

**KÜÇÜK BOYUTLU KÖMÜRLERİN  
SUSUZLANDIRILMASINDA  
TİTREŞİM MEKANİZMASI VE REAKTİF İLAVESİNİN  
ETKİSİNİN İNCELENMESİ**

**143054**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
Mad. Müh. Fırat BURAT  
(505011003)**

**- 143054 -**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 2 Temmuz 2003  
Tezin Savunulduğu Tarih : 10 Temmuz 2003**

**Tez Danışmanı : Doç.Dr. Hayrünnisa DİNÇER**  
**Diğer Jüri Üyeleri Prof.Dr. Güven ÖNAL**  
**Prof.Dr. Ercan AÇMA**

**TEMMUZ 2003**

**T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU  
EĞİTİM ARAŞTIRMA VE  
TEKNOLOJİ GENEL MÜDÜRLÜĞÜ**

## ÖNSÖZ

İTÜ Maden Fakültesi Cevher ve Kömür Hazırlama Anabilim Dalında tez yapmama olanak sağlayan, Cevher ve Kömür Hazırlama Anabilim Dalı Başkanı Sayın Prof.Dr. Güven ÖNAL'a, bilgi ve tecrübeleriyle beni yönlendiren ve danışmanlığımı üstlenen danışmanım Sayın Doç.Dr. Hayrünnisa DİNÇER'e teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmalarım boyunca bana bilgileriyle ve tecrübeleriyle destek olan Yük.Müh. Mustafa ÖZER'e teşekkürü bir borç bilirim. Ayrıca eğitimim süresince gerek derslerimde gerekse tezimin hazırlanmasında bilgilerinden faydalandığım ve desteklerini gördüğüm tüm hocalarıma teşekkür ederim.

Yüksek lisans eğitimim boyunca benimle derslere giren M.Fatih Can, Ozan Kökkılıç ve Samim Ünsal'a, bize ağabeylik yapan, yol gösteren kıymetli asistan arkadaşlarıma teşekkür ederim. Ayrıca, yaptığım deneylerde teknik konularda yardımlarını gördüğüm Cevher ve Kömür Hazırlama Anabilim Dalı Kimya Analiz Laboratuvarı çalışanlarına teşekkür ederim.

Bütün eğitim ve öğrenim hayatım boyunca maddi, manevi desteklerini benden eksik etmeyen, çok sevdiğim anneme, babama, kardeşime ve her zaman yanımda olan arkadaşlarıma sonsuz teşekkürler.

Temmuz 2003

Fırat BURAT

## İÇİNDEKİLER

|                                                                          | Sayfa No    |
|--------------------------------------------------------------------------|-------------|
| <b>TABLO LİSTESİ</b>                                                     | <b>v</b>    |
| <b>ŞEKİL LİSTESİ</b>                                                     | <b>vi</b>   |
| <b>ÖZET</b>                                                              | <b>viii</b> |
| <b>SUMMARY</b>                                                           | <b>x</b>    |
| <b>1. GİRİŞ</b>                                                          | <b>1</b>    |
| 1.1. Giriş ve Araştırmanın Amacı                                         | 1           |
| <b>2. KÖMÜR ZENGİNLEŞTİRME YÖNTEMLERİ</b>                                | <b>3</b>    |
| 2.1. İri Kömür Zenginleştirme Yöntemleri                                 | 3           |
| 2.2. Küçük Boyutlu Kömürün Zenginleştirilmesinde Kullanılan Yöntemler    | 4           |
| <b>3. KÖMÜRÜN SUSUZLANDIRILMASI</b>                                      | <b>6</b>    |
| 3.1. Kömürün Su İçeriği                                                  | 6           |
| 3.2. Kömürün Susuzlandırılmasını Etkileyen Faktörler                     | 7           |
| 3.3. Teknolojik Uygulamalarda Nem Sınırlamaları                          | 8           |
| 3.4. Kömür Susuzlandırma Yöntemleri                                      | 9           |
| 3.4.1. Mekanik Yöntemler                                                 | 10          |
| 3.4.1.1. Elekler                                                         | 10          |
| 3.4.1.2. Santrifüjler                                                    | 13          |
| 3.4.1.3. Filtreler                                                       | 14          |
| 3.4.1.4. Yer Çekimi İvmesi Kullanan Ekipmanlar                           | 18          |
| 3.4.2. Isıl İşleme Susuzlandırma                                         | 20          |
| 3.4.2.1. Kömür Kurutma Sistemleri                                        | 20          |
| 3.5. Susuzlandırma İşlemlerinde Yardımcı Prosesler                       | 22          |
| 3.5.1. Flokülasyon-Koagülasyon ve Yüzey Aktif Maddeler İle Susuzlandırma | 24          |
| <b>4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR</b>                                            | <b>25</b>   |
| 4.1. Malzeme ve Yöntem                                                   | 25          |
| 4.1.1. Deneylere Esas Olan Numunelerin Alınması                          | 25          |
| 4.1.2. Temsili Numunelerin Özellikleri                                   | 27          |
| 4.1.2.1. Numunelerin Fiziksel Özellikleri                                | 27          |
| 4.1.2.2. Numunelerin Kimyasal Özellikleri                                | 28          |
| 4.1.3. Yöntem                                                            | 29          |
| 4.2. Deneylerde Kullanılan Aygıtlar ve Reaktifler                        | 29          |
| 4.2.1. Aygıtlar                                                          | 29          |
| 4.2.2. Deneylerde Kullanılan Reaktifler ve Özellikleri                   | 29          |
| 4.3. Titreşimli Elek İle Yapılan Susuzlandırma Deneyleri                 | 30          |
| 4.3.1. Elek Eğiminin Tesbiti                                             | 30          |
| 4.3.2. Frekans Değerinin Tesbiti                                         | 31          |
| 4.3.3. Besleme Hızının Tesbiti                                           | 32          |
| 4.3.4. Elek Açıklığının Tesbiti                                          | 33          |

|                                                                                                         |           |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 4.4. Normal Titreşime Dik Titreşim Mekanizmasının İlave Edilmesinin Susuzlandırma Üzerine Etkisi        | 34        |
| 4.5. Reaktif İlavesi İle Yapılan Susuzlandırma Deneyleri                                                | 34        |
| 4.5.1. SDS İlavesi İle Yapılan Susuzlandırma Deneyleri                                                  | 35        |
| 4.5.1.1. pH'ın Saptanması                                                                               | 35        |
| 4.5.1.2. Reaktif Miktarının Saptanması                                                                  | 36        |
| 4.5.2. CTAB İlavesi İle Yapılan Susuzlandırma Deneyleri                                                 | 37        |
| 4.5.2.1. pH'ın Saptanması                                                                               | 37        |
| 4.5.2.2. Reaktif Miktarının Saptanması                                                                  | 38        |
| 4.5.3. Umectante B-70 İlavesi İle Yapılan Susuzlandırma Deneyleri                                       | 39        |
| 4.5.3.1. pH'ın Saptanması                                                                               | 40        |
| 4.5.3.2. Reaktif Miktarının Saptanması                                                                  | 41        |
| 4.5.4. Kerosen İlavesi İle Yapılan Susuzlandırma Deneyleri                                              | 42        |
| 4.5.4.1. pH'ın Saptanması                                                                               | 42        |
| 4.5.4.2. Reaktif Miktarının Saptanması                                                                  | 43        |
| 4.6. Karıştırma Süresinin Tesbiti                                                                       | 44        |
| 4.7. Eleme Yüzey Alanının Arttırılmasının İncelendiği Susuzlandırma Deneyleri                           | 45        |
| 4.8. Eşik Sisteminin Susuzlandırma Üzerindeki Etkisi                                                    | 47        |
| 4.8.1. Normal Titreşim İle Yapılan Eşik Deneyleri                                                       | 47        |
| 4.8.2. Normal Titreşime Dik Titreşim Mekanizmasının İlave Edilmesi İle Yapılan Eşik Deneyleri           | 47        |
| 4.9. Eşik Sistemi İle Yapılan Eleme Yüzey Alanının Arttırıldığı Susuzlandırma Deneyleri                 | 48        |
| <b>5. DENEYSEL VERİLERİN MODELLENMESİ</b>                                                               | <b>50</b> |
| 5.1. Titreşimli Elek İle Yapılan Deneyler                                                               | 51        |
| 5.1.1. Eğim-Besleme Hızı Değerlerinin Modellenmesi                                                      | 51        |
| 5.1.2. Eğim-Frekans Değerlerinin Modellenmesi                                                           | 52        |
| 5.1.3. Frekans-Besleme Hızı Değerlerinin Modellenmesi                                                   | 53        |
| 5.2. Reaktif İlavesi İle Yapılan Deneylerin Modellenmesi                                                | 54        |
| 5.3. Eleme Yüzey Alanının Arttırılmasıyla Yapılan Susuzlandırma Deneylerinin Modellenmesi               | 56        |
| 5.4. Eşik Sistemi İle Yapılan Eleme Yüzey Alanının Arttırıldığı Susuzlandırma Deneylerinin Modellenmesi | 56        |
| <b>6. İRDELEMELER</b>                                                                                   | <b>58</b> |
| <b>7. SONUÇLAR</b>                                                                                      | <b>63</b> |
| <b>KAYNAKLAR</b>                                                                                        | <b>65</b> |
| <b>EKLER</b>                                                                                            | <b>67</b> |
| <b>ÖZGEÇMİŞ</b>                                                                                         | <b>71</b> |

## TABLO LİSTESİ

|                                                                                                                                                                              | <u>Sayfa No</u> |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|
| <b>Tablo 3.1.</b> Başlıca kömür teknolojilerindeki nem sınırlamaları.....                                                                                                    | 9               |
| <b>Tablo 4.1.</b> Siklon altı ve titreşimli elek üstü malzemesinin elek analizleri.....                                                                                      | 27              |
| <b>Tablo 4.2.</b> Siklon altı ve titreşimli elek üstü numunesinin kimyasal analizleri.....                                                                                   | 28              |
| <b>Tablo 4.3.</b> Farklı elek eğimlerinde elde edilen nem değerleri.....                                                                                                     | 30              |
| <b>Tablo 4.4.</b> Farklı frekanslardaki titreşimlerde elde edilen nem değerleri....                                                                                          | 31              |
| <b>Tablo 4.5.</b> Farklı besleme hızlarında elde edilen nem değerleri.....                                                                                                   | 32              |
| <b>Tablo 4.6.</b> Farklı elek açıklıklarında elde edilen nem değerleri.....                                                                                                  | 33              |
| <b>Tablo 4.7.</b> SDS ilavesi ile elde edilen nem değerleri.....                                                                                                             | 35              |
| <b>Tablo 4.8.</b> Farklı miktarlarda SDS ilavesi ile elde edilen nem değerleri.....                                                                                          | 36              |
| <b>Tablo 4.9.</b> CTAB ilavesi ile elde edilen nem değerleri.....                                                                                                            | 38              |
| <b>Tablo 4.10.</b> Farklı miktarlarda CTAB ilavesi ile elde edilen nem değerleri.                                                                                            | 39              |
| <b>Tablo 4.11.</b> Umectante B-70 ilavesi ile elde edilen nem değerleri.....                                                                                                 | 40              |
| <b>Tablo 4.12.</b> Farklı miktarlarda Umectante B-70 ilavesi ile elde edilen nem değerleri.....                                                                              | 41              |
| <b>Tablo 4.13.</b> Kerosen ilavesi ile elde edilen nem değerleri.....                                                                                                        | 42              |
| <b>Tablo 4.14.</b> Farklı miktarlarda Kerosen ilavesi ile elde edilen nem değerleri.....                                                                                     | 43              |
| <b>Tablo 4.15.</b> Farklı karıştırma sürelerinde elde edilen nem değerleri.....                                                                                              | 44              |
| <b>Tablo 4.16.</b> Reaktif olarak yapılan eleme yüzey alanının artırılmasının incelendiği deneylerde elde edilen nem değerleri.....                                          | 46              |
| <b>Tablo 4.17.</b> Reaktif ilavesi ile yapılan eleme yüzey alanının artırılmasının incelendiği deneylerde elde edilen nem değerleri.....                                     | 46              |
| <b>Tablo 4.18.</b> Eşik ilavesi ile yapılan reaktif ve reaktifli (CTAB) susuzlandırma deneylerinde elde edilen nem değerleri.....                                            | 57              |
| <b>Tablo 4.19.</b> Normal titreşim + dik titreşim uygulanarak eşik ilavesi ile yapılan reaktif ve reaktifli (CTAB) susuzlandırma deneylerinde elde edilen nem değerleri..... | 48              |
| <b>Tablo 4.20.</b> Eşik ilavesi ile reaktif olarak yapılan eleme yüzey alanının artırıldığı susuzlandırma deneylerinde elde edilen nem değerleri.....                        | 49              |
| <b>Tablo 4.21.</b> Eşik ilavesi ile reaktifli olarak yapılan eleme yüzey alanının artırıldığı susuzlandırma deneylerinde elde edilen nem değerleri.....                      | 49              |

## ŞEKİL LİSTESİ

|             | <u>Sayfa No</u>                                                                                                                                     |
|-------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Şekil 3.1.  | Tane boyutuna bağlı olarak yüzey neminin değişimi..... 8                                                                                            |
| Şekil 3.2.  | Kavisli eleğin şematik görünüşü..... 11                                                                                                             |
| Şekil 3.3.  | Elliptex susuzlaştırıcısı..... 12                                                                                                                   |
| Şekil 3.4.  | Derrick eleğinin şematik görünüşü..... 12                                                                                                           |
| Şekil 3.5.  | Titreşimli sepetli santrifüj..... 14                                                                                                                |
| Şekil 3.6.  | Basınçlı filtre çalışma basamakları..... 16                                                                                                         |
| Şekil 3.7.  | Döner tamburlu filtre..... 17                                                                                                                       |
| Şekil 3.8.  | Döner diskli filtre..... 18                                                                                                                         |
| Şekil 3.9.  | Lamella tikilerinin şematik görünüşü..... 19                                                                                                        |
| Şekil 3.10. | Döner kurutucu..... 21                                                                                                                              |
| Şekil 3.11. | Akışkan yataklı kurutucu..... 22                                                                                                                    |
| Şekil 3.12. | Flash kurutucu..... 23                                                                                                                              |
| Şekil 4.1.  | Gürmin madenciliğe ait soma kömür işletmelerinin tesis akım şeması..... 26                                                                          |
| Şekil 4.2.  | Siklon altı ve titreşimli elek üstü malzemesinin elek analiz eğrileri..... 28                                                                       |
| Şekil 4.3.  | Eğimin nem üzerine etkisi..... 31                                                                                                                   |
| Şekil 4.4.  | Frekansın nem üzerine etkisi..... 32                                                                                                                |
| Şekil 4.5.  | Besleme hızının nem üzerine etkisi..... 33                                                                                                          |
| Şekil 4.6.  | Elek açıklığının nem üzerine etkisi..... 34                                                                                                         |
| Şekil 4.7.  | SDS ilavesi ile yapılan deneylerde pH'ın nem üzerine etkisi..... 36                                                                                 |
| Şekil 4.8.  | SDS miktarının nem üzerine etkisi..... 37                                                                                                           |
| Şekil 4.9.  | CTAB ilavesi ile yapılan deneylerde pH'ın nem üzerine etkisi..... 38                                                                                |
| Şekil 4.10. | CTAB miktarının nem üzerine etkisi..... 39                                                                                                          |
| Şekil 4.11. | Umectante B-70 ilavesi ile yapılan deneylerde pH'ın nem üzerine etkisi..... 40                                                                      |
| Şekil 4.12. | Umectante B-70 miktarının nem üzerine etkisi..... 41                                                                                                |
| Şekil 4.13. | Kerosen ilavesi ile yapılan deneylerde pH'ın nem üzerine etkisi.... 43                                                                              |
| Şekil 4.14. | Kerosen miktarının nem üzerine etkisi..... 44                                                                                                       |
| Şekil 4.15. | Karıştırma süresinin nem üzerine etkisi..... 45                                                                                                     |
| Şekil 4.16. | Eleme yüzey alanının artırılmasının incelendiği deneylerde elde edilen nem miktarlarının değişiminin ortak gösterimi..... 46                        |
| Şekil 4.17. | Eşik ilavesi ile eleme yüzey alanı artırılarak yapılan susuzlandırma deneylerinde elde edilen nem miktarlarının değişiminin ortak gösterimi..... 49 |
| Şekil 5.1.  | Normal titreşim ile 0.5 mm elek açıklığında yapılan deneylerde besleme hızının ve eğimin nem değişimi üzerine etkisi..... 52                        |
| Şekil 5.2.  | Normal titreşim + dik titreşim ile 0.5 mm elek açıklığında yapılan deneylerde besleme hızının ve eğimin nem değişimi üzerine etkisi..... 52         |
| Şekil 5.3.  | Normal titreşim ile 0.5 mm elek açıklığında yapılan deneylerde frekansın ve eğimin nem değişimi üzerine etkisi..... 53                              |

|                    |                                                                                                                                                                                                      |    |
|--------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Şekil 5.4.</b>  | Normal titreşim + dik titreşim ile 0.5 mm elek açıklığında yapılan deneylerde frekansın ve eğimin nem değişimi üzerine etkisi.....                                                                   | 53 |
| <b>Şekil 5.5.</b>  | Normal titreşim ile 0.5 mm elek açıklığında yapılan deneylerde frekans ve besleme hızının nem değişimi üzerine etkisi.....                                                                           | 54 |
| <b>Şekil 5.6.</b>  | Normal titreşim + dik titreşim ile 0.5 mm elek açıklığında yapılan deneylerde frekans ve besleme hızının nem değişimi üzerine etkisi.....                                                            | 54 |
| <b>Şekil 5.7.</b>  | Normal titreşim ile 0.5 mm elek açıklığında yapılan deneylerde pH ve reaktif miktarının nem değişimi üzerine etkisi.....                                                                             | 55 |
| <b>Şekil 5.8.</b>  | Normal titreşim + dik titreşim ile 0.5 mm elek açıklığında yapılan deneylerde pH ve reaktif miktarının nem değişimi üzerine etkisi....                                                               | 55 |
| <b>Şekil 5.9.</b>  | Normal titreşim + dik titreşim ile 0.5 mm elek açıklığında yapılan eleme yüzey alanının arttırıldığı deneylerde yüzey alanının ve reaktif miktarının nem değişimi üzerine etkisi.....                | 56 |
| <b>Şekil 5.10.</b> | Normal titreşim + dik titreşim ile 0.5 mm elek açıklığında, eşikli olarak yapılan eleme yüzey alanının arttırıldığı deneylerde yüzey alanının ve reaktif miktarının nem değişimi üzerine etkisi..... | 57 |



## ÖZET

### “KÜÇÜK BOYUTLU KÖMÜRLERİN SUSUZLANDIRILMASINDA TİTREŞİM MEKANİZMASI VE REAKTİF İLAVESİNİN ETKİSİNİN İNCELENMESİ”

Ocaktan üretilen kömürün niteliklerinin yükseltilmesi ve daha kaliteli kömür eldesi, kömür hazırlama işlemleri ile gerçekleştirilmektedir. Bu işlemler sonucunda, küçük boyutlu malzeme üretimi giderek artmakta ve bu malzemelerin oluşturduğu süspansiyonlardaki suyun uzaklaştırılması ekonomik ve teknolojik bakımdan zorunluluk haline gelmektedir. Bu sebepten dolayı; elek, santrifüj, filtre vb. gibi susuzlandırma teknolojileri günümüzdeki çoğu kömür hazırlama tesislerinde kullanılmaktadır. Fakat, süspansiyon içerisindeki tanelerin boyutunun küçülmesi bilinen bu konvensiyonel susuzlandırma ünitelerinin verimini düşürmekte ve daha nemli bir ürün elde edilmektedir.

Günümüzde, mekanik susuzlandırma işlemlerinin verimi arttırmak amacıyla, değişik fiziksel ve kimyasal yöntemlerin kullanıldığı yardımcı prosesler geliştirilmiştir. Konvensiyonel sistemlerle birlikte kullanılan kimyasal reaktiflerin, katı tanecik yüzeyleri ile su arasındaki bağ kuvvetlerinin azalmasına neden olarak, mekanik susuzlandırma işlemlerinde suyun daha kolay ayrılmasını sağladığı, böylece susuzlandırma metodlarının kapasitelerini ve verimini arttırdığı yapılan çalışmalarda ortaya çıkmıştır.

Bu araştırma kapsamında, küçük boyutlu kömür içeren pülplerdeki kömürün susuzlandırmasının incelenmesi amacıyla, dik mekanik titreşim ve yüzey aktif reaktiflerin ilavesi ile titreşimli elek mekanizması kullanılarak deneyler yapılmış olup, titreşimli eleğin parametrelerinin (eğim, frekans, besleme hızı ve elek açıklığı), reaktif ilavesinin ve dik mekanik titreşim uygulamalarının etkisi incelenmiş, optimum susuzlandırma koşulları tespit edilmiştir.

Titreşimli eleğin optimum eğim, frekans, besleme hızı ve elek açıklığı parametrelerinin tesbiti amacıyla yapılan deneyler sonucunda, yaklaşık %61.0 nem oranından %42.3 nem oranına; elek eğiminin 3.5°, frekans değerinin 800 titreşim/dak., besleme hızının 7 lt/dak. ve elek açıklığının 0.5 mm olduğu durumlarda ulaşılmıştır. Bu parametreler sabit tutularak, ilave edilen dik titreşim mekanizmasının kullanıldığı durumlarda ise bu değer %41.5'e kadar indirilmiştir.

-2 mm boyutundaki temiz kömür numunesinin reaktif ilavesi ile susuzlandırılmasının incelenmesi amacıyla normal titreşim altında, sırasıyla; SDS, CTAB, Umectante B-70 ve Kerosen kullanılarak deneyler yapılmıştır. En iyi sonuç, malzemenin doğal pH'ı olan 7.25 değerinde 5 g/ton oranında CTAB kullanarak yapılan deneyde elde edilen %41.2 nem oranıdır. Dik titreşimin kullanıldığı ve reaktif ilavesi ile yapılan susuzlandırma deneylerinde aynı reaktif ve aynı deney koşullarında ise %40.7 nem oranına ulaşılmıştır.



Karıştırma süresinin susuzlandırma üzerindeki etkisinin incelenmesi amacıyla dik titreşimin uygulandığı ve reaktif olarak en uygun olan CTAB'ın kullanıldığı bu susuzlandırma deneylerinde, en iyi sonuç olan %40.7'ye karıştırma süresinin 5 dakika seçildiği durumda ulaşılmıştır.

Eleme yüzey alanının arttırılmasının susuzlandırma üzerindeki etkisinin araştırılması amacıyla bulunan en iyi koşullar sabit tutularak, reaktifsiz ve reaktif ilavesi (CTAB) ile deneyler yapılmıştır. 4 kademe olarak gerçekleştirilen bu deneylerde, reaktif ilave edilmediği durumda %41.5'ten %40.6'ya indirilen nem değeri, reaktif ilave edilmesi durumunda %40.7'den %39.5'e düşmüştür.

Titreşimli elek üzerine yerleştirilen eşik sisteminin nem değişimine olan etkisinin araştırılması amacıyla, en iyi koşullar sabit tutularak, normal titreşim ve normal titreşim + dik titreşim kullanarak, reaktifsiz ve reaktif (CTAB) ilavesi ile deneyler yapılmıştır. Reaktifsiz yapılan eşik deneylerinde, normal ve normal + dik titreşim kullanıldığı durumlarda, sırasıyla; %41.4 ve %40.6 nem değerlerine inilirken, reaktif ilave edilmesi durumunda ise sırasıyla; %40.5 ve %39.9 nem değerlerine ulaşılmıştır.

Eşik sistemi ile yapılan eleme yüzey alanının arttırıldığı susuzlandırma deneylerinin nem değişimi üzerindeki etkisinin araştırılması amacıyla; titreşimli elek, dik mekanik titreşim ve reaktif ile susuzlandırmada bulunan en uygun parametreler sabit tutularak, reaktifsiz ve reaktif ilavesi (CTAB) ile deneyler yapılmıştır. 4 kademe olarak gerçekleştirilen bu deneylerde, reaktif ilave edilmediği durumda %40.6'ten %39.7'ye indirilen nem değeri, reaktif ilave edilmesi durumunda %39.9'dan %38.7'ye düşmüştür.

## SUMMARY

### **“INVESTIGATION OF VIBRATION MECHANISM AND REACTIVE ADDITION EFFECT ON THE DEWATERING OF SMALL PARTICLE SIZED COALS”**

The quality increasement of run of mine coals and obtaining more qualified coals are realized by coal preparation processes. At the end of these processes, small particle sized coal production smoothly increases and dewatering of the pulp of these materials become a must for economic and technologic reasons. For this reason, screens, centrifuges, filters etc. were established in coal processing systems as dewatering technology equipments. But, the decrease of particle size of coal in pulp, reduces the conventional dewatering units' efficiency, therefore the moisture of the product increases.

Nowadays, to increase the efficiency of mechanical dewatering processes, extra processes developed by considering physical and chemical techniques are applied to the conventional systems by the means of adding chemical reactives. It was realized that efficiency and capacity increasement of dewatering methods can be obtained by the chemical reactives used in conventional systems cause a decrease of intermolecular forces between small solid particle and water interfaces, and than mechanic dewatering methods separate water more easily.

Within the frame of this study, application of vertical vibration mechanism and chemical reactive addition experiments had been accomplished by using vibration screen mechanism and the important parameters of the screen unit (incline, frequency, feed rate and screen size), reactive addition and vertical mechanic vibration effects on dewatering of small particle sized coal pulps had been investigated to obtain optimum dewatering conditions.

At the end of the optimization experiments of the used vibration screen unit for incline, frequency, feed rate and screen size parameters, 61.0% moisture ratio of the feed had been reduced to 42.3% moisture ratio with screen incline of 3.5°, frequency of 800 vibration/min, feed rate of 7 lt/min and screen size of 0.5 mm. With having these values constant, adding vertical vibrating mechanism reduced the moisture ratio till to 41.5%.

For the investigation of surface active agents effects on the clean coal sample having particle size of -2 mm, standard vibration had been used with the reactives namely, SDS, CTAB, Umelectant B-70 and kerosene. The best result had been accomplished as moisture ratio 41.2% with 5 g/t of CTAB at the normal pH condition of the pulp, which is 7.25. By using vertical vibrating mechanism, CTAB gave the best result of 40.7% moisture ratio.

In order to investigate the effect of conditioning time on dewatering, a set of experiments had been run by using vertical vibration and the most suitable reactive CTAB, at the end the best result had been found as 40.7% moisture ratio, when the conditioning time was chosen as 5 minutes.

The increasement of screen surface area of vibrating screens on the moisture differentiation had been investigated by having the best conditions constant, with and without reactive. The experiments run by 4 steps without reactive the moisture value at the first step 41.5% reduced to 40.6% and with reactive the moisture value at the first step 40.7% had been reduced to 39.5%.

The experiments were run with the threshold system placed on the screen surface, to investigate the effect of threshold on the differentiation of moisture, with using standard vibration and standard + vertical vibration, also with and without reactive agents at the constant best setting parameters. In the threshold experiments run without reactive by using standard and standard + vertical vibration, respectively, gave the results of 41.4% and 40.6% moisture ratio, with reactive the results had been reduced to 40.5% and 39.9%.

The effect of threshold + increasement of screen surface area on the moisture differentiation had been investigated by having the best conditions of vibrating screen, vertical vibration mechanism and reactive constants, with and without reactive. The experiments run by 4 steps without reactive the moisture value at the first step 40.6% reduced to 39.7% and with reactive the moisture value at the first step 39.9% had been reduced to 38.7%.

## 1. GİRİŞ

### 1.1. Giriş ve Araştırmanın Amacı

Nüfus artışı ve teknolojik gelişmenin dünya enerji talebini hızla arttırması sonucunda, kömür, petrol ve doğalgaz gibi fosil yakıtların kullanımı günümüze kadar önemini korumuştur. Petrol ve doğalgaz rezervlerinin dünyanın bellibaşlı yerlerinde ve kömüre göre sınırlı olması, zaman zaman dünya ekonomisinde politik pazarlıklara ve dolayısıyla krizlere neden olmuş, bu da haklı olarak dünya milletlerinin daha güvenilir enerji kaynaklarına veya kendi öz kaynaklarına yönelmelerine neden olmuştur. Bu çerçevede ülkemizde de enerji taleplerini önemli ölçüde karşılayabilecek olan kömür, en yaygın doğal kaynak olarak ekonomik biçimde işletilebilmelidir.

Kömür madenciliği sürekli yatırım gerektiren ve yoğun sermaye isteyen bir madencilik türüdür. Uzun vadeli planlama, arama ve hazırlık, etkin ve verimli üretim, hızlı pazarlama zorunludur. Kömür madenciliğinin gelişimine bakıldığında, dışa bağımlı alternatif yakıtların ülkemize girmesi (ithal kömür, doğalgaz gibi) kamu sektöründe yaşanan yönetsel ve özelleştirme politikalarının belirsizliğinden kaynaklanan sorunlar, kömür madenciliğinin gelişme dinamiğinin kaybolmasına yol açmıştır. Hızlı kentleşmenin sonucu olarak büyük şehirlerimizde yaşanan hava kirliliği, yerli kömürlerimizin yakılmasına getirilen kısıtlamalar, ithal kömür ve doğalgaz gibi yakıtların yaşantımıza girmesi, üretim ve yatırım düşüşleri meydana getirmiştir.

