

**TOZ KÖMÜRLERİN NEM ORANININ
DÜŞÜRÜLMESİNDE KÖMÜR ÖZELLİĞİ VE
KİMYASAL KATKILARIN ETKİSİNİN
ARAŞTIRILMASI**

Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

Yüksek Lisans Tezi

Maden Mühendisliği Anabilim Dalı, Cevher Hazırlama Programı

Çağrı ÇERİK

Temmuz, 2015

İZMİR

YÜKSEK LİSANS TEZİ SINAV SONUÇ FORMU

ÇAĞRI ÇERİK tarafından PROF. DR. VEDAT ARSLAN yönetiminde hazırlanan
“TOZ KÖMÜRLERİN NEM ORANININ DÜŞÜRÜLMESİNDE KÖMÜR
ÖZELLİĞİ VE KİMYASAL KATKILARIN ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI”
başlıklı tez tarafımızdan okunmuş, kapsamı ve niteliği açısından bir Yüksek Lisans
tezi olarak kabul edilmiştir.

Prof .Dr. Vedat ARSLAN

Yönetici

Prof.Dr. Münir ÇOLAK

Jüri Üyesi

Prof.Dr. Mehmet ZANAR

Jüri Üyesi

Prof.Dr. Ayşe OKUR

Müdür

Fen Bilimleri Enstitüsü

TEŞEKKÜR

Tez çalışmamın tüm aşamasında beni yönlendiren ve çalışmalarında yardımlarını ve bilgisini esirgemeyen tez danışmanım Prof. Dr. Vedat Arslan'a teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmam süresince bilgilerini ve tecrübelerini benimle paylaşan Doç. Dr. Sezai Şen'e teşekkürü bir borç bilirim. Ayrıca eğitimim ve çalışmalarım sırasında bilgilerinden faydalandığım hocalarıma, yol gösteren asistan arkadaşlarıma ve teknik desteklerini esirgemeyen kimya laboratuvarı çalışanlarına teşekkür ederim.

Bugüne kadar maddi manevi desteklerini esirgemeyen annem, babam, ablam ve eşime sonsuz teşekkürler.

Çağrı ÇERİK

TOZ KÖMÜRLERİN NEM ORANININ DÜŞÜRÜLMESİNDE KÖMÜR ÖZELLİĞİ VE KİMYASAL KATKILARIN ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI

ÖZ

Kömürün kalitesini artırmak için kömür hazırlama ve yıkama işlemleri uygulanmaktadır. Bu işlemler sırasında kömür tane boyutu azalmakta ve nem oranı artmaktadır. İşlemler sonrasında kömürün satılabilir hale getirilmesi için susuzlandırma işlemlerinin yapılması gerekmektedir. Ancak, tane boyutu küçüldükçe susuzlandırma işlemlerinin verimliliği azalmakta ve maliyetleri artmaktadır. Susuzlandırma işlemlerini daha verimli hale getirmek için, kömür yüzeyinde bulunan suyun daha kolay uzaklaşmasını sağlayan reaktifler geliştirilmiştir. Bu reaktifler kömürün yüzey özelliklerini değiştirerek susuzlandırma işlemlerinin verimliliğini arttırmaktadır.

Bu çalışmada, reaktiflerle hazırlanan çözeltilerle hava arasındaki yüzey gerilimi ve katı yüzeyiyle yaptığı temas açısı değerleri ölçülmüştür. Deneylerde santrifüj cihazı kullanılarak kömür susuzlandırma deneyleri yapılmış ve farklı reaktiflerin nem oranına etkisi araştırılmıştır.

Ocaktan alınan cevher on mm altına kırılmış ve reaktif ilavesi olmadan santrifüje beslenmiştir. Yaş kömürün nem oranı yaklaşık yirmi yediye düşürülmüştür. Deneylerde SDS, CTAB, IGEPAL-630 ve CPC kullanılmıştır. Kullanılan reaktiflerle alınan en iyi sonuç tonda yirmi gram CPC ilavesi ile alınmış ve nem oranı yaklaşık yüzde yirmi dörde kadar düşürülmüştür.

Anahtar kelimeler: Kömür, kömür susuzlandırma, temas açısı, yüzey gerilimi.

THE EFFECT OF COAL CHARACTERISTICS AND CHEMICAL ADDITIVES ON DECREASING THE FINE COAL MOISTURE CONTENT

ABSTRACT

Increment of coal quality realized by coal preparation processes. During these processes coal particle size decreases and moisture content increases. Moisture content must be reduced by using dewatering techniques before shipping. However, with decreasing particle size, dewatering efficiency also decreases so that increases costs. Dewatering process efficiency can be improved by dewatering aids.

In this study, surface tension and contact angle measurements taken to define coal and relationship between reagent. Studies conducted with screen bowl centrifuge and moisture content results obtained.

Raw coal samples taken and crushed below ten mm after that, samples fed to centrifuge. By using centrifuge without reagents, moisture content decreased to nearly twenty seven percent. Different reagents (SDS, CTAB, IGEPAL-630 and CPC) tested on this study. Best result taken with twenty grams CPC per ton and lowest moisture content was nearly twenty four percent.

Keywords: Coal, coal dewatering, contact angle, surface tension.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
YÜKSEK LİSANS TEZİ SINAV SONUÇ FORMU	ii
TEŞEKKÜR	iii
ÖZ	iv
ABSTRACT	v
ŞEKİLLER LİSTESİ	viii
TABLolar LİSTESİ	x
 BÖLÜM BİR - GİRİŞ.....	1
1.1 Giriş ve Araştırmanın Amacı	1
 BÖLÜM İKİ – KÖMÜRÜN SU İÇERİĞİ VE YÜZEY ÖZELLİKLERİ	3
2.1 Kömürün Su İçeriği	3
2.2 Kömür Susuzlandırmada Yüzey Kimyası	5
2.2.1 Kömür yüzey adsorpsiyonu	5
2.2.2 Kömür Temas Açısı.....	8
2.3 Porosite	10
 BÖLÜM ÜÇ – KÖMÜR YIKAMA YÖNTEMLERİ	13
3.1 Yaş Zenginleştirme Yöntemleri	13
3.1.1 İri Boyutlu Kömürlerin Zenginleştirilmesi.....	13
3.1.2 İnce Boyutlu Kömürlerin Zenginleştirilmesi.....	14
3.1.3 Toz Kömürlerin Flotasyon Yöntemiyle Zenginleştirilmesi.....	16
3.2 Kuru Zenginleştirme Yöntemleri	16
 BÖLÜM DÖRT – KÖMÜR SUSUZLANDIRMA YÖNTEMLERİ	18
4.1 Mekanik Yöntemler.....	18
4.1.1 Elekler.....	18

4.1.2 Santrifüjler	20
4.1.3 Filtreler	23
4.2 Termal Yöntemler	26
BÖLÜM BEŞ – REAKTİFLERİN SUSUZLANDIRMAYA ETKİSİ	32
BÖLÜM ALTI – DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	35
6.1 Malzeme ve Yöntem	35
6.1.1 Deneylerde Kullanılan Numunelerin Alınması ve Hazırlanması	35
6.1.2 Numune Özellikleri	35
6.1.3 Yöntem	38
6.2 Deneylerde Kullanılan Reaktifler ve Cihazlar	39
6.2.1 Reaktifler	39
6.2.2 Cihazlar.....	40
6.3 Temas Açısı Ölçümleri.....	41
6.4 Yüzey Gerilimi Ölçümleri.....	45
6.4 Santrifüjle Yapılan Susuzlandırma Deneyleri.....	50
6.4.1 Santrifüj Hızının Belirlenmesi.....	50
6.4.2 Santrifüj Süresinin Belirlenmesi.....	51
6.5 Reaktif İlavesiyle Yapılan Susuzlandırma Deneyleri	52
6.5.1 SDS ile Yapılan Susuzlandırma Deneyleri.....	52
6.5.2 CTAB ile Yapılan Susuzlandırma Deneyleri	53
6.5.3 IGEPAL-630 ile Yapılan Susuzlandırma Deneyleri.....	55
6.5.4 CPC ile Yapılan Susuzlandırma Deneyleri.....	56
6.6Yüzey Gerilimi ve Temas Açısının Nem Oranına Etkisi	57
BÖLÜM YEDİ - SONUÇLAR.....	60
KAYNAKLAR	62

ŞEKİLLER LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 1.1 Tane boyutuna bağlı susuzlandırma maliyeti	2
Şekil 2.1 Kömür-su ilişkisi.....	4
Şekil 2.2 Elektriksel çift tabakanın gösterimi	6
Şekil 2.3 Elektriksel çift tabaka, potansiyelin mesafeyle değişimi.....	7
Şekil 2.4 Adsorbe olan reaktiflerin dizilimi.....	8
Şekil 2.5 Adhezyon ve kohezyon kuvvetlerinin katı ıslanabilirliği üzerindeki etkisi..	9
Şekil 2.6 Kömürün karbon oranıyla temas açısı ilişkisi.....	9
Şekil 2.7 Hidrofobik tanelerin nem tutma ilişkisi	10
Şekil 2.8 Atmosfer basıncı ve karbon oranına göre kömürün nem tutma kapasitesi.	11
Şekil 2.9 Kömürleşme derecesi ve porosite arasındaki ilişki.....	12
Şekil 3.1 Ağır ortam tamburu.....	14
Şekil 3.2 Ağır ortam siklonu	15
Şekil 3.3 Humprey spirali	15
Şekil 3.4 Ağır ortam esaslı kuru zenginleştirme	17
Şekil 4.1 Sieve bends şematik görünüşü	19
Şekil 4.2 Derrick HI-G Dryer susuzlandırma ünitesi.....	20
Şekil 4.3 Susuzlandırma santrifüjü görünüşü	21
Şekil 4.4 Eleksiz çanak tipi (solid bowl) santrifüj	22
Şekil 4.5 Elekli çanak tipi (screen bowl) santrifüj	23
Şekil 4.6 Tambur tipi filtrenin şematik görünüşü	24
Şekil 4.7 Disk filtrenin şematik görünüşü.....	24
Şekil 4.8 Bantlı Filtrenin şematik görünüşü.....	25
Şekil 4.9 Basıncılı filtre şematik görünüşü ve çalışma mekanizması	26
Şekil 4.10 Döner kurutucu şematik görünüşü	27
Şekil 4.11 Flash kurutucu şematik görünüşü	28
Şekil 4.12 Akışkan yataklı kurutucu şematik görünüşü.....	28
Şekil 4.13 Sprey kurutucu şematik görünüşü.....	30
Şekil 4.14 Konveyör kurutucu	30
Şekil 4.15 Yüksek sıcaklıkta buharlı (Superheated steam) kurutucu.....	31
Şekil 6.1 Tane boyutuna göre elek altı eğrisi.....	36
Şekil 6.2 Yaş numunenin zamana bağlı nem oranı	37

Şekil 6.3 Deney akım şeması	39
Şekil 6.4 Deneyler kullanılan santrifüj cihazı	40
Şekil 6.5 SDS dozajına bağlı temas açısı eğrisi	42
Şekil 6.6 CTAB dozajına bağlı temas açısı eğrisi.....	43
Şekil 6.7 IGEPAL – 630 dozajına bağlı temas açısı eğrisi	44
Şekil 6.8 CPC dozajına bağlı temas açısı eğrisi.....	45
Şekil 6.9 SDS dozajına bağlı yüzey gerilimi eğrisi	46
Şekil 6.10 CTAB dozajına bağlı yüzey gerilimi eğrisi	47
Şekil 6.11 IGEPAL-630 dozajına göre yüzey gerilimi eğrisi	48
Şekil 6.12 CPC dozajına göre yüzey gerilimi eğrisi	49
Şekil 6.13 Devir sayısına bağlı nem oranı eğrisi.....	50
Şekil 6.14 Susuzlandırma süresine bağlı nem oranı eğrisi.....	52
Şekil 6.15 SDS dozajına bağlı nem oranı eğrisi.....	53
Şekil 6.16 CTAB miktarına bağlı nem oranı eğrisi.....	54
Şekil 6.17 IGEPAL-630 miktarına bağlı nem oranı eğrisi.....	55
Şekil 6.18 CPC miktarına bağlı nem oranı eğrisi.....	56
Şekil 7.1 SDS eklendiğinde temas açısı ve yüzey gerilimine bağlı nem oranı	57
Şekil 7.2 CTAB eklendiğinde temas açısı ve yüzey gerilimine bağlı nem oranı.....	58
Şekil 7.3 IGEPAL-630 eklendiğinde temas açısı ve yüzey gerilimine bağlı nem oranı	58
Şekil 7.4 CPC eklendiğinde temas açısı ve yüzey gerilimine bağlı nem oranı.....	59

TABLÖLAR LİSTESİ

	Sayfa
Tablo 4.1 Kurutucular ve harcanan enerjilerin karşılaştırılması.....	26
Tablo 6.1 Elek analizi sonuçları.....	36
Tablo 6.2 Numunenin nem analizleri.....	37
Tablo 6.3. Kimyasal analiz sonuçları.....	38
Tablo 6.4 Deneylerde kullanılan reaktiflere ait bilgiler	40
Tablo 6.5 SDS dozajına bağlı temas açısı değerleri.....	41
Tablo 6.6 CTAB dozajına bağlı temas açısı değerleri	42
Tablo 6.7 IGEPAL – 630 dozajına bağlı temas açısı değerleri.....	43
Tablo 6.8 CPC dozajına bağlı temas açısı değerleri	44
Tablo 6.9 SDS dozajına bağlı yüzey gerilimi değerleri	45
Tablo 6.10 CTAB dozajına bağlı yüzey gerilimi değerleri.....	46
Tablo 6.11 IGEPAL-630 dozajına göre yüzey gerilimi değerleri.....	47
Tablo 6.12 CPC dozajına göre yüzey gerilimi değerleri.....	49
Tablo 6.13 Devir sayılarına bağlı nem oranları	50
Tablo 6.14 Susuzlandırma sürelerine bağlı nem oranları.....	51
Tablo 6.15 SDS miktarına bağlı nem oranları	53
Tablo 6.16 CTAB miktarına bağlı nem oranları	54
Tablo 6.17 IGEPAL-630 miktarına bağlı nem oranları	55
Tablo 6.18 CPC miktarına bağlı nem oranları	56

BÖLÜM BİR

GİRİŞ

1.1 Giriş ve Araştırmanın Amacı

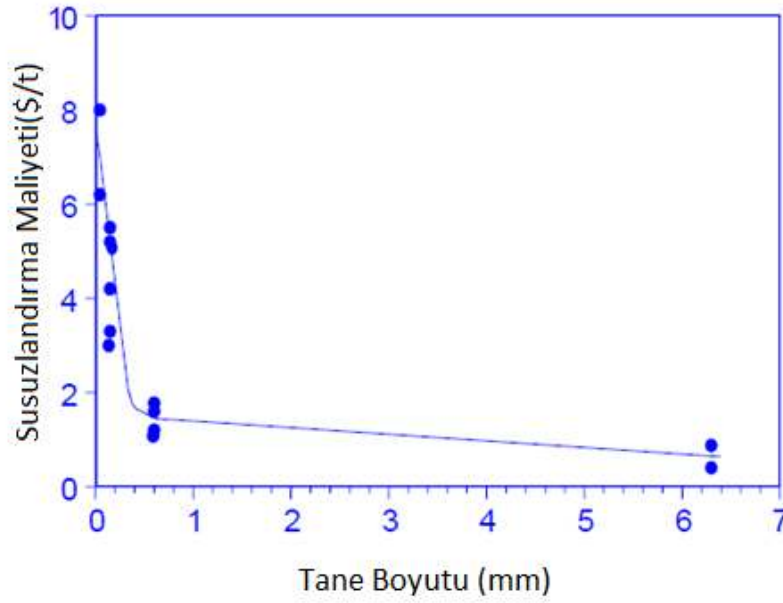
Fosil kaynaklı yakıtlar, yüzlerce yıldır enerji kaynağı olarak kullanılmaktadır. Bu yakıtlar genel olarak kömür, doğalgaz ve petroldür. Petrol ve doğalgaz belirli coğrafi bölgelerde yoğunlaştığından ve doğalgazın depolanması zor olduğundan ülkemizde kömür büyük bir öneme sahiptir.

Son yıllarda kazı mekanizasyonunun gelişmesiyle ve çevresel etkileri nedeniyle daha kaliteli kömür talebinin artmasıyla ince malzeme üretimi artmıştır. Endüstri ve termik santral kullanımı için, kömürün düşük nem, kül ve kükürt değerlerine ve yüksek kaloriye sahip olması gerekmektedir. Kaliteli kömür üretmek için malzeme ufalanarak kül ve diğer gang mineralleri serbest hale getirilmelidir. İnce boyutlu kömürler 30 yıl öncesine kadar verimli olarak zenginleştirilemezken günümüzde spiral ve flotasyon ile temiz kömür üretilabilmektedir. Fakat tane boyutunun azalmasıyla yüzey alanı artmakta ve buna bağlı olarak nem oranı da artmaktadır.

Yüksek nemli kömürler kazanlarda yakıldığında, yakıtın yaklaşık %7-10'u nemi buharlaştırmak için harcanmaktadır. Bu da yakıt tüketimini, baca gazı miktarını, enerji tüketimini, bakım maliyetlerini arttırmaktadır ve tesis verimini düşürmektedir. Ayrıca nemli kömür, soğuk iklimlerde donma sorunlarına yol açabileceğinden taşınması daha zordur. Nem, kömürün gevrekliğini azaltmakta, öğütme kalitesini düşürmekte, ayırma, sınıflandırma ve harmanlama işlemlerini zorlaştırmaktadır. Kömürün fiyatı ısı değerlerine göre değişmektedir. Kömürün nem içeriğini düşürüldüğünde termik santrallerin verimliliği artmakta ve nakliye masrafları, kül atma ihtiyacı ve baca gazı miktarı düşmektedir. Bu yüzden kömürden suyun uzaklaştırılması önemli bir işlemdir (Karthikeyan, Zhonghu ve Mujumdar, 2009).

İnce taneli kömür susuzlandırma, düşük verimlilik ve yüksek maliyetten dolayı kömür yıkama tesislerinde ki zor işlemlerden birisidir. Şekil 1.1'de görüldüğü gibi

ince boyutlu malzemelerin susuzlandırma maliyeti iri tanelere göre 2 – 3 kat daha fazladır.



Şekil 1.1 Tane boyutuna bağlı susuzlandırma maliyeti (Couch 1991)

Günümüzde susuzlandırma işlemleri mekanik ve termal olarak ikiye ayrılmaktadır. Mekanik işlemler yetersizdir, çıkan ürünün yüzey nemi %5 - %15 arasındadır. Nem oranını yeterli seviyeye getirmek için termal işlemler kullanılmalıdır fakat bu işlemler pahalı, verimsiz ve çevre kirliliğine yol açmaktadır.

Bu çalışmada, kullanılan reaktiflerin kömür yüzeyine ve sıvının yüzey gerilime etkisi araştırılmış ve santrifüjde susuzlandırma olanakları incelenmiştir.

BÖLÜM İKİ

KÖMÜRÜN SU İÇERİĞİ VE YÜZEY ÖZELLİKLERİ

2.1 Kömürün Su İçeriği

Kömürler, kömürleşme derecelerine göre, ocak çıkışında belirli oranda nem içerirler. Herhangi bir nemlendirme veya kurutma olmadığı takdirde, turbalar %75'in üzerinde, yumuşak linyitler %35-75 ve sert linyitler de %10-35 arasında nem içermektedir. Taşkömürü ve antrasitlerin orijinal nem oranları ise, çok azdır (%1-2) (Kemal ve Arslan, 2014).

Kömürdeki nem içeriği, yüzey ve bünye nemi olarak iki sınıfa ayrılabilir. Yüzey nemi mekanik yöntemlerle kısmen uzaklaştırılabilir fakat bünye nemi kömürün, bünyesel porlarında kılcal boşluklarındadır. Bünye nemi sadece ısı yöntemleriyle uzaklaştırılabilir. Kömürdeki yüzey nemi aşağıdaki faktörlere bağlı olarak %0 ile %30 arasında değişmektedir (Keller, Stelma ve Chi, 1979).

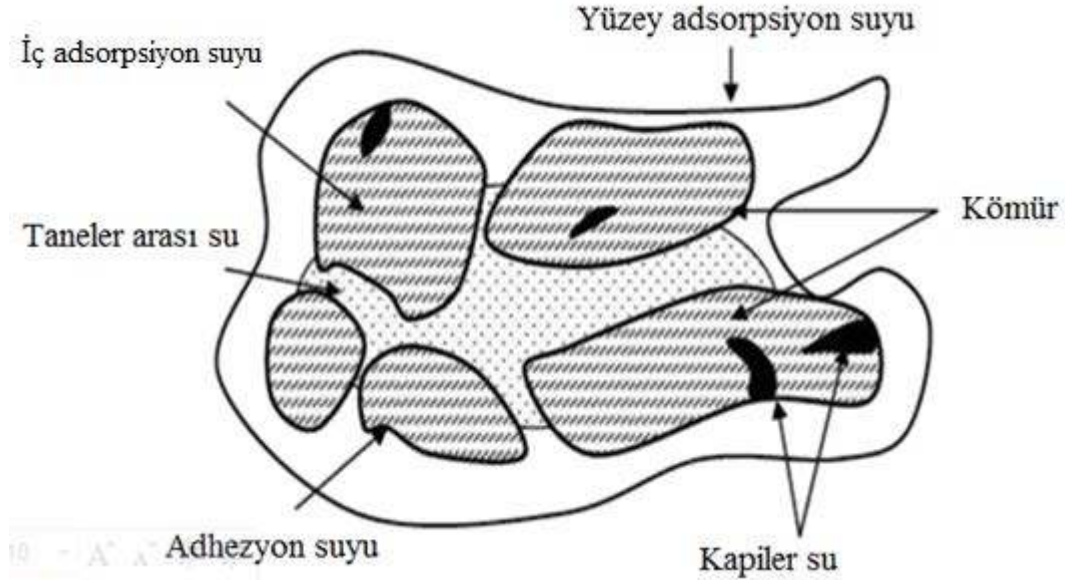
- Kömürleşme derecesi
- Ortama bağlı nem oranı
- Mineral oluşumu ve konsantrasyonu
- Tane boyut dağılımı
- Sıcaklık
- Mekanik işlemler
- Oksidasyon ya da kimyasal ilavesi işlemleri

Diğer taraftan, havada kuruma duruma göre de, kömür nemi kaba ve higroskopik nem olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Havada kurumaya bırakılan kömür hava sıcaklığına ve havanın nem oranına bağlı olarak belirli bir orana kadar nem kaybeder ve ondan sonra nem kaybı, yani kuruma durur. Bu ilk kuruma esnasında, özellikle taneler arası nem, adhezyon nemi ve kaba kapiler nem buharlaşmaktadır. Hava sıcaklığı ve havanın higroskopik nem oranına bağlı olarak, herhangi termik bir işlem

olmaksızın, oda sıcaklığında kömürün kaybettiği neme, kaba nem ve kömürde geride kalan neme ise, higroskopik nem adı verilmektedir (Kemal ve Arslan, 2014).

