



T.C.
SELÇUK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



**ETİ ALÜMİNYUM A.Ş. KIRMIZI
ÇAMURUNUN SUSUZLANDIRMA
PERFORMANSININ ARTIRILMASI**

Sedat ARSLAN

YÜKSEK LİSANS

Maden Mühendisliği Anabilim Dalı

Nisan-2016
KONYA
Her Hakkı Saklıdır

TEZ KABUL VE ONAYI

Sedat ARSLAN tarafından hazırlanan "ETİ ALÜMİNYUM A.Ş. KIRMIZI ÇAMURUNUN SUSUZLANDIRMA PERFORMANSININ ARTIRILMASI" adlı tez çalışması 17/05/2016 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Maden Mühendisliği Anabilim Dalı'nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Başkan

Prof. Dr. Alper ÖZKAN

İmza



Danışman

Yrd. Doç. Dr. Havvanur UÇBEYİAY

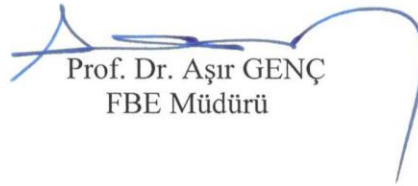


Üye

Yrd. Doç. Dr. Vildan ÖNEN



Yukarıdaki sonucu onaylarım.



Prof. Dr. Aşır GENÇ
FBE Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.

Sedat ARSLAN

Tarih:01.04.2016

ÖZET

YÜKSEK LİSANS

ETİ ALÜMİNYUM A.Ş. KIRMIZI ÇAMURUNUN SUSUZLANDIRMA PERFORMANSININ ARTIRILMASI

Sedat ARSLAN

**Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Maden Mühendisliği Anabilim Dalı**

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Havvanur UÇBEYİAY

2016, 133 Sayfa

Jüri

**Yrd. Doç. Dr. Havvanur UÇBEYİAY
Prof. Dr. Alper ÖZKAN
Yrd. Doç. Dr. Vildan ÖNEN**

Dünyada alüminyum kullanım alanlarının artmasıyla dolaylı olarak alüminyaya olan ihtiyaç da artmaktadır. Üretilen bir ton alümina veya 0.5 ton alüminyum metaline karşılık yaklaşık olarak bir ton kırmızı çamur atığı meydana gelmektedir. Bu atık miktarının yıllar içinde artması ve çamurun baraja pompalanmasında kullanılan suyun geri kazanılamaması, baraj kapasitesinin yetersiz kalmasına neden olmaktadır. Barajlardaki sıvı hacminin kapladığı alan baraj ömrünü ciddi oranda azaltmaktadır. Özellikle buharlaşmanın az olduğu dönemlerde yağmur ve sızıntı suları ile birlikte baraj hacmindeki sıvı seviyesi daha da hızlı yükselmektedir. Hem gelecekte istenmeyen sonuçlar doğurabilecek durumların önüne geçmek hem de proseste çıkan kırmızı çamuru profesyonel bir şekilde depolamak amacıyla ileri teknoloji ile uyumlu uygulamaların ayrıntılı olarak incelenmesi gereksinimi ortaya çıkmaktadır.

Bu çalışmada Eti Alüminyum A.Ş. tesisindeki kırmızı çamurun susuzlandırma performansını artıracak alternatif teknikler incelenmiştir. Bu amaçla, dünyada halen kullanılmakta olan derin tikiner, vakumlu tambur filtre, dekantör santrifüj ve yatay pres filtre teknikleri ele alınmış ve bu tekniklerin kırmızı çamurun susuzlandırılması üzerine etkileri araştırılmıştır. Her bir teknikle ilgili gerek laboratuvar şartlarında gerekse de pilot üniteler ile susuzlandırma performans deneyleri yapılmış, elde edilen veriler doğrultusunda optimum bir seçenek belirlenmeye çalışılmıştır. Mevcut durumda kırmızı çamur barajına gönderilen atığın katı miktarı % 25-30 civarında iken bu değer alternatif yöntemlerden derin tikinlerde %38, vakumlu tambur filtrede %45, dekantör santrifüjde %52 ve son olarak pres filtre yönteminde %70 olarak elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Bayer prosesi, boksit, kırmızı çamur, pres filtre, susuzlandırma

ABSTRACT

MS THESIS

IMPROVEMENT OF DEWATERING PERFORMANCE OF RED MUD IN ETI ALUMINIUM PLANT

Sedat ARSLAN

**THE GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCE OF
SELÇUK UNIVERSITY
THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE
IN MINING ENGINEERING**

Advisor: Asst. Prof. Dr. Havvanur UÇBEYİAY

2016, 133 Pages

Jury

Asst. Prof. Dr. Havvanur UÇBEYİAY

Prof. Dr. Alper ÖZKAN

Asst. Prof. Dr. Vildan ÖNEN

Recently, alumina demand has increased significantly due to increment of usage area of aluminium in the world. One tonne of red mud on dry bases has been come out as a bauxite residue in the course of 1 tonne of alumina and 0.5 tonne of aluminium production respectively. Accumulation of huge tonnages of red mud accompanied with volumes of supernatant liquor which can not be returned to process, needs tremendous disposal areas. The existing disposal area may not respond the needs in the following years when maintaining alumina production. Espacially liquor occupied volume significantly reduce the life time of red mud dam which is used as disposal area. Furthermore the liquor level of red mud dam may change dramatically due to climatic conditions. During the heavy rainfoll and lack of enough evaporation rate, the liquor level can rise rapidly which can create o big challange to handle and manage. To either prevent unwanted results in the future and handle this process residue professionally, an extensive research should be executed to find out the most efficient way by using state of the art technology.

In this study, alternative techniques have been investigated to improve dewatering performance of red mud in ETI Aluminium Inc. For this purpose, the common techniques which one already used in alumina processes such as deepcone thickener, vacuum rotary drum filter, decanter centrifuge and horizontal filter press, have been searched and the effects on ETI red mud dewatering properties have been discussed. The watering studies have been performed not only at laboratory scale but also at pilot scale to determine optimum technique and to achive most efficient performance. During the pilot dewatering studies such as deepcone thickener, vacuum rotary drum filter, decanter centrifuge and filter press, solid content was increased to 38 %, 45 %, 52 % and 70 % respectively. The highest solid content of red mud was obtained with applying filter press technique while existing one is between 25-30 % (w/w).

Keywords: Bayer processes, bauxite, red mud, filter press, dewatering

TEŞEKKÜR

Tez çalışmalarım süresince ilgili projelerde bulunmamı sağlayarak disiplinli bir araştırma ortamında tecrübe kazanmamı sağlayan ve bu süreç boyunca desteğini esirgemeyen danışman hocam SayınYrd. Doç Dr. Havvanur UÇBEYİAY'a teşekkür ederim. Çalışmalarım boyunca motive edici ve yol gösterici desteği ile verdiği güven her zaman yanımda olmuştur.

Yüksek lisansa başlamamda bana büyük desteği olan ve çalışanı olmaktan büyük onur duyduğum ETİ ALÜMİNYUM A.Ş Yönetim Kurulu Üyesi Sayın Şaban CENGİZ'e Genel Müdürümüz Sayın Mehmet ARKAN'a, Alümina Müdürümüz Sayın Osman Zeki ÖZYILDIRIM'a ve Alümina Müdür Yardımcımız Sayın Gökhan Kürşat DEMİR'e teşekkürü bir borç bilirim.

Susuzlandırma testlerinde bana yardımcı olan Ant Group, Labris, Westech, Fesa Filtre, Outotec, FLSmidth, Haus, Andritz, Diemme ve Erkom firmalarına desteklerinden dolayı teşekkür ederim.

Çalışmalarına başladığım dönemlerde laboratuvar ortamında sağladığı katkılardan ve arkadaşlığından dolayı Meral BAYGÜL'e, iş yerinde beraber çalıştığım Burak ÖZEN, Seyit AVCU, Bekir ÇELİKEL, Ömür AVCI'ya ve tüm mesai arkadaşlarıma da sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Son olarak bu süreç içerisinde beni sonsuz sabır ve anlayış ile destekleyen, yüksek lisans eğitimimin boyunca karşılaştığım zorlukları aşmamı sağlayan, aldığım her kararda arkamda duran sevgili eşim Hatice ARSLAN'a kızlarım Elif Su ve Sedef Sena'ya çok teşekkür ederim.

Sedat ARSLAN
KONYA-2016

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	ix
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xiii
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI	4
2.1 Boksit ve Mineralleri	4
2.2. Alüminyum Hidroksit	7
2.3. Alümina	8
2.4. Alüminyum	9
2.5. Dünya Alüminyum Talebi	11
2.6. Boksitte Bulunan Safsızlıklar	13
2.6.1. Silisyum	14
2.6.2. Demir	15
2.6.3. Titan	15
2.6.4. Kalsiyum	16
2.6.5. Diğer safsızlıklar	16
2.7. Boksit Kaynakları	16
2.7.1. Dünya boksit kaynakları	16
2.7.2. Türkiye boksit kaynakları	18
2.8. Boksitten Alümina (Al ₂ O ₃) Üretim Metodları ve Prosesin Ana Üniteleri.....	21
2.9. Otoklavlar ve Kırmızı Çamur Bölümü	23
3. KIRMIZI ÇAMUR VE OLUŞUMU	27
3.1. Kırmızı Çamurun Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri	27
3.2. Boksit Artığının Hacmi ve Baraj Doluluk Oranı	28
3.3. Kırmızı Çamurun Çevreye Etkileri	33
3.4. Kırmızı Çamurun Değerlendirilmesi	35
3.4.1. Kırmızı çamurun inşaat sektöründe kullanılması	36
3.4.2. Kırmızı çamurun yol inşaatında ve hafif yapı malzemelerinde kullanılması	37
3.4.3. Kırmızı çamurun seramik üretiminde kullanılması	38
3.4.4. Kırmızı çamurun kimya sektöründe kullanılması.....	39
4. KIRMIZI ÇAMURUNUN SUSUZLANDIRILMASI	40
4.1. Eti Alüminyum A.Ş.' de Uygulanan Mevcut Yöntem.....	40

4.2. Alternatif Kırmızı Çamur Susuzlandırma Teknikleri	42
4.2.1. Derin tikiner (Deep cone thickener)	42
4.2.2. Vakumlu tambur filtreler (Drum filter)	43
4.2.3. Dekantör santrifüj	44
4.2.4. Pres filtreler (Filter press)	46
5. MATERYAL VE YÖNTEM.....	47
5.1. Materyal	47
5.1.1. ETİ Alüminyum kırmızı çamurunun kimyasal ve minerolojik bileşimi.....	47
5.1.2. Kırmızı çamurun fiziksel özellikleri	51
5.2. Yöntem.....	53
6. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA.....	55
6.1. Derin Tikiner (Deepcone) Yöntemi Çalışmaları	55
6.1.1. Sedimentasyon testi	55
6.1.2. Akma gerilmesi (yield stress) testleri	57
6.1.2.1. Slump (çökme) testi ile akma gerilmesi hesaplama.....	59
6.1.2.2. Viskozimetre ile akma gerilmesi hesaplama	63
6.2. Vakumlu Tambur Filtre Yöntemi ile Susuzlandırma Çalışmaları	67
6.2.1. Sadece koagülant kullanılarak yapılan vakum filtrasyon deneyleri	68
6.2.2. Koagülant ve flokülantın birlikte kullanıldığı deneyler.....	71
6.3. Dekantör Santrifüj Yöntemi ile Susuzlandırma Çalışmaları	77
6.4. Pres Filtre Yöntemi ile Kırmızı Çamur Susuzlandırma Çalışmaları	82
6.4.1. Birinci aşama pres filtre deneyleri	82
6.4.2. Birinci aşama pres filtre testlerinden elde edilen bulgular	85
6.4.2.1. Altıncı yıkayıcı tikineri çamuru ile yapılan pres filtre deneyleri.....	85
6.4.2.2. İkinci yıkayıcı tikineri çamuru ile yapılan pres filtre deneyleri.....	95
6.4.2.3. Birinci yıkayıcı tikineri çamuru ile yapılan pres filtre deneyleri.....	97
6.4.2.4. Çöktürücü tikineri çamuru ile yapılan pres filtre deneyleri.....	99
6.4.3. İkinci aşama pres filtre deneylerinin yapılışı	104
6.4.4. İkinci aşama pres filtre testlerinden elde edilen bulgular	106
6.4.4.1. Altıncı yıkayıcı tikineri alt akım çamuru ile pres filtre deneyleri.....	107
6.4.4.2. İkinci yıkayıcı tikineri alt akım çamuru ile pres filtre deneyleri	109
6.4.4.3. Birinci yıkayıcı tikineri alt akım çamuru ile pres filtre deneyleri.....	111
6.4.4.4. Çöktürücü tikineri çamuru ile ikinci aşama pres filtre deneyleri.....	113
6.4.5. Birinci ve ikinci aşama pres filtre testlerinin performanslarının karşılaştırılması.....	120
6.5. Alternatif Susuzlandırma Tekniklerinin Maliyet Analizi	123
7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	125
7.1. Sonuçlar	125
7.2. Öneriler	127
KAYNAKLAR	129
ÖZGEÇMİŞ	133

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. Alüminyum hidroksitin sınıflandırılması	7
Şekil 2.2. Gibsit aglomere tanesinin SEM görüntüsü	8
Şekil 2.3. Bölgelere göre dünya alümina üretimi	9
Şekil 2.4. Alüminyum değer zinciri	11
Şekil 2.5. Bölgelere göre dünya birincil alüminyum üretimi	11
Şekil 2.6. Dünyaki en büyük birincil alüminyum üreticileri	12
Şekil 2.7. 2020 yılı boksit, alümina ve birincil alüminyum talebi beklentileri	13
Şekil 2.8. Boksit rezervlerinin olası talebi karşılama simülasyonu	13
Şekil 2.9. Bölgelere göre dünya boksit üretimi	17
Şekil 2.10. Dünya boksit yatakları	18
Şekil 2.11. Türkiye genelindeki boksit yatakları ve işletilmekte olanlar	20
Şekil 2.12. Bayer Prosesi genel akım şeması	22
Şekil 2.13. Bayer Prosesi Döngüsü	22
Şekil 2.14. Otoklavlar ve kırmızı çamur bölümü akım şeması	25
Şekil 3.1. Seydişehir Eti Alüminyum Tesisleri	29
Şekil 3.2. Kırmızı çamur barajı	30
Şekil 3.3. 1973'ten bugüne kullanılan boksit ve atılan kırmızı çamur miktarları	32
Şekil 3.4. Kırmızı çamur barajı	32
Şekil 3.5. Ajka alümina fabrikasında yaşanan kırmızı çamur sızıntısı.....	34
Şekil 3.6. Kırmızı çamurdan pik demir üretimi.....	36
Şekil 3.7. Kırmızı çamurun inşaat sektöründe kullanılması.....	37
Şekil 3.8. Kırmızı çamurun yol yapımında kullanılması.....	37
Şekil 3.9. Kırmızı çamur tuğlaları ile yapılmış bir ev	38
Şekil 3.9. Kırmızı çamurun tuğla ve kiremit yapımında kullanılması.....	38
Şekil 3.11. Kırmızı çamurdan cam-seramik üretimi	39
Şekil 3.12. İnorganik polimerlerde uygulanması	39
Şekil 4.1. Eti Alüminyum A.Ş. kırmızı çamur yıkama devresi	40
Şekil 4.2. Tesiste kullanılan yıkayıcı tikineri	41
Şekil 4.3. Katı / sıvı ayırımının basınçla ilgisi	42
Şekil 4.4. Derin tikiner	43
Şekil 4.5. Derin tikiner görüntüleri	43
Şekil 4.6. Tamburlu filtre	44
Şekil 4.7. Vakumlu tamburlu filtre görüntüleri	44
Şekil 4.8. Dekantör santrifüj	45
Şekil 4.9. Dekantör santrifüj görüntüleri	45
Şekil 4.10. Pres filtre	46
Şekil 4.11. Pres filtre çalışma prensibi	46
Şekil 5.1. Kırmızı çamur numunesinin XRD analizi grafiği	49
Şekil 5.2. Kırmızı çamurun SEM analizi.....	50
Şekil 5.3. Noktasal elementel analiz (EDX).....	50
Şekil 5.4. Kırmızı çamurun tane boyut dağılımı	52
Şekil 6.1. Kırmızı çamurun zamana bağlı çökme eğrisi	57
Şekil 6.2. Deneyde kullanılan kırmızı çamur numuneleri	58
Şekil 6.3. Karıştırıcı mekanizmalı deney düzeneği	58
Şekil 6.4. Deney esnasından bir görüntü	58
Şekil 6.5. Slump testi	60
Şekil 6.6. Laboratuvarında yapılan kırmızı çamur slump testi görüntüsü.....	60

Şekil 6.7. Laboratuvarda yapılan slump testlerinden elde edilen akma gerilmesi değerleri	62
Şekil 6.8. Laboratuvarda yapılan slump test çalışmaları	63
Şekil 6.9. Haake VT550 vizkozimetre ile yapılan akma gerilmesi deneyi.....	64
Şekil 6.10. Viskozimetre ile yapılan testlerden elde edilen akma gerilmesi değerleri ...	64
Şekil 6.11. Viskozimetre ve slump yöntemi ile yapılan akma gerilmesi testlerinin karşılaştırılması.....	65
Şekil 6.12. İri ve ince boyutlu kırmızı çamurun katı oranına bağlı olarak akma gerilmesinin değişimi.....	66
Şekil 6.13. Vakum filtrasyon deney düzeneği	67
Şekil 6.14. Koagülant ilaveli çamurun vakum testi ile susuzlandırılması sonucu elde edilen % katı miktarları.....	70
Şekil 6.15. Değişik filtrasyon şartlarına göre filtre kapasiteleri	70
Şekil 6.16. Elde edilen keklerde kalan kostik miktarları	71
Şekil 6.17. Flokülant ve koagülantlı çamurun vakum testi ile elde edilen % katı miktarları.....	73
Şekil 6.18. Değişik filtrasyon şartlarına göre filtre kapasiteleri	73
Şekil 6.19. Elde edilen keklerde kalan kostik miktarı sonuçları	74
Şekil 6.20. Vakumlu tambur filtrenin zonları	75
Şekil 6.21. Dizayn edilen tambur filtrenin zonları ve açılı	76
Şekil 6.22. Soldan sağa; kırmızı çamur pulpu, 1 saat bekletilmiş, 24 saat bekletilmiş numune.....	78
Şekil 6.23. Anyonik flokülant eklenmiş numunenin santrifüj sonrası sentrat ve kek görüntüsü	78
Şekil 6.24. Flokülantsız numunenin santrifüj sonrası sentrat ve kek görüntüsü	79
Şekil 6.25. Mobil dekantör santrifüj ünitesi ve 6. yıkayıcı altındaki kurulumu	79
Şekil 6.26. Elde edilen keklerin % katı miktarları.....	81
Şekil 6.27. Dekantör çıkışı katı kırmızı çamur	82
Şekil 6.28. Laboratuar ölçekli pres filtre	83
Şekil 6.29. Filtrasyon esnasında farklı zamanlarda alınan filtrat numuneleri.	83
Şekil 6.30. Elde edilen kırmızı çamur kek görüntüleri.....	83
Şekil 6.31. Kırmızı çamur yıkama devresinde montajı yapılan pilot ölçekli pres filtre. 84	
Şekil 6.32. 6. yıkayıcı alt akım çamurunun farklı kombinasyonlara göre filtrasyon hızları	93
Şekil 6.33. 6. yıkayıcı alt akım çamurunun farklı kombinasyonlara göre filtrasyon çevrim süreleri	94
Şekil 6.34. 6. yıkayıcı alt akım çamurunun farklı kombinasyonlara göre preslenmesi sonucu elde edilen kek nemleri.....	94
Şekil 6.35. Farklı alt akım çamurlarının pres filtre testlerindeki filtrasyon hızları	101
Şekil 6.36. Farklı alt akım çamurlarının pres filtre testlerindeki çamur yıkama suyu miktarları.....	101
Şekil 6.37. Farklı alt akım çamurlarının pres filtre testlerindeki filtrasyon çevrim süreleri	102
Şekil 6.38. Preslenen farklı alt akım çamurlarının nem değerleri	102
Şekil 6.39. Tikinere göre yıkanabilir kostik miktarları	103
Şekil 6.40. 16 bar'lık düz ve membran plakalı ikinci aşama pilot pres filtre.....	104
Şekil 6.41. Pilot pres filtrenin besleme tankı ve diyafram pompası	105
Şekil 6.42. Polypropilen filtre bezi ve kullanılan plakalar	106
Şekil 6.43. Farklı alt akım çamurlarının filtrasyon hızları	115
Şekil 6.44. Tikiner altı çamur yıkama suyu miktarları	116