Bugün varolan ve önümüzdeki yıllarda giderek büyük boyutlara tırmanacak olan kömür (özellikle linyit) açığının azaltılabilmesi için üretim düzeyinin arttırılması zorunluluğu vardır. Bu, kendi özkaynaklarımıza dayalı bir enerji üretim-tüketim dengesinin kısa ve orta vadede kurulabilmesi, başka bir deyişle dışarıdan karşılanan kömür, gaz, petrol gibi yakıtların tüketimdeki paylarının azaltılması, açısından önemlidir[1,2].

Özellikle son yıllarda küçük boyutlu malzeme üretiminin giderek artması, küçük boyutlu minerallerin oluşturduğu süspansiyonlardaki suyun uzaklaştırılmasını ekonomik ve teknolojik bakımdan zorunluluk haline getirmiş ve bu çoğu zaman çok zor ve pahalı bir iş olmuştur. Bunda en büyük etkenlerin başında kazı mekanizasyonundaki yeni teknikler, küçük boyutlarda serbestleşme ve ardından flotasyon, flokülasyon, gravite ayırması ve manyetik ayırma gibi cevher hazırlama teknikleri kullanarak minerallerin birbirinden ayrılması sıralanabilir. Ayrıca kömürdeki kükürdün büyük bir kısmını oluşturan demir sülfürleri kömürden uzaklaştırabilmek için küçük boyutlarda üretim zorunlu hale gelmiştir. Fakat, küçük boyutlarda tanelerin susuzlandırılması boyuta bağlı olarak daha da zorlaşmaktadır. Tanelerin boyutu küçüldükçe yüzey alanı artmakta ve susuzlandırma için bir sorun haline gelmektedir. Örnek olarak, >2 cm kömür parçaları sarsıntılı elekler ve santrifüj kurutucuları kullanılarak %3-4 nem içeriklerine kadar susuzlandırılabilirler. Esas sorun, küçük kömür içeren süspansiyonların bilinen konvensiyonel yöntemlerle %20 nem içeriğinin altına düşürülmesidir[1-6].

Günümüzde, %24 nem oranının üzerinde üretilen küçük boyutlu kömürün pazarlanabilmesi zor olmakta ve bir takım cezalar uygulanmaktadır. Kömür hazırlama tesislerinde, filtrasyon dışında, en iyi koşullarda, küçük boyutlu kömürlerin yaklaşık %35 nem içeriğiyle üretilebildiği düşünülürse, uygulanacak mekanik titreşim ve reaktif ilavesi ile bu değerin %30'ların altına indirilmesi oldukça önemli bir ekonomik katkı sağlayacaktır.

Bu araştırmada; titreşimli elek ile yapılan mekanik susuzlandırmanın, dik mekanik titreşim ve kimyasal reaktiflerin ilavesi ile daha etkin hale getirilebilme olanakları araştırılmıştır.

Bu tez, giriş, kömür zenginleştirme yöntemleri ve kömürün susuzlandırılması hakkındaki genel bilgiler, deneysel çalışmalar, deneysel verilerin modellenmesi, sonuçlar ve irdelemeler bölümlerinden oluşmaktadır.

## 2. KÖMÜR ZENGİNLEŞTİRME YÖNTEMLERİ

Oluşum koşulları, yapısı ve içerdiği safsızlıklara bağlı olarak kömür zenginleştirmede çok çeşitli zenginleştirme yöntemleri kullanılmaktadır. Bunlar çok basit yıkama teknikleri olabileceği gibi, tüketim alanının istekleri doğrultusunda daha karmaşık ve gelişmiş teknikler de olabilmektedir[1-4].

### 2.1. İri Kömür Zenginleştirme Yöntemleri

İri boyut kömür zenginleştirmesinde üst boyut, kömürün özelliğine göre 150 veya 100 mm olarak seçilmekte, genel olarak ağır ortam sistemi ve jiglerle zenginleştirilmektedir.

Ağır ortam ayırması yöntemi, gravite yöntemleri arasında en basiti olup bu yöntem kullanılarak yapılan zenginleştirme işlemlerinden daha ekonomik olarak temiz kömür üretilmektedir. Malzeme ve ağır ortam, ağır ortam ünitesine devamlı olarak beslenmekte, yüzen kısım (temiz kömür) taşma yoluyla, batan kısımlar ise (araürün ve artık) banyo dibinden alınarak, birlikte gelen ağır ortamın ayrılması için, ayrı ayrı süzme eleklerine verilmektedir. Eleklerin altına geçen ortam tekrar banyoya gönderilirken, eleklerin üstünde kalan yüzen ve batan ürünler de yıkama eleklerine beslenmekte, yıkama eleklerinin altına geçen kirli ve seyrelmiş ortam, temizleme ve ayarlama işlemine tabi tutulduktan sonra tekrar ağır ortam banyosuna verilmektedir.

Endüstriyel çapta kullanılan ve genellikle üst boyutu 100 mm olan kömürlerin zenginleştirildiği ağır ortam ayırıcıları tekne (oluk), koni ve tambur şeklindedirler. Endüstriyel çapta en çok kullanılan ağır ortam ayırıcıları, tekne tipi Tromp ayırıcısı ve tambur tipli ağır ortam ayırıcıları olan Wemko, Teska ve Drewboy ayırıcılarıdır. Bu ayırıcıların kapasiteleri 100-900 ton/saat arasında değişmektedir.

Geniş bir boyut aralığında zenginleştirme yapabilen diğer bir ağır ortam aygıtı ise İngiliz patentli Larcodem ayırıcısıdır. Ağır ortam olarak manyetit kullanıldığı ve santrifuj kuvvet etkisiyle ayırma yapabilen bu aygıt, jiglere alternatif olarak geliştirilmiştir. -100+0.5 mm boyut aralığındaki kömürü 250 ton/saat kapasite ile



zenginleştirebilen Larcodem ayırıcılarının performansı ve kontrol olanakları oldukça yüksektir.

Özgül ağırlık farkına göre zenginleştirmede en çok kullanılan aygıtlardan biri olan jiglerde genellikle ortam olarak su kullanılır. Suyun pülsasyon hareketi piston veya hava vasıtasıyla sağlanır. Suyun aşağı-yukarı hareketi ile kömür ve kömürle beraber olan yantaşlar yoğunluklarına göre tabakalaşır. Kömürde kullanılan jigler Baum ve Batak jigleridir. Baum jiginin maksimum kapasitesi, beslenen kömürün özelliklerine bağlı olarak 250 ton/saat civarında iken, endüstriyel çapta çalıştırılan en büyük batak jiginin kapasitesi yaklaşık 1000 ton/saat tir[1-6].

## **2.2. Küçük Boyutlu Kömürün Zenginleştirilmesinde Kullanılan Yöntemler**

0.5 mm altındaki küçük boyutlu kömürlerin zenginleştirilmesinde kömür spirali, reichert konisi, sarsıntılı masalar ve flotasyon yöntemi kullanılır.

Spiraller değişik spesifik özgül ağırlıktaki mineralleri, genelde su olan akışkan bir ortamda hidrodinamik, gravite ve merkezkaç kuvvetinin etkisi ile zenginleştirmektedir. Küçük boyutlu kömürlerin zenginleştirilmesi amacıyla en çok kullanılan spiral Reichert spiralidir. Bu spiralde pülp'ün beslemesi spiralin tepesinden yapılmaktadır. Pülp aşağıya doğru spiral şeklinde akarken; parçacıklar merkezkaç kuvveti ve değişik çökme oranlarına bağlı olarak bantlara ayrılmakta, iri ve ağır mineraller merkeze yakın kısımda toplanırken, ince ve hafif ürün (temiz kömür) hatvenin yan duvarından alınmaktadır[5].

Akışkan su tabakasıyla ayırma yapan Reichert konisi, çok katlı oluk olarak da nitelendirilebilir. Dört koni grubundan oluşan bu aygıtın her bir koni kademesinde elde edilen ağır mineral ürünü dışarıya alınırken, hafif mineraller bir alttaki koni grubunda ayırmaya tabi tutulur. Reichert konisinde  $-1 + 0.03$  mm arasındaki, %60-65 pülpde katı oranına sahip malzeme, aygıtın tepesinde bulunan ve merkezden geçen borudan beslenir. Her koni grubunda, dışa doğru eğimli yüzeyler minerallerin yüzeye dağılmasına, içe doğru eğimli yüzeyler ise minerallerin ayrılmasına yardımcı olmaktadır. Her bir koni grubunda üst kısımda iki, alt kısımda bir ayırma yüzeyi vardır. Konilerin çapları 3.5 m'ye kadar çıkabilmekte ve kapasiteleri 100 ton/saat olabilmektedir[1-4].



Küçük boyutlu kömürlerin zenginleştirilmesinde kullanılan diğer bir ayırıcı, sarsıntılı masadır. Genellikle, Deister tipi sarsıntılı masaların kullanıldığı kömür hazırlama tesislerinde, 0.5 mm boyutuna kadar olan küçük boyutlu kömürler zenginleştirilebilmektedir.

Flotasyon yöntemi 0.5 mm boyutunun altındaki kömürlerin temizlenmesinde uygulanmaktadır. Temiz kömür yüzeyinin hidrofob özellik göstermesi, yani kömürün doğal yüzebilirliğe sahip olması, kömür şist ve pirit ayırımını kolaylaştırmaktadır. Kömürün doğal yüzebilirlik özelliği, kömürün kimyasal ve petrografik yapısına ve kömürleşme derecesine bağlıdır. Bugün özellikle flotasyon teknolojisindeki gelişmelerle, 0.045 mm altı kömürlerden süper düşük küllü (%4'ün altında) temiz kömürler üretmek mümkün olmaktadır. Günümüzde en çok kullanım alanı bulan yeni flotasyon sistemleri; Kolon ve Jet (Jameson) flotasyon sistemleridir[1].

### 3. KÖMÜRÜN SUSUZLANDIRILMASI

Kömürlerin ocakta üretildikleri gibi tüketimlerini engelleyen en önemli safsızlıklar; kükürtlü bileşikler, inorganik bileşikler ve nemdir. Ocak çıkışında, taş kömürleri %1-10, sert linyitler %20-30, yumuşak linyitler %40-60, turbalar ise %60'ın üzerinde nem içerirler. Tuvenan kömürlerin nemi, kömürleşme derecesi azaldıkça artmaktadır. Türk linyitlerinin ancak %14 kadarının nem içeriği %20'nin altında olup, geri kalan %86'sı yüksek oranda nem içermektedir ve ortalama nem içerikleri %41.8'dir.

Cevher ve kömür hazırlama işlemlerinin büyük bir çoğunluğunda su kullanılmaktadır. Zenginleştirme sonunda elde edilen ürünlerin pazarlanabilmesi veya daha sonraki aşamalarda değerlendirilebilmesi için sudan arındırılması gerekmektedir. Bu işleme "Susuzlandırma" denir. İşlemler sonunda elde edilen konsantrelerin ve temiz kömürün susuzlandırılması yanında, tesis artıklarının sudan ayrılması; tesise su temini ve çevre koruma koşulları açısından da önem taşır.

Kömürlerin susuzlandırılması mekanik ve ısı işlem olmak üzere iki şekilde yapılmaktadır. Mekanik susuzlandırma yöntemleri ile giderilebilecek nem miktarı sınırlıdır, daha fazla nem gidermek için kömürlerin kurutulması gerekmektedir. Hem susuzlandırma, hem de kurutma yapılmasının belli başlı nedenleri; nakliye, stoklama işlemlerinde maliyeti, yakma işlemlerinde enerji kaybını azaltmak, kırma, öğütme, yakma kapasitelerini arttırmak ve teknolojik gereksinimlere uygun kömür sağlamaktır[7,8].

#### 3.1. Kömürün Su İçeriği

Su, kömürde üç şekilde bulunur. Bunlar; yüzey suyu, bünye suyu ve molekül suyu'dur.

a) *Yüzey suyu:* Kömür yüzeyinde tutulan ve yüzeydeki gözenekleri dolduran suya kaba nem veya yüzey nemi denir.

*b) Bünyeye suyu:* Fiziksel olarak, yani absorpsiyon ve kapiler kuvvetlerle kömüre bağlı olan suya bünyeye nemi veya higroskopik nem denir.

*c) Molekül suyu:* Kömürde, kimyasal olarak bağlı olan suya molekül suyu veya hidratasyon suyu denir. Molekül suyunun toplam kömür suyu içinde payı azdır.

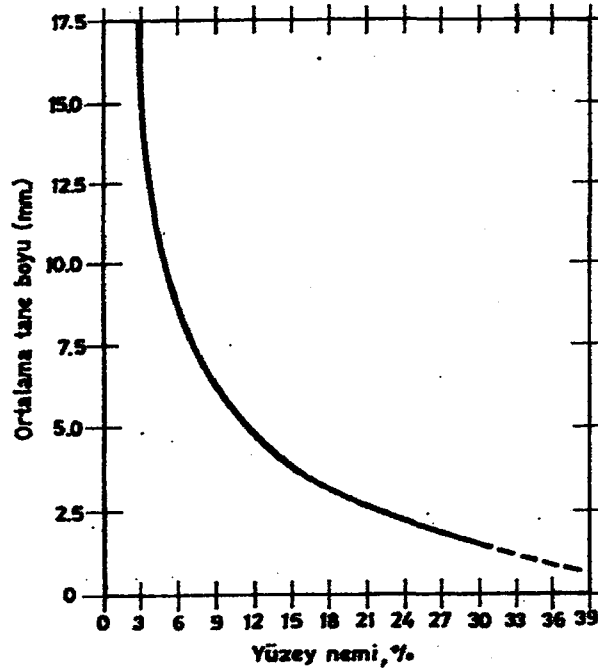
Kömürün içerdiği yüzey nemi (kaba nem); kömürün, ağırlığı sabit kalana kadar hava ile temasta bırakılmasıyla saptanan ağırlık kaybından hesaplanır. Sabit tartıma gelmiş bu kömür, havada kuru olarak adlandırılır.

Kömürün toplam nem içeriğinin hesaplanmasındaki en pratik yöntem, havada kuru kömür numunesini 0.25 mm'nin altına  ğ t p, kuru hava sirkülasyonlu bir etüvde 104-110 C'ta 60 dakika süre ile bekletmektir[8].

### **3.2. Kömürün Susuzlandırılmasını Etkileyen Faktörler**

Susuzlandırma işlemi sırasında kömürün davranışını belirleyen faktörler, kömürün yapısına ve kullanılan susuzlandırma yöntemine bağlı olarak ikiye ayrılabilirler. Yapıya bağlı faktörlerin en önemlileri; tane iriliği, nem içeriği ve k m rle me derecesidir. Kömürün nem içeriği ve k m rle me derecesi, birbirlerinden tam olarak bağımsız değildir. Kullanılan yönteme bağlı faktörler ise, kullanılan enerjinin miktarı ( rneğin; basınç farkının miktarı), uygulama şekli ve uygulama süresi gibi kavramlardır.

Kömürün tane boyutu küçüldükçe, birim kütle başına yüzey alanı ve nem tutma oranı artar ve susuzlandırma eğilimi zorlaşır ( ekil 3.1). Kömür boyutu küçüldükçe yüzey alanı artacağı için, taneler arası (harici) gözeneklerin miktarı, dolayısı ile yüzey neminin oranı artar. Ayrıca, tane içi gözeneklerin, ya  işlemlerde kullanılan su tarafından eri ilebilme oranı ve dolayısıyla nem içerikleri de, tane boyutu küçüldükçe artar. Yüzey nemi ya da harici gözeneklerdeki nem, susuzlandırma ile uzaklaştırmaya en uygun nemdir. Tane içi gözeneklerdeki bünyeye nemi, kömürün gözenek yapısına bağlı olarak susuzla tırılma işlemlerinde sorun çıkarabilir. Kimyasal olarak bağlı nem, ancak, kurutma ile bünyeden uzaklaştırılabilir[7,8,9].



Şekil 3.1 Tane Boyutuna Bağlı Olarak Yüzey Neminin Değişimi[8].

### 3.3. Teknolojik Uygulamalarda Nem Sınırlamaları

Kömürlerin nem içeriği, teknolojik uygulamalarda, yüksek verim ve/veya kaliteli ürün eldesi açısından önemli bir parametredir. Yakma, briketleme, koklaştırma, gazlaştırma, düşük sıcaklık karbonizasyonu, sıvılaştırma gibi kömür değerlendirme proseslerinin öngördüğü nem sınırlamaları farklıdır. Kömürün susuzlandırılması, ekonomik açıdan, külünden arındırılması kadar önemlidir. Kömürlerde, yaklaşık %1 oranında nem artışının, %4.5 oranında kül artışına eş değer miktarda ısı verimi düşüreceği bilinmektedir.

Koklaştırma, kömür kurutmanın önemini sergileyen tipik bir örnektir. Nispeten düşük bir ilk yatırım masrafı gerektiren kurutucuların kullanılmasıyla, hem nem giderilir hem de ön ısıtma yapılır. Böylece, koklaştırma sisteminin kok üretim kapasitesi, kurutmaya bağlı olarak %10-15, ön ısıtmaya bağlı olarak da %30-50 oranında artırılabilir. Bu yöntemle oluşan kokun, mekanik direnci yüksek, öğünebilirliği düşük, tane yapısı homojen olur.

Koklaştırmada, kullanılan kömürün nem içeriği, kömürün yığın yoğunluğunu, dolayısı ile de koklaşma verimini etkiler. Batı Avrupa'daki koklaştırma tesisleri, %8-10 nem içeren kömürleri tercih ederken; ABD'deki tesisler, %5-7 nem içeren

kömürlerle çalışırlar. Ayrıca, nemdeki farklılıklar, kok yan ürünlerinin verim ve bileşimini az da olsa etkiler. Çok düşük nem içerikleri bile, kokun şişmesine ve fırından itilmesi esnasında zorluklara neden olur[8].

Kömürün nem içeriği, briketlemede de önemlidir. Bitümlü bağlayıcı ilavesinden önce, briketlenecek kömürün neminin mümkün olduğunca azaltılması gerekmektedir. Briketleme için, bitümlü kömürlerde nem oranının %4'ü geçmemesi gerektiği, ancak, yüzey aktif maddelerin ilavesi ile %10 civarına kadar yükseltilebileceği belirtilmektedir.

Kömürün neminden arındırılması, kömür hazırlama tesislerindeki proseslerin verimliliği için de gerekli olabilir. Örneğin, ağır ortam ile zenginleştirilecek kömür, önce yaş elenir ve ardından da ağır ortam ile karıştırılmadan önce susuzlandırılması gerekir[8].

Günümüzde büyük çapta uygulanan belli başlı kömür değerlendirme teknolojilerine ilişkin nem sınırlamaları Tablo 3.1'de gösterilmiştir.

Tablo 3.1 Başlıca Kömür Teknolojilerindeki Nem Sınırlamaları[8].

| Taş Kömürü                    | % Nem | Linyit                        | % Nem |
|-------------------------------|-------|-------------------------------|-------|
| Koklaştırma (Besleme Yöntemi) | <8    |                               |       |
| Koklaştırma (Ramming Yöntemi) | 8-12  | Gazlaştırma                   | 5-15  |
| Briketleme                    | <4    | Briketleme                    | 8-10  |
| Pulverize sistemlerde yakma   | <2    | Pulverize sistemlerde yakma   | 12-15 |
| Düşük sıcaklık karbonizasyonu | =0    | Düşük sıcaklık karbonizasyonu | <15   |
| Hidrojenasyon                 | =0    | Hidrojenasyon                 | =0    |

### 3.4. Kömür Susuzlandırma Yöntemleri

Genel olarak kömürün susuzlandırılmasında mekanik ve ısı işlem olmak üzere iki şekilde yapılmaktadır. Mekanik yöntemler ile giderilebilecek nem miktarı sınırlıdır, daha fazla nem gidermek için kömürün kurutulması gerekir. Hem susuzlandırma hem de kurutma yapılmasının belli başlı nedenleri; nakliye, stoklama işlemlerinde

maliyeti, yakma işlemlerinde enerji kaybını azaltmak, kırma, öğütme, yakma kapasitelerini arttırmak ve teknolojik gereksinimlere uygun kömür sağlamaktır[1-8].

### 3.4.1. Mekanik Yöntemler

Kömür hazırlama tesislerinde, susuzlandırma üniteleri, tesisin önemli bir kısmını oluşturmaktadır. Tesis tasarımına bağlı olarak çok çeşitli ve özel aygıtlar kullanılabilmesine rağmen, kömürün susuzlandırılmasında kullanılan ekipmanlar, başlıca beş ana grup altında toplanabilir[7,8,9]. Uygulandıkları tane boyutuna göre, bu ekipmanlar şu şekilde sınıflandırılabilir:

- Elekler (sallantılı >20 mm ve titreşimli 0.2-10 mm), hareketsiz elekler, kavisli elekler (0.1-3 mm).
- Santrifüjler (0.05-10 mm).
- Filtreler < 2 mm.
- Yer çekimi ivmesi kullanan ekipmanlar; tikinerler (koyulaştırıcılar <0.05 mm), hidrosiklonlar (0.2-10mm).

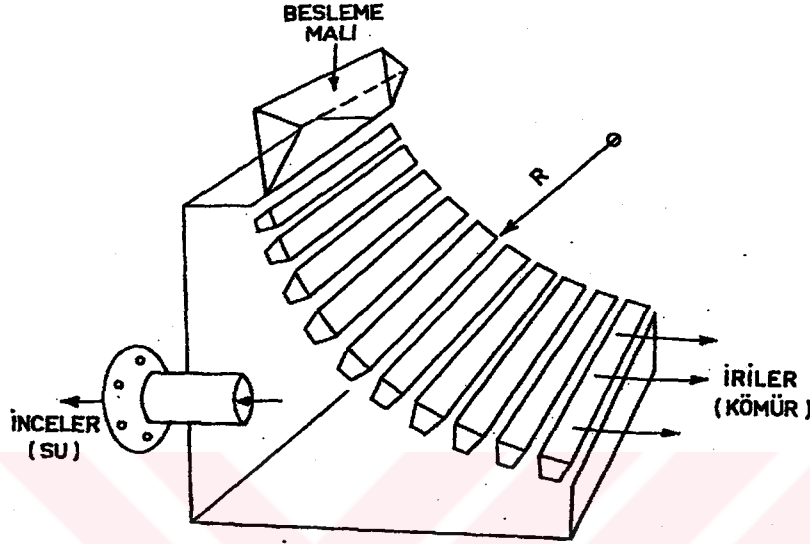
#### 3.4.1.1. Elekler

Eleme işlemi, sınıflandırmada kullanılabileceği gibi, malzemeyi suyundan arındırmakta da kullanılabilir. Nem oranı, tane boyutuna bağlı olarak değiştiği için, eleme esnasında, suyun katı tanelerden süzülerek ayrılması (Şekil 3.1), suyun dağılımını boyuta göre düzenler.

Susuzlandırmada kullanılan elekler, genel olarak, hareketli ve hareketsiz elekler olmak üzere ikiye ayrılabilirler. Hareketsiz eleklerin en çok kullanılanı, kavisli elek olarak bilinen sieve bend eleğidir. Susuzlandırmada kullanılan bu elek, genellikle, hareketli (titreşimli) eleklerin önüne yerleştirilir. Kavisli elek, pülöp akışına teğetsel eğri bir yüzey üzerinde akıma dik olarak yerleştirilmiş paralel çubuklardan oluşur (Şekil 3.2). Malzeme, 3-8 m/s'lik bir hızla eleğe beslenir ve hız çıkışa doğru azalır.

Beslenen malzemenin katı madde oranı %20'yi aşmamalıdır. Aksi takdirde, malzemenin yoğunluğu, elek yüzeyinden süzülme kabiliyetini ve dolayısıyla çalışma performansını büyük ölçüde etkiler. Eleğin açısı 45° ile 300° arasında değişir, fakat en yaygın kullanım açısı 45-60 derece arasındadır. Yarıçap R, yaklaşık 750 mm civarındadır.

Kavisli elekler, yüksek kapasiteleri ve performansları nedeni ile susuzlaştırmanın ilk aşamasında tercih edilirler. Örneğin; ağırlıkça %30-50 katı oranındaki, -0.5 mm boyutundaki kömür pülpünü, 1 m genişliğindeki kavisli bir elekten 8-10 m<sup>3</sup>/saat kapasite ile geçirmek mümkündür. Bu eleklere, bazı durumlarda bir titreşim mekanizması ile sarsıntı sağlanarak kapasiteleri artırılabilir.



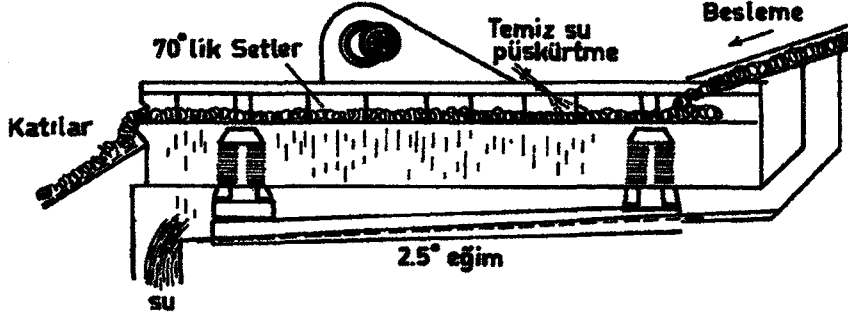
Şekil 3.2 Kavisli Eleğin Şematik Görünüşü[7].

Hareketli elekler, sallantılı, titreşimli ve rezonans olmak üzere üçe ayrılırlar. Sallantılı elekler, genellikle, eğimli olarak yerleştirilirler ve yavaş (150 devir/dakika; 70-100 mm strok), hızlı (200-300 devir/dakika; 25-75 mm genlik) olmak üzere iki şekilde tasarlanırlar. Titreşimli elekler; yüksek frekanslı (500-2500 devir/dakika; 10 mm'den kısa strok) ve düşük (25-500 devir/dakika; 15-30 mm genlik) frekanslı olmak üzere ikiye ayrılırlar[7,8,9].

Titreşimli elekler, yapısal olarak çok çeşitlilik gösterirler. Şekil 3.3'de gösterilen Elliptex susuzlaştırıcı adı verilen bu elekte, malzeme, eleğe eliptik olarak beslenir. Elek üzerinde, kıyılarından 70 derece eğimli ve 30 mm yüksekliğinde ve 1 m aralıklarla yerleştirilmiş bir seri set bulunur. Kömür taneleri, elek yüzeyi üzerindeki hareketleri esnasında, bu setler tarafından yavaşlatılır ve sıkışma ile tabakalaşmaya maruz kalarak suyun çoğundan kurtulurlar.

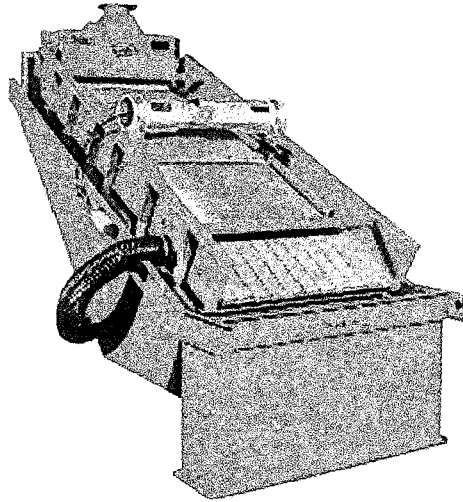


Taneler, elek üzerinde ilerlemek için setleri aşmak zorundadırlar ve bu olay sırasında genişirler. Böylece, taneler arasında kalmış olan suyun bir kısmı daha ortamdan uzaklaştırılır. Bu elekte, boyutu -3 mm olan taş kömürünün nem oranının, yaş elemeye rağmen, %12.2'ye düşürülebildiği görülmüştür. Bu elekte, boyutu 0.2 mm'ye kadar olan taneler dahi susuzlaştırılabilir[7,8,9].



Şekil 3.3 Elliptex Susuzlaştırıcısı.

Diğer tip eleklerde hareketin yönü sürekli değiştiği için enerjinin çoğu harcanmakta ve bu nedenle yüksek güçlü motorlar gerekmektedir. Bu nedenden dolayı, harcanan enerjiyi koruyup gerekli motor gücünü düşürmeye yönelik rezonans tipi elekler dizayn edilmiştir ve bu elekler 50 mm'den 0.5 mm'lere kadar boyutlarda ve çok değişik malzemeler için kullanılabilirler. Şekil 3.4'de, rezonans tipi eleklerden biri olan Linatex-Derrick eleğinin şematik görünüşü görülmektedir. Bu eleğin kasası bölümlere ayrılmıştır ve her bir bölümün eğimi değişiktir. Başlangıçta daha düz olan yüzey akmakta olan süspansiyondan suyun süzülmesine olanak verir. Nem içeriği azaldıkça, katıların akışkanlığı azalacağından kasanın eğimi gittikçe artmaktadır[4].