Karr (1978), kömürde suyun bulunma şekillerini şu şekilde açıklamıştır;

- İç adsorpsiyon suyu, her kömür tanesinde depolanan, mikro gözeneklerde ve mikro kılcallarda bulunan su.
- Yüzey adsorpsiyon suyu, tane yüzeyinde kömür molekülleriyle bitişik şekilde bulunan su molekülleri. Bu su molekülleri kömüre kimyasal bağlarla bağlanıp bir film tabakası oluştururlar.
- Kapiler su, kömür yüzeyindeki küçük çatlaklarda bulunan su.
- Parçacıklar arası su iki veya daha fazla partikülün arasındaki küçük boşluklar ve çatlaklarda bulunan su. Bu gözeneğe bağlı ve gözenekten bağımsız olarak iki şekilde incelenebilir. Gözeneğe bağlı su iki tanenin temas ettiği noktada bulunmaktadır. Gözenekten bağımsız su ise katı taneler arasındaki boşlukta bulunmaktadır.
- Adhezyon suyu, topaklanmış tanelerin yüzeyinde bulunan su filmi.



Şekil 2.1 Kömür-su ilişkisi (Karr, 1978)

İç ve yüzey adsorpsiyon suyu bünye nemi olarak kabul edilir. Çünkü buradaki su molekülleri kömüre güçlü bir şekilde bağlanmıştır. Kapiler su da kömürden çok zor uzaklaştırıldığı için bir kısmı bünye nemi sayılabilir. Diğerleri ise yüzey nemi olarak

adlandırılır ve mekanik susuzlandırma yöntemleriyle uzaklaştırılabilir. Kömür bünyesindeki ve yüzeyindeki su Şekil 2.1’de gösterilmiştir.

2.2 Kömür Susuzlandırmada Yüzey Kimyası

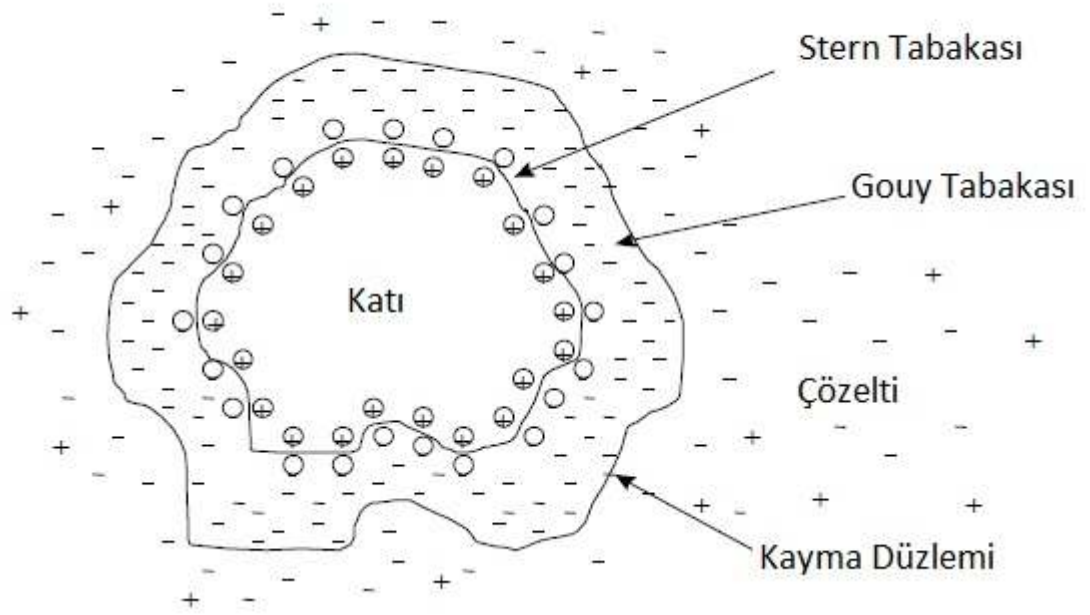
2.2.1 Kömür Yüzey Adsorpsiyonu

Mekanik susuzlandırma yöntemlerinin, kısıtlı nem azaltma verimliliği kimyasallar yardımıyla arttırılmıştır. Bu reaktiflerin kömür yüzeyine adsorpsiyonu, karmaşık ve önemli bir olaydır. Adsorpsiyon olanağı ve kuvveti, genel olarak üç etken tarafından kontrol edilmektedir (Myers, 1988).

- Adsorbe olan türlerin kimyasal yapısı, polar olan grubun özellikleri (anyonik, katyonik veya noniyonik)
- Reaktifin adsorbe olduğu katı yüzeyinin yapısı
- Sıvı ortamının yapısı

Bu üç ana faktöre bağlı olarak, kömür- su karışımının susuzlandırma kimyasallarına tepkisi çeşitli etkenlere bağlıdır. Bunlar; kömür tipi, tane boyut dağılımı, zenginleştirme işlemlerinin etkisi (örneğin, adsorbe olan flotasyon kimyasalları hala yüzeyde olabilir), su kalitesi, işlem sıcaklığı, kullanılan mekanik susuzlandırma cihazının özellikleri, üretim oranı, susuzlandırma kimyasallarının yapısı ve saflığı, dozaj ve kömür ile kimyasal arasındaki temas süresidir (Owen, 1988).

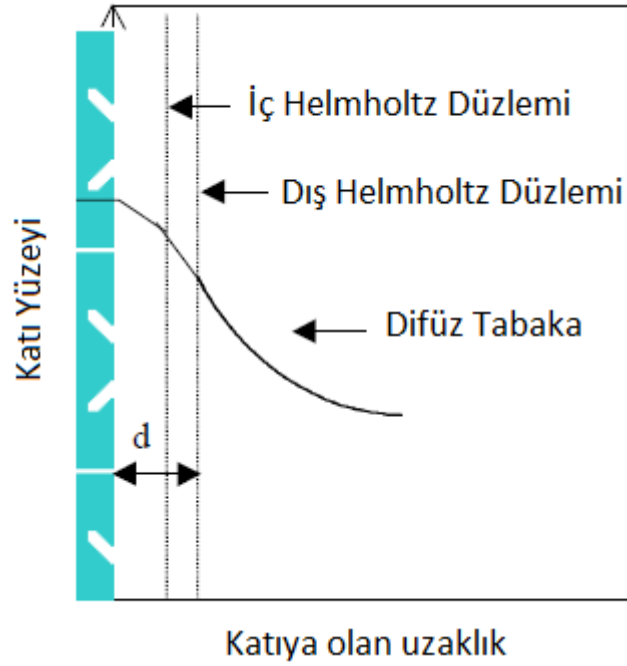
Genellikle, kömür yüzeyi ve kimyasallar arasında, elektrostatik kuvvetler, van der Waals ve hidrofobik etkileşim kuvvetleri etkili olur. Van der Waals kuvvetleri kısa mesafede etkindir ve molekül orbitallerindeki elektron hareketi sonucunda oluşmaktadır. Elektriksel etkileşimler, çözelti içerisindeki aynı yüklü taneler arasındaki itme kuvvetleri tarafından meydana gelmektedir. Hidrofobik çekim kuvvetlerinin, uzun mesafelerde bile iki tane arasındaki etkileşiminin olduğu gözlenmiştir (Başım, 1997).



Şekil 2.2 Elektriksel çift tabakanın gösterimi (Stelma,1978)

Yüklü bir tane suya konulduğunda, çözeltideki zıt yüklü iyonlar, elektriksel yükü dengelemek için katı yüzeyine doğru çekilirler. Böyle bir durumda elektriksel çift tabaka oluşmaktadır (Stelma, 1978). İyonlar yüzeyde iki birleşik bölge oluştururlar, ilki adsorbe olmuş iyonlar tarafından oluşmakta ve Stern tabakası olarak adlandırılmaktadır, ikincisi daha dağınık olan Gouy tabakasıdır. Tüm tabakalardaki iyonların toplamı, katı yüzeyindeki iyonlarla zıt yüklüdür ve dengelemektedir. Şekil 2.2’de elektriksel çift tabakanın temsili şematiği gösterilmiştir.

Tane yüzeyinde, yüzey potansiyeli en büyük değeri alır. Bunun nedeni, zıt elektrik yükleri yüzeye doğru çekilir ve tane etrafında yoğun bir tabaka oluştururlar. Tane yüzeyine olan uzaklık arttıkça, yüzey potansiyeli düşmektedir. Şekil 2.3’ de yüzey potansiyelinin mesafeyle değişimi gösterilmiştir. Stern tabakası iç ve dış Helmholtz düzlemi olarak iki tabakadan oluşmaktadır (Leja, 1982).

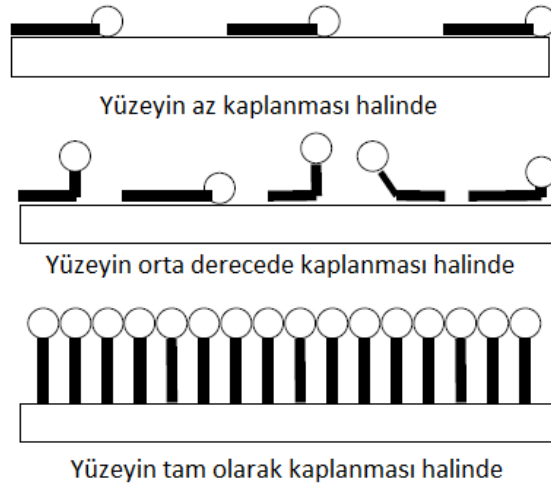


Şekil 2.3 Elektriksel çift tabaka, potansiyelin mesafeyle değişimi (Stelma, 1978).

Katı yüzeyindeki elektriksel yükler, taneler ve reaktifler arasında çekme ve itme kuvvetleri oluştururlar. Reaktif yükü, yüzey yüküyle aynı olduğunda tane ve reaktif arasında bir itme kuvveti oluşur. Bu itme kuvveti, çözelti içerisindeki reaktifleri dengede tutar ve reaktifler tane yüzeyine adsorbe olamaz. Diğer yandan, reaktif ile yüzey zıt yüklü olduğunda, reaktifin polar kısmı iyon değişimi veya iyon eşleşmesiyle taneye adsorbe olur. İyon değişiminde, adsorbe olan moleküller yüzeyin alt katmanında bulunan iyonlarla yer değiştirir. İyon eşleşmesinde ise, molekül zıt yüklenmiş bölgeye adsorbe olur.

Diğer bir adsorpsiyon tipinde, adsorpsiyon hidrofobik etkileşimler tarafında meydana gelmektedir. Susuzlandırma reaktiflerinin hidrofobik kısımları, sulu ortamdan kaçma eğilimindedir. Diğer bir ifadeyle sulu ortam hidrofobik kısımları dışarı iter (Myers,1988). Bu durumda, reaktif moleküllerinin hidrofobik kuyrukları yüzeye adsorbe olma eğilimindedir. Reaktif moleküllerinin bu hareketleri, polar kısımların çözeltiliye doğru yönelmesine sebep olur. Bu tür bir adsorpsiyon hidrofobik yüzeyi hidrofilik bir yüzeye çevirir.

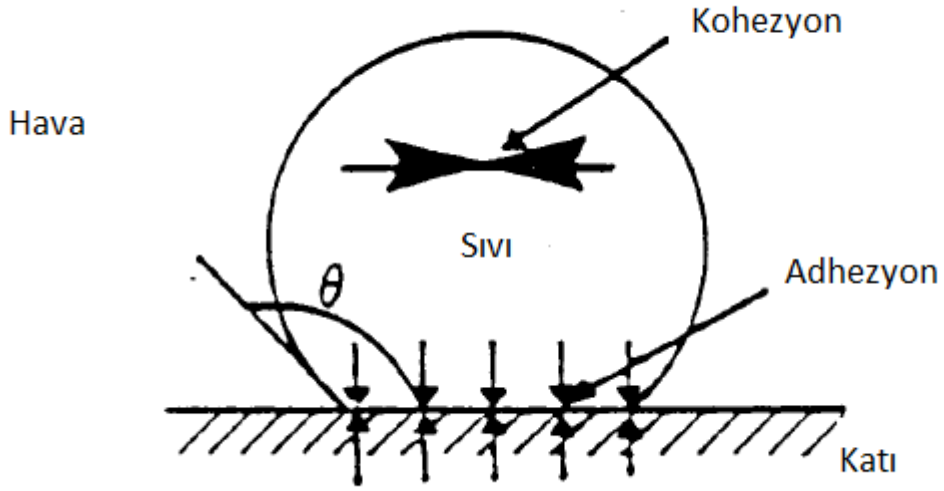
Kömür yüzeyi doğal hidrofobdur. Buna rağmen suyun içerisindeki OH^- iyonlarının yüzeye gitme eğiliminden dolayı negatif yüklüdür. Kömür yüzeyine adsorpsiyon Van der Waals ve hidrofobik kuvvetler altında gerçekleşir. Bu durumda Şekil 2.4.'de gösterildiği gibi adsorbe olan moleküllerin dizilimi, hidrofobik grup katı yüzeyiyle bağlanır hidrofilik grup ise su fazına doğru yönelir. Adsorpsiyonun ilk safhalarında, hidrofobik kuyruk kısmı yüzey boyunca uzanır ve daha çok molekül adsorbe oldukça, reaktifler dik olarak dizilmeye başlarlar. Kömür yüzeyini hidrofobik olarak tutmak için, noniyonik reaktifler eklemek gerekir, aksi halde bu tür bir dizilim kömür yüzeyini hidrofilik bir hale getirir (Başım, 1997).



Şekil 2.4 Adsorbe olan reaktiflerin dizilimi (Myers, 1988)

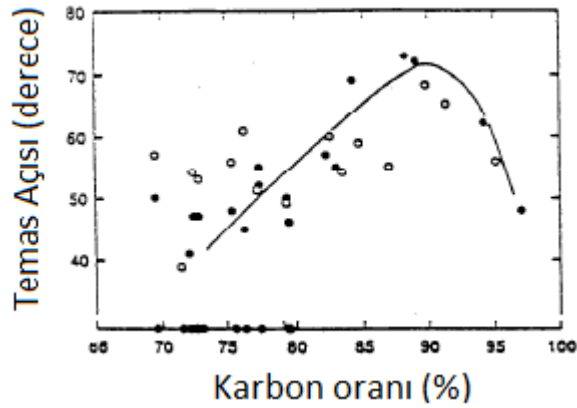
2.2.2 Kömür Temas Açısı

Yüzeyin hidrofobluğunu ölçmek için katı sıvı arasındaki temas açısına bakılmaktadır. Temas açısı, katı yüzeyin üzerine bir damla sıvı yerleştirilerek ölçülebilir. Temas açısı sıvı tarafından ölçülür ve açı değeri arttıkça yüzey hidrofobluğunun arttığını göstermektedir. Yüzeyin hidrofob veya hidrofıl olması, katı sıvı arasındaki adhezyon kuvvetine ve sıvının kohezyon kuvvetini bağlıdır. Şekil 2.5'de adhezyon ve kohezyon kuvvetlerinin etkisi gösterilmiştir.

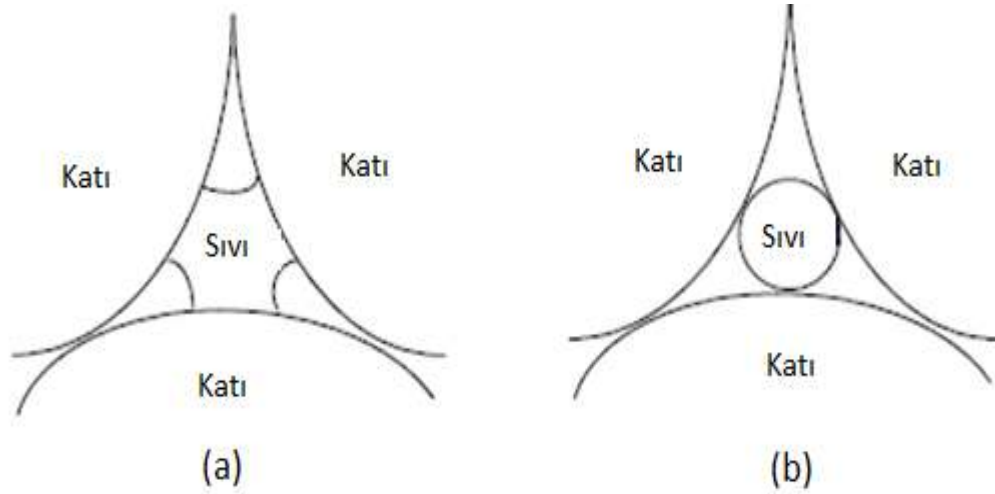


Şekil 2.5 Adhezyon ve kohezyon kuvvetlerinin katı ıslanabilirliği üzerindeki etkisi

Kömürün temas açısı kömürleşme derecesine göre değişmektedir. En yüksek temas açısı değerleri taş kömürlerinde ölçülmektedir. Şekil 2.6’da karbon oranına bağlı temas açıları verilmiştir. Temas açısı arttıkça susuzlandırma daha kolay hale gelmektedir. Kömürün yüzeyi doğal olarak hidrofobdur fakat içerdiği mineral maddeler sıvı ortamında elektriksel etkileşimlerde bulunur. Bu da yüzey hidrofobluğunun değişmesine yol açar.



Şekil 2.6 Kömürün karbon oranıyla temas açısı ilişkisi (Arnold ve Aplan, 1989)



Şekil 2.7 Hidrofobik tanelerin nem tutma ilişkisi, düşük (a) ve yüksek (b) temas açısı değerleri (Veal, Jonston ve Nicol, 1995)

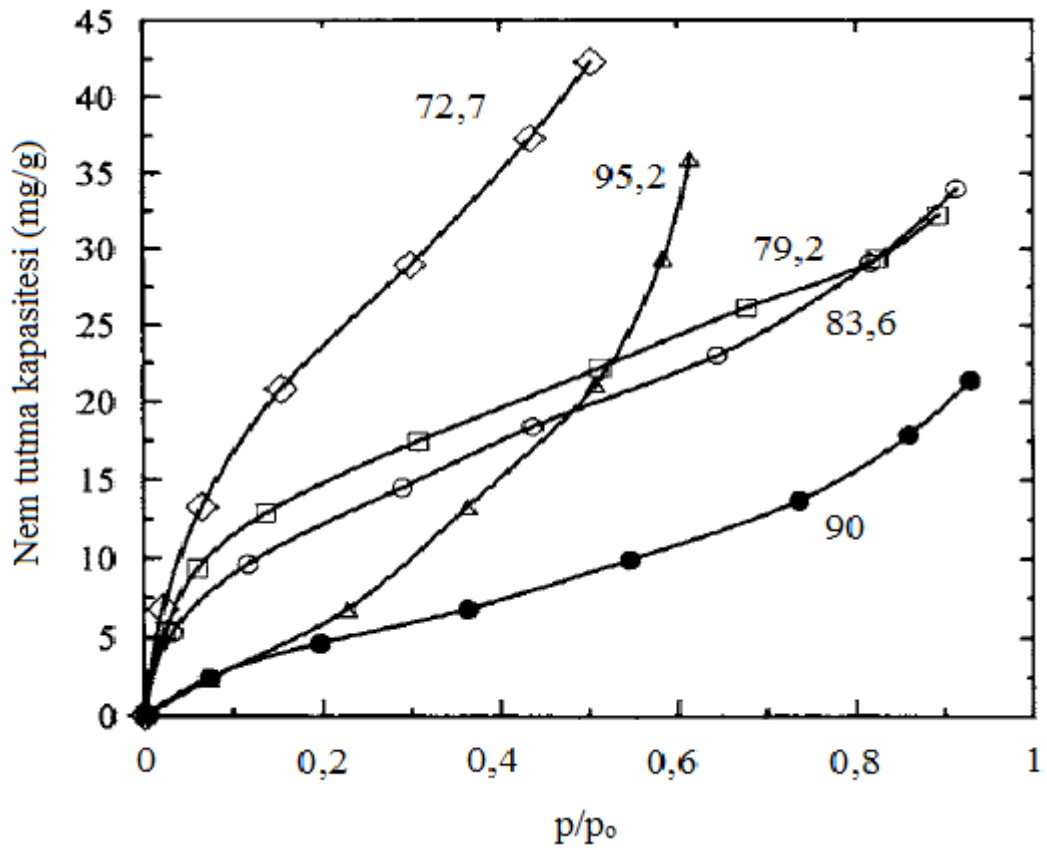
Katı, su, hava sistemlerinde temas açısı çok düşük olduğunda katı tamamen ıslanır. Bu durumda su film tabakası halinde katının her yerine yayılır. Diğer bir durumda temas açısı yeterince yüksek olduğunda ($\sim 90^\circ$), su katı yüzeyinde damlalar halinde kalır. Bu sistem susuzlandırıldığında taneler arası kapiler yükselme daha düşük olacağından daha düşük nem içeriğine sahip olur. Ayrıca basınç altında, kömür yüzeyinde film tabakası şeklinde bulunan suya kıyasla damla halinde bulunan suyun uzaklaştırılması daha kolaydır. Şekil 2.7’de düşük ve yüksek temas açısına sahip taneler gösterilmiştir.

2.3 Porosite

Gözenekler boyutlarına göre mikropor, mezopor ve makropor olarak sınıflandırılmaktadır. (International Union of Pure and Applied Chemistry [IUPAC], 1972) tarafından verilen sınıflandırmaya göre;

1. Mikroporlar, 2 nm’den daha küçük
2. Mezoporlar, 2 nm ve 50 nm arasında
3. Makroporlar, 50 nm’den daha büyük

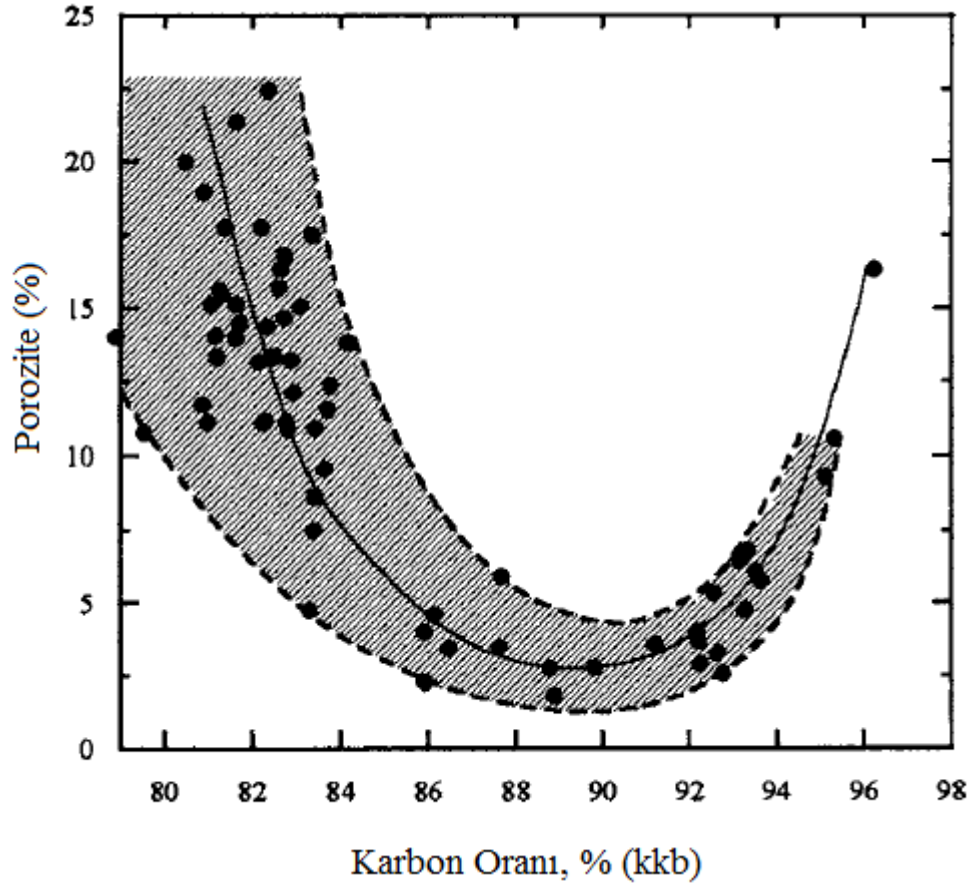
Porosite arttıkça yüzey alanı da artmaktadır ve bu da kömürün nem oranını doğrudan etkilemektedir. Kömürlerde gözeneklerin boyu ve miktarı, kömürleşme derecesine göre farklılık göstermektedir. Kömürleşme derecesi düşük olan linyitlerin nem oranı %30 - %70 arasındadır. Bitümlü kömürlerin nem oranı ise %10'un altındadır. Kömürün tuttuğu nem atmosfer basıncına göre değişmektedir. Şekil 2.8'de atmosfer basıncı ve karbon oranına göre kömürün nem tutma kapasitesi verilmiştir. Bu şekilde p/p_0 su basıncının, doymuş buhar basıncına oranını ifade etmektedir.



