

İNCE BOYUTLU TANELERDEKİ SUYUN BUCHNER VAKUM FİLTRESİ KULLANILARAK UZAKLAŞTIRILMASI

Dewatering of Fine Particles by a Buchner Vacuum Filtre

Ramazan ASMATÜLÜ[^]

ÖZET

Bu çalışmada, ince boyutlu tanelerin oluşturduğu su-katı karışımı palp vakum altında susuzlandırma deneylerine tabi tutulmuştur. Deneylerde, taş kömürü, antrasit ve mineral konsantreleri (kuvars, talk, çinko ve bakır) kullanılmış ve deney parametrelerinin (basınç, susuzlandırma süresi, tane boyutu, kek kalınlığı, kül içeriği, palp sıcaklığı ve mineral çeşidi) susuzlandırmaya etkileri araştırılmıştır. Yapılan çalışmalar sonucu, ince boyutlu tanelerin değişik vakum düzeylerinde susuzlandırılabilceği görülmüştür. En iyi sonuçlar nispeten yüksek vakum altında ve düşük yüzey alanına sahip taneler üzerinde alınmıştır. Bu sonuçlardan, ince boyutlu kömür ve mineral konsantrelerinin susuzlandırılmasında kullanılan termal kurutucuların ekonomik boyutu ile çevreye olan etkilerinin azaltılabileceği görülmüştür.

Anahtar Sözcükler: Vakum Filtrasyonu, Kek, İnce Boyutlu Tane, Kömür, Antrasit, Kuvars, Talk, Bakır, Çinko ve Susuzlandırma.

ABSTRACT

in this study, fine partide slurries were devvatered by using vacuum. Several bituminous coals, anthracite and mineral concentrates (quartz, talc, zinc and copper) were ^fesfed and effects of experimental parameters (pressure, drying cycle time, partide size, cake thickness, ash content, pulp temperature and mineral types) on devvatering of the fine particles were investigated. As a result of the experimental studies, the fine particles could be devvatered at different vacuum levels The best devvatering conditions vvere obtained on relatively lower surface area particles at higher vacuum levels. Consequently, the cost of thermal dryers and their effects on the environment can be reduced for the fine coal and mineral particles devvatering.

Keyvcords: Vacuum Filtration, Fine Partide Slurries, Coal, Antrasit, Quartz, Talc, Copper

[^]Dr., Postdoctoral Research Associate, Virginia Tech, Center for Advanced Separation Technologies, 146 Holden Hail, BlacksburgVA, 24061, USA

1. GİRİŞ

Son yıllarda ince boyutlu malzeme üretimi giderek artmaktadır. Bunda en büyük etkenlerin başında kazı mekanizasyonundaki yeni teknikler, ince boyutlarda serbestleşme ve ardından bazı teknikler kullanılarak (flotasyon, flokülasyon, aglomerasyon, gravite ayırıcılar, manyetik ayırıcılar, vb.) minerallerin birbirlerinden ayrılması, kaliteli malzeme üretimindeki gereksinimler, hidrometalurjik işlemler, hava ve toprak kirliliğine getirilen sınırlamalar şeklinde sıralanabilir. Örneğin, kömürde bulunan kükürt, yandığı zaman çevreye bol miktarda zehirli sülfür gazları (SO₂ ve SO₃) vermektedir. Dolayısıyla kömürdeki kükürdün büyük bir kısmını oluşturan demir sülfürleri (pirit ve markasit) kömürden uzaklaştırabilmek için ince boyutlarda öğütme, şirketler için bir zorunluluk haline gelmiştir (Couch, 1991; Lockhart ve Veal, 1996).

Malzemenin boyutu küçüldükçe safsızlıkları da o oranda azalmaktadır. Fakat ince boyutlarda tanelerin susuzlandırılması boyuta bağlı olarak daha da zorlaşmaktadır. Diğer bir deyişle, tanelerin boyutu küçüldükçe, yüzey alanı artmakta ve filtrasyon için bir sorun oluşturmaktadır. Bilindiği üzere, fazla yüzey alanına sahip malzemeler kekte ince gözenekler verdiği için, kekin susuzlandırmaya karşı direncini artırmakta ve daha fazla su bu gözeneklerde kalmaktadır. Buna ilave olarak, ince boyutlu malzemenin vermiş olduğu kekin kapiller basıncı iri boyutlara göre çok daha fazla olmaktadır. Bunun sonucu olarak da, filtrasyon işlemleri (vakum, basınç, santrifüj, elek, siklon) sonucu elde edilen kekin nem içeriği oldukça fazla olabilmektedir. Bunun aksine, iri boyutlu malzemelerde kekin nemi nispeten daha azdır ve kabul edilebilir nem içerikli kek (~%6) kolaylıkla üretilebilir (Couch, 1991; Tiller, 1996; Gruppo ve Parekh, 1996).

İnce boyutlu tanelerden termal kurutucular kullanılarak istenilen nem içerikli (~8%) kek üretilebilir, fakat bu boyutlardaki kurutma işlemleri (mekanik ve termal) iri boyutlara göre 3-5 kat daha pahalı olabilmektedir (Couch, 1991). Ayrıca, termal kurutucular kurutmanın yapıldığı bölgelerde gaz ve toz atıkları vererek çevreyi kirletmekte, düşük verimle çalışmakta, ömürleri

nispeten kısa olmakta, operasyonu oldukça güç olmakta ve pek çok bölgelerde tesis kurma izni pek alınamamaktadır. Bunun sonucu olarak, ABD'de 2-3 milyar ton ince boyutlu kömür atık barajlarında depolanmış ve bunun 800 milyon tonu hala aktif barajlarda bekletilmektedir. Her yılda 30-50 milyon ton yeni malzeme düzenli olarak bu barajlara gönderilmektedir. Dünyadaki tüm ince malzemelerin bulunduğu atık barajları da dikkate alındığında, sorunun oldukça büyük olduğu açıkça görülmektedir (Couch, 1991; Condie ve Veal, 1997; Kural, 1994; Leonard, 1991).

