

LİNYİTLERİN ISIL İŞLEMLE ZENGİNLEŞTİRİLMESİNİN EKONOMİK ANALİZİ

ECONOMIC FEASIBILITY OF THERMALLY TREATED LIGNITES

Güven ÖNAL*
İslam MUSTAFAEV**
İsmail YILDIRIM*
Mehmet S. ÇELİK*

* İstanbul Teknik Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü,
Maslak, İstanbul-Türkiye

** Azerbaycan Bilimler Akademisi, Radyasyon Araştırmalar Bölümü,
(Sector of Radiation Research, Azerbaijan Academy of Sciences)
Baku - 370143, Azerbaycan

ÖZET: Linyitlerden dumansız katı yakıt eldesi hem çevre, hem de ekonomik açıdan büyük önem taşımaktadır. Bu bildiriye, İstanbul çevresi (Yeniköy) linyitlerinden yankok (semi-coke) ve gaz yakıt üretimi teknolojik ve ekonomik açıdan incelenmektedir. Deneysel çalışmalar sonucunda elde edilen verilerle akım şeması oluşturulmuş ve materyal dengesi kurularak ekonomik değerlendirmeler yapılmıştır. Optimal şartlarda, zenginleştirilmiş kömürden 1.914.000 ton/yıl yankok briketi, 363.000 ton/yıl katran ve 452.000 ton/yıl (3.931.300 m³/yıl) gazın elde edilebileceği görülmüştür. Bu üretim değerlerine bağlı olarak yapılan ekonomik analizler sonucunda, tesisin sabit yatırım tutanının 65.500.000 \$, ayrıca yıllık işletme giderlerinin 98.031.435 \$, yıllık satış hasılatının ise 152.332.265 \$ olduğu saptanmıştır. Üretilen ürünlerin uygun fiyatlarla satışında dahi önemli ölçüde karlılık (% 83) görülmektedir. Prosesin enerji verimi % 90' a ulaşmaktadır. Elde edilen yankok ve gaz çevreyi kirletmeyecek, kömürden kaynaklanan hava kirliliği önlenmiş olacaktır.

SUMMARY: Production of smokeless fuel is of importance from both environmental and economic point of view. In this paper, the technical and economic analysis of the low temperature carbonization process is discussed. A flowsheet for a 1000 t/h ROM coal and mass balance calculations have been performed based on the experimental results. Under the optimum conditions, 1.914.000 tpy semicoke, 363.000 tpy tar and 452.000 tpy gas are produced from the cleaned coal. The economic evaluation of the low carbonisation process involves \$65.500.000 fixed capital costs, 98.031.435 \$/year operational costs and 152.332.265 \$/year revenues. A significant level of profit (% 83) is expected with an energy efficiency of 90%. The semicoke product is considered as an important contribution to the abatement of coal-based air pollution.

1. GİRİŞ

Kömürden yüksek ısı değerli dumansız katı yakıt ve gaz eldesi amacıyla yankoklaşırma (semi-coke) prosesi uygulanmaktadır (Peruro, 1994; Lipovich, 1988). Özellikle, düşük kaliteli linyitlerin yankoklaşırılması hem çevre, hem de ekonomik açıdan büyük önem taşımaktadır. Yankoklaşırma prosesinde; katı yakıtın karbonca zenginleştirilmesi, duman oluşturan uçucu elemanların ayrılması, katı yakıtın ısı değerinin yükseltilmesi ve katı yakıtta küllük miktarının azaltılması mümkündür.

Dünyanın birçok ülkesinde yankoklaşırma prosesleri üzerinde son 30 yıldır yoğun olarak