Şekil 3.4 Derrick Eleğinin Şematik Görünüşü.

### 3.4.1.2. Santrifüjler

Normal olarak gravite ile çökmesi güç olan kolloidal taneciklerin merkezkaç kuvvet etkisi ve santrifüj altında ayrılması mümkün olmaktadır. Santrifüjler kömür hazırlamada 40-0.3 mm arasında kömürlerin susuzlandırılmasında etkin olarak kullanılan aygıtlardır. Döner sepetli ve kovalı olmak üzere iki tip santrifüj bulunmaktadır. Döner sepetli santrifüjler;

- Boşalma aygıtı olmayan döner sepetli (6-0.6 mm)
- Boşalma aygıtlı döner sepetli (6-0.5 mm)
- Titreşimli sepetli (40-0.3mm)

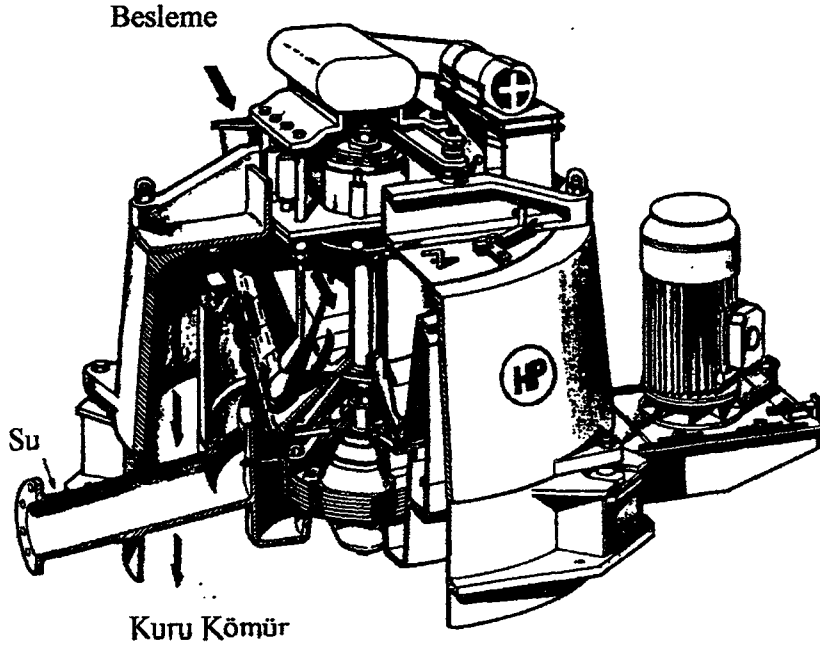
olmak üzere üç gruba ayrılır.

Döner sepetli santrifüjler basit yapıda olup, 6-0.5 mm arasında etkin olarak çalışırlar. Bu tür santrifüje ürün beslenmeden önce, bir ön susuzlaştırma gerekir. 90 cm. çaplı boşaltma aygıtlı döner sepetli santrifüj kurutucu aşağıdaki özelliklere sahiptir.

|                                      |                     |
|--------------------------------------|---------------------|
| Besleme kapasitesi                   | : 65 ton/saat       |
| Beslenen ürün yüzey rutubeti         | : %20-35            |
| Beslenen ürün boyutu                 | : 6-0.5 mm          |
| Dönüş hızı                           | : 550-570 dev./dak. |
| Susuzlandırılmış ürün yüzey rutubeti | : %6                |
| Susuzlandırma verimi                 | : %90               |

Titreşimli sepetli santrifüjler, düşey ve yatay sepetli olmak üzere iki tür olup, ilk kez 1966 yılında kullanılmışlardır. Bu santrifüjlere 40-0.3 mm arasında kömür beslenebilir (Şekil 3.5). Bu kurutuculara ait özellikler aşağıda verilmektedir.

|                                      |                     |
|--------------------------------------|---------------------|
| Besleme kapasitesi                   | : 60-150 ton/saat   |
| Beslenen ürün yüzey rutubeti         | : %20-35            |
| Beslenen ürün boyutu                 | : 40-0.3 mm         |
| Dönüş hızı                           | : 550-570 dev./dak. |
| Susuzlandırılmış ürün yüzey rutubeti | : %8-10             |
| Susuzlandırma verimi                 | : %97               |



Şekil 3.5 Titreşimli Sepetli Santrifüj.

Kovalı santrifüjler, iki dönen elemandan oluşurlar. Dış ünite kesik bir koni şeklinde, bunun içine monte edilen ikinci ünite ise, kova şeklindeki bir taşıyıcıdır.

Bu tür santrifüjler, koyulaştırmaya gerek olmadan seyreltik pülplerde çalışabilirler. Kovalı santrifüjler ile çalışmada küçük boyutlu malzeme miktarına bağlı olarak rutubet oranları değişmektedir. 200 mesh altındaki malzeme, besleme malzemesinde %5 oranında ise, nihai malzemedede nem %7 civarında olabilir. 200 mesh altı malzeme, beslenen kömürde %5-10 arasında ise, nihai malzemedede nem miktarı %12 olur. 200 mesh altındaki malzeme miktarı %15'e çıktığı zaman, nihai malzeme nemi %16 olmaktadır[4-10].

#### 3.4.1.3. Filtreler

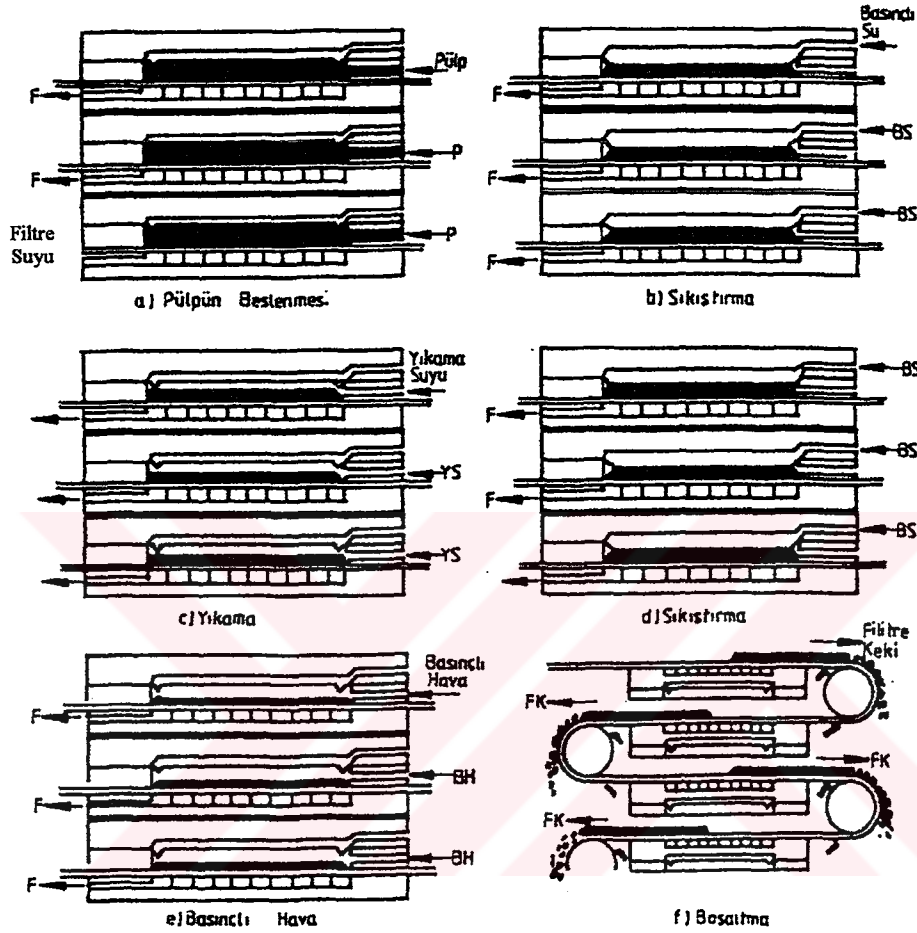
Filtrasyon, gözenekli bir ortamda katıların tutularak sıvının bu ortamdan geçmesi ve böylece katıların sıvılardan ayrılması yöntemi olarak ifade edilir. Genellikle filtre olarak kullanılan ortamın delikleri ayrılması istenen katı tane ebadından büyük olmakta ve iyi bir filtrasyon işlemi ancak katı malzeme filtre ortamında birikmeye başladıktan sonra gerçekleşebilmektedir. Bir başka deyişle, filtre ortamı kek tabakası oluşuncaya kadar filtre çamuruna destek görevi yapar. Gerçek filtre ortamı olan kekin ilk tabakalarının oluşması esnasında ince tanelerin başlangıç anındaki filtre ortamının deliklerini tıkamasına engel olmak gerekir. Bu nedenle filtre ortamı mümkün olduğunca iri delikli seçilmelidir[3,8].

Herhangi bir filtrasyon işlemi için en uygun filtre genel olarak maliyeti en düşük olanıdır. Filtrenin maliyeti filtre alanı ile artmaktadır. Bu yüzden filtre alanını arttırmadan filtrasyon hızının artırılması tercih edilen bir durumdur. Bu ise yüksek basınçların kullanılmasını gerektirir. Yüksek basınçlar ise mekanik dizaynlar bakımından sınırlı olmak zorundadır. Sürekli çalışan filtreler aralıklı çalışanlara (batch tipi) göre daha ekonomiktir ve daha fazla malzeme filtre etme imkanı vardır. Ancak bazı hallerde, özellikle filtre kekinin direncinin yüksek olduğu durumlarda aralıklı çalışan filtre kullanmak gerekebilir. Bunun nedeni sürekli çalışan filtrelerde kullanılan maksimum basınçların oldukça düşük tutulmasıdır. Bunlar dışında bir filtreden istenen diğer özellikler kekin kolaylıkla uygun bir fiziksel formda elde edilebilmesi ve süzülen kısmın kalitesinin tesis içinde istenildiği zaman kontrol altında bulundurulabilmesidir. Filtreler genel anlamda filtre edilecek pülp ortamdan geçirecek kuvvetin basınç veya emme (vakum) oluşuna göre iki gruba ayrılabilir. Süzülen kısmın daha önemli olduğu hidrometalurjik işlemlerde genellikle basınç tipi filtreler kullanılmaktadır. Süzülen kısımdan ziyade, filtre kekinin önemli olduğu ve büyük miktarlarda konsantre pülplerinin filtre edildiği cevher hazırlama işlemlerinde ise genel olarak vakum tipi filtreler kullanılmaktadır[3,8,9,12-15].

**a) Basınç Tipi Filtreler:** Katıların fiilen sıkıştırılmalarının zorluğu nedeni ile basınç altında yapılan filtrasyonun vakumlu filtrasyona göre belirli avantajlarından söz edilebilir. Bu tip filtrelerde kullanılan yüksek basınçlar daha yüksek bir süzülme hızı ve aynı zamanda daha iyi yıkama ve kurutma olanakları sağlayabilmektedir. Diğer yandan filtrasyon esnasında oluşan kekin basınçlı filtre odalarından sürekli olarak dışarı alınması çok zor bir işlemdir. Bu nedenle her ne kadar sürekli çalışan filtreler mevcut ise de basınç tipi filtrelerin büyük bir çoğunluğu batch tipi olarak çalıştırılmaktadır[3-4,8,9,12-15].

Pres filtre en yaygın olarak kullanılan basınç tipi filtredir. Levhalı ve oyuklu olmak üzere iki şekilde imal edilmektedir. Oyuklu pres filtrelerin yapımı levhalı filtreye göre daha ucuz, kek boşaltılması kolay, fakat filtre ortamının yerleştirilmesi daha zordur. Ayrıca oyuklu filtrelerin aşınması ve yırtılması daha kolay olmaktadır. İki tip pres filtreden oyuklu filtre katı konsantrasyonu daha yüksek pülp için daha uygundur. Son derece temiz, bir süzülen kısım elde edebilmek ve kekin kolaylıkla alınması özelliklerinden dolayı kömür hazırlamada ince artığın susuzlandırılmasında tercih edilen filtredir. Bu filtrelerde vakum filtrasyonuna nazaran %7 daha düşük

nem değeriyle filtre keki elde edilmektedir. Kek oranı ise %50-100 daha yüksektir. Ancak pres filtrasyon işlemlerinde birim kek maliyetleri bir miktar yüksektir. Şekil 3.6'da sıkıştırma kaynağı olarak suyun kullanıldığı basınçlı filtrelerin çalışma basamakları görülmektedir.[3-4,8,11-13].

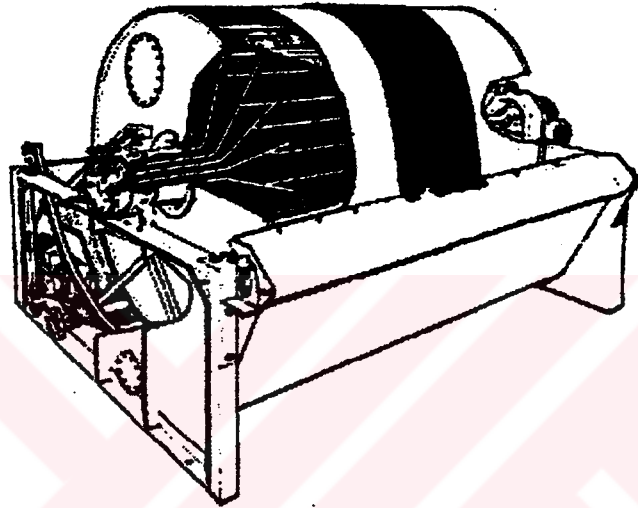


Şekil 3.6 Basınçlı Filtre Çalışma Basamakları.

**b) Vakumlu Filtreler:** Bu tip filtrelerin döner tambur ve döner diskli filtre olmak üzere iki ana tipi mevcuttur. Bunlar filtrasyon, yıkama, kısmen kurutma ve kekin alınması gibi işlemleri otomatik olarak yapan emme esasına göre çalışan filtrelerdir.

Döner tambur filtre yatay eksen etrafında dönen bir silindirden ibarettir (Şekil 3.7). Silindirin dış yüzeyi deliklidir ve üzeri filtre beziyle kaplanmıştır. Silindir birkaç bölmeye ayrılmıştır ve her bölme ile ortada dönen valf arasında ayrı bir bağlantı yapılmıştır. Silindir belli bir derinlikte pülpün içine batırılmakta ve oluşturulan emme basıncıyla pülp içindeki katı kısım filtre bezine alınmaktadır. Pülp içerisindeki katı malzemenin çökmesini önlemek amacıyla bir karıştırıcı pülp tankını karıştırmaktadır.

Son olarak filtre bezinin altına vakum uygulanarak sıyırma bıçağı vasıtasıyla filtre üzerinde kalan kek alınmaktadır. Tambur dönüş hızını ayarlayarak (0.1-1 dev/dak) yaklaşık 10 cm kalınlığa kadar kek elde edilebilir. Devir sayısının artması daha ince kek eldesine yol açar ve filtrasyon hızı artar. Bu aletlerin kapasiteleri, filtre yüzünün her m<sup>2</sup>'si için saatte 500-20.000 kg katı arasındadır ve bu miktar kekin cinsine göre değişir. Cihazın en önemli kısmı, önceden belirlenmiş pozisyonlarda emmeden basınca geçişi sağlayan valf sistemidir. Genel olarak bir tam devrin 1/3'ü filtrasyon, %1/2'si yıkama ve kurutma ve 1/6'sı kekin sıyırılması için kullanılır.

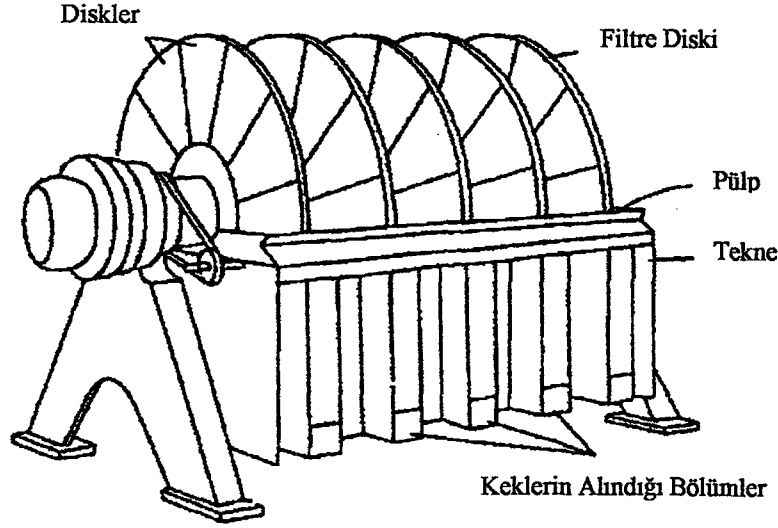


Şekil 3.7 Döner Tamburlu Filtre.

Döner diskli filtre ise daire şeklinde çeşitli sayıda filtre levhalarından meydana gelmiştir (Şekil 3.8). Disklerin her bir bölümü ayrı bir çıkış noktasına bağlanmış ve disklerin aynı hizaya gelen bölümlerinin çıkışları birleştirilerek sürekli bir kanal oluşturulmuştur. Bu kanallar tambur filtrede olduğu gibi döner bir valf sistemine bağlanmışlardır.

Diskli filtrenin çalışma prensibi döner tamburlu filtreye çok benzemektedir. Ancak, elde edilen kekin yıkanması ve sıyırılması daha zordur. Kömür hazırlamada en çok kullanılan filtreler diskli filtrelerdir. Bu tür filtreler, tamburlu filtrelerle göre daha az alanda daha fazla yüzey alanı sağlarlar[3,7,8,9,13,16].





Şekil 3.8 Döner Diskli Filtre.

#### 3.4.1.4. Yer Çekimi İvmesi Kullanan Ekipmanlar

Yer çekimi ivmesi kullanarak susuzlandırma yapan ekipmanların başında koyulaştırıcılar ve hidrosiklonlar gelmektedir.

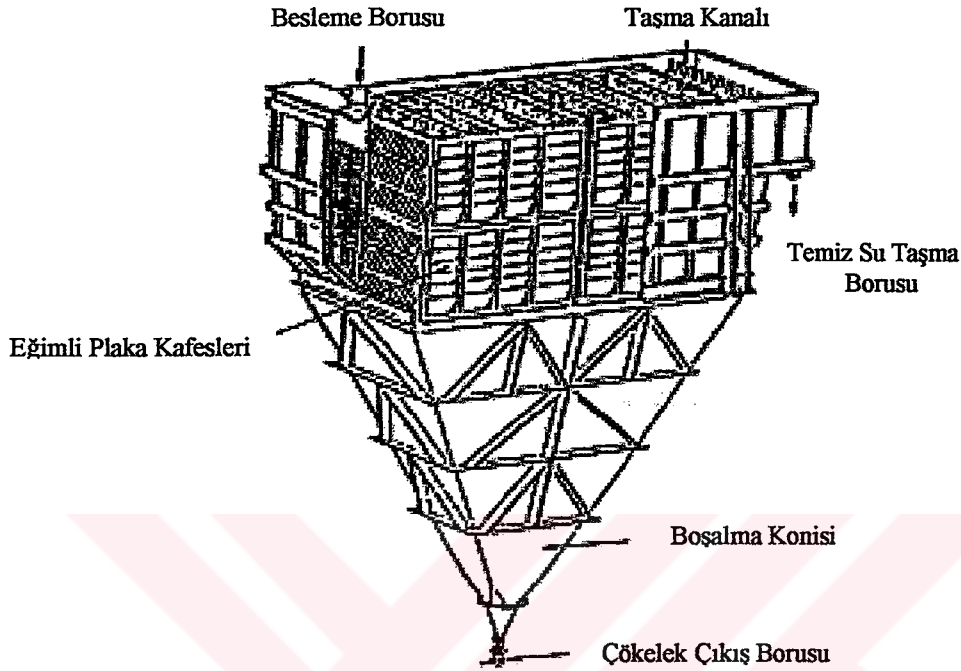
**a) Koyulaştırıcılar:** Süspansiyon veya pülp içerisindeki katı taneciklerin gravite kuvvetinin etkisiyle çökeltilerek kıvamlaşmış bir çökelek elde edilmesi işlemine çökeltme veya koyulaştırma, bu işlemleri gerçekleştiren endüstriyel araca ise tikiner adı verilmektedir. Koyulaştırmanın amacı pülp halindeki besleme malının katı konsantrasyonunu artırarak aynı zamanda üst kısımda bulunan katılardan arındırılmış temiz bir sıvı elde etmektir[7,8,9].

Tikinerler aralıklı veya sürekli olarak çalışabilir. Madencilik endüstrisinde ilk olarak aralıklı çalışanlar tikinerler kullanılmıştır. Bu sistemde, besleme malı bir tank içine pompalanır ve bir süre bırakıldıktan sonra, katı kısım dibe çökelir ve yukarıda kalan temiz su alınır. Çamur halindeki katı kısım ise tankın dibinden alınır. Bu sistem az miktarda malzeme için hala kullanılmaktadır.

Gravite çökmesinin verimliliği, kullanılan çökeltme tankı alanı ile yakından ilgili olduğundan ve geniş bir alana yayılan tortunun çıkış noktasına doğru sürekli hareketinin arzu edilmesi düşüncesi Lamella veya eğik plakalı tikiner adı verilen tikinerlerin geliştirilmesine neden olmuştur. Bu tip tikinerde eğimli paralel plakalarda oluşan bir kafes içinde katı partiküllerin çökeltme mesafesi azaltılmakta ve aynı zamanda efektif çökeltme alanı artırılmaktadır. Bir lamella tikinerin tesis içinde



kaplıyacağı alan aynı çökeltme kapasitesine sahip bir konvansiyonel tikinerin %20'si kadardır (Şekil 3.9). Eğimli paralel levhalar çökelen katıların graviteyle koni şeklindeki boşalma ucuna doğru kaymasını sağlamaktadır. Böylece efektif çökeltme alanı, bu paralel levhaların yatay eksenindeki izdüşümleri olmaktadır



Şekil 3.9 Lamella Tikinerinin Şematik Görünüşü.

**b) Hidrosiklonlar:** Hidrosiklonlar susuzlandırmada yaygın olarak kullanılır. Susuzlandırma işlemini koyulaştırma yaparak gerçekleştirirler. Siklonların temel çalışma prensipleri arasında en önemlisi, merkezkaç kuvveti etkisinden yararlanarak yapılan boyuta ve cinse göre ayırmadır. Bu da pülpün siklona yüksek basınçta teğetsel beslenmesi ile sağlanır[7,8,9].

Genel olarak siklonun yapısal özellikleri ile ilgili faktörler sırası ile siklon çapı, siklon koni açısı, pülp girişi, alt ve üst çıkışların çapları, silindirik kısmın uzunluğu, besleme basıncı; malzeme ile ilgili olan faktörler ise, malzemenin katı oranı ve tane boyutu olarak verilebilir. Siklon çapı, tane boyutunun azalması ile doğru orantılı olarak azalır.

Beslenen katı malzemenin içerisindeki tanelerin %50'sinin alt akıma, %50'sinin üst akıma yöneldiği tane boyutu siklonun ayırma boyutu ( $d_{50}$ ) olarak bilinir. Siklonların tasarımı genelde aynı kalmakla birlikte boyutları çok değişiktir. Genellikle siklon

yarıçapı 10 mm'den 2.5 m'ye kadar değişirken, ayırma boyutu; 2  $\mu\text{m}$ 'den 250  $\mu\text{m}$ 'ye kadar değişebilir. Saatlik besleme kapasitesi 0.1 m<sup>3</sup> ten 7200 m<sup>3</sup>'e kadar olabilir. Kömür susuzlandırmada kullanılan hidrosiklonların çapları 50 mm ile 610 mm arasında; kapasite, 1.8 m<sup>3</sup>/saat ve 570 m<sup>3</sup>/saat arasında, değişir. Sırası ile bu siklonlardaki ayırma boyutu 0.60 mm ve 25 mm'dir. Hidrosiklonlarda alt kısımdan alınan iri malzemenin nem oranı, genellikle %50-55 civarındadır.

Hidrosiklonun basitliği ve ucuzluğu, katı-sıvı ayırma proseslerinde büyük avantajdır. Ancak elde edilen çökelek katı konsantrasyonu ve siklona beslenen pülpin alt ve üst akım olarak ayrılma oranları açısından önemli kısıtlamalar göstermektedir. Küçük tane boyutlarında küçük çaplı bir hidrosiklonun dahi ayırma verimi hızla düşmekte ve 10  $\mu\text{m}$  altındaki tanelerin yoğunlukları çok yüksek olmadıkları takdirde daima üst akıma kaçmaktadırlar. Bu nedenle hidrosiklonlar bazı özel uygulamalar dışında katı-sıvı ayırma yöntemlerinden ziyade klasifikasyonda tercih edilmektedir[7,8].

### **3.4.2. Isıl İşlemlerle Susuzlandırma**

Isıl işlem uygulayarak susuzlandırmaya kurutma adı verilir. Kurutma işlemi, sıvı kısmın buharlaştırılarak katıların sıvalardan ayrılması olarak tarif edilebilir. Kurutma işlemi mekanik susuzlandırmaya oranla çok daha pahalıdır ve sıvıyı buharlaştırmak için gereken enerji miktarı çok daha fazladır. Bu nedenle kurutma işlemi, ancak son ürünlerin sonraki aşamalarda belirli bir nem miktarının altında istenmesi veya satılabilirlik koşulları nedeniyle gerekli olduğu durumlarda uygulanmaktadır[7,8,9].

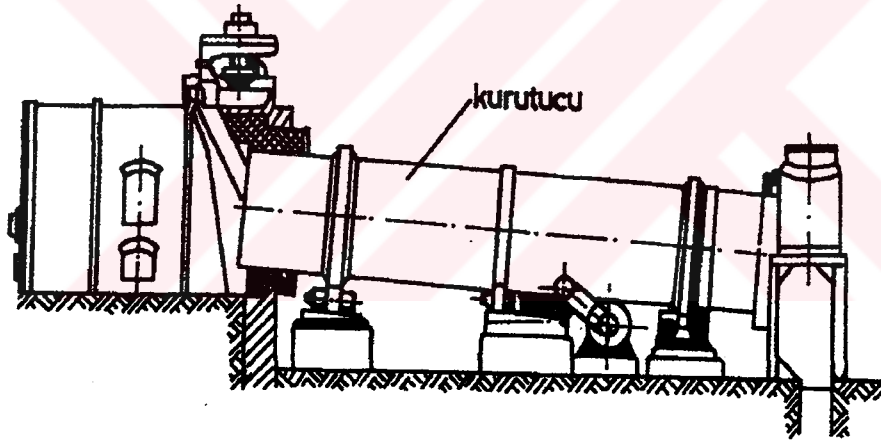
#### **3.4.2.1. Kömür Kurutma Sistemleri**

Geliştirilen bir çok kurutma sistemi ürünlerin fiziksel özelliklerine dayanmaktadır. Kurutucular, kurutma yöntemine (direk, endirek veya bunların karışımı) ve sürekli veya süreksiz çalışmalarına göre sınıflandırılmaktadırlar. Direk kurutucu, sıcak kurutma gazları ile yaş malzemenin yakın temasta olduğu ve nemin kurutucuyu dışarı giden gazlarla terkettiği tip kurutucu olarak tanımlanır. Endirek kurutucuda ise malzeme ile sıcak gazlar arasında bir duvar vardır. Isı bu duvar arasından malzeme üzerine iletilmektedir ve nem kurutucuyu başka bir yoldan terketmektedir.

Cevher hazırlama endüstrisinde en çok direk ve sürekli çalışan kurutucular kullanılmaktadır. Özellikle malzemede bulunan bünye rutubetinin uzaklaştırılması kurutucunun boyutlarını ve kurutma süresini önemli ölçüde etkilemektedir. Bunun

yanı sıra, kurutulacak malzeme ve ısıtma gazlarıda kurutucu seçimini etkileyen faktörlerdir. Kurutma sıcaklığı, malzeme ve kurutucu tipi ile sınırlanmaktadır ve genel olarak kullanılan en yüksek sıcaklıklar 750°C civarındadır. Malzemenin fiziksel ve kimyasal özellikleri de kurutucu seçiminde gözönüne alınması gereken önemli parametrelerdir. Kömür kurutmada en çok kullanılan sistemlerin başında döner, akışkan yataklı ve flash kurutucular gelmektedir[7,8,9].