Şekil 2.8 Atmosfer basıncı ve karbon oranına göre kömürün nem tutma kapasitesi. Eğrilerin üzerindeki sayılar kuru külsüz bazda karbon oranını ifade etmektedir (Mahajan ve Walker, 1971)

Gan ve diğer. (1972), farklı kömürleşme derecesine sahip bir takım Amerikan kömürlerini incelemişlerdir. Yaptıkları çalışmada gözenek miktarı ve boyutlarının kömürleşme derecesine bağlı olduğu sonucuna varmışlardır. Düşük kömürleşme derecesine sahip kömürlerde (karbon oranı %75'den az) porosite, makroporlardan oluşmaktadır. Karbon oranı %76 - %84 arasında olan kömürlerde gözeneklerin

%80'i geçişken porlar ve mikroporlardan oluşmuştur. Karbon oranı daha yüksek olan kömürlerde ise gözeneklerin çoğu mikroporlardan oluşmaktadır. Kömürleşme derecesi ve porosite arasındaki ilişki şekil 2.9'da verilmiştir.



şekil 2.9 Kömürleşme derecesi ve porosite arasındaki ilişki (King ve Wilkins, 1944)

BÖLÜM ÜÇ

KÖMÜR YIKAMA YÖNTEMLERİ

Üretim esnasında kömüre karışan yan kayaçlarla, kömür damarı içerisinde bulunan ara kesmelerden gelen mineral maddelerin ve kömür bünyesindeki yüksek oranda mineral madde içeren parçaların atılarak, kömürün ısı değerini yükseltmek, kömür kullanımını daha ekonomik hale getirmek ve kömür kullanımından kaynaklanan çevre ve hava kirliliğini azaltmak için kömür yıkama işlemleri uygulanmaktadır (Kemal ve Arslan, 2014).

Kömür özelliği ve kömürün tane boyutuna göre kömür yıkama yöntemleri belirlenmektedir. Bu yöntemlerde yaş ve kuru zenginleştirme yöntemi olarak iki farklı başlık altında toplanmaktadır. Günümüzde bu yöntemlerden en çok ağır ortam esaslı ayırıcılar kullanılmaktadır.

3.1 Yaş Zenginleştirme Yöntemleri

3.1.1 İri Boyutlu Kömürlerin Zenginleştirilmesi

Ocaktan gelen kömür genellikle 150 mm altına indirilir. İri boyutta zenginleştirme için jigler ve ağır ortam ayırıcıları kullanılmaktadır.

Ağır ortam gravite esaslı bir yöntemdir. Bu yöntemde çeşitli tuzlar, sıvılar veya katı-sıvı süspansiyonları kullanılarak bir ortam hazırlanır ve yüksek yoğunluklu bu ortam ayırma işlemini gerçekleştirmektedir. Ağır ortam yöntemlerinde düşük yoğunluklu kömür yüzerken yüksek yoğunluklu taşlar batar ve ayırım bu şekilde gerçekleşir. Ayırım sonrasında kömür ve yan taş yıkama ve süzme eleklerinden geçer ve üzerlerindeki ağır ortam sıvısı temizlenir. Ağır ortam sıvısı ise temizlenerek ve yoğunluğu ayarlanarak tekrar sisteme dahil edilir.

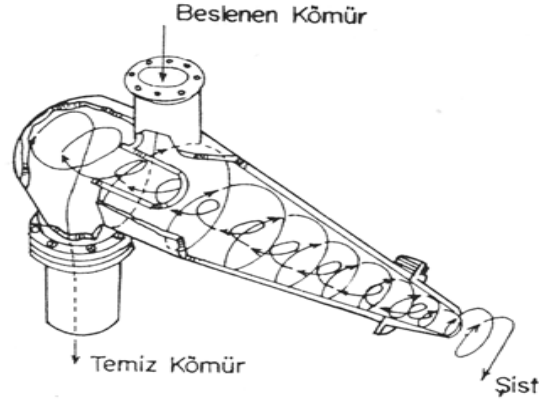
Endüstride genellikle Wemco, Teska ve Drewboy ayırıcıları kullanılmaktadır. Kapasiteleri yüksektir ve 900 t/s kadar olabilmektedir. Şekil 3.1’ de ağır ortam tamburunun şematik görünüşü verilmiştir.

Jiglerde, ortam olarak su kullanılmaktadır. Suya, hava veya pistonlar yardımıyla periyodik olarak yukarı ve aşağı yönelik bir hareket verilmektedir. Bu hareketler sayesinde ağır malzeme alt kısımlarda hafif malzeme ise üst kısımlarda bir tabaka oluşturur ve bu sayede ayırım gerçekleşir. Kömürde genellikle Baum ve Batac jigleri kullanılmaktadır. Kapasiteleri saatte 1000 tona kadar ulaşabilmektedir.

Şekil 3.1 Ağır ortam tamburu

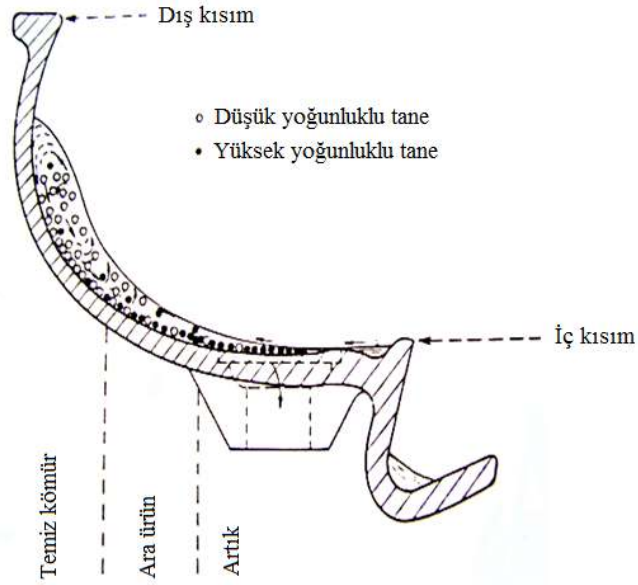
3.1.2 İnce Boyutlu Kömürlerin Zenginleştirilmesi

Kömür hazırlama tesislerinde ince boyut için en çok kullanılan ayırıcı ağır ortam siklonudur. Yatayla 15 derecelik açıyla yerleştirilen siklona basınçla ağır ortam sıvısı ve malzeme beslenir (Şekil 3.3). Merkezkaç kuvveti etkisiyle ağır malzemeler siklon çeperine savrulurken ince malzemeler merkezde kalır. Ağır malzemeler siklon alt tarafından alınır. Siklonun alt çapının daralmasıyla alt kısımda basınç artar ve siklon üst kısmına doğru bir akım oluşur. Bu akım yardımıyla hafif malzemeler taşınarak üst kısımdan alınır.



Şekil 3.2 Ağır ortam siklonu

Humprey spirali özel tasarlanmış 5-6 spiral dönüşten oluşmaktadır. Yukarıdan suyla beslenen malzeme spiral içerisinde yoğunluğuna göre sınıflanmaktadır. Ağır taneler sürtünme kuvvetinin etkisiyle daha az hareket ederek merkeze yakın kalırken, hafif taneler suyla beraber dış kısımlara doğru dizilirler. Spiralin alt kısmında bulunan ayırıcı bıçaklar sayesinde temiz kömür ve artık ayrılır. Şekil 3.4’de Humprey spiralinin çalışma prensibi gösterilmiştir.



Şekil 3.3 Humprey spirali

3.1.3 Toz Kömürlerin Flotasyon Yöntemiyle Zenginleştirilmesi

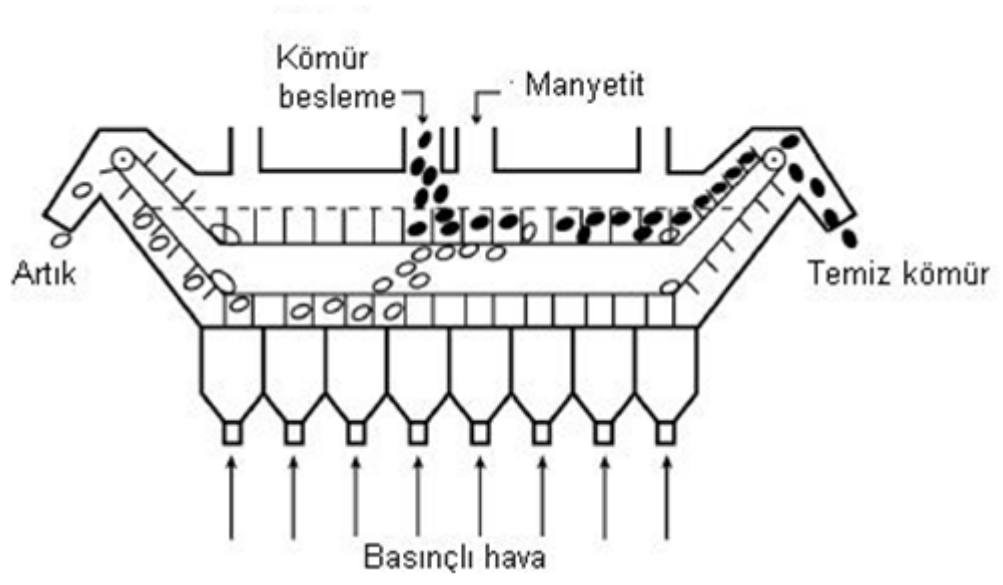
Flotasyon yöntemi 0,5 mm kömürlerin zenginleştirilmesinde kullanılmaktadır. Temiz kömür yüzeyinin hidrofob özellik göstermesi, yani kömürün doğal yüzebilirliğe sahip olması, kömürün flotasyon yöntemiyle zenginleştirilmesini kolaylaştırmaktadır. Flotasyon yöntemiyle 0,045 mm altı kömürlerden süper düşük küllü (%4'ün altında) temiz kömür üretmek mümkündür. Kömürde en çok kullanım alanı bulan yöntemler kolon ve Jameson flotasyon sistemleridir (Kural, 1988).

Kömür flotasyonunda, kömürün kimyasal ve petrografik yapısı, cinsi, tane iriliği, pülp yoğunluğu, pH ve su karakteristiği, reaktif cinsi ve miktarı flotasyona etki eden parametrelerdir. Kemal ve Arslan (2014), değişik kömür cinsleri ve türlerinin farklı flotasyon özelliği gösterdiğini belirtmektedir;

- Koklaşma özelliği olan orta uçuculu kömürler, en iyi flotasyon özelliğine sahiptir.
- Yüksek uçucu madde içeren taş kömürleri, düşük uçucu madde içerenlere göre daha zor flote edilirler
- En zor flote edilen kömürler linyitlerdir (Kemal ve Arslan,2014)

3.2 Kuru Zenginleştirme Yöntemleri

Kuru ayırma yöntemlerinin büyük çoğunluğu ayırma kuvvetlerini oluşturmak için hava akımını kullanmaktadır. Bu pnömatik yöntemler, havalı ağır ortam aygıtları, hava masaları ve hava jigi olarak gruplandırılabilir. Kuru ayırma yöntemlerinin avantajları, çıkan ürünün susuzlandırılmasına gerek duyulmaması ve yaş ayırmaya göre işletme masraflarının az olmasıdır. Ancak, kuru ayırma yapılabilmesi için kömürün dar tane sınıfında ve kuru olması gerekmektedir. Ayrıca yaş yöntemlerle karşılaştırıldığında ayırma verimi daha düşüktür. Bu nedenlerden kuru yöntemler fazla kullanılmamaktadır.



Şekil 3.4 Ağır ortam esaslı kuru zenginleştirme

BÖLÜM DÖRT

KÖMÜR SUSUZLANDIRMA YÖNTEMLERİ

Genel olarak kömür susuzlandırma yöntemleri mekanik ve termal olmak üzere ikiye ayrılmaktadır.

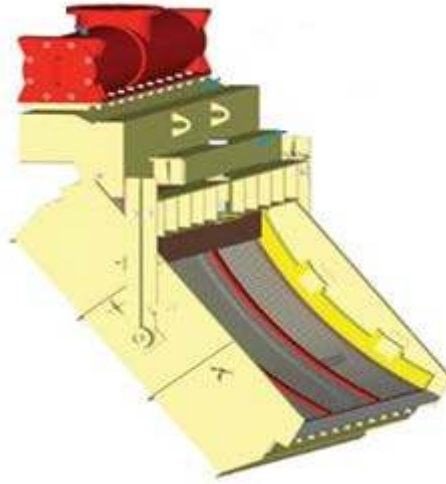
4.1 Mekanik Yöntemler

4.1.1 Elekler

Elekler sınıflandırma işleminde kullanılabildiği gibi susuzlandırma işlemlerinde de kullanılabilirler. Susuzlandırmada kullanılan elekler, genel olarak hareketli ve hareketsiz olarak ikiye ayrılabilirler. Hareketsiz eleklerden en çok kullanılanı sieve bends denilen kavisli eleklerdir.

Kavisli elekler yüksek performans ve kapasiteleri nedeniyle susuzlandırmanın ilk aşamalarında kullanılmaktadır. Eleğin açısı 45-60 derece arasında, çapları 500-1500 mm ve enleri 250-1200 mm arasındadır. Besleme yukarıdan eleğe teğetsel olarak yapılmaktadır. Malzeme besleme hızı 3-8 m/s arasındadır ve bu hız çıkışa doğru azalır. Hız azaldıkça malzeme sıkışarak kek oluşturmaya başlar. Malzeme sıkıştıkça suyun bir kısmını uzaklaştırılır ve oluşan kek sayesinde elek açıklığından daha ince malzemelerin suyla beraber elek altına gitmesi önlenir.

Beslenen malzemenin katı oranı %20'yi aşmamalıdır. Aksi takdirde malzemenin yoğunluğu, elek yüzeyinden süzülmesini etkiler ve bu da performansı düşürür. Bu eleklerle performansı artırmak için titreşim mekanizması eklenebilir. Genellikle en iyi ayırma %10 katı oranında elde edilmektedir. Eğik eleklerde susuzlandırılan kömürün nem oranı tane boyutuna bağlı olarak %30-60 arasındadır.



Şekil 4.1 Sieve bends şematik görünüşü

Elliptex susuzlaştırıcı adı verilen titreşimli elekte, malzeme eleğe eliptik olarak beslenir. Elek üzerinde, kıyılarından 70 derece eğimli ve 30 mm yüksekliğinde 1 m aralıklarla yerleştirilmiş bir set bulunur. Kömür taneleri, elek yüzeyi üzerindeki hareketleri esnasında, bu setler tarafından yavaşlatılırlar ve sıkışma ile tabakalaşmaya maruz kalarak suyun çoğundan kurtulurlar. Uygulamalarda genellikle besleme tane boyutu 20 mm ile 0,5 mm arasındadır fakat, bazı uygulamalarda derin bir yatak oluştuğunda 0,2 mm boyutuna kadar taneler yatak tarafından tutulabilmekte ve kazanılmaktadır (Svarovsky, 2000).

Derrick susuzlandırma ünitesi (Şekil 4.2), 100 mm çaplı hidrosiklonlardan ve altında bulunan doğrusal hareketli elek ünitesinden oluşmaktadır. Hidrosiklonlar 2,5 bar ile 2,8 bar arasında çalışmaktadır. İnce taneler alt akımdan %55 ile %60 arasında katı oranıyla alınıp elek ünitesine beslenir.

Derrick HI-G Dryer susuzlandırma ünitesi, 2,5 hp gücünde 1750 dev/dk dönüş hızına ve 5 mm genliğe sahip iki adet elektromekanik titreştiriciye sahiptir. Dönüş hızı ve genliğin birleşimiyle elek yüzeyinde 7,3 G'lik bir kuvvet oluşur ve bu kuvvet ince tanelerden suyun verimli bir şekilde uzaklaştırılmasını sağlar. Susuzlandırılan katılar susuzlandırma ünitesi çıkışında %75 ile %80 arasında katı oranına sahiptirler. Böylece katılar direk olarak stoklanabilir veya taşınabilir hale gelirler.



Şekil 4.2 Derrick HI-G Dryer susuzlandırma ünitesi

4.1.2 Santrifüjler

Santrifüjler katı-sıvı ayırımını sağlamak için yüksek yerçekimi kuvvetleri oluştururlar. Bu makineler, kömür ve mineral tanelerini kısa sürede susuzlandırabilir ve sürekli olarak çalışabilirler. Dezavantajı ise yüksek bakım maliyetleri ve ince tanelerin atılmasıdır. İri boyutta (0,5-37,5 mm) ve ince boyutta (0-0.5 mm) çalışabilirler. İri boyutta kömür susuzlandırmada elekli sepet tipi (perforated basket) santrifüjler kullanılmaktadır. İnce boyutta ise çanak tipi (solid bowl, screen bowl) santrifüjler kullanılır.

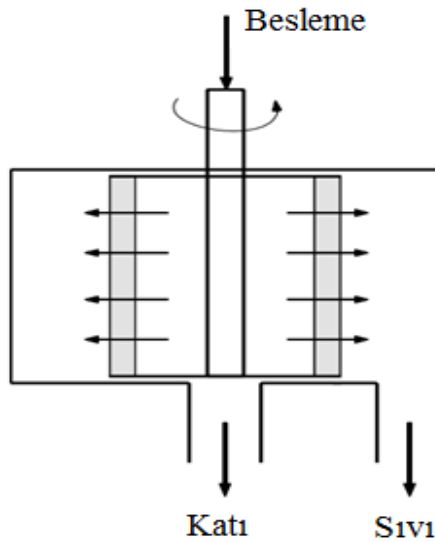
Santrifüj gövdesi tambur veya silindir şeklindedir. Katı tanelerden ve sudan oluşan bir süspansiyon santrifüje beslendiğinde, özgül ağırlık farkından dolayı, ağır ve büyük taneler hızlı bir şekilde santrifüj sepetinin yüzeyinde tabakalanır. Bu sırada daha hafif olan su da katı tanelerin yüzeyinde bir film tabakası oluşturur. Katı tanelere dönen sepetin kuvveti ve suyun basıncı etki etmektedir. Suyun oluşturduğu film tabakası filtrasyon işlemlerindeki gibi katı tanelerin arasından geçer ve zamanla tane yüzeyindeki kılcal boşluklar havayla temas etmeye başlar.

Santrifüjde susuzlandırma işleminin verimi sepetin büyüklüğüne, dönüş hızına ve sepet yüzeyinde oluşan kekin kalınlığına bağlıdır. Sepet boyutları büyüdüğünde, katı taneler üzerinde oluşan dönen sepetin kuvveti ve suyun basıncı artmaktadır. Fakat bu basınçların artmasıyla bakım masrafları da genellikle artmaktadır. Kek kalınlığı

arttığında ise basınç düşmektedir. Basınç düştükçe kılcal boşluklardaki suyun çıkması zorlaşır. Bu nedenle kek kalınlığı arttıkça çıkan malzemenin nem oranı da artmaktadır.

Kömür ve diğer minerallerin zenginleştirilmesinde, ayırım genellikle su kullanılarak yapıldığından, ürünleri satmadan veya stoklamadan önce susuzlandırma işlemlerinin yapılması gerekmektedir. Bu nedenle elekli ve eleksiz sepet tipi santrifüjler cevher zenginleştirme tesislerinde geniş bir kullanım alanına sahiptirler. Eleksiz sepet tipi santrifüjler genellikle 1 mm üstü malzemeyi susuzlandırmak için kullanılırken daha ince taneler için elek sepet tipi santrifüjler kullanılmaktadır. Elek sepet tipi santrifüjler geleneksel vakum filtreler göre daha düşük nemli malzeme üretebilirler çünkü ince boyutlu malzemeler suyla beraber atılabilmektedir. İnce boyutlu tanelerin atılmasıyla nem oranı azaltılabilir fakat genellikle ince malzemenin atılması istenmemektedir.

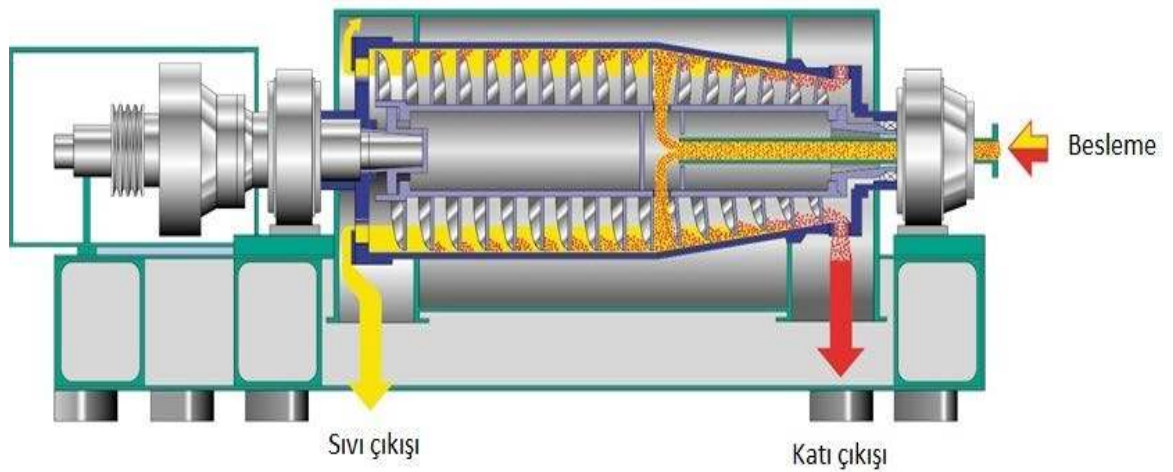
Sepet tipi santrifüjlerde, dönen bir sepet vardır (Şekil 4.3). Katılar bu sepet tarafından tutulurken sıvı geçer ve devamlı olarak dışarı atılır. Katılar ise sepetin içine yerleştirilmiş olan bir bıçak yardımıyla aralıklı olarak alınır. Diğer santrifüj tiplerine göre daha kuru malzeme elde edilebilir.