çalışmalar yapılmaktadır. Bu çalışmalar çoğunlukla kömürün termik kurutulmasına yöneliktir. Klasik kurutma işlemlerinde sıcak hava veya gaz gönderilerek kömürün yüzey rutubeti veya gerekirse bünye rutubeti giderilir. Bu konuda ilk çalışmalar 1920'lere kadar dayanmaktadır. Fleissner (1927 ve 1928) tarafından alman patentler bugün bile uygulanmaktadır. Linyit tipi kömürlerde bünye rutubeti kılcal damarlar şeklinde dağıldığı için yüksek sıcaklıklar gereklidir. Bu da kömürün dağılmasına ve özellikle tozlanmasına yol açar. Ayrıca, kurutulmuş kömür oldukça reaktif olduğu için patlamalara karşı hassastır. Fleissner'den sonra Koppelman (1977), Cole ve Ness (1977), Veschuur (1976) ve diğerleri (Evans, 1979) 240 °C'nin üzerinde buhar veya sıcak

su tekniklerini kullanarak kömürün kurutulmasına yönelik çalışmaları sürdürmüşlerdir. Sıcak su/buhar kurutma yöntemlerinin kullanılması ile şu avantajlar sağlanmaktadır.

1. Düşük rutubetli kömür elde edilmekte,
2. Kömürün tekrar nem kapma özelliği azalmakta, ve en önemlisi
3. Elde edilen katının dağılmaya karşı mukavemeti artmakta, hava şartlarına ve kendiliğinden yanmalara karşı hassasiyeti oldukça azalmaktadır.

1992 yılında ABD'de Wyoming'de kurulan 8 atmosfer basınç ve 400 °C sıcaklık şartlarında çalışan tesis bu konuda en ileri teknolojiyi temsil etmektedir. Türkiye linyitleri üzerinde de çalışmalar yapılmıştır (Ekinci, 1982).

Bu araştırma çerçevesinde, İstanbul- Yeniköy bölgesi linyitlerinin yankoklaştırılması ile ilgili deneylere bağlı olarak oluşturulan proses akım şeması ve bu prosesin ekonomik analiz sonuçları tartışılmaktadır.

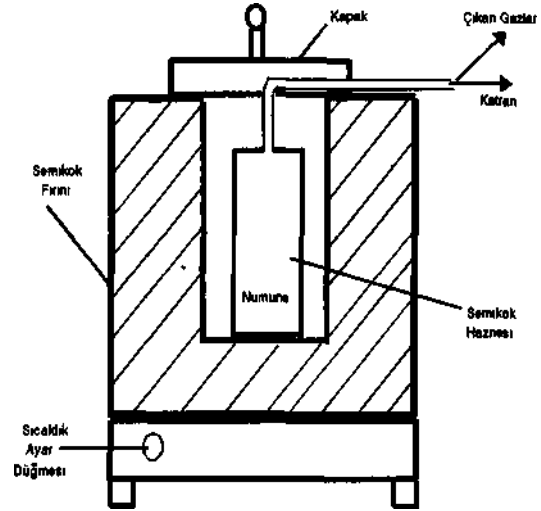
2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Deneyisel çalışmalarda kullanılan linyit numunesi İstanbul-Yeniköy'de bulunan bir kömür yıkama tesisinden alınan -25 mm boyutlu "elek altı" tabir edilen kömürdür. Kuru esasa göre %32.93 kül, %2.15 toplam kükürt, %35 uçucu madde içeren ve üst ısı değeri 3920 kcal/kg olan bu kömür numunesi, laboratuvar tipi jig ve sarsıntılı masa kullanılarak zenginleştirilmiş ve Çizelge 1'de özellikleri verilen yakanmış kömür elde edilmiştir. Yankoklaştırma deneylerinde bu yakanmış kömür numunesi kullanılmıştır. Numunenin tamamı -3 mm'ye indirilerek 105 °C'de kurutulmuş ve bünye nemi uzaklaştırılarak Şekil 1'de görülen standart laboratuvar düzeneğinde yankoklaştırma deneylerine tabi tutulmuştur.

Çizelge 1 .Yankoklaştırma Deneylerinde Kullanılan Yakanmış Kömürün Kimyasal Analiz Sonuçları (Kuru Esas).

Eleman	
Nem, %	35.0
Kül, %	11.4
Uçucu Madde, %	42.0
Toplam Kükürt, %	2.55
Ost Isıl Değer, Kcal/kg	5545
Alt Isıl Değer, Kcal/kg	5387

Yankoklaştırma deneylerinde değişik parametrelerin etkisi incelenmiş ve optimum sıcaklık 550 °C, yankoklaştırma süresi 15 dak. olarak bulunmuştur. Optimum sonuçlarda elde edilen yankokun standart analizleri yapılmış ve sonuçları Çizelge 2'de sunulmuştur.



