.

2. MERMER FABRİKALARI ÜRETİM SİSTEMİ VE ORTAYA ÇIKAN MALİYETLER

Mermer fabrikalarında üretim sistemi ocaklarda ham blokların seçilmesi ile başlar. Bazı firmalar kendi ocaklarına sahip iken kimileri de başkalarına ait olan ocaklardan blok satın alma yoluna giderek ham blok tedarik ederler. Her iki durumda da blokların seçimi üretimin diğer aşamaları için hayati önem taşımaktadır çünkü seçilen blokların ürün kalitesi ile ilgili olumlu ya da olumsuz özelliklerini bu aşamadan sonra değiştirmek çok daha zor olacaktır.

Ocaktan getirilen bloklar fabrika stok sahasında stoklanırlar. Bundan sonraki adım blokların

kesilmesidir. Kesilme adımı ilk işlem kesim hattının seçilmesidir. Mermer fabrikalarında iki temel kesim hattı bulunur, bunlar levha hattı ve plaka hattı ya da hatların başındaki ana makina adları ile isimlendirilerek katra ve ST (blok kesme makinesi) hattı olarak adlandırılırlar. Blok boyutları ve planlanan ürünlere bağlı olarak hatlar seçildikten sonra kesim işlemine geçilir. Kesim hatları ve bu hatlardaki makineleri de içeren genel akım şeması Şekil 1'de verilmiştir.

Üretim sistemi içinde kesim hatlarına, ürün ve doğaltaş türüne, üretim yöntemlerine bağlı olarak birçok değişik türde maliyet ortaya çıkmaktadır. Bu maliyetlerin en önemlileri kesme hatlarındaki sarf malzemelerinden kaynaklanan maliyetler ile işçilik ve enerjidir. Buna ek olarak cila hatlarındaki enerji ve aşındırıcı giderleri ile epoksi (doğaltaş ürünlerinin sağlamlığını artıran bir çeşit dolgu) giderleri de önemli gider kalemlerindendir.

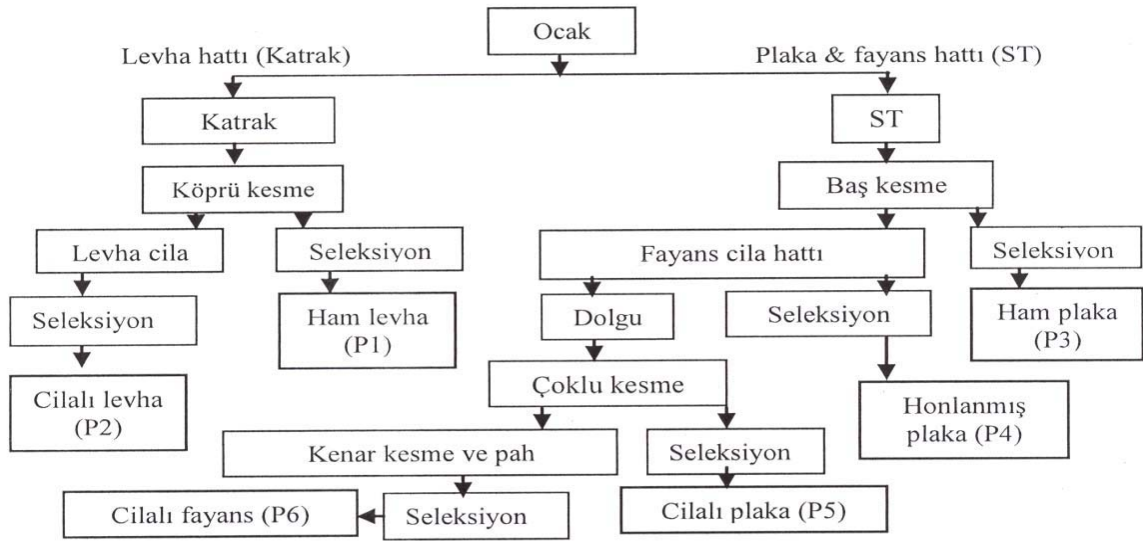
Bu ve benzeri maliyetleri hesaplamak ve birim maliyet olarak (YTL/m²) ortaya koyabilmek için birçok çalışma ve ölçüm gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmalarda görülmüştür ki mermer ürünlerinin birim maliyetlerini tam olarak hesaplamak oldukça güçtür. Üretim hatlarındaki geri dönüşler, kayıplar ve hammadde ve ürünlerin çok farklı sayılarda olmaları nedeniyle birim maliyetleri, üretim hatlarını takip ederek hesaplamak oldukça karmaşık ve zahmetli bir iştir.

Bu nedenle bu zorlukları aşmak için başka bir yol denenmiş ve maliyet hesaplamalarında kullanılmıştır. Buna göre, üretim sistemi bazen tek bir makineden oluşan üretim adımlarına bölünmüş ve her bir adımın birim sürede yarattığı maliyetler hesaplanmıştır (Akkoyun, 2006).

Doğal taş türüne ve ürün özelliklerine göre bir taşın herhangi bir üretim adımı ne kadar süre geçirdiği hesaplanabilir bir veridir. Süre ölçüldükten sonra o üretim adımının bu sürede ne kadar maliyet yarattığı bilgisi de hesaplanabilir bir veridir. Bu iki veri birlikte değerlendirildiğinde her adım için ve toplamda bir ürün için birim maliyetler hesaplanmıştır. Yapılan işlemi basit olarak simgelerle ifade etmek gerekirse;

$$BM = \frac{BZM * US}{A} \quad (1)$$

burada;



Şekil 1. Mermer fabrikaları genel akım şeması ve ürünleri (P1...6)

- BM :Birim maliyet (YTL/m²)
 BZM :Birim zamandaki maliyet (YTL/dakika)
 US :Üretim süresi (dakika)
 A :Üretilen toplam alan (m²)

olarak kullanılmıştır.

Burada bir makina ya da iş adımı birim zamanda ortaya çıkan maliyet hesaplanırken hangi doğaltaşın işlem gördüğü hesaba katılmalıdır çünkü genelde makina hızları, çektikleri akımlar ve sarf miktarları gibi parametreler doğaltaş özelliklerine göre değişirler. Bu nedenle söz konusu birim zamandaki maliyet değeri her bir doğaltaş türü için ayrı ayrı tespit edilerek daha doğru sonuçlara ulaşılması sağlanmalıdır.

Bu yaklaşım kullanılarak örneğin başkesme makinasının belirli bir taş türü için bir birim sürede ne kadar elektrik, su, işçilik, soket sarfı, testere sarfı vb. giderleri ortaya çıkardığı belirlendikten sonra aynı taş ile ilgili bir üretimde sadece taşın başkesme makinasındaki işlem süresini hesaplayarak maliyetler tespit edilebilir. Bir doğaltaşın belirli bir ürünün üretilmesi için hangi işlem adımlarından geçeceği belli olduğu için model içine taş türü, işlem adımı ve maliyet tipini eklemek yeterli olacaktır (Akkoyun, 2006).

Bu yöntem ile mermer fabrikası üretim sistemini oluşturan üretim adımlarının kendilerine özgü maliyetler ve kalite maliyetleri de daha yakından gözlemlenmiş olmaktadır. Ürün ve doğaltaş türlerine ve üretim adımları ile maliyet çeşitlerine bağlı olarak modeli, tüm sistem için genelleştirerek yazmak gerekirse;

$$TM = \sum_{t=1}^n \sum_{a=1}^m \sum_{m=1}^p (((BZM * US)_{m,a})_t) \quad (2)$$

burada;

- TM :Toplam maliyet (YTL)
 BZM :Birim zamandaki maliyet (YTL/dakika)
 US : Üretim süresi (dakika)
 ve t (doğaltaş türü), a (üretim adımı), m (maliyet türü) olarak ifade edilmektedir.

Modele göre örneğin $((BZM * US)_{2,3})_2$ ifadesi (2) numaralı doğal taş türü için katrak makinesinin (3) su sarf (2) giderini ifade etmektedir. Üretim adımları ve hangi ürünün hangi üretim adımından geçtiği ile ilgili bilgileri Çizelge1'de verilmiştir.

Eğer maliyetler tam olarak tanımlanabilirse bu model kullanılarak üretim adımları içinde meydana gelen kalite maliyetlerini de ortaya çıkarmak ve her bir ürün için kalite maliyetlerini hesaplamak mümkün olacaktır. Bu nedenle çalışmanın sonraki adımı kalite maliyetlerini ortaya çıkaracak bir yöntem geliştirerek PAF modelinin temeli olan önleme, değerlendirme ve başarısızlık maliyetlerinden oluşan kalite maliyetlerini belirlemektir.

3. KALİTE MALİYET MODELİNİN GELİŞTİRİLMESİ

Tanıtmaya çalışılan kalite maliyet modellerinden

Çizelge 1. Ürünler ve Üretim Adımları

Üretim Adımları (a)	Ürünler (P1...6)					
	Ham Levha	Cila levha	Ham plaka	Honlu plaka	Cilalı plaka	Fayans
Ham blok seçim ve nakil	+	+	+	+	+	+
Stoklama	+	+	+	+	+	+
Katrak	+	+	-	-	-	-
Köprü kesme	+	+	-	-	-	-
Plaka cila	-	+	-	-	-	-
ST	-	-	+	+	+	+
Baş kesme	-	-	+	+	+	+
Cila hattı	-	-	-	O	+	+
Dolgu	O	O	O	O	+	+
Seleksiyon	+	+	+	+	+	+
Paketleme	+	+	+	+	+	+
Diğer giderler	+	+	+	+	+	+

+:Çalışır / -:Çalışmaz / O:seçime bağlı

Her adım için enerji, su, aşındırıcı/testere/soket sarfı ve işçilik hesaplanmıştır

en yaygın olarak kullanılan PAF modelinin bir uygulaması, Türkiye mermer sektörü içinde önemli bir yer işgal etmeye başlayan Diyarbakır bölgesi mermer sektöründen (Ayhan vd., 2004) elde edilen bilgiler kullanılarak mermer fabrikaları için uygulanmaya çalışılmıştır. Her ne kadar çalışma Diyarbakır bölgesi fabrikalarından elde edilen veriler ile yapılmış olsa da çalışmada sadece bölgeye özgü veri ya da bilgi yoktur ve diğer mermer fabrikaları için genelleştirilebilir.

Fabrikaların genel işleyişleri hakkında bilgi toplanırken bir yandan da klasik muhasebe kayıtları incelenmiş ve kayıt altına alınan maliyetler ile ilgili bir inceleme yapılmıştır. Daha sonra mermer fabrikaları üretim sistemi küçük birimlere bölünmüş, bu bölümler çoğunlukla köprü kesme gibi bir makina, kimi zaman da mum dolgu gibi bir iş adımı olarak belirlenmiştir. Her birimde meydana gelen maliyetler tespit edilip ölçülmeye çalışılmıştır.

Bölmelere ayrılmış işlem adımlarında ve bir bütün olarak sistemin tümünde ortaya çıkan maliyetleri tespit ettikten sonra takip eden adımda bu maliyetlerden hangilerinin kalite maliyeti olduğunun belirlenmesi gibi önemli bir aşamaya gelinir.

Bu ayrımı yapmak çok kolay değildir. Çünkü klasik muhasebe kayıtlarında kalite maliyetleri ayrı bir şekilde kayıt altına alınmazlar. Bu durumda her maliyeti tek tek düşünerek hangisinin kalite maliyeti olduğuna karar vermek gerekecektir. Bu karara yardımcı olacak basit ancak önemli bir algoritma literatür taraması sonrasında bulunarak kullanılmıştır. Bu algoritma Şekil 2'de verilmiştir.

Şekil 2'de genel yapısı verilen algoritma kullanılarak mermer üretim sistemi içinde meydana gelen neredeyse tüm maliyetler değerlendirilerek mermer fabrikaları için kalite maliyetleri tanımlanmış, sınıflandırılmış ve ölçülmüştür. Bu maliyetlerin hesaplanması için, eşitlik (2)'de verilen genel maliyet modeline benzer bir kalite maliyetleri modeli kullanılmıştır. Bu model ilişkisi aşağıda eşitlik (3)'de verilmiştir.

$$KM = \sum_{t=1}^n \sum_{a=1}^m \sum_{m=1}^p (((BZKM * US)_{m,a})_t) \quad (3)$$

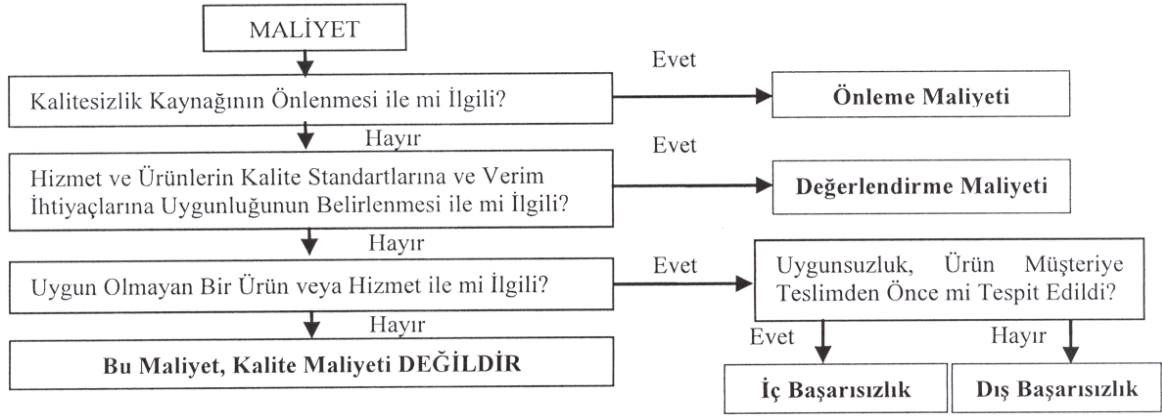
burada;

KM :Kalite maliyeti (YTL)

BZKM :Birim zamandaki kalite maliyeti (YTL/dakika)

US :Üretim süresi (dakika)

ve t (taş türü), a (üretim adımı), m (maliyet türü) olarak ifade edilmektedir.



Şekil 2. Kalite maliyetlerinin ayıklanması için algoritma (Campanella, 1990)

Bu modele uygun olarak yapılan çalışmalar sonucunda kalite maliyeti olarak sınıflandırılabilir maliyetler ortaya çıkarılmıştır. Bu maliyetler, PAF modeline uygun sınıflandırılmış olarak Çizelge 2'de verilmiştir. Çizelge 2'de verilen kalite maliyet kalemleri, ayrıntıları, farklı mermer fabrikaları için kendi çalışma şartlarına uygun olarak değiştirilerek muhasebe sistemi içinde açılacak bir 'kalite maliyetleri hesabı' başlıklı hesap altında benzer adlar ile gösterilebilirler.

Muhasebe sistemlerinde işletmelerin buna benzer eklemeler yapmalarına izin veren nazım hesaplar bölümü vardır. Geniş anlamı ile nazım hesaplar bir işletmenin alacağı, borcu ve varlıkları ile ilgili olmayan, ancak bunların açıklanması için kullanılmak üzere muhasebe planında bulunan ana hesaptır (Kumkale, 2002).

Muhasebe sistemlerinin bu esnekliğinden

Çizelge 2. Giderlerinin PAF Modeline Uygun Düzenlenmesi ve Önerilen Hesap Adları

Mermer Fabrikalarında Meydana Gelen Kalite Maliyetleri		
Sınıflar	Alt-Başlıklar	Açıklama
Önleme	Kuruluş maliyetleri	Yer, sistem, makina, akım şeması, personel seçimi.
	Müşteri talebi tespit maliyetleri	Pazar araştırması, reklam, anket, fuar, gezi, web sitesi, vb. maliyetleri.
	Yeni tedarikçi bulma maliyetleri	Yeni ocak arama, numune alma, sondaj, karot ve/veya el numunesi analiz maliyetleri.
	Eğitim ve beceri kazandırma maliyetleri	Üretimin her aşaması ile ilgili olarak (blok seçimi, taş kesme, dolgu, parlatma, ambalaj, istatistiksel kontrol, numune alma, ölçüm araçlarının kullanımı, veri toplama ve değerlendirme, yabancı dil, vb.) personelin ihtiyaç duyduğu eğitim, kurs, seminer, yayın maliyetleri.
	Hammadde kontrol maliyetleri	Blok seçimi, taşıma ve stoklama ile ilgili kontrol ve önlemler.
Değerlendirme	Ürün ve üretim sistemi ölçüm-kontrol-analiz ve numune maliyetleri	Standart kontroller, sorun tespit ve çözme, sistem analizi ve düzenlenmesi, makina testleri, ürün, dolgu, ambalaj malzemesi numune alma ve test kontrollerinin maliyetleri, numunelerin kendi maliyetleri, sapmaların düzeltilmesi vb. maliyetler.
	Kalite personeli maliyetleri	Kalite personeli ücretleri ile kalite artırıcı eylemlerin maliyetleri, istatistik araçları, yazılımlar, notlar, ölçüm sonrası düzeltme çalışmalarının maliyetleri.
İç Başarısızlık	Sevk öncesi kusurlu maliyetleri	Kusurlu ürün tespit maliyeti, kusurlu ayıklama, stoklama ve yeniden işleme maliyeti, 2. kaliteye ayrılanların göreceli maliyetleri.
Dış Başarısızlık	Sevk sonrası kusurlu maliyetleri	İfadeye bağlı maliyetler, garanti, müşteri memnuniyetsizliği maliyetleri.