Şekil 4.3 Susuzlandırma santrifüjü görünüşü

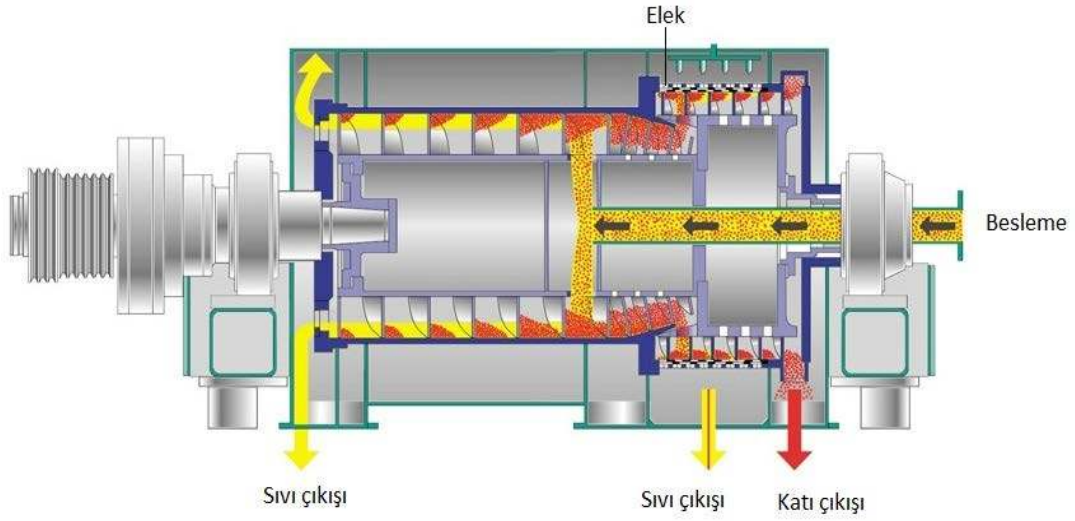
Çanak tipi santrifüjler gövdesi elekli olan screen bowl ve eleksiz solid bowl olarak ikiye ayrılırlar.

Gövdesi eleksiz (solid bowl) santrifüj bir tane içte ve bir tane de dışta olmak üzere iki dönen üniteye sahiptir ve bu üniteler bir motorla kontrol edilmektedir. Dönen kısımlar değişik hızlara sabittir. Dönüş sırasında sabit bir boru yardımıyla pülöp santrifüje beslenir ve katı taneler çökelmeye başlar. Katılar çökeldikten sonra taşıyıcı kanatlar yardımıyla katı taneler sürekli olarak çıkışa doğru itilirken su da ters yönde sistemi terk eder (Şekil 4.4).



Şekil 4.4 Eleksiz çanak tipi (solid bowl) santrifüj

Gövdesi elekli (screen bowl) santrifüjler de gövdesi eleksiz santrifüjlerle benzer çalışma mekanizmasına sahiptirler. Aralarındaki fark ise screen bowl santrifüjlerin içersinde ince boyutlu bir elek bulunmasıdır ve bu elek suyun geçmesine izin verir (Şekil 4.5). Elek yüzeyi sayesinde bu santrifüjlerde daha fazla susuzlandırma sağlanmaktadır. Kıl gibi malzemeleri suyla birlikte atarak düşük kül oranı elde etmek mümkündür. Diğer susuzlandırma ünitelerine göre %3-6 arasında daha az nem ve kül içeren ürün elde edilebilir.

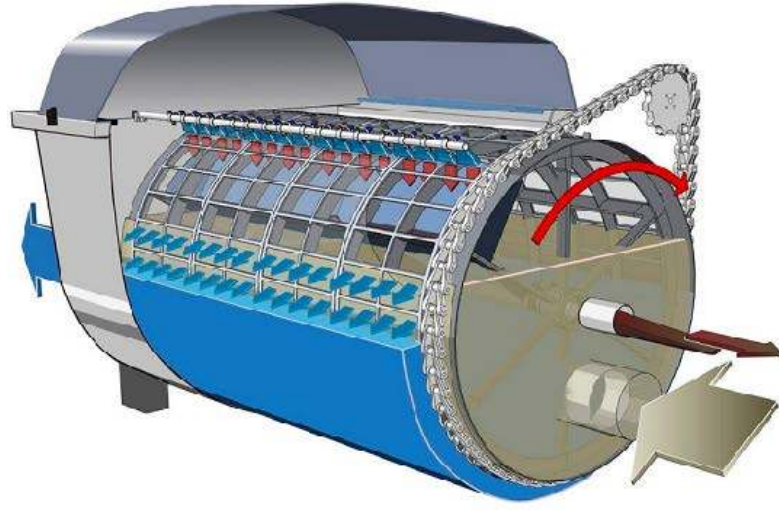


Şekil 4.5 Elekli çanak tipi (screen bowl) santrifüj

4.1.3 Filtreler

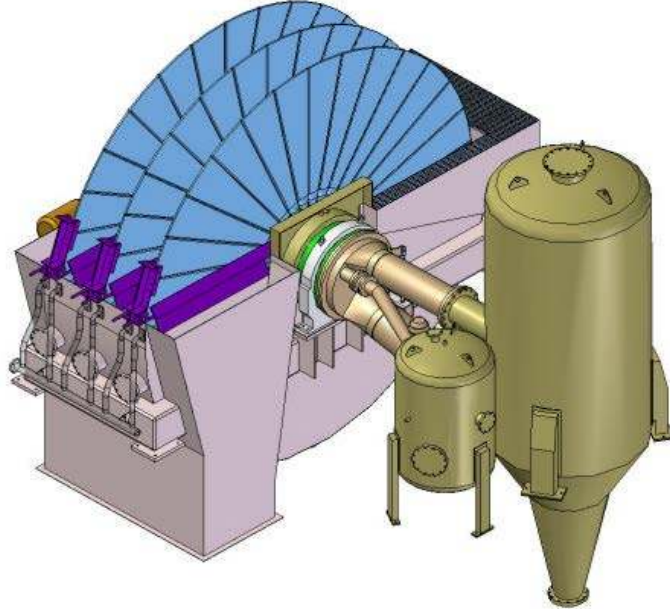
Filtrasyon işlemi ya basınç altında suyun partiküllerin arasından uzaklaştırılması, ya da basınçlı hava ile nemin taneler arasından itilmesi şeklinde yapılmaktadır. Endüstride genellikle vakum filtreler ve basınçlı filtreler kullanılmaktadır.

Genel olarak kullanılan üç tür vakum filtre vardır. Bunlar tambur tipi, disk tipi ve bantlı filtrelerdir. Kömür ve diğer mineraller için en yaygın kullanılanı tambur filtredir. Tambur filtre silindirik bir gövdeye sahiptir ve bu gövde çamur havuzunun içinde yer almaktadır. Tambur yüzeyinde tamburla beraber dönen bir filtre malzemesi vardır. Tamburun hızı 0.1-3 dev/dk arasındadır. Tambur çamur havuzuna girdiğinde uygulanan vakumla malzeme filtre yüzeyine emilir, buna kek oluşma süreci denir. Tambur döndükçe kek tabakası susuzlanmaya devam eder. Oluşan kek bıçaklar ya da havalı bir sistemle tamburdan uzaklaştırılır. Sonrasında tambur yüzeyi yıkama suyuyla temizlenir ve döngü tamamlanmış olur (Şekil 4.6).



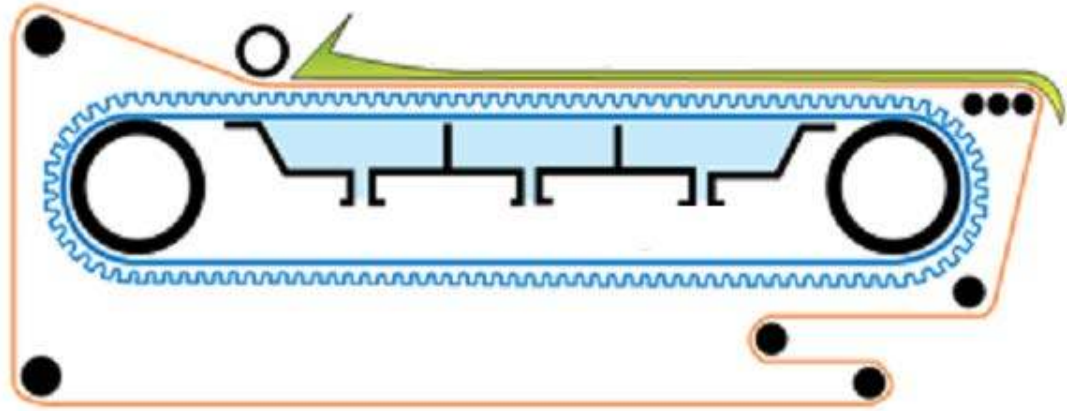
Şekil 4.6 Tambur tipi filtrenin şematik görünüşü

Disk filtreler, tambur filtrelerle benzer çalışma mekanizmasına sahiptirler. Aralarındaki fark ise disk filtrelerde yatay şafta bağlı şekilde dikey disklerin bulunmasıdır. Disk süspansiyon içindeyken malzeme vakumla emilir ve disk yüzeyinde kek tabakası oluşur. Kek oluşuktan sonra bıçaklar veya hava üfleyicilerle kek alınır (Şekil 4.7).



Şekil 4.7 Disk filtrenin şematik görünüşü

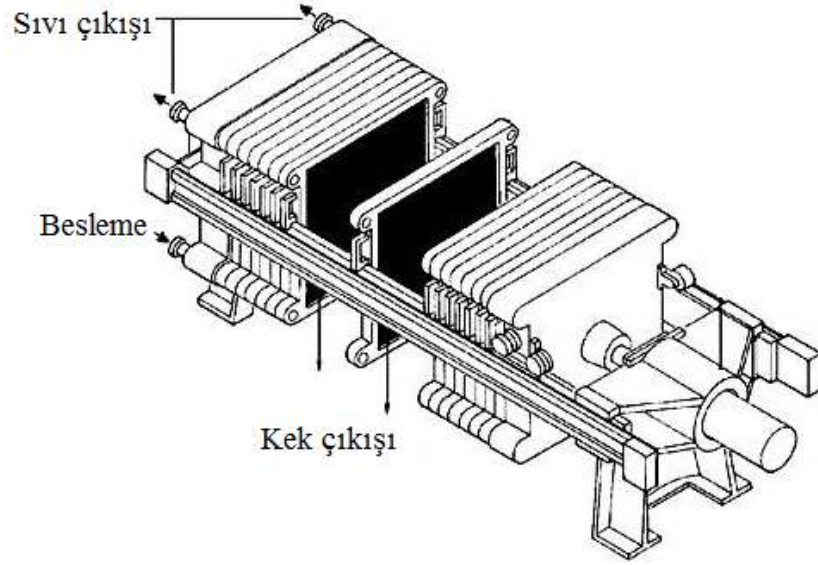
Bantlı filtrelerde sonsuz bir elekli kauçuk üzerine filtre malzemesi yerleştirilmiştir. Bant hareket ederken alt taraftan vakum uygulanır ve bandın bir ucundan malzeme verilirken diğer ucundan kek tabakası alınır. Düşük maliyeti ve düşük katı oranlarıyla çalışabilmesi nedeniyle tercih edilmektedir. Fakat çıkan malzemenin nem oranı diğer vakum filtrelere oranla daha fazladır (Şekil 4.8).



Şekil 4.8 Bantlı Filtrenin şematik görünüşü

Basınçlı filtreler, hava veya hidrolik basınçlarla çalışmaktadır. En sık kullanılanları pres filtreler ve odalı pres filtrelerdir. Bu ünitelerde basınç arttıkça, daha düşük nem oranı elde edilmektedir. Sürekli olarak çalışmaları zor olduğu için kesikli olarak çalışırlar. Tesislerde kapasiteyi arttırmak için iki paralel filtre kullanılır. Bir filtre susuzlandırma yaparken, diğer filtre ise boşaltılmaktadır.

Pres filtreler, tabaka, çerçeve ve filtre malzemesinden oluşmaktadır. Önce plakalar sıkıca kapatılır, pülp boş çerçevelere dökülür ve sonrasında hidrolik pistonlarla basınç uygulanır. Filtreleme periyodu bitince çerçevelerdeki basınç tek tek kaldırılır ve kek alınır. Son olarak çerçeveler tekrar kapatılır ve aynı şekilde tekrarlanır (Şekil 4.9).



Şekil 4.9 Basınçlı filtre şematik görünüşü

Odalı pres filtreler, pres filtrelerle aynı çalışma mekanizmasına sahiptirler. Aralarındaki tek fark plakaların ortasında bir delik bulunması ve bu deliğin filtre malzemesiyle kaplanmış olmasıdır. Bu filtreler nem oranını önemli oranda düşürmektedir ve termal kurutma maliyetlerinin azalmasını sağlamaktadır.

4.2 Termal Yöntemler

Susuzlandırma yöntemlerinin son aşaması ve en pahalı olanı kurutmadır. Farklı kurutuculara ait enerji sarfıyatı Tablo 4.1’de verilmiştir. Kurutma işlemlerinde konsantrenin içerdiği nem oranının tamamına yakınının uzaklaştırılması hedeflenir. Çıkan ürünün nem oranı ağırlıkça %5 civarındadır ve bu orandan az olduğu zaman toz problemleri ortaya çıkmaya başlamaktadır.

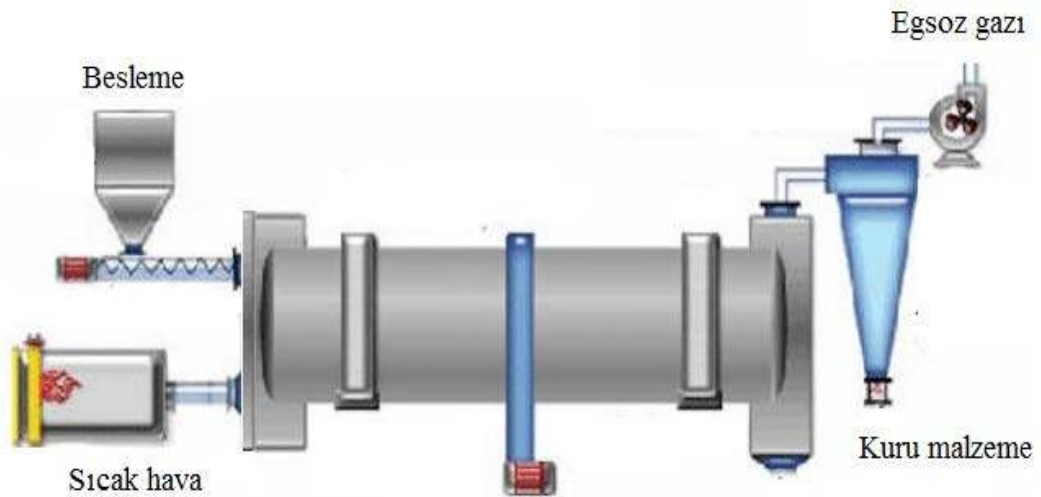
Tablo 4.1 Kurutucular ve harcanan enerjilerin karşılaştırılması (Wilson, 1992)

Kurutucu Tipi	Bir kg suyu uzaklaştırmak için harcanan enerji (Kj / kg H ₂ O)
Döner Kurutucu	3700
Pnömatik Kurutucu	3100
Akışkan Yataklı Kurutucu	3100 - 4000

Kurutma işlemi üç farklı şekilde olabilmektedir. Bunlar direkt, indirekt ve her ikisinin kombinasyonlarıdır. Direkt kurutma sıcak kurutma gazları ile kurutulacak malzemenin aynı ortam içerisinde karşılaştığı sistemlerdir. Endirekt kurutmada ise malzeme ve ısıtıcı gazlar arasında bir duvar bulunur. Endirekt kurutma, kimyasal olarak kurutma gazları ile tepkime verme riski olan malzemelerde uygulanır. Her iki metodun uygulandığı sistemlerde ise sıcak gazlar önce indirekt malzemeyi ısıtmakta ve bu ön ısıtmadan sonra malzeme ile direkt temasa geçerek kurutmayı sağlamaktadır.

Döner kurutucular, hafif eğime sahip bir silindirik gövdeden oluşmaktadır. Isıtma gazları direkt veya indirekt olarak malzeme ile aynı veya ters yönde verilebilir (Şekil 4.10).

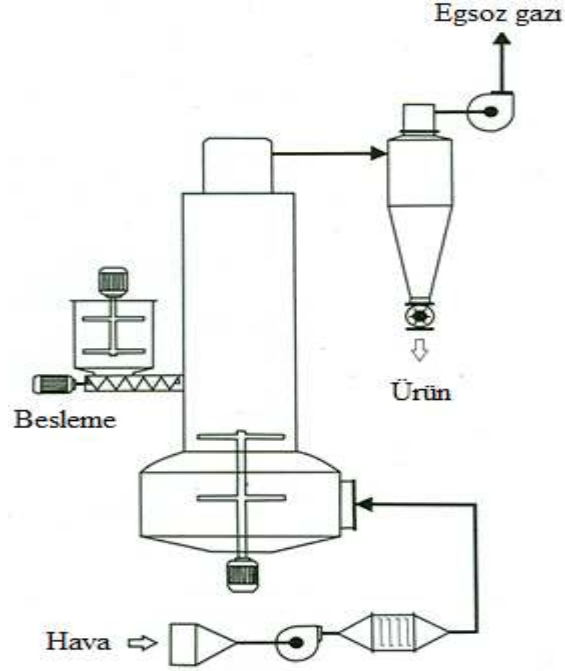
Flash kurutucularda, hava ısıtıcısında elde edilen sıcak gazlar, siklon üstündeki vantilatör ile emilerek, kurutma bölümüne beslenen kömür ile temasa geçirilir. Sıcak hava ile temasa geçen kömür kurumaktadır (Şekil 4.11).



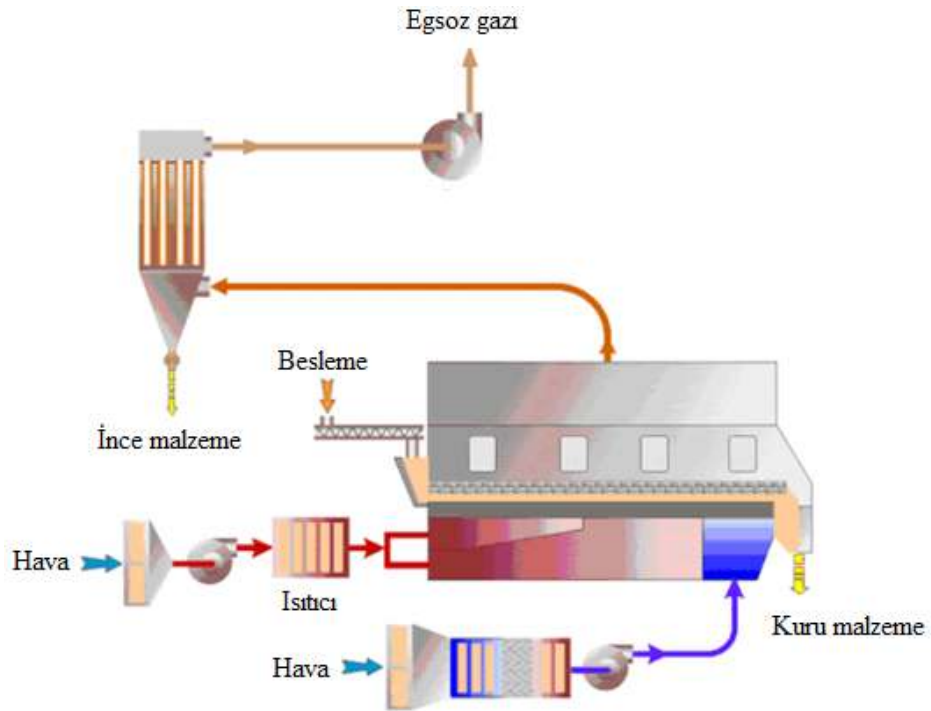
Şekil 4.10 Döner kurutucu şematik görünüşü

Akışkan yataklı kurutucular tabanı ızgaralı ve arasından sıcak gazın aşağıdan yukarı doğru üflendiği düşey bir silindirden oluşmaktadır. Kurutucu bölümüne

gönderilen gazın hızı, malzemenin akışkan bir süspansiyon şeklinde hareket etmesi için ayarlanır (Şekil 4.12).