Uzun süredir beklemekte olan bu problemi çözebilmek, bu konuyla yakından ilgilenen madencilik, seramik ve metalürji firmalarına çok büyük ekonomik yararlar sağlayacaktır. Bunun yanında, atık barajları ve çevresi ince malzemelerin yarattığı bu tür kirlilikten de kurtarılmış olacaktır. Söz konusu problemlere bilimsel katkı sağlayabilmek için ince boyutlu malzemeler üzerinde pek çok deneyler yapılmıştır. Bu deneylerde, ince boyutlu taş kömürü, antrasit, kuvars, talk, bakır ve çinko konsantreleri vakum altında susuzlandırmaya tabi tutulmuş ve deney parametreleri değiştirilerek susuzlandırmaya etkileri geniş olarak incelenmiştir.

2. TEORİ

Bu kısımda, süspansiyon halinde bulunan tanelerin susuzlandırma kinetikleri incelenmiştir. Tanelerin susuzlandırılmasında dikkate alınan genel görüş kekin pek çok kapiler tüplerden oluştuğu ve suyun bu tüpler içerisinden geçerek keki terk ettiği şeklindedir. Poiseuille teorisine (1846) göre suyun kapiler tüp içerisinden akış hızı aşağıdaki şekilde ifade edilmiştir (Svarovsky, 1991; Osborne, 1988; Dahlstrom, 1986; Phillips ve Thomas, 1955):

$$Q = \frac{dV}{dt} = \frac{7r^4 AP}{8\pi L} \quad [1]$$

formüldeki dV/dt (veya Q) zamana göre hacimsel akışı, r kapiler tüpün yarı çapını, AP kek yüzeyine uygulanan basıncı, L kek kalınlığını ve μ ise suyun viskozitesini vermektedir.

Yukarıdaki teoriden 10 yıl sonra (1856), Darcy suyun kekten akışı ile ilgili başka bir teori ortaya atmıştır. Bu teoriye göre, su ince tanelerin oluşturduğu kek ve filtre bezinden laminar bir şekilde akarak keki terk etmektedir. Bu düşünce doğrultusunda suyun akış hızı aşağıdaki şekilde verilmiştir (Svarovsky, 1991; Osborne, 1988, Leonard ve Hardinge, 1991; Hoşten, 1982):

$$Q = \frac{dV}{dt} = \frac{K \Delta P A}{\mu L} \quad [2]$$

Eşitlikte A filtre yüzey alanını, K ise kekin geçirgenliğine bağlı bir katsayıyı göstermektedir. Bu eşitlikte gösterilen K değeri Kozeny tarafından geliştirilerek aşağıdaki forma dönüştürülmüştür (Carman, 1937; Kozeny, 1927):

$$K = \frac{\epsilon^3}{S^2 k (1 - \epsilon)^2} \quad [3]$$

Eşitlikte belirtilen ϵ işareti kekin porozitesini, S tanelerin spesifik yüzey alanını ve k ise Kozeny katsayısını vermektedir. Bu eşitlikte, geçirgen ve ideal bir kek için k değerinin 2 olabileceği önerilmiştir, fakat yapılan çalışmalarla bunun binlerin üzerinde olduğu tespit edilmiştir (Svarovsky, 1991; Condie vd., 1996; Wakeman, 1976; Gray, 1958). Eşitlik 3'e göre ince tanelerin oluşturduğu kekin porozitesi aşağıdaki gibi belirlenmektedir.

$$\epsilon = \frac{v_0}{V + v_0} \quad [4]$$

Eşitlikteki V ve v_0 işaretleri sırası ile tanelerin katı hacmi ile katı içerisindeki boşluğun hacmini göstermektedir.