Çizelge 3. Mermer Ürünlerinin Kalite Maliyet Sınıflarına Göre Değişimi ve Toplam İçindeki Payları

Mermer Türü	Ürün Tipi	Kalite Maliyeti (YTL/m ²)	Toplam Maliyet (YTL/m ²)	Oran (%)
Mermer-A (Kireçtaşı)	Ham Levha (P1)	0,50	10,32	4,8
	Cilalı Levha (P2)	0,53	14,68	3,6
	Ham Plaka (P3)	0,67	7,52	8,9
	Honlanmış Plaka (P4)	0,76	9,64	7,9
	Cilalı Plaka (P5)	0,66	10,71	6,2
	Cilalı Fayans (P6)	0,80	13,84	5,8
Mermer-B (Kireçtaşı)	Ham Levha (P1)	0,55	9,40	5,9
	Cilalı Levha (P2)	0,84	14,61	5,7
	Ham Plaka (P3)	0,65	7,15	9,1
	Honlanmış Plaka (P4)	0,91	9,57	9,5
	Cilalı Plaka (P5)	0,87	11,17	7,8
	Cilalı Fayans (P6)	1,06	15,02	7,1

Çizelge 4. Ürün Tipine Bağlı Olarak Kalite Maliyet Sınıflarındaki Değişim

Mermer Türü	Ürün Tipi	Kalite Maliyetleri (YTL/m ²)		
		Önleme	Değerlendirme	Başarısızlık
Mermer A (Kireçtaşı)	Ham Levha (P1)	0,02	0,25	0,23
	Cilalı Levha (P2)	0,02	0,29	0,22
	Ham Plaka (P3)	0,01	0,22	0,44
	Honlanmış Plaka (P4)	0,02	0,27	0,47
	Cilalı Plaka (P5)	0,02	0,27	0,37
	Cilalı Fayans (P6)	0,02	0,32	0,46
	Standard sapma	0,004	0,031	0,104
Mermer B (Kireçtaşı)	Ham Levha (P1)	0,01	0,24	0,30
	Cilalı Levha (P2)	0,02	0,32	0,50
	Ham Plaka (P3)	0,01	0,23	0,41
	Honlanmış Plaka (P4)	0,02	0,29	0,60
	Cilalı Plaka (P5)	0,02	0,32	0,53
	Cilalı Fayans (P6)	0,03	0,32	0,71
	Standard sapma	0,004	0,007	0,038

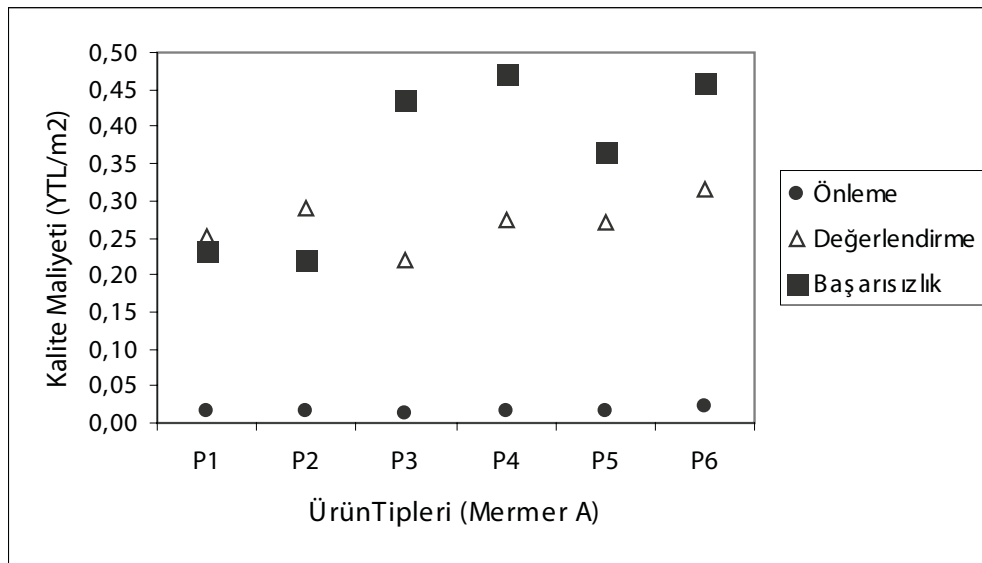
yararlanılarak bu çalışma ile ortaya konulan kalite maliyet adları alt hesap adı olarak kullanılarak kalite maliyetlerinin takip ve kaydı mermer fabrikaları için sağlanmış olacaktır.

Kalite maliyeti olarak tanımlanan maliyetlerin, çalışmaların yapıldığı işletmelerdeki durumları da ölçülmeye çalışılarak ürünlere bağlı bir kalite maliyet değerlendirmesi yapılmıştır. Bunun için öncelikle eşitlik (2)'ye uygun olarak toplam maliyetler hesaplanmış ardından kalite maliyetleri hesaplanmıştır.

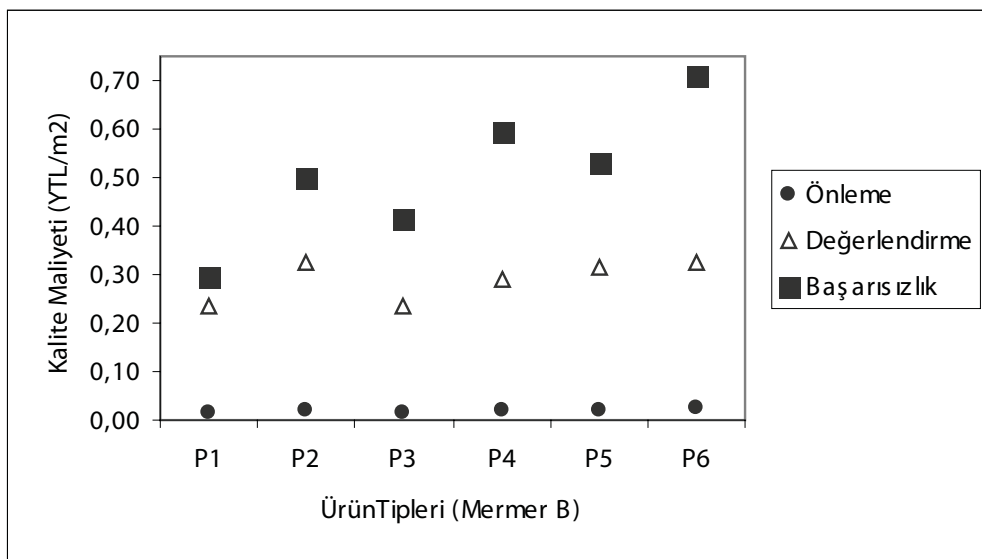
Kalite maliyetlerinin toplam maliyetler içindeki paylarının ürünlere göre dağılımı Çizelge 3'te, kalite maliyetlerinin kendi içlerindeki değişimi Çizelge 4'de verilmiştir. Kalite maliyetlerinin sınıflarına göre dağılımının ürün tiplerine bağlı değişimleri Şekil 3'te ve toplam maliyetler içindeki oranlarını gösteren grafikler Şekil 4'te verilmiştir.

4. VERİLERİN YORUMLANMASI VE SONUÇLAR

Bu çalışma ile mermer fabrikaları için

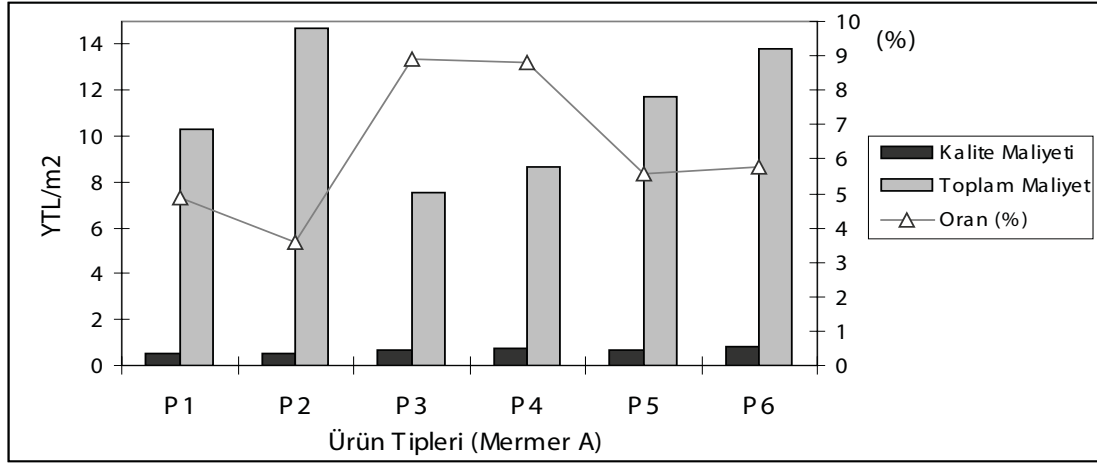


(a)

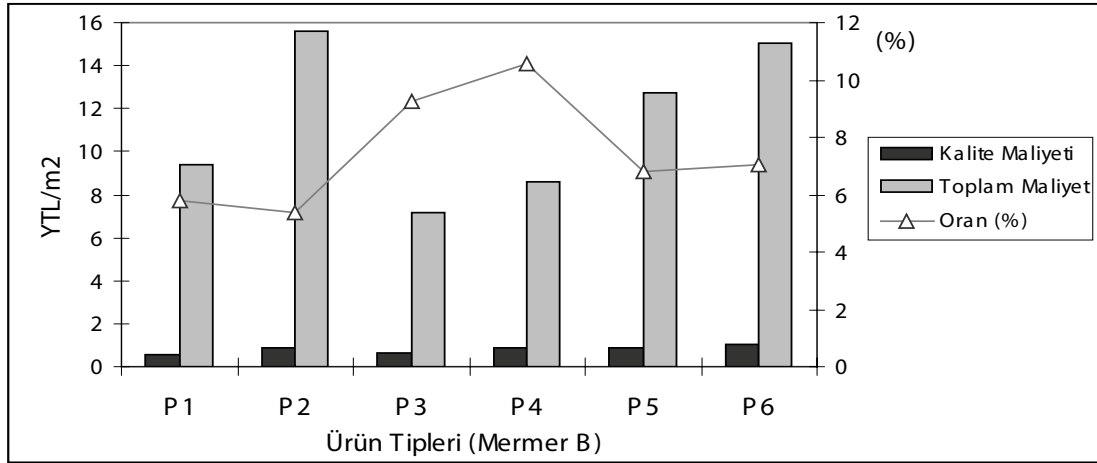


(b)

Şekil 3. Mermer A (a) ve mermer B (b) için kalite maliyet türleri ile ürün tipleri arasındaki ilişkiler



(a)



(b)

Şekil 4. Mermer A (a) ve mermer B (b) için toplam maliyetler ve kalite maliyetleri arasındaki ilişkiler

uygulanabilecek bir PAF kalite maliyet modeli geliştirilmiştir. Bu çalışmalar sonucunda önleme, değerlendirme ve başarısızlık maliyet sınıfları adı altında birçok kalite maliyeti tanımlanmış ve ölçülmüştür.

Önleme çalışmalarının en önemlisi blok seçimi ile ilgili olanlardır. Bir mermer fabrikası için yeni hammaddelerinin getirileceği ocakların aranması sürekli olarak yapılması gereken bir iştir. Sürekli olarak yeni hammadde kaynakları aranır. Bulunan ocaklardan en doğru biçimde blokların üretilmesi için çalışmalar yapılır.

Blokların doğru yönde ve doğru boyutta kesilmeleri, daha sonra fabrikada görecekleri işlemler açısından çok önemlidir. Hammadde

olarak işlenecek blokların doğru seçilmeleri ve mümkün olduğu ölçüde az kalitesizlik unsurlarını barındıracak şekilde fabrikalara taşınmaları için yapılacak çalışmaların önemli bir bölümü önleme maliyetleri olarak değerlendirilir ve grafiklerde (Şekil 3 ve Şekil 4) görüldüğü gibi üründen ürüne çok fazla değişmeyen ortalama bir seyir izlerler.

Sözü edilen önleme faaliyetleri tek bir ürünü hedef olarak değil de tüm ürünlerin içinden çıkarılacağı ham bloğu hedef aldığı için önleme maliyetleri ürünlere eşit olarak dağılmakta ve üründen ürüne büyük bir değişim göstermemektedir. Bu nedenle standart sapması çok küçüktür (Çizelge 4).

Değerlendirme maliyetleri ise çoğunlukla üretim aşamasında sistemi oluşturan makina ve diğer

üretim elemanlarının önceden belirlenen kalite hedeflerine uygun sınırlar içerisinde çalışıp çalışmadıklarını tespit etmek için yapılan çalışmaların maliyetlerini kapsarlar. Bunlar; kontrol, numune alma, numune değerlendirme, ölçümler, istatistiksel yaklaşımlar ve araçların kullanılması gibi çeşitli çalışmalar ve bu çalışmaların maliyetleridir.

Bu çalışmalar her ne kadar sistem içindeki makina ve üretim elemanları ile ilgili olup doğrudan ürünlerin kendileri ile ilgili değilse de farklı ürünler bu sistem elemanları içinde farklı zamanlar geçirdikleri için uzun zaman geçirip daha çok iş adımından geçen ürünün daha fazla kontrol noktasından geçme durumu ortaya çıkmaktadır.

Yani ham levha gibi bir ürün ile ilgili kontrol edilecek, numune alınacak fazla bir nokta bulunmazken fayans gibi birçok kontrolü gerektiren bir hattan geçecek bir ürün için daha fazla oranda değerlendirme maliyeti oluşması beklenmelidir. Bu nedenle üretilmesi için fazla işlem gören ürünlerin değerlendirme maliyetleri göreceli olarak yüksek bulunmuştur (Çizelge 4).

Başarısızlık maliyetleri iç ve dış başarısızlık olmak üzere iki bölüme ayrılmış, ancak yapılan çalışmalarda dış başarısızlık maliyeti olarak değerlendirilecek 'ürün iadesi gibi' bir maliyete ulaşılmadığından dolayı başarısızlık maliyetleri başlığı altında sadece iç başarısızlık maliyetleri değerlendirilmiştir.

Genelde de en zor ölçülen hatta ölçülmesi neredeyse olanaksız olarak değerlendirilen kalite maliyet türü dış başarısızlık maliyetidir. Eğer iade, garanti, sevk sonrası zayı olma gibi bir durum yok ise müşteri memnuniyetsizliğinden kaynaklanan kayıplar gibi bir parametrenin ölçülmesi ve dış başarısızlık hanesine yazılması çok zordur. Bu zorlukları aşmak için anket vb. çalışmaları ile bir yaklaşıma gidilebileceği önerilse de (Dawes, 1987) tatmin edici bir çözüm bulunamamıştır.

Çalışma sonucunda elde edilen başarısızlık maliyetleri, ürünlerin işlem adımları içerisindeki fireleri ile ambalajlama öncesi seçim masasındaki 2. kaliteye ya da 3. kaliteye ayrılma oranları ile ilgili verilerdir. Fireler doğrudan doğruya iç başarısızlık maliyeti olarak değerlendirilirken bir ürünün birinci kalite olması gerekirken ikinci kaliteye ayrılması, kaliteler arası satış fiyatı farkından dolayı göreceli bir kayıp doğurmaktadır

ki bu fark yine iç başarısızlık maliyeti olarak kalite maliyetine eklenmelidir. Bu sayede bir ürün ile ilgili olarak ikinci kaliteye ayrılma oranı, bir oranda da olsa kalite maliyetleri açısından değerlendirmeye alınmaktadır. Farklı ürünlerin farklı sebeplerden dolayı fire ve ikinci kaliteye ayrılma özellikleri taşımamasından ötürü, başarısızlık maliyetleri en büyük standart sapma ile ortaya çıkmaktadır.

Sonuçta ürünün toplam maliyetleri 7–15 YTL/m² ile kalite maliyetleri de 0,5–1,06 YTL/m² aralıklarında hesaplanmıştır. Kalite maliyetlerinin toplam maliyetler içindeki oranının ise % 3–10 arasında olduğu gözlenmiştir. Bu oranın ham plaka (P3) ve honlanmış plaka (P4) ürünlerinde yükseldiği gözlenirse de (Şekil 4) bu durumun, o ürünlerdeki kalite maliyetlerinin yüksekliğinden değil, toplam maliyetlerinin düşük olmasından kaynaklandığı belirtilmelidir. Oran göreceli olarak yüksek gibi görünmektedir.

Ortalama bir işletmede kalite maliyetleri hiçbir zaman sıfır olmaz. Çünkü belirli bir kalite seviyesi tutturmak için mutlaka önleme ve değerlendirme çalışmalarına ihtiyaç vardır. Bu nedenle amaç toplam kalite maliyetlerini en küçükmek (minimize etmek) değil, makul bir önleme ve değerlendirme maliyeti düzeyi yakalayarak başarısızlık maliyetlerini en aza indirmeye çalışmak olmalıdır. Bunun için de işletmelerin önce kalite maliyetlerini tespit edip sınıflandırmaları gerekmektedir. Ayrıca yukarıda değinilen sebepten dolayı, toplam kalite maliyetleri üzerinden değil, önleme, değerlendirme ve başarısızlık maliyetleri üzerinden ayrı ayrı değerlendirme yapımları daha anlamlı olacaktır.

KAYNAKLAR

Abed, M., ve Dale, B, 1987; "An Attempt to Identify Quality Related Costs in Textile Manufacturing", Quality Assurance, **13**, 41-45.

Akkoyun, Ö., 2006; "Mermer İşleme Tesislerinde Kalite Maliyetlerine Bağlı Üretim Optimizasyonu", Doktora Tezi, EOGU FBE, yayınlanmamış. 39-61.

Asher, J., 1987; "Cost Of Quality in Service Industry", International journal of Quality and Reliability Management, September, **14**, 38-46.

Ayhan, M., Topal, E., Akkoyun, Ö., 2004; "Diyarbakır Mermer Sektörünün Türkiye Mermer

Endüstrisindeki Yeri, Sorunları ve Çözüm Önerileri”, Mermer Dergisi, İzmir.

Bohan, G.P. ve Horney, N.F., 1991; “Pinpointing the Real Cost of Quality in A Service Company”, National prod. review, summer, 309-317.

Campanella, J., 1990; “Principles of Quality Costs”, Asqc Quality Pres, Winsconsin, USA

Crockett, H. G.,1935; “Quality But Just Enough”, Factory Management and Maintenance, **93**, 245-246.

Crosby, P. B., 1979; “Quality is Free”, McGraw-Hill., New York.

Crosby, P. B., 1983; “Don’t Be Defensive About the Cost of Quality”, Quality Progress, April, 38-39.

Crosby, P. B., 1984; “Quality without Tears”, McGraw-Hill., New York.

Dahlgaard, J., Kristensen, K. ve Kanji, G., 1992; “Quality Costs and Total Quality Management”, Total quality management, **3**, 201-211.

Dawes, E., 1987; “Quality Costs-New Concepts and Methods”, ASQC Annual Transaction. In: J. Campanella (Ed.) Quality Costs:Ideas and Applications (Milwaukee, ASQC Press), Vol. II, 440-448.

Deming, W. E., 1986; “Out of Crisis: Quality, Productivity and Competitive Position”, Cambridge University Press, Cambridge.

Feigenbaum, A.V., 1956; “Total Quality Control”, Harvard Business Review, **34**, 93-101.

Gibson, P., Hoang, K. ve Teoh, S., 1991; “An Investigation into Quality Costs”, Quality forum, **17**, 29-39.

Gryna, F., 1978; “Quality Costs-What Does Management Accept?”, ASQC Annual Transaction In:A.F. Grimm (Ed.) Quality Costs: Ideas and Applications (Milwaukee, ASQC Press), Vol.I, 352-358.