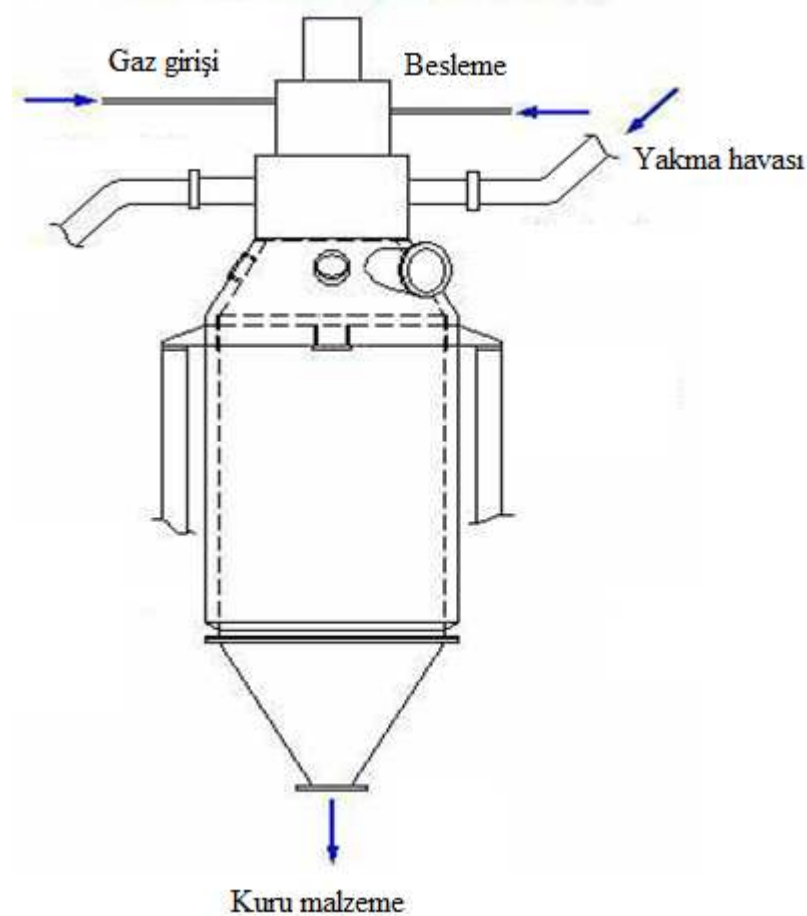
Şekil 4.10 Flash kurutucu şematik görünüşü



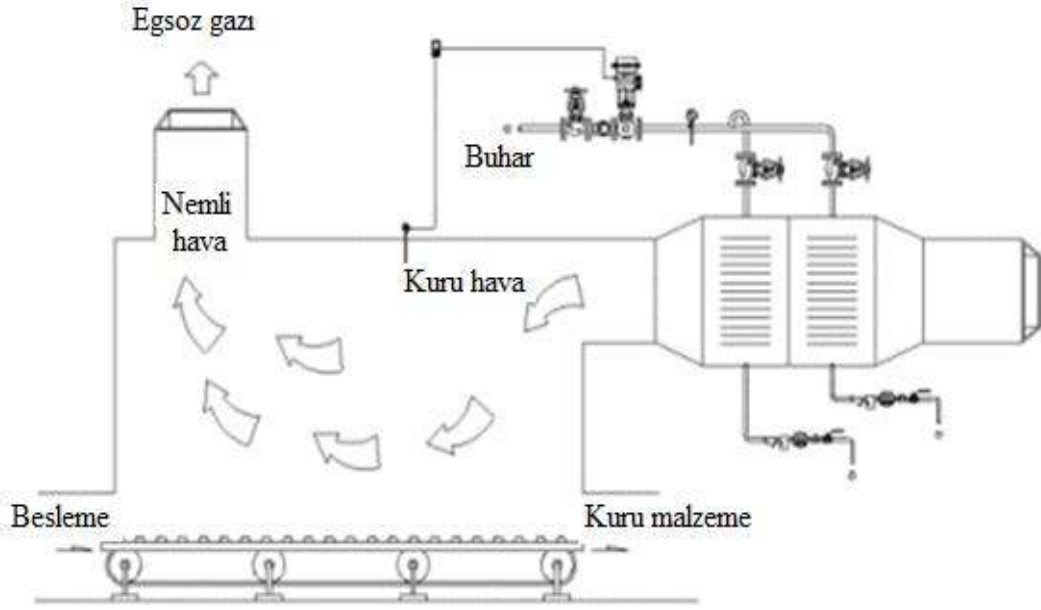
Şekil 4.12 Akışkan yataklı kurutucu şematik görünüşü

Sprey kurutucular, maden endüstrisindeki çeşitli tesislerde kullanılmaktadır. Bu kurutucular konvansiyonel kurutucuların sonrasında kullanılabilirler. Tek bir sürekli sistemde nem oranı %0,5'in altına indirilebilmektedir. Sprey kurutucular, tkiner alt akımından alınan malzeme direk sisteme beslenebilir, nem oranını çok düşük seviyelere getirir ve izabe tesislerindeki yakıt tüketimini azaltır. Nem oranları %3 ile %5 arasında olduğunda aniden yanabilen mineraller, sprej kurutucularda kurutulabilmektedir (Şekil 4.13).

Konveyör kurutucularda besleme bantla, titreşimli taşıyıcıyla veya helezonik taşıyıcılarla yapılmaktadır. Malzemeler yavaş bir şekilde kurutma odasına girer ve yaş malzeme çıkışa doğru ilerledikçe kurumaktadır (Şekil 4.14).

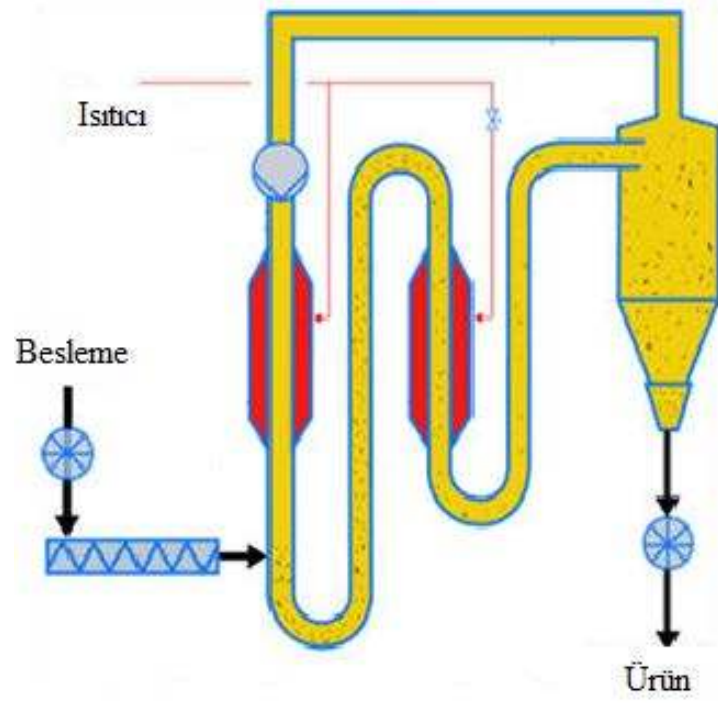


Şekil 4.13 Sprej kurutucu şematik görünüşü



Şekil 4.14 Konveyör kurutucu

Yüksek sıcaklıkta buharlı (Superheated steam) kurutucularda konvansiyonel yöntemlerde kullanılan sıcak hava yerine ısıtılmış buhar kullanılmaktadır. Bu kurutucuların en önemli yanı, çıkan gazlarında buhar olması ve tekrar kullanılabilmesidir. Sıcak hava kullanan kurutucularda ise çıkan gazları tekrar kullanmak için pahalı ve zor işlemler gerekmektedir. Bu nedenle sıcak hava kullanan kurutucularda, bir kg suyu uzaklaştırmak için 4000–600 kJ enerji harcanırken, buharlı kurutucularda 1000-1500 kJ enerji harcanmaktadır. Bu enerji farkı buharlı kurutucuların önemli özelliklerinden biridir. Şekil 4.15’de yüksek sıcaklıklı buharlı kurutucunun şematik görünüşü verilmiştir.



Şekil 4.15 Yüksek sıcaklıkta buharlı (Superheated steam) kurutucu

BÖLÜM BEŞ

REAKTİFLERİN SUSUZLANDIRMAYA ETKİSİ

Kömür susuzlandırmada kullanılan, cihazların özellikleri, reaktiflerin farklı konsantrasyonlardaki yüzey gerilimi, kömür yüzeyine ve nem oranına etkisiyle ilgili yapılan çalışmalar araştırılmıştır.

Dharmawardana ve diğer. (1993), tarafından iyonik reaktiflerin yüzey gerilimleriyle ilgili bir çalışma yapılmıştır. Deneylerde SDS, CTAB ve CPC reaktiflerinin yüzey gerilimler ölçülmüştür. Verilere göre her üç reaktifin çözelti içerisindeki konsantrasyonu arttıkça yüzey gerilimi değerlerinin düştüğü görülmektedir.

Singh (1997), tarafından ince boyutlu kömür susuzlandırmada reaktiflerin etkisi araştırılmıştır. Deneylerde anyonik reaktif olarak SDS ve katyonik reaktif olarak DAB denenmiştir. Deneylerde vakum filtre kullanılmış ve sonuçlara göre SDS ilavesi nem oranında önemli bir düşüşe neden olmuştur. Reaktif ilavesi yapılmayan deneylerde nem oranı %21 olarak bulunmuştur. 80 g/t SDS ilavesi ile nem %11'e ve 80 g/t DAB ilavesi ile nem %18'e düşürülmüştür. Nem oranındaki düşüşle yüzey gerilimi değerleri arasında direk bir orantı olduğu vurgulanmıştır.

Başım (1997), kömürün santrifüjle susuzlandırılması ile ilgili yaptığı araştırmada Pittsburg kömürlerini test etmiştir. Deneylerde Virginia Tech'de geliştirilen reaktifler kullanılmıştır. Kömür numunesin yüksek kül oranına sahip olduğu belirtilmiş ve reaktif ilavesiyle nem oranında %2'lik bir düşüş gözlenmiştir. Aynı çalışmada daha düşük kül oranına sahip kömürler denenmiş ve nem oranının %4 ile %5 arasında düştüğü belirlenmiştir. İnce kömür susuzlandırmada kullanılan santrifüj ve vakum filtre yöntemlerinde yüksek kaliteli kömür kullanıldığında reaktiflerin başarılı olduğu belirtilmiştir.

Singh ve diğer. (1998), tarafından yapılan çalışmada temiz kömürün reaktiflerle vakum filtre kullanılarak susuzlandırılması araştırılmıştır. Deneylerde katyonik reaktif olarak CTAB, anyonik reaktif olarak SLS ve noniyonik reaktif olarak TX-100

ile PEO kullanılmıştır. En düşük nem oranı bir miktar flokülant ve CTAB kullanılarak elde edilmiş ve nem oranı %21'den %11,7'ye düşürülmüştür. Yapılan çalışmada yüzey geriliminin, nem oranının azaltılmasında tek başına etkili olmadığı belirtilmiştir.

Mishra (1988), vakum filtrelerde flokülant kullanarak daha düşük nemli ürün elde etmeye çalışmıştır. Flokülantlar, santrifüjde kullanılmış fakat flokülant bağlarının zayıflığından dolayı deneylerde önemli bir başarı elde edilememiştir. Mishra'ya göre santrifüjlerdeki yüksek kuvvetler, flokülant bağlarının susuzlandırmaya etki edemeden kopmasına neden olmaktadır. Santrifüjlerde flokülantlar etkili olarak kullanılmamasına rağmen, fuel-oil kullanılabilir. Fuel-oil kömür yüzeyine adsorbe olarak susuzlandırmaya yardımcı olmaktadır.

Asmatulu (2001), tarafından yapılan çalışmada, santrifüjle susuzlandırma olanakları incelenmiştir. Farklı hızlar, süreler, kek kalınlıkları ve reaktif ilaveleri denenerek yüzey neminin azaltılması araştırılmıştır. Batı Virginia kömürleri üzerinde yapılan deneylerde reaktif ilavesi olmadan nem oranı %20 olarak bulunmuştur ve reaktif ilave edildiğinde nem oranı %16,9'a düşürülmüştür. Aynı çalışmada basınçlı hava kullanıldığında, reaktif ilavesi olmadan nem oranı %9,3 olarak ve reaktif ilave edildiğinde nem oranı %6,1'a düşürülmüştür.

Svitova ve diğer. (2003), tarafından yapılan çalışmada çeşitli reaktiflerin yüzey gerilimleri verilmiştir. CTAB kullanılan deneylerde reaktif miktarı arttıkça yüzey geriliminin düştüğü görülmektedir.

Burat (2003), tarafından yapılan çalışmada ince boyutlu kömürlerin susuzlandırılmasında titreşim mekanizmasının ve reaktif ilavesinin etkisi araştırılmıştır. Deneylerde SDS, CTAB, Umectane B-70 ve Kerosen kullanılmıştır. Yapılan deneylerde 5g/t CTAB ilave edildiğinde, reaktif ilavesi olmayan deneylere göre nem oranı yaklaşık %1 daha az bulunmuştur.

Eraydın (2009), tarafından Smith Branch bölgesine ait kömürlerde yapılan çalışmada, vakum disk filtre kullanılarak nem oranı azaltılmaya çalışılmıştır. Susuzlandırılacak kömürün temas açısını arttırmak için dizayn edilen reaktifler kullanılmıştır. Nem oranı %26'dan 0,23 kg/t reaktif ilavesiyle %20'ye ve 0,45 kg/t reaktif ilavesiyle %17,5'e düşürülmüştür.

Parekh (2009), ince boyutlu (-0,15 mm) kömürün susuzlandırılması için genellikle santrifüj ve filtrelerin kullanıldığını belirtmiştir. Elekli ve eleksiz santrifüjlerin her ikisinde kömür susuzlandırmada verimli olmaktadır. Elekli santrifüjlerin düşük nemli kömür üretiminde daha verimli olduğunu çünkü daha ince kömür tanelerinin eleklerden geçerek atılmasından kaynaklandığını belirtmiştir. Vakum filtrede yaptığı deneylerde reaktif ilavesi olmadan nem oranını %35, 20kg/t anyonik ve katyonik reaktif karışımı kullanıldığında nem oranını %25 olarak bulmuştur.

BÖLÜM ALTI

DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Deneysel çalışmalarda, ince boyutlu kömürlerin yüzey özelliklerinin ve kullanılan yüzey aktif maddelerin susuzlandırmaya etkisi araştırılmıştır. Bu çalışmada elek sepet tip santrifüj kullanılmıştır. Öncelikle santrifüjün susuzlandırma süresi, hızı gibi parametreler denenmiş ve optimum sonuçlara ulaşılmıştır. Sonra kullanılan yüzey aktif maddelerin farklı dozajlardaki yüzey gerilimleri ve kömürle yaptığı temas açıları ölçülmüştür. Elde edilen optimum santrifüj parametreleri ile farklı yüzey aktif maddeler farklı dozajlarda denenmiş ve sonuçlar irdelenmiştir. Yapılan deneyler sonucunda en düşük nem oranına ulaşmaya çalışılmış ve bu hedef doğrultusunda kullanılan yüzey aktif maddelerin ve kömür özelliklerinin susuzlandırmaya etkisi gözlemlenmiştir.

6.1 Malzeme ve Yöntem

6.1.1 Deneylerde Kullanılan Numunelerin Alınması ve Hazırlanması

Deneylerde Soma Eynez Bölgesi kömürlerinden parça şeklinde alınmış temiz kömür örnekleri kullanılmıştır. Numuneler laboratuvar tipi çeneli kırıcı kullanılarak tamamı -10 mm olana kadar kontrollü bir şekilde kırılmıştır.

6.1.2 Numune Özellikleri

Tesisten alınıp laboratuvarda -10mm'ye kırılan malzemeden numuneler alınarak tane boyut dağılımı ve nem içeriği belirlenmiştir.

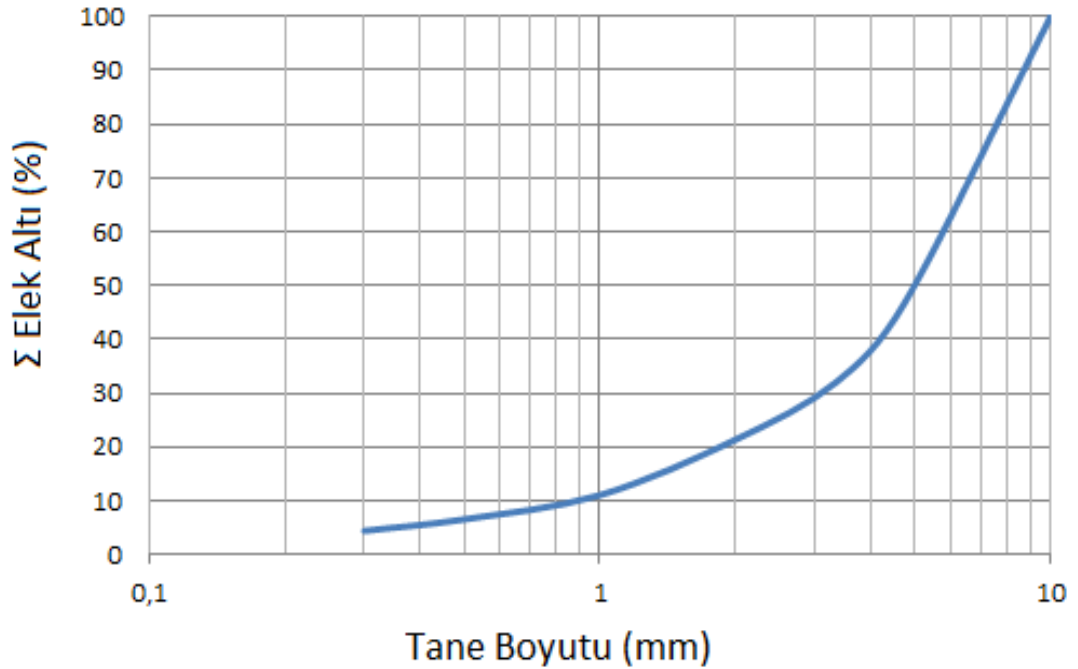
Tane boyut dağılımını belirlemek amacıyla yaş elek analizi yapılmıştır. Elek analizi sonuçları Tablo 6.1'de verilmiştir.

Nem oranını belirlerken, tüvenan cevher numunesinin nem oranına, numunenin suda bekletilip süzildükten sonraki nem oranına ve suda bekletilip atmosfer koşullarında kurumaya bırakıldığındaki nem oranları belirlenmiştir. Nem oranları ölçümlerinde Radwag MAC 210 hızlı nem tayin cihazı kullanılmıştır. Nem oranları Tablo 6.2'de verilmiştir.

Tablo 6.1 Elek analizi sonuçları

Tane Boyutu (mm)	Ağırlık (%)	Σ Elek Altı	Σ Elek Üstü
10 - 4,76	53,04	100,00	53,04
4,76 - 3,35	14,88	46,96	67,91
3,35 - 2	10,74	32,09	78,65
2 - 1	10,31	21,35	88,95
1 - 0,5	4,49	11,05	93,45
0,5 - 0,3	2,16	6,55	95,60
-0,3	4,40	4,40	100,00
Toplam	100,00		

Yapılan elek analizi sonuçlarına dayanarak tane boyutuna göre elek altı eğrisi çizilmiştir (Şekil 6.1). Malzemenin %80' inin geçtiği elek açıklığı 7,5 mm olarak belirlenmiştir.

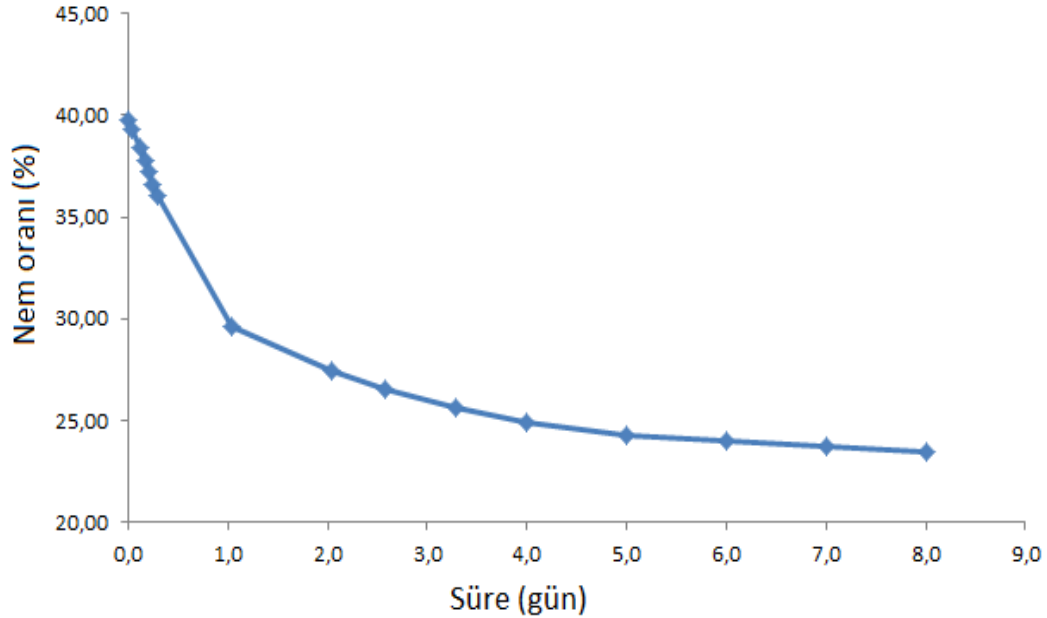


Şekil 6.1 Tane boyutuna göre elek altı eğrisi

Tablo 6.2 Numunenin nem analizleri

	Nem oranı (%)
Kaba nem	4,18
Higroskopik nem	18,53
Yaş numune	39,77

Kömürün nem oranının, mekanik susuzlandırma yöntemleriyle, hangi noktaya kadar düşürülebileceğini belirlemek için, bir miktar yaş numune alınarak atmosfer koşullarında kurumaya bırakılmıştır. Sabit tartıma gelinceye kadar gözlemlenmiş ve nem oranı %23,42 olarak bulunmuştur. Malzemenin zamana bağlı nem oranı Şekil 5.2’de verilmiştir. Bu değer kömürün laboratuvara geldiği haldeki toplam nemi ile kıyaslandığında (%22.71), kömür su ile temas ettirilip tekrar kurumaya bırakıldığında, atmosfer koşullarında, yine başlangıçtaki toplam nem değerine kadar kuruduğu görülmektedir. Ancak kömürün havada kuru nem değeri ile kıyaslandığında, yaklaşık %5 daha fazla nem olduğu görülmektedir. Buradan da görüleceği üzere bu tür bir kömür, yıkama işlemi sonucunda nem içeriğini %5 civarında artıracaktır.



Şekil 6.2 Yaş numunenin zamana bağlı nem oranı

Tesisten alınan numunelere DEÜ Maden Mühendisliği Bölümü Kimya Laboratuvarında kimyasal analiz yapılmış ve sonuçlar Tablo 6.3’de verilmiştir. Toplam kükürt ve toplam karbon için ELTRA karbon kükürt analiz cihazı kullanılmıştır. Analiz sonuçları havada kuru bazda verilmiştir.

Tablo 6.3 Kimyasal analiz sonuçları

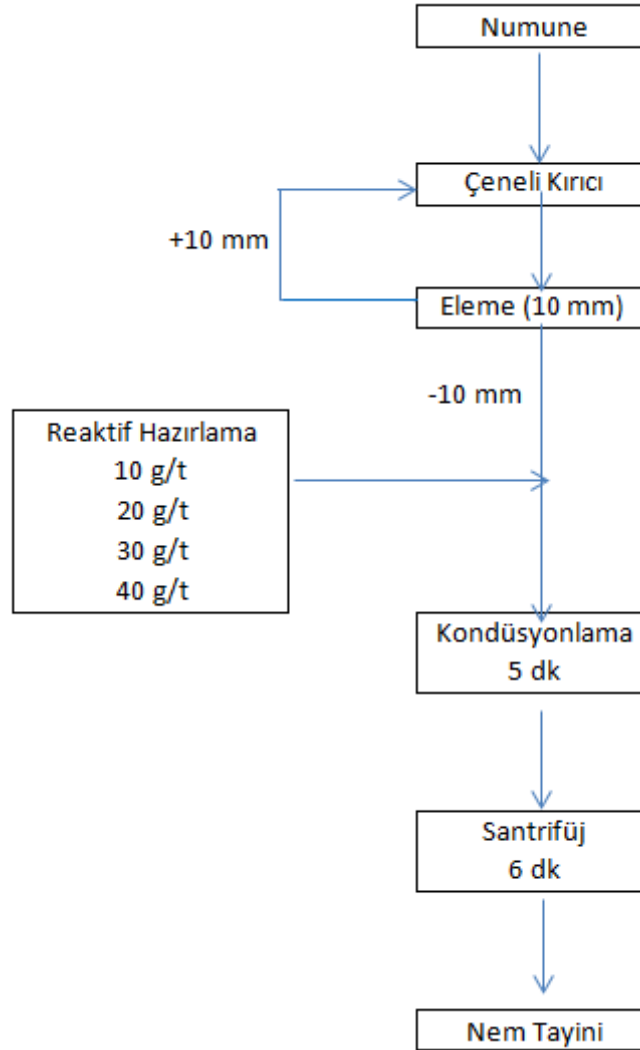
Üst ısı değeri (kcal/kg)	4511
Alt ısı değeri (kcal/kg)	4221
Kül (%)	12,32
Toplam karbon (%)	49,64
Toplam kükürt (%)	0,75
Uçucu madde (%)	35,16

Analiz sonuçlarına bakıldığında, bu çalışmada kullanılan numune ASTM standartlarına göre yarı bitümlü kömür olarak tanımlanmıştır.

