

**ZONGULDAK TOZ KÖMÜRLERİNİN YAĞ
AGLOMERASYONUyla ZENGİNLEŞTİRİLMESİ İÇİN
BİR AMPİRİK MODEL**

***AN EMPIRICAL MODEL FOR OIL AGGLOMERATION
BENEFICIATION OF ZONGULDAK COAL FINES***

***Yaşar UÇBAŞ* Bahri ÖTEYAKA**
Çetin HOSTEN******

ÖZET

Bu çalışmada, Zonguldak toz kömürlerinin yağ aglomerasyonu ile zenginleştirilmesi sonuçlarından yararlanarak konsantrenin yanabilir madde verimini (Y₁) ve külünü (Y₂) proses değişkenlerinin fonksiyonu olarak önceden tahmin edebilen ve lineer olmayan ampirik modeller geliştirilmiştir. Bu modeller:

$$Y_1=0.813+1.316X_1-2.692X_1^2-0.106X_2-0.144X_3-0.224X_1X_2-7.428X_1X_3+2.363X_2X_3$$

$$Y_2=0.139+0.421X_1-1.941X_1^2-0.01X_2-0.4X_3$$

ABSTRACT

In this study, by using the results from an experimental evaluation of oil agglomeration applied to Zonguldak coal fines, non linear empirical models which predict recovery of combustibles (Y₁) and ash of agglomerates (Y₂) at first as a function of process variables were developed. These models:

$$Y_1=0.813+1.316X_1-2.692X_1^2-0.106X_2-0.144X_3-0.224X_1X_2-7.428X_1X_3+2.363X_2X_3$$

$$Y_2=0.139+0.421X_1-1.941X_1^2-0.01X_2-0.4X_3$$

**Yrd.Doc.Dr.. Osmangazi Üni.. Seramik Müh.Böl Bademlik-ESKİŞEHİR
Yrd.Doç Dr, Osmangazi Uni.. Maden Müh. Böl., Bademlik-ESKİŞEHİR
Prof. Dr.. Orta Doğu Teknik Üni., Maden Müh.Böl., ANKARA**

1. GİRİŞ

Yağ aglomerasyonu, bilindiği gibi flotasyon yönteminin ilke ve kurallarından yararlanan, ince cevherlerin zenginleştirilmesinde kullanılan bir yöntemdir. Bu yöntemde, flotasyondaki gibi yüzdürme olayı bulunmayıp, uygun karıştırma koşullarında katı-sıvı ortamına apolar yağların katılmasıyla ince hidrofob taneler arasında hidrokarbon köprüleri kurularak önce boyut büyütme (aglomerat oluşturma) olayı gerçekleştirilir. Daha sonra aglomeratlar, boyut farkına göre hidrofil tanelerin bulunduğu sıvı ortamdan ayrılarak (örneğin eleme veya elütrasyon ile) zenginleştirme işlemi tamamlanır.

Flotasyon yöntemine alternatif olarak sunulan ve zenginleştirilmesi sorunlu olan ince cevherlerin zenginleştirilmesinde laboratuvar veya pilot ölçekte kullanılan yağ aglomerasyonunun, ince kömür tozlarının (yüksek kül içerikli) zenginleştirilmesinde de kullanılabileceği yapılan araştırmalarda görülmektedir (1-5). Her zenginleştirme yönteminde olduğu gibi yağ aglomerasyonu ile toz kömürlerin zenginleştirilmesinde de verim ve konsantrenin kül içeriği üzerine etki edebilecek bir çok çalışma değişkenleri vardır. Bunlar; kanşorma hızı, kullanılan yağın miktarı, pülpün katı oram ve kullanılan örneğin boyutu gibi değişkenlerdir (3-7). Yukarıda belirtilen değişkenlerin verim ve konsantrenin kül içeriğine etkisini önceden kestirmek güçtür. Ancak yapılacak bir çok deneysel çalışmalar sonucunda değişkenlerin etkisi incelenebilir.

Deneysel verilerden hareket ederek değişkenler ile elde edilen ürünler arasındaki ilişkiyi inceleyebilmek için izlenecek yollardan birisi regresyon-korelasyon tekniği ile istatistiksel ampirik modelin geliştirilmesidir. Bu model yardımı ile, elde edilen ürün üzerine değişkenlerin etkisi saptanabilir ve değişkenlerin fonksiyonu olarak verim ve konsantrenin kül içeriği önceden tahmin edilebilir (8-10).