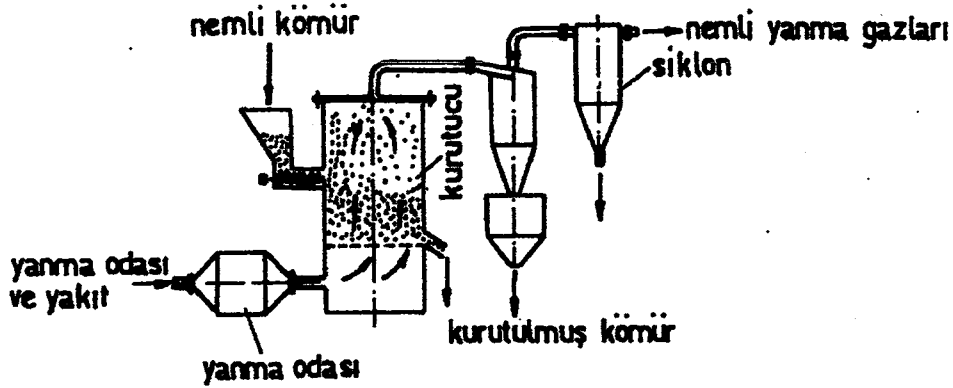
**a) Döner Kurutucular:** Gerek büyük parçalı, gerekse ufak tane boyutlu kömürlerin kurutulmasında, sanayide yaygın olarak kullanılmaktadır (Şekil 3.10). Isıtıcı akışkan, sıcak hava veya yanma gazlarıdır. Silindirik yapı, 1.5-3.5 m çapında, 12-30 m uzunluğunda olup, boylamasına yatay düzlemle 2-5°'lik açı oluşturacak şekilde yerleştirilmiştir. Dönme hızları 2-27 d/d'dır. Isıtma gazları direk veya endirek olarak malzeme ile aynı veya ters yönde verilebilir. En iyi sistem silindirin iç basıncı ile dış basıncını dengeleyen üfleme-emme sistemidir. Kömüre hareket kazandırmak amacıyla, duvar çeperleri işlenebilir[7,8].



Şekil 3.10 Döner Kurutucu.

**b) Akışkan Yataklı Kurutucular:** Döner kurutucuların yanı sıra madencilik endüstrisine hızla giren ve büyük bir kullanım alanı bulan diğer bir kurutucu da akışkan yataklı kurutucu tipleridir (Şekil 3.11). Bu kurutucular tabanı ızgaralı ve arasından sıcak gazın aşağıdan yukarıya doğru üflendiği düşey bir silindirden oluşmaktadır. Kurutucu bölümünde gaz hızı o şekilde ayarlanır ki malzeme bir akışkan gibi süspansiyon halinde tutulup kaynamaktadır. Döner kurutucularla karşılaştırıldığında, ısı transfer oranı daha düşüktür, yapısı daha basit ve tesis içinde kapladığı alan daha küçüktür. Bunun yanı sıra kurutmaya verilen malzemenin

boyutunun daha küçük olması nedeniyle bir toz tutma sisteminin akışkan yataklı kurutucu ile birlikte çalıştırılması zorunludur. Genel olarak bu kurutucularda istenilen hassasiyete kadar kurutma yapılabilmektedir. %30'a kadar beslenen rutubetli olan kömürden %1-3 rutubetli kömür elde edilir. Yakıt sarfiyatı oldukça düşük, kurutma odasının korozyonu az ve bakım masrafları ilk yatırım maliyetinin % 2-3'ü kadardır[7,8].



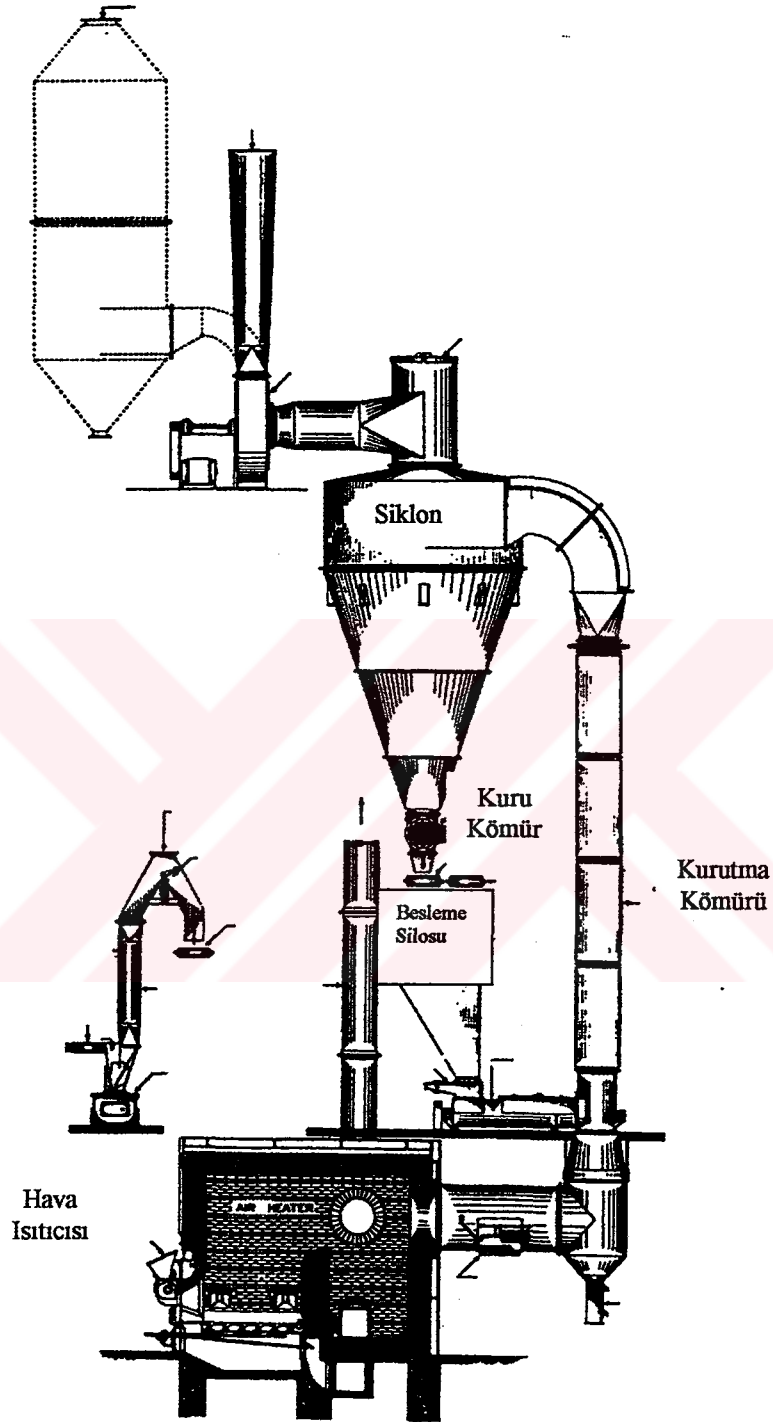
Şekil 3.11 Akışkan Yataklı Kurutucu.

c ) **Flash Kurutucu:** Flash kurutucular genel olarak 0.5-0 mm aralığındaki %20-25 rutubetli ince kömürün kurutulmasında kullanılır. Şekil 3.12'de görüldüğü gibi hava ısıtıcısında elde edilen sıcak gazlar, siklon üstündeki vantilatör ile emilerek, kurutma kolonuna beslenen rutubetli kömür ile temas halina geçirilir. İlk temas halinde 650° C olan sıcaklık, gittikçe düşer ve siklon'a geldiğinde kömür kurumuş olur[4].

### 3.5. Susuzlandırma İşlemlerinde Yardımcı Prosesler

Katı-su karışımlarının özelliklerinin ve yapılarının değiştirilmesi susuzlandırma proseslerinde verimi etkilemektedir. Bu özelliklerin değiştirilmesi, katı tanecik yüzeyleri ile su arasındaki bağ kuvvetlerinin azalmasına neden olarak, mekanik susuzlandırma işlemlerinde suyun daha kolay ayrılmasını sağlamaktadır. Mekanik susuzlandırma işlemlerinde verimi arttırmak amacıyla, değişik fiziksel ve kimyasal yöntemler kullanılmaktadır. Bilindiği üzere elektrokinetik potansiyel, katı-su karışımlarının susuzlandırılmasında, en önemli parametrelerden biridir. Koagülasyon işleminde çok önemli olan bu parametre, polielektrolit ilavesi ile değiştirilebilmektedir. Bununla birlikte kolloid stabilitesini değiştiren ultrasonik alanın elektrokinetik susuzlandırma işleminin

yanında kullanılması, konvensiyonel susuzlandırma metodlarının kapasitelerini ve verimini arttırmaktadır[17-20].



Şekil 3.12 Flash Kurutucu.

### 3.5.1. Flokülasyon-Koagülasyon ve Yüzey Aktif Maddeler İle Susuzlandırma

Koagülasyon ve flokülasyon genelde susuzlandırmanın iki temel yöntemi olan çöktürme ve filtrasyon operasyonlarının verimliliğini arttırmak amacıyla kullanılmaktadır. Bilindiği üzere ince öğütülmüş mineral parçaları ile suyun meydana getirdiği süspansiyonlarda, partiküller bazen birbirlerine yapışarak daha büyük taneler meydana getirirler. Birinci duruma dispersiyon (dağılma) ikinci duruma da flokülasyon (salkımlaşma) adı verilmektedir. Bu iki durum da pülün normal hali değildir, her ikisi de suni olarak yaratılabilir. Katı ve suyun birlikte bulunduğu çeşitli cevher hazırlama sistemlerinde bu iki durum daima mevcuttur. Klasifikatörlerde, mineral tanelerinin disperse edilmesine, çöktürme tanklarında ise floküle edilmesine çalışılır. Flokülasyon terimi genel olarak koagülasyon ile aynı anlamda kullanılmaktadır. Bunlar arasındaki fark koagülasyonun elektriksel çekim kuvvetleri ile kontrol edilen bir salkımlaşma olması, flokülasyonun ise yüksek molekül ağırlıklı organik maddelerin etkisiyle partiküller arasında fiziksel bir köprü getirilerek elde edilmesidir[17,21].

Koagülasyon çok ince öğütülmüş mineral partiküllerinin direkt olarak birbirlerine yapışmasına neden olmaktadır. Bu şekilde elde edilen salkımlar küçük ve kompakt bir yapıda olmakta, çökelme hızları artmakta ancak çökelme sonucu elde edilen çökelek filtrasyon işlemi için yeteri kadar poroziteye sahip olmamaktadır. Ayrıca elde edilen salkımlar oldukça zayıf ve kesme kuvvetleri etkisiyle kolayca parçalanabilir bir karakterdedir. Flokülasyon ise, suda çözünebilen yüksek molekül ağırlıklı doğal veya sentetik organik polimerlerle yapılmaktadır. Bunların bir ucu tane yüzeyine adsorbe olur, diğer ucu ise başka bir taneye bağlanarak bir köprü meydana getirirler. Nişasta, tutkal, jelatin, reçine gibi doğal flokülantların molekül ağırlıkları, sentetik flokülant polimerlere göre çok daha az ve floküle etme kabiliyetleri oldukça düşüktür. Bu nedenle günümüzde genellikle sentetik polimerler kullanılmaktadır. Bunlardan molekül ağırlıkları yüksek olanlar aynı anda birden fazla partikül yüzeyine adsorbe olarak üç boyutlu bir matris meydana getirebilmektedirler[17,21-26].

Bunun yanında, flokülasyonun susuzlandırma üzerindeki rolü geniş ölçüde araştırılmış, fakat yüzey aktif maddelerin çok başarılı uygulamalarına rağmen, hareket mekanizması hakkında çok az bilgi elde edilmiştir. Yüzey aktif maddeler, genel olarak hidrofilik ve hidrofobik gruplardan oluşturulmuş amfifilik moleküllerinden meydana gelirler. Bu oluşum, filtre kekinin kapilerindeki suyun uzaklaştırılmasını imkan sağlayarak, kekin nihai nem içeriğini düşürür[27].



#### 4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

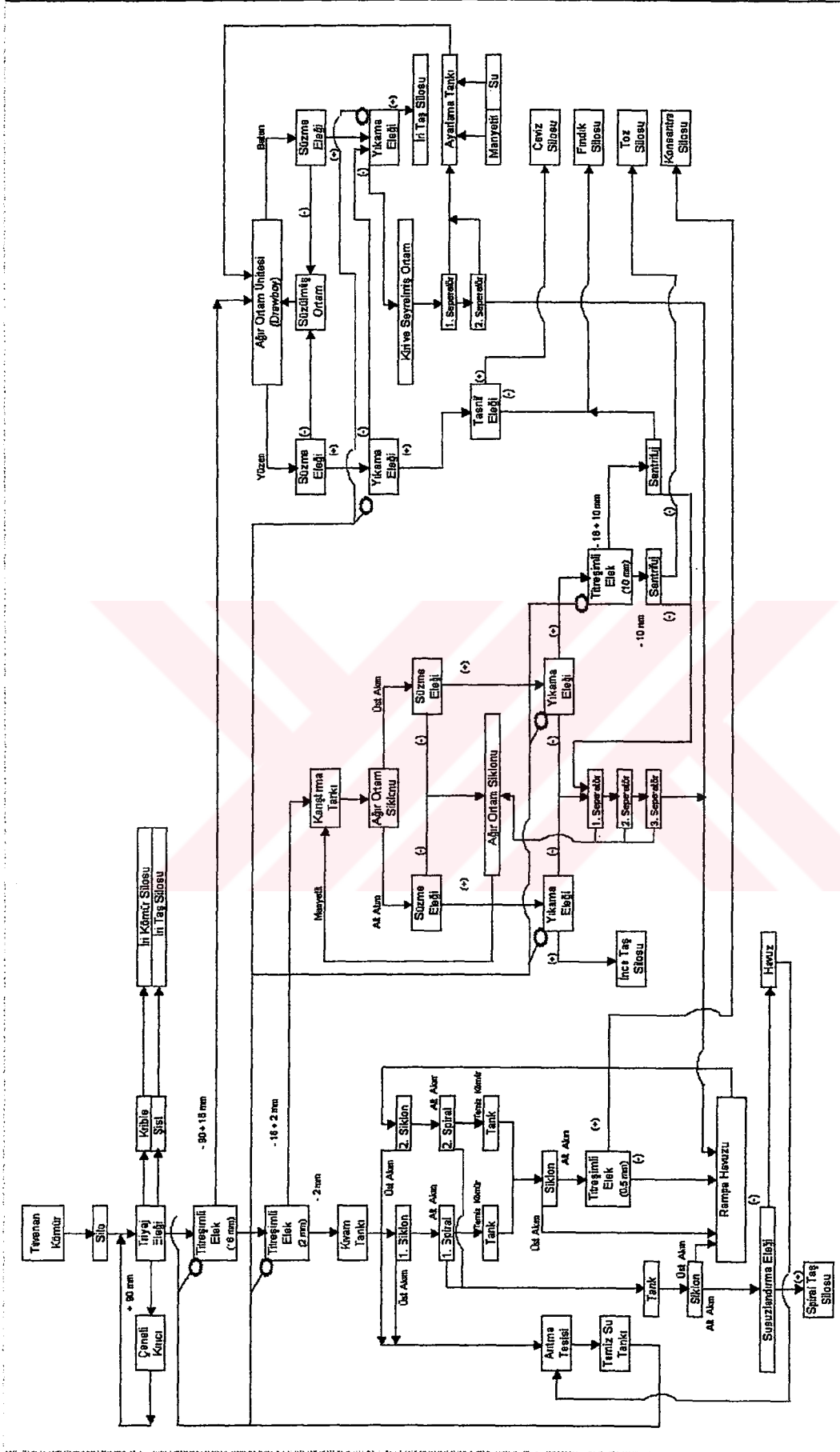
Deneysel çalışmalarda; küçük boyutlu kömür içeren süspansiyonlardaki kömürün dik mekanik titreşim ve yüzey aktif maddeler kullanarak, titreşimli elek mekanizması ile susuzlandırılması amaçlanmıştır ve bu amaç doğrultusunda, doğal ortamda, titreşimli elek mekanizmasının optimum parametreleri elde edildikten sonra, dik mekanik titreşimin etkisi altında, reaktif ilavesi ile laboratuvar ölçekli deneyler yapılmıştır. İncelen literatür çalışmalarında, kömürde yapılacak yaklaşık %1 oranında nem düşüşünün, %4.5 oranında kül artışına eş değer miktarda ısı verim artışına sebep olacağı bilindiğine göre, yapılan deneyler sonucunda inilebilecek en düşük nem oranına ulaşılarak, elde edilecek temiz kömürün pazarlanabilmesi veya daha sonraki aşamalarda değerlendirilmesine olanak sağlanacaktır. Ayrıca, laboratuvar ölçekli olarak gerçekleştirilen bu deneylerin tesis bazındaki susuzlandırma yapan ünitelere uygulanması durumunda elde edilecek temiz kömürün çok daha düşük nem oranlarında alınabileceği düşünülmektedir.

##### 4.1. Malzeme ve Yöntem

###### 4.1.1. Deneylere Esas Olan Numunelerin Alınması

Deneysel çalışmalara esas olan 2 mm boyut altındaki temiz kömür numuneleri Gürmin Madencilğe ait Soma Kömür İşletmeleri'nden temin edilmiştir (Şekil 4.1). Tesiste bulunan spiral zenginleştirme ünitelerinden elde edilen 2 mm'nin altındaki temiz kömür, toplama haznesinden pompa vasıtası ile siklona gönderilmektedir. Ön susuzlandırılması yapılan kömür 0.5 mm elek açıklığındaki titreşimli eleğe beslenmektedir. Yapılan numune alma işlemleri sonucunda, siklon ünitesinin alt çıkışından yaklaşık 100 kg ve titreşimli elek ile susuzlandırılan malzemeden ise yaklaşık 50 kg temiz kömür numunesi alınmıştır. -2 mm boyutundaki siklon altı ve -2+0.5 mm boyutlarındaki titreşimli elek üstü numunesi susuzlandırma deneylerinde kullanılmak üzere Cevher ve Kömür Hazırlama Anabilim Dalına ait Pilot Tesis'e getirildikten sonra, fiziksel özellikleri belirlenmiş (nem içeriği, boyut dağılımı) ve kimyasal analizleri yapılmıştır.





Şekil 4.1 Gürmin Madencilğe Ait Soma Kömür İşletmelerinin Tesis Akım Şeması.

#### 4.1.2. Temsili Numunelerin Özellikleri

##### 4.1.2.1. Numunelerin Fiziksel Özellikleri

Deneysel çalışmalara esas olan siklon altı ve titreşimli elek üstü numunesi Cevher ve Kömür Hazırlama Anabilim Dalına ait Pilot Tesis'e getirildikten sonra, temsili numuneler alınarak, nem içerikleri ve boyut dağılım özellikleri saptanmıştır.

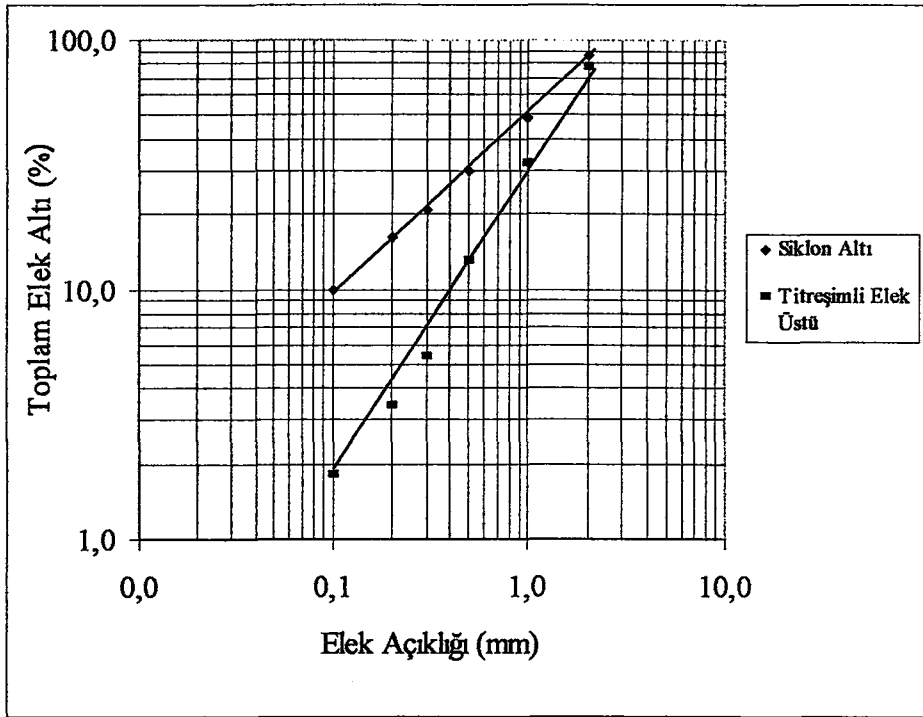
*a) Numunelerin Nem İçeriğinin Saptanması:* Deneylerde kullanılacak numunelerin toplam nem içeriklerinin hesaplanması amacıyla bu malzemelerden temsili numuneler alınmıştır. Pülp ağırlıkları alınan bu numuneler, yaklaşık 105°C sıcaklığındaki etüv'de kuruyana kadar bekletilmiştir ve kuru ağırlıkları hesaplanmıştır. Aşağıda verilen eşitlikte yerine koyulan veriler sonucunda, tesiste bulunan siklon altı ve titreşimli elek üstü numunelerinin nem içerikleri sırasıyla; %59.7 ve %38.6 olarak bulunmuştur.

$$\text{Nem İçeriği (\%)} = (\text{Pülp Ağırlığı} - \text{Kuru Ağırlık}) / \text{Pülp Ağırlığı} \quad (4.1)$$

*b) Numunelerin Boyut Dağılım Özelliklerinin Tesbiti:* Temsili numunelerin boyut dağılım özelliklerinin belirlenmesi amacıyla, siklon altı ve titreşimli elek üstü malzemesinin elek analizleri yapılmıştır. Bu malzemelere ait elek analizlerinin sonuçları Tablo 4.1'de, elek analiz eğrileri ise Şekil 4.2'de verilmiştir.

Tablo 4.1 Siklon Altı ve Titreşimli Elek Üstü Malzemesinin Elek Analizleri.

| Boyut Aralığı (mm) | Siklon Altı Malzeme |             |             | Titreşimli Elek Üstü Malzeme |             |             |
|--------------------|---------------------|-------------|-------------|------------------------------|-------------|-------------|
|                    | Miktar %            | Σ Elek Üstü | Σ Elek Altı | Miktar %                     | Σ Elek Üstü | Σ Elek Altı |
| + 2                | 13.0                | 13.0        | 100.0       | 22.2                         | 22.2        | 100.0       |
| -2 + 1             | 38.1                | 51.1        | 87.0        | 45.9                         | 68.1        | 77.8        |
| -1 + 0.5           | 18.9                | 70.0        | 48.9        | 18.9                         | 87.0        | 31.9        |
| - 0.5 + 0.3        | 9.2                 | 79.2        | 30.0        | 7.6                          | 94.6        | 13.0        |
| - 0.3 + 0.2        | 4.8                 | 84.0        | 20.8        | 2.0                          | 96.6        | 5.4         |
| - 0.2 + 0.1        | 6.1                 | 90.1        | 16.0        | 1.6                          | 98.2        | 3.4         |
| - 0.1              | 9.9                 | 100.0       | 9.9         | 1.8                          | 100.0       | 1.8         |
| TOPLAM             | 100                 |             |             | 100                          |             |             |



Şekil 4.2 Siklon Altı ve Titreşimli Elek Üstü Malzemesinin Elek Analiz Eğrileri.

#### 4.1.2.2. Numunelerin Kimyasal Özellikleri

Deneylerde kullanılan temiz kömür numunelerinin kimyasal özelliklerinin belirlenmesi amacıyla, Cevher ve Kömür Hazırlama Anabilim Dalı Kimya Analiz Laboratuvarında siklon altı ve titreşimli elek üstü numunesinin kimyasal analizleri yapılmış, bu analizlere ait veriler Tablo 4.2’de verilmiştir.

Tablo 4.2 Siklon Altı ve Titreşimli Elek Üstü Numunesinin Kimyasal Analizleri (kuru esasa göre ).

| Kimyasal Özellikler           | Siklon Altı<br>(- 2 mm) | Titreşimli Elek Üstü<br>(- 2 + 0.5 mm) |
|-------------------------------|-------------------------|----------------------------------------|
| Kül, %                        | 14.6                    | 10.7                                   |
| Kükürt, %                     | 2.53                    | 2.49                                   |
| Üst Kalorifik Değer (Kcal/kg) | 5873                    | 6302                                   |
| Uçucu Madde, %                | 40.9                    | 41.9                                   |

#### **4.1.3. Yöntem**

Bu araştırma kapsamında, küçük boyutlu kömür içeren pülplerdeki kömürün susuzlandırmasının incelenmesi amacıyla, titreşimli elek kullanılarak eğim, frekans, besleme hızı ve elek açıklığı gibi titreşimli eleğe ait parametreler tesbit edilmiş, bulunan optimum koşullar sabit tutularak, dik mekanik titreşim ve çeşitli yüzey aktif maddelerin susuzlandırma üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Bu deneyler sonucunda bulunan en uygun parametreler (eğim, frekans, besleme hızı ve elek açıklığı) ve reaktif (CTAB) kullanılarak eşik sisteminin ilavesi ile susuzlandırma deneyleri yapılmıştır. Eleme yüzey alanının arttırılmasının susuzlandırma üzerindeki etkisinin incelenmesi amacıyla; eşikli ve eşiksiz olarak deneyler yapılmış, optimum susuzlandırma koşulları tespit edilmiştir.

#### **4.2. Deneylerde Kullanılan Aygıtlar ve Reaktifler**

##### **4.2.1. Aygıtlar**

Laboratuvar ölçekli yapılan susuzlandırma deneyleri, İTÜ Maden Fakültesi Cevher&Kömür Hazırlama ve Değerlendirme Anabilim Dalı Pilot Tesis Laboratuvarında mevcut olan titreşimli elek ve dik titreşim mekanizması ile gerçekleştirilmiştir. Susuzlandırma deneyleri 0° ile 12° arasındaki eğim değerlerine ayarlanabilen, 0-800 titreşim/dak. frekans aralıklarında çalışabilen, 30.5 cm eninde ve 54 cm uzunluğunda elek yüzeyine sahip laboratuvar ölçekli titreşimli elek ile yapılmıştır. Ayrıca, bu elek üzerine monte edilen ve dik titreşim uygulayan titreşim mekanizmasının ilave edilmesi ile, elek yüzeyinde bulunan kömür tanelerinin elek yüzeyine ve birbirlerine çarparak daha etkin bir şekilde susuzlandırılması amaçlanmıştır.

##### **4.2.2. Deneylerde Kullanılan Reaktifler ve Özellikleri**

Reaktif ile yapılan susuzlandırma deneylerinde ise, yapılan çalışmalar sonucunda bulunan anyonik tip Sodium Dodecyl Sulfate (SDS), katyonik tip Hexadecyl Trimethyl Ammonium Bromid (CTAB), Clariant firmasına ait anyonik bir reaktif olan Umectante B-70 ve Kerosen kullanılmıştır. Yapılan çalışmalarda, SDS ve CTAB yüzey aktif maddelerinin 5-20 g/ton, kerosenin ise yaklaşık %10 oranında kullanım miktarlarının olduğu tesbit edilmiştir. Umectante B-70 reaktifinin küçük boyutlu kömürlerin susuzlandırmasında uygulanan kullanım oranı ile literatürde

herhangi bir bilgiye rastlanılmadığından, SDS ve CTAB'ta uygulanacak kullanım oranları ile deneylerin yapılmasına karar verilmiştir.

#### 4.3. Titreşimli Elek İle Yapılan Susuzlandırma Deneyleri

Susuzlandırma deneyleri Cevher ve Kömür Hazırlama AnaBilim Dalına ait Pilot Tesis'te bulunan titreşimli elek ile gerçekleştirilmiştir. Susuzlandırma deneyleri sonunda elde edilen ürünlerin nem analizleri ise, numunenin laboratuvarda bulunan etüvde 105° C sıcaklıkta sabit ağırlığa gelene kadar kurutulması sonucunda belirlenmiştir. Ayrıca, deneylerde kullanılacak siklon altı numunesinin doğal pH'ı pH metre ile ölçülmüş ve 7.25 olarak bulunmuştur.

##### 4.3.1. Elek Eğiminin Tesbiti

Titreşimli eleğin optimum eğim değerinin belirlenmesi amacıyla, kullanılacak malzemenin nem analizi yapılmış ve nem değeri %62.4 olarak bulunmuştur. Deneylerde titreşimli eleğin eğimi; 1, 3.5, 7.5, 9 ve 11 derece olarak seçilmiş ve elde edilen sonuçlar Tablo 4.3 ve Şekil 4.3'de verilmiştir.

##### Optimum Koşullar:

Frekans : 800 titreşim/dak.