3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

3.1. Malzeme

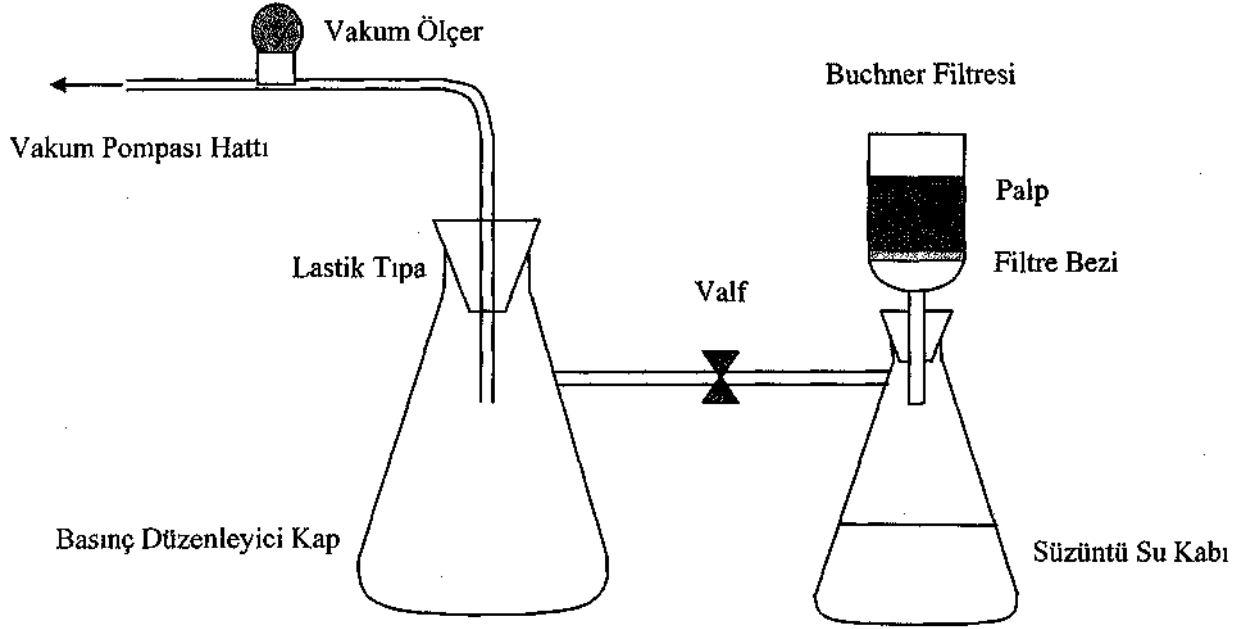
Filtrasyon deneylerinde West Virginia, Kentucky, Pittsburgh, British Columbia-Kanada ve Avustralya taş kömürü, Güney Kore antrasiti ve pek çok mineral konsantreleri (Quebec-

Kanada talk, Fisher kuvars kumu, İsveç bakır ve çinko konsantreleri) kullanılmıştır. Kömür ve antrasit numuneleri ilgili bölgelerdeki özel firmalardan temsili bir şekilde alınmıştır. Düşük kül ve kükürt içerikli temiz ürünler direkt olarak, tüvenan olanlar ise uygun kollektörler kullanılarak Denver Flotasyon hücresinde temizlendikten sonra deneylere tabi tutulmuştur. Mineral konsantreleri ise yine flotasyon işlemlerinden geçirildikten sonra deneylere konu edilmiştir.

3.2. Yöntem

Filtrasyon işlemlerine başlamadan önce, su katı karışımı temiz ürün karıştırıcılarla karıştırılarak homojen bir palp elde edilmiştir. Bu numuneden belirli oranlardaki palp (50-300 mi) Buchner filtresi içerisinde konularak vakum vanası açılmış ve belirli süreler kadar susuzlandırma işlemleri yapılmıştır. Bu deneylerde, kekin susuzlandırma süresi suyun kekin üst yüzeyini terk ettiği (veya kek oluştuğu) andan itibaren başlatılmıştır. Deneyler sonucu elde edilen kek alüminyum kap içerisinde tartılarak 105 °C deki etüve konulmuş ve denge ağırlığına gelene kadar burada tutulmuştur. Daha sonra kuru ürün desikatöre alınarak soğutulmuş ve tekrar tartılarak kekin nem içerikleri belirlenmiştir. Vakum sırasında oluşan filtre suyu bir beherin içerisinde toplanarak katı içerikleri de (<%2) tespit edilmiştir.

Bu deneylerde, vakum, susuzlandırma süresi, tane boyutu, palp sıcaklığı, kek kalınlığı, kül içeriği ve mineral çeşitlerinin filtrasyona etkileri araştırılmıştır. Bir pompa vasıtasıyla elde edilen 30 kPa, 60 kPa ve 90 kPa vakum basınçları kek üzerinde denenmiş ve her basınçta ise 0,5 dakika, 1 dakika, 2 dakika ve 4 dakika kek susuzlandırma süreleriyle deneyler gerçekleştirilmiştir. Kek oluşumunu sağlayabilmek için Buchner filtre içerisinde bulunan destek eleğinin üzerine nem tutma özelliği olmayan polyester bir filtre bezi de konulmuştur. Deneylerin yapıldığı Buchner hunisi 70 mm çapında ve 150 mm yüksekliğinde olup 1000 mTlik atik su tutma ve 2000 mTlik basınç düzenleyici erlen kaplara seri olarak bağlanmıştır (Şekil 1).



Şekil 1. Susuzlandırma işlemlerinin yapıldığı deneyin düzeneği

4. DENEY SONUÇLARININ İRDELENMESİ

4.1. Vakum Etkisi:

Basıncın kek üzerindeki nem içeriğine etkilerini belirleyebilmek amacıyla West VirginiaMan alınan tüvenan taş kömürü numuneler kullanılmıştır. Yüksek kül ve kükürt içeren bu numune çeneli ve merdaneli kırıcılarda kırılmış ve ardından da bilyalı değirmende %60 katı oranında öğütülerek boyutu 0,5 mm altına indirilmiştir. Daha sonra, 300 g/ton kerosen ve 100 g/ton Polypropylene Glycol (PPG) tipi köpürtücü kullanılarak Denver Flotasyon ünitesinde yüzdürülmüştür. %6,8 kül ve %1,06 toplam kükürt içeren temiz kömür farklı basınç ve kek susuzlandırma sürelerinde filtrasyon deneylerine tabi tutulmuştur. %18,2 palpta katı oranına sahip numuneden elde edilen deney sonuçları Çizelge 1 'de verilmiştir.