Bu çalışmanın amacı; Uçbaş (1988), Hosten ve Uçbaş (1989) tarafından gerçekleştirilen Zonguldak toz kömürleri (-0.5 mm ve kül içeriği % 42.0) üzerinde yağ aglomerasyonu (0.150 um ve 74 um'ye öğütüldükten soma) çalışmalarını sonuçlarından yararlanarak değişkenlerin fonksiyonu olarak konsantrenin (aglomeratların) yanabilir madde verimini ve külünü önceden tahmin edebilecek matematiksel ampirik modelleri geliştirmektir.

2. AMPİRİK MODEL

Bu modeller, bir prosesin deneysel sonuçlarından yararlanarak prosesin değişkenleri ile çıkan ürünler arasındaki ilişkiyi inceler ve bunu matematiksel bir bağıntı ile açıklar. Bu bağıntı tek veya çok değişkenli, lineer ya da lineer olmayabilir. Bir modelin yapışım bulmak (lineer veya lineer olmayan) güçtür. Bunu kolaylaştırmanın bir yolu da bir değişkene bağlı olarak elde edilen ürünlerin özelliklerini (verim ve tenor gibi) bire-bir gösteren grafiklerden (logaritmik, aritmetik v.s.) yararlanmaktır. Bu, çok değişkenli ampirik modellerin geliştirilmesinde bir basamak oluşturur (9,11).

Geliştirilecek bu modelde kullanılacak veriler Uçbaş (1988) tarafından yapılan aglomerasyon deneylerinin sonuçlarıdır. Bu deneylerde konsantrenin yanabilir madde verimi ve külü üzerine gazyağı miktarının, pülp kati oranını ve tane boyutunun etkisi incelenmiştir. Bu durumda geliştirilecek modelin elemanları olan bağımlı ve bağımsız değişkenler şunlardır:

- bağımsız değişkenler:

X_1 : gazyağı miktarı (kömürün ağırlıkça yüzdesi)

X_2 : kati oranı (ağırlıkça yüzde)

X_3 : tane boyutu (um)

- bağımlı değişkenler:

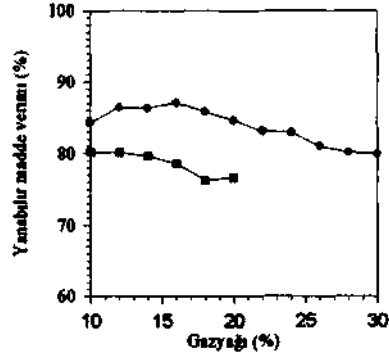
Y_1 : yanabilir madde verimi (%)

Y_2 : konsantre (aglomerat) külü (%)

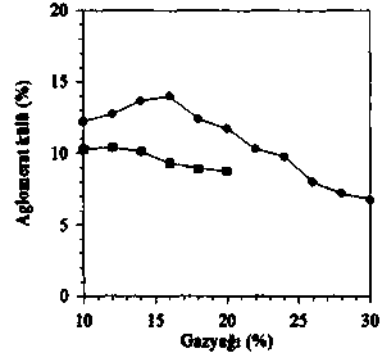
Yukarıda belirtildiği gibi modelin yapışım oluşturabilmek için önce birer birer bağımsız değişkenler ile bağımlı değişkenler arasındaki bire-bir ilişki incelenecektir. Daha sonra, elde edilen bu bire-bir grafiksel sonuçlardan modelin bütünü oluşturulacaktır.

2.1. Gazyağı miktarının etkisi

Gazyağı miktarının konsantrenin yanabilir madde verimi ve külü üzerine etkisi deney koşulları ile birlikte Şekil 1 'de verilmiştir.



(a)



(b)

Şekil 1. Gazyağı miktarının konsantrenin yanabilir madde verimi (a) ve külü (b) üzerine etkisi (katı oranı:%10; tane boyutu:—■— 150 μm, —●— 74 μm).