Elek Açıklığı : 0.3 mm

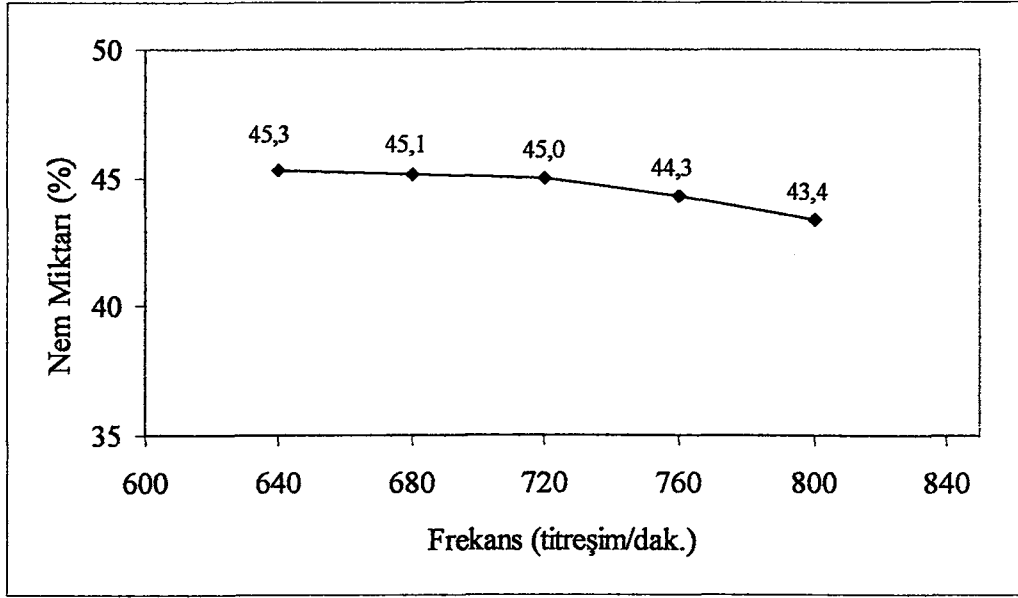
Besleme Hızı : 7 lt/dak.

Doğal pH : 7.25

Tablo 4.3 Farklı Elek Eğimlerinde Elde Edilen Nem Değerleri.

| Eğim<br>(°) | Nem Değerleri (%) |                         |
|-------------|-------------------|-------------------------|
|             | Elek Üstü Ürün    | Elek Altına Geçen Kısım |
| 1           | 44.6              | 88.3                    |
| 3.5         | 43.4              | 90.1                    |
| 7.5         | 44.5              | 87.7                    |
| 9           | 45.2              | 90.0                    |
| 11          | 46.0              | 89.9                    |





Şekil 4.4 Frekansın Nem Üzerine Etkisi.

#### 4.3.3. Besleme Hızının Tesbiti

Besleme hızının etkisinin incelenmesi amacıyla, gerçekleştirilen deneylerde nem analizi yapılmış ve numunenin nemi %61.0 olarak bulunmuştur. 3, 7, 13, 19 ve 25 lt/dak. besleme hızlarında yapılan besleme hızı deneylerinde elde edilen nem değerleri Tablo 4.5 ve nem miktarlarının değişimi Şekil 4.5’de gösterilmiştir.

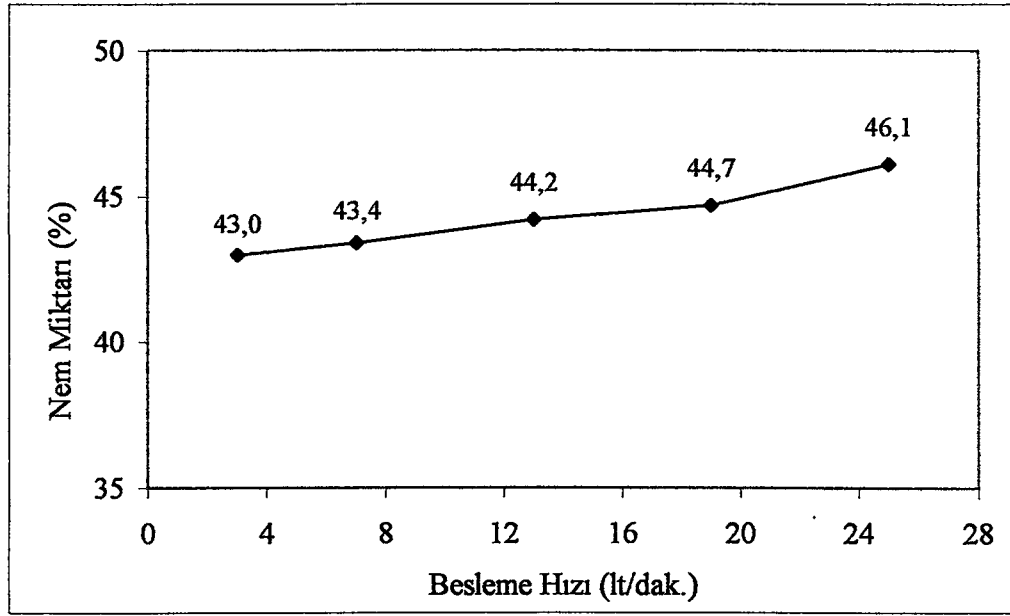
##### Optimum Koşullar:

Eğim : 3.5°                                      Elek Açıklığı : 0.3 mm  
 Frekans : 800 titreşim/dak.                      Doğal pH : 7.25

Tablo 4.5 Farklı Besleme Hızlarında Elde Edilen Nem Değerleri.

| Besleme Hızı<br>(lt/dak.) | Nem Değerleri (%) |                         |
|---------------------------|-------------------|-------------------------|
|                           | Elek Üstü Ürün    | Elek Altına Geçen Kısım |
| 3                         | 43.0              | 90.3                    |
| 7                         | 43.4              | 90.1                    |
| 13                        | 44.2              | 90.2                    |
| 19                        | 44.7              | 90.4                    |
| 25                        | 46.1              | 90.6                    |





Şekil 4.5 Besleme Hızının Nem Üzerine Etkisi.

#### 4.3.4. Elek Açıklığının Tesbiti

Elek açıklığının susuzlandırmaya etkisinin incelenmesi amacıyla, daha önceden belirlenen optimum şartlarda, 0.1, 0.3 ve 0.5 mm açıklıklı elek yüzeyleri kullanılarak 3 adet susuzlandırma deneyi yapılmıştır. Elde edilen nem değerleri Tablo 4.6 ve nem miktarlarının değişimi Şekil 4.6'da gösterilmiştir. Deneylerde 0.1 mm'lik elek altına geçen katı malzeme beslenen katı malzemenin %7.2'si kadar olurken, 0.3 mm'lik elek için bu değer %10.0 ve 0.5 mm'lik te ise %18.7 olmuştur.

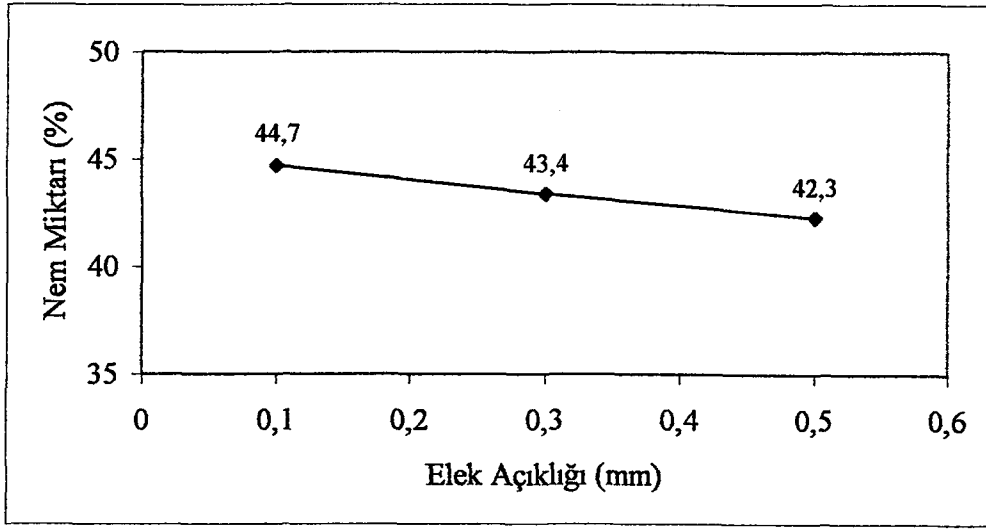
#### Optimum Koşullar:

Eğim : 3.5° Besleme Hızı : 7 lt/dak.

Frekans : 800 titreşim/dak. Doğal pH : 7.25

Tablo 4.6 Farklı Elek Açıklıklarında Elde Edilen Nem Değerleri.

| Elek Açıklığı<br>(mm) | Nem Değerleri (%) |                         |
|-----------------------|-------------------|-------------------------|
|                       | Elek Üstü Ürün    | Elek Altına Geçen Kısım |
| 0.1                   | 44.7              | 93.2                    |
| 0.3                   | 43.4              | 90.1                    |
| 0.5                   | 42.3              | 83.5                    |



Şekil 4.6 Elek Açıklığının Nem Üzerine Etkisi.

#### 4.4. Normal Titreşime Dik Titreşim Mekanizmasının İlave Edilmesinin Susuzlandırma Üzerine Etkisi

Elek üzerine eklenen ve dik titreşim uygulayan titreşim ünitesinin titreşimli elek ile birlikte kullanılması sonucu nem değeri %42.3 değerinden %41.5 dolaylarına çekilmiştir. İleride yapılacak deneylerde bu üniteye titreşimli elek ile kullanılmıştır.

##### Optimum Koşullar:

|                          |                     |               |          |
|--------------------------|---------------------|---------------|----------|
| Eğim                     | : 3.5°              | Elek Açıklığı | : 0.5 mm |
| Frekans                  | : 800 titreşim/dak. | Doğal pH      | : 7.25   |
| Besleme Hızı : 7 lt/dak. |                     |               |          |

#### 4.5. Reaktif İlavesi İle Yapılan Susuzlandırma Deneyleri

-2 mm boyutundaki temiz kömür numunesinin susuzlandırılmasında reaktif etkisinin incelenmesi amacıyla, normal titreşim ve normal titreşim + dik titreşim etkisi altında, sırasıyla; anyonik tip Sodium Dodecyl Sulfate (SDS), katyonik tip Hexadecyl Trimethyl Ammonium Bromid (CTAB), Clariant firmasına ait anyonik bir reaktif olan Umectante B-70 ve Kerosen kullanarak deneyler yapılmıştır. Reaktif ilavesinin susuzlandırmaya etkisinin araştırıldığı bu deneylerde önce optimum pH değeri, daha sonra optimum pH değerinde her bir reaktif için en uygun miktar belirlenmiştir. Yapılan literatür çalışmaları küçük boyutlu kömürlerin susuzlandırılmasında SDS ve

CTAB yüzey aktif maddelerinin 5-20 g/ton, kerosenin ise ağırlıkça yaklaşık %10 oranlarında ilave edildiğini göstermiştir. Umectante B-70 reaktifinin kömür susuzlandırılmasında kullanımıyla ilgili önerilen bir miktar tesbit edilemediğinden bu reaktif de 5-20 g/ton ilave edilmiştir[22,23,26].

#### 4.5.1. SDS İlavesi İle Yapılan Susuzlandırma Deneyleri

Kömürün susuzlandırılmasında SDS ilavesinin etkisinin araştırıldığı deneylerin ilk aşamasında optimum pH değerini saptamak amacıyla 10 g/ton miktarında SDS ilavesi yapılmıştır. Optimum pH değeri bulunduktan sonra, bu değer sabit tutularak değişik miktarlarda reaktif ilavesi ile en uygun reaktif miktarı belirlenmiştir. Bu deneylerde titreşimli elek ile susuzlandırmada bulunan optimum koşullar sabit tutulmuş ve aşağıda gösterilmiştir.

Optimum Koşullar:

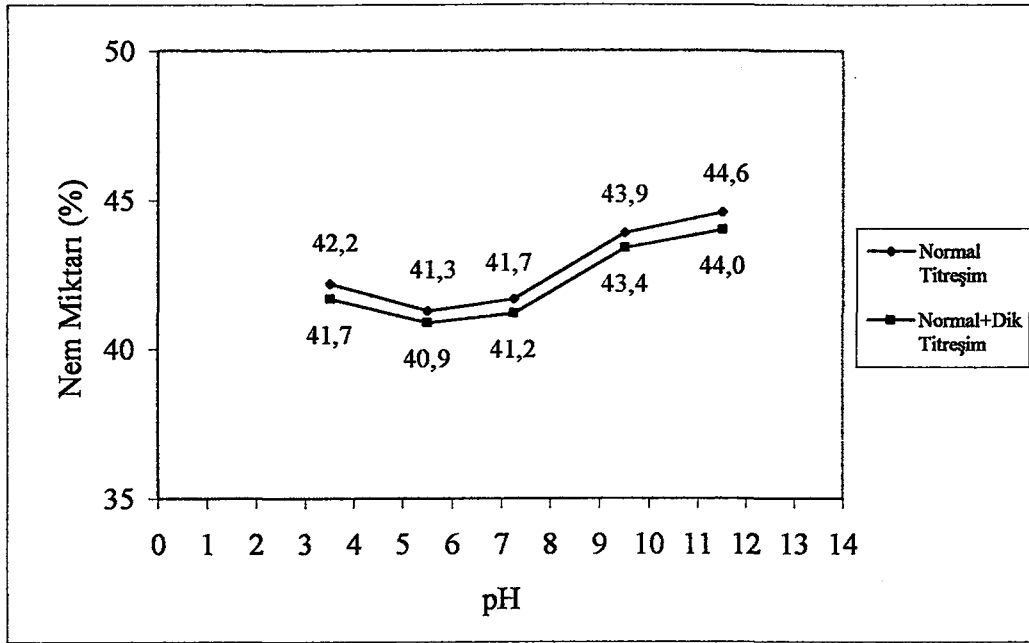
|              |                     |                   |          |
|--------------|---------------------|-------------------|----------|
| Eğim         | : 3.5°              | Elek Açıklığı     | : 0.5 mm |
| Frekans      | : 800 titreşim/dak. | Karıştırma Süresi | : 5 dak. |
| Besleme Hızı | : 7 lt/dak.         |                   |          |

#### 4.5.1.1. pH'in Saptanması

Bu grup deneylerde kullanılacak malzemenin nem analizi yapılmış ve %61.0 olarak bulunmuştur. 3.5, 5.5, 7.25, 9.5 ve 11.5 pH değerlerinde yapılan susuzlandırma deneylerinde elde edilen nem değerleri Tablo 4.7 ve nem miktarlarının değişimi Şekil 4.7’de gösterilmiştir.

**Tablo 4.7 SDS İlavesi İle Elde Edilen Nem Değerleri.**

| pH   | Nem Değerleri (%) |                            |                       |                            |
|------|-------------------|----------------------------|-----------------------|----------------------------|
|      | Normal Titreşim   |                            | Normal + Dik Titreşim |                            |
|      | Elek Üstü<br>Ürün | Elek Altına Geçen<br>Kısım | Elek Üstü<br>Ürün     | Elek Altına Geçen<br>Kısım |
| 3.5  | 42.2              | 83.5                       | 41.7                  | 83.0                       |
| 5.5  | 41.3              | 83.4                       | 40.9                  | 84.2                       |
| 7.25 | 41.7              | 83.5                       | 41.2                  | 84.3                       |
| 9.5  | 43.9              | 83.7                       | 43.4                  | 83.0                       |
| 11.5 | 44.6              | 84.1                       | 44.0                  | 84.3                       |



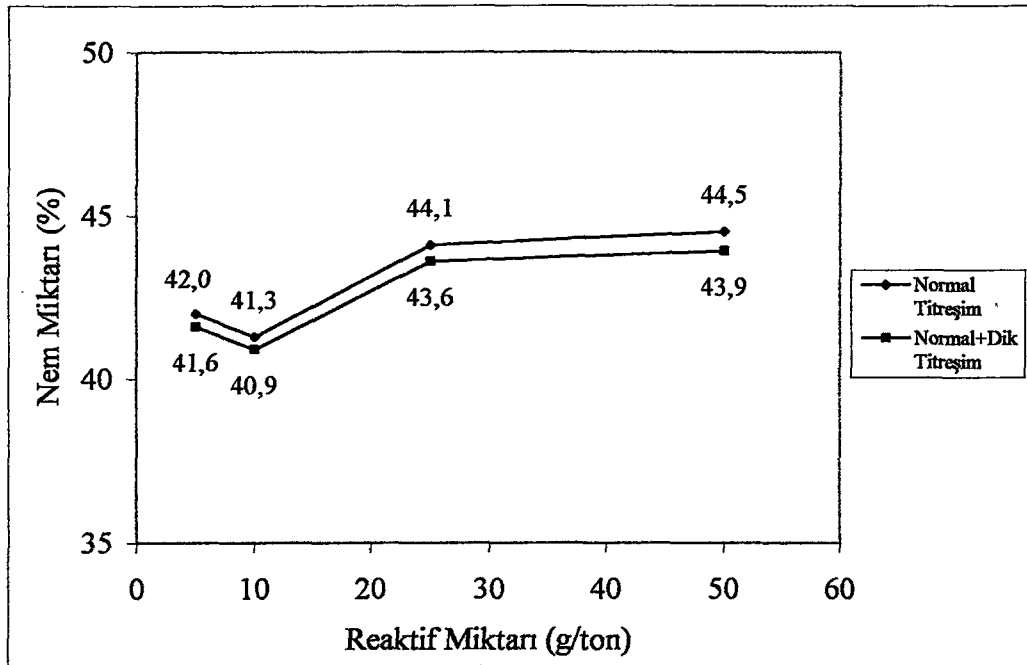
Şekil 4.7 SDS İlavesi İle Yapılan Deneylerde pH'ın Nem Üzerine Etkisi.

#### 4.5.1.2. Reaktif Miktarının Saptanması

Reaktif miktarının susuzlandırma üzerindeki etkisinin incelenmesi amacıyla kullanılacak malzemeden nem analizi için numune alınmış ve %61.0 olarak bulunmuştur. Bulunan en uygun pH değeri olan 5.5 sabit tutularak; 5, 10, 25 ve 50 g/ton reaktif ilavesi ile deneyler yapılmış olup, elde edilen nem değerleri Tablo 4.8 ve nem miktarlarının değişimi Şekil 4.8'de gösterilmiştir.

Tablo 4.8 Farklı Miktarlarda SDS İlavesi İle Elde Edilen Nem Değerleri.

| Reaktif Miktarı (g/ton) | Nem Değerleri (%) |                         |                       |                         |
|-------------------------|-------------------|-------------------------|-----------------------|-------------------------|
|                         | Normal Titreşim   |                         | Normal + Dik Titreşim |                         |
|                         | Elek Üstü Ürün    | Elek Altına Geçen Kısım | Elek Üstü Ürün        | Elek Altına Geçen Kısım |
| 5                       | 42.0              | 83.7                    | 41.6                  | 83.3                    |
| 10                      | 41.3              | 83.4                    | 40.9                  | 84.2                    |
| 25                      | 44.1              | 83.2                    | 43.6                  | 83.0                    |
| 50                      | 44.5              | 83.6                    | 43.9                  | 83.4                    |



**Şekil 4.8 SDS Miktarının Nem Üzerine Etkisi.**

#### 4.5.2. CTAB İlavesi İle Yapılan Susuzlandırma Deneyleri

Kömürün susuzlandırılmasında CTAB ilavesinin etkisinin araştırıldığı deneylerin ilk aşamasında optimum pH değerini saptamak amacıyla 10 g/ton miktarında CTAB ilavesi yapılmıştır. Optimum pH değeri bulunduktan sonra, bu değer sabit tutularak değişik miktarlarda reaktif ilavesi ile en uygun reaktif miktarı belirlenmiştir. Bu deneylerde titreşimli elek ile susuzlandırmada bulunan optimum koşullar sabit tutulmuş ve aşağıda gösterilmiştir.

Optimum Koşullar:

Eğim : 3.5°                      Elek Açıklığı : 0.5 mm

**Frekans : 800 titreşim/dak. Karıştırma Süresi : 5 dak.**

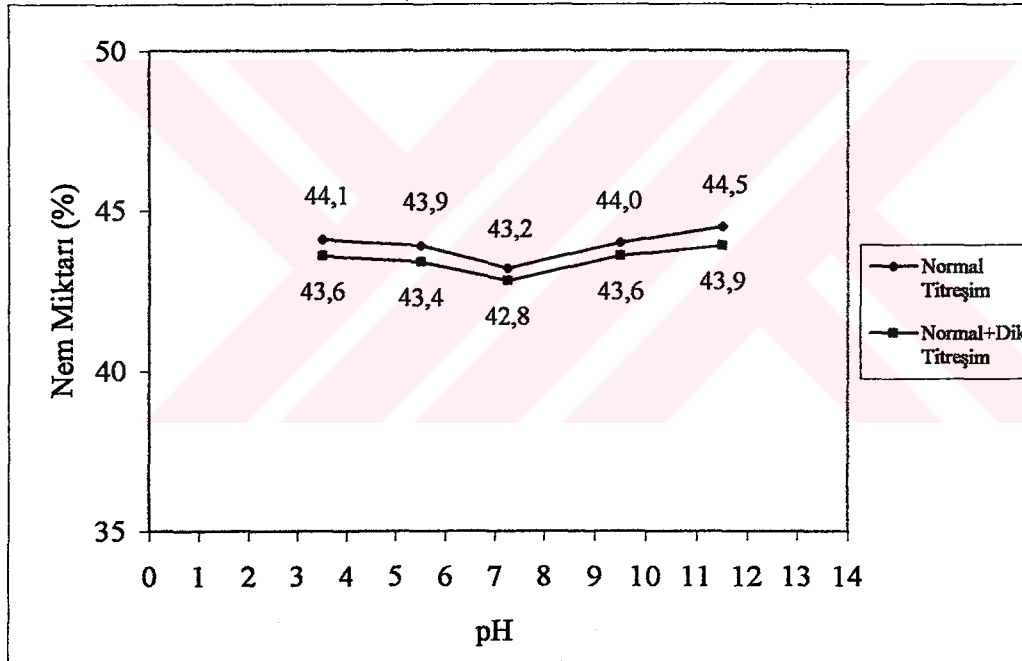
**Besleme Hızı : 7 lt/dak.**

#### 4.5.2.1. pH'in Saptanması

Bu grup deneylerde kullanılacak malzemenin nem analizi yapılmış ve %61.0 olarak bulunmuştur. 3.5, 5.5, 7.25, 9.5 ve 11.5 pH değerlerinde yapılan susuzlandırma deneylerinde elde edilen nem değerleri Tablo 4.9 ve nem miktarlarının değişimi Şekil 4.9'da gösterilmiştir.

Tablo 4.9 CTAB İlavesi İle Elde Edilen Nem Değerleri.

| pH   | Nem Değerleri (%) |                         |                       |                         |
|------|-------------------|-------------------------|-----------------------|-------------------------|
|      | Normal Titreşim   |                         | Normal + Dik Titreşim |                         |
|      | Elek Üstü Ürün    | Elek Altına Geçen Kısım | Elek Üstü Ürün        | Elek Altına Geçen Kısım |
| 3.5  | 44.1              | 83.1                    | 43.6                  | 83.3                    |
| 5.5  | 43.9              | 83.4                    | 43.4                  | 83.0                    |
| 7.25 | 43.2              | 83.3                    | 42.8                  | 83.0                    |
| 9.5  | 44.0              | 83.3                    | 43.6                  | 83.0                    |
| 11.5 | 44.5              | 83.1                    | 43.9                  | 82.8                    |



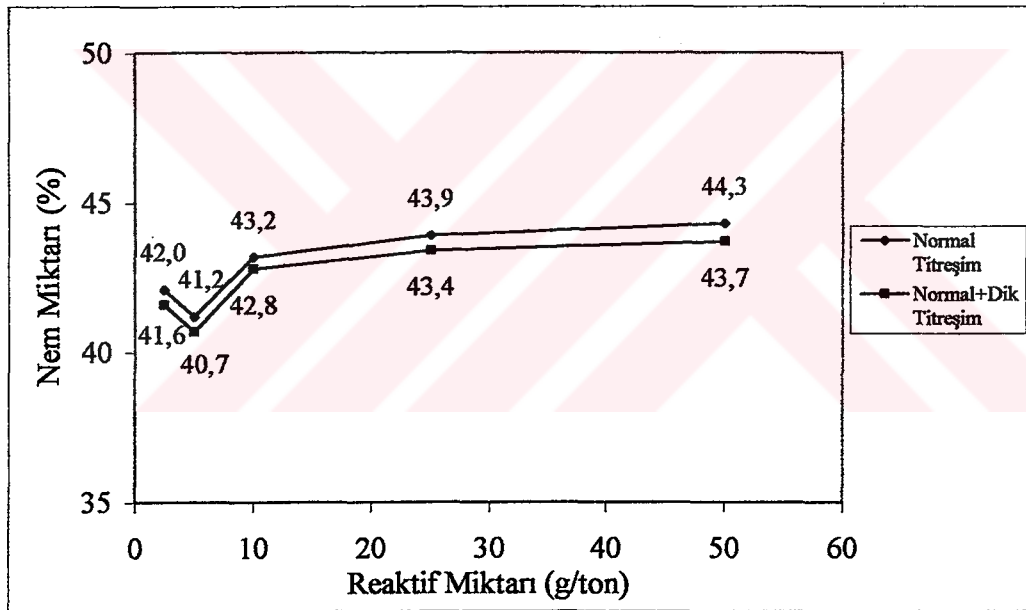
Şekil 4.9 CTAB İlavesi İle Yapılan Deneylerde pH'ın Nem Üzerine Etkisi.

#### 4.5.2.2. Reaktif Miktarının Saptanması

Reaktif miktarının etkisinin incelenmesi amacıyla kullanılacak malzemeden nem analizi için numune alınmış ve %61.0 olarak bulunmuştur. En uygun pH değeri malzemenin doğal pH'ı olan 7.25 olarak bulunmuş ve bu değer sabit tutularak; 2.5, 5, 10, 25 ve 50 g/ton reaktif ilavesi ile deneyler yapılmıştır. Elde edilen nem değerleri Tablo 4.10 ve nem miktarlarının değişimi Şekil 4.10'da gösterilmiştir.

Tablo 4.10 Farklı Miktarlarda CTAB İlavesi İle Elde Edilen Nem Değerleri.

| Reaktif Miktarı (g/ton) | Nem Değerleri (%) |                         |                       |                         |
|-------------------------|-------------------|-------------------------|-----------------------|-------------------------|
|                         | Normal Titreşim   |                         | Normal + Dik Titreşim |                         |
|                         | Elek Üstü Ürün    | Elek Altına Geçen Kısım | Elek Üstü Ürün        | Elek Altına Geçen Kısım |
| 2.5                     | 42.0              | 83.4                    | 41.6                  | 83.1                    |
| 5                       | 41.2              | 83.3                    | 40.7                  | 83.4                    |
| 10                      | 43.2              | 83.3                    | 42.8                  | 83.0                    |
| 25                      | 43.9              | 83.1                    | 43.4                  | 83.3                    |
| 50                      | 44.3              | 83.2                    | 43.7                  | 83.0                    |



Şekil 4.10 CTAB Miktarının Nem Üzerine Etkisi.

#### 4.5.3. Umectante B-70 İlavesi İle Yapılan Susuzlandırma Deneyleri

Kömürün susuzlandırılmasında Umectante B-70 ilavesinin etkisinin araştırıldığı deneylerin ilk aşamasında optimum pH değerini saptamak amacıyla 10 g/ton miktarında Umectante B-70 ilavesi yapılmıştır. Optimum pH değeri bulunduktan sonra, bu değer sabit tutularak değişik miktarlarda reaktif ilavesi ile en uygun reaktif miktarı belirlenmiştir. Bu deneylerde titreşimli elek ile susuzlandırmada bulunan optimum koşullar sabit tutulmuş ve aşağıda gösterilmiştir.



#### Optimum Koşullar:

Eğim : 3.5°

Elek Açıklığı : 0.5 mm

Frekans : 800 titreşim/dak.

Karıştırma Süresi : 5 dak.

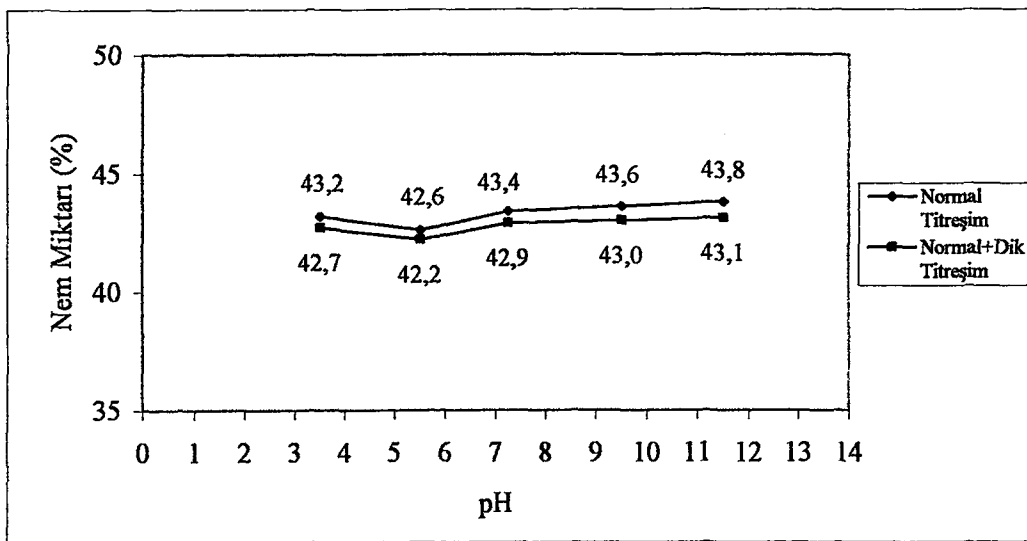
Besleme Hızı : 7 lt/dak.