Şekil 6.45. Tikinerlere göre filtrasyon çevrim süreleri.....	116
Şekil 6.46. Preslenen çamurların nem değerleri	117
Şekil 6.47. Tikinerlere göre yıkanabilir kostik yüzdeleri	117
Şekil 6.48. Test esnasında elde edilen kek görüntüleri.....	118
Şekil 6.49. Elde edilen keklerden genel bir görüntü.....	118
Şekil 6.50. Birinci ve ikinci aşama pres filtre testlerinden elde edilen filtrasyon hızlarının karşılaştırılması.....	120
Şekil 6.51. Birinci ve ikinci aşama pres filtre testlerinden elde edilen kek yıkama suyu miktarlarının karşılaştırılması	121
Şekil 6.52. Birinci ve ikinci aşama pres filtre testlerinden elde edilen filtrasyon çevrim sürelerinin karşılaştırılması.....	121
Şekil 6.53. Birinci ve ikinci aşama pres filtre testlerinden elde edilen kek nemlerinin karşılaştırılması	122
Şekil 6.54. Birinci ve ikinci aşama pres filtre testlerinden elde edilen kekte kalan yıkanabilir kostik değerlerinin karşılaştırılması	122



ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1. Boksitin kimyasal bileşimi	4
Çizelge 2.2. Boksit içerisinde bulunan başlıca mineraller.....	5
Çizelge 2.3. Boksitin silis modülü (% Al ₂ O ₃ / % SiO ₂) ile % Fe ₂ O ₃ tenörüne göre sınıflandırılması	5
Çizelge 2.4. Boksit çeşitleri ve özellikleri	6
Çizelge 2.5. Yüksek saflıkta ve kalsine alümina ekonomik karşılaştırması	9
Çizelge 2.6. Boksitin %Al ₂ O ₃ ve % SiO ₂ oranlarına göre sınıflandırılması	14
Çizelge 2.7. Demir içeriği bakımından boksitlerin sınıflandırılması	15
Çizelge 2.8. 2010 yılı boksit rezervleri açısından en zengin ülkeler	17
Çizelge 2.9. Türkiye boksitleri genel rezervleri	19
Çizelge 2.10. Seydişehir- Akseki boksitleri genel rezervleri	20
Çizelge 3.1. Dünya'daki farklı bölgelere ait kırmızı çamur bileşimi	28
Çizelge 3.2. Yıllara göre boksit ve kırmızı çamur miktarları ile kimyasal analizleri.....	31
Çizelge 5.1. Kırmızı çamurun XRF analizi	47
Çizelge 5.2. Kırmızı çamurun XRD analizi	48
Çizelge 5.3. Kırmızı çamurun fiziksel analizleri	51
Çizelge 6.1. Sedimentasyon testinde kullanılan kırmızı çamur numunesinin özellikleri	56
Çizelge 6.2. Sedimentasyon testi sonuçları	56
Çizelge 6.3. Sedimentasyon testinden elde edilen sonuçlar	56
Çizelge 6.4. Akma gerilmesi hesaplamaları	61
Çizelge 6.5. Deneysel olarak kullanılan kırmızı çamurun tane boyut dağılımı	65
Çizelge 6.6. Deneysel olarak kullanılan 6. yıkayıcı çamurunun analiz sonuçları	68
Çizelge 6.7. Farklı şartlar altında gerçekleştirilen vakum filtre deney sonuçları	69
Çizelge 6.8. Deneysel olarak kullanılan 6. yıkayıcı çamurunun analiz sonuçları	72
Çizelge 6.9. Flokülant ve koagülant eklenerek yapılan testlerin sonuçları	72
Çizelge 6.10. Hesaplanan tambur zonlarının açıları	75
Çizelge 6.11. Deneyde kullanılan kırmızı çamur pulunun özellikleri	78
Çizelge 6.12. Flokülantlı ve flokülantsız sentrat ve kekin özellikleri	79
Çizelge 6.13. Mobil dekantörün özellikleri	80
Çizelge 6.14. 6. yıkayıcı tikineri alt akım kırmızı çamurunun fiziksel ve kimyasal özellikleri	80
Çizelge 6.15. Kırmızı çamurun susuzlandırılması esnasında uygulanan deneysel şartlar ve elde edilen sonuçlar	81
Çizelge 6.16. Testlerde kullanılan kırmızı çamurun özellikleri	85
Çizelge 6.17. Farklı şartlar altında 6. yıkayıcı alt akım çamurunun normal presleme ile yapılan test sonuçları	86
Çizelge 6.18. 6. yıkayıcı alt akım çamuru normal presleme test sonuçlarının değerlendirme özet tablosu	86
Çizelge 6.19. Farklı şartlar altında 6. Yıkayıcı alt akım çamurunun membranlı presleme ile yapılan test sonuçları	88
Çizelge 6.20. 6. yıkayıcı alt akım çamurunun membranlı presleme sonuçları değerlendirme özet tablosu	88
Çizelge 6.21. Farklı şartlar altında 6. Yıkayıcı alt akım çamurunun membranlı ve kek kurutmalı presleme ile yapılan test sonuçları	90

Çizelge 6.22. 6. Yıkayıcı membranlı ve kek kurutmalı presleme test sonuçları değerlendirme özet tablosu	90
Çizelge 6.23. Farklı şartlar altında 6. yıkayıcı alt akım çamurunun membranlı ve kek yıkamalı presleme test sonuçları	92
Çizelge 6.24. 6. yıkayıcı membranlı ve kek yıkamalı presleme test sonuçları değerlendirme özet tablosu	92
Çizelge 6.25. Farklı şartlar altında 2. yıkayıcı tikineri alt akım çamuruna yapılan membranlı ve kek yıkamalı presleme test sonuçları	96
Çizelge 6.26. 2. yıkayıcı alt akım çamurunun membranlı ve kek yıkamalı presleme test sonuçları değerlendirme özet tablosu	96
Çizelge 6.27. Farklı şartlar altında 1. yıkayıcı tikineri alt akım çamuruna yapılan membranlı ve kek yıkamalı presleme test sonuçları	98
Çizelge 6.28. 1. yıkayıcı alt akım çamurunun membranlı ve kek yıkamalı presleme test sonuçları değerlendirme özet tablosu	98
Çizelge 6.29. Farklı şartlar altında Çöktürücü tikineri alt akım çamuruna yapılan membranlı ve kek yıkamalı presleme test sonuçları	100
Çizelge 6.30. Çöktürücü tikineri alt akım çamurunun membranlı ve kek yıkamalı presleme test sonuçları değerlendirme özet tablosu	100
Çizelge 6.31. Testlerde kullanılan kırmızı çamurun özellikleri	106
Çizelge 6.32. Farklı şartlar altında 6. Yıkayıcı tikineri alt akım çamuruna yapılan pres filtre test sonuçları	108
Çizelge 6.33. 6. Yıkayıcı alt akım çamurunun pres filtre test sonuçları değerlendirme özet tablosu	109
Çizelge 6.34. Farklı şartlar altında 2. yıkayıcı tikineri alt akım çamuruna yapılan pres filtre test sonuçları	110
Çizelge 6.35. 2. Yıkayıcı alt akım çamurunun pres filtre test sonuçları değerlendirme özet tablosu	111
Çizelge 6.36. Farklı şartlar altında 1. yıkayıcı tikineri alt akım çamuruna yapılan pres filtre test sonuçları	112
Çizelge 6.37. 1. yıkayıcı alt akım çamurunun pres filtre test sonuçları değerlendirme özet tablosu	113
Çizelge 6.38. Farklı şartlar altında Çöktürücü tikineri alt akım çamuruna yapılan pres filtre test sonuçları	114
Çizelge 6.39. Çöktürücü tikineri alt akım çamuru pres filtre test sonuçları değerlendirme özet tablosu	114
Çizelge 6.40. Susuzlandırma alternatiflerinin maliyet analizi ve barajın doluluğuna etkisi	124

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

Al_2O_3	: Alüminyum oksit
atm	: Atmosfer basıncı
bar	: Basınç birimi
°C	: Santigrat derece
cal	: Kalori
cm	: Santimetre
dak	: Dakika
g	: Gram
h	: Saat
K	: Kelvin
kg	: Kilogram
kJ	: Kilojoule
l	: Litre
m	: Metre
ml	: Mililitre
mm	: Milimetre
MSi	: Silis modülü
Mohs	: Sertlik birimi
μm	: Mikrometre
MT	: Metrik ton
N	: Newton
Na_2O	: Sodyum oksit
NaOH	: Sodyum hidroksit
MPa	: Megapaskal
Mm	: Mikrometre
Pa	: Paskal
s	: Saniye
t	: Zaman
%	: Yüzde

Kısaltmalar

ark.	: arkadaşları
Ar-Ge	: Araştırma Geliştirme
A.Ş	: Anonim şirketi
DPT	: Devlet Planlama Teşkilatı
EDX	: Enerji Dağılımlı X-Işını Spektroskopisi
FOB	: Free on Board
G	: Güney
GD	: Güney Doğu
GDP	: Gress Domestic Product
K	: Kuzey
MTA	: Maden Tetkik Arama Enstitüsü
NTU	: Nephelometric Turbidity Unit
PLC	: Programmable Logic Controller
SCADA	: Supervisory Control And Data Acquisition
SEM	: Taramalı Elektron Mikroskobu
TCA	: Trikalsiyum alüminat
TMMOB	: Türk Mühendis ve Mimar Odaları Birliği
UN	: United Nations
USA	: Amerika Birleşik Devletleri
USD	: Amerikan Doları
USGS	: United States Geological Survey
vb	: ve benzeri
XRD	: X-ray difraktometresi
XRF	: X- ray fluorescence
WAO	: World Aluminium Organization

1. GİRİŞ

Dünyada alüminyum kullanım alanlarının gittikçe artması, dolaylı olarak alüminaya olan ihtiyacı da arttırmıştır. Dünya üzerinde çeşitli endüstriyel ürünler elde edilirken üretim amacının dışında yan ürün olarak birçok atık malzeme açığa çıkmaktadır. Bu malzemelerin bir kısmı tekrar geri kazanılabilmekte, önemli bir kısmı ise çeşitli şekillerde bulunduğu ortamdan uzaklaştırılmaktadır. Yan ürün veya atık olarak elde edilen ve büyük miktarlara ulaşan bu malzemeler içerdikleri zararlı maddelerden dolayı önemli ölçüde çevresel problemlere sebep olmakta, gerek insan sağlığını gerekse doğanın ekolojik dengesini olumsuz yönde etkilemektedir.

Dünya ticari alümina ihtiyacının büyük bir kısmı hammaddesinde boksitin kullanıldığı Bayer prosesi ile karşılanmaktadır. Bu proses, boksit cevherinde bulunan alüminanın (Al_2O_3) kuvvetli kostik çözeltisi (Na_2O) içerisinde farklı sıcaklık ve basınç altında sodyum alüminat $NaAl(OH)_4$ oluşturarak çözündürülmesi temeline dayanır. Kırmızı çamur, bayer prosesi sonucunda sodyum alüminat çözeltisinden ayrılan ve çözünemeyen sodyum alüminyum silikatları, demir, kalsiyum, sodyum ve titan oksitleri içeren bir artık maddedir.

Yerküre üzerindeki boksit yataklarının toplam rezervi yaklaşık olarak 55,5 milyar ton civarındadır. Üretilen 1 ton alümina veya 0.5 ton alüminyum metaline karşılık yaklaşık olarak 1 ton kırmızı çamur atığı ortaya çıkmaktadır (Evans, 2015). Bu değerlere göre ise yılda 120 milyon tonun üzerinde kırmızı çamur proses atığı oluşur. Çıkan bu atığın da max. %3' ü geri kullanımda değerlendirilmektedir. Günümüze kadar işlenen boksit cevherlerinden atık olarak 3 milyar ton kırmızı çamur ortaya çıkmış olup büyük miktarı barajlarda stok halinde bekletilmektedir (Power ve ark., 2011). Çeşitli yöntemlerle stok halinde bekletilen bu kırmızı çamur atıklarının yeraltı sularına karışması ihtimali nedeniyle de çevresel problem riski oluşturmaktadır. Yeraltı sularına kostik karışmasını önlemek ya da kirlenmiş suları temizlemek hem çok zor hem de çok pahalı bir yöntemdir. Alümina üreten tesislerin bu doğrultuda iki seçeneği vardır. Bunlardan biri güvenilir bir alanda sıvı ya da katı olarak stoklamak, diğeri ise bir kısmını ya da tamamını kullanılabilir hale getirmeye çalışmaktır. Ayrıca kırmızı çamur atık miktarının yıllar içinde artması ve bu çamurun barajlara pompalanmasında kullanılan suyun geri kazanılamaması, baraj kapasitesinin hızla dolmasına sebep olur. Dolayısıyla atık barajlarının kapasiteleri de yetersiz kalır. Barajlardaki sıvı hacminin

kapladığı alan baraj ömrünü ciddi oranda azaltmaktadır. Böylece çok yüksek maliyeti olan baraj yapma işi üreticilere ek maliyet getirmektedir.

Atık barajındaki kırmızı çamur, boksitten alüminyum üreten endüstrilerin oluşturduğu bir yan üründür. Demir oksitler nedeniyle genellikle kırmızı renkte olduğundan bu şekilde adlandırılmaktadır. Eti Alüminyum A.Ş' nin kırmızı çamur atığı bünyesinde katı fazda %20 Al₂O₃, %16 SiO₂, %36 Fe₂O₃, %10 Na₂O, %5 TiO₂ vb., sıvı fazda ise maksimum 3 g/L Na₂O ve Al₂O₃ bulunur. Üretim sürecine giren boksitin yaklaşık %45-48'i kırmızı çamur halinde atılmaktadır. Ortaya çıkan bu atığın ise sadece %1.6'sının çeşitli proseslerde ve sektörlerde geri dönüşüm imkânı vardır. Geriye kalan miktar ise depolanma alanlarında stoklanmaktadır. Bu atık, kostik (NaOH) ihtiva etmesinden dolayı pH değeri 12-14 civarında yüksek iyonik gücü bulunan oldukça yakıcı/alkalin bir kimyasaldır. Dolayısıyla çevreye ve canlılara zarar verebilme ihtimali yüksektir.

Bilim adamları ve araştırmacılar kırmızı çamurun çevresel ve zararlı etkilerini giderebilmek ve kullanılabilir hale getirebilmek için çok çeşitli çalışmalar yapmaktadırlar. Bugüne kadar yapılan çalışmalar neticesinde kırmızı çamurun yeniden kullanılmasına yönelik 1200 civarında patent ve yüzlerce teknik olarak başarılı denemeler ortaya çıkarılmıştır (Evans ve ark., 2012). Bu çalışmalar, kırmızı çamurun içerdiği bileşiklerden birini veya tamamını kazanma, kırmızı çamurun metalurji, inşaat ve kimya sektöründe kullanılabilirliğinin araştırılması, kırmızı çamurun susuzlandırılması ve çevreye olan etkilerinin azaltılması konularında olmuştur. Bu çalışmalar sonucunda, kırmızı çamurun ekonomik olarak kullanılabileceği en uygun sektörün inşaat sektörü olduğu belirlenmiştir. Kırmızı çamur, yer ve cephe kaplaması ve tuğla, kiremit üretiminde kullanılabileceği gibi, betonu renklendirici bir katkı olarak da kullanılabilir. Ayrıca ince bir malzeme olduğundan çimentonun bir bölümüyle yer değiştirebildiğinde boşlukları doldurma malzemesi olarak düşünülebilmektedir. Talep ve tüketim açısından bakıldığında, yıllık birikim miktarı oldukça fazla olan kırmızı çamur atığını pigment veya agrega olarak özellikle beton üretiminde değerlendirilmesinin hammadde ve maliyet açısından önemli miktarda tasarruf sağlayacağı öngörülebilmektedir. Böylece endüstriyel bir atığın değerlendirilmesi ile bu atığın çevreye verdiği / vereceği zararların önlenmesinin yanında, söz konusu atıkların taşınması, depolanması ve oluşacak verim kaybının önlenmesi gibi ekonomik getiriler de sağlanmış olacaktır (Kılıç, 2013).

Amaç:

ETİ Alüminyum A.Ş. tesisinde kırmızı çamur, ters akım prensibi ile çalışan 6 kademeli tikiner sistemi ile yıkama işlemine tabi tutulduktan sonra baraja gönderilmektedir. Son yıkayıcıdan alınan çamur ortalama olarak %25-30 katılık ihtiva etmektedir. Bu oran günümüz şartlarında çok düşük kalmaktadır. Mevcut konvansiyonel tipteki tikinerler ile elde edilecek rakamlar bu civardadır. Atılan çamurdaki katı miktarı yüzdesinin düşük olması baraj doluluk oranının hızla yükselmesine ayrıca sıvı fazdaki kostik ve alümina kayıplarının artmasına neden olmaktadır. Sıvı fazdaki bu kayıplar ekonomik açıdan da tesisi olumsuz yönde etkilemektedir.

Günümüzdeki bilimsel çalışmalar dikkate alındığında üniversitelerle beraber endüstri kuruluşları da kırmızı çamurun sektörel bazda kullanılması ve geri kazanımı çalışmalarına önem vermektedir. Bu çamurun susuzlandırılıp katı halde stoklanması daha sonraki kullanım aşamalarına büyük kolaylık sağlayacaktır. Diğer taraftan yapılacak olan bu çalışma ile kostik kaybının önlenmesi ve daha az su kullanılarak doğal kaynak tüketiminin azaltılması açısından önemli sonuçlar ve kazanımlar elde edileceği düşünülmektedir.

Kırmızı çamur ile ilgili daha çok değerlendirmeye yönelik çalışmalar yapılmış, susuzlandırma konusunda özellikle de endüstriyel boyutta bir çalışma yapılmamıştır. Tesisteki baraj doluluk oranı dikkate alındığında susuzlandırma da oldukça büyük önem taşımaktadır. Bu tez çalışması ile birlikte yapılacak deneysel ve pilot çaptaki testlerle Eti Alüminyum A.Ş. kırmızı çamurunun mevcut duruma göre susuzlandırma performansının artırılması ve böylelikle en iyi yöntemin belirlenip ülkemize ve tesise faydalı olunması hedeflenmektedir.