Şekil 1'de görüldüğü gibi bağımlı değişkenler ile bağımsız değişken (gazyağı) arasındaki ilişkiyi gösteren eğriler ikinci dereceden bir polinomun eğnsidir. Bağımlı değişkenler ile bağımsız değişken arasındaki lineer olmayan bu ilişki aşağıdaki gibidir:

$$Y_1 = A_1 + B_1 X_1 + C_1 X_1^2 \quad [1]$$

$$Y_2 = A_2 + B_2 X_1 + C_2 X_1^2 \quad [2]$$

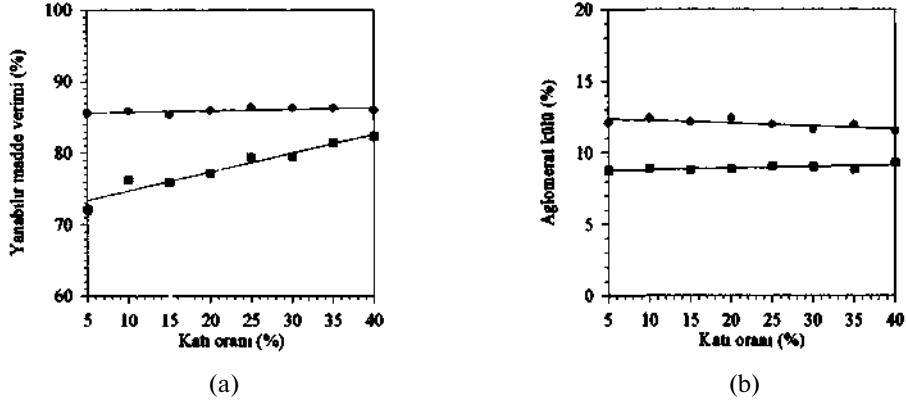
2.2. Katı oranının etkisi

Şekil 2'de katı oranının konsantrenin yanabilir madde verimi ve külü üzerine etkisi verilmiştir.

Bağımlı değişkenler ile bağımsız değişken (katı oram) arasındaki ilişkiyi gösteren eğriler Şekil 2'de görüldüğü gibi bir doğrudur. Sonuç olarak, bağımlı değişkenler ile bağımsız değişken arasındaki bu lineer bağıntı aşağıdaki gibidir:

$$Y_1 = A_3 + B_3 X_2 \quad [3]$$

$$Y_2 = A_4 + B_4 X_2 \quad [4]$$



Şekil 2. Katı oranının konsantrenin yanabilir madde verimi (a) ve külü (b) üzerine etkisi (tane boyutu: - • - 150 um, - • 74 um; gazyağı: 150 um için % 18, 74 um için %14).

2.3. Tane boyutunun etkisi

Tane boyutunun etkisini incelemek için -150 pim ve -74 um olmak üzere iki farklı boyut kullanılmıştır. Şekil 1 ve 2'de konsantrenin yanabilir madde verimi ve külü eğrileri ayn ayn incelendiğinde her bir şekildeki -150 um ve -74 um eğrileri arasında bir paralellik gözlenmektedir. Bu, tane boyutu ile yanabilir madde verimi ve tane boyutu ile konsantrenin külü arasındaki ilişkinin lineer olduğunun kanıtıdır.

2.4 Model

Yukarıdaki bilgilerin ışığı altında yanabilir madde verimini ve konsantrenin külünü (her biri için ayn ayn) bağımsız değişkenlerin fonksiyonu olarak önceden kestirebilen modelin yapısı aşağıdaki şekilde tasarlanmıştır:

yanabilir madde verimi için

$$Y_1 = A_y + B_y X_1 + C_y X_1^2 + D_y X_2 + E_y X_3 \quad [5]$$

konsantrenin külü için

$$Y_2 = A_k + B_w X_1 + C_k X_1^2 + D_k X_2 + E_k X_3 \quad [6]$$

Bu modellere girecek bağımsız değişkenleri ve katsayılarını belirlemek bilgisayar kullanılmaksızın oldukça güçtür. Bu nedenle Statistica bilgisayar paket programında

bulunan ve kullanıcının tasarladığı modelleri inceleyen alt program kullanılmıştır. Bu programda regresyon analizi Quasi-Newton tahmin metodu yardımıyla yapılmaktadır.