Hollocker, C., 1986; “Finding the Cost of Software Quality”, ASQC Annual Transaction. In:J. Campanella (Ed.) Quality Costs: Ideas and

Applications (Milwaukee, ASQC Press), Vol. II, 355-367.

Hwang, G. H., ve Aspinwall, E. M., 1996; “Quality Costs Models and Their Application: A Review”, Total Quality Management, **7**, 267-281.

Kara, İ., 1985; “Yöneylem Araştırmasının Yöntem Bilimi”, Anadolu Ü. Yay. No:96, Eskişehir.

Kumkale, R., 2002; “Muhasebe Terimleri Sözlüğü”, Literatür Yayınları.

Masser, W. J., 1957; “The Quality Manager and Quality Cost Industrial Quality Control”, **14**, 5-8.

Miner, D. F., 1933; “What price quality?”, Product Engineering, August, 300-3023.

Morse, W. ve Poston, K., 1986; “Accounting for quality costs-a critical component of CIM”, CIM Review, Fall issue, In:J.Campanella (Ed.) Quality Costs: Ideas and Applications (Milwaukee, ASQC Press), Vol.II, 400-408.

Morse, W., 1993; “A Handle on Quality Costs”, CMA Magazine, February, 21-24.

Oberlender GD., 1983; “Project Management for Engineering And Construction”. NY McGraw-Hill.

Plunkett, J. ve Dale, B., 1987; “A Review of the Literature on Quality Related Costs”, International Journal of Quality and Reliability Management, **4**, 40-52.

Szymanski, E., 1985; “Relationship of Financial Information and Quality Costs: a Tutorial”. In: Campanella (Ed.) Quality Costs: Ideas and Applications (Milwaukee, ASQC Press), Vol.II, 257-267.

Taguchi, G, 1987; “System of Experimental Design”, Hite plains, NY, Unipub/Kraus International Publications.

KÜTAHYA BÖLGESİ LİNYİTLERİNİN KENDİLİĞİNDEN YANMAYA YATKINLIKLARININ ARAŞTIRILMASI

An Investigation on the Liability of Kutahya Region Lignites to Spontaneous Combustion

Özer ÖREN (*)
Cem ŞENSÖĞÜT (**)

ÖZET

Kendiliğinden yanma olayı, yıllardır kömür madenciliğinin maruz kaldığı en büyük sorunlardan birisi olarak gösterilmektedir. Kömür stoklarında, yeraltında, açık ocaklarda ve hatta apartman dairelerinde bile gerçekleşebilen bu olay; üretim, makine ve donanım kayıplarının yaşanmasına ve en önemlisi ciddi yaralanma ve ölümlere neden olabilmektedir. Kendiliğinden yanma olayı, zamanında gerekli önlemlerin alınması ile en aza indirilebilir. Bu önlemlerin en başında ise; kömürlerin kendiliğinden yanmaya yatkinliklarının belirlenmesi, buna göre bir sınıflama yapılması ve kömürün kendiliğinden yanmaya yatkinliğine göre işletme şartlarının ayarlanması gelmektedir. Yapılan bu çalışma ile daha önce kendiliğinden yanma konusunda incelenmemiş olan Seyitömer ve Değirmisaz linyitlerinin kendiliğinden yanma karakteristikleri belirlenerek ileride bu bölgelerde oluşabilecek ocak yangınları üzerinde durulacaktır. Bu iki bölgeye ek olarak Garp Linyitleri İşletmesinin hem açık hem de yeraltı ocaklarından alınan numuneler üzerinde kendiliğinden yanma deneyleri yapılarak, Kütahya bölgesi kömürlerinin kendiliğinden yanmaya olan yatkinliği tespit edilmiştir. Kendiliğinden yanmaya yatkinliğin araştırılmasında kesişim noktası yöntemi kullanılmış, kömürler bu yöntemin gerektirdiği boyut dağılımına indirilmiş ve her kömür örneğinin kimyasal analizleri yapılmıştır. Toplam olarak 33 adet kesişim noktası deneyi gerçekleştirilmiştir. Deney sonuçlarına göre; Seyitömer Linyit İşletmesi'ne ait kömür örnekleri kendiliğinden yanma açısından "orta risk" grubunda yer alırken, Garp Linyitleri İşletmesi "yüksek risk" ve Değirmisaz Linyit İşletmesi'ne ait kömürlerin ise "orta risk" e sahip kömürler arasında olduğu tespit edilmiştir.

Anahtar sözcükler: Kendiliğinden Yanma, Kömür Oksidasyonu, Kesişim Noktası Yöntemi, Yatkinlik İndeksi

ABSTRACT

Spontaneous combustion of coals has been pointed out as one of the most critical problems encountered in coal mining for years. This event occurring in underground and open pits as well as in the coal – hole of the apartments can cause severe fatalities together with loss of reserves and equipments. Spontaneous combustion phenomenon can be reduced to a minimum degree by taking necessary precautions in time. In order to carry out this important task, at first the susceptibility of coals to spontaneous combustion should be determined and then colliery working conditions should be arranged according to these findings. In this work, the spontaneous combustion liability of the coals taken from Western, Seyitömer and Değirmisaz Lignite Corporations have been identified. The spontaneous combustion profiles of the coals from Kütahya Region have been ascertained in general. Throughout the present work, the crossing point method has been utilized. A total of 33 laboratory tests have been carried out. According to test results, the coal samples taken from Seyitömer have "medium to high" risk for spontaneous combustion while the coals from Western Lignite Corporation have shown "high" risk and the coals from Değirmisaz Corporation have "medium" risk.

Key words: Spontaneous Combustion, Oxidation of Coal, Crossing Point Method, Liability Index

(*) Yük. Müh., Dumlupınar Ün. Müh. Fak. Maden Müh. Böl. Merkez Kampüsü, KÜTAHYA

(**) Prof. Dr., Dumlupınar Ün. Müh. Fak. Maden Müh. Böl. Bşk. Merkez Kampüsü, KÜTAHYA sensogut@dumlupinar.edu.tr

1. GİRİŞ

Kömürlerde oluşan kendiliğinden yanma; oksijen ve kömürün bulunduğu her ortamda gelişebilecek ekzotermik bir reaksiyondur. Yeraltında, kömür stoklarında, açık ocaklarda ve deniz aşırı nakliyat sistemlerinde görülebilen bu olay ciddi can ve mal kayıplarına neden olabilmektedir.

Genel olarak bakıldığında kendiliğinden yanma olayını azaltmak veya önlemek için yapılmış olan birçok çalışma literatürde yer almaktadır. Stok kömürleri üzerinde yapılan çalışmalarda; özellikle stok sahalarındaki kömürlerin kendiliğinden yanmaya karşı davranışlarının stoğa yerleştirilen termoçiftler sayesinde gözlemlenmesi, ısı bölgelerinin termal cihazlar ile saptanması, stok üzerinin kömürün oksijenle temasını engellemek amacıyla kaplanması ve meteorolojik hareketlerin stok üzerindeki etkilerinin araştırılması hedef olarak alınmıştır (Özdeniz, 2003; Fierro vd., 2001; Fierro vd., 1999a; Fierro vd. 1999b; Şensöğüt ve Özdeniz, 2005; Krajciová vd., 2004). Stokların dışında günümüzde kendiliğinden yanmada etkili olabilecek kömür özellikleri ve parametreleri incelenmekte (Ren vd., 1999; Wang vd., 1999; Yıldırım vd., 2006; Nugruho vd., 2000; Kadioğlu ve Varamaz, 2003; Küçük vd., 2003) ve kendiliğinden yanma sonucu oluşan gaz ürünlerinin yardımıyla kendiliğinden yanmanın erken saptanması yönünde çalışmalar yapılmaktadır (Lu vd., 2004, Şahin ve Didari, 2002).

Kömürlerin kendiliğinden yanması kömürün otooksidasyonu sonucu gelişen bir olaydır. Kömür O_2 ile temasa geçtiğinde kömür oksidasyonun ilk işareti O_2 adsorpsiyonu ile oluşan oksijen tüketimidir (Wang vd., 2003). Kömür yapısı itibarıyla çok düşük sıcaklıklarda olsa dahi, oksijen ile temasa geçtiğinde oksijeni adsorbe etmekte ve bu adsorpsiyon işlemi de $40^\circ C$ 'nin üzerindeki sıcaklıklarda ekzotermik bir reaksiyona dönüşerek ortam ısısını arttırmaktadır (Saraç, 1992). Eğer bu ısı ortamdan uzaklaştırılmazsa yaklaşık $70^\circ C$ 'den sonra CO ve CO_2 gaz yoğunluğu ortamda fazlalaşmakta ve $125^\circ C$ 'de de su buharı meydana gelmektedir. Artan ortam sıcaklığı kömürün tutuşma sıcaklığına ulaştığında ise kömür yanmaya başlamaktadır (Kural, 1998; Jones ve Townend, 1949).

2. ÜLKE KÖMÜRLERİNİN KENDİLİĞİNDEN YANMA KARAKTERİSTİKLERİ

Ülkemizdeki kendiliğinden yanma olayları sonucunda meydana gelen ocak yangınları, Türkiye Taşkömürü Kurumu (TTK) ve Garp Linyitleri İşletmesi (GLİ) gibi önemli işletmelerde büyük bir can ve mal kaybına neden olmuştur (Saraç, 1992; Soy Türk, 1992). Birçok araştırmacı tarafından ülkemizdeki çeşitli kömürler üzerinde gerçekleştirilen kendiliğinden yanmaya yatkınlığın saptanması çalışmaları bu olaylardan sonra hız kazanmıştır.

Özellikle Zonguldak yöresinde değişik araştırmacılar tarafından farklı müesseselerde yürütülen kendiliğinden yanma çalışmaları, bölgedeki kömürlerin yatkınlıkları açısından önemli fikirler vermiştir (Şahin ve Didari, 2002; Ayvazoğlu, 1978; Karaçam vd., 1988; Yılmaz ve Atalay, 1990; Kaymakçı ve Didari, 1992; Didari vd., 1993; Kaymakçı, 1998). Bunun dışında Garp Linyitleri İşletmesi'nde yapılan çalışmalarda kömürlerin tutuşma sıcaklıkları $138-146^\circ C$ olarak saptanmış ve yüksek riskli kömür sınıfına dahil edilmiştir (Saraç ve Soy Türk, 1992). Kadioğlu ve Varamaz (2003), Aşkale ve Balkaya linyitlerinin tutuşma sıcaklıkları üzerinde nemin ve kurutulmuş havanın etkilerini incelemiş, nem içeriğinin tutuşma sıcaklığı değerlerini arttırdığını, kuru havadan geçirilmiş kömürlerin ise tutuşma sıcaklıklarının azaldığını tespit etmiştir. Şensöğüt ve Çınar (2000), Konya – Ermenek bölgesi kömürlerinin tutuşma sıcaklıklarını $151-160^\circ C$, yatkınlık indeksi değerlerini ise $4,4-7,3$ olarak tespit etmişlerdir. Türkiye kömürleri üzerinde yapılmış olan kendiliğinden yanma çalışmaları Çizelge 1' de gösterilmiştir

3. KENDİLİĞİNDEN YANMANIN BELİRLENMESİ

Kendiliğinden yanmaya yatkınlığın belirlenmesinde farklı yöntemler kullanılmaktadır. Bu yöntemler kömür yığınlarının içerisine daldırılan termoçiftler sayesinde yapılan sürekli gözlemler, adyabatik testler, mikroklorimetri gibi izotermal yöntemler, tutuşma sıcaklığı ve kesişim noktası yöntemleri ve ısı – artışı yöntemi olarak sıralanabilir (Zhou ve Wang, 2004). Bu çalışmada basit ve ucuz olmasından dolayı kesişim noktası yöntemi tercih edilmiştir.

Çizelge 1. Türkiye Kömürleri Üzerinde Yapılan Kendiliğinden Yanma Çalışmaları

Araştırmacı	Çalışma sahası	Uygulanan yöntem	Tutuşma sıcaklığı değerleri (°C)	Yatkınlık indeksi (dak ⁻¹)	Risk sınıflaması
Ayvazoğlu (1978)	Zonguldak - Kozlu	Dinamik oksidasyon	86 – 90	-	-
Karpuz vd. (1986)	GAL - Silopi	Kesişim noktası	180 – 200	10 – 12 8 – 9	Yüksek Orta
Ermişoğlu vd. (1987)	GLİ - Ömerler	Düzeltilmiş Bystron – Urbanski	-	-	Yüksek
Karaçam vd. (1988)	Zonguldak – Kozlu, Karadon, Armutçuk, Amasra, Üzülmöz	Kesişim noktası	170 – 186	4,4 – 10,2	Orta
Yılmaz vd. (1990)	Zonguldak - Armutçuk	Kesişim noktası	164 – 178	3,65 – 6,18	Orta
Kaymakçı & Didari (1992)	Zonguldak – Üzülmöz GLİ - Ömerler	Kesişim noktası DTA	138 – 168	4,04 – 26,00	
Saraç & Soytürk (1992)	GLİ – Tunçbilek- Ömerler	Kesişim noktası	138 – 146	8,5 – 26	Yüksek
Saraç (1993)	Soma - Çayırhan	Kesişim noktası	110 – 127	-	Yüksek
Didari vd. (1993)	Zonguldak – Üzülmöz GLİ – Tunçbilek, Ömerler Muğla – Sekköy, Karaağaç	Kesişim noktası	140,6 – 176,7	-	-
Kaymakçı (1998)	Zonguldak	Kesişim noktası	150 – 215	-	-
Şensöğüt (1999)	Konya - Ilgın	Kesişim noktası	180 – 184	5,1 – 8,1	Orta
Şensöğüt & Çınar (2000)	Konya - Ermenek	Kesişim noktası	151 – 160	4,4 – 7,3	Düşük – orta
Yılmaz (2002)	Soma – Eynez	Kesişim noktası	152 – 157	4,63 – 6,95	Düşük – orta
Şahin & Didari (2002)	Zonguldak – Amasra, Kozlu Karadon	Kesişim noktası	141 – 186	2,64 – 6,92	Düşük – orta
Kadioğlu & Varamaz (2003)	Erzurum – Aşkale - Balkaya	Kesişim noktası	-	-	-
Küçük vd. (2003)	Erzurum - Aşkale	Kesişim noktası	138 – 160	-	-
Özşen (2003)	28 ayrı kömür ocağı	TGA	197,308 – 221,094	-	-

3.1 Kesişim Noktası Yöntemi

Deneyin esası, doğrusal olarak ısıtılan bir fırın içerisine yerleştirilmiş olan reaktör içindeki kömür numunesi üzerinden hava geçirilmesi ve zaman – sıcaklık ilişkilerinin izlenmesidir. Deney sırasında hem fırının hem de numunenin sıcaklıkları kaydedilmekte, numune sıcaklığının fırın sıcaklığını geçtiği ya da kestiği nokta “kesişim noktası” olarak adlandırılmaktadır (Kaymakçı ve Didari, 1992). Kendiliğinden yanmaya yatkınlığı yüksek olan kömürlerin kesişme noktası sıcaklıkları daha düşük olmaktadır (Didari vd., 1993; Banerjee, 2000).

Bu yöntemde kömürün kendiliğinden yanmaya olan yatkınlığını belirlemek amacıyla Feng vd. (1993) tarafından, “FCC (Feng, Chakravorty,

Cochrane) indeksi” geliştirilmiştir. Bu indeksin geliştirildiği eşitlik aşağıda verilmektedir (Eşitlik 1):

$$I_{(FCC)} = \frac{OSA}{Tutuşma\ Sıcaklığı} \times 1000 \quad (1)$$

Burada;

$I_{(FCC)}$ = Feng, Chakravorty, Cochrane indeksi, (1/dak)

OSA = Kömür numunesinin 110 – 220°C arasındaki ortalama sıcaklık artışı, (°C/dak)

Ortalama sıcaklık artışı ise;

$$OSA = \frac{110^\circ C}{t_2 - t_1} \quad (2)$$

Burada;

t_2 = Kömür numunesinin 220°C'deki zamanı,
(dak)

t_1 = Kömür numunesinin 110°C'deki zamanı,
(dak)

Bu indeksten de yararlanılarak kömürlerin kendiliğinden yanmaya olan yatkinlıkları belirlenmiştir (Çizelge 2).

Çizelge 2. FCC İndeksine göre Kendiliğinden Yanmaya Olan Yatkinlık (Saraç,1992)

Yatkinlık indeksi (FCC)	Kendiliğinden yanmaya yatkinlık
0 - 5	Düşük
5 - 10	Orta
> 10	Yüksek



Şekil 1. Kütahya yöresini gösteren Türkiye haritası

4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Deneylerde kullanılmak amacıyla Seyitömer Linyitleri İşletmesi (SLİ), Değirmisaz, Garp Linyitleri İşletmesi (GLİ) Ömerler ve açık ocaklarından (Şekil 1), her biri için yaklaşık 10 kg'lık numuneler alınmıştır. Daha sonra bu numuneler Dumlupınar Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü Laboratuvarlarında azaltılarak 100 gr'lık – 200 mesh boyutuna indirilmiş ve deneyler için kullanıma hazır hale getirilmiştir. Öğütme sırasında kömürün oksijen ile temasını önlemek amacı ile numuneler hava sızdırmaz kapların içerisinde bekletilmiştir. SLİ ve GLİ işletmelerinden temin edilen numuneler, doğrudan kömür stampından alınırken; Değirmisaz İşletmesi'nden alınan kömürler üretime son verildiğinden dolayı stoklardan temin edilmiştir. Deneylerde kullanılan kömürlerin kimyasal analizleri Çizelge 3'de gösterilmiştir.

Alınan numuneler üzerinde yapılan kendiliğinden yanmaya yatkinlığın saptanması çalışmaları, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi bünyesinde kurulan Zonguldak Endüstri Destekleme Merkezi (ZEDEM) Kendiliğinden Yanma Laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. Kullanılan deney düzeneği; mini kompresör, ortam sıcaklığını doğrusal olarak arttırmaya yarayan programlanabilen bir etüv, numune sıcaklığını ölçmek için kullanılan bir kaydedici ve kömürlerin içine konulduğu camdan yapılmış bir reaktörden ibarettir.

Zonguldak Endüstri Destekleme Merkezi (ZEDEM), Kendiliğinden Yanma Laboratuvarında, S44 panosu B2 damarının dışında her bir numune için 4 farklı deney yapılmak suretiyle toplam olarak 33 adet kesişim noktası deneyi gerçekleştirilmiştir.