6.1.3 Yöntem

Çalışmalarda, ince boyutlu kömürlerin susuzlandırılması için santrifüj kullanılmıştır. Susuzlandırmada kullanılan yüzey aktif maddelerin susuzlandırmaya etkisini araştırmak için yüzey gerilimi ve temas açısı ölçümleri alınmıştır. Malzeme öncelikle çeneli kırıcıda kırıldıktan sonra 10 mm’den elenmiştir ve elek üstü tekrar çeneli kırıcıya beslenmiştir. Bu şekilde deneylerde kullanılacak malzemenin tamamı -10 mm boyutuna indirilmiştir. Kömür yüzey özelliklerinin hızlı bir şekilde değiştiği bilindiğinden, bu kırma işlemi susuzlandırma işlemlerinin hemen öncesinde yapılmıştır ve böylece yeni oluşan yüzeylerin havayla teması minimize edilmiştir. Kırılan numune önceden farklı konsantrasyonlarda hazırlanan reaktiflerle 5 dakika boyunca muamele edilmiş ve santrifüje beslenmiştir. Belirlenen optimum santrifüj parametrelerinde deneyler yapılmış ve hızlı nem tayin cihazıyla kömürün nem oranlarına bakılmıştır. Kömürün yüzey nemi atmosfer koşullarında uzaklaştığı

bilindiğinden santrifüj sonrası alınan numunelerin nem analizleri hızlı bir şekilde yapılmıştır. Şekil 6.3’de deneylerde uygulanan yöntemlerin akım şeması verilmiştir.



Şekil 6.3 Deney akım şeması

6.2 Deneylerde Kullanılan Reaktifler ve Cihazlar

6.2.1 Reaktifler

Literatürde kömür susuzlandırma için kullanılan reaktiflerin bir kısmı bu çalışmada denenmiştir. Deneylerde kullanılan reaktifler ve temin edilen firmalar Tablo 6.4’de belirtilmiştir.

Tablo 6.4 Deneylerde kullanılan reaktiflere ait bilgiler

Reaktif Adı	Kimyasal Bileşimi	Üretici Firma	Tür
SDS	Sodium Dodecyl Sulfate	Merck	Anyonik
CTAB	Cetyl Trimethyl Ammonium Bromide	Alfa Aesar	Katyonik
IGEPAL - 630	Octyl Phenoxy Polyethoxy Ethanol	Alfa Aesar	Noniyonik
CPC	Cetyl Pyridinium Chloride	Alfa Aesar	Katyonik

6.2.2 Cihazlar

Farklı dozajlarda hazırlanmış reaktiflerin yüzey gerilimin ölçülmesinde KV Sigma 701 gerilimölçer kullanılmıştır. Ölçümler oda sıcaklığında, standart ölçüm kabı ve platin halka kullanılarak alınmıştır. Temas açısı ölçümlerinde ise gonyometre kullanılmıştır.

Deneylerde elek sepet tipi santrifüj kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Çapı 147 mm ve elek açıklığı 0,3 mm olan bir sepetle, motor gücü 1 kw olan bir santrifüj kullanılmıştır. Santrifüjün devir sayısı en fazla 500 dev/dk'dır (Şekil 6.4).



Şekil 6.4 Deneyler kullanılan santrifüj cihazı

6.3 Temas Açısı Ölçümleri

Temas açısı ölçümleri için kömür numunesinden parlak kesit hazırlanmış ve ölçümler alınmıştır. Hazırlanan reaktifler ve saf su ile kömür arasındaki temas açısı ölçülmüştür. Ölçümler oda sıcaklığında yapılmış ve ölçüm sırasında yüzeydeki en az beş farklı noktadan açılar okunarak ortalaması hesaplanmıştır. Saf suyla yapılan deneylerde kömürle su arasındaki temas açısı 30° olarak bulunmuştur.

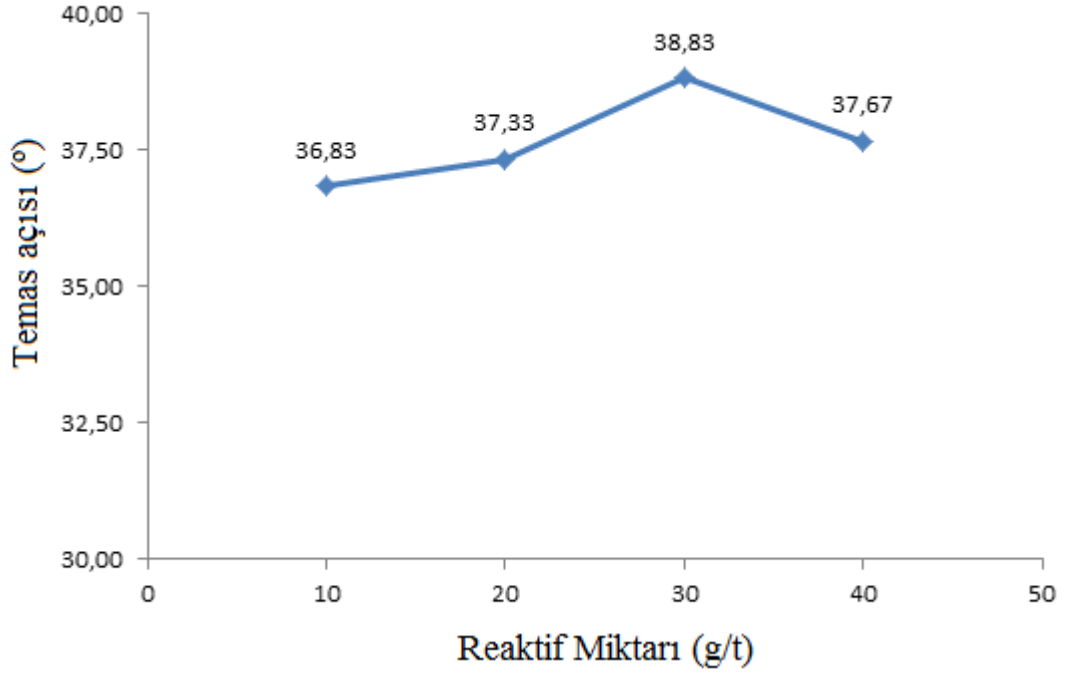
Daha önce yapılan çalışmalar incelendiğinde kömürle su arasındaki temas açısının artması, suyun kömür yüzeyinden daha kolay uzaklaşmasını sağladığı ve bu nedenle temas açısının artmasıyla nem oranının düşürüldüğü gözlemlenmiştir.

Sodium Dodecyl Sulfate (SDS), 10, 20, 30 ve 40 g/t konsantrasyonda hazırlanmış ve temas açısı değerleri ölçülmüştür. Sonuçlar Tablo 6.5’de verilmiştir.

Tablo 6.5 SDS dozajına bağlı temas açısı değerleri

Reaktif Miktarı (g/t)	Temas açısı (°)
10	36,83
20	37,33
30	38,83
40	37,67

Deneylerde en yüksek temas açısı değeri 30 g/t SDS ilavesi ile elde edilmiştir ve 38,83 derece olarak ölçülmüştür. Reaktif miktarına bağlı temas açısına bakıldığında (Şekil 6.5) temas açısı değerleri 30 g/t SDS konsantrasyonuna kadar artış göstermiş ve sonrasında düşmeye başlamıştır. Singh(1997) tarafından yapılan çalışmada ise temas açısının 80 g/t reaktif konsantrasyonuna kadar arttığı ve sonrasında düştüğü belirtilmiştir. Bu farklılığın nedeni kömürün mineralojik yapısının farklı olmasından kaynaklandığı tahmin edilmektedir



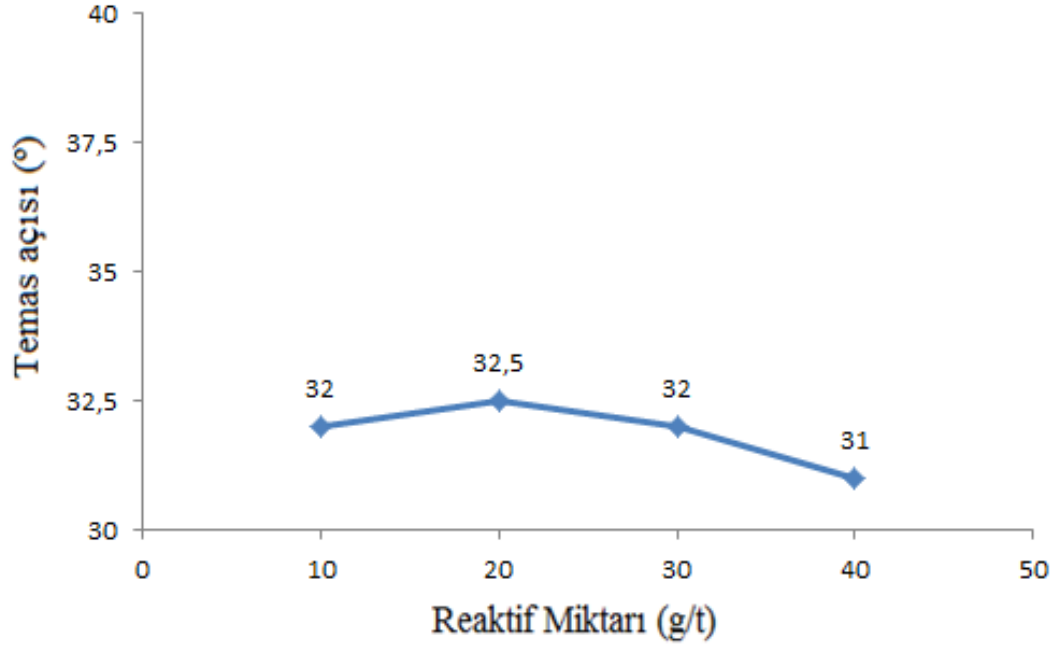
Şekil 6.5 SDS dozajına bağlı temas açısı eğrisi

Cetyl Trimethyl Ammonium Bromide (CTAB) farklı dozajlarda hazırlanmış ve temas açısı değerleri ölçülmüştür. Sonuçlar Tablo 6.6 ve grafiği Şekil 6.6'da verilmiştir.

Tablo 6.6 CTAB dozajına bağlı temas açısı değerleri

Reaktif Miktarı (g/t)	Temas açısı (°)
10	32
20	32,50
30	32,00
40	31,00

Deneylerde en yüksek temas açısı değeri 20 g/t CTAB ilavesi ile elde edilmiştir ve 32,5 derece olarak ölçülmüştür. Reaktif miktarına bağlı temas açısına bakıldığında (Şekil 6.6) temas açısı değerleri arasında büyük bir fark olmadığı görülmüştür. Değerler 20 g/t reaktif konsantrasyonuna kadar artış gösterirken sonrasında düşmektedir.



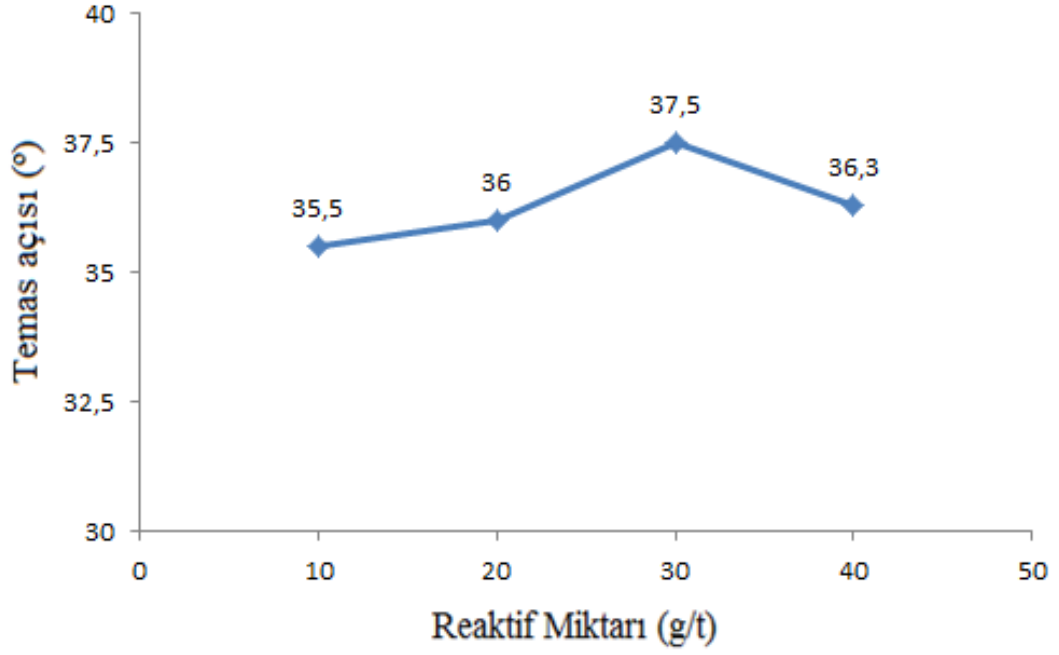
Şekil 6.6 CTAB dozajına bağlı temas açısı eğrisi

Octyl Phenoxy Polyethoxy Ethanol (IGEPAL – 630) farklı dozajlarda hazırlanmış ve temas açısı değerleri ölçülmüştür. Sonuçlar Tablo 6.7 ve grafiği Şekil 6.7’de verilmiştir.

Tablo 6.7 IGEPAL – 630 dozajına bağlı temas açısı değerleri

Reaktif Miktarı (g/t)	Temas açısı (°)
10	35,5
20	36,00
30	37,50
40	36,30

Deneylerde en yüksek temas açısı değeri 30 g/t IGEPAL – 630 ilavesi ile elde edilmiştir ve 37,5 derece olarak ölçülmüştür. Reaktif miktarına bağlı temas açısına bakıldığında (Şekil 6.7) temas açısı değerleri 30 g/t reaktif konsantrasyonuna kadar artış göstermiş ve sonrasında düşmeye başlamıştır.



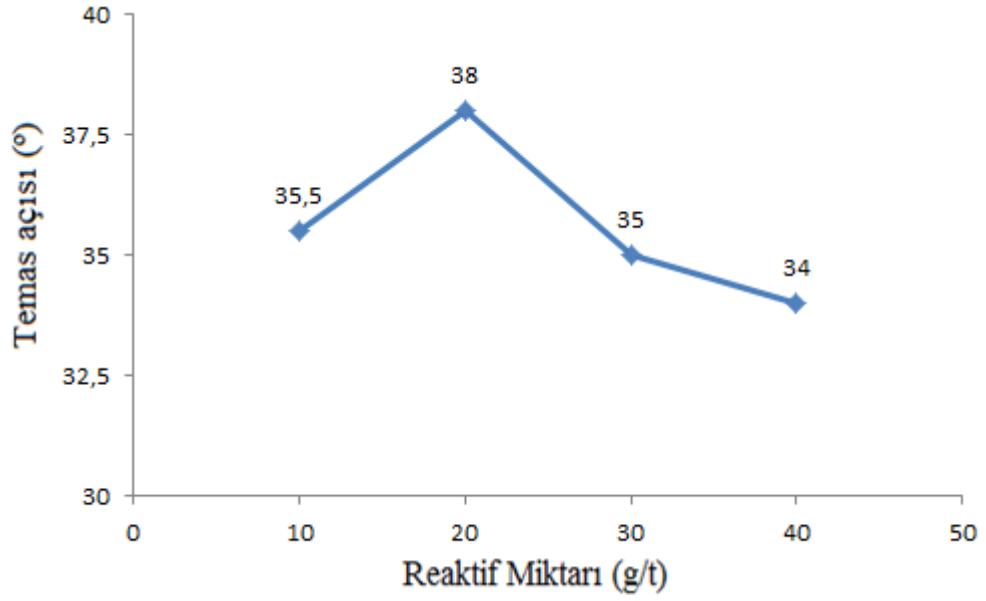
Şekil 6.7 IGEPAL – 630 dozajına bağlı temas açısı eğrisi

Cetyl Pyridinium Chloride (CPC) farklı dozajlarda hazırlanmış ve temas açısı değerleri ölçülmüştür. Sonuçlar Tablo 6.8 ve reaktif miktarına bağlı temas açısı eğrisi Şekil 6.8’de verilmiştir.

Tablo 6.8 CPC dozajına bağlı temas açısı değerleri

Reaktif Miktarı (g/t)	Temas açısı (°)
10	35,5
20	38,00
30	35,00
40	34,00

Deneylerde en yüksek temas açısı değeri 20 g/t CPC ilavesi ile elde edilmiştir ve 38 derece olarak ölçülmüştür. Reaktif miktarına bağlı temas açısına bakıldığında (Şekil 6.8) temas açısı değerleri 30 g/t reaktif konsantrasyonuna kadar artış göstermiş ve sonrasında düşmeye başlamıştır.



Şekil 6.8 CPC dozajına bağlı temas açısı eğrisi

6.4 Yüzey Gerilimi Ölçümleri

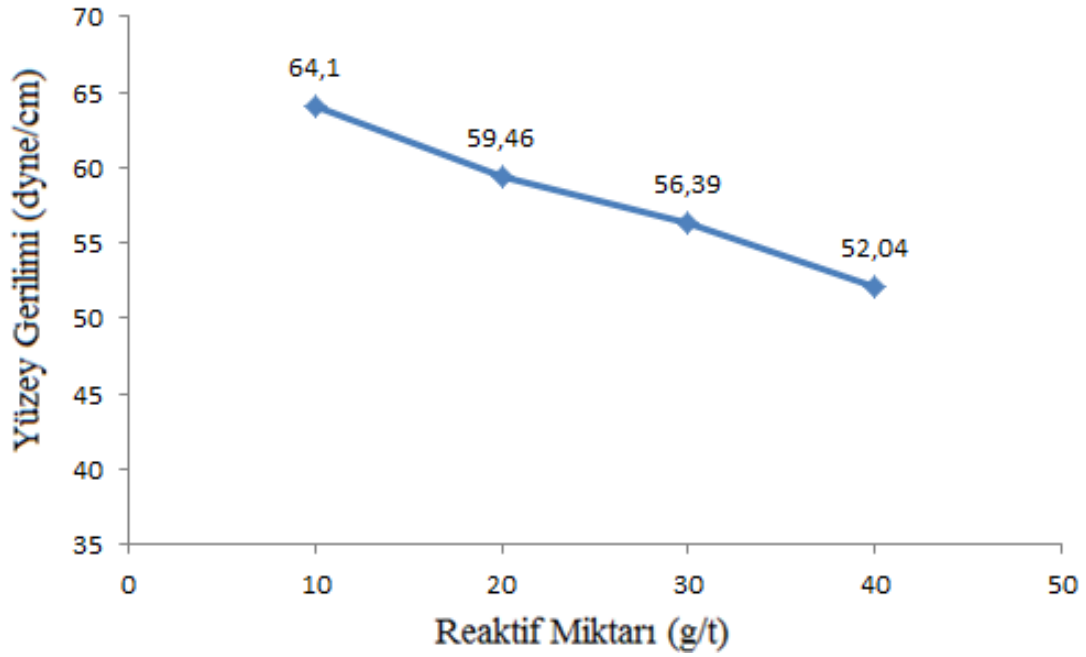
Yüzey gerilimi ölçümlerinde KV Sigma 701 gerilimölçer kullanılmıştır. Deneyler oda sıcaklığında halka koparma yöntemiyle ve en az on adet ölçüm alınarak yapılmıştır. Daha önce yapılmış çalışmalar incelendiğinde yüzey geriliminin azaltılmasıyla nem oranının düşürüldüğü belirlenmiştir. Bu nedenle en düşük yüzey gerilimine sahip olan reaktif miktarı belirlenmiştir. Saf suyla yapılan deneylerde yüzey gerilimi 72.05 dyne/cm olarak bulunmuştur.

SDS farklı dozajlarda hazırlanmış ve yüzey gerilimi değerleri ölçülmüştür. Sonuçlar Tablo 6.9 ve grafiği Şekil 6.9’da verilmiştir.

Tablo 6.9 SDS dozajına bağlı yüzey gerilimi değerleri

Reaktif Miktarı (g/t)	Yüzey gerilimi (dyne/cm)
10	64,1
20	59,46
30	56,39
40	52,04

Deneyleerde en düşük yüzey gerilimi değeri 40 g/t SDS ilavesi ile elde edilmiştir ve 52,04 dyne/cm olarak ölçülmüştür. Reaktif miktarına bağlı yüzey gerilimine bakıldığında (Şekil 6.9) yüzey gerilimi değerleri çözelti içindeki reaktif konsantrasyonu arttıkça yüzey geriliminin düştüğü görülmektedir. Elde edilen veriler Dharmawardana (1993) ve Singh (1997) tarafından yapılan çalışmalarda ki sonuçlarla benzerlik göstermektedir.



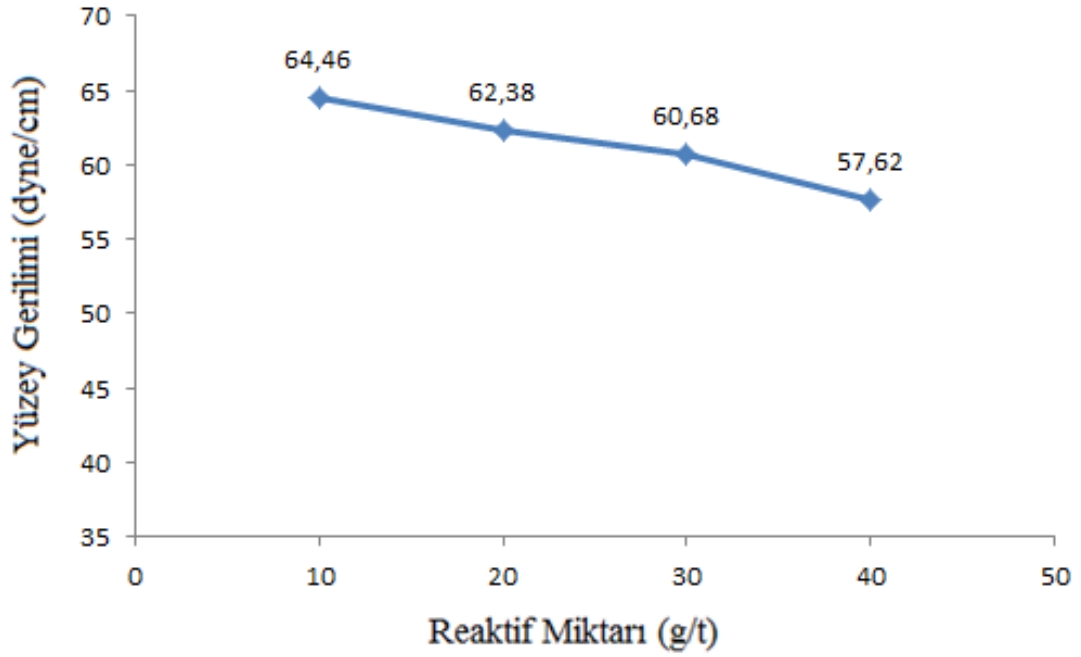
Şekil 6.9 SDS dozajına bağlı yüzey gerilimi eğrisi

CTAB farklı dozajlarda hazırlanmış ve yüzey gerilimi değerleri ölçülmüştür. Sonuçlar Tablo 6.10 ve grafiği Şekil 6.10'da verilmiştir.