Çizelge Fden de görüldüğü gibi, keke uygulanan basınç ve susuzlandırma süreleri arttıkça, kek içerisinde bulunan nem içeriklerinin de o oranda azaldığı tespit edilmiştir. Örneğin, 2 dakikalık susuzlandırma süresinde kekin nem içerikleri 30 kPa, 60 kPa ve 90 kPa vakum basıncı altında sırasıyla %26,9, %22,6 ve %20,3 olmuştur. İki dakika susuzlandırma süresi üzerindeki artışlar

nemin içeriğini pek fazla değiştirmemiştir. Yüksek basınçlarda elde edilen düşük nem içerikleri, bu basınçlarda kekte bulunan ince kapiler tüpler içerisindeki suyun uzaklaştırılmasına bağlanabilir. Bunun aksine, 30 kPa gibi düşük basınçlarda vakum kek içerisindeki suyu uzaklaştırabilmek için yeterli olmamaktadır.

Çizelge 1. Susuzlandırma zamanına bağlı olarak yapılan filtrasyon deneylerinde* West Virginia kömür numunesindeki (-0,5 mm) nemin basınçla değişimi

Kekin Susuzlandırma Süresi (Dak.)	Kekin Nem İçeriği (%)		
	Uygulanan Basınç Miktarı		
	30kPa	60 kPa	90 kPa
0,5	31,7	28,6	26,4
1	28,4	23,5	21,6
2	26,9	22,6	20,3
4	25,2	21,4	19,2

* 70 mm çapında Buchner vakum filtresi; tüvenan numune öğütülerek 0,5 mm altına indirilmiş ve 300 g/ton kerosen ve 100 g/ton PPG kullanılarak yüzdürülmüştür; kek kalınlığı 1 cm; palpta katı oranı %18,2.

4.2. Tane Boyutu Etkisi:

Tane boyutunun susuzlandırmaya etkileri ile ilgili çalışmalar Kentucky-ABD temiz kömür (ağır ortam siklonu ürünü) numuneleri üzerinde yürütülmüştür. Söz konusu temiz numune belirli boyut guruplarına (-0,1 mm, -0,5 mm, -1,0 mm ve -1 + 0,1 mm) indirildikten sonra 500 g/ton kerosen ve 100 g/ton Methyl Isobutyl Carbmol (MIBC) kullanılarak yüzdürülmüş ve yüzen ürünün kül içeriği %7,2 ve kükürt içeriği ise %0,92 düzeylerinde olduğu belirlenmiştir. Bilindiği üzere fiotasyon kömürün kül ve kükürt içeriğini düşürdüğü gibi tanelerin yüzeyini kollektörler ile daha az ıslanabilir (hidrofobik) hale getirmektedir (Laskowski, 1992; Xu, 1990). Bu nedenle filtrasyon öncesi fiotasyon yapmak daha düşük nemli malzeme üretmek açısından önerilmektedir. 90 kPa basınçta ve 1 cm kek kalınlığında farklı boyutlardaki temiz numunelerle yapılan susuzlandırma deney sonuçları Çizelge 2'de verilmiştir.

Çizelge 2. Susuzlandırma süresine bağlı olarak 90 kPa vakum altında yapılan deneylerde tane boyutunun Kentucky-ABD kömür numunesindeki susuzlandırmaya etkileri

Kekin Susuzlandırma Süresi (Dak.)	Kekin Nem İçeriği (%)			
	Seçilen Tane Boyutları			
	-0,1 mm	-0,5 mm	-1,0 mm	-1 + 0,1 mm
0,5	34,4	27,5	24,1	19,2
1	31,2	25,2	21,2	16,7
2	30,0	23,0	19,7	14,8
4	28,4	21,4	17,8	13,4

Farklı boyutlarda yapılan deneylerde, tane boyutunun vakum filtrasyonu için en önemli parametre olduğu tespit edilmiştir. Örneğin, iki dakikalık bir susuzlandırma süresinde -0,1 mm boyut gurubu numune %30,0 nemli kek verirken, aynı şartlarda -1,0 mm ve -1 + 0,1 mm boyut gurubu numuneler %19,7 ve %14,8 nemli kekler vermiştir. Bu nem farkı, ince boyutlu tanelerin (veya yüksek yüzey alanına sahip tanelerin) kek içerisinde daha düşük çaplı kapiler tüpler (yüksek dirençli kek) vermesine ve bu tüplerin

daha fazla suyu tutmasına bağlanabilir. Bunun aksine iri taneler kek içerisinde daha büyük kapiler tüpler (geçirgen bir kek) yaratarak nemin bu tüplerden kolaylıkla akmasını sağlayabilir.

Bu bilgilere ek olarak, pek çok susuzlandırma kinetiği ile ilgili çalışmalar da bu deneylerde yer almıştır. Doğal olarak ince boyutlu malzemelerde kek direnci daha fazla olduğundan kek formasyon süresinin iri tanelere göre daha yavaş olduğu görülmüştür. Örneğin, iri boyutlu malzemenin (-1 mm) kek formasyon süresi 18 saniye iken, ince boyutlu malzemedeki (-0,1 mm) bu süre 134 saniyeye kadar çıkmıştır. Ayrıca, kek formasyon sürelerinin basınç, palp sıcaklığı, tane yapısı, tanelerin yüzey kimyası (hidrofobisite) ve kül içeriği ile de yakından ilgili olduğu tespit edilmiştir.