İlk olarak – 200 mesh (75 μ) boyutuna indirgenmiş olan kömür numunelerinin 35 gr'lık kısmı cam reaktör içine konulmuştur. Etüvün program aşamaları ayarlandıktan sonra reaktörün teflon kapağı kapatılıp mini kompresörden alınan 100 cc/dak'lık hava ile deney başlatılmıştır. Deney boyunca hem fırının hem de numunenin sıcaklıkları her 10 dakikada bir ölçülerek kömürün tutuşma noktası belirlenmiştir. Ayrıca kömürün 110°C ve 220°C'deki sıcaklık dakikaları da kaydedilerek kendiliğinden yanma risk indeksi hesaplanmıştır. Yapılan deneylerden kömür numunelerinin göreceli tutuşma sıcaklıkları, ortalama sıcaklık artışları ve yatkinlık indeksleri hesaplanmış ve bu indekse göre bir risk sınıflaması yapılmıştır.

5. SONUÇLAR

Örnek olması açısından her bir işletmeyi temsil eden deney sonuçları ve zaman – sıcaklık eğrileri Şekil 2 ve 3' de verilmektedir. Yapılan tüm deneylerin sonuçları ise Çizelge 4'de verilmiştir.

Deney sonuçlarına göre; Seyitömer Linyit

Çizelge 3. Deneyleri Yapılan Kömürlerin Kimyasal Analiz Sonuçları

Numune adı	Nem (%)	Kül (%)	Kükürt (%)	Karbon (%)	Üst ısıl değer (kcal/kg)	Alt ısıl değer (kcal/kg)
SLİ S30 panosu B1 damarı	35,00	11,62	2,18	52,04	5728	5465
SLİ S30 panosu B2 damarı	38,49	15,74	1,15	46,42	5113	4862
SLİ S30 panosu B3 damarı	38,91	9,25	1,42	51,27	5749	5479
SLİ S44 panosu B2 damarı	29,18	22,45	2,44	44,15	4318	4087
GLİ Ömerler M5 pano damarı	13,36	27,41	2,04	63,44	6468	6252
GLİ Beke – Yörgüç pano damarı	19,56	13,54	3,17	59,77	6116	5859
GLİ BY – H pano damarı	7,86	16,15	1,05	66,24	6744	6494
GLİ 48 C – 5 pano damarı	10,11	21,82	1,94	64,68	6632	6399
Değirmisaz stok kömürü	1,32	11,62	4,44	56,88	5912	5649

İşletmeleri (SLİ)'nin tutuşma sıcaklıkları 174 –188°C arasında değişmektedir. Yatkinlık indeksi değerleri ise 7,44 – 10,30 dak⁻¹ olarak bulunmuştur. Bu değerlere göre Seyitömer Linyit İşletmeleri (SLİ) kendiliğinden yanma açısından “orta – yüksek” risk grubundadır.

Garp Linyitleri İşletmesi için tutuşma sıcaklıkları 141 – 162°C olarak tespit edilmiştir. 10,25 – 17,34 dak⁻¹ indeks değerleriyle yatkinlık açısından “yüksek” riskli kömürler arasındadır.

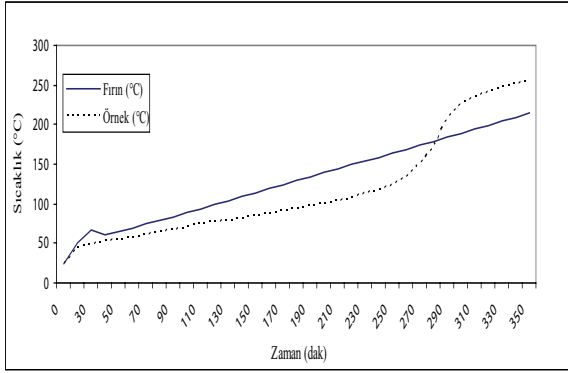
Değirmisaz işletmesinden alınan numuneler, yeraltı işletmeciliğine son verildiğinden stoklardan temin edilmiştir. Bundan dolayı diğer kömürlere göre nem değerleri daha düşük değerlerde seyretmektedir. Tutuşma sıcaklıkları 154 – 155 °C arasında olan bu kömürlerin, ısınma hızları 0,894 – 0,909 °C/dak ve yatkinlık indeksleri 5,78 – 5,87 dak⁻¹ olarak ölçülmüştür. Deneyleri yapılan bütün kömürlere göre en düşük ısınma hızı ve yatkinlık

indeks değerlerine sahip olan bu kömür, “orta” risk sınıfında kabul edilmiştir.

Genel olarak bakıldığında; deney sonuçlarından Kütahya bölgesi kömürlerinin tutuşma sıcaklıklarının 141-188°C, ortalama sıcaklık artışlarının 0,894–2,619°C/dak, yatkinlık indekslerinin de 5,78–17,34 dak⁻¹ olduğu gözlemlenmiştir. Kütahya bölgesi kömürlerinin “orta – yüksek” risk sınıfında olduğunu söylemek mümkündür.

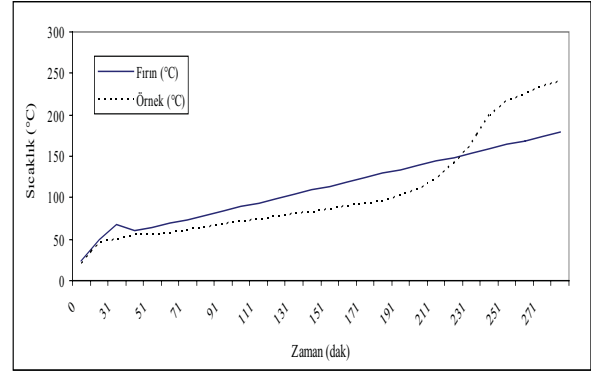
TEŞEKKÜR

Yazarlar, kendiliğinden yanmaya yatkinlık deneylerinin Zonguldak Endüstri Destekleme Merkezi (ZEDEM) Kendiliğinden Yanma Laboratuvarında yapılmasına müsaade eden Karaelmas Üniversitesi yetkililerine sonsuz teşekkürlerini sunarlar.



(a)

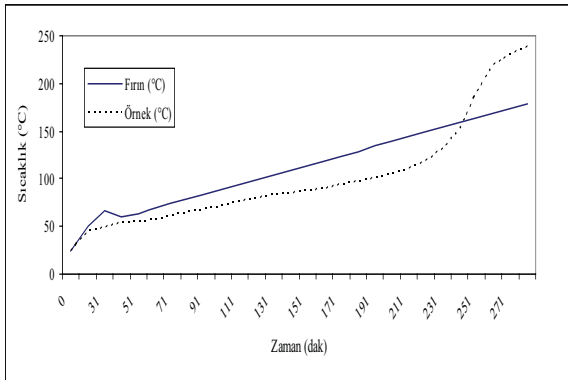
Relatif tutuşma sıcaklığı = 181 °C
Ortalama sıcaklık artışı = 1,527 °C/dak
Yatkınlık indeksi = 8,44 dak⁻¹



(b)

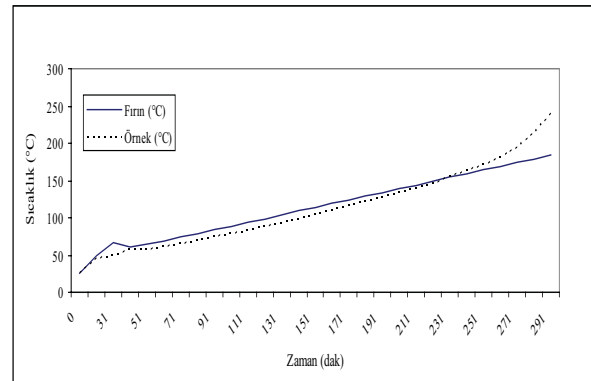
Relatif tutuşma sıcaklığı = 153 °C
Ortalama sıcaklık artışı = 2,075 °
Yatkınlık indeksi = 13,56 dak⁻¹

Şekil 2. SLİ S30 panosu B1 (a) ve GLİ Ömerler M5 pano damarı (b) zaman – sıcaklık eğrileri



(a)

Relatif tutuşma sıcaklığı = 162 °C
Ortalama sıcaklık artışı = 2,075 °C/dak
Yatkınlık indeksi = 12,80 dak⁻¹



(b)

Relatif tutuşma sıcaklığı = 155 °C
Ortalama sıcaklık artışı = 0,894 °
Yatkınlık indeksi = 5,78 dak⁻¹

Şekil 3. GLİ Beke – Yörgüç panosu damarı (a) ve Değirmisaz damarı (b) zaman – sıcaklık eğrileri

Çizelge 4. Deney Sonuçları

Örnek – Deney no		Relatif tutuşma Sıcaklığı (°C)	Ort. sıcaklık artışı (°C/dak)	Yatkınlık indeksi (dak ⁻¹)	Risk sınıflaması
SLİ S-30 B1 damarı	(a)	181	1,527	8,44	orta
SLİ S-30 B1 damarı	(b)	181	1,864	10,30	yüksek
SLİ S-30 B1 damarı	(c)	180	1,803	10,02	yüksek
SLİ S-30 B1 damarı	(d)	183	1,774	9,69	orta
SLİ S-30 B2 damarı	(a)	176	1,527	8,68	orta
SLİ S-30 B2 damarı	(b)	188	1,594	8,48	orta
SLİ S-30 B2 damarı	(c)	183	1,666	9,10	orta
SLİ S-30 B2 damarı	(d)	188	1,692	9,00	orta
SLİ S-30 B3 damarı	(a)	184	1,803	9,80	orta
SLİ S-30 B3 damarı	(b)	185	1,746	9,44	orta
SLİ S-30 B3 damarı	(c)	186	1,774	9,54	orta
SLİ S-30 B3 damarı	(d)	185	1,897	10,25	yüksek
SLİ S-44 B2 damarı		174	1,294	7,44	orta
GLİ Ömerler M5	(a)	155	1,929	12,45	yüksek
GLİ Ömerler M5	(b)	150	1,897	12,65	yüksek
GLİ Ömerler M5	(c)	151	2,619	17,34	yüksek
GLİ Ömerler M5	(d)	153	2,075	13,56	yüksek
GLİ Beke – Yörgüç	(a)	161	2,075	12,89	yüksek
GLİ Beke – Yörgüç	(b)	160	2,075	12,97	yüksek
GLİ Beke – Yörgüç	(c)	162	2,075	12,80	yüksek
GLİ Beke – Yörgüç	(d)	159	2,619	16,47	yüksek
GLİ BY – H	(a)	141	2,075	14,72	yüksek
GLİ BY – H	(b)	142	1,833	12,91	yüksek
GLİ BY – H	(c)	142	1,896	13,35	yüksek
GLİ BY – H	(d)	141	1,896	13,45	yüksek
GLİ 48 C-5	(a)	150	1,774	11,83	yüksek
GLİ 48 C-5	(b)	147	2,115	14,39	yüksek
GLİ 48 C-5	(c)	146	1,964	13,45	yüksek
GLİ 48 C-5	(d)	147	1,506	10,25	yüksek
Değirmisaz	(a)	155	0,909	5,87	orta
Değirmisaz	(b)	155	0,909	5,87	orta
Değirmisaz	(c)	155	0,894	5,78	orta
Değirmisaz	(d)	154	0,901	5,85	orta

KAYNAKLAR

Ayvazoğlu, E., 1978; "EKİ Kozlu bölgesi Çay ve Acılık Kömürlerinin Oksidasyonunun Erken Tespiti Yönünden İncelenmesi", Türkiye 1. Kömür Kongresi, 539 – 563.

Banerjee, S.C., 2000; "Prevention and Combating Mine Fires", A.A. Balkema, Rotterdam, 376.

Didari, V., Kaymakçı, E., Toroğlu, İ., 1993; "Kendiliğinden Yanmanın Araştırılmasında Kullanılabilecek bir Laboratuvar Deney Düzenegi", Türkiye 13. Madencilik Kongresi, 69 – 78.

Ermışoğlu, N., Yeşiltaş, A., Özerdem, S., 1987; "GLİ Tunçbilek Bölgesi Ömerler Yeraltı İşletmesinde Kendiliğinden Yanma Olayları ile Mücadele ve Alınan Önlemler", Türkiye 10. Madencilik Bilimsel ve Teknik Kongresi, 473 – 491.

Feng, K.K., Chakravorty, R.N., Cochrane, T.S., 1973; "Spontaneous Combustion – a Coal Mining Hazard", The Canadian Mining and Metallurgical Journal, October, 75 – 84.

Fierro, V., Miranda, J.L., Romero, C., Andres, J.M., Arriaga, A., and Schmal, D., 2001; "Model Predictions and Experimental Results on Self – Heating Prevention of Stockpiled Coals", Fuel, (80) 125 - 134.

Fierro, V., Miranda, J.L., Romero, C., Andres, J.M., Arriaga, A., Schmal, D., and Visser, G.H., 1999a; "Prevention of Spontaneous Combustion in Coal Stockpiles. Experimental Results in Coal Storage Yard", Fuel, (59) 23 – 24.

Fierro, V., Miranda, J.L., Romero, C., Andres, J.M., Pierrot, A., Gomez – Landesa, E., Arriaga, A., and Schmal, D., 1999b; "Use of Infrared Thermography for the Evaluation of Heat Loses during Coal Storage", Fuel, (60) 231-229.

Jones, R.E., Townend, D.T.A., 1949; "Oxidation of Coal", Journal Society of Chemical Industry, 68.

Kadioglu, Y., Varamaz, M., 2003; "The Effect of Moisture Content and Air – Drying on Spontaneous Combustion Characteristics of Two Turkish Lignites", Fuel, (82) 1685-1693.

Karaçam, E., Didari, V., Atalay, T., 1988; "Zonguldak Kömürlerinin Kendiliğinden Yanmaya

Yatkınlıklarının Araştırılması", Türkiye 6. Kömür Kongresi, 91 – 100.

Karpuz, C., Bölükbaşı, N., Paşamehmetoğlu, A.G., Gürhan, A., 1986; "GAL – Silopi Asfaltitlerinin Gaz İçeriği, Kendiliğinden Yanma Riski ve Kesilebilirliğinin Araştırılması", Türkiye 5. Kömür Kongresi, 379 – 391.

Kaymakçı, E., Didari, V., 1992; "Kömürün Kendiliğinden Yanmaya Yatkınlığının Belirlenmesinde Kullanılan İndeksler", Türkiye 8. Kömür Kongresi, 129 – 140.

Kaymakçı, E., 1998; "Zonguldak Havzası Kömür Damarlarına Uygulanabilecek bir Kendiliğinden Yanmaya Doğal Yatkınlığı Değerlendirme Tekniğinin Geliştirilmesi, Doktora tezi Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

Krajciová, M., Jelemensky, L., Kisa, M., Markos, J., 2004; "Model Predictions on Self – Heating and Prevention of Stockpiled Coals", Journal of Loss Prevention in the Process Industries, (17) 205-216.

Kucuk, A., Kadioglu, Y., Gulaboglu, M.S., 2003; "A Study of Spontaneous Combustion Characteristics of a Turkish Lignite: Particle Size, Moisture of Coal, Humidity of Air", Combustion and Flame, 255 – 261.

Kural, O., 1998; "Kömür Özellikleri, Teknolojisi ve Çevre İlişkileri", Özgün Ofset Matbaacılık A.Ş., 785.

Lu, P., Liao, G.X., Sun, J.H., Li, P.D., 2004; "Experimental Research on Index Gas of the Coal Spontaneous at Low-Temperature Stage", Journal of Loss Prevention in the Process Industries, (17) 243-247.

Nugruho, Y.S., McIntosh, A.C., Gibbs, B.M., 2000; "Low Temperature Oxidation of Single and Blended Coals", Fuel, (79) 1951–1961.

Özdeniz, A.H., 2003; "Kömür Stoklarındaki Kendiliğinden Yanma Olayının İncelenmesi – Garp Linyitleri İşletmesi (GLİ) Örneği", Doktora tezi Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 185.

Özşen, H., 2003; "Bazı Türk Kömürlerinin Termogravimetrik Özelliklerinin Belirlenmesi",

Yüksek Lisans tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 269.

Ren, T.X., Edwards, J.S., Clarke, D., 1999; "Adiabatic Oxidation Study on the Propensity of Pulverised Coals to Spontaneous Combustion", *Fuel*, (78) 1611-1620.

Saraç, S., 1992; "Yeraltı Kömür Ocaklarında Kendiliğinden Yanma", *Anadolu Üniversitesi Mühendislik – Mimarlık Fakültesi Yayınları*, 106-118.

Saraç, S., 1993; "Spontaneous Combustion Tendency of Turkish Lignites", *Çukurova Üniversitesi Yerbilimleri Dergisi*, **22**, 39-43.

Saraç, S., Soytürk, T., 1992; "Tunçbilek Kömürlerinin Kendiliğinden Yanmaya Yatkınlıklarının araştırılması", *Türkiye 8. Kömür Kongresi*, 141-152.

Sensogut, C., Cinar, I., 2000; "A Research on the Tendency of Ermenek District Coals to Spontaneous Combustion", *Mineral Resources Engineering*, **9**, (4) 421- 427.

Sensogut, C., Ozdeniz, A.H., 2005; "Statistical Modelling of Stockpile Behaviour under Different Atmospheric Conditions – Western Lignite Corporation (WLC) Case", *Fuel*, (84) 1858-1863.

Soytürk, T., 1992; "Tunçbilek Kömürlerinin Kendiliğinden Yanmaya Yatkınlıklarının Araştırılması", *Yüksek Lisans tezi Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, 77.

Şahin, N., Didari, V., 2002; "Zonguldak Kömürlerinde Kendiliğinden Yanmanın Erken Saptanması Amacıyla Yanma Ürünü Gazların İncelenmesi", *Madencilik*, **41**, (4) 37- 51.

Şensöğüt, C., 1999; "Türk Kömürlerinin Kendiliğinden Yanmaya Yatkınlığı – İlgün Linyitleri Örneği", *Madencilik*, **38**, (1) 45- 52.

Wang, H., Dlugogorski, B.Z., Kennedy, E.M., 1999; "Theoretical Analysis of Reaction Regimes in Low Temperature Oxidation of Coal", *Fuel*, (78) 1073-1081.

Wang, H., Dlugogorski, B.Z., Kennedy, E.M., 2003; "Coal Oxidation at Low Temperatures: Oxygen Consumption, Oxidation Products, Reaction

Mechanism and Kinetic Modelling", *Progress in Energy and Combustion Science*, 487- 513.

Yılmaz, A.I., 2002; "Eynez Yeraltı Ocağı Havalandırma Sisteminin Ocak Yangınlarına Etkisi", *Doktora tezi Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, 174.