Şekil 1. Deneylerin gerçekleştirildiği laboratuvar düzeneği.

Çizelge 2. Yankoklaşırma Deneylerinde Optimum Koşullarda Elde Edilen Yankokun Kimyasal Analiz Sonuçları (Kuru Esas).

Eleman	
Nem, %	0.0
Kül, %	19.1
Uçucu Madde, %	15.0
Toplam Kükürt, %	1.59
Yanabilir Kükürt, %	0.51
Üst Isıl Değer, Kcal/kg	6030

Çizelge 2'den görüldüğü gibi; yankoklaşırma giren ürünün ısı değeri 5545 kcal/kg iken, yankoklaşırma sonucu elde edilen ürünün ısı değeri 6030 kcal/kg'a yükselmekte, uçucu madde içeriği %15'e düşmektedir. Çevre açısından kükürdün yankoklaşırma ürünleri içindeki dağılımı oldukça önemlidir. Yankokun toplam kükürt içeriği %2.55'ten %1.59'a kadar azalmaktadır. Bir başka deyişle mutlak değerce %37.5' lik bir azalma sözkonusudur.

Ayrıca 450, 550 ve 650 °C sıcaklıklarda yapılan yankoklaşırma deneylerinden ayrılan gazın miktar ve içeriği gazometrik ve gazokromatografik yöntemlerle belirlenmiştir. Buna ait sonuçlar Çizelge 3'te sunulmaktadır.

Çizelge 3. Kömür Numunesinin Yankoklaşması Sonucunda Oluşan Gazların Sıcaklığa Göre Kimyasal Analizi.

Sıcaklık, °C	Yıkanmış Kömür		
	450	550	650
Gaz Miktarı, ml/g	43.2	150.2	204.5
Gazların İçeriği (Hacimce, %)			
H ₂	3.6	10.4	20.0
CO	33.4	24.04	16.2
CK,	37.7	43.56	43.3
C ₂ H ₄	1.0	0.56	0.35
C ₂ H ₆	2.3	1.69	1.3
CO ₂	17.8	18.1	16.3
H ₂ S	4.43	2.1	2.1

Yankoklaşırma prosesinde, yankok ve gazlarla birlikte, sıvı maddeler (katran) ve pirojenik su da ayrılmaktadır. Çizelge 4'te optimum şartlarda elde edilen katı, sıvı ve gaz ürünlerin ağırlıkça oranları görülmektedir. Hidrojen sülfür oranı yankok gazlarında % 4.4'e kadar ulaşmaktadır. Bu sonuçlar Rusya ve Almanya linyitleri üzerinde daha önce yapılmış deneylerin sonuçları ile uyum içindedir (Peruro,1994;Lipovich, 1988).

Çizelge 4. Yankoklaşırma Prosesinin Madde Denkliği (Ağırlıkça, %) T= 550 °C, t=15 dak.