Tasarlanan her iki model (eşitlik 5 ve 6) bilgisayarda incelendiğinde ve F testi uygulandığında aşağıdaki şekle dönüşmektedir:

yanabilir madde verimi için

$$Y_1 = 0.948 - 0.073X_1 - 0.756X_1^2 - 0.112X_2 - 1.004X_3, \quad R^2 = 0.94 \quad [7]$$

konsantrenin külü için

$$Y_2 = 0.139 + 0.421X_1 - 1.941X_1^2 - 0.01X_2 - 0.4X_3, \quad R^2 = 0.97 \quad [8]$$

Genellikle bu tip ikinci dereceden çok değişkenli modellerde bağımsız değişkenler arasında da bir ilişki söz konusu ise bunların çarpımı ile elde edilen yeni terimlerin de ($X_1 X_2$, $X_1 X_3$ ve $X_2 X_3$) modele ilavesi gerekebilir. Bunların modele ilave edilip edilmeyeceğine F testi ile karar verilir (12). Aglomerasyonda bağımsız değişkenlerin kendi aralarında da bir ilişki bulunabileceği varsayımıyla eşitlik 5 ve 6 aşağıdaki şekilde düşünülebilir :

yanabilir madde verimi için;

$$Y_1 = A_y + B_y X_1 + C_y X_1^2 + D_y X_2 + E_y X_3 + F_y X_1 X_2 + G_y X_1 X_3 + H_y X_2 X_3 \quad [9]$$

konsantrenin külü için;

$$Y_2 = A_k + B_k X_1 + C_k X_1^2 + D_k X_2 + E_k X_3 + F_k X_1 X_2 + G_k X_1 X_3 + H_k X_2 X_3 \quad [10]$$

Tasarlanan yeni her iki model (eşitlik 9 ve 10) bilgisayarda incelendiğinde ve F testi uygulandığında (bkz. Kaynak 12, sayfa 534) aşağıdaki şekle dönüşmektedir :

yanabilir madde verimi için

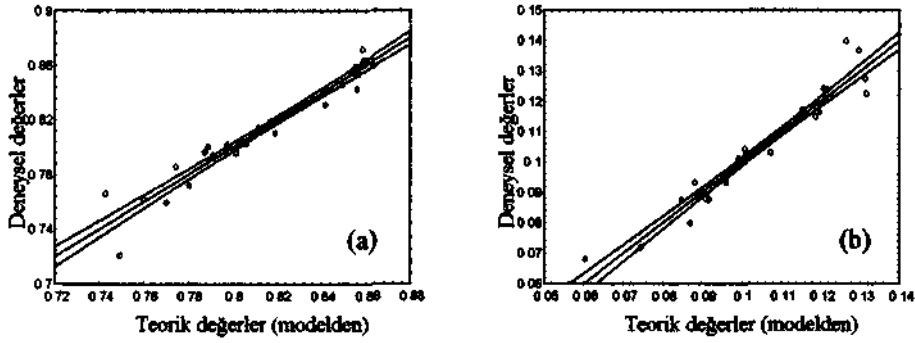
$$Y_1 = 0.813 + 1.316X_1 - 2.692X_1^2 - 0.106X_2 - 0.144X_3 - 0.224X_1X_2 - 7.428X_1X_3 + 2.363X_2X_3, \quad R^2 = 0.94 \quad [11]$$

konsantrenin külü için

$$Y_2 = 0.139 + 0.421X_1 - 1.941X_1^2 - 0.01X_2 - 0.4X_3, \quad R^2 = 0.97 \quad [12]$$

Eşitlik 9 için $F_{mode} \approx F_{twik}$ olduğundan bağımsız değişkenlerin çarpımları modele alınmış (eşitlik 11), fakat eşitlik 10 için $F_{mode} \approx F_{teonk}$ olduğundan modele alınmamıştır (eşitlik 12).

DeneySEL ve teorik sonuçlar (modelden) Şekil 3 (a) ve (b)'de verilmiştir. Bu şekillerde görüldüğü gibi teorik ve deneySEL sonuçlar arasında iyi bir uyum gözlenmektedir.



Şekil 3. DeneySEL ve teorik sonuçlar (a: Yanabilir madde verimi için, b: konsantrede kül için)

Geliştirilen bu modeller, deneySEL çalışmalarda kullanılan değişkenlerin alt ve üst sınırları içindeki değerler için geçerlidir.