Bu tez çalışmasında mevcut kırmızı çamur susuzlandırma tesisi performansının artırılmasına çalışılmıştır. Eti Alüminyum A.Ş. bünyesinde yapılan deneysel ve pilot çaptaki çalışmalardan elde edilen sonuçlar verilmiştir. Mevcut konvansiyonel tipteki tikinerlere alternatif olacak; derin tikiner, döner tambur filtre, dekantör santrifüj ve pres filtre yöntemleri araştırılmış ve en uygun yöntemin tespiti için çalışmalar yapılmıştır.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

2.1 Boksit ve Mineralleri

Yeryüzünde en çok bulunan metal olan ve çok çeşitli minerallere sahip olan alüminyum, ekonomik açıdan daha çok boksit cevherlerinden yola çıkılarak elde edilmektedir. Boksit 1821 de, bir Fransız profesörü olan Pierre Berthler tarafından adını Fransa'nın Les Baux kasabasındaki maden yataklarından almaktadır (Sigmond ve ark., 1979). Boksit cevherlerinin ana bileşeni olan alüminyum hidratlar genel olarak $Al_2O_3 \cdot 2H_2O$ veya $Al_2O_3 \cdot nH_2O$ şeklinde gösterilmektedir. Aslında $Al_2O_3 \cdot 2H_2O$ molekül yapısında bir mineral yoktur. Boksit $Al_2O_3 \cdot H_2O$ ve $Al_2O_3 \cdot 3H_2O$ molekülüne sahip minerallerin her ikisini birden ifade ettiğinden dolayı bu şekilde gösterilir (Brady ve Claser, 1979).

Boksitin temel içeriğinde olan alüminyum oksitlerin yanında (gibsit, böhmite, diaspor), demir (hematit, götit, ilmenit), silisyum (kaolinit, kuvars) ve titanyum oksitler (anataz, rutil) de bulunur. Eser miktarda vanadyum, nikel, fosfat, çinko, mangan, krom, galyum, magnezyum, kalsiyum vs. gibi elementlerini de içerir (Sigmond ve ark., 1979).

Boksitler, %10-30 arasında Fe içeriğine sahip, demir oksit ve hidroksit mineralleri ile birlikte bulunurlar. Bu mineraller manyetit, hematit, limonit ve götitdir. Boksit, içerdiği demir oksitlerden dolayı renklidir. Hematit boksite kırmızı, limonit ise sarı rengini vermektedir. Boksit içerisindeki demir içeriği az ise, mineral açık-beyaz renklidir (Kılıç, 2013). Boksitlerin kimyasal bileşimi genellikle ana bileşenlerinin ağırlık yüzde aralığı olarak karakterize edilir ve Çizelge 2.1'de gösterilmiştir.

Çizelge 2.1. Boksitin kimyasal bileşimi

Al_2O_3	: % 38-65
SiO_2	: % 0.5-12
Fe_2O_3	: % 3-30
TiO_2	: % 0.5-8
H_2O	: % 10-34

Boksit içerisinde bulunan bir diğer mineral ise kildir (kaolen). Kil, boksit yataklarının ve özellikle silikat boksitlerinin tabanında bulunmaktadır. Boksit içerisinde bulunan başlıca mineraller Çizelge 2.2'de verilmiştir.

Çizelge 2.2. Boksit içerisinde bulunan başlıca mineraller

Element	Mineral	Formül
Al	Gibsit	$\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$
	Böhmit	$\gamma\text{-AlOOH}$
	Diaspor	$\beta\text{-Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$
Fe	Götüt	$\alpha\text{-FeOOH}$
	Hematit	$\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$
	Magnetit	Fe_3O_4
	İlmenit	$\text{FeO} \cdot \text{TiO}_2$
Si	Kaolinit	$\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$
	Kuvars	SiO_2
	Sillimanit	$\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$
	Halloysit	$\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5 (\text{OH})_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$
Ti	Anataz	TiO_2
	Rutil	TiO_2

Boksitin kalitesi birçok kritere göre tarif edilmiştir. Fakat en çok kullanılan silis modülü (% Al_2O_3 / % SiO_2) ile % Fe_2O_3 tenörüne göre sınıflandırılmadır ve Çizelge 2.3'te gösterilmiştir (Göral, 1999).

Çizelge 2.3. Boksitin silis modülü (% Al_2O_3 / % SiO_2) ile % Fe_2O_3 tenörüne göre sınıflandırılması

(% Al_2O_3 / % SiO_2) > 20	Yüksek alüminalı cevher
(% Al_2O_3 / % SiO_2) = 10-20	Alüminalı cevher
(% Al_2O_3 / % SiO_2) = 4-10	Silisli (endüstriyel) cevher
(% Al_2O_3 / % SiO_2) < 4	Yüksek silisli cevher
% Fe_2O_3 > 25	Yüksek demirli cevher
% Fe_2O_3 = 10-25	Demirli cevher
% Fe_2O_3 < 10	Düşük demirli cevher

Dünya alümina üretiminin % 95'ten fazlası Bayer prosesi ile üretilmesinden dolayı, boksit rezervlerini sınıflandırırken bu proses teknolojisinin özellikleri dikkate alınır. Bayer prosesi ile işlenecek boksitlerin değerlendirilmesinde kullanılan iki temel esas; çözünebilir alümina ile reaktif ve kostikte çözünebilir silis bileşenleridir. Önceleri % 5'ten fazla SiO_2 içeren cevherlerin işlenmesi ekonomik görülmemekteydi, ancak bugün için teknolojinin seviyesi ve teçhizat % 6.5–7 SiO_2 içerikli boksitlerin bile ekonomik olarak kullanılmasını mümkün kılmaktadır. Cevherde bulunması gereken alümina miktarının alt limiti diğer faktörlere bağlı olarak % 30 kabul edilebilmektedir. Modül, boksitin içerisindeki % Al_2O_3 değerinin % SiO_2 değerine oranıdır. Bu oranın 7'den büyük olması daha ekonomik olur. (Aksu, 2001).

Boksitlerin kimyasal bileşimi hiçbir zaman aynı olmayıp, oluştuğu mevkiye ve meydana geldiği kayaca göre değişir. Boksit cevheri üretimi, genellikle açık ocak işletmeciliği ile yapılır (Aksu, 2001).

Boksit cevherleri, renk olarak toprak beyazı gri renkten kırmızı – kahverengine kadar değişen renklerde bulunmaktadır. Ergime noktası 2093 K civarında olan boksitin sertliği 1 – 4 mohs, özgül ağırlığı 2.5 – 3.5 g/cm³ olarak verilmiştir (Aydoğanlı ve ark., 1982; Kocaefe, 1982). Boksitin proses sonucunda elde edilen Alümina ve hidratları ise beyaz renklidir. Ancak boksit cevherlerinin renkli ve renklerinin değişken olması diğer tali bileşenlerden ileri gelmektedir. Örneğin, demir oksitlerinin oranı yüksek olduğunda daha kırmızımsı–kahverengi boksit cevheri, az olduğunda ise daha beyaza yakın gri renkli boksit cevheri ile karşılaşmaktadır (Kocaefe, 1982).

Oluşum tarzlarına göre boksitler ise lateritik ve karstik olmak üzere ikiye ayrılmaktadır.

Lateritik (silikat) boksitler: Alüminyum bakımından zengin silikat kayaçlarının aşınması ve yıkanması sonucu oluşurlar. Bunun için yağışlı ve ılık, tropikal iklimler, geçirgenliği ve tektonik stabilitesi olan kayaçlar en uygun ortamlardır. Diğer elementlerin yüzey akıntılarıyla yıkanması alüminyumca zenginleşmeyi sağlar.

Karstik boksitler: Kireçtaşı ve dolomitlerin karstik boşluklarında oluşurlar. Alüminyumcu başka ortamlarda çözmüş olan asidik karakterli yüzey suları, kireçtaşları içinde nütürleşerek ortamın alüminyumca zenginleşmesine neden olurlar (DPT, 2001).

Boksit cevherleri ihtiva ettiği alümina mineralleri bakımından farklı sınıflandırılmaya tabi tutulmuştur. Bu açıdan boksit cevheri alümina (Al₂O₃), Gibsit (γ-Al₂O₃.3H₂O), Böhmit (γ-Al₂O₃.H₂O) ve Diaspor (γ-Al₂O₃.H₂O) alüminyum oksit hidrat minerallerini bulundurabilmektedir (Çizelge 2.4). Örneğin, gibsit minerali bulunduran boksit cevherleri gibsitik boksit cevherleri olarak anılmaktadır (Gülfen, 1996).

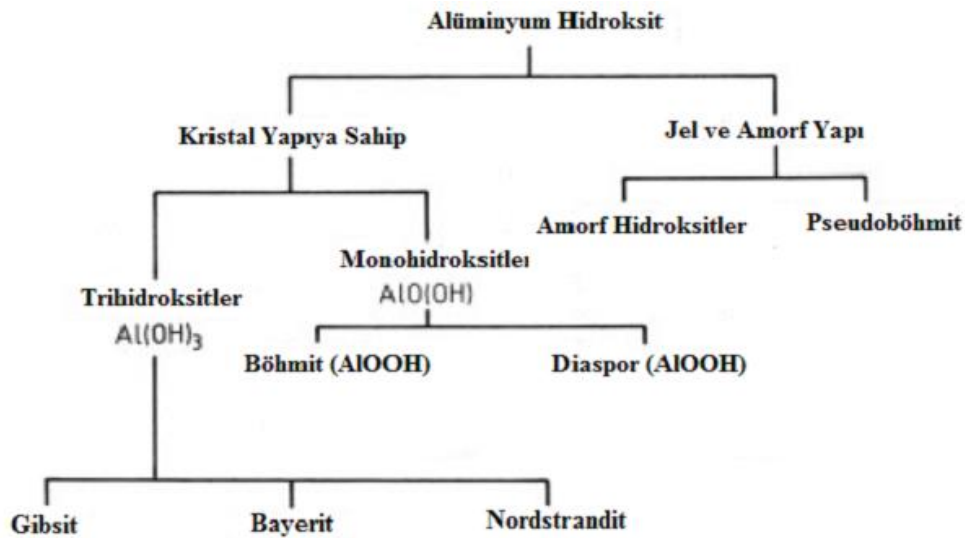
Çizelge 2.4. Boksit çeşitleri ve özellikleri

	Kimyasal Formül	Kristal Yapı	Özgül Ağırlık	Sertlik (Mosh)
Gibsit	Al ₂ O ₃ . 3H ₂ O	Monoklinik	2.3-2.4	2.5-3.5
Böhmit	AlO(OH)	Ortorombik	3.01-3.06	3.5-6.5
Diaspor	Al ₂ O ₃ . H ₂ O	Ortorombik	3.3-3.5	6.5-7

2.2. Alüminyum Hidroksit

Alüminyum hidroksit, alüminanın dehidrasyona (fiziksel ve kimyasal su kaybından önceki hali) uğramadan önceki hali olarak adlandırılır. Sahip oldukları hidroksit yapılarına göre sınıflandırılan alüminyum hidroksitlerden, belirli kristal yapıya sahip trihidroksitler ($\text{Al}(\text{OH})_3$), Gibsit, Bayerit ve Nordstrandit; monohidroksitler ise (AlOOH), Böhmit ve Diaspor olarak belirtilir. Belirli bir kristal yapıya sahip olmayan alüminyum hidroksit fazları da literatürde geçmektedir (Wefers ve Misra, 1987).

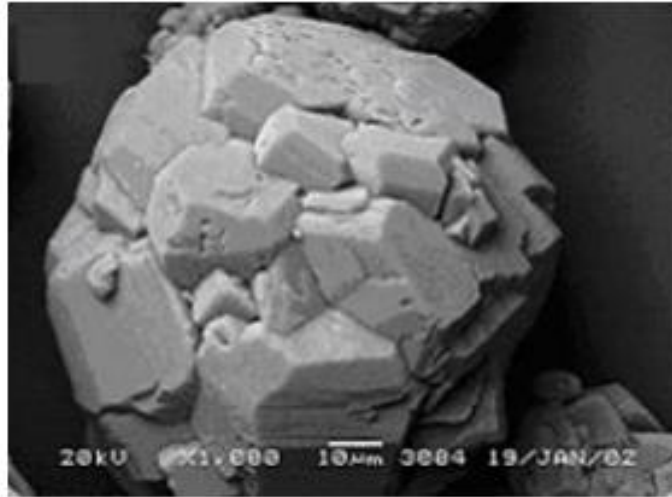
Doğada bol miktarda bulunan alüminyum hidroksit formları ise gibsit, böhmit ve diaspor yapılarıdır. Bayerit ise gibsit ile aynı yapıya sahiptir. Alüminyum hidroksitlerin sınıflandırılmış çeşitleri Şekil 2.1'de gösterilmiştir.



Şekil 2.1. Alüminyum hidroksitin sınıflandırılması (Wefers ve Misra, 1987)

Ülkemizde Bayer prosesi ile boksitten üretilen alüminyum hidroksit çeşiti gibsitdir. Gibsit, %65.4 alümina, %34.6 su molekülü içermektedir. Derişik asit ve baz ortamında çözdürülebilir. Fakat pH 4-9'da çözünme değeri sıfıra yakındır (Wefers ve Misra, 1987).

Bayer prosesi ile kristallendirilen gibsit partikülleri genelde tabular ve prizmatik kristaller olarak elde edilir. Prizma ve tabular yapıların aglomerasyonu sonucu oluşan gibsit tanesinin SEM (taramalı elektron mikroskobu) görüntüsü Şekil 2.2'de gösterilmektedir (Güldoğan, 2014).



Şekil 2.2. Gibsit aglomere tanesinin SEM görüntüsü (Gitzen, 2002)

2.3. Alümina

Alümina, doğada saf kristal olarak ta bulunur ve korund adını almaktadır. Sentetik olarak hazırlanan alümina kristalleri ise alüminyum oksit olarak adlandırılmakta, ancak her ikisi için de alümina ismi kullanılmaktadır (Gülfen, 1998). Saf alümina beyaz renklidir, fakat farklı renklerde ortaya çıkması eser miktarda dahi olsa içerdiği safsızlıklardan kaynaklanır. Kırmızı renkli doğal alümina halk arasında yakut, mavi renkli olanı ise safir olarak bilinir (Alp, 1990).

Kimyasal ve ısı kararlılığı, mekanik özellikleri, ısı ve elektriksel yalıtkanlığı ve bol miktarda üretim kolaylığı alüminayı mühendislik uygulamaları için önemli bir malzeme haline getirmiştir. Alümina hem asit hem de baz özelliği gösteren, asit veya bazlarla birleşebilen bir malzemedir ve γ , κ , χ , δ - Al_2O_3 gibi geçiş fazları ile α - Al_2O_3 kararlı fazı bulunmaktadır. Alümina, dünyanın en çok kullanılan oksit malzemeleri arasındadır. Boksit cevherinden Bayer prosesi ile üretilen alüminanın yaklaşık % 93'ü alüminyum metali eldesinde, geriye kalan kısmı ise özel alümina kimyasalları ve kalsine alümina üretiminde kullanılmaktadır (Hudson ve ark., 2000).

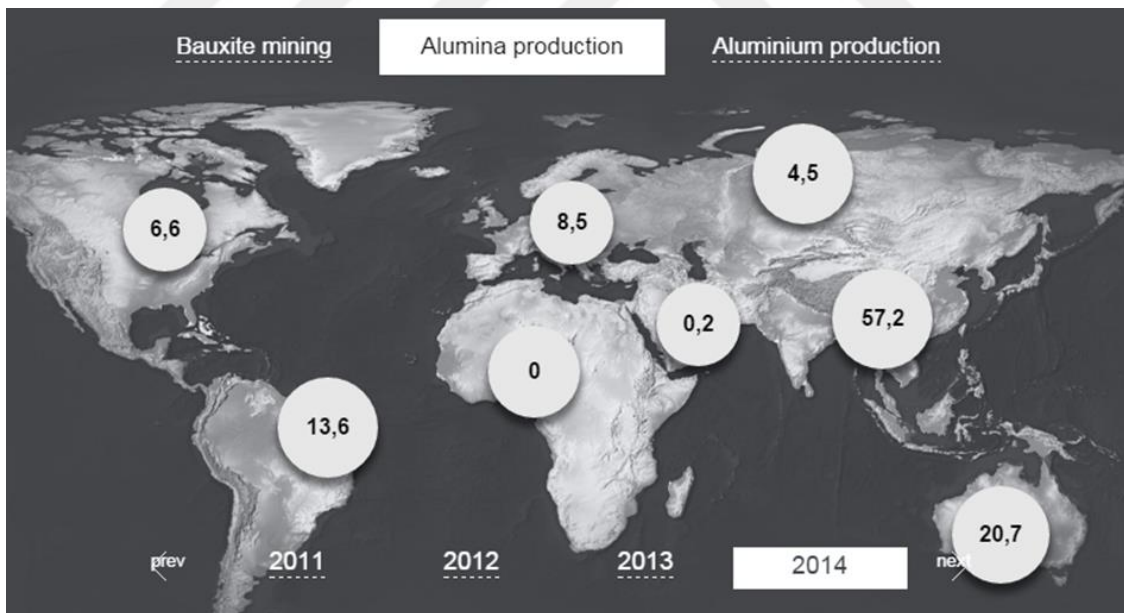
Alümina oranı yüksek boksit cevherlerinde ya da korund olarak isimlendirilen cevherlerde alüminyum oksit α - Al_2O_3 şeklinde gösterilmiş olup hegzagonal kristal yapısına sahiptir. Bu kristal yapısındaki α - Al_2O_3 tabiatta elmasan sonra en sert mineraldir. Sertliği 9 mohs olurken özgül ağırlığı $4.0 - 4.1 \text{ g/cm}^3$ arasındadır (Gülfen, 1998). Sentetik olarak elde edilen alümina, alüminyum metali eldesinde, seramik, refrakter ve pigment üretiminde, ayrıca katalizör ve kimyasal katkı maddeleri olarak

kullanılmaktadır (Taggart ve Behre, 1945; Gülfen, 1998). Yüksek saflıkta alümina ve normal alüminanın ekonomik değeri arasındaki fark Çizelge 2.5'te gösterilmektedir.

Çizelge 2.5. Yüksek saflıkta ve kalsine alümina ekonomik karşılaştırması (Cote ve Joanne, 2012)

Özellikler	Yüksek Saflıkta Alümina	Kalsine Alümina
Al ₂ O ₃ %	99.95-99.99	99.95>
ABD Dolar/ton	30000	1052

Dünya alümina üretimi 2014 yılı sonu itibarı ile 112 milyon ton civarındadır. Çin, alümina üretim miktarına göre 2014 yılında 57,2 milyon ton üretim kapasitesi ile en büyük üretici konumundadır. Çin'i 20,7 milyon ton ile Avustralya ve 20,2 milyon ton ile Kuzey ve Güney Amerika ülkeleri takip etmektedir. Bu üçlü toplam dünya alümina üretim kapasitesinin %88'isini oluşturmaktadır (Şekil 2.3), (AL, 2015). Alümina üretimi genellikle boksitin çıkarıldığı bölgede veya yakın bölgelerde gerçekleştirilmektedir. Bunun en önemli sebebi ise boksitin sadece %37'sinin alüminaya dönüştürülebilmesidir. Bu durum navlun (dış ticarete taşımacılık bedeli) maliyetini artırmaktadır (Demirci, 2011).