#### **4.5.3.1. pH'ın Saptanması**

Bu grup deneylerde kullanılacak malzemenin nem analizi yapılmış ve %61.0 olarak bulunmuştur. 3.5, 5.5, 7.25, 9.5 ve 11.5 pH değerlerinde yapılan susuzlandırma deneylerinde elde edilen nem değerleri Tablo 4.11 ve nem miktarlarının değişimi Şekil 4.11'de gösterilmiştir.

Tablo 4.11 Umectante B-70 İlavesi İle Elde Edilen Nem Değerleri.

| pH   | Nem Değerleri (%) |                         |                       |                         |
|------|-------------------|-------------------------|-----------------------|-------------------------|
|      | Normal Titreşim   |                         | Normal + Dik Titreşim |                         |
|      | Elek Üstü Ürün    | Elek Altına Geçen Kısım | Elek Üstü Ürün        | Elek Altına Geçen Kısım |
| 3.5  | 43.2              | 84.4                    | 42.7                  | 84.6                    |
| 5.5  | 42.6              | 84.1                    | 42.2                  | 84.4                    |
| 7.25 | 43.4              | 84.0                    | 42.9                  | 84.1                    |
| 9.5  | 43.6              | 84.2                    | 43.0                  | 84.3                    |
| 11.5 | 43.8              | 84.3                    | 43.1                  | 84.7                    |



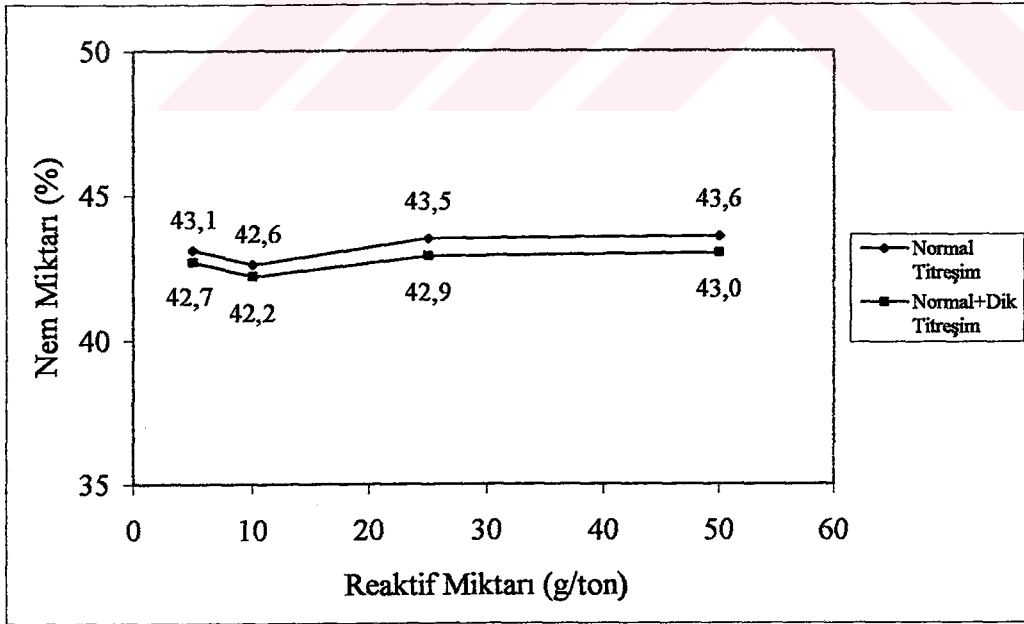
Şekil 4.11 Umectante B-70 İlavesi İle Yapılan Deneylerde pH'ın Nem Üzerine Etkisi.

#### 4.5.3.2. Reaktif Miktarının Saptanması

Reaktif miktarının etkisinin incelenmesi amacıyla kullanılacak malzemeden nem analizi için numune alınmış ve %61.0 olarak bulunmuştur. Bulunan en uygun pH değeri olan 5.5 sabit tutularak; 5, 10, 25 ve 50 g/ton Umectante B-70 ilavesi ile deneyler yapılmış olup, elde edilen nem değerleri Tablo 4.12 ve nem miktarlarının değişimi Şekil 4.12’de gösterilmiştir.

Tablo 4.12 Farklı Miktarlarda Umectante B-70 İlavesi İle Elde Edilen Nem Değerleri.

| Reaktif Miktarı (g/ton) | Nem Değerleri (%) |                         |                       |                         |
|-------------------------|-------------------|-------------------------|-----------------------|-------------------------|
|                         | Normal Titreşim   |                         | Normal + Dik Titreşim |                         |
|                         | Elek Üstü Ürün    | Elek Altına Geçen Kısım | Elek Üstü Ürün        | Elek Altına Geçen Kısım |
| 5                       | 43.1              | 84.3                    | 42.7                  | 84.8                    |
| 10                      | 42.6              | 84.5                    | 42.2                  | 84.4                    |
| 25                      | 43.5              | 84.3                    | 42.9                  | 84.4                    |
| 50                      | 43.6              | 84.6                    | 43.0                  | 84.7                    |



Şekil 4.12 Umectante B-70 Miktarının Nem Üzerine Etkisi.

#### 4.5.4. Kerosen İlavesi İle Yapılan Susuzlandırma Deneyleri

Kömürün susuzlandırılmasında kerosen ilavesinin etkisinin araştırıldığı deneylerin ilk aşamasında optimum pH değerini saptamak amacıyla ağırlıkça %10 oranında kerosen ilavesi yapılmıştır. Optimum pH değeri bulunduktan sonra, bu değer sabit tutularak değişik miktarlarda reaktif ilavesi ile en uygun reaktif miktarı belirlenmiştir. Bu deneylerde titreşimli elek ile susuzlandırmada bulunan optimum koşullar sabit tutulmuş ve aşağıda gösterilmiştir.

##### Optimum Koşullar:

Eğim : 3.5° Elek Açıklığı : 0.5 mm

Frekans : 800 titreşim/dak. Karıştırma Süresi : 5 dak.

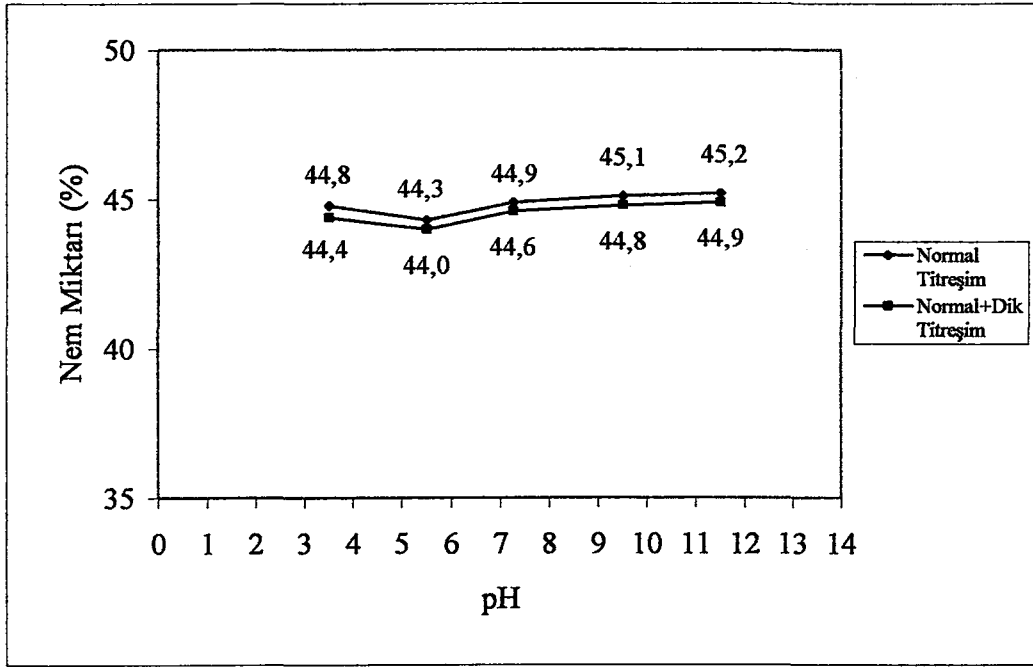
Besleme Hızı : 7 lt/dak.

##### 4.5.4.1. pH'ın Saptanması

Bu grup deneylerde kullanılacak malzemenin nem analizi yapılmış ve %61.0 olarak bulunmuştur. 3.5, 5.5, 7.25, 9.5 ve 11.5 pH değerlerinde yapılan susuzlandırma deneylerinde elde edilen nem değerleri Tablo 4.13 ve nem miktarlarının değişimi Şekil 4.13'de gösterilmiştir.

Tablo 4.13 Kerosen İlavesi İle Elde Edilen Nem Değerleri.

| pH   | Nem Değerleri (%) |                         |                       |                         |
|------|-------------------|-------------------------|-----------------------|-------------------------|
|      | Normal Titreşim   |                         | Normal + Dik Titreşim |                         |
|      | Elek Üstü Ürün    | Elek Altına Geçen Kısım | Elek Üstü Ürün        | Elek Altına Geçen Kısım |
| 3.5  | 44.8              | 83.7                    | 44.4                  | 83.9                    |
| 5.5  | 44.3              | 83.8                    | 44.0                  | 84.5                    |
| 7.25 | 44.9              | 83.5                    | 44.6                  | 84.8                    |
| 9.5  | 45.1              | 83.3                    | 44.8                  | 83.7                    |
| 11.5 | 45.2              | 83.1                    | 44.9                  | 82.9                    |



Şekil 4.13 Kerosen İlavesi İle Yapılan Deneylerde pH'ın Nem Üzerine Etkisi.

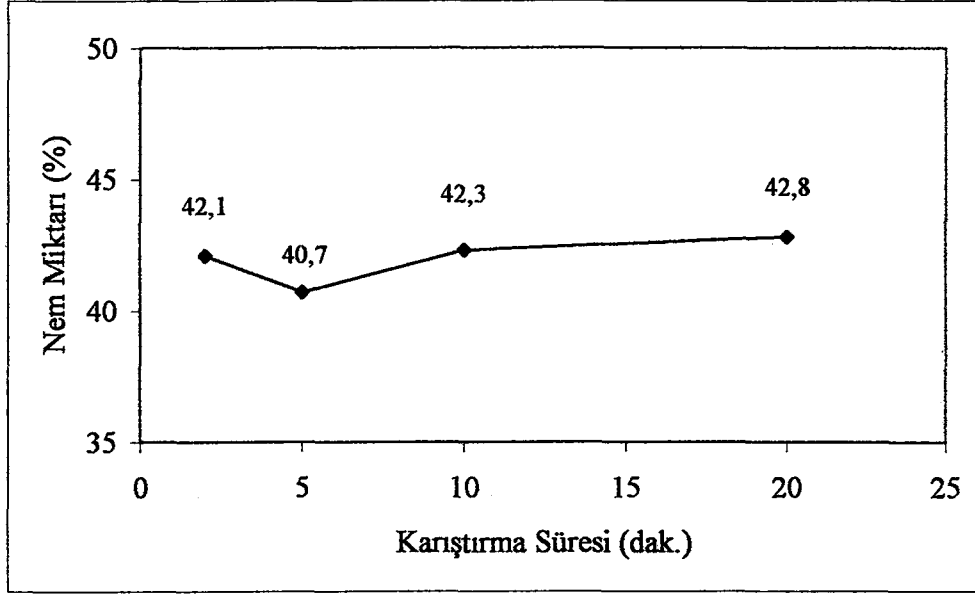
#### 4.5.4.2. Reaktif Miktarının Saptanması

Reaktif miktarının etkisinin incelenmesi amacıyla kullanılacak malzemeden nem analizi için numune alınmış ve %61.0 olarak bulunmuştur. Bulunan en uygun pH değeri olan 5.5 sabit tutularak; %2.5, %5, %7.5, %10 ve %12.5 kerosen ilavesi ile deneyler yapılmış, elde edilen nem değerleri Tablo 4.14 ve nem miktarlarının değişimi Şekil 4.14'de gösterilmiştir.

Tablo 4.14 Farklı Miktarlarda Kerosen İlavesi İle Elde Edilen Nem Değerleri.

| Reaktif Miktarı (%) | Nem Değerleri (%) |                         |                       |                         |
|---------------------|-------------------|-------------------------|-----------------------|-------------------------|
|                     | Normal Titreşim   |                         | Normal + Dik Titreşim |                         |
|                     | Elek Üstü Ürün    | Elek Altına Geçen Kısım | Elek Üstü Ürün        | Elek Altına Geçen Kısım |
| 2.5                 | 42.5              | 83.5                    | 42.1                  | 84.4                    |
| 5                   | 43.3              | 83.1                    | 43.0                  | 84.5                    |
| 10                  | 43.9              | 83.3                    | 43.5                  | 84.4                    |
| 25                  | 44.3              | 83.5                    | 44.0                  | 84.5                    |
| 50                  | 44.5              | 83.4                    | 44.1                  | 84.3                    |





Şekil 4.15 Karıştırma Süresinin Nem Üzerine Etkisi.

#### 4.7. Eleme Yüzey Alanının Arttırılmasının İncelendiği Susuzlandırma Deneyleri

Küçük boyutlu kömür numunesinin laboratuvar ölçekli titreşimli elek mekanizması ile susuzlandırılmasında eğim, frekans, besleme hızı ve elek açıklığının yanısıra, eleme yüzey alanının da etkili olduğu düşünülerek, yapılacak bu deneylerin, tesis çapında kullanılan ve yüzey alanı susuzlandırma deneylerinde kullanılan titreşimli eleğin alanının (1650 cm<sup>2</sup>) yaklaşık 13 katı olan eleğin eleme alanına yaklaştırılacağı dikkate alınarak, daha önce belirlenen optimum koşullar sabit tutularak, reaktifsiz ve reaktif ilavesi (CTAB) ile deneyler gerçekleştirilmiştir.

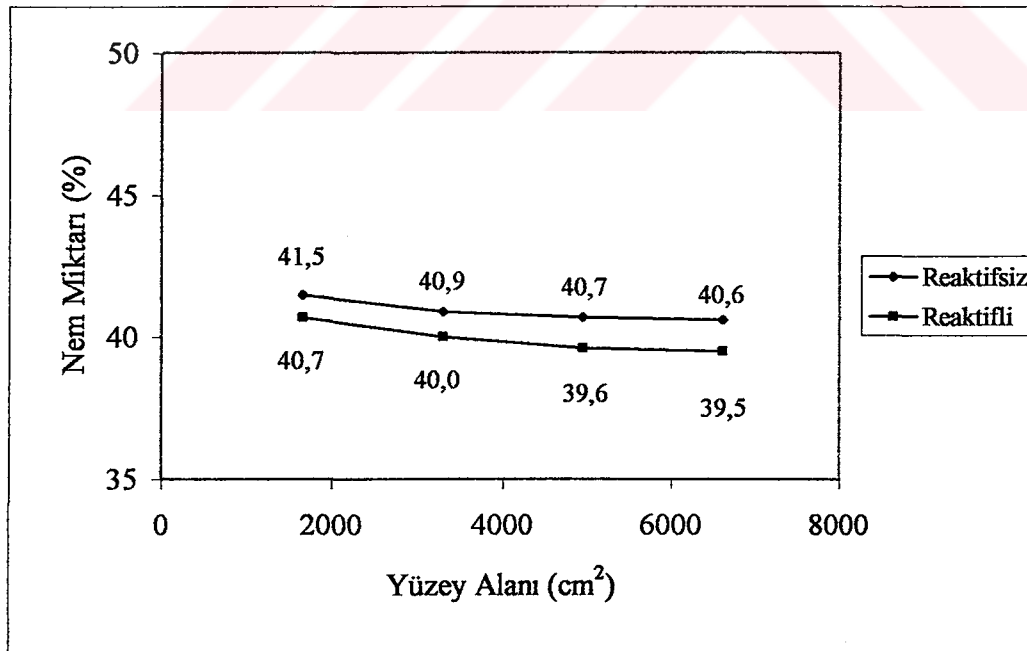
Titreşimli elek üzerinden ilk kademede alınan malzemenin eleğe yeniden beslenmesi esas alınarak yapılan bu deneylerde, 4. kademede elek üzerinden alınan malzemenin sabit nem değerine ulaştığı görülmüştür. Reaktifsiz yapılan eleme yüzey alanının arttırılmasının incelendiği bu susuzlandırma deneylerinin nem sonuçları Tablo 4.16, reaktif (CTAB) kullanarak yapılan deneylerin nem sonuçları ise Tablo 4.17’de gösterilmiştir. Şekil 4.16’de ise elde edilen nem miktarlarının değişimi ortak olarak gösterilmektedir.

Tablo 4.16 Reaktifsiz Olarak Yapılan Eleme Yüzey Alanının Arttırılmasının İncelendiği Deneylerde Elde Edilen Nem Değerleri.

| Eleme Yüzey Alanı (cm <sup>2</sup> ) | Nem Değerleri (%) |
|--------------------------------------|-------------------|
| 1650                                 | 41.5              |
| 3300                                 | 40.9              |
| 4950                                 | 40.7              |
| 6600                                 | 40.6              |

Tablo 4.17 Reaktif İlavesi (CTAB) İle Yapılan Eleme Yüzey Alanının Arttırılmasının İncelendiği Deneylerde Elde Edilen Nem Değerleri.

| Eleme Yüzey Alanı (cm <sup>2</sup> ) | Nem Değerleri (%) |
|--------------------------------------|-------------------|
| 1650                                 | 40.7              |
| 3300                                 | 40.0              |
| 4950                                 | 39.6              |
| 6600                                 | 39.5              |



Şekil 4.16 Eleme Yüzey Alanının Arttırılmasının İncelendiği Deneylerde Elde Edilen Nem Miktarlarının Değişiminin Ortak Gösterimi.



#### 4.8. Eşik Sisteminin Susuzlandırma Üzerindeki Etkisi

Titreşimli elek üzerine 15 cm aralıklarla ve 3 adet yerleştirilen, 0.4 mm kalınlığındaki eşiklerin, titreşimli elek ile susuzlandırılacak malzemenin elek üzerindeki akışını yavaşlatarak elek yüzeyinde kalma süresini arttırması, dolayısıyla malzemenin daha etkin bir şekilde susuzlandırılması amacıyla; normal titreşim ve normal titreşim + dik titreşim kullanarak, reaktifsiz ve reaktifli eşik deneyleri yapılmıştır. Bu deneylerde kullanılan optimum parametreler ise aşağıda verilmektedir.

##### Optimum Koşullar:

|               |                     |                   |           |
|---------------|---------------------|-------------------|-----------|
| Eğim          | : 3.5°              | Karıştırma Süresi | : 5 dak.  |
| Frekans       | : 800 titreşim/dak. | Reaktif Miktarı   | : 5 g/ton |
| Besleme Hızı  | : 7 lt/dak.         | pH                | : 7.25    |
| Elek Açıklığı | : 0.5 mm            |                   |           |

##### 4.8.1. Normal Titreşim İle Yapılan Eşik Deneyleri

Eşik ile yapılan deneylerin susuzlandırma üzerindeki etkisinin incelenmesi amacıyla kullanılacak malzemeden nem analizi için numune alınmış ve %61.1 olarak bulunmuştur. Normal titreşimin uygulandığı, reaktifsiz ve reaktif (CTAB) kullanarak yapılan bu susuzlandırma deneylerine ait nem değerleri Tablo 4.18’de verilmiştir.

Tablo 4.18 Eşik İlavesi İle Yapılan Reaktifsiz ve Reaktifli (CTAB) Susuzlandırma Deneylerinde Elde Edilen Nem Değerleri.

| Eşik Deneyleri | Nem Değerleri (%) |                         |
|----------------|-------------------|-------------------------|
|                | Elek Üstü Ürün    | Elek Altına Geçen Kısım |
| Reaktifsiz     | 41.4              | 82.1                    |
| Reaktifli      | 40.5              | 82.4                    |

##### 4.8.2. Normal Titreşime Dik Titreşim Mekanizmasının İlave Edilmesi İle Yapılan Eşik Deneyleri

Normal titreşimle birlikte kullanılan dik titreşimle yapılan eşik deneylerinin susuzlandırma üzerindeki etkisinin incelenmesi amacıyla kullanılacak malzemeden nem analizi için numune alınmış ve %61.1 olarak bulunmuştur. Reaktifsiz ve reaktif

(CTAB) kullanarak yapılan susuzlandırma deneylerine ait nem değerleri Tablo 4.19’de verilmiştir.

Tablo 4.19 Normal Titreşim + Dik Titreşim Uygulanarak Eşik İlavesi İle Yapılan Reaktifsiz ve Reaktifli (CTAB) Susuzlandırma Deneylerinde Elde Edilen Nem Değerleri.

| Eşik Deneyleri | Nem Değerleri (%) |                         |
|----------------|-------------------|-------------------------|
|                | Elek Üştü Ürün    | Elek Altına Geçen Kısım |
| Reaktifsiz     | 40.6              | 82.3                    |
| Reaktifli      | 39.9              | 82.8                    |

#### 4.9. Eşik Sistemi İle Yapılan Eleme Yüzey Alanının Arttırıldığı Susuzlandırma Deneyleri

Küçük boyutlu kömür numunesinin laboratuvar ölçekli titreşimli elek mekanizması ile susuzlandırılmasında şu ana kadar bulunan en iyi koşullar sabit tutularak, eşik sistemi ile yapılan eleme yüzey alanının arttırıldığı bu deneylerde kullanılacak malzemenin nem analizi yapılmış ve %61.5 olarak bulunmuştur. Titreşimli elek üzerinden alınan numunenin eleğe tekrar beslenmesi esas alınarak yapılan bu deneylerde, 4. kademedeki elek üzerinden alınan malzemenin sabit nem değerine ulaştığı görülmüştür. Eşik ilavesi ile reaktifsiz olarak yapılan eleme yüzey alanının arttırıldığı susuzlandırma deneylerine ait nem sonuçları Tablo 4.20, reaktif (CTAB) kullanarak yapılan deneylere ait nem sonuçları ise Tablo 4.21’de gösterilmiştir. Eşik ilavesi ile yapılan eleme yüzey alanının arttırıldığı susuzlandırma deneylerinde elde edilen nem miktarlarının değişimi şekil 4.17’de ortak olarak verilmiştir.

##### Optimum Koşullar:

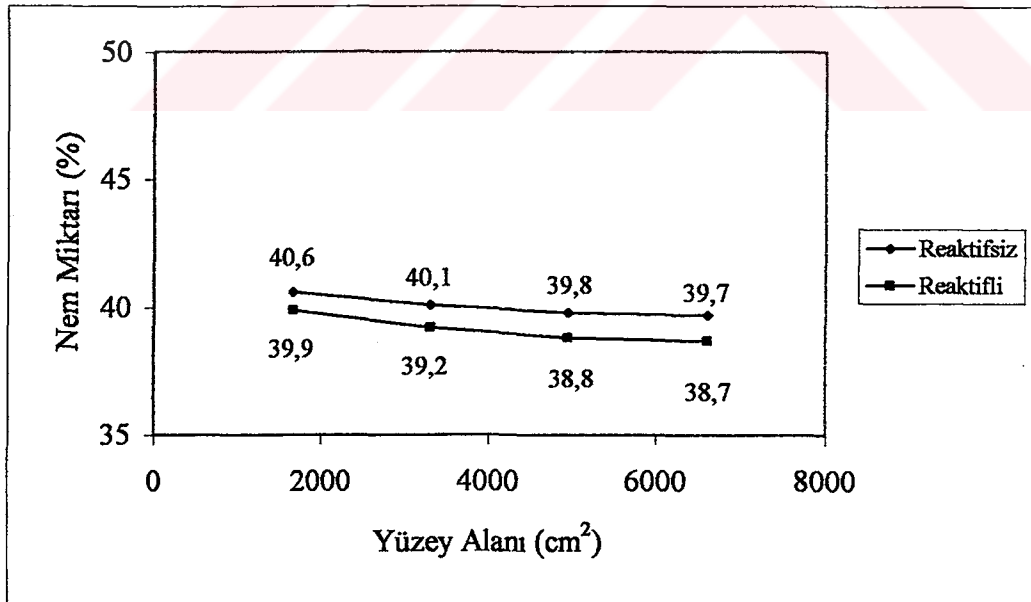
|               |                      |                   |           |
|---------------|----------------------|-------------------|-----------|
| Eğim          | : 3.5°               | Reaktif Miktarı   | : 5 g/ton |
| Frekans       | : 800 titreşim./dak. | pH                | : 7.25    |
| Besleme Hızı  | : 7 lt/dak.          | Karıştırma Süresi | : 5 dak.  |
| Elek Açıklığı | : 0.5 mm             | Eşik              | : Var     |

Tablo 4.20 Eşik İlavesi İle Reaktifsiz Olarak Yapılan Eleme Yüzey Alanının Arttırıldığı Susuzlandırma Deneylerinde Elde Edilen Nem Değerleri.

| Eleme Yüzey Alanı (cm <sup>2</sup> ) | Nem Değerleri (%) |
|--------------------------------------|-------------------|
| 1650                                 | 40.6              |
| 3300                                 | 40.1              |
| 4950                                 | 39.8              |
| 6600                                 | 39.7              |

Tablo 4.21 Eşik İlavesi İle Reaktifli Olarak Yapılan Eleme Yüzey Alanının Arttırıldığı Susuzlandırma Deneylerinde Elde Edilen Nem Değerleri.

| Eleme Yüzey Alanı (cm <sup>2</sup> ) | Nem Değerleri (%) |
|--------------------------------------|-------------------|
| 1650                                 | 39.9              |
| 3300                                 | 39.2              |
| 4950                                 | 38.8              |
| 6600                                 | 38.7              |



Şekil 4.17 Eşik İlavesi İle Eleme Yüzey Alanı Arttırılarak Yapılan Susuzlandırma Deneylerinde Elde Edilen Nem Miktarlarının Değişiminin Ortak Gösterimi.

## 5. DENEYSEL VERİLERİN MODELLENMESİ

Tez kapsamında, küçük boyutlu kömür içeren süspansiyonlardaki kömürün yüzey aktif maddeler ve dik titreşim mekanizması kullanarak, titreşimli elek mekanizması ile susuzlandırılması amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda, titreşimli eleğin optimum parametrelerinin (eğim, frekans, besleme hızı ve elek açıklığı) bulunması amacıyla -2 mm boyutundaki temiz kömür numunesi ile deneyler yapılmıştır.

0.3 mm'lik elek açıklığındaki titreşimli elek ile yapılan susuzlandırma deneylerinde elde edilen optimum parametrelerin tesbitinden sonra, Mathematica programı kullanılarak, eğim-besleme hızı, eğim-frekans, frekans-besleme hızı değerlerine karşı gelen nem değerlerinin üç boyutlu olarak gösterildiği modeller geliştirilmiştir. Oluşturulan modellere ait fonksiyonlarda x ve y koordinatlarına eğim, frekans ve besleme hızı değerlerinin konulmasıyla, deneyin yapıldığı şartlar altında z ekseninde yer alan nem değeri hesap yoluyla bulunabilmektedir.

Titreşimli eleğe ait optimum parametreler tesbit edildikten sonra, bu değerler sabit tutularak, 0.5 mm elek açıklığında ve dik titreşimle deneyler yapılmış ve bu deneylerde bulunan değerlerden yola çıkılarak, üç boyutlu eğim-besleme hızı (Şekil 5.1 ve Şekil 5.2), eğim-frekans (Şekil 5.3 ve Şekil 5.4) ve frekans-besleme hızı (Şekil 5.5 ve Şekil 5.6) modelleri geliştirilmiştir.

Bulunan en uygun parametreler sabit tutularak yapılan reaktif tesbiti deneylerinde, en iyi sonucu veren CTAB yüzey aktif maddesinin susuzlandırma üzerindeki etkisinin modellenmesi amacıyla geliştirilen fonksiyonda, x yerine reaktif miktarlarının değeri ve y yerine de pH değerinin konulmasıyla, bu değerlere karşılık gelen nem değeri hesap yoluyla bulunmuştur ve bu fonksiyona ait model oluşturulmuştur (Şekil 5.7 ve Şekil 5.8). Aynı şekilde, optimum şartlarda, eşiksiz ve eşikli olarak yapılan eleme alanının arttırıldığı susuzlandırma deneylerinde, x yerine yüzey alanı ve y yerine de reaktif miktarının girilmesi durumunda, bu değerlere karşılık gelen nem değerleri bulunmuş ve bu fonksiyonlara ait modeller oluşturulmuştur (Şekil 5.9 ve Şekil 5.10).