3. SONUÇLAR

Giriş bölümünde özellikleri verilen Zonguldak toz kömürlerinin yağ aglomerasyonu yöntemi ile zenginleştirilmesinden elde edilecek konsantrenin yanabilir madde verimi:

$$Y_1 = 0.813 + 1.316X_1 - 2.692X_1^2 - 0.106X_2 - 0.144X_3 - 0.224X_1X_2 - 7.428X_1X_3 + 2.363X_2X_3$$

ve konsantrenin külü :

$$Y_2 = 0.139 + 0.421 X_1 - 1.941X_1^2 - 0.01X_2 - 0.4X_3$$

geliştirilen bu modeller yardımı ile hesaplanabilir.

Geliştirilen bu modeller yardımıyla, yapılan deneylerin koşulları içinde kalındığı sürece, değişkenler değiştirilerek deney yapılmaksızın yanabilir madde verimi ve konsantrenin külü hesaplanabilir.

Geliştirilen bu modeller, deneysel çalışmalarda kullanılan değişkenlerin alt ve üst sınırları içindeki değerler için geçerlidir.

Modelin yapışım oluşturmada konsantrenin özellikleri (yanabilir madde verimi ve kül) ile değişkenlerin bire-bir ilişkilerinin (lineer veya lineer olmayan) incelenmesinin faydalanan bu çalışmada görülmüştür.

Geliştirilen ampirik modelin katsayıları özellikleri farklı olan kömürler için değişebilir. Yapılacak deneysel çalışmaların sonuçlarına göre aynı yöntemle katsayılar hesaplanabilir.

KAYNAKLAR

- 1 Nicol, S K ve Brown, A, An Experimental Appraisal of the Beneficiation of Fine Coal by Selective Agglomeration, Proceeding of Australasian Institute of Mining and Metallurgy, 262, 1977. PP 49-55
- 2 Nicol, S K., Day, J C and Swansea, AR., Oil Assisted Dewatering of Fine Coal, Fine Particle Processing, P Somasundaran (Ed.), AIME, New York, 1980, pp. 1661-1675
- 3 Uçbas, Y, Oil Agglomeration Beneficiation of Zonguldak Coal Fines, M.S. Thesis, Eastern Technical University, 1988, 57 p
- 4 Hosten, Ç. ve Uçbaa, Y, Zonguldak Toz Kömürleri Üzerinde Yağ Aglomerasyonu Çalışmaları, Türkiye Madencilik Bilişim ve Teknik 11 Kongresi, TMMOB Maden Mühendisleri Odanı, 1989, s. 355-365
- 5 Çuhadaroğlu, D, Zonguldak Lawar Filtrasyon Gınsı - 0 5 Boyutlu Kömürün Yağ Aglomerasyonu, Flotasyon ve Agloflotasyon Yöntemleri De Zenginleştirilmesi, Doktora Tezi, Osmangazi Üniversitesi, 1994, 120 s.
- 6 Capes, C.E. and Germain, R.J., Rejection of Suspended Liquid from Fine Particles by Agglomeration Methods, Drying 80, v.2, 1980, pp. 460-466.
- 7 Capes, C.E., Oil Agglomeration Process Principles and Commercial Application for Fine Coal Cleaning, Coal Preparation, J W Leonard in and B. Hardinge (eds), Fifth edition, 1991
- 8 Sastry, Kal V S., Principles and Methodology of Mineral Process Modeling, Control 90, Mineral and Metallurgical Processing, R.K. Rajamani and J.A. Harbst (eds), 1990
- 9 Hodouin, D, Analyse et Modélisation des Procédés, Université Laval, Quebec-Canada, chapitre 1 et 6, 1988
- 10 Bihr, K., Oteyaka, B, Uçbas. Y ve Ozdag, H., Bilgisayar Yardımıyla Geçirilen İstatistiksel Modelle MCS'de Kromit Veriminin Tahmini, Madencilikte Bilgisayar Uygulamaları Sempozyumu, Köse ve Kızı (Eds), 28-29 Eylül 1995, İzmir, s 241-247
- 11 Majumder, AK, Govindarajan, B, Sharma, T, Ray, HS and Rao, TC, An Empirical Model for Chloride Release of Potassium in Glauconitic Sandstone, Int J Mineral Process, 43, 1995, pp 81-89
- 12 - Dévore, IL, Probability and Statistics for Engineering and the Sciences, Brooks/Cole Publishing Company, California, second edition, 1987, 672 p