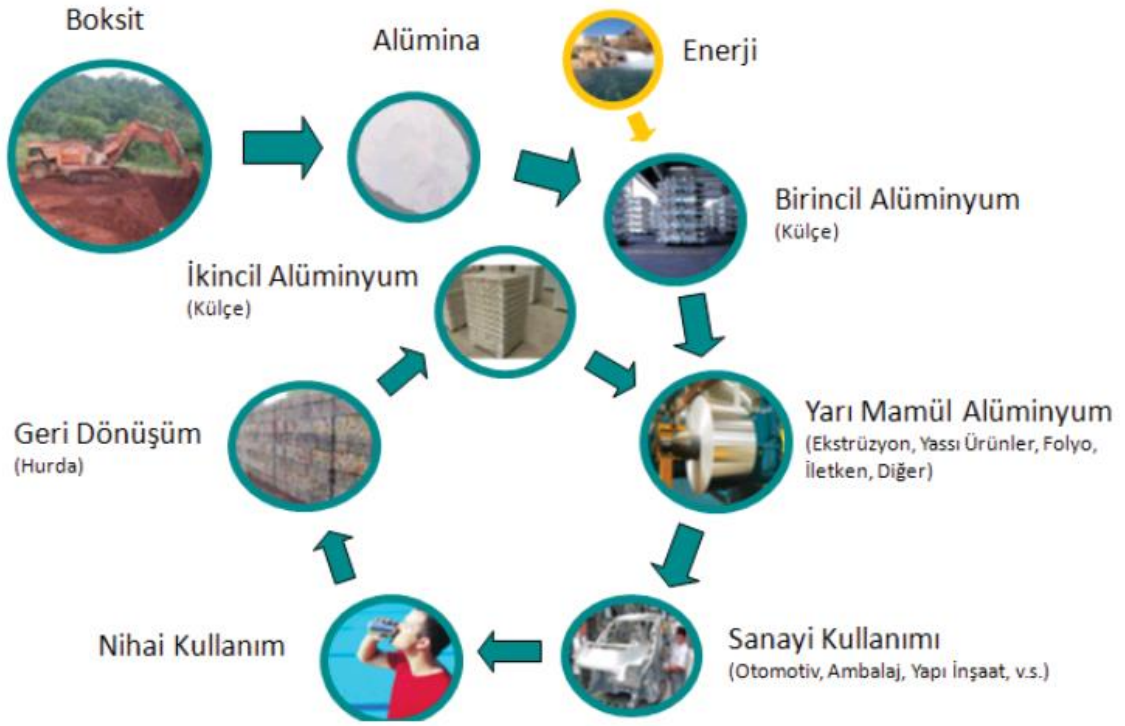
Şekil 2.3. Bölgelere göre dünya alümina üretimi (AL, 2015)

2.4. Alüminyum

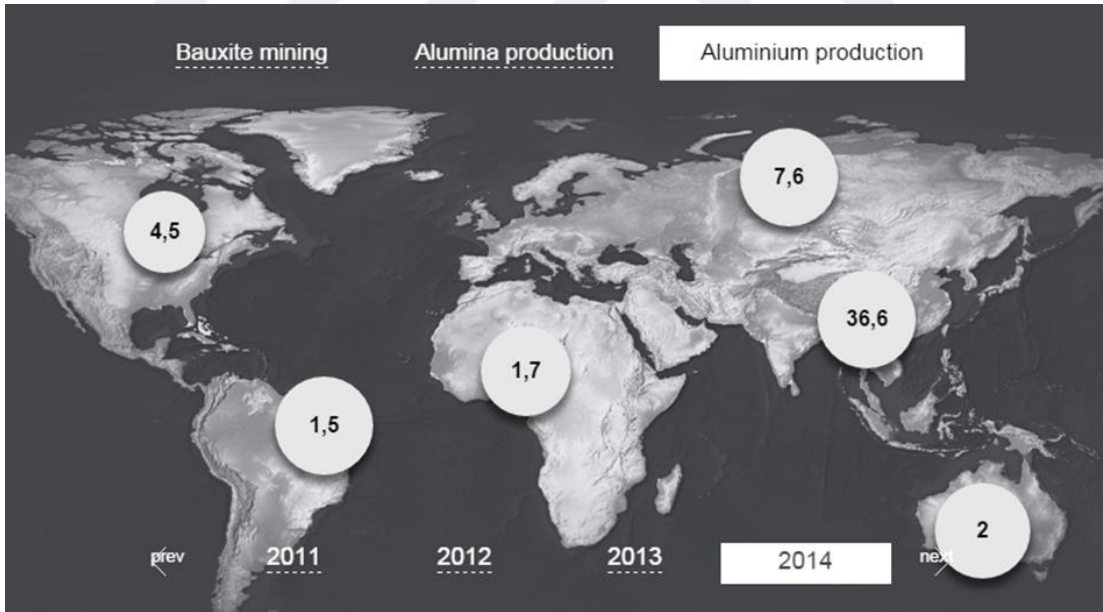
Alüminyum, periyodik cetvelin III A gurubunda bulunan ve atom numarası 13, atom ağırlığı 26.89 olan +3 değerlikli bir element olan alüminyumun 20 °C' taki yoğunluğu 2.7 gr/cm³, ergime noktası 659.8°C, kaynama noktası 2450 °C'dir (TMMOB, 2006).

Alüminyum, yer kabuğunda oksijen ve silisyumdan sonra en çok bulunan elementtir. Alüminyum % 8 oranıyla mineralleri halinde yer kabuğunda ağırlıkça en çok bulunan metaldir (Gülfen, 1998). Endüstride demirden sonra en yaygın kullanım alanına sahip olan alüminyum tabiiatta çok değişik mineraller halinde bulunmaktadır (Liddell, 1945). Yaklaşık olarak 120 yıldır ticari olarak üretimi yapılan alüminyum metalinin elektrik ve ısı iletkenliği, düşük yoğunluğu, ince levha haline getirilebilmesi, alaşımlarının özelliklerinin tercih edilmesi, korozyona dirençli olması nedeni ile kullanım alanı çok geniştir. Örneğin, elektrik iletkenliği bakırın %65'i kadardır. Alüminyum metalinin üretimi Al_2O_3 üretimine bağlı olmakta ve Al_2O_3 üretimi ise en ekonomik olarak boksit cevherlerinden yapılmaktadır (Akyıl ve Altıok, 1983). % 50-60 Al_2O_3 içeren cevherler işlenmektedir. Boksit cevherleri içerisinde bulunan diğer maddeler TiO_2 , Fe_2O_3 , SiO_2 ile düşük miktarlarda CaO , Cr_2O_3 , V_2O_5 , Mn_2O_3 , P_2O_5 , ZnO 'dir (Aksu, 2001).

Alüminyum element olarak 1807'lerde H. Davy tarafından bulunmuş ve alüminyum tuzlarının elektrolizi ile bir demir – alüminyum alaşımı elde edilmiştir. Günümüzdeki alüminyum üretim metodu 1886'larda P. Herault ve C. M. Hall tarafından 'Hall-Herault Yöntemi' ile ortaya konmuştur. Metodun esası kriyolit – alümina ($Na_3AlF_6 - Al_2O_3$) banyosunun elektrolizine dayanmaktadır. Karışımın erime noktasını düşürmek için alüminyum florür, kalsiyum florür gibi katkı maddeleri kullanılmıştır. Böylece alüminyum üretimi için temel hammadde olarak alümina önem kazanmıştır. 1892'lerde Karl. J. Bayer boksitin alkali ortamda yüksek sıcaklık ve basınç altında çözünürleştirilebilmesinin prensiplerini ortaya koymuştur. Bu yöntem halen Bayer prosesi olarak kullanılmaktadır (Aksu, 2001). 1990 yılında dünyada alüminyum üretimi 17.8 milyon ton, 2001 yılında 20.5 milyon ton, 2004 yılında 24 milyon ton ve 2014 yılsonu itibariyle 54 milyon ton olarak gerçekleşmiştir (WAO, 2015). Şekil 2.4' te alüminyum değer zinciri gösterilmektedir. Şekil 2.4'te görüldüğü gibi değer zincirinin üçüncü halkası birincil alüminyumdur. Çin tek başına dünya birincil alüminyum üretiminin % 41'ini gerçekleştirmektedir ve ayrıca 71 adet smelter (elektrolizhane) ile dünyanın en fazla birincil alüminyum üretim tesisine sahiptir (Şekil 2.5).



Şekil 2.4. Alüminyum değer zinciri (Demirci, 2011)

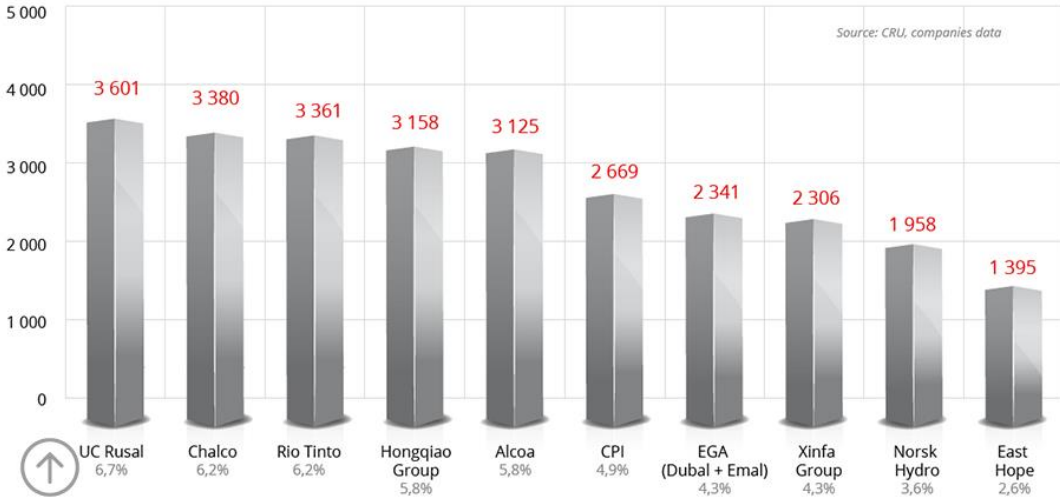


Şekil 2.5. Bölgelere göre dünya birincil alüminyum üretimi (AL, 2015)

2.5. Dünya Alüminyum Talebi

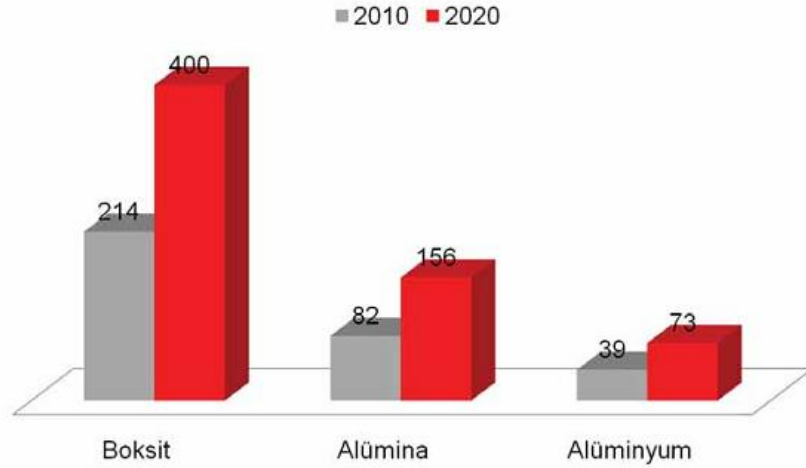
Alüminyum, günümüzde üstün özellikleri sayesinde dünyada en fazla kullanım alanı çeşitliğine sahip metal konumuna gelmiştir. Bu özel durum, alüminyum talebinin nüfus ve gelir artışı, şehirleşme, küresel ısınma olmak üzere üç temel faktörün etkisi altında şekillenmektedir. Dünya alüminyum ticaret hacmi 2010 yılı itibarı ile 292.7

milyar dolara ulaşmıştır. Bu büyük pastada Türkiye 4.4 milyar dolarlık ticaret hacmi ile %1.5'luk bir pay almıştır (Demirci, 2011). Türkiye'nin alüminyum üretim kapasitesi her yıl ortalama % 6.6 oranında artmaktadır. Bunun yanı sıra, yüksek enerji fiyatları ve kaynakların yetersizliği, hammadde ve üretim teknolojilerinin ithalata dayanıyor olması sektörün önündeki engeller olarak ön plana çıkmaktadır (WAO, 2015). Şekil 2.6'da dünyadaki talepleri karşılayan en büyük alüminyum üretici firmaları gösterilmektedir (AL, 2015).



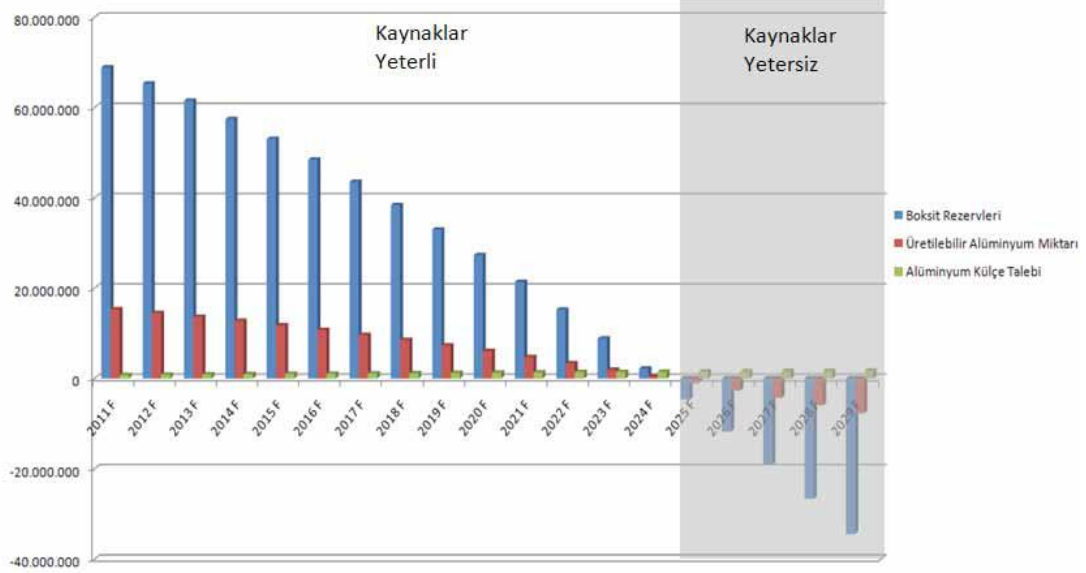
Şekil 2.6. Dünyaki en büyük birincil alüminyum üreticileri (AL, 2015)

Birleşmiş Milletler (UN) verilerine göre gelecek 10 yıl içerisinde dünya toplam nüfusunun 7.5 milyara çıkması beklenmektedir. Bu artıştan büyük payı, Asya, Afrika ve Güney Amerika ülkelerinin alacağı öngörülmektedir. Alüminyum talebi açısından gelecek 10 yıl içerisinde bu bölgelerde artış görülmesi beklenmektedir. Gayri safi milli hâsıla açısından bakıldığında (GDP, Gross Domestic Product) 42.000 doların üstünde yer alan Kuzey Amerika ve 27.000 doların üstünde yer alan Avrupa alım gücü açısından en zengin pazarlar olarak göze çarpmaktadır ve talep açısından lider konumlarını korumaları beklenmektedir. Şehirleşme açısından ise Asya'nın 2020 yılına kadar %43'den %49'a çıkarak en fazla şehirleşen bölge olması beklenmektedir. Onu sırası ile %5 artış ile Afrika ve %4 artış ile Orta Doğunun takip etmesi beklenmektedir. Tüm bu göstergeler gelecek 10 yıl içerisinde alüminyum talebinin tüm dünyada %100 oranında artacağına işaret etmektedir (Şekil 2.7) (WAO, 2015).



Şekil 2.7. 2020 yılı boksit, alümina ve birincil alüminyum talebi beklentileri (milyon ton) (Demirci, 2011)

Orta ve uzun vadede birincil alüminyum üretimine yönelik yatırımlar planlandığı takdirde Türkiye'nin boksit rezervlerinin talebi karşılama düzeyi de dikkate alınmalıdır. Türkiye'nin 2020 yılında ulaşması beklenen 1.250.000 ton birincil alüminyum talebini karşılayan yatırımın yapıldığı var sayıldığında; mevcut 68.910.000 tonluk boksit rezervleri talebi en fazla 13 yıl karşılayabilmektedir (Demirci, 2011). Şekil 2.8'de mevcut boksit rezervlerinin olası talebi karşılama simülasyonu gösterilmektedir.



Şekil 2.8. Boksit rezervlerinin olası talebi karşılama simülasyonu (Demirci, 2011)

2.6. Boksitte Bulunan Safsızlıklar

Yeryüzünde bulunan tüm cevherlerde olduğu gibi boksit cevherleri de gibsit, böhmit ve diaspor minerallerinin dışında bünyesinde oksitleride bulundurur. Bu safsızlıklar alümina üretimini önemli derecede etkiler. Bununla beraber diğer kullanım

alanlarında da etkili olur. Özellikle ekstraksiyon (çözünme) esnasında safsızlıklar açısından ana cevherin özellikleri önemli rol oynar. Boksit bünyesindeki önemli safsızlıklar, demir oksitler, silisyum oksitler, kalsiyum oksit, titanyum dioksit ve daha az miktarda da kükürt, fosfor ve diğer metal oksitleri ihtiva eder.

2.6.1. Silisyum

Boksit içindeki, işletme güçlükleri ve hammadde kayıpları bakımından, en önemli safsızlık silis bileşikleridir. Aktifliğine göre başlıca iki kısma ayrılmaktadır. Bunlar:

1-Serbest SiO₂ olarak çeşitli mineraller halinde: Boksitin, üretim sahasına nakliyesi sırasında fazladan taşınan serbest SiO₂ mineralleri (kuvars ve kalsedon gibi), normal proses şartlarında hiçbir değişikliğe uğramadan kırmızı çamur ile birlikte atılırlar.

2-Aktif SiO₂ olarak çeşitli mineraller halinde: Boksit içindeki aktif SiO₂, genellikle alüminyum oksit ve diğer bileşiklerle beraber hidratlar halindedir. Böhmitin otoklavlarda çok yüksek basınç ve sıcaklığa tabi tutulmasıyla, bütün SiO₂ aktif hale geçer. Başlıca aktif SiO₂ mineralleri killi mineraller; kaolinit (Al₂O₃.2SiO₂.2H₂O) ve halloysit (Al₂O₃.2SiO₂.3H₂O)'tir. Aktif SiO₂, soda ve alümina ile birleşerek sodyum-alüminyum silikat kompleksleri (2Na₂O.Al₂O₃.2SiO₂.2H₂O) halinde çökerek bu bileşiklerin kırmızı çamur ile birlikte atılmasına sebep olurlar. Ortalama alümina ve suda kostik kaybı aşağıda belirtildiği gibi hesaplanmaktadır (Kılıç, 2013).

Ortalama alümina kaybı: 1.0 x (aktif SiO₂)

Suda kostik kaybı: 0.9 x (aktif SiO₂)

Boksit cevherlerinden alümina üretiminde özellikle bazik çözüdürmelerde silisyum çözeltiye geçebilmekte ancak bu durum istenmemektedir. Bu sebeple % Al₂O₃ ve % SiO₂ oranlarına göre boksit cevherleri için bir sınıflandırma yapılmış ve bu sınıflandırma Çizelge 2.6'da verilmiştir (Gülfen, 1998).