### 5.1. Titreşimli Elek İle Yapılan Deneyler

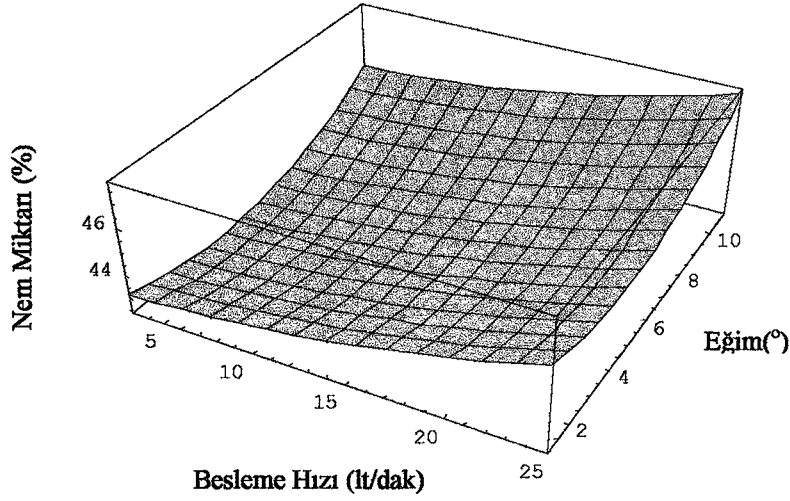
Titreşimli eleğe ait parametrelerin birbirleri ve elde edilen nem değerleri arasındaki bağlantılarının araştırılması amacıyla; eğim-besleme hızı, eğim-frekans, frekans-besleme hızı olmak üzere 3 adet sistemden oluşan modeller geliştirilmiştir. Oluşturulan modellere ait fonksiyonlarda incelenmesi düşünülen eğim, frekans ve besleme hızı değerlerinin x ve y'ye girilmesi durumunda, elde edilecek nem değeri z olarak bulunmaktadır.

Elek açıklığının susuzlandırmadaki etkisinin incelenmesi amacıyla, optimum parametreler sabit tutularak, 0.3 mm elek açıklığında elde edilen eğim, frekans ve besleme hızı değerlerine karşılık gelen nem değerlerinden, 0.5 mm elek açıklığında yapılan ön inceleme deneylerinde elde edilen nem değerleri çıkartılıp, farklarının ortalaması alınmış ve %1.1 olarak tesbit edilmiştir. Daha sonra, 0.5 mm elek açıklığında yapılması durumunda elde edinilmesi düşünülen nem değerleri hesaplanarak 3 boyutlu olarak gösterilmiştir.

0.3 mm ve 0.5 mm elek açıklığında elde edilen, eğim-besleme hızı, eğim-frekans ve frekans-besleme hızı değerlerine karşılık gelen nem değerlerinin gösterildiği 3 boyutlu modellerdeki değerlerden, normal titreşim ve normal + dik titreşim deneylerinde elde edilen nem değerlerinin farkının ortalaması olan %0.8'lik değerin çıkarılmasıyla, dik titreşim uygulanmasıyla elde edinilmesi düşünülen nem değerleri hesaplanmış ve 3 boyutlu olarak modellerde gösterilmiştir.

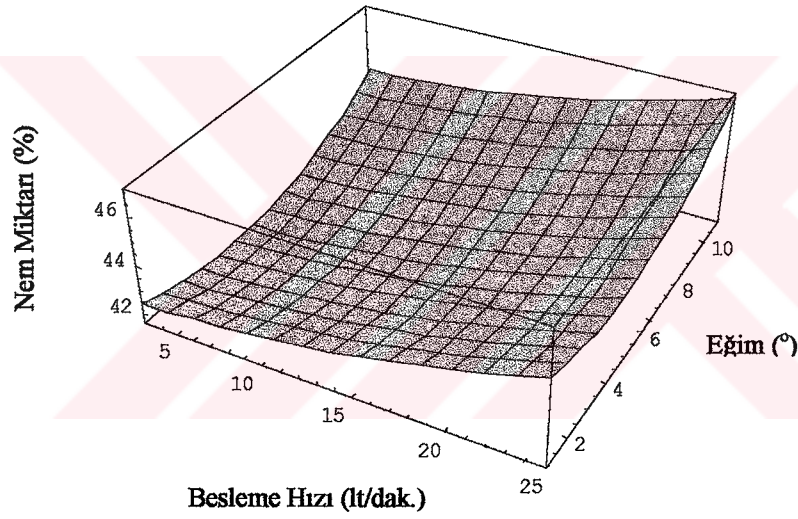
#### 5.1.1. Eğim-Besleme Hızı Değerlerinin Modellenmesi

Eğim ve besleme hızının nem miktarı üzerindeki etkisinin daha belirgin görülmesi amacıyla Mathematica programı kullanılarak, deneysel veriler yardımıyla; eğim, besleme hızı ve nem değişimini içeren üç boyutlu modeller geliştirilmiştir. Oluşturulan modelin fonksiyonunda x yerine besleme hızı değeri ve y yerine de eğim değerlerinin konulması durumunda, deneyin yapıldığı şartlar altında z ekseninde yer alan nem miktarının değeri hesap yoluyla bulunabilmektedir. 0.5 mm elek açıklığında normal ve normal + dik titreşim altında yapılan deneylere ait grafikler ve model fonksiyonları sırasıyla Şekil 5.1 ve 5.2'de gösterilmiştir.



$$43.6667+0.00307684x+0.004721252x^2-0.515065y-0.000495856xy+0.0581107y^2 = z$$

Şekil 5.1 Normal Titreşim İle 0.5 mm Elek Açıklığında Yapılan Deneylerde Besleme Hızının ve Eğimin Nem Değişimi Üzerine Etkisi.



$$42.8667-0.00307684x+0.00472152x^2-0.515065y-0.000495856xy+0.0581107y^2 = z$$

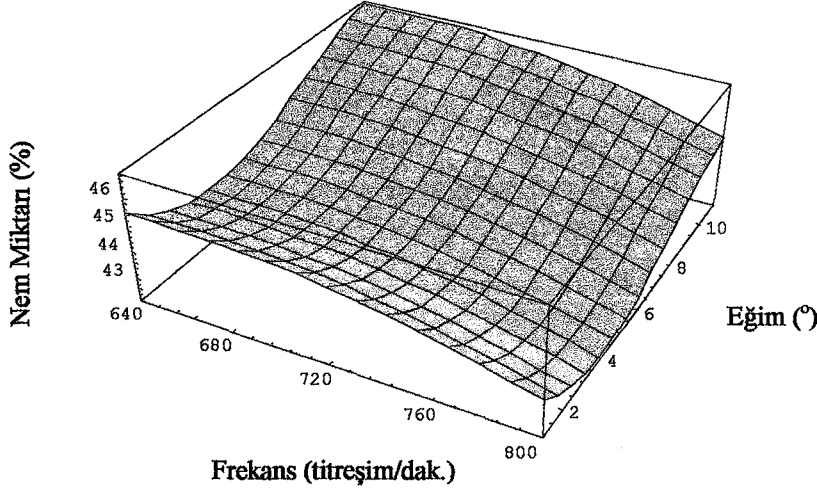
Şekil 5.2 Normal Titreşim + Dik Titreşim İle 0.5 mm Elek Açıklığında Yapılan Deneylerde Besleme Hızının ve Eğimin Nem Değişimi Üzerine Etkisi.

### 5.1.2. Eğim-Frekans Değerlerinin Modellenmesi

Eğim ve frekansın nem miktarı üzerindeki etkisinin araştırılması amacıyla, fonksiyonda bulunan deneysel veriler yardımıyla eğim, frekans ve nem değişimini içeren üç boyutlu modeller geliştirilmiştir. Oluşturulan modelin fonksiyonunda x yerine frekans ve y yerine de eğim değerlerinin konulması durumunda, deneyin yapıldığı şartlar altında z ekseninde yer alan nem miktarının değeri hesap yoluyla bulunabilmektedir. 0.5 mm elek açıklığında normal ve normal + dik titreşim altında

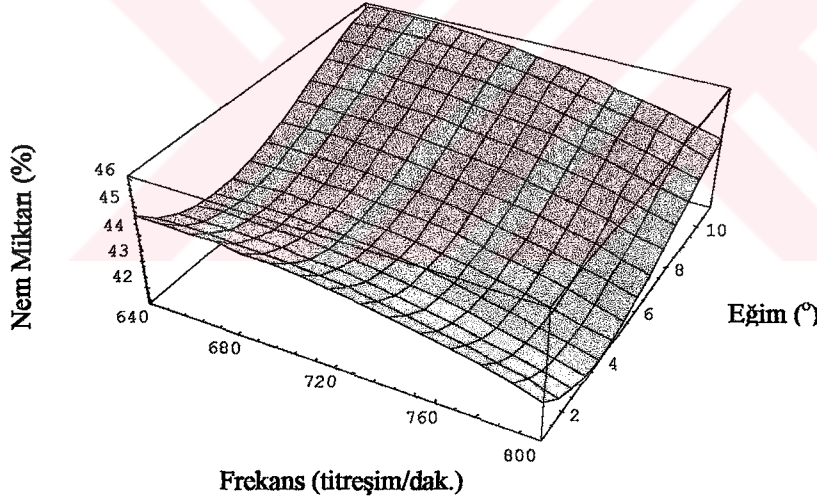


yapılan deneylere ait grafikler ve model fonksiyonları sırasıyla Şekil 5.3 ve 5.4’de gösterilmiştir.



$$42.4599+0.0149722x-0.0000156504x^2-0.0253642y-0.000152355xy-0.0161799y^2+0.0000164928xy^2+0.0244555y^3=z$$

Şekil 5.3 Normal Titreşim İle 0.5 mm Elek Açıklığında Yapılan Deneylerde Frekansın ve Eğimin Nem Değişimi Üzerine Etkisi.



$$41.2599+0.0149722x-0.0000156504x^2-0.0253642y-0.000152355xy-0.0161799y^2+0.0000164928xy^2+0.0244555y^3=z$$

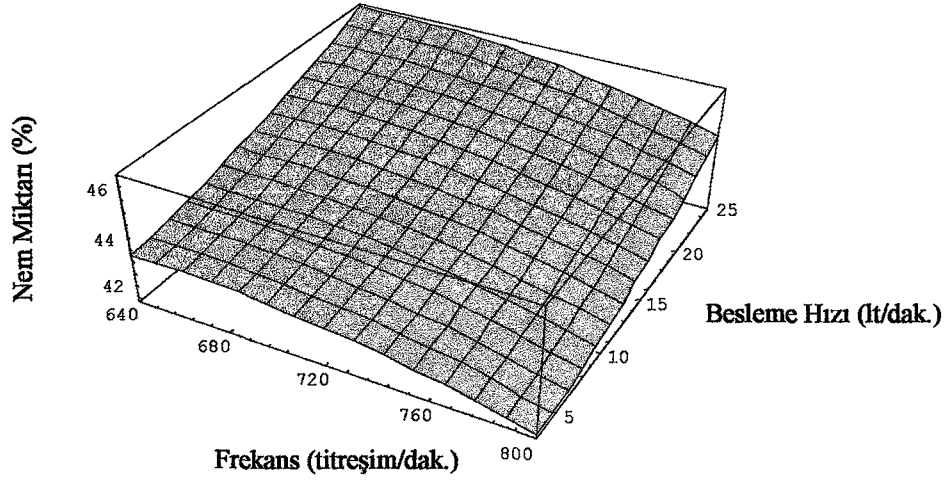
Şekil 5.4 Normal Titreşim + Dik Titreşim İle 0.5 mm Elek Açıklığında Yapılan Deneylerde Frekansın ve Eğimin Nem Değişimi Üzerine Etkisi.

### 5.1.3. Frekans-Besleme Hızı Değerlerinin Modellenmesi

Frekans ve besleme hızının nem miktarı üzerindeki etkisinin araştırılması amacıyla, fonksiyonda bulunan deneysel veriler yardımıyla frekans, besleme hızı ve nem değişimini içeren üç boyutlu modeller geliştirilmiştir. Oluşturulan modelin fonksiyonunda x yerine frekans ve y yerine de besleme hızı değerlerinin konulması

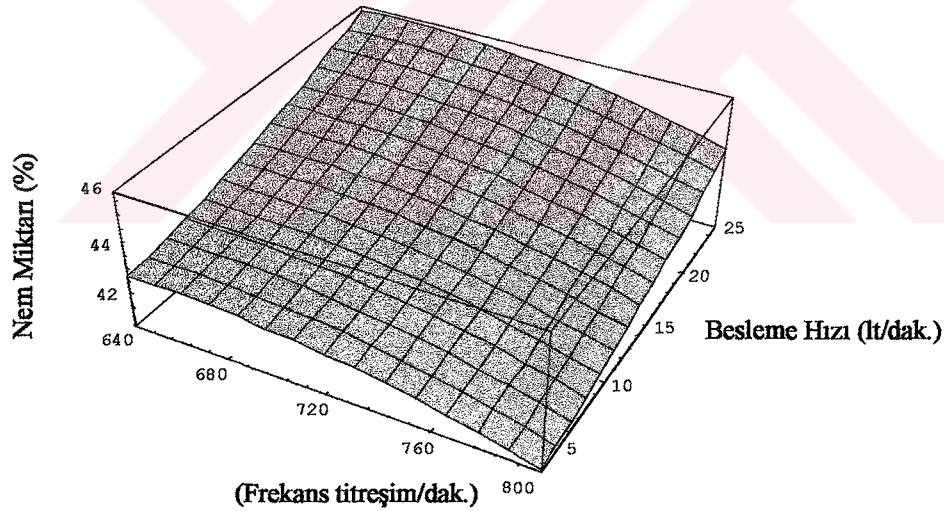


durumunda, deneyin yapıldığı şartlar altında z ekseninde yer alan nem miktarının değeri hesap yoluyla bulunabilmektedir. 0.5 mm elek açıklığında normal ve normal + dik titreşim altında yapılan deneylere ait grafikler ve model fonksiyonları sırasıyla Şekil 5.5 ve 5.6'da gösterilmiştir.



$$5.70384 + 0.11567x - 0.0000882143x^2 + 0.0548817y - 6.09137 \times 10^{-6}xy + 0.00305007y^2 = z$$

Şekil 5.5 Normal Titreşim İle 0.5 mm Elek Açıklığında Yapılan Deneylerde Frekansın ve Besleme Hızının Nem Değişimi Üzerine Etkisi.



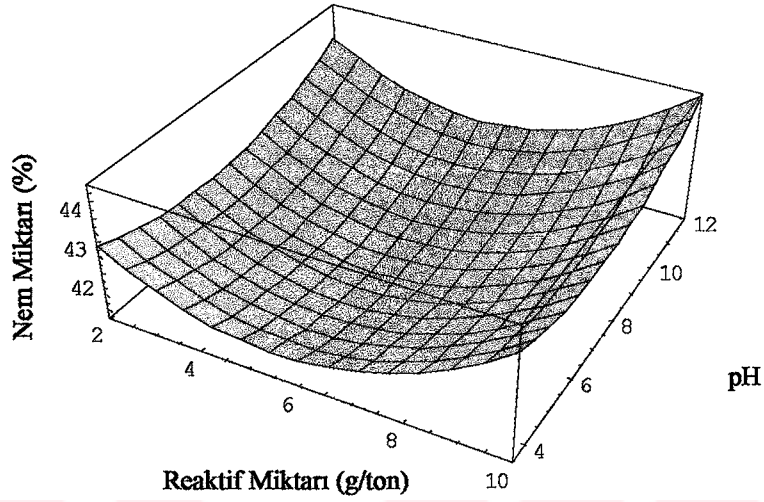
$$5.10384 + 0.11567x - 0.0000882143x^2 + 0.0548817y - 6.09137 \times 10^{-6}xy + 0.00305007y^2 = z$$

Şekil 5.6 Normal Titreşim + Dik Titreşim İle 0.5 mm Elek Açıklığında Yapılan Deneylerde Frekansın ve Besleme Hızının Nem Değişimi Üzerine Etkisi.

## 5.2. Reaktif İlavesi ile Yapılan Deneylerin Modellenmesi

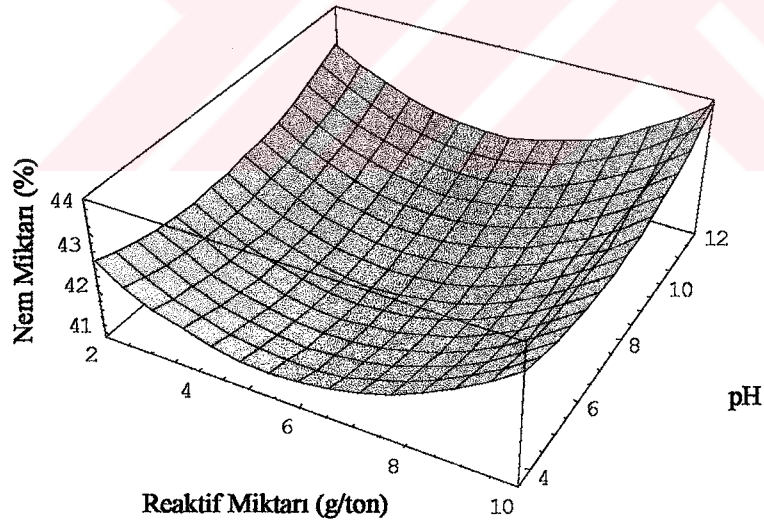
Reaktiflerle yapılan susuzlandırma deneylerinde en iyi sonucu veren CTAB yüzey aktif reaktifinin susuzlandırma üzerindeki etkisinin modellenmesi amacıyla elek ile ilgili parametreler sabit tutularak, x yerine reaktif miktarı ve y yerine de pH

değerlerinin konulması durumunda, z ekseninde yer alan nem değeri hesap yoluyla bulunabilmektedir. 0.5 mm elek açıklığında normal ve normal + dik titreşim altında yapılan deneylere ait grafikler ve model fonksiyonları sırasıyla Şekil 5.7 ve 5.8’de gösterilmiştir.



$$46.855-1.14185x+0.103467x^2-0.642784y+0.000784733xy+0.0454568y^2 = z$$

Şekil 5.7 Normal Titreşim İle 0.5 mm Elek Açıklığında Yapılan Deneylerde pH ve Reaktif Miktarının Nem Değişimi Üzerine Etkisi.

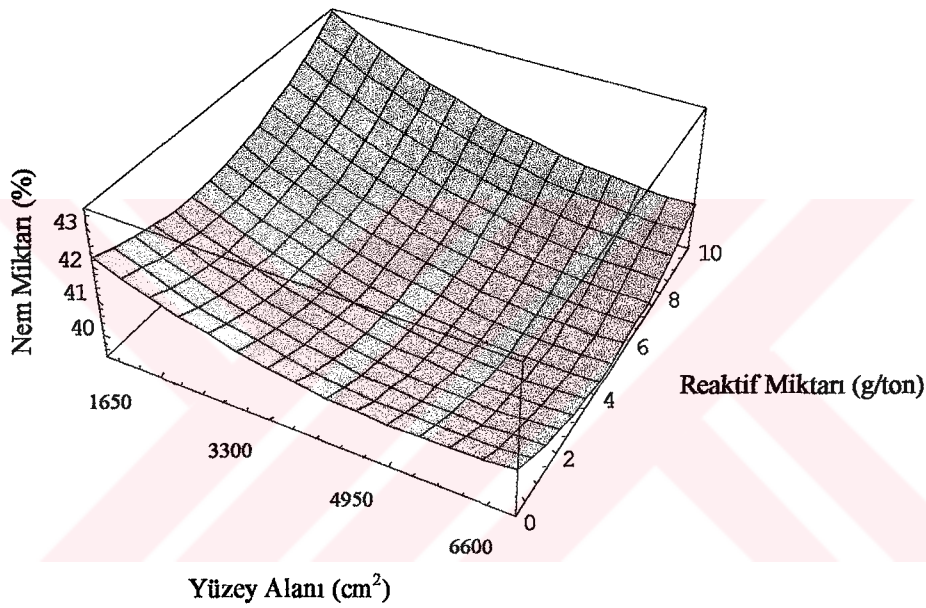


$$46.197-1.14185x+0.103467x^2-0.642784y+0.000784733xy+0.0454568y^2 = z$$

Şekil 5.8 Normal Titreşim + Dik Titreşim İle 0.5 mm Elek Açıklığında Yapılan Deneylerde pH ve Reaktif Miktarının Nem Değişimi Üzerine Etkisi.

### 5.3. Eleme Yüzey Alanının Arttırılmasıyla Yapılan Susuzlandırma Deneylerinin Modellenmesi

Eleme yüzey alanının arttırılmasıyla yapılan susuzlandırmanın nem değişimi üzerindeki etkisinin modellenmesi amacıyla bulunan en iyi koşullar sabit tutularak, x yerine yüzey alanı ve y yerine de normal + dik titreşim uygulanarak, CTAB'la yapılan reaktif deneylerinde kullanılan reaktif miktarı değerlerinin konulması durumunda, z ekseninde yer alan nem değeri hesap yoluyla bulunabilmektedir. 0.5 mm elek açıklığında normal + dik titreşim altında yapılan deneylere ait grafik ve model fonksiyonu Şekil 5.9'da gösterilmiştir.



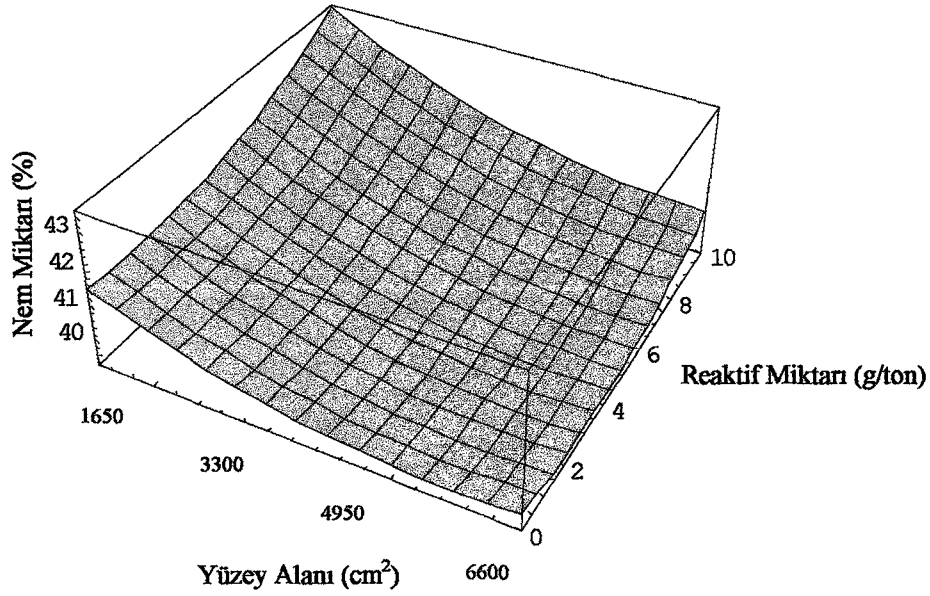
$$42.938-0.000879347x+8.20698 \times 10^{-8}x^2-0.33784-0.0000204543xy+0.0474011y^2 = z$$

Şekil 5.9 Normal Titreşim + Dik Titreşim İle 0.5 mm Elek Açıklığında Yapılan Eleme Yüzey Alanının Arttırıldığı Deneylerde Yüzey Alanının ve Reaktif Miktarının Nem Değişimi Üzerine Etkisi.

### 5.4. Eşik Sistemi İle Yapılan Eleme Yüzey Alanının Arttırıldığı Susuzlandırma Deneylerinin Modellenmesi

Eşik sistemi ile eleme yüzey alanının arttırıldığı deneylerde, susuzlandırmanın nem değişimi üzerindeki etkisinin modellenmesi amacıyla bulunan en iyi koşullar sabit tutularak, x yerine yüzey alanı ve y yerine de normal + dik titreşim uygulanarak, CTAB'la yapılan reaktif deneylerinde kullanılan reaktif miktarı değerlerinin konulması durumunda, z ekseninde yer alan nem değeri hesap yoluyla

bulunabilmektedir. 0.5 mm elek açıklığında normal + dik titreşim altında yapılan deneylere ait grafik ve model fonksiyonu Şekil 5.10'da gösterilmiştir.



$$42.2392-0.000938514x+8.57192x^8x^2-0.0529339y-0.0000202056xy+0.0264796y^2 = z$$

Şekil 5.10 Normal Titreşim + Dik Titreşim İle 0.5 mm Elek Açıklığında, Eşikli Olarak Yapılan Eleme Yüzey Alanının Arttırıldığı Deneylerde Yüzey Alanının ve Reaktif Miktarının Nem Değişimi Üzerine Etkisi.



## 6. İRDELEMELER

Küçük boyutlu kömürlerin susuzlandırılmasında, titreşimli eleğin optimum parametelerinin (eğim, frekans, besleme hızı ve elek açıklığı) belirlenmesi amacıyla -2 mm boyutundaki temiz kömür numunesi ile susuzlandırma deneyleri yapılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre;

- Elek eğiminin küçük boyutlu kömürlerin susuzlandırılması üzerindeki etkisinin araştırılması amacıyla; 1, 3.5, 7.5, 9 ve 11 derecelerinde olmak üzere yapılan 5 adet eğim deneyinin sonucunda, eğimin 3.5° olarak seçildiği durumda, bu deneylerde bulunan en düşük nem değeri olan %43.4'e ulaşılmıştır. Elek eğiminin 1° seçilmesi durumunda malzeme elek üzerinde taşınamamakta, 7.5°, 9° ve 11° gibi yüksek eğim değerlerinde ise malzeme elek yüzeyini hızla terketmekte, dolayısıyla yüksek elek eğimlerinde elek üzerinden alınan malzemenin nem değeri de yüksek olmaktadır.
- Titreşimli eleğin optimum frekans değerinin tesbiti için yapılan deneylerde 400, 480 ve 560 titreşim/dak. değerlerinde malzemenin elek yüzeyinden taşınabilmesi için yeterli titreşim oluşamamış, bunun üzerine 640, 680, 720, 760 ve 800 titreşim/dak. değerlerinde olmak üzere 5 adet frekans deneyi yapılmıştır. Deney sonuçları incelendiğinde, frekans değerinin artması ile nem değerinde düşüş gözlenmiş ve deneysel çalışmalarda kullanılmış olan laboratuvar ölçekli titreşimli eleğin çıkabileceği en yüksek frekans değeri olan 800 titreşim/dak.'da %43.4 nem değerine ulaşılmıştır. Frekans'ın daha yüksek değerlere çıkartılabilmesi durumunda, nem oranının %43.4'ten daha düşük değerlere indirilebileceği düşünülmektedir.
- Titreşimli eleğin optimum besleme hızı değerinin tesbiti için 3, 7, 13, 19 ve 25 lt/dak. olarak seçilen besleme hızlarında 5 adet deney yapılmış ve elde edilen en düşük nem değeri olan %43.0'e besleme hızının 3 lt/dak. olduğu durumda ulaşılmıştır. Besleme hızının düşürülmesi ile elde edilen ürünün nem içeriğinde azalma gözlemlenmekte ve besleme hızının daha düşük

değerlere çekilmesi durumunda daha az nem içerikli bir malzeme elde edileceği anlaşılmaktadır. Fakat, 7 lt/dak. besleme hızında elde edilen %43.4 nem değeri ile 3 lt/dak. besleme hızında elde edilen %43.0 nem değeri arasında çok önemli bir fark olmadığından ve besleme hızı yaklaşık 2 kat artacağından dolayı, optimum besleme hızının bundan sonraki incelenecek parametrelerde 7 lt/dak. olarak seçilmesine karar verilmiştir.

- Elek açıklığının susuzlandırma üzerindeki etkisinin araştırılması amacıyla, 0.1, 0.3 ve 0.5 mm elek açıklıklarında olmak üzere 3 adet deney yapılmış ve en düşük nem değeri olan %42.3'e elek açıklığının 0.5 mm olarak seçildiği durumda ulaşılmıştır. Bu deneylerde, 0.1 mm'lik elek altına geçen katı malzeme beslenen katı malzemenin %7.2'si kadar olurken, 0.3 mm'lik elek için bu değer %10.0 ve 0.5 mm'lik te ise %18.7'dir. Bu değerlerden anlaşıldığı üzere, beslenen malzemeye göre daha büyük yüzey alanına ve yüksek nem tutma kabiliyetine sahip küçük boyutlu malzemenin elek altına daha fazla geçmesi, elek üzerinden alınan ürünün nem içeriğinin düşmesine sebep olmaktadır.
- Titreşimli elek üzerine yerleştirilen ve dik titreşim uygulayan titreşim mekanizmasının titreşimli elek ile birlikte kullanılması sonucu, nem oranı %42.3'den %41.5 değerine indirilmiştir. %0.8'lik nem düşüşünün elde edildiği bu sistemde, yukarı-aşağı uygulanan dik titreşim elek yüzeyinde bulunan kömür taneleri üzerinde zıplama etkisi doğurarak, bu tanelerin elek yüzeyine ve birbirlerine çarpmasına, böylece daha etkin bir şekilde susuzlandırılmasına olanak verdiği anlaşılmaktadır. Deneysel çalışmalar sırasında elde edilen sonuçlar ve yapılan gözlemler; uygulanan dik titreşim mekanizmasının susuzlandırmada oldukça etkin olabileceğini göstermiştir. Susuzlandırma amacıyla titreşimli eleğe dik titreşim mekanizması ilavesi bu çalışmada ilk defa denenmekte olup, bu konudaki bir araştırmaya literatürde rastlanamamıştır. Dolayısıyla, bu konuda bundan sonra yapılacak araştırmalarda dik titreşim mekanizmasının özellikle, titreşim frekansının artırılarak araştırılması önerilmektedir.