Yılmaz, A.O., Atalay, T., 1990; "TTK Armutçuk Müessesesinde Kendiliğinden Yanma Olayının Araştırılması", *Türkiye 7. Kömür Kongresi*, 399-410.

Yıldırım, O.S., Sensogut, C., Gokay, M.K., 2006; "Effects of Electrical Resistance on the Spontaneous Combustion Tendency of Coal and Interaction Matrix Concept", *Journal of University of Science and Technology Beijing*, **13**, 1-6.

Zhou, F., Wang, D., 2004; "Directory of Recent Testing Methods for the Propensity of Coal to Spontaneous Combustion", *Journal of Fire Sciences*, (22) 91-96.



TMMOB
MADEN MÜHENDİSLERİ ODASI

MADENCİ ÖYKÜLERİ YARIŞMASI



EDEBİYATÇILAR DERNEĞİ'NİN KATKILARIYLA

SON BAŞVURU TARİHİ: 02 KASIM 2007

İLETİŞİM: SELANIK CADDESİ 19/4 KIZILAY/ANKARA TEL:0312 425 10 80
FAX:0312 417 52 90 WEB:www.maden.org.tr E-mail:maden@maden.org.tr

TUNÇBİLEK BÖLGESİ KÖMÜR MADENCİLİĞİNDE UYGULANAN İŞLETME YÖNTEMLERİNİN VERİMLİLİK ANALİZİ

Productivity Analysis of Extraction Methods Applied in Coal Mining at Tuncbilek Region

Mehmet UYGUN (*)
Yaşar KASAP (**)
Adnan KONUK (***)

ÖZET

Bu çalışmada, kömür madenciliğinde uygulanan üretim yöntemlerinin verimliliğinin karşılaştırılması amacıyla toplam faktör verimliliği yöntemi kullanılmıştır. Öncelikle, Türkiye Kömür İşletmeleri Kurumuna bağlı GLİ yeraltı ve yerüstü (açıkocak) işletmelerinin üretim faktör verileri kullanılarak toplam faktör verimlilik oranları hesaplanmıştır. Daha sonra, toplam faktör verimlilik oranlarının istatistiksel analizi yapılmış ve genel olarak GLİ’de açıkocak işletmeciliğinin daha verimli olduğu belirlenmiştir. Ancak, GLİ ruhsat alanındaki kömür rezervlerinin %80’inin yeraltı işletmeciliğine uygun olduğu dikkate alındığında, yeraltı işletmeciliğinde toplam faktör verimliliğini arttırmak için üretim faktörleri bazında bazı düzenlemelerin yapılması gerektiği sonucuna varılmıştır.

Anahtar Sözcükler: Toplam Faktör Verimliliği, Kömür, Enerji

ABSTRACT

In this study, total factor productivity method is used to compare productivity of different extraction methods applied in coal mining. Firstly, total factor productivity ratios are calculated by using the production factor data for in underground and opencast mining at GLI, a subsidiary of TKI. Then statistical analysis of total factor ratios productivity revealed that opencast mining is generally more productive in GLI. However, concerning that the 80 per cent of coal reserves in the license area of GLI is suitable to only underground mining, some regulations must be made over the production factors to increase the total factor productivity.

Keywords: Total Factor Productivity, Coal, Energy

(*) Yük. Müh. TKİ GLİ Bölge Müdürlüğü Tunçbilek KÜTAHYA

(**) Arş. Gör., Osman Gazi Üniversitesi, Müh. Mim. Fakültesi Maden Mühendisliği Bölümü, ESKİŞEHİR ykasap@ogu.edu.tr

(***) Prof. Dr., Osman Gazi Üniversitesi, Müh. Mim. Fakültesi Maden Mühendisliği Bölümü, ESKİŞEHİR

1. GİRİŞ

Türkiye’de ve dünyanın diğer gelişmekte olan ülkelerinde nüfus artışına, sanayileşme ve teknolojik gelişmelere paralel olarak enerjiye olan talep hızla artmaktadır. Ekonomik kalkınmanın ve toplumsal gelişmenin kaynağı olan enerji, insanların refahı ve ülke ekonomisinin gelişmesinde belirleyici unsur olmaktadır.

Bugün ülkemiz enerji ihtiyacının yaklaşık %23’ü kömürden karşılanmakta olup, linyite dayalı elektrik santrallerinde yerli kaynakların payı %15’tir (DPT, 2006). Ülkemiz elektrik üretiminde yerli kömüre dayalı santrallerin payının artırılarak, dış ülkelere bağımlılığımızın azaltılması gerekmektedir. Ancak, yerli kömür üretiminin artırılması için yeni rezervlerin bulunmasında ve yatırımların finansmanında önemli güçlükler bulunmaktadır.

Bu çerçevede kömür sektöründe, rezervlerinin optimum şekilde işletilip, enerjide dışa bağımlılığımızın azaltılması ve diğer enerji kaynaklarına iyi bir seçenek oluşturulabilmesi için verimlilik artırıcı çalışmalara hız verilmesi gerekmektedir. Kömür madenciliğindeki yatırımların yapılmasında, işletme üretim sistemlerinin seçiminde ve nihai amaçlara yönelik stratejik kararların alınmasına yardımcı olabilmesi açısından özellikle uygulanan üretim yöntemlerinin verimliliğe olan etkilerine önem vermek gerekmektedir.

Kömür madenciliğinde verimlilikle ilgili birçok çalışma yapılmıştır. Kulshreshtha ve Parikh (2001), dünyanın üçüncü büyük kömür üreticisi olan Hindistan’da toplam verimlilik artışını belirlemek üzere parametrik olmayan metotla bir çalışma yapmışlar, 2002 yılında ise Hindistan kömür sektörü verimliliği ve bu sektörde yeraltı ve açık işletme yöntemlerinin, etkenlik ve verimliliğe etkilerini ortaya koymuşlardır (Kulshreshtha vd, 2002, 2001). Flynn (2000), ABD’de 2000 yılında yapılan, Yıllık Enerji Bakışı (AEO 2000) toplantısında ortaya konan veriler doğrultusunda kömür piyasasındaki teknolojik değişimin verimliliğe etkilerini incelemiştir. Merrel ve Heinz (1999) ise ABD kömür madenciliğindeki şirket birleşmeleri ve üst yönetim değişikliklerinin verimliliğe etkilerini ortaya koymuştur. Boal (1990) sendikalaşmanın kömür üretimi verimliliğine etkilerini incelemiştir. Bernardo ve Gillenwater (1991), Amerikan kömür madenciliğiyle ilgili tespitlerde bulunmuşlar ve toplam verimlilik oranını

arttırma yönünde çalışmalar yapmışlardır. Konuk ve Ankara (1990) yaptıkları çalışmada, Türkiye kömür madenciliğinde ekonometrik verimlilik gelişiminde etkili olan üretim faktörleri hakkında bilgiler vermektedirler.

Bu çalışmada, GLİ yeraltı ve yerüstü işletme yöntemlerinin 1985-2002 yılları arasındaki toplam faktör ekonomik verimlilik analizi dikkate alınarak kömür madenciliğinde yatırımın yapılabileceği en uygun işletme yönteminin belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla öncelikle toplam faktör verimlilik indeksleri hesaplanmış, işletme yöntemlerinin toplam faktör verimliliğine etkileri istatistiksel olarak analiz edilmiş ve yatırımların yapılacağı işletme yöntemi seçilmiştir.

2. VERİMLİLİK ÖLÇÜM YÖNTEMİ

Kömür gibi yenilenemeyen enerji kaynaklarından en yüksek derecede istifade edebilmek ve rekabetçi kömür piyasasında ayakta kalabilmek için, kömür sektöründe verimlilik artırıcı çalışmalara önem verilmesi gerekmektedir. Bu amaçla yapılan çalışmada potansiyel bazı işletme yöntemlerinin verimliliğe olan etkileri toplam faktör ekonomik verimliliği ile hesaplanmaya çalışılmıştır.

Toplam faktör verimliliği, genel olarak bir üretim yerinde belirli bir zaman aralığında yaratılan çıktıların (üretilen mal miktarı veya parasal değerinin) bunları yaratmak için sağlanan girdilere (işgücü, malzeme-enerji, kapital ve diğer giderler) oranı ile ifade edilmektedir.

Birden çok malın üretilmesi durumunda toplam çıktıyı ifade etmek mümkün olmadığından sadece toplam faktör ekonomik verimliliği ölçülebilmektedir.

Belirli bir t zaman periyodunda toplam faktör ekonomik verimlilik oranını;

$$ER_t = \frac{R_t}{L_t + M_t + Y_t + D_t} \quad (1)$$

modeli ile ifade etmek mümkündür (Konuk,1991). Burada;

ER_t : t zaman periyodundaki toplam faktör ekonomik verimlilik oranı,

R_t : Toplam satış gelirleri (TL),

L_t : İşgücü kullanım giderleri (TL),

M_t : Malzeme ve enerji tüketim giderleri (TL),

Y_t : Kapital (yatırım, amortisman, faiz) giderleri (TL),

D_t : Diğer giderleri (TL) göstermektedir.

Toplam faktör ekonomik verimliliğindeki değişimleri indeksler halinde izlemek mümkündür.

Verimlilik ölçümümün başlangıç yılı olan temel periyot b 'ye göre verimlilik oranlarının (ER_t) indekslenmesi işlemleri;

$$EI_t = ER_t / ER_b \quad (2)$$

Eşitliğinde olduğu gibi yapılabilir. Burada;

EI_t : Toplam faktör ekonomik verimlilik indeksi.

ER_b : b temel zaman periyodundaki toplam faktör ekonomik verimlilik oranını,

3. GLİ'DE UYGULANAN İŞLETME YÖNTEMLERİ

GLİ'de damarın yapısı gereği, kömür üretiminde yer altı ve açık işletme yöntemleri birlikte uygulanmaktadır. Açık işletmelerde; dekapaj için ekskavatör-kamyon ve çekme kepçe (dragline) sistemi, kömür üretimi için ise ekskavatör kamyon sistemi uygulanmaktadır. Yeraltı işletmesinde; arkadan göçertmeli dönümlü uzunayak sistemi (çelik sarma+hidrolik direk tahkimatlı) ve tam mekanize göçertmeli uzunayak sistemi uygulanmaktadır.

4. GLİ İŞYERLERİNDE ÜRETİM FAKTÖRLERİNİN GELİŞİMİ

Garp Linyitleri İşletmesinde uygulanan tüm üretim yöntemlerine ait üretim faktörleri cari fiyat değerlerinin, toptan eşya fiyat indeksleri ile 1985 yılına indirgenmiş indeks değerleri aşağıdaki eşitlik kullanılarak hesaplanmaktadır;

$$I_t = P_t / P_b \quad (3)$$

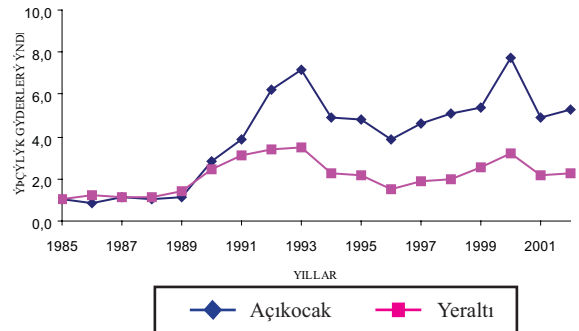
I_t : Cari yıla ait indeks değeri,

P_t : Cari yıla ait üretim faktörü gideri,

P_b : Temel yıla (1985) ait üretim faktörü gideri.

Elde edilen sonuçlar EK1 ve EK2'de verilmiştir (Uygun,2003). Bu çalışmada, işletme yöntemi açık işletme ve yeraltı işletme yöntemi olarak başlıca iki kısımda incelenmiştir.

Şekil 1'den de izlendiği gibi 1989 yılına kadar her iki işletme yöntemindeki işçilik giderleri, birbirine yakın seyretmektedirler. Bu tarihten 1993 yılına kadar işçilik giderlerinde, her iki işletme yönteminde de büyük artışlar görülmüştür. Bu yılda indeks değerleri, açıkocaklarda 7.1866, yeraltı işletmesinde ise 3.5287 değerine kadar yükselmiştir. Burada, açıkocak işletmesine ait işçilik giderlerindeki hızlı yükseliş dikkat çekicidir. 1993 yılından sonra, indeks değerleri arasındaki fark korunarak 1996 yılına kadar bir düşüş gözlenmektedir. 1996 yılında indeks; açıkocak işletmesinde 3.8562, yeraltı işletmesinde ise 1.5495 değerine gerilemiştir. 1996 yılından 2000 yılına kadar işçilik giderlerindeki yükselişin neticesinde açıkocak işletmesinde incelenen periyottaki en yüksek indeks değeri olan 7.7256 değerine ulaşılmıştır. 1985-2002 dönemine genel olarak bakıldığında açıkocak işletmesinde işçilik giderlerinin yeraltı işletmelerine göre daha artan oranlarda yükseldiği görülmektedir. İzlenen periyotta işçilik giderlerinde açıkocak işletmesinde %426.18, yeraltı işletmesinde ise %122.28 oranlarında artış görülmektedir

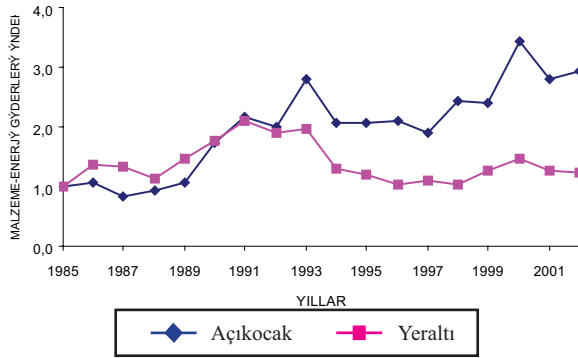


Şekil 1. GLİ Açıkocak ve Yeraltı İşletmelerinde İşçilik Ödemelerinin Gelişimi

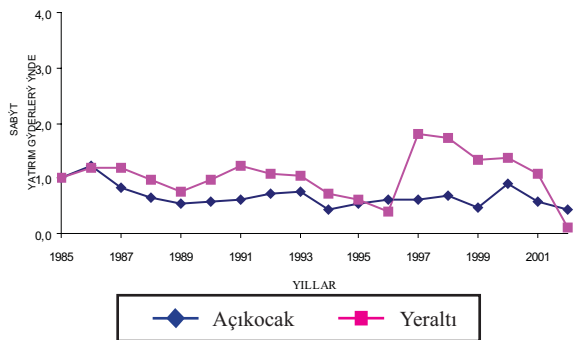
Şekil 2'den periyodun tümü incelendiğinde, açıkocak işletmesinde malzeme-enerji giderleri (MEG) indeksinin yükselen bir trend izlediği görülmektedir. Bu trend neticesinde 2000 yılında 3.4342 değerine ulaşılmıştır. Yeraltı işletmesinde ise 1991 yılına kadar yükselen bu tarihten 1996 yılına kadar azalan bir trend izlenmektedir. 1991'e kadar olan dönemde, MEG indeksinin değişiminde, yeraltı işletmesinde daha büyük yükselişler gözlenmektedir. 2002 yılına gelindiğinde, MEG indeksinde açıkocak işletmesinde %191.97, yeraltı işletmesinde %24.22 artış görülmektedir.

Şekil 3'de ise sabit yatırım giderleri (SYG) indeks

değişimleri izlenmektedir. Şekil 3'den 1985-1986 yıllarında açıkocak işletmesi için SYG indeksinin hızla yükseldiğini ve incelenen periyottaki en yüksek değer olan 1.2149 değerine ulaştığı görülmektedir. Bu tarihten sonra SYG indeksinde düşüşler gözlenmiştir. Açıkocak işletmesi için indeks değeri 2002 yılında 0.4484'e kadar gerilemiştir. Yeraltı işletmesi SYG indeks değerinde inişli çıkışlı bir seyir izlenmekle beraber, özellikle 1997 yılında sıçrama yaparak 1.8126 değerine yükseldiği görülmüştür. Bu tarihten sonra yeraltı işletmesinde yatırımların büyük oranlarda kısılmasından dolayı sürekli bir azalış görülmektedir. Yeraltı işletmesi SYG indeksi, 2002 yılında baz yıla göre %88.08 azalma göstermiştir.



Şekil 2. Açıkocak ve Yeraltı İşletmelerinde MEG'in Gelişimi



Şekil 3. Açıkocak ve Yeraltı İşletmelerinde SYG'nin Gelişimi

5. GLİ'DE TOPLAM FAKTÖR EKONOMİK VERİMLİLİĞİ ÖLÇÜMÜ

5.1. Toplam Faktör Ekonomik Verimliliği

GLİ açıkocak ve yeraltı işletmelerinde 1985-2002 yılları arasındaki toplam faktör ekonomik verimliliği oranı (ER) ve 1985 yılı baz alınarak bulunmuş

olan indeks (EI) değerleri Eşitlik 1 ve 2'deki formüller yardımıyla hesaplanarak, Ek 3'de gösterilmiştir.

Ek 3'de görüleceği gibi GLİ Açıkocak işletmesinde 1985-2002 yılları arasındaki en düşük indeks değeri 0.8319 olarak görülmektedir. Bu da 1985 yılına göre %16,81'lik bir verimlilik azalışını göstermektedir. 1987'den sonra yükselen indeks değeri, 2002'de 2.3560 olmuştur. Yani 2002 yılına gelindiğinde, 1985 yılına göre %135.6 verimlilik artışı olmuştur.

GLİ Yeraltı işletmesinde 1985-2002 yılları arasındaki en büyük verimlilik artışı %44.98'le 1986 yılında görülmektedir. 2002 yılına gelindiğinde ise verimliliğin 1985 yılına göre %24.33 daha düşük olduğu görülmektedir.

5.2. Toplam Faktör Ekonomik Verimliliğinin Analizi

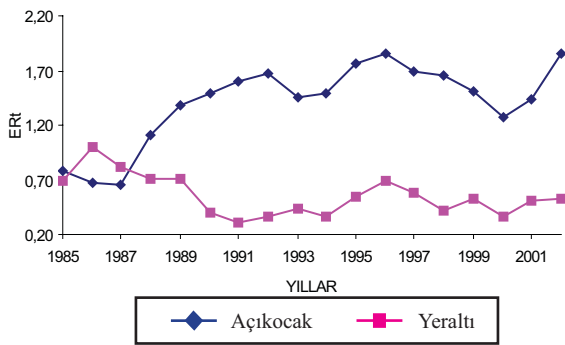
Garp Linyitleri İşletmesi yeraltı ve açıkocak işletmelerine ait toplam faktör ekonomik verimliliği oranı (ER) değerlerinin yıllara göre değişimleri Şekil 4'de görülmektedir.