Çizelge 2.6. Boksitin % Al₂O₃ ve % SiO₂ oranlarına göre sınıflandırılması

(% Al ₂ O ₃ / % SiO ₂) > 20	Yüksek alüminalı cevher
(% Al ₂ O ₃ / % SiO ₂) = 10-20	Alüminalı cevher
(% Al ₂ O ₃ / % SiO ₂) = 4-10	Silisli (endüstriyel) cevher
(% Al ₂ O ₃ / % SiO ₂) < 4	Yüksek silisli cevher

2.6.2. Demir

Demir, kırmızı çamur miktarını ve dolayısıyla yıkama işlemlerinde kullanılan su ve iş gücünü arttırmaktadır. %25-30 Fe₂O₃ içeren boksitler Bayer prosesi ile rahatlıkla işlenebilmektedir. Boksit içinde demir başlıca:

- Hidroksitler; götit (FeO.OH) ve limonit (FeO.OH.2H₂O),
- Oksitler; hematit (Fe₂O₃), manyetit (Fe₃O₄),
- İki değerlikli demir bileşikleri; siderit (FeCO₃),
- Kompleks mineraller; ilmenit (FeO.TiO₂) ve nontronit (Fe₂O₃.3SiO₂.5H₂O),
- Sülfür minerali olan pirit (FeS₂) halinde bulunabilir.

İki değerlikli demir bileşiklerinin miktarı çok yüksek olursa, bunlar kolloidal demir hidroksit oluşumuna sebep olabilir. Kolloid demir hidroksit normal metotlarla süzülemediği için sodyum alüminatın bozulması ile meydana gelen trihidrat alümina kristallerinin üstünü kaplarlar. Demir bileşiklerini ortamdan uzaklaştırmak için çökeltme, yıkama tikinerleri ve kontrol filtreleri kullanılır (Kılıç, 2013).

Demir minerallerinin cevher içindeki bulunma oranına göre, boksit cevherlerinin renkleri değişmektedir. Demir oranı yüksek boksit cevherleri laterik boksit adını almakta ve daha kırmızı renkli olmaktadır. Demir oranının düşük olduğu cevherde ise renk daha beyaza ve gri toprak rengine doğru değişmektedir. Demir içeriği bakımından boksit cevherleri sınıflandırılmış ve bu sınıflandırma Çizelge 2.7'de verilmiştir (Kocaefe, 1982).

Çizelge 2.7. Demir içeriği bakımından boksitlerin sınıflandırılması

Çok demirli boksit ; % Fe ₂ O ₃ > 25
Orta demirli boksit ; % Fe ₂ O ₃ = 10-25
Az demirli boksit ; % Fe ₂ O ₃ < 10

2.6.3. Titan

Boksitlerde ortalama olarak % 1-5 arasında bulunan titan, genellikle rutil (TiO₂) ve ilmenit (FeO.TiO₂) mineralleri halinde ortaya çıkmaktadır. Özellikle rutil (TiO₂) yapısındaki titan yüksek sıcaklıklarda çözünür hale getirilebilmektedir. Asidik proseslerde ise titan büyük oranda çözeltilmeye geçmektedir. Yüksek kostik konsantrasyonlarında (400 g/l kostik) çözünmediği için demir ve hidrat bileşikleriyle beraber kırmızı çamurla atılır. Titan boksit içinde rutil (TiO₂), anataz ve brokit (TiO₂), ilmenit (FeO.TiO₂), ilmeno-rutil (Fe₂O₃ + TiO₂), titano-manyetit (Fe₃O₄ + TiO₂), sfen

ve leucozene ($\text{CaO.TiO}_2.\text{SiO}_2$) ve perovskit (CaO.TiO_2) bileşikleri şeklinde bulunur (Kılıç, 2013).

2.6.4. Kalsiyum

Boksitlerin içerisindeki kalsiyum oranları çoğu zaman değişkenlikler gösterebilmektedir. Kimi zaman aynı cevher yatağının farklı bölgelerinde bile bu değişkenliğe rastlanmaktadır. Boksit cevherlerinde kalsiyum oranı %4 veya daha az oranlara bulunmaktadır. Boksit cevheri içinde kalsiyum: kalsit, dolomit, apatit, jips, alümina hidro kalsit, zeolit, vb. mineralleri halinde bulunabilir (Yalçın, 1996; Gülfen, 1998).

2.6.5. Diğer safsızlıklar

Boksit cevherlerinde demir, silisyum, titan ve kalsiyum mineralleri dışında miktarları çok düşük olan kükürt, magnezyum, çinko, fosfor, galyum, krom ve nikel elementlerini de ihtiva eder (Yalçın ve ark., 1993). Bu safsızlıklar boksitin cevherinin türüne, ana ve yan kayaca göre değişik miktarlarda bulunmaktadır. Boksit içindeki fosfor genellikle flor, klor apatit ve alüminyum fosfatlar halinde bulunmaktadır. Kükürt miktarı ise boksit cevheri yatağının minerolojisine bağlı olarak değişkenlik gösterir. Boksit içerisindeki kükürt, pirit ve alüminyum sülfatlar halinde bulunmaktadır. Vanadyum ise boksit içinde zaman zaman farklı yataklarda çok az miktarda da olsa rastlanabilmektedir (Bahçeci, 1985).

2.7. Boksit Kaynakları

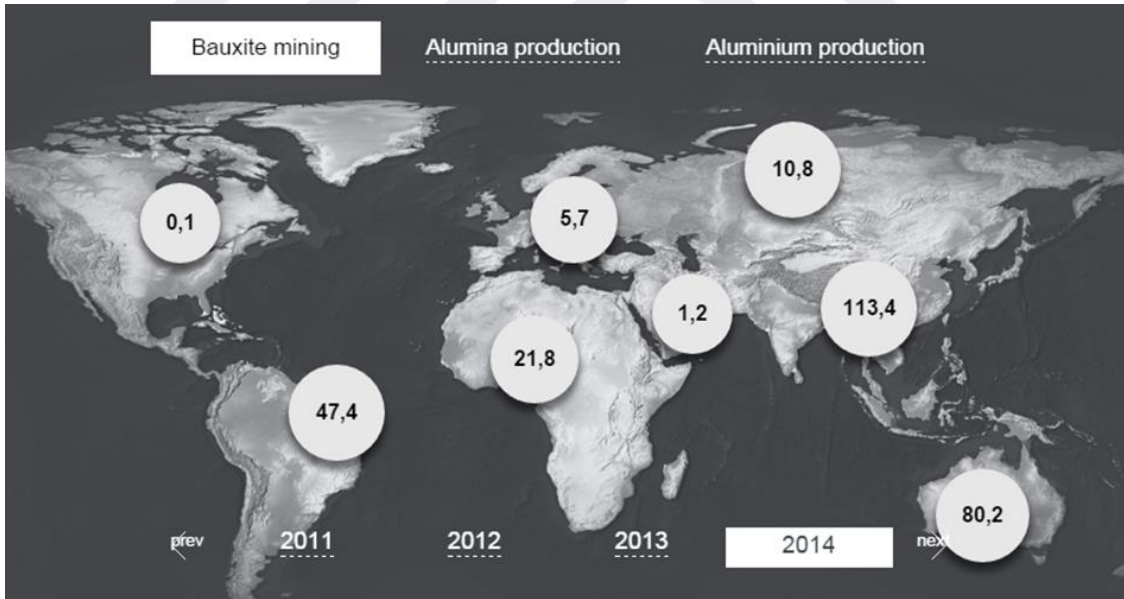
2.7.1. Dünya boksit kaynakları

Alüminyum üretiminin başlangıç hammaddesi alüminadır. Alüminanın günümüzde %90'dan fazlası boksit tipi cevherlerden elde edilmektedir. Değer zincirinde ilk halka boksittir. Yeryüzünde 2012 yılı itibarı ile tespit edilen boksit rezervi miktarı yaklaşık olarak 55,5 milyar ton civarındadır. Boksit cevheri dünyanın birçok bölgesinde bulunabilmektedir. Burada önemli olan cevherin ekonomik olarak işletilebilmesi açısından bakıldığında boksit rezervlerinin %89'una sahip ülkeler Çizelge 2.8'de gösterilmiştir (Demirci, 2011). Alüminyumun eldesinde boksitten başka kaynakları da kullanılmaktadır. Örneğin bazı killer ile alüminyum üretimi yapılabilir ancak bu kaynaklar alüminyum üretimi için yeterli olmadığından günümüzde sadece boksit tipi cevherlerden yapılmaktadır (Aksu, 2001).

Çizelge 2.8. 2010 yılı boksit rezervleri açısından en zengin ülkeler

Ülke	Boksit Rezervi	Dünya Rezervlerinden Aldığı Pay
Gine	10.1 milyar ton	% 19
Avustralya	8.1 milyar ton	% 16
Venezuela	6.2 milyar ton	% 12
Vietnam	4.7 milyar ton	% 9
Brezilya	4.5 milyar ton	% 8
Gana	2.8 milyar ton	% 6
Jamaika	2.5 milyar ton	% 5
Çin	2.3 milyar ton	% 5
Endonezya	2.1 milyar ton	% 4
Hindistan	1.4 milyar ton	% 3
Guyana	900 milyon ton	% 2
Türkiye	69 milyon ton	% 0.18

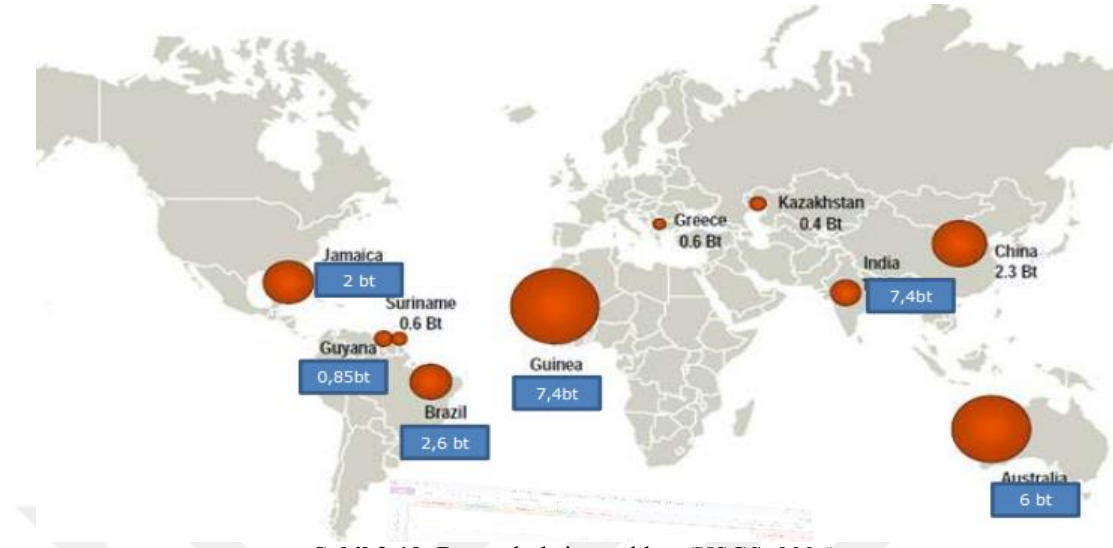
Maden Tetkik Arama (MTA) verilerine göre Türkiye’de işletilebilir boksit rezerv miktarı 69 milyon ton civarındadır. Bu rezerv miktarı dünya rezervlerinin % 0.18’ i gibi oldukça küçük bir kısmını ihtiva eder (Şekil 2.9). Ayrıca, dünya boksit üretimi 2014 yılı itibarı ile yılda 280 milyon tona ulaşmıştır (AL, 2015).



Şekil 2.9. Bölgelere göre dünya boksit üretimi (AL, 2015)

Dünya boksit yataklarının, %32’si Güney Amerikada, %28’i Batı Afrikada, %18’i Asyada, %14’ü Avusturalyada ve kalan %8’i de diğer ülkelerde bulunmaktadır. Ekonomik olarak işletilebilen önemli boksit yatakları Gine, Avustralya, Brezilya, Jamaika, Hindistan, Çin, Guyana, Surinam da dır. İşletilebilir dünya boksit

rezervlerinin ise, %24'ü Avustralya da, %24'ü Gine de ve %12'si Brezilya'da bulunmaktadır. Şekil 2.10'da dünya boksit yatakları gösterilmektedir.



Şekil 2.10. Dünya boksit yatakları (USGS, 2006)

2.7.2. Türkiye boksit kaynakları

Ülkemizde alüminyum sanayinin kuruluşu ve boksit potansiyelinin araştırılması 1960'lı yıllarda MTA tarafından yapılmıştır. Konya Seydişehir bölgesinde (Mortaş, Doğanlı) bulunan boksit rezervlerini işlemek amacıyla kurulan tesis 1974'te üretime geçmiştir (Akyıl ve Altıok, 1983). Buna göre, Türkiye toplam boksit rezervinin %95'inin Toros kuşağında bulunduğu ve yaklaşık olarak 430 milyon ton olduğu tahmin edilmektedir (Alp, 1990).

Türkiye'deki işletilebilir birinci öncelikli rezervler, Seydişehir–Akseki yöresinde 36.5 milyon ton, Muğla–Milas yöresinde 17.5 milyon ton olmak üzere toplam 54 milyon ton civarındadır. Ayrıca, Zonguldak–Kokaksu ve Tufanbeyli–Saimbeyli yörelerindeki rezervler ile birlikte bu değer 68.9 milyon tona çıkabilmektedir. Bu değerlerle Türkiye, dünya boksit potansiyelinin sadece %0.18'lik işletilebilir rezervine sahiptir. Mevcut kapasitesiyle Eti Alüminyum A.Ş. ülkemizin tek ve önemli alüminyum ve alümina üretim tesisleridir. Bu tesisler Seydişehir-Akseki boksit rezervlerini değerlendirmek amacı ile kurulmuştur (Göral, 1999). Ülkemize ait çeşitli bölgelerdeki boksit türleri, rezerv miktarı ile % Al₂O₃ ve % SiO₂ miktarları Çizelge 2.9'da gösterilmiştir.

Çizelge 2.9. Türkiye boksitleri genel rezervleri (Tümen, 2003)

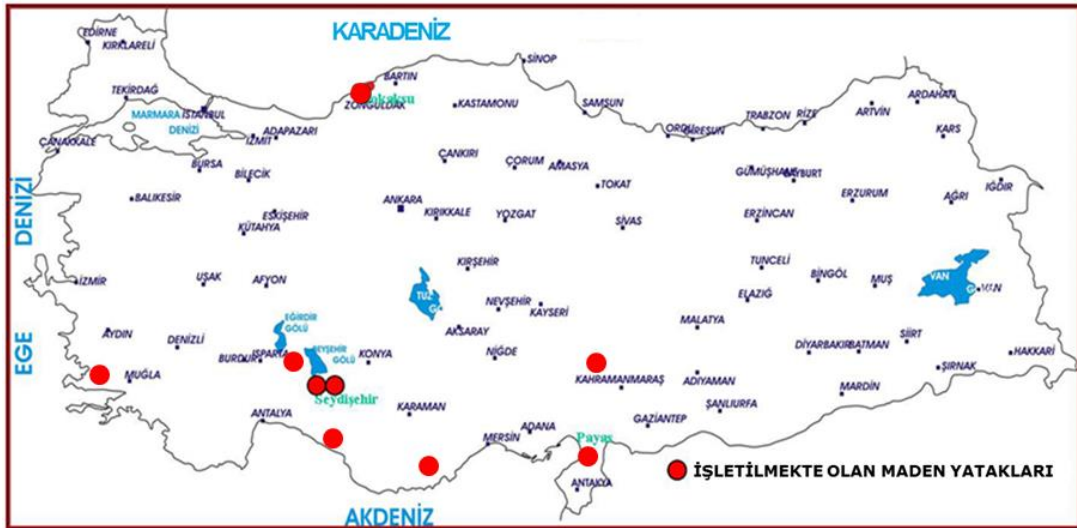
TÜRKİYE BOKSİTLERİ GENEL REZERVLERİ					
BÖLGELER	Rezerv (x1000 ton)				Boksit Tipi
	Gör.	Muh.+Müm	Toplam	İşlet. Rezerv	
Seydişehir - Akseki	35.251	1.253	36.504	31.000	Böhmitik
Zonguldak - Kokaksu	5.900	3.400	9.300	7.500	Böhmitik
Yalvaç - Şarkikaraağaç	-	115.600	115.600	-	Demirli-Diasporitik
Payas - İslahiye	-	215.500	215.500	-	Demirli-Diasporitik
Tufanbeyli - Saimbeyli	5.500	6.000	11.500	10.800	Diasporitik
Muğla - Milas - Yatağan	9.400	11.200	20.600	17.500	Diasporitik
Bolkardağı	-	3.900	3.900	-	Diasporitik
Alanya	1.300	7.700	900	-	Diasporitik
TOPLAM	57.351	364.553	421.904	68.800	

Seydişehir-Akseki bölgesindeki boksit rezervleri 1962 yılında MTA tarafından tespit edilerek 1965 yılında sahalar Etibank'a devredilmiştir. 1973 yılında ilk alümina üretim faaliyetine başlanılan Seydişehir Entegre Alüminyum Tesislerinin boksit hammadde ihtiyacı Seydişehir-Akseki yöresinde yer alan ve Çizelge 2.10'da gösterilen 9 adet maden işletme ruhsatlı sahalardaki böhmitik tip boksitlerden karşılanmaktadır. Fabrika 2005 yılında özelleştirme kapsamına alınmasıyla Cengiz Holding bünyesine geçmiş ve halen Eti Alüminyum A.Ş. adı altında tüm faaliyetlerine devam etmektedir. Rezerv ve alümina üretimi için kritik bir parametre olan silis modülü (MSi) açısından en önemlileri, Mortaş, Doğan kuzu ve Değirmenlik (Kızıлтаş) boksit yataklarıdır. Dekapaj ve üretim faaliyeti halen Mortaş, Doğan kuzu, Morçukur ve Kaklıktaş açık ocaklarında sürdürülmektedir. Uzun vadede, Akseki bölgesindeki Değirmenlik ve diğer yüksek modüllü boksitler ile Seydişehir Bölgesi'ndeki düşük modüllü boksitlerin paçal yapılarak kullanılması suretiyle mevcut rezervin değerlendirilmesi planlanmıştır (Tümen, 2003).

Çizelge 2.10. Seydişehir- Akseki boksitleri genel rezervleri (Tümen, 2003)

YATAK ADI	Rezerv (x1000 ton)			İşlet. Rezerv	Tenörleri (%)	
	Gör.	Muh.+Müm	Toplam		Al ₂ O ₃	SiO ₂
Mortaş	4.222	-	4.222	3.300	56,98	8,89
Doğankuzu (G)	6.835	-	6.835	6.000	57,81	7,13
Doğankuzu (K)	4.088	-	4.088	3.700	58,26	6,30
Doğankuzu (GD)	143	-	143	100	57,07	5,04
Kaklıktaş	300	-	300	200	57,20	5,40
Değirmenlik	11.700	1.233	129.333	10.900	57,31	6,64
Çatmakaya	833	-	833	700	58,55	5,21
Morçukur	6.336	-	6.336	5.500	52,91	11,24
Erikligedik	280	-	280	200	55,15	5,15
Yarpuz	218	-	218	200	57,14	5,50
Gömene	296	20	316	200	52,34	10,80
TOPLAM	35.251	1.253	36.504	31.000		

Toros Kuşağı dışında bilinen en önemli boksit yatakları Zonguldak civarındaki Kokaksu yöresindeki karst tipi böhmitik boksitlerdir. Ülkemizde ayrıca, Milas / Muğla, Devrek-Kokaksu / Zonguldak, Payas-İslahiye / Hatay, Bolkardağ / Mersin civarında da boksit yatakları bulunmaktadır (Şekil 2.11). Zonguldak-Kokaksu Bölgesi'nde yer alan böhmitik boksitlerin ise tesislere çok uzak olması boksit taşıma maliyetini aşırı arttırmakta, buradaki boksit rezervlerinin bu aşamada Seydişehir Alüminyum Tesislerinde ekonomik olarak alümina üretiminde kullanılması imkânsız hale gelmektedir (Tümen, 2003).