Tablo 6.10. CTAB dozajına bağlı yüzey gerilimi değerleri

Reaktif Miktarı (g/t)	Yüzey gerilimi (dyne/cm)
10	64,46
20	62,38
30	60,68
40	57,62

Deneylerde en düşük yüzey gerilimi değeri 40 g/t CTAB ilavesi ile elde edilmiştir ve 57,62 dyne/cm olarak ölçülmüştür. Reaktif miktarına bağlı yüzey gerilimine bakıldığında (Şekil 6.10) yüzey gerilimi değerleri çözelti içindeki reaktif konsantrasyonu arttıkça yüzey geriliminin düştüğü görülmektedir. Elde edilen veriler Dharmawardana (1993), Singh (1998) ve Svitova vd (2003) tarafından yapılan çalışmalarda ki sonuçlarla benzerlik göstermektedir.



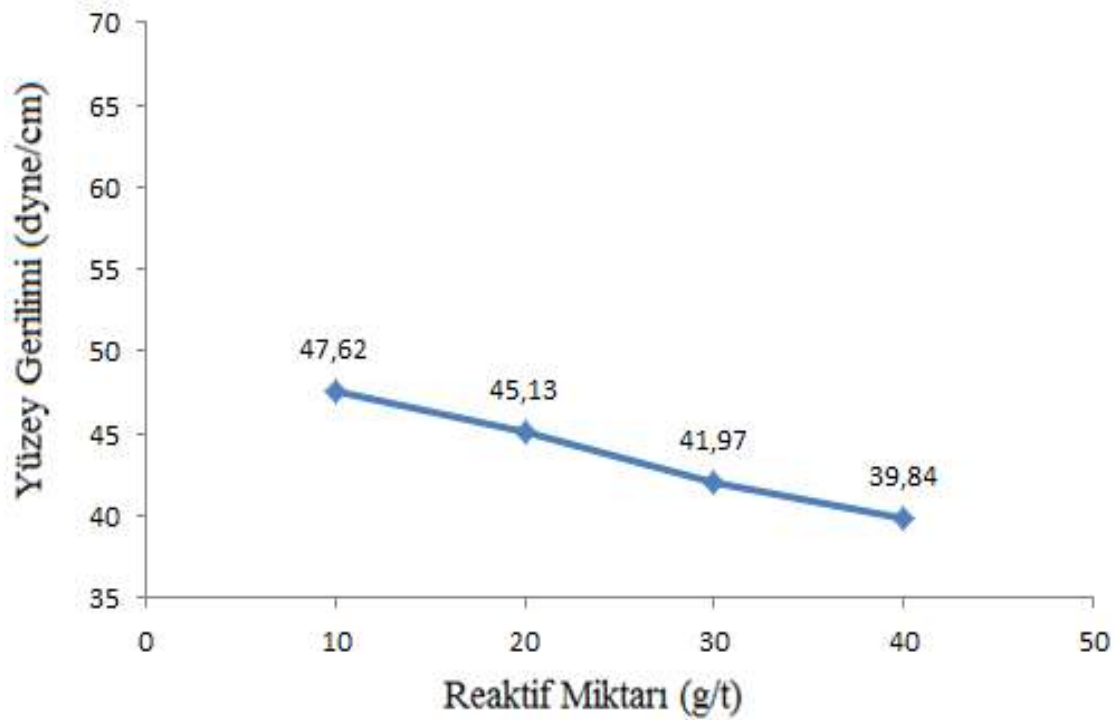
Şekil 6.10 CTAB dozajına bağlı yüzey gerilimi eğrisi

IGEPAL-630 farklı dozajlarda hazırlanmış ve yüzey gerilimi değerleri ölçülmüştür. Sonuçlar Tablo 6.11 ve reaktif miktarına bağlı yüzey gerilimi eğrisi Şekil 6.11’de verilmiştir.

Tablo 6.11 IGEPAL-630 dozajına göre yüzey gerilimi değerleri

Reaktif Miktarı (g/t)	Yüzey gerilimi(dyne/cm)
10	47,62
20	45,13
30	41,97
40	39,84

Deneylerde en düşük yüzey gerilimi değeri 40 g/t IGEPAL-630 ilavesi ile elde edilmiştir ve 39,84 dyne/cm olarak ölçülmüştür. Reaktif miktarına bağlı yüzey gerilimine bakıldığında (Şekil 6.11) yüzey gerilimi değerleri çözelti içindeki reaktif konsantrasyonu arttıkça yüzey geriliminin düştüğü görülmektedir. Literatürde IGEPAL-630 kullanılan bir çalışmaya rastlanmamıştır. Ancak kimyasal birleşimi IGEPAL-630'a çok yakın olan ve aynı şekilde noniyonik olan TX-100, Singh (1988) tarafından kullanılmıştır. Bu çalışmada elde edilen sonuçlar Singh (1988) tarafından elde edilen sonuçlarla benzerlik göstermektedir.



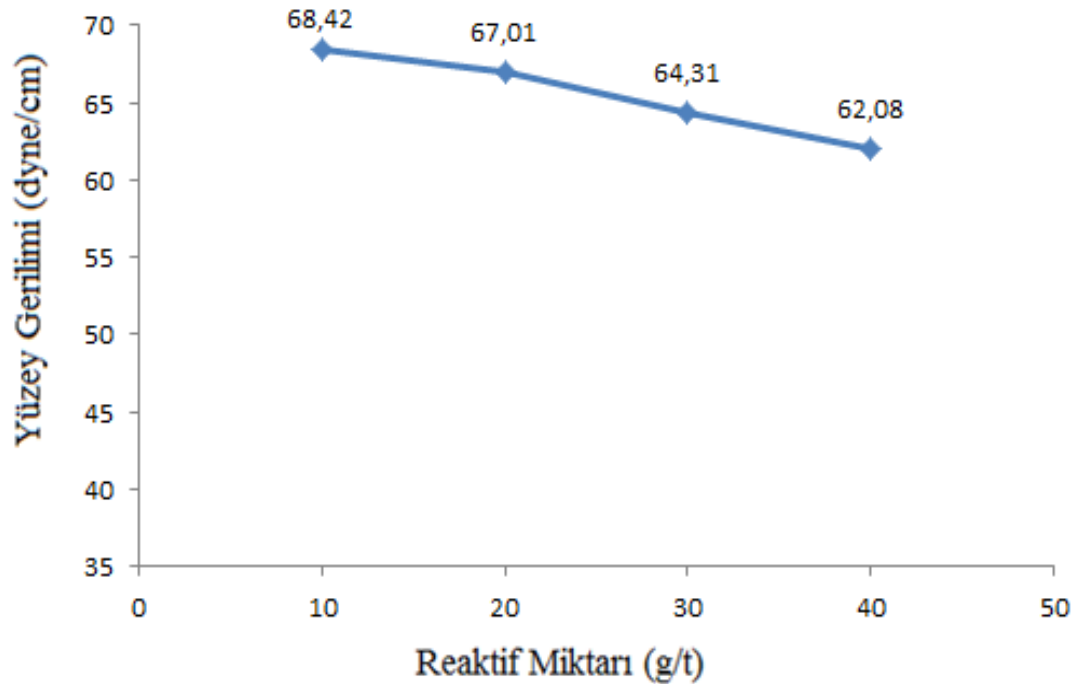
Şekil 6.11 IGEPAL-630 dozajına göre yüzey gerilimi eğrisi

Cetyl Pyridinium Chloride (CPC) farklı dozajlarda hazırlanmış ve yüzey gerilimi değerleri ölçülmüştür. Sonuçlar Tablo 6.12 ve reaktif miktarına bağlı yüzey gerilimi eğrisi Şekil 6.12'da verilmiştir.

Tablo 6.12 CPC dozajına göre yüzey gerilimi değerleri

Reaktif Miktarı (g/t)	Yüzey gerilimi (dyne/cm)
10	68,42
20	67,01
30	64,31
40	62,08

Deneylerde en düşük yüzey gerilimi değeri 40 g/t CPC ilavesi ile elde edilmiştir ve 62,08 dyne/cm olarak ölçülmüştür. Reaktif miktarına bağlı yüzey gerilimine bakıldığında (Şekil 6.12) yüzey gerilimi değerleri çözelti içindeki reaktif konsantrasyonu arttıkça yüzey geriliminin düştüğü görülmektedir. Elde edilen veriler Dharmawardana (1993) tarafından yapılan çalışmalardaki sonuçlarla benzerlik göstermektedir.



Şekil 6.12 CPC dozajına göre yüzey gerilimi eğrisi

6.4 Santrifüjle Yapılan Susuzlandırma Deneyleri

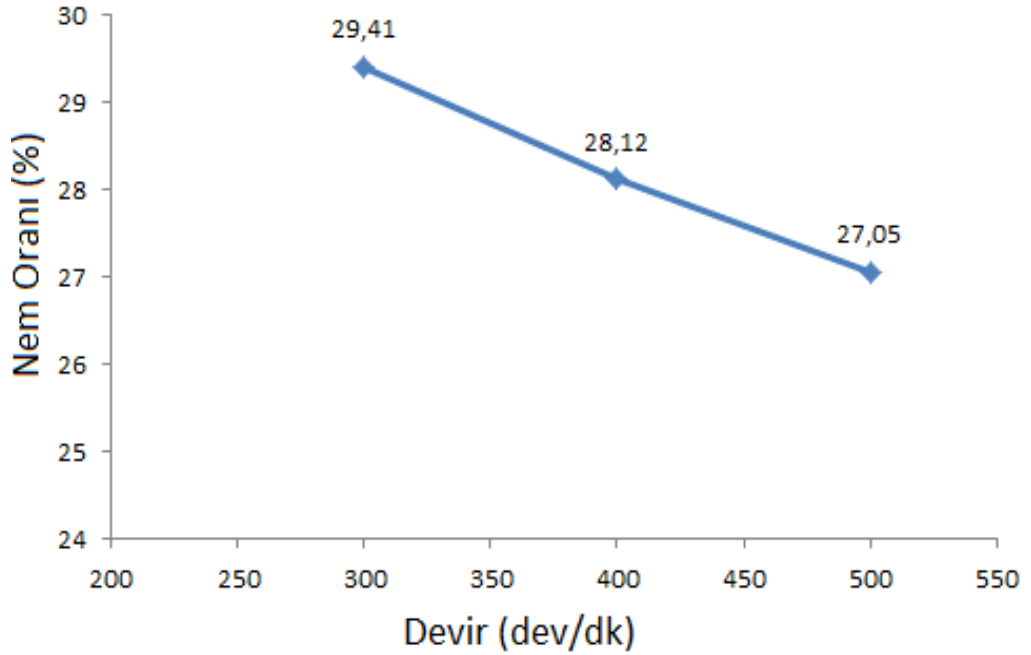
Deneyler oda sıcaklığında, doğal pH'da (pH 7,8) ve 400 gr numune kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

6.4.1 Santrifüj Hızının Belirlenmesi

Santrifüj hızının belirlenmesi amacıyla reaktif ilavesi yapılmadan deneyler yapılmıştır. Deneyler sonucunda malzemenin nem oranına bakılmış ve optimum devir belirlenmiştir. Deney sonuçları Tablo 6.13'de ve Şekil 6.13'de gösterilmiştir.

Tablo 6.13 Devir sayılarına bağlı nem oranları

Devir (dev/dk)	Nem oranı (%)
300	29,41
400	28,12
500	27,05



Şekil 6.13 Devir sayısına bağlı nem oranı eğrisi

Deney sonuçlarına incelendiğinde, reaktif ilavesi olmadan sadece suyla yapılan, santrifüj hızı deneylerinde devir arttıkça nem oranının düştüğü gözlenmiştir. Santrifüj cihazının çalışma hızı en fazla 500 dev/dk olduğu için daha yüksek hızlarda deney yapılamamıştır. Bu yüzden optimum çalışma hızı 500 dev/dk olarak belirlenmiştir.

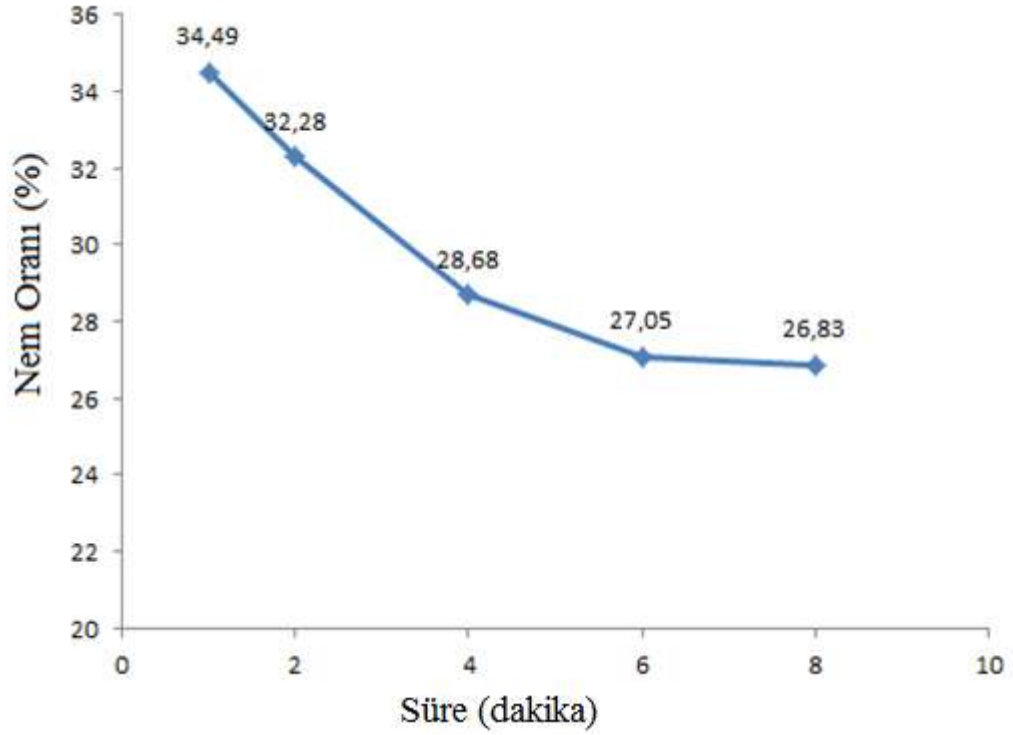
6.4.2 Santrifüj Süresinin Belirlenmesi

Santrifüj süresini belirlemek için reaktif ilavesi yapılmadan 500 dev/dk hızla deneyler yapılmıştır. Deneyler sonucunda malzemenin nem oranına bakılmış ve uygun susuzlandırma süresi bulunmuştur. Deney sonuçları Tablo 6.14’de ve Şekil 6.12’de gösterilmiştir.

Tablo 6.14 Susuzlandırma sürelerine bağlı nem oranları

Süre (dk)	Nem oranı (%)
1	34,49
2	32,28
4	28,68
6	27,05
8	26,83

Reaktif ilavesi olmadan sadece suyla yapılan, santrifüj süresinin belirlenmesi için yapılan deneylerde, santrifüj süresi arttıkça nem oranının düştüğü gözlenmektedir. Alınan sonuçlarda 6 dakikadan sonra nem oranında önemli bir düşüş olmadığı tespit edilmiş ve optimum santrifüj süresi 6 dakika olarak belirlenmiştir.



Şekil 6.14 Susuzlandırma süresine bağlı nem oranı eğrisi

6.5 Reaktif İlavesiyle Yapılan Susuzlandırma Deneyleri

Tüvenan kömürün yıkandıktan sonra nem oranının azaltılmasında reaktif etkilerini gözlemlemek için çeşitli reaktifler ve dozaj denemeleri yapılmıştır. Deneyler santrifüj kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Susuzlandırma süresi ve santrifüj hızı daha önceki deneylerde belirlenmiştir. Bu deneylere göre susuzlandırma süresi 6 dakika ve santrifüj hızı 500 dev/dk alınmıştır. Deney sonucunda malzemenin nem oranlarına bakılmıştır. Deneylerde SDS, CTAB, IGEPAL-630, CPC reaktifleri kullanılmıştır. Bütün reaktifler dozajları 10 g/t ile 40g/t arasında alınmıştır.

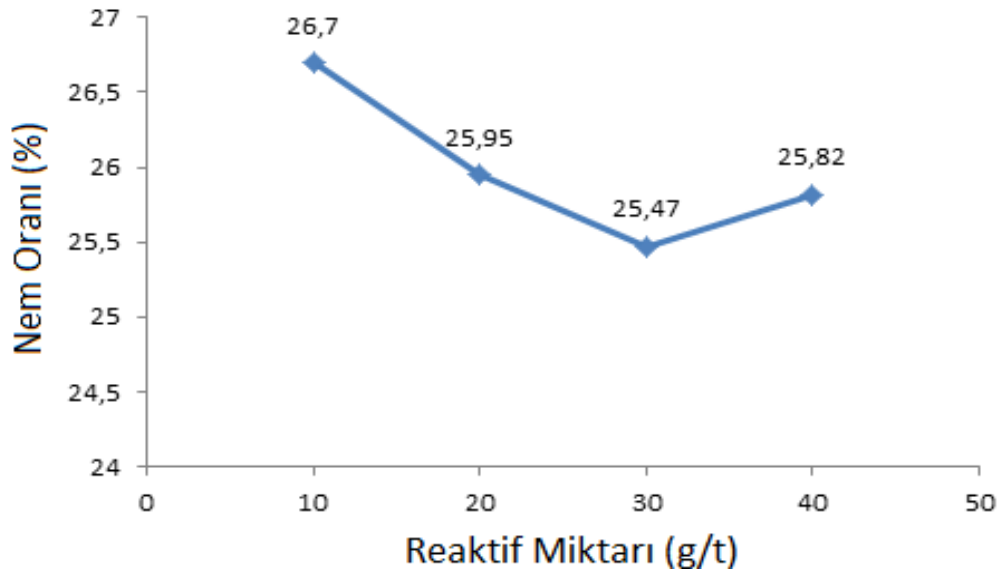
6.5.1 SDS ile Yapılan Susuzlandırma Deneyleri

Deneylerde -10mm kömür numunesi, 10g/t ile 40g/t arasında SDS ilavesi ile santrifüjde susuzlandırılmış ve nem oranlarına bakılmıştır. Deney sonuçları Tablo 6.15’de verilmiştir.

Tablo 6.15 SDS miktarına bağı nem oranları

Reaktif Miktarı (g/t)	Nem oranı (%)
10	26,7
20	25,95
30	25,47
40	25,82

Reaktif miktarına bağı nem oranı eğrisi Şekil 6.15’de verilmiştir. Nem oranlarına bakıldığında, reaktif ilavesi olmayan deneylerde nem oranı %27,05 olarak ve 30 g/t reaktif ilave edildiğinde %25,47 olarak bulunmuştur. Bu sonuç anyonik reaktiflerle, Singh (1997), Başım (1997), Asmatulu (2001) ve Burat (2003) tarafından yapılan daha önceki çalışmaları destekler niteliktedir.



Şekil 6.15 SDS dozajına bağı nem oranı eğrisi

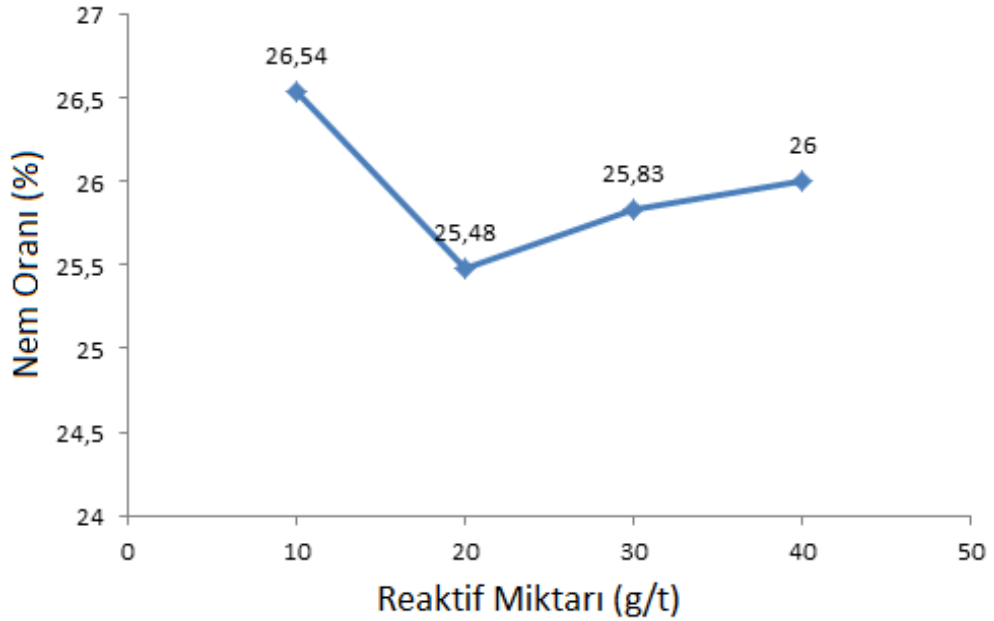
6.5.2 CTAB ile Yapılan Susuzlandırma Deneyleri

Deneylerde malzeme 10g/t ile 40 g/t arasında CTAB ilavesi ile santrifüjde susuzlandırılmış ve nem oranlarına bakılmıştır. Deney sonuçları Tablo 6.16’da verilmiştir.

Tablo 6.16 CTAB miktarına bağı nem oranları

Reaktif Miktarı (g/t)	Nem oranı (%)
10	26,54
20	25,48
30	25,83
40	26

Reaktif miktarına bağı nem oranı eğrisi Şekil 6.16’da verilmiştir. Nem oranlarına bakıldığında, reaktif ilavesi olmayan deneylerde nem oranı %27,05 olarak ve 20 g/t reaktif ilave edildiğinde %25,47 olarak bulunmuştur. Singh (1988), vakum filtreyle yaptığı deneylerde 5 g/t CTAB ilave edildiğinde nem oranının %21,3’ten %11,7’ye düştüğünü belirtmiştir. Bir başka çalışmada Burat (2003) tarafından titreşimli eleklerle yapılmış ve 5 g/t CTAB kullanıldığında nem oranının %41,5’ten %40,7’ye düştüğünü belirtmiştir. Bu çalışmada elde edilen sonuçlar Singh tarafından yapılan çalışmalardakiyle benzerlik göstermemektedir. Ancak, Burat tarafından yapılan çalışmalarda nem oranının düşüşü bu çalışmada bulunanlarla yakındır.