Şekil 4'de görüldüğü gibi, açıkocak işletmesindeki ER değeri 1986 ve 1987 yılları haricinde yeraltı işletmesinden daha yüksektir. ER değerinin tanımından hareketle yeraltı işletmesinde 1986 yılı haricinde hiçbir yıl çıktılar girdileri karşılamazken açıkocak işletmesinde 1985-1987 dönemi haricinde çıktılar girdileri karşıladığı görülmektedir.

Açıkocak işletmesinde, 1987'ye kadar görülen ve işçilik, yatırım, malzeme-enerji giderlerindeki düşüşten kaynaklanan verimlilik düşüşü ER değerinin en düşük seviyesi olan 0.6524'e ulaşmasından sonra yerinin artış trendine bırakmıştır. 1996 yılında ise, satılabilir kömür miktarındaki artış sebebiyle 1985-2002 periyodundaki en büyük ER değeri olan 1.8584 değerine ulaşmıştır. Bu değer 1985 yılı ER değerine göre %136.98'lik bir verimlilik artışını ifade etmektedir.

Açıkocak işletmesinde 1996 yılından sonra görülen ve işçilik giderlerindeki artıştan kaynaklanan toplam faktör ekonomik verimlilik oranındaki (ER) düşüş 2000 yılına kadar devam etmiştir. ER değeri bu tarihte 1996'daki en yüksek değerine göre %31.87 düşüşle 1.2662 olmuştur. Sonraki iki yılda genel üretim faktörü giderlerindeki düşüş ve fiyat kazanımıyla yükselen ER değeri 2002 yılında 1.8476'ya ulaşmıştır.

Yeraltı işletmesinde ise 1985 ve 1986 yıllarında fiyat kazanımı ve kömür miktarındaki artış sebebiyle yükselen ER değeri 1986'da incelenen periyottaki en büyük değeri olan 1.0089'a ulaşmıştır. Bu tarihten sonra 1991'e kadar satılabilir kömürdeki azalış ve işçilik giderlerindeki artıştan kaynaklanan verimlilikte sürekli bir düşüş gözlenmiştir. 1991'de ER değeri 1986'daki en yüksek değerine göre %68.85 düşüş göstererek 0.3143 değerine gerilemiştir. 1991'den sonraki dönemde ER değeri inişli çıkışlı bir seyir izlemiş ve 2002'ye geldiğinde incelenen periyot başındaki (1985) değerinden %24.3 düşerek 0.5266 değerine gerilemiştir.



Şekil 4. GLİ Açıkocak ve Yeraltı İşletmelerine Ait ER Değerlerinin Yıllara Göre Değişimleri

5.3. Toplam Faktör Ekonomik Verimliliğinde Birim Üretim Faktörlerinin Etkenliği

GLİ açıkocak ve yeraltı işletmelerinde 1985-2002 yılları arasındaki toplam faktör ekonomik verim-

liliğinin (ER) değişiminde birim üretim faktörleri etkilerinin belirlenebilmesi için, her iki işletme yöntemine ait birim üretim faktör değerleri (EK 4-5) ile toplam faktör ekonomik verimliliği arasında doğrusal regresyon-korelasyon ve varyans analizleri yapılmış ve sonuçlar Çizelge-1'de verilmiştir.

Varyans analizinde kuramsal F değeri %99.0 güvenlilik seviyesi ve $f=16$ serbestlik derecesi için teorik $F_t=8,53$ 'dir. F anlamlılık testinde hesaplanan $F_h > F_t$ ise değişkenler arası anlamlı, $F_h < F_t$ ise anlamsız bir ilişkiden söz edebiliriz (Baskan, 1993). Çizelge 1'den izlendiği gibi açıkocak işletmesinde ER ile İG, YH ve İR arasında anlamlı ilişkiler bulunmuştur. Korelasyon katsayıları incelendiğinde de görülebileceği gibi (korelasyon katsayısı daha büyük olduğundan) açıkocak işletmesi verimlilik artışında, teknolojik doygunluk sonrasında yatırım harcamalarının (YH) azalmış olması en büyük etkiyi yapmıştır.

Yeraltı işletmelerinde ise ER ile İG, MG, arasında anlamlı ilişkiler gözlenmektedir. ER ile aralarında anlamlı ilişki tespit ettiğimiz tüm bu birim üretim faktörleri ile ER arasında negatif ilişkiler vardır. Bu nedenle ER'de bir artış sağlanabilmesi için; İG ve MG'nin azalması gerekmektedir. Çizelge 1'den de izlendiği gibi ER artışlarında en etkin faktör (korelasyon katsayısı en büyük olduğu için) işgücü giderleri (İG) ve malzeme, enerji ve diğer giderler (MG) dir.

Açıkocak işletmelerinde malzeme, enerji ve diğer

Çizelge 1. Toplam faktör ekonomik verimlilik oranı (ER) değerleri ile birim üretim faktör değerleri arasındaki doğrusal regresyon-korelasyon analizi sonuçları

Kömür Madeni İşletme Yöntemi	Değişkenler		Regresyon Katsayıları		Korelasyon Katsayıları	Varyans Analizi	
	Bağımlı	Bağımsız	Sabit	eğim		Hesaplanan	Değişkenler Arası İlişki
	Y	X	a	b		F	
Açıkocak	ER	İG	0,996517	6,35E-07	0,63388416	9,9310	ANLAMLI
		MG	0,876413	8,14E-08	0,57455410	7,8850	ANLAMLI
		YH	2,504414	-4,83E-08	-0,83347661	36,4050	ANLAMLI
		İR	2,072802	-0,05114	-0,75617222	21,3650	ANLAMLI
Yeraltı	ER	İG	0,869225	-6,42E-09	-0,85563149	43,7250	ANLAMLI
		MG	0,993834	-1,48E-08	-0,85334323	42,8660	ANLAMLI
		YH	0,699197	-2,55E-08	-0,46699301	4,4630	ANLAMLI
		İR	0,214432	2,28178	0,44005605	3,8420	ANLAMLI

giderler (MG)'nin önemli bir etkinliği yok iken, yeraltı işletmelerinde ise işgücü giderleri ve malzeme-enerji giderlerinin yüksekliği nedeniyle yatırım harcamaları (YH) ve işgücü randımanları (İR)'nin etkinliğinin olmadığı sonucu ortaya çıkmaktadır.

ER : Toplam faktör ekonomik verimliliği oranı,
 İG : Birim işgücü giderleri (TL/ton),
 İR : Birim işgücü randımanı (ton/sa),
 MG : Birim malzeme, enerji ve diğer giderler (TL/ton),
 YH : Birim yatırım giderleri (TL/ton)

7. SONUÇLAR

Ülkemizdeki en büyük kömür üreticisi durumunda olan Türkiye Kömür İşletmelerine bağlı Garp Linyitleri İşletmesinin açıkocak ve yeraltı işletmelerine ait 1985-2002 yılları arasında toplam faktör ekonomik verimliliğinde girdi faktörlerinin etkinliğini araştırmak amacıyla yapılan analizler sonucunda aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

- Açıkocak verimliliği üzerinde, yatırım giderlerinin etkisinin en büyük olduğu gözlenmiştir. Açıkocak işletmeciliğinde en önemli yatırım giderinin, dekapaj giderleri olduğuna dikkat edildiğinde, bu giderin kısılması sonucunda belirli bir süre sonra kömür üretiminde aksaklıklar görüleceği muhakkaktır. Bu nedenle optimum yatırım değerleri tespit edilmelidir.

- Yeraltı işletmeleri verimlilik analizinde, işçilikle ilgili girdi faktörü değerlerinin önemi göze çarpmaktadır. Buna göre işçilik giderlerinin kısılmasıyla verimlilikte önemli artışlar sağlanabilecektir. İşçilik giderlerini, azaltılmasında ise en büyük etkinin, işçilik randımanlarının artırılmasıyla sağlanabileceği düşünülmektedir. Bunun için de, mümkün olduğunca uzun ayaklarda mekanize üretime geçilmesi gerekmektedir.

- İşletmenin rezerv dağılımı dikkate alındığında yeraltı işletmesiyle çalışılabilecek kömürün toplam rezervin yaklaşık %80'ini oluşturduğu görülmektedir. Bu nedenle yeraltında mekanizasyonu artırıcı yatırımların yapılması gereği ortaya çıkmaktadır.
- Yapılan verimlilik ölçümleri sonucunda açıkocak işletmesinin daha çok verimli çalıştığı gözlenmiştir. Yapılan çalışmalar sırasında yeraltı / açık işletme sınırlarının tespitinin açıkocaklardaki eski teknolojik imkanlara göre yapıldığı görülmüştür. Yeni teknolojik imkanların dikkate alınarak tespit

Ek 1. GLİ Açıkocak İşletmesine Ait Üretim Faktörlerinin İndeks Değerleri

AÇIKOCAK			
Yıllar	İşçilik Ödemeleri İndeksi	Malzeme-Enerji ve Diğer Giderler İndeksi	Sabit Yatırım Giderleri İndeksi
1985	1.0000	1.0000	1.0000
1986	0.8451	1.0813	1.2149
1987	1.1262	0.8259	0.8227
1988	1.0690	0.9186	0.6354
1989	1.1782	1.0707	0.5486
1990	2.8630	1.7279	0.5603
1991	3.9109	2.1639	0.6188
1992	6.2380	1.9965	0.7361
1993	7.1866	2.8020	0.7490
1994	4.9158	2.0519	0.4447
1995	4.7751	2.0616	0.5321
1996	3.8562	2.0861	0.6257
1997	4.6567	1.8993	0.6031
1998	5.1377	2.4389	0.6814
1999	5.3793	2.4095	0.4838
2000	7.7256	3.4342	0.9071
2001	4.8690	2.7839	0.5733
2002	5.2618	2.9197	0.4484

Ek 2. GLİ Yeraltı İşletmesine Ait Üretim Faktörlerinin İndeks Değerleri

YERALTI			
Yıllar	İşçilik Ödemeleri İndeksi	Malzeme-Enerji ve Diğer Giderler İndeksi	Sabit Yatırım Giderleri İndeksi
1985	1.0000	1.0000	1.0000
1986	1.2576	1.3681	1.1822
1987	1.1476	1.3454	1.2044
1988	1.1018	1.1310	0.9717
1989	1.4018	1.4658	0.7591
1990	2.4558	1.7513	0.9887
1991	3.1374	2.0995	1.2155
1992	3.3779	1.8956	1.0757
1993	3.5287	1.9789	1.0343
1994	2.2385	1.2886	0.7160
1995	2.1604	1.1861	0.6178
1996	1.5495	1.0182	0.3796
1997	1.8674	1.1019	1.8126
1998	1.9650	1.0437	1.7321
1999	2.5114	1.2755	1.3207
2000	3.2135	1.4621	1.3667
2001	2.2163	1.2732	1.0981
2002	2.2228	1.2422	0.1192

Ek 3.

GLİ Açıkocak ve Yeraltı İşletmesinde Toplam Faktör Verimliliği Oranı (ER) ve İndeksi (EI)

Yıllar	AÇIKOCAK		YERALTI	
	Oranı (ERt)	İndeksi (EIt)	Oranı (ERt)	İndeksi (EIt)
1985	0,7842	1,0000	0,6959	1,0000
1986	0,6694	0,8536	1,0089	1,4498
1987	0,6524	0,8319	0,8235	1,1833
1988	1,1095	1,4148	0,7128	1,0243
1989	1,3892	1,7715	0,7045	1,0123
1990	1,4919	1,9024	0,4009	0,5761
1991	1,6004	2,0408	0,3143	0,4516
1992	1,6746	2,1354	0,3639	0,5229
1993	1,4470	1,8452	0,4363	0,6269
1994	1,4875	1,8968	0,3715	0,5338
1995	1,7663	2,2523	0,5440	0,7817
1996	1,8584	2,3698	0,6925	0,9951
1997	1,6877	2,1521	0,5883	0,8453
1998	1,6558	2,1114	0,4155	0,5970
1999	1,5041	1,9180	0,5295	0,7608
2000	1,2662	1,6146	0,3660	0,5259
2001	1,4342	1,8289	0,5097	0,7324
2002	1,8476	2,3560	0,5266	0,7567

Ek 4.

GLİ Açıkocak İşletmesine Ait Birim Üretim Faktörlerinin Değerleri

Yıllar	İşgücü Giderleri (10 ³ TL/TON)	Malzeme-Enerji (10 ³ TL/TON)	Sabit Yatırım (10 ³ TL/TON)	İşgücü Randımanı (TON/SA)
1985	141	2.835	29.310	25,853
1986	139	3.578	41.563	26,131
1987	218	3.214	33.091	14,761
1988	166	2.863	20.476	16,805
1989	187	3.419	18.111	17,525
1990	447	5.428	18.197	10,975
1991	623	6.930	20.488	11,650
1992	899	5.785	22.050	7,990
1993	1.171	9.177	25.361	7,437
1994	912	7.651	17.142	7,656
1995	883	7.662	20.444	8,008
1996	510	5.546	17.197	10,751
1997	692	5.671	18.617	9,713
1998	784	7.480	21.604	10,444
1999	1.087	9.790	20.323	9,409
2000	1.129	10.084	27.535	12,315
2001	834	9.587	20.411	13,237
2002	956	10.660	16.928	13,682

Ek 5.

GLİ Yeraltı İşletmesine Ait Birim Üretim Faktörlerinin Değerleri

Yıllar	İşgücü Giderleri (10 ³ TL/TON)	Malzeme-Enerji (10 ³ TL/TON)	Sabit Yatırım (10 ³ TL/TON)	İşgücü Randımanı (TON/SA)
1985	14.249	14.073	3.589	0,175
1986	12.905	13.866	3.056	0,188
1987	12.032	13.932	3.181	0,186
1988	16.836	17.068	3.740	0,132
1989	22.452	23.186	3.062	0,127
1990	43.619	30.722	4.424	0,119
1991	70.335	46.485	6.864	0,107
1992	78.090	43.282	6.264	0,110
1993	88.434	48.983	6.529	0,118
1994	59.247	33.685	4.774	0,121
1995	58.482	31.711	4.213	0,129
1996	43.240	28.061	2.668	0,133
1997	45.741	26.656	11.183	0,157
1998	67.833	35.583	15.061	0,116
1999	50.417	25.289	6.679	0,219
2000	83.862	37.686	8.984	0,169
2001	49.041	27.825	6.120	0,211
2002	62.314	34.394	842	0,176

edilecek ekonomik dekapaj oranı sayesinde açık işletmecilikle işletilecek rezervin daha da artacağı düşünülmektedir. Bu da eldeki rezervin daha verimli ve ekonomik işletilebilmesi imkanını doğuracaktır.

KAYNAKLAR

Baskan, Ş., 1993; Uygulamalı İstatistik, Ege Üniversitesi Basımevi, İzmir, 485.

Bernardo, J.J. and Gillenwater, E., 1991; Sequencing Rules for Productivity Improvements in Underground Coal Mining, Decision Sciences (22) 620-634.

Boal, W.M., 1990; Unionism and Productivity in West Virginia Coal Mining, Industrial and Labor Relations Review, (43) 390-405.

DPT, 2006, Dokuzuncu Kalkınma Planı, Madencilik Özel İhtisas Komisyonu, Linyit ve Taşkömürü Çalışma Grubu Raporu.

Flynn, E.J., 2000; Impact of Technolojical Change and Poductivity on the Coal Market, Energy Information Administration/ Issues in Midterm Analysis and Forecasting 2000, 1-9.

Konuk, A., Ankara, H., 1990; Türkiye Kömür Madencilğinde Ekonometrik Verimlilik, Türkiye 7. Kömür Kongresi Bildiriler Kitabı Zonguldak, 161-176.

Kulshrestha, M., Parikh, J.K., 2002; Study of Efficiency and Productivity Growth in Opencast and Underground Coal Mining in India: a DEA Analysis, Energy Economics **24**, 439-453.

Kulshrestha, M., Parikh, J.K., 2001; A Study of Productivity in the Indian Coal Sector, Energy Policy **29**, 701-713.

Merrel, D.R.. and Heinz, H.J., 1999; Productivity and Acquisitions in U.S. Coal Mining, Center for Economic Studies, CES 99-17 USA, http://www.ces.census.gov/index.php/ces/1.00/cespapers?down_key=101579.

Uygun, M., 2003; Kömür Madencilğinde İşletme Yönteminin Verimliliğe Etkileri, Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 241 Eskişehir.

Teknik Not / Technical Note

DİKEY PİNLİ KARIŞTIRMALI DEĞİRMENDE ARMUTÇUK KÖMÜRÜNÜN KURU ÖĞÜTÜLMESİ VE BİLYA BOYUTUNUN ÜRÜN İNCELİĞİNE ETKİSİ

Dry Grinding of Armutçuk Coal in a Pin-Type Vertical Stirred Mill and the Effect of Bead Size on Product Fineness

ÖZET

Bu çalışmada, ortalama tane boyutu 1 mm olan Armutçuk kömürünün laboratuvar ölçekli dikey pinli bir karıştırmalı değirmende kuru olarak öğütülmesi araştırılmıştır. Öğütücü ortam olarak 4 farklı çapta (6.5, 5.5, 4.5, 3.5 mm) granüle çelik bilyalar kullanılmış ve değişik sürelerde (2.5, 5, 10, 20, 40, 60, 120, 240 saniye) öğütmeler yapılmıştır. Daha sonra bilya boyutunun ve öğütme süresinin ürün inceliği üzerine etkisi incelenmiştir. Çapları 6.5, 5.5, 4.5 ve 3.5 mm olan bilyalarla 60 saniye öğütme sonucunda elde edilen ürünlerin d_{50} boyutları sırasıyla 19, 18, 16 ve 11 μm bulunmuştur. Öğütme süresi 60 saniyenin üzerine çıkarıldığı zaman öğütme verimi dramatik şekilde azalmış ve özellikle 120 saniyeden sonra tanelerin neredeyse hiç öğütülmediği görülmüştür.

Anahtar Sözcükler: Karıştırmalı Değirmen, Bilya, Kömür, Öğütme

ABSTRACT

In this study, dry grinding of Armutçuk coal ($d_{50} \sim 1$ mm) were investigated in a laboratory scale pin-type vertical stirred mill. Grinding experiments were carried out with various diameter steel beads (6.5, 5.5, 4.5, 3.5 mm) at various grinding times (2.5, 5, 10, 20, 40, 60, 120, 240 s). Then, the results were plotted to see the effect of grinding time and bead size on the product fineness. The results showed that the products' median size (d_{50}) became finer (19, 18, 16, 11 μm) as the media sizes decreases (6.5, 5.5, 4.5, 3.5 mm) in 60 s grinding time. The efficiency of the stirred mill reduced dramatically after the 60 s grinding time and the fine particles were hardly ground after the 120 s grinding time.