Titreşimli elek ile yapılan susuzlandırma deneylerinde bulunan optimum parametreler sabit tutulmak koşuluyla, -2 mm boyutundaki temiz kömür numunesinin reaktif ilavesi ile normal titreşim ve normal titreşim + dik titreşim kullanarak yapılan deneylerde;

SDS, CTAB, Umectante B-70 ve kerosen kullanılmıştır. En iyi sonuç katyonik bir reaktif olan CTAB'la yapılan susuzlandırma deneylerinde elde edilmiştir ve bu deneylerde bulunan sonuçlar aşağıda verilmektedir;

- CTAB ilavesi ile yapılan susuzlandırma deneylerinde optimum pH'nın bulunması amacıyla, 3.5, 5.5, 7.25, 9.5 ve 11.5 değerlerinde normal titreşim ve normal titreşim + dik titreşim kullanarak deneyler yapılmıştır. 10 g/ton olarak seçilen reaktif miktarının sabit tutulduğu bu deneylerde, sırasıyla; %43.2 ve %42.8 olarak bulunan en uygun nem değerlerine doğal pH değerinde (7.25) ulaşılmıştır. Optimum reaktif miktarının tesbiti amacıyla doğal pH'ta; 2.5, 5, 10, 25 ve 50 g/ton reaktif miktarlarında deneyler yapılmış ve en iyi sonuçlar, reaktif miktarının 5 g/ton olarak seçildiği durumlarda, %41.2 ve %40.7 olarak bulunmuştur.
- Karıştırma süresinin reaktif ile susuzlandırma üzerindeki etkisinin araştırılması amacıyla, reaktif ile susuzlandırma deneylerinde en düşük nem değerini veren CTAB reaktifi seçilerek, normal titreşim + dik titreşim kullanılarak yapılan bu deneylerde, bu konuda daha önce yapılan çalışmalar göz önüne alınarak karıştırma süreleri 2, 5, 10 ve 20 dakika olarak seçilmiştir ve en düşük nem değerine, literatüre uyumlu olarak, karıştırma süresinin 5 dakika olduğu durumda ulaşılmıştır[23,24,27].

Eleme yüzey alanının artırılmasının nem değişimi üzerindeki etkisinin araştırılması amacıyla, bulunan en uygun parametreler sabit tutularak, normal titreşim + dik titreşim altında, reaktifsiz ve reaktif ilavesi ile deneyler yapılmıştır. Bu deneylere ait sonuçlar aşağıda verilmektedir;

- Normal titreşim + dik titreşim uygulamasıyla, reaktifsiz olarak yapılan deneylerde malzeme %41.5 nem değerinden %40.6 nem değerine,
- Reaktif ilave edilmesi durumunda, nem miktarı %40.7'den %39.5'e kadar gerilemiştir. Bu düşüşün sebebi, eleme yüzey alanının artmasına paralel olarak malzemenin elek yüzeyinde kalma ve malzemenin elek yüzeyi ile temas süresinin artması olarak açıklanabilir.



Titreşimli elek üzerine yerleştirilen eşiklerin kömürün susuzlandırması üzerindeki etkisinin araştırılması amacıyla, normal titreşim ve normal titreşim + dik titreşim kullanılarak, reaktifsiz ve reaktif ilavesi ile deneyler yapılmıştır. Bu deneylere ait sonuçlar aşağıda verilmektedir;

- Normal titreşim ve normal titreşim + dik titreşim uygulanarak, reaktifsiz olarak yapılan eşik deneylerinde sırasıyla; %42.3'den %41.4 nem değerine ve %41.5'den %40.6 nem değerine kadar inilirken,
- Reaktif ilavesi edilmesi durumunda ise sırasıyla; %41.2'den %40.5 nem değerine ve %40.7'den %39.9 nem değerine ulaşılmıştır. Eşik ilave edilmesi ile tek kademe, reaktifsiz olarak yapılan deneylerde %0.9'luk nem düşüşü sağlanmış iken, reaktif ilavesi ile yapılan eşik deneylerinde elde edilen nem farkı yaklaşık %0.8 olmuştur. Bu düşüşün nedeni, beslenen malzemenin akışının eşik sistemi tarafından yavaşlatılarak elek yüzeyinde kalma süresinin arttırılması olarak açıklanabilir.

Eşik sisteminin ilavesi ile yapılan eleme yüzey alanının arttırıldığı susuzlandırma deneylerinin nem değişimi üzerindeki etkisinin araştırılması amacıyla; titreşimli elek, dik titreşim ve reaktif ile susuzlandırmada bulunan en uygun parametreler sabit tutularak, normal titreşim + dik titreşim altında deneyler yapılmış ve bu deneylere ait sonuçlar aşağıda verilmektedir;

- Eşik ilavesi ile reaktifsiz olarak yapılan eleme yüzey alanının arttırıldığı bu deneylerde malzeme %40.6 nem değerinden %39.7 nem değerine,
- Reaktif ilave edilmesi durumunda ise nem miktarı %39.9'dan %38.7'ye kadar gerilemiştir. Bu düşüşün sebebi, kademe sayısının artmasına paralel olarak malzemenin elek yüzeyinde kalma ve malzemenin elek yüzeyi ile temas süresinin artması olarak açıklanabilir.

Bölüm 5'te deney setinin her bir parametresinin optimize edildiğini gösteren üç boyutlu grafikler nonlineer yüzey oluşturma yöntemiyle yapılmıştır. Bu yöntemde deneysel olarak toplanmış veriler, istatistiksel bir yaklaşım olan farkların karesi metodu ile en gerçekçi sonucu verecek şekilde önerilen yüzey tanımlanmasında yer alır. Her bir grafikte susuzlandırma sistemini etkileyen iki parametrenin elde edilen malzemenin nemi üzerine etkisi gözlenmekte ve sistem parametrelerinin değiştirilmesi durumunda, sonuç üzerinde meydana gelebilecek etkiler %95 yakınsaklık ile tahmin

edilebilmektedir. Bu da oluşturulan modellerin oldukça etkin olduğunu göstermektedir. Örneğin, eleme yüzey alanının arttırıldığı deneyler sonucunda mevcut ünitenin elek alanının 4 katına kadar arttırıldığında ürün neminin ne olacağı kullanılan reaktif miktarına bağlı olarak söylenebilmektedir. Bunun sonucunda, elde edilen sonuçların gerçek bir tesisteki benzer bir sisteme uygulanmasının bu aşamadan sonra oldukça başarılı olabileceği söylenebilir.

Nihai olarak siklon altı numunesi ile titreşimli elek kullanılarak yapılan susuzlandırma deneyleri sonucunda;

- Sadece titreşimli elek kullanımıyla malzemenin nemi %61.0'den %42.3'e,
- İlave dik titreşim mekanizması ile %41.5'e,
- Reaktif ilavesi ile %41.2'ye,
- Elek yüzeyine eşik uygulaması ile %41.4'e,
- Dik titreşim uygulaması + reaktif ilavesi ile %40.7'ye,
- Dik titreşim + eşik ilavesi ile %40.6'ya,
- Eşik uygulaması + reaktif ilavesi ile %40.5'e,
- Dik titreşim uygulaması + eleme yüzey alanının arttırılması ile %40.6'ya,
- Dik titreşim + eşik uygulaması + reaktif ilavesi ile %39.9'a,
- Dik titreşim uygulaması + eleme yüzey alanının arttırılması + reaktif ilavesi ile %39.5'e,
- Dik titreşim uygulaması + eleme yüzey alanının arttırılması + eşik uygulaması ile %39.7'ye,
- Dik titreşim uygulaması + eleme yüzey alanının arttırılması + eşik uygulaması + reaktif ilavesi ile %38.7'ye indirilmiştir.

## 7. SONUÇLAR

Küçük boyutlu kömürlerin susuzlandırılmasında titreşim mekanizmasının ve reaktif ilavesinin etkisinin araştırıldığı bu çalışmada elde edilen sonuçlar aşağıda verilmektedir;

- 1- Normal yatay titreşimli elekğin optimum eğim, frekans, besleme hızı ve elek açıklığı parametrelerinin tesbiti amacıyla yapılan deneyler sonucunda, yaklaşık %61.0 nem oranından %42.3 nem oranına; elek eğiminin 3.5°, frekans değerinin 800 titreşim/dak., besleme hızının 7 lt/dak. ve elek açıklığının 0.5 mm olduğu durumlarda ulaşılmıştır.
- 2- Titreşimli elek üzerine yerleştirilen ve dik titreşim uygulayan titreşim mekanizmasının titreşimli elek ile birlikte kullanılması sonucu, nem oranı %42.3'den %41.5 nem değerine indirilmiştir.
- 3- Normal titreşim + dik titreşim uygulanarak, daha önce bulunan optimum koşullar altında, sırasıyla; SDS, CTAB, Umectante B-70 ve Kerosen yüzey aktif maddelerinin ilavesi ile deneyler yapılmıştır. En iyi sonuç, 5 dakika karıştırma süresinde, malzemenin doğal pH'ı olan 7.25 değerinde ve 5 g/ton oranında CTAB kullanarak yapılan deneyde elde edilen %40.7 nem oranıdır.
- 4- Eleme yüzey alanının artırılmasının nem değişimi üzerindeki etkisinin araştırılması amacıyla, bulunan en uygun parametreler sabit tutularak, normal titreşim + dik titreşim altında, reaktifsiz ve reaktif ilavesi ile deneyler yapılmıştır. Bulunan en düşük nem değeri olan %39.5'e, normal titreşim + dik titreşim uygulanarak reaktif ilavesi ile yapılan deneyde ulaşılmıştır.
- 5- Titreşimli elek üzerine yerleştirilen eşiklerin küçük boyutlu kömürlerin susuzlandırılması üzerindeki etkisinin araştırılması amacıyla, normal titreşim ve normal titreşim + dik titreşim kullanılarak, reaktifsiz ve reaktif ilavesi ile deneyler yapılmıştır. %39.9 olarak bulunan en düşük nem oranına, normal titreşim + dik titreşim uygulanarak reaktif ilavesi ile yapılan eşik deneylerinde ulaşılmıştır.

- 6- Eşik sisteminin ilavesi ile yapılan eleme yüzey alanının arttırıldığı susuzlandırma deneylerinin nem değişimi üzerindeki etkisinin araştırılması amacıyla; titreşimli elek, dik titreşim ve reaktif ile susuzlandırmada bulunan en uygun parametreler sabit tutularak, normal titreşim + dik titreşim altında deneyler yapılmıştır. Şu ana kadar bulunan en düşük nem değeri olan %38.7'ye, normal titreşim + dik titreşim uygulanarak reaktif ilavesi ile yapılan deneyde elde edilmiştir.
- 7- Laboratuvar bünyesinde kullanılan titreşimli eleğin titreşim frekansının yaklaşık 800 titreşim/dak. olduğu göz önüne alınırsa, %61.0 nem içeren kömürün susuzlandırılmasında reaktif ilavesi, dik titreşim ve eşik uygulamaları ile elde edilen %38.7 oranındaki kömür neminin, endüstriyel boyutta yaklaşık 2800 titreşim/dak. üreten titreşimli eleklerle %30.0 ve altı mertebelerde üretilebileceği anlaşılmaktadır.
- 8- Bundan sonraki araştırmalara ışık tutması amacıyla; bu çalışmada ilk defa denenilen ve susuzlandırmada oldukça etkin olduğu gözlenen dik titreşim mekanizmasının ilavesinin daha ayrıntılı olarak incelenmesi önerilmektedir.

## KAYNAKLAR

- [1] Kural, O., 1998. *Kömür Hazırlama Yöntemleri ve Tesisleri*, Kömür Özellikleri, Teknolojisi ve Çevre İlişkileri, s. 267-295, Özgün Ofset Matbaacılık.
- [2] [www/7.BYKP/ekutup96/o496/komur\\_ozet.htm](http://www.7.BYKP/ekutup96/o496/komur_ozet.htm)
- [3] Önal, G. ve Ateşok, G., 1994. *Cevher Hazırlama El Kitabı*.
- [4] Önal, G., Doğan Z., Atak, S. ve Ateşok, G., 1986. *Kömürün Zenginleştirilmesi ve Lavvar Tesislerinin Çalıştırılması*, Teknoloji ve Uygulama Geliştirme Projesi.
- [5] Özer, Mustafa., 1998. *Endüstride Artık Konumundaki Krom Şamlarının Değerlendirilmesi*, Bitirme Tezi, İ.T.Ü. Maden Mühensiliği, İstanbul.
- [6] Leonard, W.J. and Mitchell, D.R., 1968. *Coal Preparation*. New York.
- [7] Atak, S. ve Ateşok, G., 1991. Kömürün Susuzlandırılması, *Kömür Teknolojisi ve Kullanım Semineri*, TKİ Didim Sosyal Tesisleri, İzmir, 16-18 Ekim, s. 92-115.
- [8] Kural, O., 1998. *Kömürün Susuzlaştırılması ve Kurutulması*, Kömür Özellikleri, Teknolojisi ve Çevre İlişkileri, s. 142-149, Özgün Ofset Matbaacılık.
- [9] Ateşok, G., 1986. *Kömürlerde Rutubet Miktarının Azaltılması*, Kömür Hazırlama, 297-315, Kurtiş Matbaası.
- [10] Meenan, G.F., *Fine coal dewatering equipment*, Industrial Practice of Fine Coal Processing, 20., 223-229.
- [11] Tao, D., Groppo, J.G., and Parekh B.K., 2000. Enhanced ultrafine coal dewatering using flocculation filtration processes, *Minerals Engineering*, 13., 163-171.
- [12] Patwardhan, A., Mondal, K., Singh, N., and Chugh, Y.P., Enhanced dewatering of fine coal using mechanical thermal techniques.
- [13] Parekh, B.K., and Groppo, J.G., 1997. Dewatering of fine clean coal using a high pressure filter-a pilot plant study, *Fluid/Particle Separation Journal*, 10., 57-61.
- [14] Parekh B.K., 1996. An innovative approach for in-situ dewatering/hardening of fine clean coal slurry, *Final Technical Report*, Center for Applied Energy Research, University of Kentucky.
- [15] Asmatülü, R., 2002. İnce boyutlu tanelerdeki suyun buchner vakum filtresi kullanarak uzaklaştırılması, *Madencilik*, March, 35-44.
- [16] Wills, B.A., 1979. *Mineral Processing Technology*, Pergamon Press.

- [17] **Özer, Mustafa.**, 2002. *Ultrasonik titreşimin kil çöktürmesinde etkisinin incelenmesi ve klasik çöktürme yöntemleri ile karşılaştırılması*, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [18] **Smythe, M.C., and Wakeman R.J.**,2000. The use of acustic fields as a filtration and dewatering aid, *Ultrasonics*, **38**, 657-661.
- [19] **Bien, J.B., Kempa, E.S., and Bien, J.D.**,1997. Influence of ultrasonic field on structure and parameters of sewage sludge for dewatering process, *Water Science Technology*, **36**, 287-291.
- [20] **Riera-Franco de Sarabia, E., Gallego, J.A., Rodriguez-Corral, G., Elvira-Segura, and L., Gonzalez-Gomez, J.**, 2000. Application of high-power ultrasound to enhance fluid/solid particle separation processes, *Ultrasonics*, **38**, 642-646.
- [21] **Atak, S.**,1990. *Flotasyon İlkeleri ve Uygulaması*, İ.T.Ü. Vakfı, **34**, İstanbul.
- [22] **Schick, M.J. and Villa, J.L.**, 1983. Surfactants in coal technology, *JAOCS*, **60.**, 1349-1359.
- [23] **Singh, B.P., Besra, L., Reddy, P.S.R., and Sengupta, D.K.**, 1998. Use of surfactants to aid the dewatering of fine clean coal, *Fuel*, **77.**, 1349-1356.
- [24] **Singh, B.P.**, 1999. The role of surfactant adsorption in the improved dewatering of fine coal, *Fuel*, **78.**, 501-506.
- [25] **Dentel, S.K., Allen, H.E., Srinivasarao, C., and Divincenzo, J.**, 1993. Effects of surfactants on sludge dewatering and pollutant fate, *Third Year Completion Report*, 1-12.
- [26] **Hamza, H.A., Mo, A.W., and Frenette, R.**, *Chemical reagents for mechanical dewatering*, Industrial Practice of Fine Coal Processing, **21.**, 231-237.
- [27] **Singh, B.P.**, 1997. The influence of surface phenomena of the dewatering of fine coal, *Filtration and Separation*, March, 159-163.

## EKLER

### Ek I

Normal Titreşim Altında Reaktif İlavesi İle Yapılan Susuzlandırma Deneyinin Modellenmesi

#### Optimum Koşullar:

|              |                     |                   |          |
|--------------|---------------------|-------------------|----------|
| Eğim         | : 3.5°              | Elek Açıklığı     | : 0.5 mm |
| Frekans      | : 800 titreşim/dak. | Karıştırma Süresi | : 5 dak. |
| Besleme Hızı | : 7 lt/dak.         | Eşik              | : Yok    |

<< Statistics `NonlinearFit`

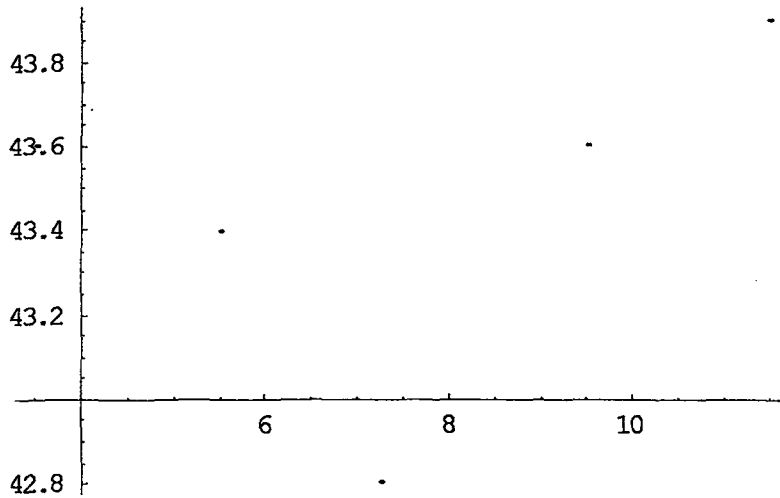
#### pH– Nem Değerleri

data1 = {{3.5, 43.6}, {5.5, 43.4}, {7.25, 42.8}, {9.5, 43.6}, {11.5, 43.9}}

{{3.5, 43.6}, {5.5, 43.4}, {7.25, 42.8}, {9.5, 43.6}, {11.5, 43.9}}

#### Deney Verilerinin Grafiksel Gösterimi

q1 = ListPlot[data1]





- Graphics -

### İkinci Derece Polinom Modeli

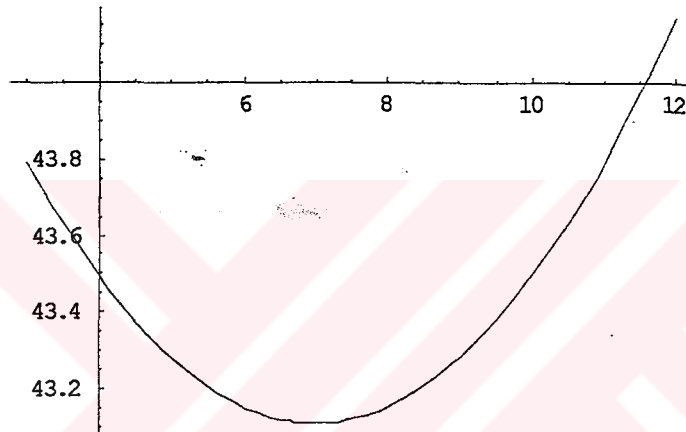
```
g[x_] = NonlinearFit[data1, ax^2+bx+c, x, {a, b, c}]  
45.197 - 0.595385 x + 0.0424898 x^2
```

### Üçüncü Derece Polinom Modeli

```
g1[x_] = NonlinearFit[data1, dx^3+ax^2+bx+c, x, {a, b, c, d}]  
45.8833 - 0.929708 x + 0.0912791 x^2 - 0.00218009 x^3
```

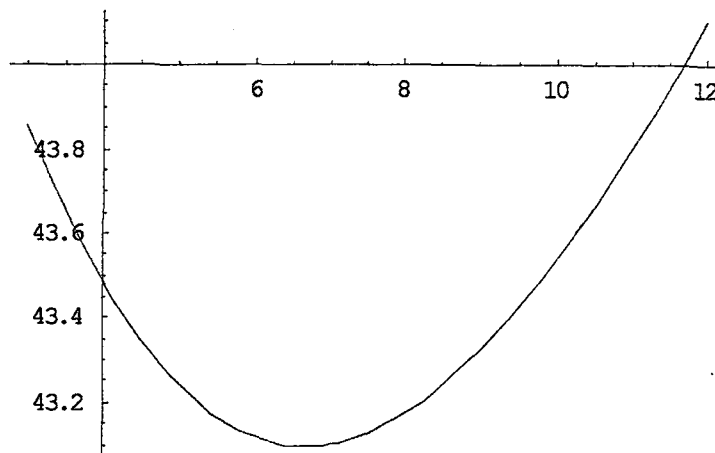
### İkinci Derece Polinom Modelinin Grafiksel Gösterimi

```
q2 = Plot[g[x], {x, 3, 12}]
```



### Üçüncü Derece Polinom Modelinin Grafiksel Gösterimi

```
q3 = Plot[g1[x], {x, 3, 12}]
```



- Graphics -

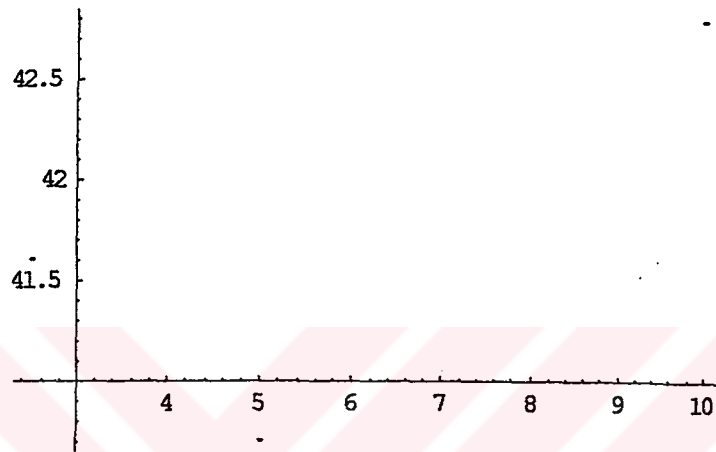
**Reaktif Miktarı – Nem Değerleri**

`data2 = {{2.5, 41.6}, {5, 40.7}, {10, 42.8}}`

`{{2.5, 41.6}, {5, 40.7}, {10, 42.8}}`

**Deney Verilerinin Grafiksel Gösterimi**

`q4 = ListPlot[data2]`



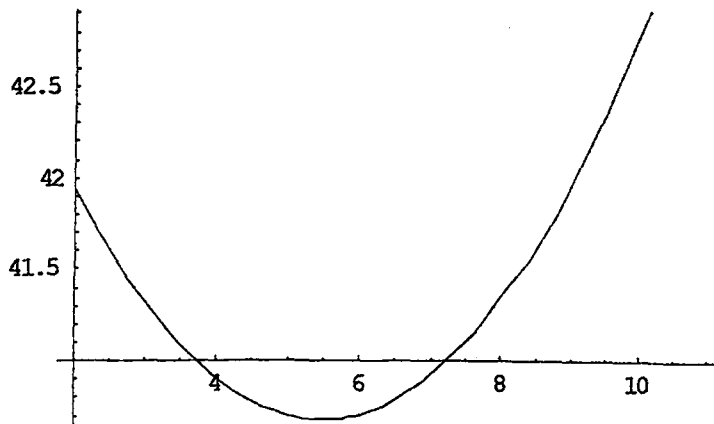
- Graphics -

**İkinci Derece Polinom Modeli**

`h[x_] = NonlinearFit[data2, ax^2 + bx + c, x, {a, b, c}]`  
 $43.8 - 1.14x + 0.104x^2$

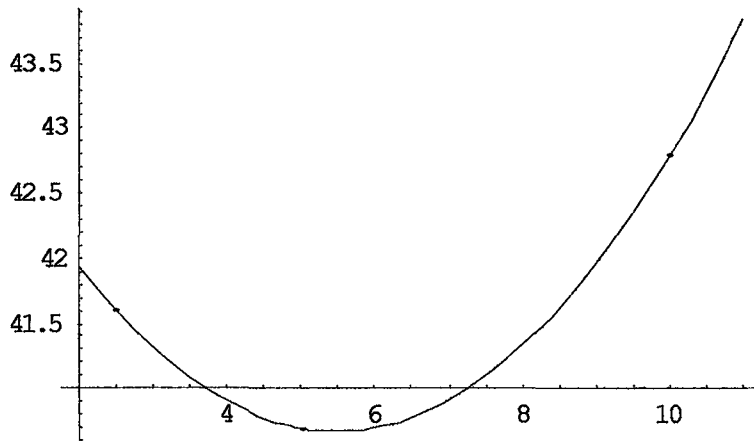
**İkinci Derece Polinom Modelinin Grafiksel Gösterimi**

`q5 = Plot[h[x], {x, 2, 11}]`



## İkinci Decece Polinom Modelinin Deney Verileri İle Grafiksel Gösterimi

Show[q1, q5]



- SurfaceGraphics -

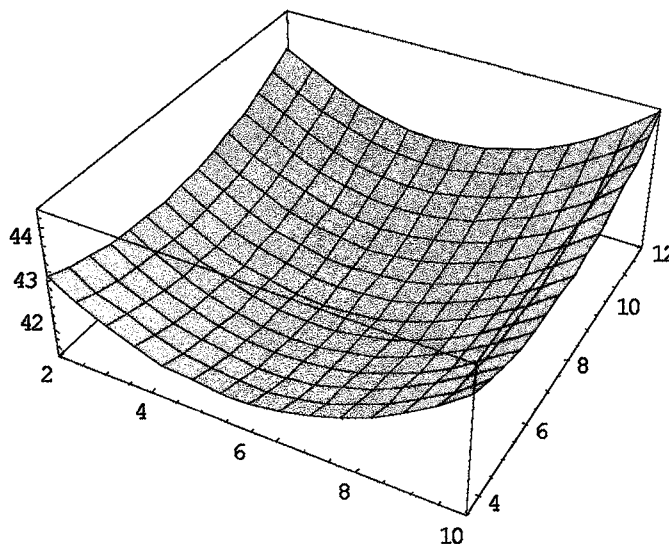
**data3 = {{2.5, 7.25, 42.1}, {5, 7.25, 41.2}, {10, 7.25, 43.2}, {10, 3.5, 44.1}, {10, 5.5, 43.9}, {10, 9.5, 44.0}, {10, 11.5, 44.5}, {5, 11.5, 42.3}, {2.5, 11.5, 43.2}, {5, 9.5, 42.0}, {2.5, 9.5, 42.9}, {5, 5.5, 41.8}, {2.5, 5.5, 42.7}, {5, 3.5, 42.0}, {2.5, 3.5, 42.9}}**

**{{2.5, 7.25, 42.1}, {5, 7.25, 41.2}, {10, 7.25, 43.2}, {10, 3.5, 44.1}, {10, 5.5, 43.9}, {10, 9.5, 44.0}, {10, 11.5, 44.5}, {5, 11.5, 42.3}, {2.5, 11.5, 43.2}, {5, 9.5, 42.0}, {2.5, 9.5, 42.9}, {5, 5.5, 41.8}, {2.5, 5.5, 42.7}, {5, 3.5, 42.0}, {2.5, 3.5, 42.9}}**

**h1[x,y\_] = NonlinearFit(data3, ax^2+dy^2+ey+bx+hxy+c, {x,y}, {a,b,c,d,e,h})**

**46.855 - 1.14185 x + 0.103467 x<sup>2</sup> - 0.642784 y + 0.000784733 x y + 0.0454568 y<sup>2</sup>**

**Plot3D[h3[x, y], {x, 2, 10}, {y, 3.5, 12}]**



**Fig. 10.10.3D Plot of the Fitted Surface**

## ÖZGEÇMİŞ

Fırat BURAT 1980 yılında İstanbul'da doğmuştur. Lise öğrenimini 1996'da Pendik Lisesi'nde tamamladıktan sonra aynı yıl İ.T.Ü. Maden Fakültesi Maden Mühendisliği Bölümü'ne girmiştir. 2001 yılında Maden Mühendisi olduktan sonra İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü'nde Yüksek Lisans Programına başlamıştır. 2003 yılında, Cevher-Kömür Hazırlama ve Değerlendirme Anabilim Dalında yüksek lisans tez çalışmasını sona erdirmiş ve yine aynı anabilim dalında doktora öğrenimine başlayacaktır.