4.3. Kek Kalınlığının Etkisi:

Bu çalışmalarda British Columbia-Kanada kömür numuneleri kullanılmıştır. %20,3 kül ve %1,38 kükürt içerikli tuvenan kömür numunesi kırılıp öğütüldükten sonra 0,5 mm altına indirilmiş ve daha sonra 300 g/ton kerosen ve 75 g/ton MIBC kullanılarak yüzdürülmüştür. %16,2 palpta katı oranına sahip yüzen kömürün kül içeriği %7,2 ve kükürt içeriği ise %0,88'e düşürülmüştür. Söz konusu palptan homojen bir şekilde ve belirli oranlarda (50 mi ile 300 mi) alınıp Buchner filtreye konularak kek kalınlıkları ayarlanmıştır. 90 kPa vakum altında ve 0,5 cm, 1,5 cm ve 2,5 cm kek kalınlıklarında yapılan deney sonuçları Çizelge 3'de verilmiştir.

Çizelge 3. 90 kPa vakum altında yapılan susuzlandırma deneylerinde kek kalınlığının British Columbia-Kanada kömür numunelerinin (-0.5 mm) susuzlandırılmasına etkileri

Kekin Susuzlandırma Süresi (Dak.)	Kekin Nem İçeriği (%)		
	Kek Kalınlığı		
	0,5 cm	1,5 cm	2,5 cm
0,5	24,7	26,8	28,7
1	21,1	24,6	25,9
2	20,6	22,9	24,1
4	19,0	21,4	23,0

Kek kalınlığı ile nem içeriğinin belirli oranlarda arttığı Çizelge 3'de açık olarak görülmektedir. Bunun nedenleri ise, kaim keklerde vakum pompasının yarattığı basınç farkının kek üzerinde daha az etkili olması, ince ve kalın keklerin gözeneklilik yüzdelerinin farklı olması ve suyun kapiler tüplerden uzaklaştırılmaması şeklinde yorumlanabilir. Kalın keklerde meydana gelen bu sorunu çözebilmek için keke yüksek basınç veya titreşim uygulanabilir. İri kekin aksine, ince kekin düşük nem vermesi bir avantaj gibi gözükebilir, fakat ince kek üretimi filtrasyon makinelerinin kapasitesini düşürmekte ve toplam maliyetleri de artırmaktadır. Bu nedenle 1,5 em kek kalınlığı bu bölge kömürü için uygun olabilir.

4.4. Titreşim Etkisi:

Bilindiği üzere, kek kalınlığı arttıkça nemin kek içerisindeki oranı da artmaktadır. Bu sorunu çözebilmek amacıyla Avustralya'dan getirilen kömür numuneleri bir dizi titreşim deneylerine tabi tutulmuştur. Deneylerden önce tuvenan numunenin boyutu 0,5 mm altına indirildikten sonra 400 g/ton kerosen ve 100 g/ton^Nda MIBC kullanılarak yüzdürülmüştür. Yüzen ürünün palpta katı oram %16,2 olarak belirlenmiştir. Söz konusu temiz ürünün kül içeriği %8,2 ve toplam kükürt içeriği ise %0,94 olduğu tespit edilmiştir. 2,5 cm kek kalınlığı ve 90 kPa vakum altında yapılan deneylerde 20-30 Hz frekans ve 1-2 mm genlikli dikey titreşim keke (Buchner filtre ile birlikte) uygulanmış ve elde edilen deney sonuçları Çizelge 4'de sunulmuştur.

Çizelge 4. 90 kPa vakum altında ve 2,5 cm kek kalınlığında yapılan filtrasyon deneylerinde 20-30 Hz frekans ve 1-2 mm genlikli titreşimin Avustralya kömür numunesinin (-0,5 mm) susuzlandırılmasına etkileri

Kekin Susuzlandırma Süresi (Pak.)	Kekin Nemi (%)	
	Titreşimsiz	Titreşimli
0,5	27,6	26,7
1	25,0	23,0
2	23,7	20,5
4	22,5	18,6

Titreşimli ve titreşimsiz yapılan deneylerden elde edilen keklerdeki nem farkının %1 ile %4 arasında olduğu gözükmemektedir. Özellikle bu fark zamana bağlı olarak daha da artmaktadır. Bu artış titreşimin kalın keklerdeki suyu titreşim esnasında uzaklaştırabildiği şekilde yorumlanabilir. Başka bir deyişle, titreşim sırasında daha kompakt bir kek elde edilmekte ve hava bu kekdeki kılcal tüpler içerisine girerek suyla yer değiştirmekte ve sonuç olarak kekin toplam nem oranını azaltmaktadır. Benzer çalışmalar literatürde de geniş olarak yer almaktadır. Örneğin, Keller ve Stahl (1994) keke düşey titreşim uygulayarak kekin nem oranını belirgin bir şekilde azaltmışlardır.

4.5. Palp Sıcaklığının Etkisi:

Bu deneylerde, Pittsburgh taş kömürü numunesi kullanılmıştır. Tuvenan kömür kırılıp öğütüldükten sonra -0,5 mm fraksiyonu 500 g/ton kerosen ve 150 g/ton MIBC kullanılarak yüzdürülmüştür. % 8,8 kül ve %1,22 toplam kükürt içeren temiz kömürün palpta katı oranı ise %15,7 olarak tespit edilmiştir. 90 kPa vakum, 1 cm kek kalınlığı ve farklı sıcaklıklarda (20 °C, 40 °C ve 80 °C) yapılan deney sonuçları Çizelge 5'de verilmiştir.