Şekil 2.11. Türkiye genelindeki boksit yatakları ve işletilmekte olanlar

Boksit fiyatları tenöre bağlı olarak değişmekle birlikte genellikle 17-30 USD/MT FOB fiyat aralığında seyretmektedir. Genel olarak alüminyum fiyatının %10-

15 alümina fiyatı, alümina fiyatının ise %10-15 boksit fiyatı olarak piyasalarda kabul görmektedir (Tümen, 2003).

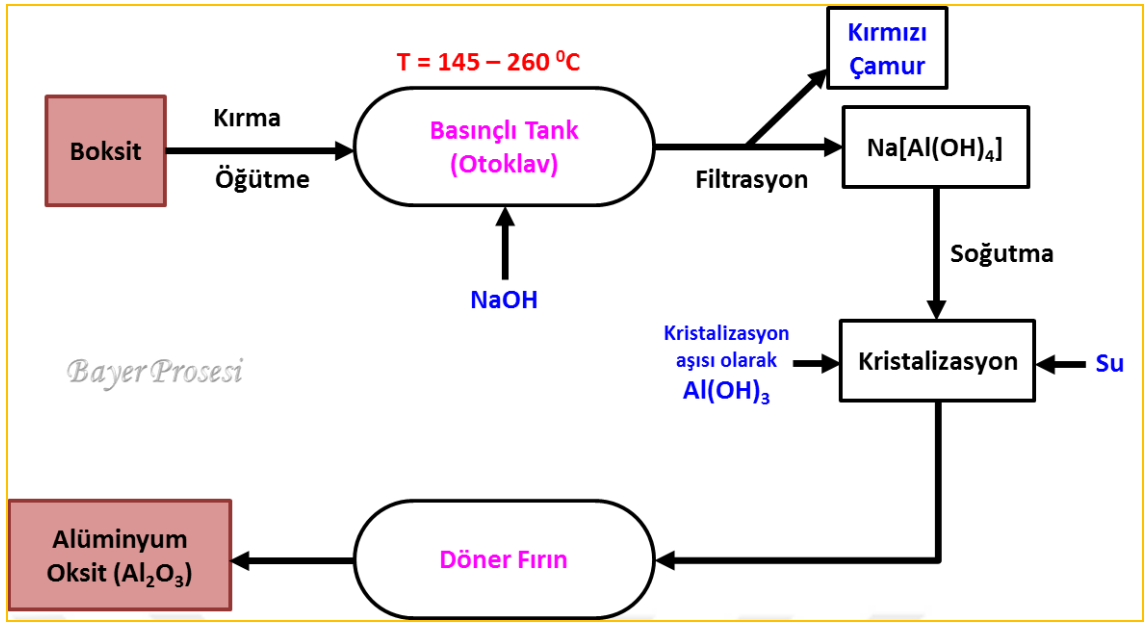
2.8. Boksitten Alümina (Al₂O₃) Üretim Metodları ve Prosesin Ana Üniteleri

Günümüzde dünya genelinde boksitten alümina üretimi için 3 farklı yol tercih edilmektedir. Bunlar:

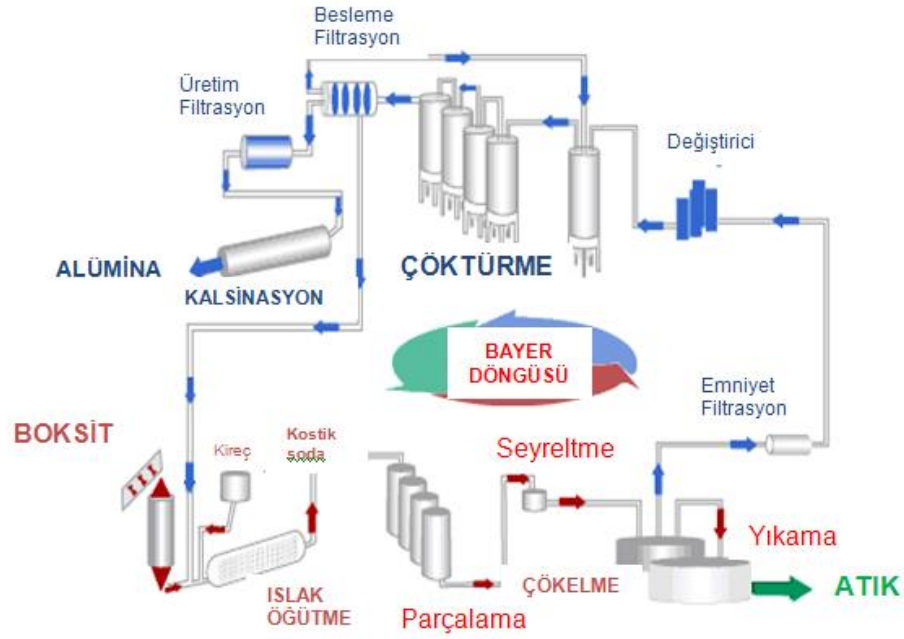
- **Bayer Prosesi**
- **Sinter Prosesi** [Al₂O₃ + Na₂CO₃ → 2NaAlO₂ + CO₂ 900-1100 °C]
- **Birleşik Proses** (Bayer prosesi + Kırmızı çamurun CaO ve Na₂CO₃ ile sinterlenmesi) şeklindedir. Bunlar arasında dünyada en ekonomik olan ve bu sebeple en çok tercih edilen yöntem Bayer prosesidir.

Bayer prosesi:

Dünya genelinde boksitten alümina üretimi yöntemi olarak Bayer prosesi tercih edilir. 1887 yılında Karl J. Bayer tarafından geliştirilmiş olan bu proseste, boksit cevherleri yüksek sıcaklık ve basınç altında sodyum hidroksit (NaOH) çözeltisi ile reaksiyona sokulup çözündürme yapılır ve boksitin içerisindeki alüminanın (Al₂O₃) sıvı faza geçmesi ile gerçekleştirilir. Reaksiyon sonucunda elde edilen sodyum alüminat çözeltisinin dekompozisyonu (kristalizasyonu) sonucu beyaz renkte alüminyum hidroksit (hidrat, Al(OH)₃) halinde çöktürülüp filtrelenerek elde edilir. Elde edilen hidrat ürünü yüksek sıcaklıkta döner fırın veya akışkan yataklı fırınlarda kalsine edilerek yani bünyesindeki fiziksel ve kimyasal suyun atılması ile alümina elde edilir. Böylelikle Bayer prosesi döngüsü tamamlanmış olunur (Şekil 2.12 ve Şekil 2.13).

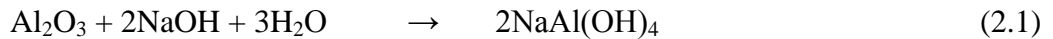


Şekil 2.12. Bayer Prosesi genel akım şeması



Şekil 2.13. Bayer Prosesi Döngüsü

Bayer prosesinde, boksitten (gibsitik, böhmitik veya diyasporik) NaOH kullanılarak yüksek sıcaklık ve basınç altında Al_2O_3 sıvı faza alınır (2.1). Çözelti çöktürülerek filtrelenir.



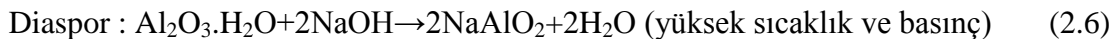
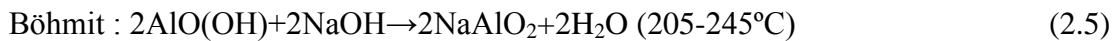
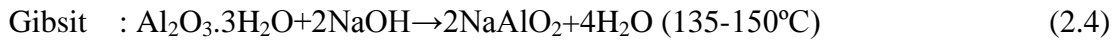
Süzülmüş alüminat çözeltisi soğutularak gibsit (alüminyum hidroksit) çöktürülür (2.2).



Oluşan gibsit (alüminyum hidroksit) kristalleri 980-1000 °C'de kalsine edilerek alümina üretilir (2.3).



Reaksiyon öncesi cevherin ince tane boyutuna getirilmesi ile proses daha verimli olmaktadır. Buna rağmen parçalama koşulları boksitin doğasından özellikle de alümina fazlarının mineralojik formlarından etkilenmektedir. Kostik soda içerisinde parçalanma kolaylığı aşağıdaki sırada azalmaktadır.



Boksitten alümina üretim prosesi beş ana üniteden oluşmaktadır. Bu üniteler;

- Hammadde hazırlama, kırma ve yaş öğütme bölümü,
- Otoklavlar ve kırmızı çamur bölümü,
- Dekompozisyon, kristalizasyon ve hidrat filtrasyon bölümü,
- Buharlaştırma (evaporasyon) bölümü ve
- Kalsinasyon bölümüdür.

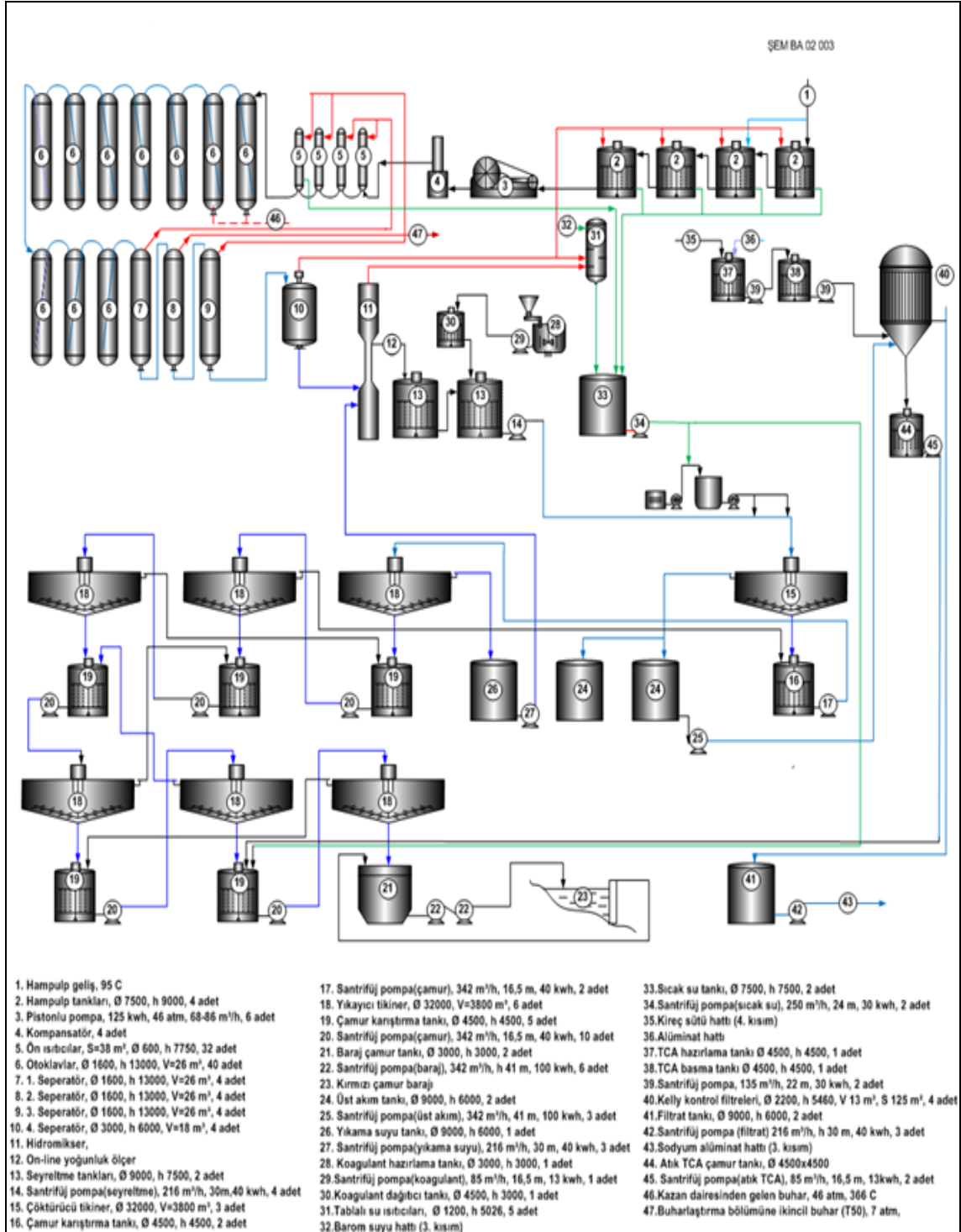
2.9. Otoklavlar ve Kırmızı Çamur Bölümü

Bu ünite, kostik çözeltisi ile birlikte istenen tane boyut aralığına sahip (-270 mesh) boksit pulpu (ham pulp), efektif bir ısıtma sağlamak amacıyla birbirine seri bağlı 4 adet hampulp tankında 105 °C de 5-6 saat süresince desilikasyon (silisizleştirme) işlemine tabi tutulmaktadır. Böylece boksit bünyesinde bulunan aktif silisyum bileşiklerinin kostik ile reaksiyona girerek çözelti içerisinde çöken bileşikler oluşturması sağlanmaktadır. Son ham pulp tankından alınan boksit pulpu çözünürleştirme amaçlı yüksek basınçlı pistonlu pompalar ile otoklavlara beslenmektedir.

Otoklava beslenen ham pulp otoklava girmeden önce separatörlerden elde edilen ikincil buhar ile ön ısı değiştiricilerde 105 °C den 170 - 175 °C ye ısıtılır. Otoklavlarda kazan dairesinden gelen 42 bar 375 °C taze buhar ile sağlanan 39 atm basınç ve 252 °C sıcaklık altında kostik (NaOH) ile boksit reaksiyona girerek bünyesinde bulunan alüminyum oksit- Al_2O_3 'ün sıvı faza alınması sağlanmaktadır. Otoklavların içerisinde sıvı fazda alüminyum oksit (Al_2O_3) konsantrasyonu 180-300 g/l, kostik (Na_2O) konsantrasyonu ise 200-260 g/l arasında değişim göstermektedir. Çözeltinin otoklav içerisinde reaksiyon süresi yaklaşık 2 saattir.

Reaksiyon süresini tamamlayan pulp otoklavlardan separatör ünitesine alınır. Separatörlerde basınç ve sıcaklığı düşürülerek atmosferik şartlara indirilen pulp, çamur yıkama devresinden dönen çözelti ile seyreltilir. Seyreltme tanklarına alınan pulp pompa yardımı ile katı ve sıvı fazların birbirinden ayrılması için kırmızı çamur ünitesine gönderilir. Kırmızı çamur ünitesinde pulp içerisinde çözünmeyen bileşikleri (kırmızı çamur) çöktürerek temiz sodyum alüminat (NaAl(OH)_4) çözeltisinin elde edilmesini sağlamak amacıyla paralel çalışan 2 adet çöktürücü ve katı fazı ters akım prensibine göre sıcak su ile yıkayarak kostik kayıplarının azaltılmasını sağlamak amacıyla seri çalışan 6 adet yıkayıcı tikineri bulunmaktadır.

Katı ve sıvı fazı efektif ayırmak amacıyla kırmızı çamur ünitesine beslenen pulpa koagulant ve sentetik flokulant beslemesi yapılmaktadır. Çöktürücü alt akımından alınan kırmızı çamur pulpu yıkayıcı tikinerlere beslenmektedir. Ters akım prensibi ile çalışan yıkama ünitesinde 5. yıkayıcı çamur tankına sıcak su verilir. Yıkayıcı tikinerlerinde kırmızı çamurun yıkanması işlemi alt akımların bir sonraki tikinerlere üst akımların da 2 önceki tikinerlerin alt akımlarına beslenilmesi ile yapılır. 6. yıkayıcının alt akımının sıvı / katı oranı 2.3'tür ve ihtiva ettiği sodyum oksit (Na_2O) miktarı ise 1.5-3 g/l' dir. Alt akım kırmızı çamur barajına basılmaktadır. Çöktürücü üst akımından alınan temiz sodyum alüminat çözeltisi, askıda kalan kalıntı kırmızı çamur atığından ayrılmak üzere basınçlı filtrasyona tabi tutulmaktadır. Kelly filtre olarak adlandırılan basınçlı filtrelerin bir tanesi toplam 125 m² yüzey alanına sahip 38 adet çerçeveden oluşmaktadır. Çerçeveler destek elek üzerine monofilament polipropilen filtre bezlerinin yerleştirilmesi ile oluşturulmaktadır. Sodyum alüminat çözeltisi filtrasyonu öncesi filtre bezleri üzerine TCA (trikalsiyum alüminat) kaplaması yapılmaktadır. Dekompozisyon, kristalizasyon ve hidrat filtrasyon bölümüne beslenecek olan temiz ve berrak filtrat çözeltisi, çöktürücü üst akımından alınan sodyum alüminat çözeltisinin hazırlanan malzeme içerisinde süzülmesi ile elde edilmektedir. Her bir filtrasyon döngüsü sonrası elde edilen TCA keki sıcak su ile yıkanarak filtre bezi yüzeyinden temizlenir ve kırmızı çamur yıkama devresine gönderilir. Şekil 2.14'te otoklavlar ve kırmızı çamur bölümüne ait akım şeması gösterilmektedir.



Şekil 2.14. Otoklavlar ve kırmızı çamur bölümü akım şeması

Kırmızı Çamur Yıkama Devresi:

Çöktürme bölümünde birbirine paralel çalışan 2 adet çöktürücü bulunmaktadır. Çöktürücülerde alt akım; sıvı / katı oranı 2.5-3.0 olacak şekilde alınmaktadır. Seyreltme konsantrasyonu 130-150 g/l Na₂O olduğundan, 258-333 g Na₂O her kilogram alt akım çamurunda bulunmaktadır. Bu sebeple çöktürücülerin alt akımında bulunan Na₂O ve Al₂O₃ ün tekrar geri kazanılması için alt akım çamurunun yıkanması gerekmektedir. Çamur yıkama bölümünde seri olarak birbirine bağlı 6 adet yıkayıcı bulunmaktadır. Çamur ve yıkama suyunun hareketinin zıt yönlü olması sebebi ile çamur yıkama işlemi ters akımlı dekantasyon adını almaktadır.

Yıkama sisteminde alt akımların sıvı / katı oranı 2.5-3 olarak saptanmış olup, 1 ton kuru çamurun yıkanması için 5-6 m³ sıcak su gerekmektedir. Yıkayıcılarda kostik konsantrasyonu 1. yıkayıcıdan 6. yıkayıcıya doğru azalmakta, 6.yıkayıcıda 1.5-3.0 g/l Na₂O ' ya düşmektedir. 6. yıkayıcının alt akımı sıvı / katı oranı maksimum 2.5 olacak şekilde ayarlanmakta ve baraj dönüş suyu ile sıvı / katı oranı 6-8 oranına seyreltilerek pompalarla kırmızı çamur barajına gönderilmektedir. Her kg kuru çamur için kırmızı çamur barajına kaçan kostik (NaOH) miktarı maksimum 9.5 gram olmaktadır.