Ürünler	Miktar, %
Yankok	62.7
Gaz	15.5
Katran	12.4
Su	9.4

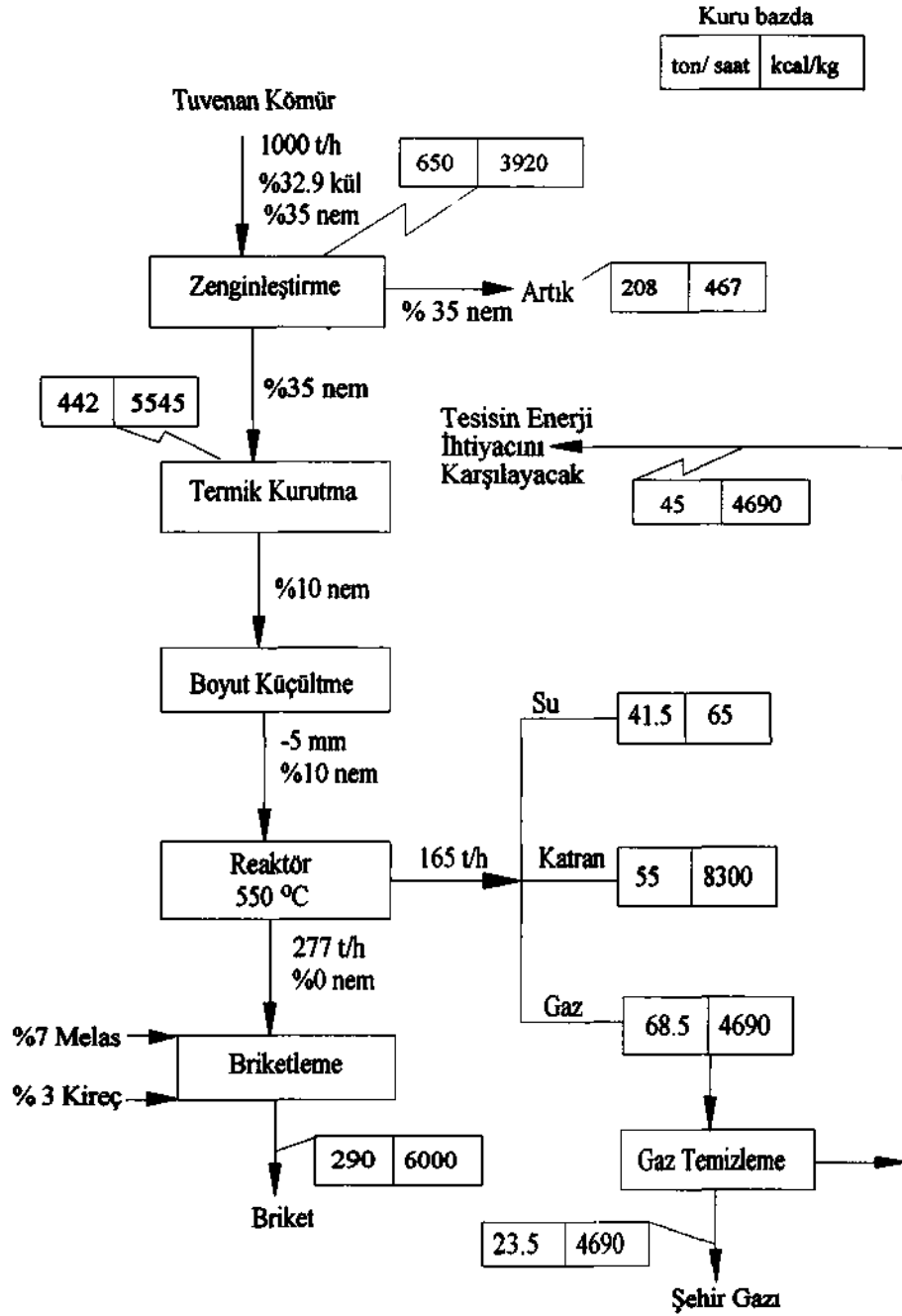
3. ÖN EKONOMİK DEĞERLENDİRME

3.1. Yatırım Tutarı

Tuvenan kömür numunesi üzerinde yapılan fiziksel zenginleştirme ve yankoklaşırma deneyleri esas alınarak Şekil 2'de görülen proses akım şeması oluşturulmuştur. Saatte 1000 ton tuvenan kömürün zenginleştirileceği bu tesisin sabit yatırım giderleri Çizelge 5'te sunulmaktadır.

Çizelge 5. Tesis Sabit Yatırım Çizelgesi.

Yatırım Türü	Tutarı (\$)
Yıkama Tesisi (Lavvar)	15.000.000
Termik Kurutucu	10.000.000
Şoklu Kinci	500.000
Reaktör (Yankoklaşırıcı)	20.000.000
Briketleme (Merdaneli)	10.000.000
Gaz Temizleme Birimi	10.000.000
TOPLAM	65.500.000



Şekil 2. Proses Akım Şeması ve Materyal Balansı

3.2. Amortisman Giderleri

Amortisman değerinin hesaplanmasında aşağıdaki kriterler gözönünde tutulmuştur.