Çizelge 5. 90 kPa vakum altında yapılan susuzlandırma deneylerinde Pittsburgh kömür numunesindeki (-0,5 mm) suyun sıcaklığa bağlı olarak değişimi

Kekin Susuzlandırma Süresi (Dak.)	Kekin Nemi (%)		
	Palp Sıcaklığı		
	20 °C	40 °C	80 °C
0,5	27,7	23,9	20,2
1	25,4	21,1	18,6
2	23,9	20,2	17,4
4	22,5	19,2	16,2

Çizelge 5'deki verilere bakıldığında, iki dakikalık susuzlandırma süresi ve 20 °C (oda sıcaklığı), 40 °C ve 80 °C sıcaklıklarda yapılan deneylerden elde edilen kekin nem içeriklerinin sırası ile %23,9, %20,2 ve %17,4 olduğu görülmektedir. Birinci ve üçüncü kolonlardaki

%6Man fazla meydana gelen bu nem farkının, suyun yüksek sıcaklıklarda daha düşük viskozite vermesine ve suyun buharlaşma etkisine bağlanabilir. Elde edilen verilere göre, düşük viskoziteli suyun kekteki kılcal tüplerden uzaklaştırılması yüksek viskoziteye göre çok daha kolay olmuştur. Ayrıca, deneyler esnasında, yüksek -sıcaklıklardaki (80 °C) suyun süspansiyondan veya kekten ayrılma kinetiği düşük sıcaklığa (20 °C) göre çok daha hızlı olduğu belirlenmiştir. Bu ifadenin doğruluğu Poiseuille (1. denklem) ve Darcy (2. denklem) denklemlerine bakıldığında açıkça görülebilir. Viskozite ile suyun akış hızı ters orantılı olarak değişmektedir.

4.6. Kül İçeriğinin Etkisi:

Kül içeriğinin susuzlandırmaya etkilerini belirlemek amacı ile Güney Kore'den tüvenan halde getirilen antrasit numuneleri kullanılmıştır. %22,3 kül içeren numune -0,5 mm boyutuna kırıcı ve öğütücüler vasıtasıyla indirildikten sonra bir kısmı 300 g/ton kerosen ve 100 g/ton"da MIBC kullanılarak yüzdürülmüştür. Yüzen kömürün kül ve kükürt içerikleri sırası ile %6,7 ve %0,68 olarak belirlenmiştir. %16,4 palpta katı içeren tüvenan ve temiz kömürden belirli oranlarda palp alınarak susuzlandırma deneyleri gerçekleştirilmiş ve sonuçlar Çizelge 6Ma verilmiştir.

Çizelge 6. 90 kPa vakum altında Güney Kore antrasit numunesi (-0,5 mm) ile yapılan susuzlandırma deneylerinde kekin nem içeriğinin kül içeriğiyle değişimi

Kekin Susuzlandırma Süresi (Dak.)	Kekin Nem İçeriği (%)	
	Kül içeriği (%)	
	22,3% (Tüvenan)	6,7% TM (Temiz)
0,5	32,6	24,2
1	29,9	21,5
2	27,6	20,1
4	25,4	18,8

Palp içerisinde bulunan külün susuzlandırma için en büyük etkenlerden birisi olduğu Çizelge 6Man

görülmektedir. Örneğin iki dakikalık bir susuzlandırma süresiyle yapılan deneylerde, tüvenan ve temiz kömür %27,6 ve %20,1 nemli kekler vermiştir. Arada meydana gelen %7,5Mik nem farkının, külün susuzlandırmaya etkisinin ne kadar dikkate değer olduğunu vurgulamaktadır. Bilindiği üzere, kül (veya çoğunlukla kil) suyu seven bir malzemedir ve antrasit taneleri yüzeyine yapışarak o tanelerin ıslanabilme özelliğini artırabilmektedir. Ayrıca, kil kekin gözeneklerini ve filtre bezini tıkayarak su akış hızını da azaltabilmektedir. Bu nedenlerle, küllü malzemeler, temiz malzemelere göre daha yüksek nemli kek verebilmekte ve susuzlandırma kinetiği de daha yavaş olabilmektedir. Bu sonuçlardan; daha düşük nemli bir ürün alabilmek için malzemenin temizlenmesi gerekliliği ortaya çıkmaktadır. Bu konuyu daha detaylı anlayabilmek için, bazı ek deneylerin yapılması faydalı olabilir.

4.7. Mineral Çeşidinin Etkisi:

Bu çalışmalarda aynı boyuttaki (-105 u,m) dört farklı mineral çeşidi filtrasyon deneylerinde kullanılmıştır. Bunlardan ilki saf *kuvars* numunesi (%99,9 SiO₂) olup Fisher Scientific, Inc. firmasından alınmıştır. Söz konusu numunenin yüzeyini daha fazla hidrofobik (suyu sevmez) yapabilmek için 150 g/ton Dodecylamine (C12H27N) ve 100 g/ton MIBC kullanılarak pH 9'da flotasyon hücresinde yüzdürülmüştür. İkinci numuneyi Quebec-KanadaMan getirilen *talk* örneği oluşturmuştur. Tüvenan numune çekiçli kırıcılar da kırıldıktan sonra bilyalı değirmene beslenerek boyutu - 0,105 mm altına indirilmiştir. Bilindiği üzere talk doğal olarak hidrofobik bir malzeme olduğundan yalnızca köpürtücü ilavesi ile yüzdürülebilmektedir. Bu nedenle öğütülen numune %20,8 palpta katı oranı ile flotasyon hücresine beslenmiş ve 100 g/ton PPG tipi köpürtücü kullanılarak nötr pKTda yüzdürülmüştür. Yüzen ürünün kuru bazda uçucu madde kaybı (veya ısıtma kaybı) ise %4,86 olarak belirlenmiştir. Üçüncü numuneyi İsveç'ten alınan *çinko* (sfalerit) konsantresi (%54,3 Zn) oluşturmaktadır, Bu numune taşınması sırasında yüzeyi oksitlendiğinden tekrar flotasyon işlemlerine tabi tutulmuştur. Bu kademedede, numune 1.5 dakikalık bir süre ile