3. KIRMIZI ÇAMUR VE OLUŞUMU

Kırmızı çamur, Bayer Prosesi ile boksitten alümina eldesi sırasında işe yaramayan kısım olarak adlandırılır. Litaratürde ‘red mud’ olarak yaygın olarak bilinir. Boksit cevherlerinin yaklaşık % 35-50’si kırmızı çamur olarak prosesten atık olarak çıkarılıp barajlarda stoklanır.

3.1. Kırmızı Çamurun Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri

Kırmızı çamurun kimyasal ve mineralojik bileşimi boksitlerin tiplerinden ve uygulanan farklı çözündürme şartlarından dolayı değişkenlik gösterebilmektedir. Boksitlerin ekstraksiyon (çözünürleştirme) işlemi sırasında bünyesinde bulunan toplam alüminanın % 75–90’ı alüminat çözeltisinde sıvı faza alınır. (Akıncı, 2004). Bayer Prosesi sonucunda sodyum alüminat çözeltisinden ayrılan ve çözünmeyen sodyum alüminyum silikatların yanında ana bileşen olarak demir ve titan oksitleri de içerir. Kırmızı çamur içerisinde % 30-60 Fe_2O_3 , %5-20 Al_2O_3 , %1-20 SiO_2 , %0.1-10 TiO_2 , %1-10 Na_2O , %2-8 CaO vb. bileşikler de bulundurur. Kırmızı çamur atığı aynı zamanda, V, P, Ce, Se, Sc, Ga, Cr, Pb, Cu, Cd, Ni, Mn, Zn, Zr, Nb, U, Th, K, Ba, Sr vb. gibi nadir toprak elementlerini de içermektedir. (Agatzini-Leonardou ve ark., 2008). %40-60’lara varan oranlarda su içeren Bayer prosesi atığının kostik rejenerasyonuna tabi tutulmuş olanına kahverengi çamur, tutulmamış olanına ise kırmızı çamur (pH 10-12.5) adı verilmektedir. Üretilen 1 ton alümina veya 0.5 ton alüminyum metaline karşılık yaklaşık olarak 1 ton kırmızı çamur (kuru baza göre) meydana gelmektedir (Evans, 2015).

Boksit artığının ana bileşenlerinde bulunan Na ve Ca, genellikle boksitte bulunmayıp artığa prosese dışarıdan eklenir. Desilikasyon reaksiyonuyla, kısmen çözünürleştirme katkı maddesi veya sinterleştirilecek karışımın bileşeni olarak geçerler (Atasoy, 2007). Tiksotropik, kolloidal yapışkan özellikleri ve ayrıca yüksek nem içeriği, çok ince tane büyüklüğü ve bağımsız mineral fazların iç içe geçmiş olması kırmızı çamurun işlenmesinde bir dezavantaj olarak ortaya çıkmaktadır (Göral, 1999).

Kırmızı çamurun alüminyum üretim endüstrisinde önemli bir atık problemi haline gelmesi çamurun değerlendirilmesi için çok sayıda çalışma yapılmasına neden olmuştur. Kırmızı çamurun değerlendirilmesi ile çevre kirliliği önlenecek, depolama sorunu ortadan kaldırılacak, alüminyum üretim maliyeti düşürülebilecek ve metalürji, inşaat ve kimya sektörüne ekonomik katkı sağlanabilecektir (Aksu, 2001).

Belli şartlarda boksitteki TiO_2 de alüminat çözeltisiyle reaksiyona girerek değişen kompozisyonlarda sodyum titanatlar meydana getirmektedir. Demir bileşenleri, bayer çözeltisinde katı fazda bulunur. Boksitlerde götit formunda bulunan demir bileşeni genellikle kırmızı çamurun çökme ve filtrasyon işlemlerine olumsuz yönde etki eder. Kırmızı çamur işleme teçhizatı (çöktürücüler, yıkayıcılar, filtreler) hematit tipi boksitlerin çamur teçhizatına nazaran daha büyük tutulmalıdır. Bu da yatırım maliyetini ve işletme maliyetini ters yönde etkiler. Bu durumda çözünürleştirme işlemine CaO, sülfatlar, klorürler gibi katkı maddeleri ilave edilir. Kontrol edilen şartlar altında götit hematit haline dönüşür ve sonuç olarak çamurun çökme ve filtrasyon karakterleri iyileşir (Sigmond ve ark., 1979; Akıncı, 2004).

Kırmızı çamurun kimyasal kompozisyonu boksit kalitesine ve proses aşamalarına bağlı olarak değişmektedir. Farklı coğrafik bölgelere ait kırmızı çamurun kimyasal kompozisyonları Çizelge 3.1’de verilmektedir (ABARE, 1995).

Çizelge 3.1. Dünya’daki farklı bölgelere ait kırmızı çamur bileşimi

Ülke	Bölge	Kimyasal Bileşenleri (%)				
		Fe_2O_3	Al_2O_3	TiO_2	SiO_2	Na_2O
Hindistan	Al. Corp					
	Malco	20.2	19.6	28.0	6.7	8.1
	Hindalco	45.1	27.0	5.1	5.7	3.6
	Balco	33.8	15.5	22.5	6.8	5.2
	Nalco	5.3	14.7	3.3	8.4	4.0
Macaristan		38.4	15.2	4.6	10.1	8.1
Surinam		24.8	19.0	12.1	11.9	9.2
Amerika	Alcoa	30.4	16.2	10.1	11.1	2.0
	Arkansas	55.6	12.1	4.5	4.5	1.5-5.0
	Sherwon	50.5	11.1	0.1-1	2.5	9.0
Tayvan		41.3	20.2	2.9	17.9	3.8
Avustralya		40.5	27.7	3.5	19.9	1.0-2.0
Türkiye		36.5	18.5	5.0	16.0	10.0

3.2. Boksit Artığının Hacmi ve Baraj Doluluk Oranı

Kırmızı çamur birçok alanda kullanılma imkanı olmasına rağmen, önemli bir kısmı atık durumunda bekletilmektedir. Kullanılan boksit kalitesine ve proses teknolojisine bağlı olarak alümina proseslerinden çıkan boksit artıklarının miktarı değişiklik göstermektedir. 1 ton kalsine alüminaya eşdeğer kırmızı çamur miktarı için karakteristik bir katsayı vardır. En az kırmızı çamur Surinam boksitlerinin işlenmesi sırasında ortaya çıkmaktadır ve bu değer yaklaşık 0.3 ton/ton alüminadır. Seydişehir kırmızı çamurları için ise bu oran 0.7 – 1 arasındadır. Çeşitli kalitede boksit işleyen ve

farklı proses teknolojileri uygulanan dünya alümina tesislerinden çıkan kırmızı çamurların ortalama miktarı düşünüldüğünde 1 ton alümina için çıkarılacak kırmızı çamur miktarı 1 ton olmalıdır. Kırmızı çamurların yoğunlukları $2.7 - 3.2 \text{ ton/m}^3$ arasındadır.

Kullanılmayan kırmızı çamurun depolanması, yüksek pH'ın (kostik soda) sebep olduğu toksiklik ve atığın hacminin fazla olması nedeni ile çevresel açıdan problem haline gelmektedir. Kırmızı çamur genellikle derin vadi göletler, barajlar ve kanallarda depolanmaktadır. Kırmızı çamurun depolanmasının çevresel etkisi alkalın çözeltilsinin yeraltına sızmasından dolayı kaynaklanmaktadır. Kırmızı çamurun doğal sızdırmaz alanlarda depolanması durumunda, yeraltı sularının kontrol amaçlı belirli periyodlarla numuneler alınarak kontrol edilmelidir. Bu atık sahalarından sızıntının olup olmadığı pH, sodyum, kalsiyum ve klorit içerik analizleri yapılarak araştırılır (Kılıç, 2013).

1973 yılından bu yana faaliyetlerini sürdüren Seydişehir ETİ Alüminyum'da yaklaşık 32 ton/h kırmızı çamur atık olarak baraja basılmaktadır. Otoklavlar ve kırmızı çamur bölümünden çıkan bu atık santrifüj pompalarla çapı 300'lük çelik boru vasıtasıyla yaklaşık 3.8 km uzunluğundaki hatlarla (2 adet) baraja gönderilmektedir. Fabrika sahasından sonra bu iki hat yerleşim merkezinden ve tarım arazilerinin içerisinden geçerek baraja ulaşmaktadır (Şekil 3.1 ve 3.2) (Arslan ve ark., 2012). Kırmızı çamur depolanmasının ve işleminin ekonomisi tüm tesisin ekonomisi için de önemli bir faktördür ve fizikokimyasal özelliklerinin önemli ölçüde etkisi altındadır (Kılıç, 2013).



Şekil 3.1. Seydişehir Eti Alüminyum Tesisleri (ENVIS, 2012)

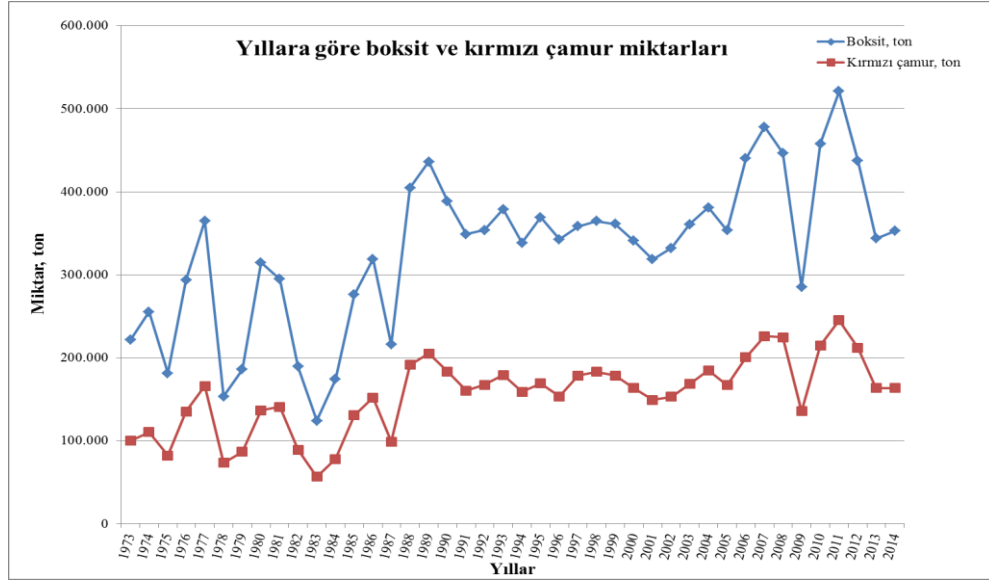


Şekil 3.2. Kırmızı çamur barajı

Çizelge 3.2’de ve Şekil 3.3’te 1973 yılından bugüne kadar Seydişehir Eti Alüminyum tesislerinde kullanılan boksit miktarları gösterilmektedir. Ayrıca kırmızı çamur barajına gönderilen çamurun miktarları ve kimyasal analizleri de gösterilmiştir. Buna göre yaklaşık 40 yıldır çalışan fabrikada 2014 yılı sonu itibariyle 13.871.267 ton boksit işlenilmiş ve buna karşılık 6.518.422 ton kırmızı çamur atığı baraja gönderilmiştir.

Çizelge 3.2. Yıllara göre boksit ve kırmızı çamur miktarları ile kimyasal analizleri

KIRMIZI ÇAMUR KİMYASAL ANALİZLER %													
YILLAR	Boksit, ton	6.Yıkayıcı Altı Çamur,	A.Z	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	TiO ₂	CaO	CO ₂	S	P ₂ O ₅	V ₂ O ₅	Na ₂ O
PROJE			7,76	14,24	36,92	18,47	-	3,54	-	-	-	-	8,64
1973	221.392	99.842	6,74	16,52	38,96	19,13	5,34	1,18	-	-	-	-	9,91
1974	255.300	110.498	6,35	15,97	41,38	18,08	5,56	1,07	-	-	-	-	9,57
1975	181.287	82.127	7,33	16,03	38,21	18,07	5,61	4,39	-	-	-	-	7,96
1976	293.810	135.392	7,17	16,94	37,26	17,58	5,55	4,38	-	-	-	-	8,31
1977	365.000	166.083	6,46	17,50	38,24	18,38	5,45	1,48	-	-	-	-	9,84
1978	153.451	73.569	6,68	18,01	36,52	18,60	5,22	1,97	-	0,06	0,15	0,09	10,63
1979	185.928	86.797	6,89	17,67	36,69	18,83	5,17	2,14	-	0,04	0,18	0,08	10,47
1980	314.841	136.815	6,63	17,17	39,02	17,58	5,27	1,80	-	0,03	0,25	0,07	10,09
1981	294.967	140.870	7,34	17,92	35,92	18,01	4,79	4,15	-	0,09	0,08	0,07	9,17
1982	189.218	89.097	6,86	18,16	36,10	18,40	5,19	2,44	-	0,08	0,13	0,07	10,35
1983	124.146	56.822	6,87	17,00	38,57	17,80	5,08	2,22	-	0,08	0,17	0,06	10,26
1984	173.954	77.934	7,17	16,75	37,87	18,30	5,20	2,23	-	0,06	0,08	0,06	10,50
1985	275.972	130.569	6,91	17,30	37,28	18,58	5,15	2,08	2,97	0,11	0,17	0,06	10,86
1986	318.969	152.187	7,55	16,32	37,31	19,26	4,94	2,57	3,19	0,11	0,13	0,06	10,29
1987	215.949	98.890	7,49	16,46	37,87	17,97	5,16	3,08	2,86	0,14	0,18	0,06	10,16
1988	404.854	191.365	7,62	16,16	36,89	19,59	4,87	2,45	2,24	0,09	0,17	0,05	10,19
1989	436.262	205.152	7,53	16,68	37,81	19,74	4,86	1,66	1,83	0,09	0,13	0,05	9,96
1990	388.892	183.487	7,30	16,50	37,49	19,98	4,78	1,66	1,60	0,08	0,16	0,06	10,11
1991	348.988	160.497	7,53	15,96	38,09	19,34	4,84	2,13	1,83	0,07	0,18	0,04	10,00
1992	353.787	167.411	7,94	15,51	37,33	19,40	4,86	2,86	2,24	0,07	0,17	0,04	9,77
1993	378.921	179.321	7,93	15,80	37,40	19,40	4,96	2,17	1,43	0,08	0,17	0,05	9,57
1994	338.362	159.166	8,00	16,51	37,01	19,40	5,01	1,79	1,49	0,03	0,16	0,05	9,79
1995	369.283	169.117	7,94	15,99	37,48	20,55	4,99	1,81	1,40	0,06	0,13	0,06	9,64
1996	342.619	153.541	7,37	15,56	39,37	19,11	4,99	1,73	1,49	0,14	0,11	0,05	9,78
1997	358.217	178.424	7,74	15,31	37,63	19,18	5,24	1,81	2,05	0,18	0,07	0,08	9,51
1998	364.675	182.953	8,27	14,81	34,46	23,11	4,93	2,99	2,58	0,19	0,05	0,08	9,54
1999	361.081	178.505	8,58	15,17	36,13	22,02	5,00	2,32	2,39	0,12	0,04	0,07	8,49
2000	341.029	163.501	8,49	15,05	36,35	21,52	4,88	2,61	2,71	0,12	0,03	0,07	9,84
2001	318.559	149.205	8,48	15,65	36,22	20,14	4,76	2,69	2,81	0,06	0,02	0,07	10,02
2002	332.076	153.084	6,93	16,53	36,81	19,51	5,06	2,33	2,41	0,08	0,04	0,07	10,11
2003	360.714	168.415	8,04	15,95	36,47	19,88	4,97	2,33	2,48	0,09	0,04	0,07	10,03
2004	381.025	184.710	8,66	15,72	35,16	21,15	4,52	2,64	2,30	0,07	0,04	0,04	10,21
2005	353.320	167.008	8,28	16,00	35,44	21,22	3,53	2,44	2,03	0,07	0,01	0,09	9,95
2006	439.932	200.462	7,71	15,62	38,09	19,20	4,63	2,09	1,64	0,03	0,05	0,07	9,57
2007	478.105	226.168	8,41	15,65	35,87	20,36	4,46	1,54	1,21	0,19	0,04	0,08	9,53
2008	446.585	224.781	8,77	14,75	34,26	18,76	4,33	4,57	3,36	0,21	0,03	0,10	8,49
2009	285.419	135.611	8,33	16,04	35,38	20,21	4,50	4,05	3,26	0,10	0,03	0,08	8,44
2010	458.044	214.912	7,81	16,70	36,38	19,88	4,60	2,87	-	0,05	0,04	0,10	9,16
2011	521.018	245.300	8,52	16,21	35,96	19,71	3,04	3,32	-	0,10	0,02	0,60	9,04
2012	437.790	212.037	8,79	15,88	35,51	20,73	4,87	3,27	-	0,29	0,03	0,10	8,95
2013	343.863	163.416	8,03	15,93	35,53	20,76	4,96	2,57	0,30	0,38	0,08	0,04	9,25
2014	363.663	163.381	8,43	15,07	35,90	19,20	4,75	4,05	0,24	0,27	0,04	0,09	9,02
ORT.	13.871.267	6.518.422	7,67	16,20	36,99	19,44	4,90	2,55	2,09	0,11	0,10	0,08	9,65



Şekil 3.3. 1973'ten bugüne kullanılan boksit ve atılan kırmızı çamur miktarları
Boksitten atık olarak çıkan kırmızı çamurun gönderildiği baraj ile ilgili güncel hacim miktarları ise aşağıda verilmiştir. Şekil 3.4'te ise barajın sıvı hacim olarak doluluğu gösterilmiştir.

- Baraj hacmi : 10.000.000 m³
- Baraj doluluk oranı : % 90-95
- Baraja atılan katı kırmızı çamur miktarı : 6.518.422 ton (1973-2014)
- Baraja atılan katı kırmızı çamur hacmi : 2.172.807 m³
- Barajın mevcut su hacmi : 7.005.211 m³
- Baraja prosesten atılan katının hacmi : 83.200 m³
- Baraja giren yıllık yağış miktarı : 649.890 m³/yıl
- Baraja çevreden giren su hacmi : 220.000 m³/yıl
- Baraja prosesten gelen sıvı hacmi : 574.080 m³/yıl
- Barajdaki buharlaşma miktarı : 1.038.780 m³/yıl
- Barajda artan sıvı hacmi : 488.390 m³/yıl



Şekil 3.4. Kırmızı çamur barajı

Değerler incelendiğinde kırmızı çamur barajının aslında katı depolama alanı olarak yeterli olduğu açıkça görülmektedir. Barajın dolu olmasının sebebi ise katı olarak stoklama prosesinin olmamasıdır. Açığa çıkan kırmızı çamur pulp halinde baraja pompalanması nedeniyle barajın kapasitesi sıvı hacim nedeniyle dolmuş durumdadır. Bu sebeple baraj ömrünün uzatılması büyük önem taşımaktadır. Barajın uzun yıllar hizmet etmesini sağlamak için barajda katı stoklama yöntemlerine başvurmak gerekmektedir.

3.3. Kırmızı Çamurun Çevreye Etkileri

Kırmızı çamurun ekonomik olarak işlenmesi konusunda çeşitli metotlar bulunmuş ancak şimdiye kadar ekonomiklik bakımından pratik bir çözüm geliştirilememiştir. Bu yüzden proses artığı olan kırmızı çamur faydasız bir atık olarak görülmekte ve depolanmasının çevresel sorunlara yol açma ihtimali bulunmaktadır. Alümina fabrikaları kırmızı çamurları baraj olarak isimlendiren göl tipi alanlarda depolamakta, ancak depolama metotları fabrikadan fabrikaya değişmektedir. Kırmızı çamur koloidal yapısı nedeni ile bol miktarda su içerir. Bu haliyle barajlarda depolanan atık, rüzgârın ve çeşitli doğa olaylarının etkisiyle çevreye taşınır. İçerdiği alkali ve mikron boyutlu partiküller (1µm-2 mm) nedeniyle çevre sağlığı konusunda endişe uyandırmaktadır (Akıncı, 2004).