- * Tesis ömrü : 10 yıl
- * Günlük çalışma süresi : 20 saat
- * Yıllık çalışma süresi : 330 gün

Buna göre yılda bu tesise beslenecek -25 mm boyutlu kömür ile bu tesisten elde edilecek ürünlerin miktarları da bulunmuştur.

* Tuvenan kömür besleme: 6.600.000 ton/yıl (%35 nemli)

* Yankok briketi üretimi : 1.914.000 ton/yıl (Kuru)

* Gaz üretimi : 452.000 ton/yıl
(3.931.300 m³/yıl; bu gazın %65.7'si tesis içi enerji gereksiniminde kullanılacak, %34.3'ü ise şehir gazı olarak satılacaktır.)

* Katran üretimi : 363.000 ton/yıl

Bu verilere dayanılarak yapılan amortisman hesaplamasında, tüm amortismanın yankok briketine yüklenmesi durumunda;

$$\text{Amortisman Gideri} = \frac{\text{Sabit Yatırım Tutan (\$)}}{\text{Üretim X 10}}$$
$$= \frac{65.500.000}{1.914.000 \times 10} = 3.42 \text{ \$/ton}$$

olarak 1 ton yankok için amortisman gideri bulunmuştur.

3.3. İşletme Giderleri

Yankoklaşırma tesisi için öngörülen işletme giderlerinin birimlere göre değişimi Çizelge 6'da görülmektedir. İşletme maliyetleri hesabında işçilik, hammadde, bakım-onarım, yardımcı madde ve işletme malzemesi giderleri gözönüne alınmış; enerji gideri hesaba katılmamıştır. Çünkü tesisin enerji gereksinimi prosesten elde edilen gazla karşılanacaktır.

Çizelge 6. İşletme Giderleri.

Giderin Türü	Tutarı β/ton)
-25 mm Toz Kömür	8.0
Yıkama	0.8
Kurutma	1
Boyut Küçültme	0.5
Yankoklaşırma	2
Briketleme	8
T O P L A M	20.3

Bu veriler ışığında Şekil 2'deki akım şemasında görülen işlemler sırası takip edilerek, 1 ton yankokun maliyeti hesaplanırsa;

- * -25 mm kömürün maliyeti : 8.0 \\$/ton
- * Yıkanmış kömürün maliyeti : 12.56 \\$/ton
- * Kurutulmuş kömürün maliyeti : 18.46 \\$/ton
- * Boyutu küçültülmüş kömürün maliyeti : 18.96 \\$/ton
- * Yankoklaşırılmış kömürün maliyeti : 35.56 \\$/ton
- * Briketlenmiş yankokun maliyeti : 43.56 \\$/ton
- * Amortismanlar dahil yankokun maliyeti : 46.98 \\$/ton olarak bulunur.

3.4. Kredi Faiz Giderleri

Yatırımın tamamının dış kaynaklı kredilerle yapıldığı kabul edilerek kredi faizleri hesabı yapılmıştır. Buna göre;

$$\text{Yatırım tutan} = 65.500.000 \text{ \$}$$
$$\text{Yıllık işletme giderleri} = 38.854.200 \text{ \$}$$
$$\text{Faiz oranı} = \%10 \text{ (\$ bazında)}$$

65.500.000 \\$'lık kredinin 1.5 yılda geri ödeneceği; ayrıca yıllık işletme giderleri için 3 aylık periyotta faiz ödemesi yapılacağı kabul edildiği takdirde 7.521.355 \\$ faiz ödemesi olacaktır.

Bu durumda, faiz giderleri de dahil 1 ton yankok briketinin maliyeti 50 91 \$ olacaktır.

3.5. Gelir-Gider Durumu ve Karlılık Hesabı

* Faydalar (Gelirler)

1 ton briketlenmiş yankok satış fiyatı: 70 \$
1 ton katran satış fiyatı : 50 \$
1 m³ şehir gazı satış fiyatı : 15 cent

olarak alındığında yıllık satış hasılatı 152.332.265 \$ olarak bulunmuştur.