bilyalı değirmende öğütülmüş ve 50 g/ton ksantat ve 50 g/ton'da MIBC ilavesiyle pH 9,0Ma tekrar yüzdürülmüştür. Dördüncü ve son numuneyi yine İsveç'ten getirtilen *bakır* (kalkopirit) konsantresi (%25,4 Cu) oluşturmuştur. Bu numune de yüzey oksidasyonuna maruz kaldığından yine 1,5 dakikalık bir süre ile bilyalı değirmenden öğütülmüş ve 50 g/ton ksantat ve 50 g/ton'da MIBC kullanılarak pH 10,5'de tekrar yüzdürülmüştür. Flotasyon işlemlerinin yapıldığı tüm pH değerleri kireç kullanılarak ayarlanmıştır. 90 kPa vakum basıncı ve 1 cm kek kalınlığında yapılan filtrasyon deney sonuçları Çizelge 7'de verilmiştir.

Yapılan deneylerden elde edilen sonuçlara bakıldığında, kuvars numunesi en yüksek nemli keki vermiştir. Bunda en büyük etkenin kuvars tanelerinin diğerlerine göre daha hidrofilik (ıslanabilir) ve daha düşük spesifik özgül ağırlığa (2,65 g/cm³) sahip olması yatmaktadır. Talk (2,8 g/cm³) ise doğal olarak hidrofobik (ıslanmaz) bir mineraldir ve ıslanabilme özelliği kuvarsa göre çok daha düşük olabilmektedir. Dolayısıyla talk konsantresi kuvars konsantresine göre nispeten daha düşük nemli bir kek vermiştir.

Çizelge 7. 90 kPa vakum altında ve farklı mineral konsantreleri (kuvars, talk, çinko ve bakır) üzerinde yapılan susuzlandırma deneyi sonuçları

Susuzlandırma Süresi (Pak.)	Kekin Nemi (%)			
	Kuvars	Talk	Çinko	Bakır
0,5	29,2	28,1	22,5	20,8
1	26,8	25,1	19,5	18,8
2	25,3	24,0	18,1	16,6
4	24,5	23,2	16,4	15,5

Bunun yanında, aynı boyuttaki kuvars ve talk numunesi sülfürlü cevher numunelerine göre daha fazla nemli kekler vermiştir. Kekte meydana gelen bu nem farkı, sfalerit (4,1 g/cm³) ve kalkopirit (4,3 g/cm³) minerallerinin daha yüksek özgül ağırlığa sahip olmasına ve düşük gözenekli kekler vermesine bağlanabilir. Muhtemelen, yüksek özgül ağırlıklı malzemeler düşük özgül ağırlığa göre filtrasyon sonucu daha

sıkı bir kek verdiği için, nem bu kek içerisinde pek kalamamakta ve keki büyük oranda terk edebilmektedir. Ayrıca, sülfür minerallerinin kek kompresibilitesi diğer iki numuneye göre daha az olmaktadır. Bu durum kekin nem oranını değiştirebilmektedir. Çinko ile bakır minerallerin arasındaki nem farkı ise çinko numunesinin yüzey kimyası (yüzey oksidasyonu), tane şekli, tanelerin yüzey alanı, spesifik özgül ağırlığı ve yüzey pürüzlülüğü ile yakından ilgili olabilir

5. SONUÇLAR

İnce boyutlu tanelerin susuzlandırılması ile ilgili çalışmalar pek çok kömür ve mineral konsantreleri üzerinde yürütülmüştür. Keke uygulanan basınç ve susuzlandırma sürelerine bağlı olarak yapılan deneylerde, ince tanelerdeki suyun uzaklaştırılmasında bu parametrelerin önemli olduğu belirlenmiştir. Örneğin, West Virginia kömür numunesi (-0,5 mm) üzerine yapılan deneylerde 90 kPa vakum ve 2 dakikalık susuzlandırma süresinin yeterli olduğu görülmektedir.

Yapılan filtrasyon deney sonuçlarına göre, susuzlandırmada en önemli parametrenin tane boyutu olduğu sonucuna varılmıştır. Kömür numuneleri üzerinde yapılan deneylerde, ince taneli Kentucky kömürleri (yüksek yüzey alanına sahip) iri tanelere göre çok belirgin bir nem farkı vermiştir. Bu sonuç ince tanelerin suyu kek bünyesinde daha fazla tutabilme kabiliyetine bağlanabilir.

Kek kalınlığının filtrasyona etkileri ile ilgili yapılan çalışmalarda, ince taneli kömür numuneleri kullanılmıştır. Elde edilen deney sonuçlarından, kek kalınlığına bağlı olarak kekin neminin de bir miktar arttığı belirlenmiştir. Bu artış iri keklerde vakum etkisinin kekte bulunan suya yeteri kadar ulaşamadığı ve iri ve ince kekin farklı oranlarda porozite yüzdelere sahip olduğu sonucuna varılabilir.

İri keklerdeki suyun uzaklaştırılması amacı ile keke belirli oranlarda dikey vibrasyon uygulanmıştır. Deney sonuçlarından, vibrasyonun kek içerisinde bulunan suyun uzaklaştırılması için etken bir parametre olduğu sonucuna varılmıştır.