Keywords: Stirred Mill, Bead, Coal, Grinding

1. GİRİŞ

Günümüzde kömürün mikronize boyuta öğütülmesinin başlıca üç amacı vardır. Bunlar;

1. Termik santrallerin ve sanayinin ihtiyacı olan toz kömürü sağlamak,
2. Super veya ultra temiz kömür üretmek,
3. Kömür-su veya kömür-yağ karışımı yakıtlar hazırlamak.

Termik santrallerde ve bazı fırınlarda kömür toz halinde ($<100 \mu\text{m}$) püskürtme yada başka bir deyişle pülverize enjeksiyon yöntemiyle yakılmaktadır. Öğütmenin istenilen düzeyde gerçekleştirilememesi durumunda ise yanma verimi düşmekte ve bir miktar kömür yanmadan cürufa geçmektedir. Nitekim, konvansiyonel değirmenlerle öğütme yapılan Soma Termik Santralinde cüruflar üzerinde yapılan bir araştırmada tanelerin %36'sının 1 mm 'nin üstünde olduğu ve %20 civarında yanmamış kömür içerikleri saptanmıştır (Güven vd., 1992).

Süper ve ultra temiz kömür üretimi için kömürün çok ince boyutlara öğütülerek mineral maddelerinden serbestleşmesi gerekmektedir. Bu boyut genellikle bir kaç mikronla 20 mikron arasında değişmektedir (Mankosa vd., 1986; Özbayoğlu ve Mamurekli, 1988; Mankosa vd., 1989).

Kömür-su veya kömür-yağ karışımı yakıtlar günümüzde petrolün alternatifi olarak görülmekte ve ısınmadan motor yakıtına kadar bir çok değişik alanda kullanılabilir. Bu yakıtların hazırlanması aşamasında da kömürün çok ince boyutlara kadar ($d_{50}<30 \mu\text{m}$) öğütülmesi gerekmektedir (Yavuz ve Küçükbayrak, 1998).

Bilindiği gibi, konvansiyonel tambur (çubuklu ve bilyalı gibi) değirmenlerde harcanan enerjinin bir kısmı doğrudan boyut küçültmede kullanılmakta, önemli bir bölümü ise faydalı bir iş yapmadan (boyut küçültme) ısı enerjisine dönüşerek kaybolmaktadır. Ayrıca, $75 \mu\text{m}$ 'nin altındaki öğütmelerde tambur değirmenlerin verimi çok azalmakta ve öğütme ekonomik olmaktan çıkmaktadır (Jankovic, 2003). Oysa günümüzde karıştırmalı değirmenlerin kullanılmasıyla $10 \mu\text{m}$ 'nin altında bile ekonomik öğütmeler yapmak mümkün olmaktadır. Bunun arkasında yatan temel neden, karıştırmalı değirmen içerisinde birim zaman ve hacimde açığa çıkan enerji miktarının çok yüksek olması nedeniyle, enerji tüketiminin tamburlu değirmenlerle

karşılaştırıldığında oldukça düşük kalmasıdır (Kwade,1996). Temel tasarımı 1920'li yıllara kadar uzanan karıştırmalı değirmenler, ilk kez 1960'lı yıllarda kaolin'in öğütülmesi için kullanılmıştır (Kwade, 1999; Conway-Baker et al., 1999). Karıştırmalı değirmen temelde sabit bir silindirik yapı içerisinde silindir ekseninde dönen bir rotordan oluşmaktadır. Zamanla çeşitli ekipmanları değiştirilerek çeşitli tiplerde karıştırmalı değirmenler dizayn edilmiştir. Bunlardan bazıları Tower mill, Verti mill, Isa mill, Svedala detritör, Sala agitated mill ve ANI-Metsoprotech SVM mills'dir (Jankovic, 2003). Maxmill olarak adlandırılan karıştırmalı değirmen tipinde ise değirmenin gövdesi de dönmekte ve gövde içinde bulunan bir plaka yardımıyla malzemenin akışı değiştirilebilmektedir (Wang, 2004).

Karıştırmalı değirmenler, karıştırıcı (stirrer) geometrisine göre de adlandırılabilir. Karıştırıcılar; diskli, pinli ve halkalı (annular gap) olmak üzere temelde üç şekilden oluşur. Bu değirmenler yatay veya dikey olarak kullanılabilirler gibi yaş ve kuru öğütme de yapabilmektedirler (Kwade, 1999)

Bu çalışmada, dikey pinli bir karıştırmalı değirmen kullanılarak Armutçuk kömürü mikronize boyuta öğütülmüştür. Deneyler kuru olarak, 4 farklı boyuttaki bilyalar ile değişik öğütme sürelerinde yapılmıştır.

2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

2.1 Dikey Pinli Karıştırmalı Değirmen

Şekil 1' de deneysel çalışmalarda kullanılan laboratuvar ölçekli, kesikli (batch) tipi dikey pinli bir karıştırmalı değirmen gösterilmektedir. Donanım; değirmen gövdesi, AC motor , frekans inverteri (farklı karıştırma hızları için) ve 486 model PC olmak üzere dört ana ekipmandan oluşmaktadır. Değirmen gövdesinin içine dik inen karıştırıcı mil, altıgen kesitli olup üzerine eşit aralıklarla yerleştirilmiş 16 adet $9.6 \times 34 \text{ mm}$ boyutlarında silindirik karıştırıcı pinlerden oluşmaktadır. Karıştırıcı maksimum devri 1400 dev/dak. olan, 2.2 kW'lik güce sahip bir motorla karıştırılmaktadır. Deneylerde gerekli olan akım şiddetini ve tork okumalarını yapabilmek, karıştırma hızını ve deney süresini hassas ayarlayabilmek için PC bağlantısı yapılmıştır. Öğütmelerde enerji sarfiyatları 3 fazlı bir elektrik sayacından okunmuştur.



(a)

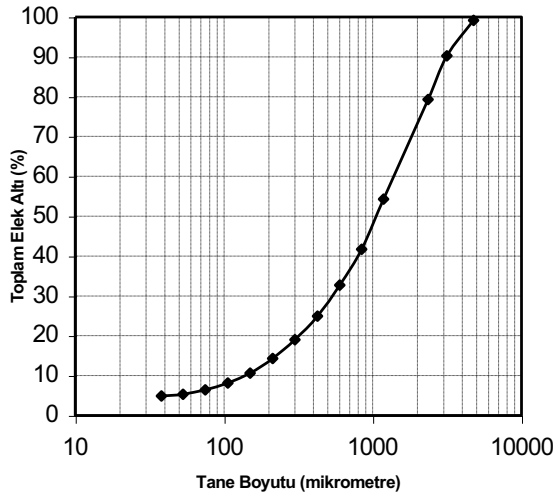


(b)

Şekil 1. (a) Öğütme donanımı (b) Değirmen gövdesi, karıştırıcı (stirrer) ve öğütücü bilyalar

2.2 Malzeme ve Yöntem

Öğütme deneylerinde kömürleşme derecesi yüksek, Zonguldak Armutçuk yıkama tesisinden alınan zenginleştirme ürünü bitümlü kömürler kullanılmıştır. Kömür numunesi deneysel çalışmalar öncesinde önce çeneli daha sonra konik kırıcıdan geçirilerek öğütme için uygun boyuta (-5 mm) getirilmiştir. Elde edilen besleme malına ait boyut dağılımı eğrisi Şekil 2'de, numunenin kuru bazda yapılan kısa kimyasal analiz sonuçları ise Çizelge 1'de verilmiştir.



Şekil 2. Öğütme deneylerinde kullanılan numunenin boyut dağılımı

Çizelge 1. Numunenin kuru bazda kimyasal analiz sonuçları

Analiz	Değeri
Kül (%)	7.86
Uçucu Madde (%)	33.25
Sabit Karbon (%)	58.89
Toplam Kükürt (%)	0.52
Üst Isıl Değer (kcal/kg)	7110

Deneysel çalışmalarda kullanılan Armutçuk taşkömürü örneğinin Hardgrove öğütülebilirlik indeksi değeri 70 olarak bulunmuştur. Değirmene beslenen kömür örneğinin nem içeriği ise yaklaşık olarak %1 civarındadır. Deneyler süresince boyut analizleri; ASTM standart elek serisi ($850 \mu\text{m}$ ve üstü) ve Malvern Mastersizer S ($850 \mu\text{m}$ 'nin altı) lazer boyut analiz cihazı kullanılarak yapılmıştır. Daha sonra her iki sonuç ortak bir tabloda birleştirilmiştir.

Öğütme deneylerinde öğütücü ortam olarak ortalama çapları 6.5, 5.5, 4.5 ve 3.5 mm olan düşük karbonlu granüle çelik bilyalar kullanılmıştır. Bilyaların ortalama yoğunlukları 7 g/cm^3 olup, sertlikleri 40-50 HRC arasında değişmektedir. Bilya şarj miktarları değirmen gövde efektif hacminin %60'ı kadar seçilmiştir. Beslenen kömür miktarları ise bu bilyalar arasındaki boşluğu %100 oranında dolduracak kadar alınmıştır. Karıştırıcının hızı ise deneyler süresince sabit olup 1400 dev./dak. 'dir.

Deneylerde 4 farklı boyutta değirmen gövdesi kullanılmıştır. En büyük çaplı değirmen gövdesine en büyük çaplı bilyalar beslenmiştir. Her bilya boyut grubu ile 2.5, 5, 10, 20, 40, 60,

120 ve 240 saniye olmak üzere 8 farklı öğütme süresinde deneyler yapılmıştır (Çizelge 2). Daha sonra bilya boyutunun ve öğütme süresinin ürün inceliği üzerine etkisi araştırılmıştır.

Çizelge 2. Karıştırmalı değirmen öğütme deneylerinde kullanılan çalışma koşulları

Karıştırıcı devri (dev./dak.)	Bilya şarj oranı (%)	Değirmen gövde çapları (mm)	Efektif değirmen hacmi (cm ³)	Bilya çapları (mm)	Bilya miktarları (g)	Beslenen kömür miktarı (g)	Öğütme süresi aralığı (sn)
1400	60	118x200	2010	3.5	5268	429	2.5 - 240
		125x204	2326	4.5	5988	497	2.5 - 240
		130x206	2557	5.5	5884	546	2.5 - 240
		136x209	2858	6.5	6177	611	2.5 - 240

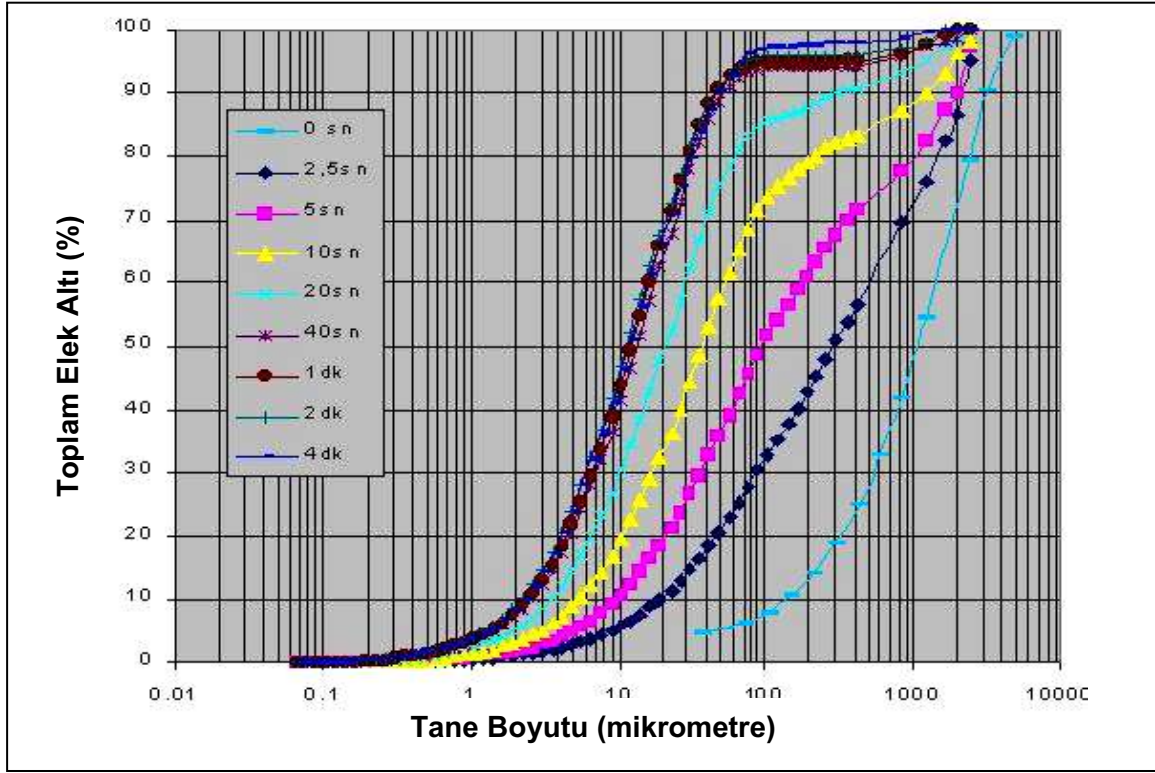
3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Karıştırmalı değirmenlerde kullanılan bilya boyutu ürünün inceliğini etkileyen önemli bir işletim parametredir. Bilya boyutunun öğütme verimliliğine etkisinin incelendiği çalışmaların çoğunda, ince bilya kullanılması ile ürün tane boyutunun incelendiği görülmektedir. Bu eğilim besleme tane boyutu ile orantılı olarak belli bir bilya boyutuna kadar devam etmektedir. Daha ince bilyaların kullanılması durumunda ise, çarpışma anında açığa çıkan enerjinin azalması nedeniyle, bilyaların besleme malı içerisindeki iri taneleri parçalaması zorlaşmaktadır. Çoğu araştırmacıya göre optimum "bilya/tane boyutu" oranının 5-20 aralığında olduğu belirtilmektedir (Mankosa vd., 1986; Orumwense vd., 1992; Zheng vd, 1996; Dikmen ve Ergün, 2004).

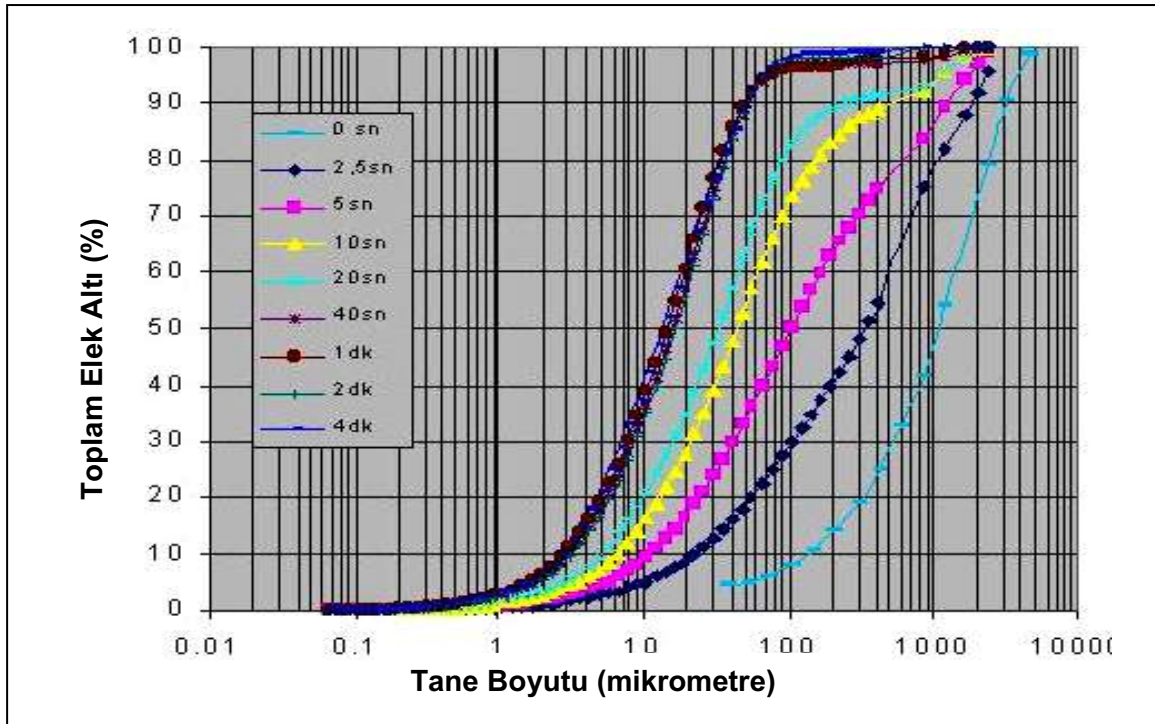
Her bir bilya boyutu (6.5, 5.5, 4.5 ve 3.5 mm) ile farklı zaman aralıklarında (2.5, 5, 10, 20, 40, 60, 120 ve 240 saniye), 1400 dev./dak. karıştırma hızında yapılan öğütmeler sonucunda elde edilen ürünlerin boyut dağılımları Şekil 3-4-5 ve 6'da gösterilmektedir. Şekil 7'de ise öğütme süresine bağlı olarak değişik boyutlu bilyaların kullanılmasıyla elde edilen ürünlerin d_{50} boyutlarının değişimi gösterilmektedir. Şekil 7'den de görülebileceği gibi; 6.5, 5.5, 4.5 ve 3.5 mm çaplı bilyalar ile 60 saniye öğütme sonucunda elde edilen ürünlerin d_{50} boyutları sırasıyla 19, 18, 16 ve 11 μm olmaktadır. 20 saniyelik öğütme sonucunda ise ürünlerin d_{50} boyutları sırasıyla 43, 36, 33 ve 21 μm olmuştur. Buna göre sabit bir öğütme süresinde bilya boyutunun incelenmesiyle elde edilen ürünün tane boyutu da incelenmektedir. Ancak, 60 saniyenin üzerindeki öğütme sürelerinde öğütme verimi dramatik şekilde azalmakta ve özellikle 120 saniyeden sonra taneler neredeyse hiç

öğütülmemektedir. 120 ve 240 saniyelik öğütmeler için elde edilen ürünlerin d_{50} boyutları hemen hemen aynı kalıp, 6.5, 5.5, 4.5 ve 3.5 mm çaplı bilyalar için sırasıyla 18, 17, 15 ve 11 μm bulunmuştur. Bunun nedeni gözleme dayalı olarak açıklanacak olursa, öğütme süresinin artmasıyla (yada tanelerin boyutunun incelenmesiyle) tanelerin birbirine bağlanarak topraklar oluşturması ve öğütme yapan ortamla teması engellemesidir (yastıklama etkisi). Shönert'in (1985) sözünü ettiği diğer bir nedeni de 2.5 μm 'den ince tanelerin elastik davranıştan (molekül bağlarının kopması), plastik davranışa geçmesi (moleküler yapıda yer değiştirme) olarak düşünülebilir. Sonuç olarak, Hardgrove öğütülebilirlik indeks değeri 70 olan bitümlü kömürün karıştırmalı değirmende 3.5 mm çaplı bilyalar ile öğütülmesi durumunda ulaşılabilecek en ince d_{50} boyutu 11 μm , d_{90} boyutu ise 40 μm 'dir. Daha ince boyutlarda öğütme yapabilmek ve öğütme verimliliğini arttırmak için NSF (Naftalin sülfonat formaldehit kondensat) ve PSS (Sodyum poli styrene sülfonat) gibi bazı dağıtıcı kimyasalların öğütme esnasında kullanılması gerekmektedir (Ateşok, vd., 2005).