* Giderler

1 ton briketlenmiş yankok maliyeti : 50.91 \$
1 m³ gaz için temizleme maliyeti : 0.15 cent

olarak alındığında yıllık işletme giderlerinin 98 031 435 \$ olduğu saptanmıştır.

* Karlılık durumu

Yıllık Net Fayda= Yıllık Gelir- Yıllık Gider
= 152.332.265-98.031.435
= 54.300.830\$

Fayda/Gider Oranı= Yıllık Gelir/Yıllık Gider
= 152.332.265/98.031.435
= 1.55

Fayda/Yatırım Oranı= Yıllık Gelir/Yatırım Bedeli
= 152.332.265/65.500.000
= 2.33

Net Fayda/Yatırım Oranı=(Yıllık Gelir - Yıllık Gider)/Yatırım Miktarı
= 54.300.830/65.500.000
= 0.83 (% 83)

4 SONUÇLAR

1. Araştırma sonucunda %35 nem, kuru esasa göre %32.93 kül, %2.15 toplam küllük, %35 uçucu madde içeren ve üst ısı değeri 3920 kcal/kg olan kömürden; % 0 nem, %22 kül, %1.59 toplam küllük ve %0 50 yanabilir küllük, %15 uçucu madde içeren ve üst ısı değeri 6000 kcal/kg olan 1.914.000 ton/yl

yankok briketi; 363.000 ton/yl katran ve 3.931.300 m³/yl gaz elde edilebileceği; tüm amortisman ve kredi filizlerinin sadece üretilen yankoka ilave edilmesi durumunda dahi üretim maliyetlerinin 50.91 \$/ton olduğu saptanmıştır.

2. Elde edilen yankok briketi gerek nem, gerekse uçucu madde ve küllük açısından çevreyi kirletmeyecek nitelikler kazanmaktadır. Üretilen gazın 2/3'ü sistemde enerji için kullanılmakta, 1/3'ü ise temiz gaz olarak satışa arz edilmektedir. Arzu edildiği takdirde artık gazdan elektrik enerjisi üretimi de söz konusu olabilecektir.

3. İstanbul -Yeniköy bölgesindeki linyitler genellikle ülkemizdeki diğer linyitlere benzerlik gösterdiğinden; bu araştırma sonucu elde edilen veriler diğer kömürler için de geçerli olacaktır. Özellikle ısınmada ve sanayide kullanılan enerji açısından dış kaynaklara yönelme eğiliminde olan ülkemiz için, kendi linyit kömürlerimizi bu araştırmada belirtilen şekilde değerlendirmek ülke ekonomisi açısından büyük önem taşımaktadır.

KAYNAKLAR

Ekinci, E., 1982. *Metallurjik Kömür ve Dumanlı Yakıt Üretim Yöntemleri ve Türk Kömürlerine Uygulamaları*, Uluslararası Kömür Teknolojisi Semineri Bildirileri, s. 123-137.

Lipovich V.G. et al., 1988. *Kimya I*, Perarobotka Ugliya, M.

Peruro N.S., Kapkin V.D., Peşin Y.D., 1986. *Kimya i Teknolojiya Sinteticheskogo Jidkogotopliva i Gaza*, M. Kimiya, s.58

Zielinski H., Kaczmarzyk G., Sciazko M., Secula M., 1992. *2nd Int. Cokemaking Congress*, London, 28-30 Sept., Inst. Mater., London 1992, p. 551-554
Cole E.L., Ness H.V., 1977. *Treatment of Solid Fuels*, U.S. Patent 4, 018 571, April 1977 and U.S. Patent 4,052,169, October 4, 1977 (Texsaco).

Verschuur, E., et al., 1976 Thermal Dewatering of Brown Coal, U.S. Patent 3,992,784, November 23 (Shell).

Peters M.S., Timmerhaus K.D., *Plant Design and Economics for Chemical Engineers*, Third Edition, Mc Graw Hill Int. Editions, p. 147-152.

Bradley H.B., *Petroleum Engineering Handbook*, SPE, Second Printing Richardson JX, s.20-p.14.

Evans, D.G., Sieman S.R., 1979, *Separation of Water from Solid Organic Materials*, U.S. Patent 3,552,031, January 5, 1979