Bilindiği üzere, suyun viskozitesi sıcaklık artışı ile azalmaktadır. Bu amaç doğrultusunda, ince tanelerin oluşturduğu palp ısıtılmış ve kek içerisindeki suyun viskozitesi düşürülmüştür. Özellikle yüksek sıcaklıklarda (80 °C) kekteki nemin belirgin bir oranda uzaklaştırıldığı tespit edilmiştir.

Külün filtrasyona etkilerini belirlemek amacıyla antrasit numuneleri üzerinde bir seri deney yürütülmüştür. İki dakikalık bir susuzlandırma süresi sonucu %22,3 küllü tüvenan numune ve %6,7 küllü temiz numuneler %27,6 ve %20,1 nemli kekler vermiştir. Bu nem farkından, ince kil parçacıklarının kömür taneleri yüzeyine giderek o tanelerin daha ıslanabilir hale getirdiği sonucu çıkarılabilir. Ayrıca, kil kek ve filtre bezinin gözeneklerini tıkayarak su akışını da önleyebilmektedir.

Mineral çeşidinin filtrasyon üzerine etkilerini belirlemek amacıyla dört farklı mineral konsantresi vakum altında susuzlandırma işlemlerine tabi tutulmuştur. Deney sonuçlarında, kuvars ve talk konsantrelerinin çinko ve bakır konsantrelerinden daha fazla nem verdiği görülmüştür. Bu farkın, numunelerin spesifik özgül ağırlığı, yüzey kimyası, tane şekli, yüzey alanı ve yüzey pürüzlülüğü ile yakından ilgili olduğu sonucuna varılabilmektedir.

Yapılan çalışmalara genel olarak bakıldığında, ince taneli taş kömürü, antrasit ve mineral konsantrelerinden deney parametreleri değiştirilerek uygun nem içerikli kek üretilebileceği görülmüştür. Bilindiği üzere, düşük nemli ürünler termal kurutucularının masraflarını azalttığı gibi çevreye olan zararlı etkilerini de azaltmaktadır. Bu durum, ince taneli ürünler ekonomiye kazandırılmasında önemli bir fırsat olabilir.

KAYNAKLAR

Carman, P.C., 1937; "Fluid Flow through Granular Beds," Trans; Ins. Chem. Eng., Vol. 15., pp. 150-166.

Cheremisnoff, N.P. ve Azbel, D.S., 1983; "Liquid Filtration", Ann Arbor Science.

Condie, D.J. Hinkel, M. ve Veal, C.J., 1996; "Modelling the Vacuum Filtration of Fine Coal", Filtration and Separation, Ekim, s. 825-833.

Condie, D.J. ve Veal, C.J., 1997; "Modelling the Vacuum Filtration of Fine Coal: Part 2", Filtration and Separation, Kasım, s. 9-16.

Couch, G.R. 1991; "Advanced Coal Cleaning Technology", IEA Coal Research, Aralık.

Dahlstrom, D.A. 1986; "Fundamentals of Solid-Liquid Separation", Design and Installation of Concentration and Devwaterberg Circuits, s. 103-114.

Gray, V.R. 1958; "The Dewatering of Fine Coal", J. of the Institute of Fuel, Cilt 31, s. 96.

Grosso, J.G. ve Parekh, B., 1996; "Surface Chemical Control of Ultra-fine Coal to Improve Dewatering", Coal Preparation a Multinational Journal, USA.

Hoşten, Ç., 1982; "Filtration Behavior of Finely Ground Hematite Slurries", Ph.D. Dissertation at University of California, Berkeley.

Keller, K. ve Stahl, W... 1994; "Vibration Dewatering", Chemical Engineering and Processing, 3 331-336. • ⇔

Kozeny, 1927; "Über Kapillare Leiling des Wassers in Boden", Wein Akad. Wiss. Sitz. Berichte, Cilt 136 (Ha), s. 271-306.

Kural, O., 1994; "Coal, Resources, Properties, Utilization, Pollution", istanbul - Turkey.

Laskovvski, J.S. 1992; "Oil Assisted Fine Partide Processing", Colloid Chemistry in Mineral Processing (Eds. J.S. Laskowski and J. Ralston). Elsevier Publisher, New York.

Leonard, J.W. ve Hardinge, 1991; B.C., "Coal Preparation - 5th Edition"/SME.

Lockhart, N.C. ve Veal C.J. 1996; "Coal Dewatering: Australian R&D Trends", Coal Preparation a Multinational Journal, USA.

Osborne, D.G. 1988; "Solid - Liquid Separation, Volume 1, Chapter 10", Coal Preparation Technology, Indonesia.

Phillips, J.W. ve Thomas, D.G.A., 1955; "Removal of Water From Fine Coal", Colliery Engineering, Cilt 32, s. 15.

Singh, B.P. 1997; "The Influence of Surface Phenomena on the Dewatering of Fine Clean Coal", Filtration and Separation, Cilt 34, s. 159.

Svarovsky, B. 1991; "Solid-liquid Separation, Second Edition", London.

TiUer, F.M. 1996; "Unifying the Theory of Thickening, Filtration and Centrifugation", University of Houston, Texas-USA.

Wakeman, R.J. 1976; International Journal of Mineral Processing, 3, s. 193-176.

Xu, Z., 1990; "Study of Hydrophobic Interaction in Fine Partide Coagulation", PhD. Thesis at Virginia Tech, VA-USA.