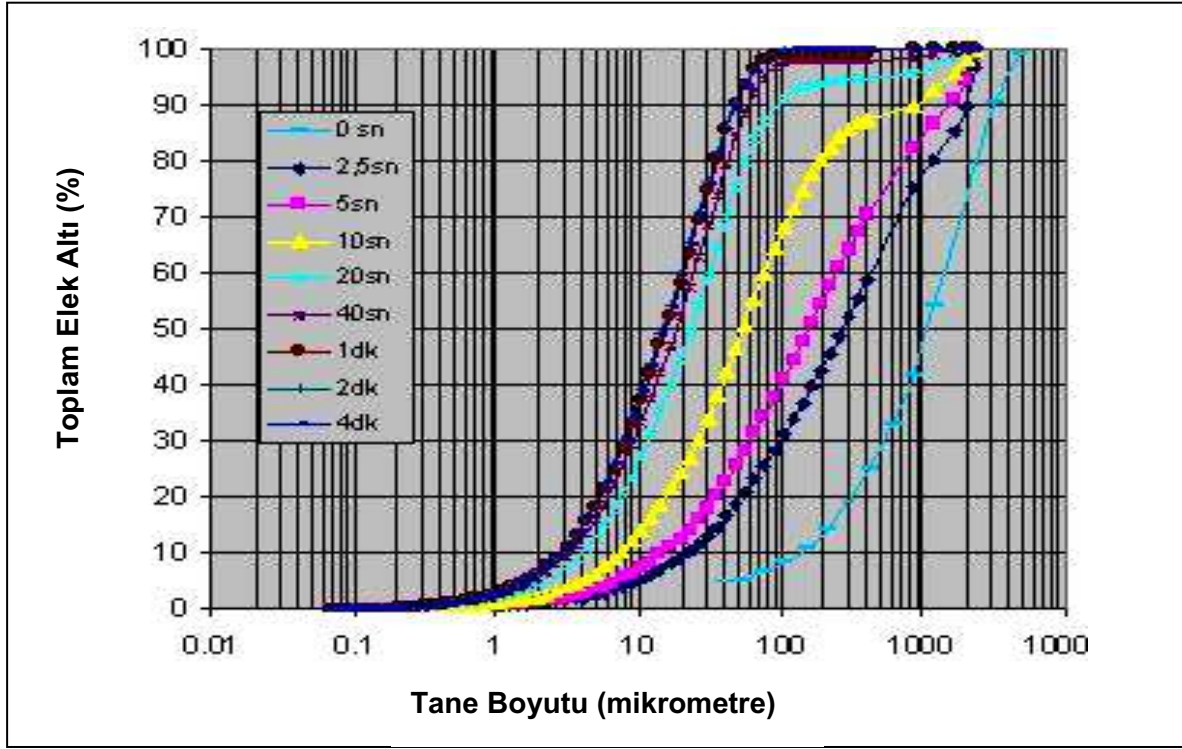
Dikey pinli karıştırmalı değirmenlerde harcanan enerjinin büyük bir bölümü bilya yükünü hareket ettirmek için kullanılır. Buna göre bilya yükü (yada ağırlığı) arttıkça tüketilen enerji miktarı da artacaktır. Ayrıca, iri bilyaların değirmen içerisindeki hareketi ince bilyalara göre daha zor olmaktadır. Başka bir deyişle karıştırıcının hareketi, hareket ettirilen bilya boyutunun artırılmasıyla zorlaşmaktadır. Şekil 8'de bilya boyutuna bağlı olarak değişik öğütme sürelerinde harcanan enerji miktarları gösterilmiştir. Buna



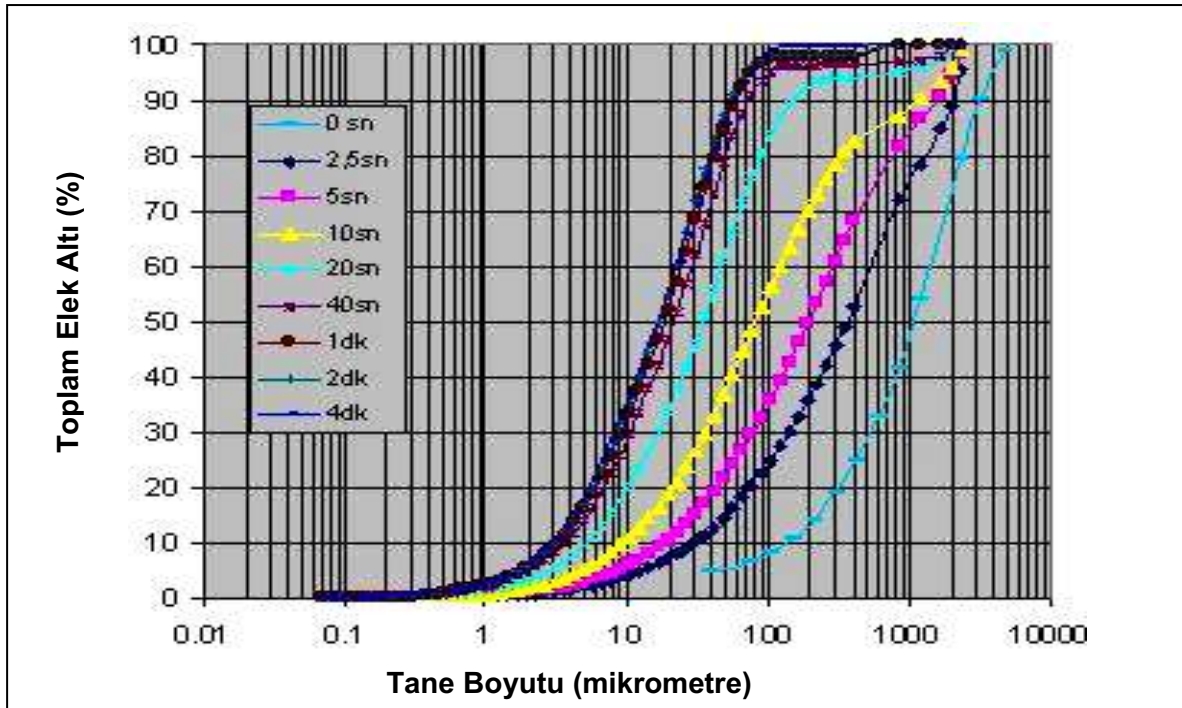
Şekil 3. Öğütücü ortam olarak 3.5 mm'lik bilyaların kullanılması durumunda elde edilen ürünlerin boyut dağılımları (Bilya şarj oranı:%60, Doluluk oranı:%100, Karıştırıcı hızı 1400 dev./dak.)



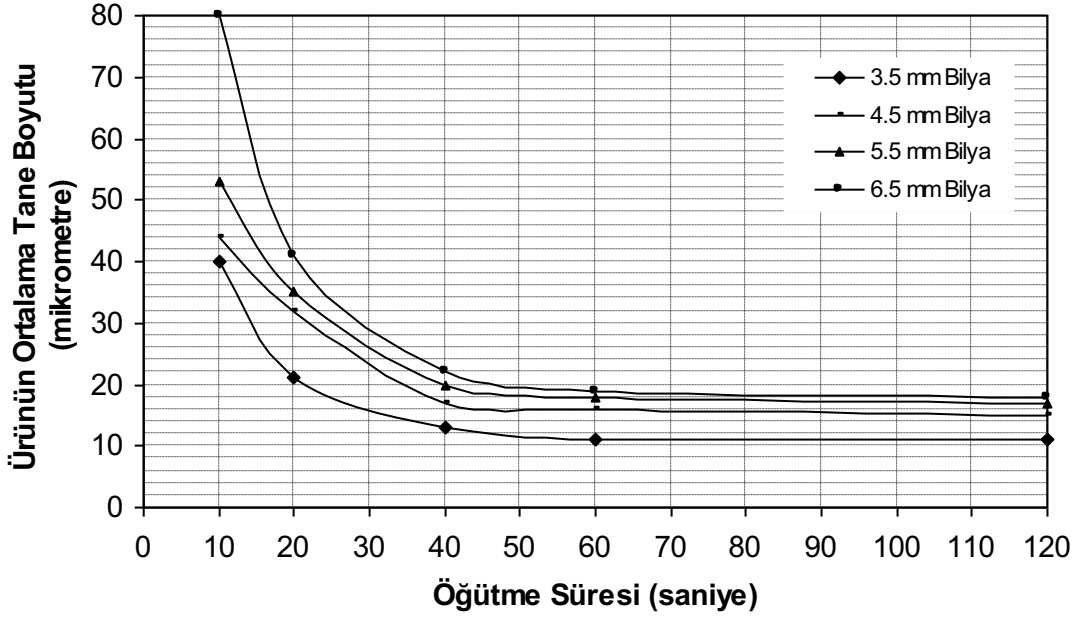
Şekil 4. Öğütücü ortam olarak 4.5 mm'lik bilyaların kullanılması durumunda elde edilen ürünlerin boyut dağılımları (Bilya şarj oranı:%60, Doluluk oranı:%100, Karıştırıcı hızı 1400 dev./dak.)



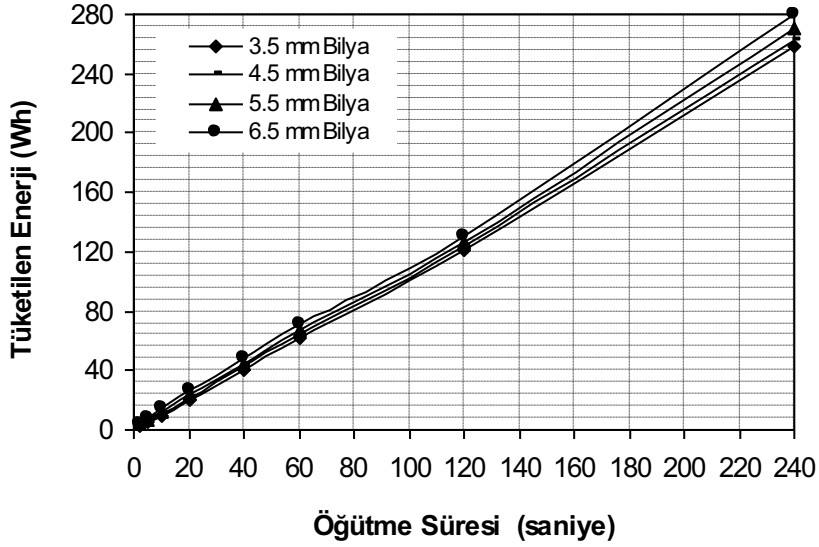
Şekil 5. Öğütücü ortam olarak 5.5 mm'lik bilyaların kullanılması durumunda elde edilen ürünlerin boyut dağılımları (Bilya şarj oranı:%60, Doluluk oranı:%100, Karıştırıcı hızı 1400 dev./dak.)



Şekil 6. Öğütücü ortam olarak 6.5 mm'lik bilyaların kullanılması durumunda elde edilen ürünlerin boyut dağılımları (Bilya şarj oranı:%60, Doluluk oranı:%100, Karıştırıcı hızı 1400 dev./dak.)



Şekil 7. Öğütme süresine bağlı olarak ürünlerin ortalama tane boyutlarının değişimi



Şekil 8. Karıştırmalı değirmende zamana bağlı olarak tüketilen enerji miktarları

göre; 6.5, 5.5, 4.5 ve 3.5 mm çaplı bilyalarla yapılan 60 saniyelik öğütme işlemi sonucunda, tüketilen enerji miktarları sırasıyla 71.2, 67.4, 65.0 ve 62.1 Wh olmaktadır. Yani bilya boyutunun incilmesiyle birim zamanda harcanan enerji miktarı da azalmaktadır. Bu azalmanın nedeni; yukarıda bahsedildiği gibi ince bilyaların değirmen içerisindeki hareketinin iri bilyalara göre daha kolay ve ince bilya yükünün iri bilya yüküne göre daha az olmasıdır.

4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, ortalama tane boyutu (d_{50}) 1mm olan Armutçuk bitümlü kömürünün dikey pinli bir karıştırmalı değirmende farklı boyuttaki bilyalarla kuru olarak öğütülmesi araştırılmıştır. Farklı öğütme sürelerinde yapılan deneyler sonucunda aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır:

1. Ortalama boyutları 6.5, 5.5, 4.5 ve 3.5 mm olan çelik bilyalarla yapılan 60 saniyelik öğütme işlemi sonucunda elde edilen ürünlerin ortalama tane boyutları sırasıyla 19, 18, 16 ve 11 μm bulunmuştur. Yani, kullanılan bilya boyutunun inceliğiyle elde edilen ürünün tane boyutu da incelmıştır.

2. En ince ürünü veren 3.5 mm çaplı bilyalar ile yapılan 2.5, 5, 10, 20, 40, 60, 120 ve 240 saniyelik öğütmeler sonucunda, sırasıyla ürünlerin d_{50} boyutları 300, 95, 36, 21, 13, 11, 11, ve 11 μm olmaktadır.

3. Öğütme süresinin 60 saniyeden daha fazla olması durumunda, değirmenin verimi her bilya boyutunda dramatik şekilde azalmıştır. Hatta, 3.5 mm çaplı bilyalar ile 60, 120 ve 240 saniyelik öğütmelerde benzer ürün inceliği ($d_{50} \sim 11 \mu\text{m}$) elde edilmiştir. Bu durumda yastıklama etkisini bertaraf etmek ve daha ince boyutlara öğütme yapabilmek için bazı dağıtıcı kimyasalların kullanılması faydalı olacaktır.

4. Karıştırmalı değirmende yapılan öğütme deneylerinden elde edilen en ince ürünün d_{50} boyutu 11 μm , d_{80} boyutu ise 31 μm 'dir. Bu incelik 3.5 mm'lik çelik bilyalarla 60 saniyelik öğütme süresi sonunda elde edilmiş olup, harcanan özgül enerji miktarı 144 kWh/t'a isabet etmektedir.

5. TEŞEKKÜR

Yazar, bu çalışmadaki yardım ve katkılarından dolayı Maden Yüksek Mühendisi Öykü Bilgin'e çok teşekkür eder.

KAYNAKLAR

Ateşok, G., Mütevelioğlu, N.A., Dinçer, H. ve Boylu, F., 2005; "Bazı Dağıtıcı Kimyasalların Kömürlerin Öğütülebilirliğine Etkisi", Madencilik, **44**, (2), 25-35.

Conway-Baker, J., Barley R.W., Williams R.A., Clarke A.J., Kostuch J.A. ve Parker D.J., 1999; "Investigation and Model Validation of Media Motion in a Vertical Stirred", 1st World Congress on Industrial Process Tomography, 244-248.

Dikmen, S. ve Ergün, Ş.L., 2004; "Karıştırmalı Bilyalı Değirmenler", Madencilik, **43**, (4), 3-15.

Gao, M.W. ve Forssberg, E., 1993; "A Study on The Effect of Parameters in Stirred Ball Milling",

International Journal of Mineral Processing, **37**, 45-59.

Önal, G., Doğan, Z. ve Yüce, H., 1992; "Kömür Tüketimi ve Termik Santraller" Türkiye 8. Kömür Kongresi, 501-508, TMMOB Maden Mühendisleri Odası, Zonguldak.

Jankovic, A., 2003; "Variables Affecting the Fine Grinding of Minerals Using Stirred Mills", Minerals Engineering, **16**, 337-345.

Kwade, A., 1999; "Wet Comminution in Stirred Media Mills-Research and Its Practical Application", Powder Technology, **105**, 14-20.

Kwade, A., Blecher, L. ve Schwedes, J., 1996; "Motion and Stress Intensity of Grinding Beads in a Stirred Media Mill, Part 2" Powder Technology, **86**, 69-76.

Mankosa, M. J., Adel, G.T. ve Yoon, R.H., 1986; "Effect of Media Size in Stirred Ball Mill Grinding of Coal", Powder Technology, **49**, 75-82.

Mankosa, M. J., Adel, G.T. ve Yoon, R.H., 1989; "Effect of Operating Parameters in Stirred Ball Mill Grinding of Coal", Powder Technology, **59**, 255-260.

Orumwense, O.A. 1992; "The Kinetics of Fine Grinding in an Annular Ball Mill", **73**, 101-108.

Özbayoğlu, G. ve Mamurekli, M., 1988; "Zonguldak Kömürlerinden Süper Temiz Kömür Üretimi" Türkiye 6. Kömür Kongresi, 159-169, TMMOB Maden Mühendisleri Odası, Zonguldak.

Schönert, K., 1986; "Advances in the Physical Fundamentals of Comminution, Advances in Mineral Processing" Proceeding of a Symposium Honoring Nathaniel Arbiter on His 75th Birthday, Ed. P.Somasundaran, Littleton, 28.

Wang, Y., Forssberg, E. ve Sachweh J., 2004; "Dry Fine Comminution in a Stirred Media Mill-MaxxMill", International Journal of Mineral Processing, **745**, 65-74.

Yavuz, R. ve Küçükbayrak, S., 1998; "Kömür-Su Karışımlarının Hazırlanması ve Yakılması", Kömür Kitabı, Editör: O. Kural, 435-451.

Zheng, J., Harris, C.C. ve Somasundaran, P., 1996; "A Study on Grinding and Energy Input in Stirred Media Mills", Powder Technology, **86**, 171-1