Şekil 6.16 CTAB miktarına bağı nem oranı eğrisi

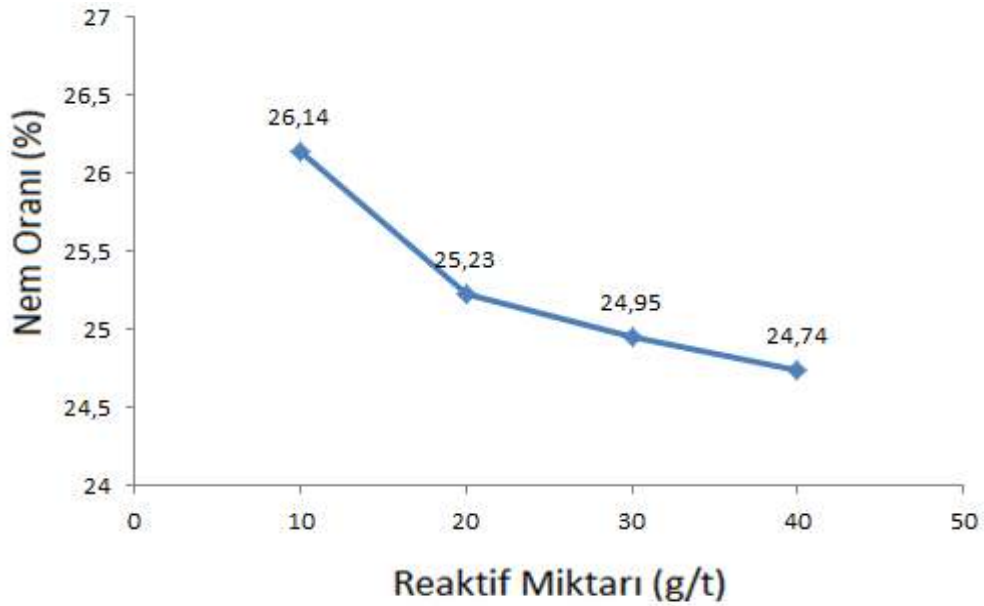
6.5.3 IGEPAL-630 ile Yapılan Susuzlandırma Deneyleri

Deneylerde malzeme 10g/t ile 40 g/t arasında IGEPAL-630 ilavesi ile santrifüjde susuzlandırılmış ve nem oranlarına bakılmıştır. Deney sonuçları Tablo 6.17’de verilmiştir.

Tablo 6.17 IGEPAL-630 miktarına bağlı nem oranları

Reaktif Miktarı (g/t)	Nem oranı (%)
10	26,14
20	25,23
30	24,95
40	24,74

Reaktif miktarına bağlı nem oranı eğrisi Şekil 6.17’de verilmiştir. Nem oranlarına bakıldığında, reaktif ilavesi olmayan deneylerde nem oranı %27,05 olarak ve 30 g/t reaktif ilave edildiğinde %24,74 olarak bulunmuştur. Singh (1988), vakum filtreyle yaptığı deneylerde 20 g/t TX-100 ilave edildiğinde nem oranının %21,3’ten %15,8’ye düştüğünü belirtmiştir.



Şekil 6.17 IGEPAL-630 miktarına bağlı nem oranı eğrisi

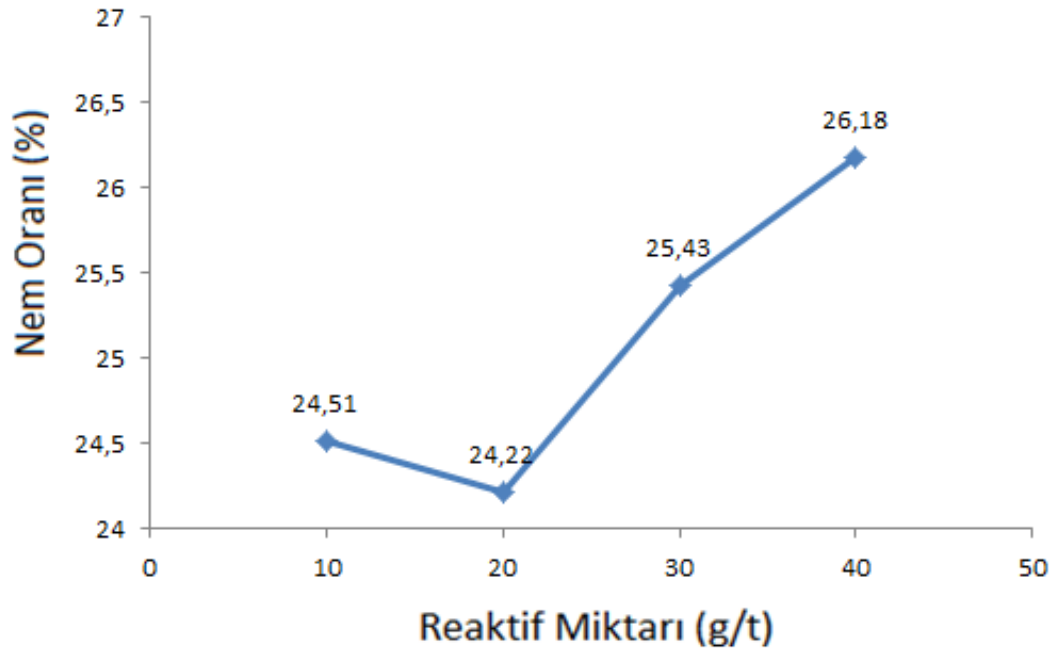
6.5.4 CPC ile Yapılan Susuzlandırma Deneyleri

Deneylerde malzeme 10g/t ile 40 g/t arasında CPC ilavesi ile santrifüjde susuzladırılmış ve nem oranlarına bakılmıştır. Deney sonuçları Tablo 6.18’de verilmiştir.

Tablo 6.18 CPC miktarına bağlı nem oranları

Reaktif Miktarı (g/t)	Nem oranı (%)
10	24,51
20	24,22
30	25,43
40	26,18

CPC ile yapılan denemelerde en iyi sonuç 20 g/t reaktif ilavesi ile elde edilmiş ve nem oranı %24,22 olarak bulunmuştur. Reaktif miktarına bağlı nem oranı eğrisi Şekil 6.18’de verilmiştir.

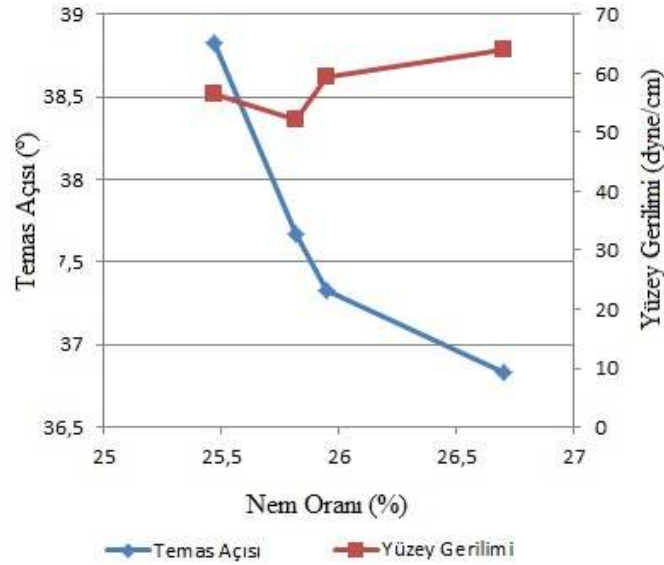


Şekil 6.18 CPC miktarına bağlı nem oranı eğrisi

6.6 Yüzey Gerilimi ve Temas Açısının Nem Oranına Etkisi

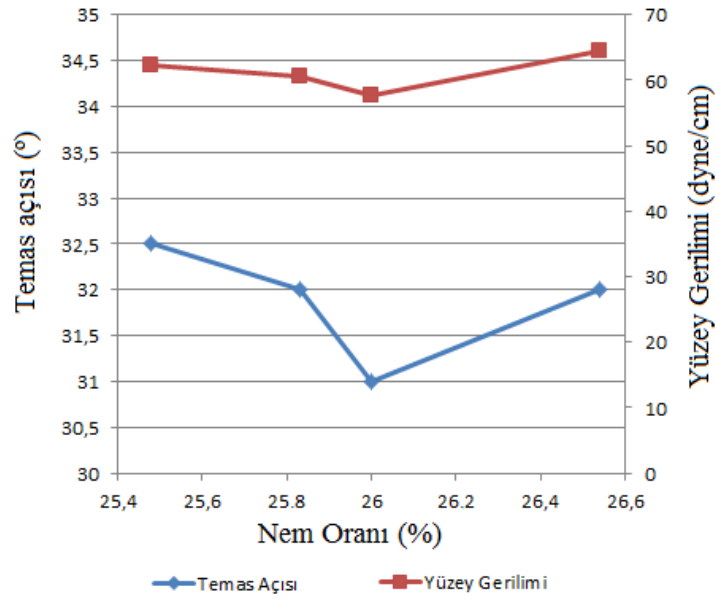
Yapılan çalışmada, ince boyutlu kömürlerin santrifüj cihazıyla ve reaktif ilavesiyle susuzlandırılması amaçlanmıştır. Bu bölümde ölçülen yüzey gerilimi ve temas açısı değerlerinin nem oranlarıyla ilişkisi araştırılmıştır. Daha önceki çalışmalar incelendiğinde, temas açısının artması veya yüzey geriliminin azalması, nem oranının düşürülmesinde etkili olmaktadır.

Deneylerde SDS kullanıldığında elde edilen temas açıları, yüzey gerilimleri ve nem oranları verileri incelenmiştir. Nem oranındaki düşüşün nedenini belirlemek için temas açısı ve yüzey gerilimi değerleri incelenmiştir. Şekil 7.1’de nem oranına bağlı yüzey gerilimi ve temas açısı eğrileri verilmiştir. Eğrilere bakıldığında nem oranın düşmesinde, yüzey geriliminin azalması ve temas açısının artması etkili olduğu gözlenmektedir.



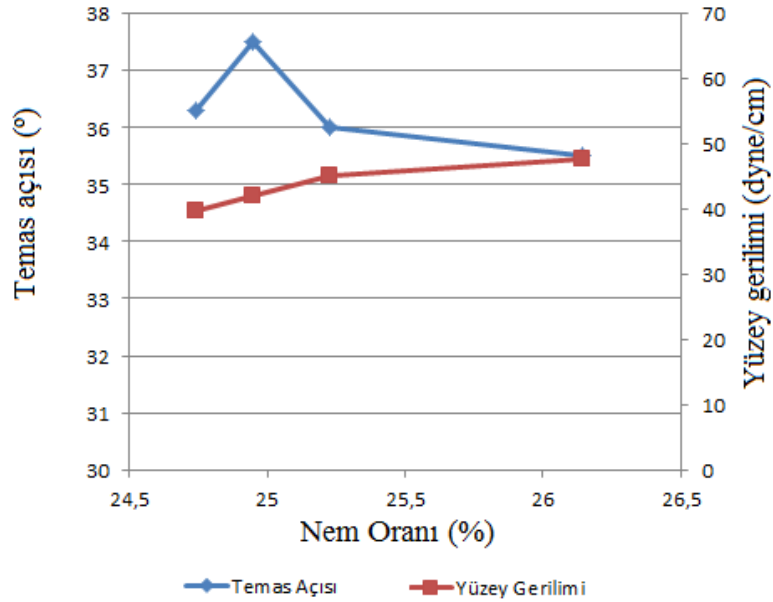
Şekil 7.1 SDS ilave edildiğinde temas açısı ve yüzey gerilimine bağlı nem oranı

Deneylerde CTAB kullanıldığında elde edilen temas açıları, yüzey gerilimleri ve nem oranları verileri incelenmiştir. Şekil 7.2’de nem oranına bağlı yüzey gerilimi ve temas açısı eğrileri verilmiştir. Eğrilere bakıldığında temas açısı arttıkça nem oranının düştüğü görülmektedir. CTAB kullanılan deneylerde yüzey gerilimi ve nem oranı arasında ise orantılı bir ilişki kurulamamıştır.



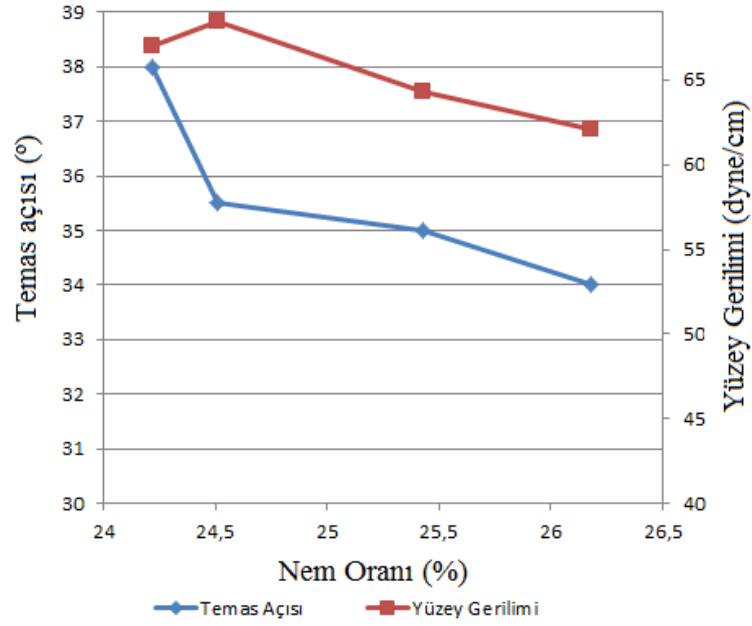
Şekil 7.2 CTAB ilave edildiğinde temas açısı ve yüzey gerilimine bağlı nem oranı

Deneylerde IGEPAL-630 kullanıldığında elde edilen temas açıları, yüzey gerilimleri ve nem oranları verileri incelenmiştir. Şekil 7.3’de nem oranına bağlı yüzey gerilimi ve temas açısı eğrileri verilmiştir. Eğrilere bakıldığında yüzey gerilimi düştükçe nem oranının düştüğü görülmektedir.



Şekil 7.3 IGEPAL-630 ilave edildiğinde temas açısı ve yüzey gerilimine bağlı nem oranı

Deneylerde CPC kullanıldığında elde edilen temas açıları, yüzey gerilimleri ve nem oranları verileri incelenmiştir. Şekil 7.4’de nem oranına bağlı yüzey gerilimi ve temas açısı eğrileri verilmiştir. Eğrilere bakıldığında temas açısı arttıkça nem oranının düştüğü görülmektedir.



Şekil 7.4 CPC ilave edildiğinde temas açısı ve yüzey gerilimine bağlı nem oranı

BÖLÜM YEDİ

SONUÇLAR

Toz kömürlerin nem oranının düşürülmesinde kömür özelliği ve kimyasal katkıların araştırıldığı bu çalışmada şu sonuçlar elde edilmiştir;

Kömürün nem oranının, mekanik susuzlandırma yöntemleriyle, hangi noktaya kadar düşürülebileceğini belirlemek için, bir miktar yaş numune alınarak atmosfer koşullarında kurumaya bırakılmış ve nem oranı %23,42 olarak bulunmuştur. Kömürün havada kuru nem değeri (%18,53) ile kıyaslandığında, yaklaşık %5 daha fazla nem olduğu görülmektedir. Buradan da görüleceği üzere bu tür bir kömür, yıkama işlemi sonucunda nem içeriğini %5 civarında artıracak belirlenmiştir.

Susuzlandırmada kullanılan reaktiflerin yüzey gerilimine etkisi araştırılmıştır. Kullanılan reaktiflerde elde edilen en düşük yüzey gerilimi değerleri, SDS için 52,04 dyne/cm, CTAB için 57,62 dyne/cm, IGEPAL-630 için 39,84 dyne/cm ve CPC için 62,08 dyne/cm olarak bulunmuştur.

Kullanılan reaktiflerin kömür yüzeyine etkisini araştırmak için kömür ile sıvı arasındaki temas açısı değerleri ölçülmüştür. Deneyler elde edilen en yüksek temas açısı değerleri, SDS için 38,83°, CTAB için 32,5°, IGEPAL-630 için 37,5° ve CPC için 38° olarak bulunmuştur.

Kullanılan santrifüj cihazının parametrelerini belirlemek amacıyla yapılan deneylerde, nem oranı %39,77'den %27,05'e düşürülmüştür. Bu deneylere göre, santrifüj hızı 500 dev/dk ve susuzlandırma süresi 6 dakika olarak belirlenmiştir.

Santrifüj cihazının optimum parametreleri kullanılarak SDS, CTAB, IGEPAL-630 ve CPC ilave edilerek deneyler yapılmış ve nem oranları gözlemlenmiştir. En iyi sonuç 20 g/ton CPC ilavesi ile bulunmuştur ve elde edilen nem oranı %24,22'dir. Reaktif ilavesi olmayan deneylerde ise nem oranı %27,05 olarak bulunmuştur. Bu

sonuçlara göre reaktif ilave edildiğinde nem oranı yaklaşık %2,5 daha düşürülebileceği gözlemlenmiştir.

Türkiye’de çıkarılan linyitlerin yüzey alanının ve porozitelerinin fazla olduğu ve bu nedenle mekanik işlemlerle yüzey neminin tamamının kömürden uzaklaştırılamayacağı bilinmektedir. Reaktif ilave edildiğinde nem oranında bir miktar düşüş gerçekleşmiş fakat önemli bir başarı elde edilememiştir. Bu nedenle kömürde özgül yüzey alanı ve porozite incelenmesi önerilmektedir.

Deneylerde elde edilen temas açısı, yüzey gerilimi ve nem oranı verileri karşılaştırılmıştır. Bu sonuçlara göre nem oranının azalmasında, yüzey geriliminin azalması ve temas açısının artmasının etkili olduğu gözlemlenmiştir.

Bu çalışmada elde edilen nem oranları satılabilir kömür nem oranlarından daha yüksektir. Nem oranlarının daha da düşürülmesi için döner kurutucu veya akışkan yataklı kurutucular gibi termik kurutma yöntemleri kullanılabilir. Diğer bir yöntem olarak da mekanik sistemlerin, buhar veya hava ile birleştirilmesi gibi çeşitli değişikliklerle nem oranlarının daha da düşürülebileceği düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

- Arnold, B.J. ve Aplan, F.F. (1989). The hydrophobicity of coal macerals. *Fuel* (68), 651.
- Asmatulu, R. (2001). *Advanced chemical-mechanical dewatering of fine particles*, Yüksek Lisans Tezi. Virginia Polytechnic Institute and State Üniversitesi, Virginia.
- Başım, G. B. (1997). *Fine coal dewatering*. Yüksek Lisans Tezi. Virginia Polytechnic Institute and State Üniversitesi, Virginia.
- Burat, F. (2003). *Küçük boyutlu kömürlerin susuzlandırılmasında titreşim mekanizması ve reaktif ilavesinin etkisinin incelenmesi*. Yüksek Lisans Tezi. İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Couch, G. R. (1991). *Advanced coal cleaning technology*. IEA Coal Research.
- Dharmawardana, U.R., Christian, S.D., Tucker, E.E., Taylor, R.W. ve Scamehorn, J.F. (1993). A surface tension method for determining binding constants for cyclodextrin inclusion complexes of ionic surfactants. *Langmuir* (9), 2258-2263
- Eraydın, M.K. (2009). *Scale-up of using novel dewatering aids*. Doktora Tezi. Virginia Polytechnic Institute and State Üniversitesi, Virginia.
- Gan, G., Nandi, S.E. ve Walker, E.L. (1972). Nature of the porosity of American coals. *Fuel* (51), 272.
- International Union of Pure and Applied Chemistry (IUPAC) (1972). Manual of symbols and Terminology, Colloid & Surface Chemistry. *Pure Applied Chemistry*, (31), 578.

- Karr, C. (1978). *Analytical methods for coal and coal products*. New York: Academic Press.
- Karthikeyan, M., Zhonghua, W. ve Mujumdar, A.S. (2009). Low-rank coal drying technologies - current status and new developments. *Drying Technology: An International Journal*, (27), 403-415.
- Keller, D.V., Stelma, G.J. ve Chi, Y.M. (1979). *Surface phenomena in the dewatering of coal*. U.S. Environmental Protection Agency, Office of Research and Development, Industrial Environmental Research Laboratory; National Technical Information Service, 11.
- Kemal, M. ve Arslan, V. (2014). *Kömür teknolojisi*(6. Baskı). İzmir: Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yayınları.
- King, J.G. ve Wilkins, E.T. (1944). The internal structure of coal. *In: Proceedings of the Conference on Ultra-Fine Structure of Coals and Cokes*. British Coal Utilisation Research Association, 46-56.
- Kural, O. (1988). *Kömür hazırlama yöntemleri ve tesisleri, kömür özellikleri, teknolojisi ve çevre ilişkileri*. İstanbul: Özgün Ofset Matbaacılık.
- Leja, J. (1982). *Surface chemistry of froth flotation*. New York: Plenum Press.
- Mahajan, O.E. ve Walker, R.L. (1971). Water adsorption on coals. *Fuel* (50), 308.
- Mishra, S. K. (1988). Principles of Dewatering. R. R. Klimpel and P. T. Luckie (Ed.) *Industrial Practice of Fine Coal Processing Conference*, (213-221). Pennsylvania: Society of Mining Engineers.
- Myers, D. (1988). *Surfactant science and technology*. New York: VCH Publishers.

- Owen, M. J. (1988). Enhancement of mechanical dewatering. Interfacial phenomena in coal technology. *Surfactant Science Series*, (32), 157.
- Parekh, B. K. (2009). Dewatering of fine coal and refuse slurries-problems and possibilities, *6th International Conference on Mining Science & Technology, Procedia Earth and Planetary Science*, (1), 621–626.
- Singh, B.P. (1997). The influence of surface phenomena on the dewatering of fine clean coal. *Filtration and Separation*, 159-163.
- Singh, B. P., Besra, L., Reddy, P. S. R. ve Sangupta, D. K. (1998). Use of surfactants to aid the dewatering of fine coal. *Fuel*, (77),1349-1356.
- Stelma, G. J. (1978). *Influence of surfactants on the dewatering of coal*. Doktora Tezi. Syracuse Üniversitesi, New York.
- Svarosky, L. (2000). *Solid-Liquid separation* (4. Baskı). Oxford: Butterworth-Heinemann.
- Svitova, T. F. Wetherbee, M. J. ve Radke, C. J. (2003). Dynamics of surfactant sorption at the air/water interface: continuous-flow tensiometry, *Journal of Colloid and Interface Science*, (261), 170–179
- Veal, C. J., Jonston, B. K. ve Nicol, S. K. (1995). The potential of gas purging for the reduction of coal moisture. *Seventh Australian Coal Preparation Conference*.
- Wilson, W.G., Young, B.C. ve Irwin, W. (1992). Low-rank coal drying advances. *Coal*, (97), 24–27.