Kirlenmenin diğer bir etkisi de tozlanmadır. Yazın kuruyan tozlar rüzgârla uçarak havayı kirletmekte ve alkali içeriği sorunu büyütmektedir. Rüzgarla birlikte oluşan tozuma problemi boş alanları yeşillendirme veya periyodik olarak sulama ile önleme çalışmaları yapılmalıdır (Yalçın, 1996).

Günümüzde çevre kontrolü hizmetlerinin göz ardı edilemeyeceği ve bu çevre konusunun bütünüyle ele alınması gerektiği açıkça görülmektedir. Yaşadığımız atmosferin kirlenmesi yer kabuğunda, hava ve suda yer alan proseslerin özelliklerinin bilinmesiyle ve karşı tedbirler alınmak suretiyle kontrol edilebilir. Bu tür düşünce şekli alümina üretimi ve özellikle kırmızı çamur depolama sorununun çözümü içinde benimsenmelidir. Kırmızı çamurun teknolojiye ve depolamadaki davranışını tayin eden karakteristikler, proses teknolojisinden ziyade boksitin kalitesiyle belirlenir. Bununla beraber, çeşitli çözünürleştirme katkı maddelerinin ilavesiyle zayıf çökme ve sıklık özellikleri gösteren kırmızı çamurların elde edildiği bazı boksitlerin teknolojik davranışında önemli gelişmeler kaydedilmiştir. Aynı gelişmeler depolama alanında da mevcuttur ancak henüz ispat edilememiştir (Uzun, 2006).

Kırmızı çamur, birkaç alümina fabrikasında kurallara uygun olarak deniz altında depolanmaktadır. Kırmızı çamur atılışında çok rastlanan bir metot da karada setli geçirgen olmayan bir alanda havuzlamaktır. Bir süre sonra göllenmiş saha görsel kirlenmeyi gidermek için yeniden eklenebilir. Kırmızı çamur kullanımları için çeşitli araştırma ve geliştirmeye yönelik büyük bir çaba harcanmış olmasına rağmen bunların hiçbiri ticari bazda kullanım için ümit vermemektedir (Akıncı, 2004). Denizde depolama sorunu yalnızca ekonomik bazda halledilemez. Deniz dibi test sonuçlarına göre, dipteki depolama sahasının belirli bir süre sonunda biyolojik dengeyi olumsuz yönde etkileyip etkilemediği konusunun da detaylı olarak araştırılması gerekmektedir (Yeğen ve Yalçın, 2002). Kırmızı çamurla ilgili olan çevresel sorunların en köklü çözüm yolu çamur önce filtrelenip susuzlandırılmalı daha sonra değerlendirilerek ortadan kaldırılmalıdır. Böylece çamur miktarı azalacak ve kirlenme üzerindeki etkisi de zayıflayacaktır (Borges ve ark., 2011).

Ekim 2010 yılında Macaristandaki Ajka Alümina Fabrikası'ndaki kırmızı çamur barajındaki setin yıkılması neticesinde büyük bir çevre felaketi yaşanmıştır (Şekil 3.5). 1 milyon m³ civarındaki kırmızı çamur 40 km² lik bir alana yayılmıştır. Tuna ve Raba nehirlerini zehirleyen facia Avrupa'nın son 30 yıldaki en büyük çevre felaketi olarak nitelendirilmiştir. 8 kişinin ölümüne, 133 kişinin yaralanmasına ve 1000 kişinin tahliye edilmesine neden olan bu çevre felaketi Karadeniz'deki canlı yaşamını da olumsuz etkilemiştir (Mayes ve ark., 2011; Evans, 2015).



Şekil 3.5. Ajka alümina fabrikasında yaşanan kırmızı çamur sızıntısı

3.4. Kırmızı Çamurun Değerlendirilmesi

Atık olarak ortaya çıkan kırmızı çamurun değerlendirilmesi için bilim adamları tarafından pek çok araştırma ve çalışma yapılmıştır. Bunlar arasında;

- Çamur içerisindeki birden çok bileşenin geri kazanılması,
- Çamur içerisindeki tek bileşenin geri kazanılması,
- Kırmızı çamurun farklı sektörlerde değerlendirilmesi,
- Kırmızı çamurun susuzlandırılarak ve/vaya çevre etkilerinin azaltılması üzerine olan çalışmalar (Mishra ve ark., 2001).

Kırmızı çamurun % 90'ının tane boyutu $-10 \mu\text{m}$ 'nin altında olması nedeniyle geri kazanımı açısından gravite, magnetik ve boyutsal ayırma yöntemlerinin etkili olmadığı önceki çalışmalarda belirlenmiştir (Yalçın, 1996). Kırmızı çamurun toplu değerlendirilmesini hedef alan sinter ya da izabe yöntemiyle pik demir üretimi ve cürufun işlenmesi yolu dışında pek çok değerlendirme seçenekleri vardır. Bunların başlıcaları:

- Adsorban olarak atık su ve gaz arıtımında,
- Vanadyum içeren konverter cüruflarının yükseltgen kavrulmasında inert katkı maddesi,
- Kauçuk endüstrisinde dolgu maddesi olarak,
- Aşındırıcı,
- Seramik yer karosu pigmenti,
- Çimento katkı maddesi,
- Yapay agregat ham maddesi,
- Kömürün sıvılaştırılmasında katalizör,
- Radyoaktif atıkların giderilmesinde ham madde, karayolu yapımında yatak malzemesi,
- Hafif inşaat malzemesi ve ısı izolasyon malzemesi olarak,
- Ekilebilir toprak ıslahında kullanımlarıdır (Çengeloğlu, 1991; Mishra ve ark., 2001; Panov ve ark., 2012).

Çok çeşitlilik gösteren bu uygulama alanlarının ortak özellikleri, kırmızı çamurun içerdiği bütün değerlerin bir arada kazanımına imkân vermemeleridir. Bu nedenle son yıllarda giderek önem kazanan çözüm şekillerinden biri, kırmızı çamuru sinter ve izabe işlemleriyle pik demire indirgeyerek demiri kazanmak, izabe sırasında cürufa geçen alümina, sodyum oksit, titan dioksit, zirkonyum, uranyum, toryum ve

nadir toprak metalleri ni liç işlemi, hidrolitik çöktürme, klorinasyon, kristalizasyon ve sıvı–sıvı ekstraksiyonu gibi çeşitli yöntemlerle elde etmektir. Bahsedilen bu maddeler alındıktan sonra cürufun liç artığı gübre, çimento vb. yapımında kullanılmaktadır (Borra ve ark., 2015).

Kırmızı çamurdan öncelikle demir ve alüminyum değerlerinin kazanımı için önde gelen iki yol, karbon – kireç – soda sinterleme prosesi ve kok–kireçtaşı ile yapılan elektrik ark fırını izabe prosesidir. Bu proseslerin yatırım maliyetlerinin ve enerji tüketimlerinin yüksek olması bir dezavantajdır. Kırmızı çamurun mevcut demir yataklarının içerdıği demir tenöründen (% 50) daha düşük demir tenörüne sahip olması ve proseslerin sahip oldukları dezavantajlar nedeni ile kırmızı çamurdaki demir bileşenin in eldesi yönündeki çalışmalar bugün için ekonomik değildir. Dünya hammadde kaynaklarının devamlı azalması kırmızı çamuru değerli maddelerin elde edilebileceği alternatif bir kaynak olarak sürekli gündemde tutmaktadır. Şekil 3.6’da kırmızı çamurdan elde edilen pik demir örnekleri gösterilmektedir (Liu ve ark., 2011).



Şekil 3.6. Kırmızı çamurdan pik demir üretimi

Kırmızı çamurun değerlendirilmesi, çevre kirliliğinin önlenmesi, depolama sorununu ve maliyetinin düşürülmesi çok çeşitli uygulama alanlarına alternatif bir hammadde kaynağı olması açısından büyük önem taşımaktadır. Geliştirilen pek çok proses ekonomik olmadığı için uygulama imkanı bulamamışsa da araştırmalar halen sürmektedir (Yalçın, 1996).

3.4.1. Kırmızı çamurun inşaat sektöründe kullanılması

Çimentolar kalitelerine bağlı olarak az veya çok miktarlarda Fe_2O_3 içermektedir. Klasik çimento üretim yöntemlerinde Fe_2O_3 % 1–2 pirit sinteri ilavesiyle yapılmaktadır.

Çimentonun içine az miktarda kırmızı çamurun ilave edildiği değişik çalışmalar yapılmıştır (Singh ve ark., 1996; Tsakiridis ve ark., 2004; Cablik, 2007; Senff ve ark., 2011). Şekil 3.7’de kırmızı çamurun inşaat sektöründe kullanımı ile ilgili resim gösterilmektedir.



Şekil 3.7. Kırmızı çamurun inşaat sektöründe kullanılması

3.4.2. Kırmızı çamurun yol inşaatında ve hafif yapı malzemelerinde kullanılması

Kırmızı çamur yol inşaatında dolgu maddesi olarak çok iyi bir şekilde kullanılabilir. Vaw (GFR) ile Building Material Research İnstitü birlikte 1972’ye kadar bu şekilde 30.000 m² deneme yolu inşa etmiştir. Başka bir çalışmada kırmızı çamurun % 40-45 dikalsiyum silikat içeriği nedeni ile yapıştırıcı özelliğine sahip olduğu, ayrıca yüksek sıkıştırılabilme, düşük geçirgenlik ve yüksek çimentolaşma özelliklerine sahip olduğu belirtilmekte, aynı zamanda uzun süre bekletmenin özelliklerini etkilemediği için şehirlerarası yol inşaatı için tavsiye edilmektedir (Gözmen ve ark., 1983). Şekil 3.8’de yol yapımında kullanılan kırmızı çamur gösterilmektedir.



Şekil 3.8. Kırmızı çamurun yol yapımında kullanılması

Kırmızı çamurun hafif yapı malzemesi ve ısı yalıtım maddesi üretiminde kullanılması amacı ile bazı çalışmalar yapılmıştır. Kırmızı çamurdan tuğla yapım tekniği üzerinde ilk kez Almanya’da çalışılmıştır (Şekil 3.9). Tuğlaların mukavemeti normal yollarla yapılanlarınkinden fazla olup, yüksek binaların inşaatında bile kullanılabilir (Kara ve ark., 1995).



Şekil 3.9. Kırmızı çamur tuğlaları ile yapılmış bir ev

Kırmızı çamurun tane boyutu ve içerdiği fazı oluşturan bileşikler de dikkate alınarak ve aynı zamanda bu atığın yapı malzemesi olarak da kullanılabilirdiğinden yola çıkılarak kırmızı çamurun tuğla, kiremit ve seramik malzeme üretimine uygunluğu araştırılmıştır (Kara ve ark., 1995). Şekil 3.10’da kırmızı çamur kullanılarak elde edilen tuğla ve kiremit örnekleri gösterilmektedir.



Şekil 3.9. Kırmızı çamurun tuğla ve kiremit yapımında kullanılması

3.4.3. Kırmızı çamurun seramik üretiminde kullanılması

Kırmızı çamurun kimyasal analizinde bulunan ve sinterleme sonrası camsı faz oluşturan SiO_2 , CaO , Na_2O gibi oksitleri içermektedir. Bu özellik kırmızı çamurdan sağlam yapılu seramik yapılabileceğini göstermektedir. Yüksek orandaki amorf malzemenin mukavemeti düşüreceği düşünülebilir. Fakat amorf hematit ısıtma ve

soğutma aşamalarında kristallenmektedir (Kılıç, 2013). Şekil 3.11’de cam seramik eldesi örneği gösterilmektedir.



Şekil 3.11. Kırmızı çamurdan cam-seramik üretimi (Perez-Villarejo ve ark., 2012)

3.4.4. Kırmızı çamurun kimya sektöründe kullanılması

Kırmızı çamurun gazlardan ve sıvılardan S, SO₂, H₂S giderilmesi işlemlerinde gaz temizleme maddesi olarak ve sulardan arsenik giderilmesinde kullanılması amacıyla yapılan çalışmalar da vardır. Kauçuk endüstrisinde kırmızı çamurun dolgu maddesi olarak kullanılması ile ilgili çalışmalar da gerçekleştirilmiştir (Kılıç, 2013). Şekil 3.12’de kırmızı çamurdan inorganik polimer eldesi örneği gösterilmektedir.

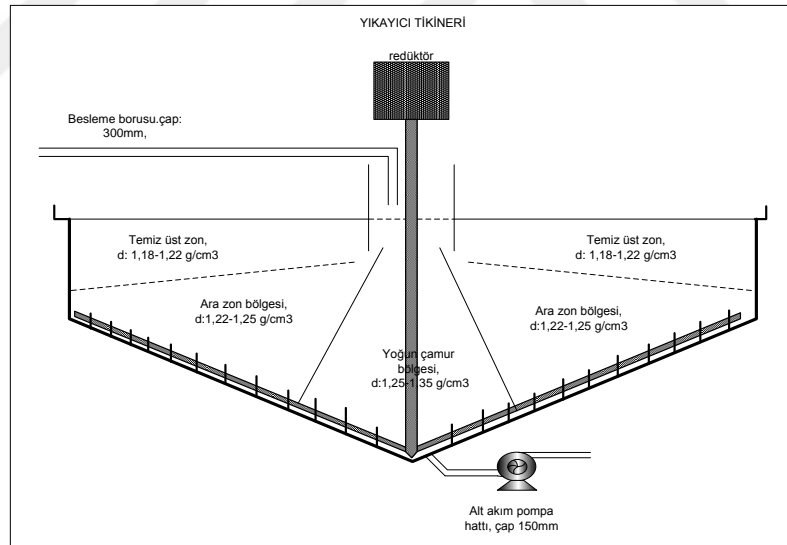


Şekil 3.12. İnorganik polimerlerde uygulanması (Hairi ve ark., 2015)

sistemi çalışmamaktadır. Aşırı akım çekmesi nedeniyle karıştırıcı mekanizma devre dışı kalmaktadır. Şekil 4.2’de mevcut yıkayıcı tikiner gösterilmektedir.

Yıkama devresinde kullanılan her bir tikinerin kullanım ömürleri 1. yıkayıcının ortalama 1-1.5 yıl olurken son yıkayıcının ise 20-30 yıl olabilmektedir. Bunu sebebi ise son yıkayıcıya doğru gidildikçe azalan kostik konsantrasyonudur. Mekanik bir arıza oluşmadıkça uzun yıllar çalışabilmektedir. Bu tip tikinerlerin dezavantajı ise yüksek kapasitelerdeki hıza karşılık verememesi ve alt akım katı yoğunluğunun düşük kalmasıdır. Böylelikle düşük alt akım yoğunluğunda çalışılması neticesinde atık barajına daha fazla sıvı faz gönderilmek zorunda kalınmaktadır. Bu da barajın ömrünü olumsuz yönde etkilemektedir. Ayrıca çözelti fazı ne kadar yüksek ise su kullanımı da o kadar fazla olmaktadır. 1 ton çamuru yıkamak için 1-2 m³ su yeterli olacak iken mevcut sistemde 5-6 m³ su kullanılmaktadır.

Doğal kaynak tüketimi göz önüne alınırsa bu da büyük bir tüketim olarak karşımıza çıkmaktadır. Baraja ne kadar yoğun çamur gönderilirse baraj ömrü de o kadar uzun olacaktır (Svarovsky, 2000).

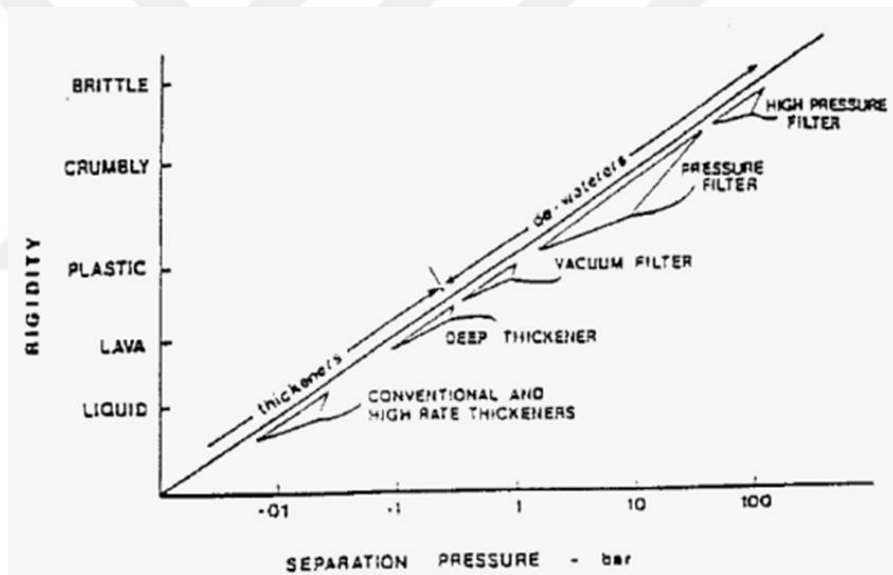


Şekil 4.2. Tesiste kullanılan yıkayıcı tikineri

4.2. Alternatif Kırmızı Çamur Susuzlandırma Teknikleri

Kırmızı çamur miktarının yıllar içinde artması barajların kapasitelerinin yetersiz kalmasına neden olurken, barajlardaki sıvı hacminin kapladığı alan ise baraj ömrünü ciddi oranda azaltmaktadır. Bu amaçla Derin Tikiner, Vakumlu / Basıncılı Tamburlu Filtreler, Dekantör Santrifüj ve Pres Filtre gibi farklı teknikler üretilmiştir. Oluşan kırmızı çamurun fiziksel ve kimyasal özelliklerine bağlı olarak düşük maliyette ve yüksek katı oranında kırmızı çamur elde edebilmek için uygun yöntem belirlenebilmektedir.

Şekil 4.3'te sıvı / katı ayırımının basınçla olan ilgisi gösterilmektedir. Şekil 4.3'te görüldüğü gibi, geleneksel tikinerlerden elde edilen ürünün davranışı ile yüksek basınçlı filtrelerden elde edilen ürün arasında yapısal farklılıklar meydana gelmektedir (Bánvölgyi ve Huan, 2010).



Şekil 4.3. Katı / sıvı ayırımının basınçla ilgisi (Bánvölgyi ve Huan, 2010)

4.2.1. Derin tikiner (Deep cone thickener)

Derin tikinerler pulp konsantrasyonunu pompalanabilirlik limitine kadar artırarak çalışırlar. Derin tikinerlerinin derin tank kısmı pulp konsantrasyonunu maksimize etmek, homojen pulp ve segregasyon olmayan alt akım üretmek için dizayn edilmiştir. Şekil 4.4 ve 4.5'te görüldüğü gibi, geleneksel konik eğimleri %7-8 olan geniş çaplı tikinerlerden farklı olarak uzatılmış bir silindirik duvarının olması, %30-60 arasında değişebilen konik açısı, yüksek bir karıştırma hızı, hızlı çöktürme ve daha yüksek oranda alttan katı alma özelliklerine sahiptir (Baksa, 1992).



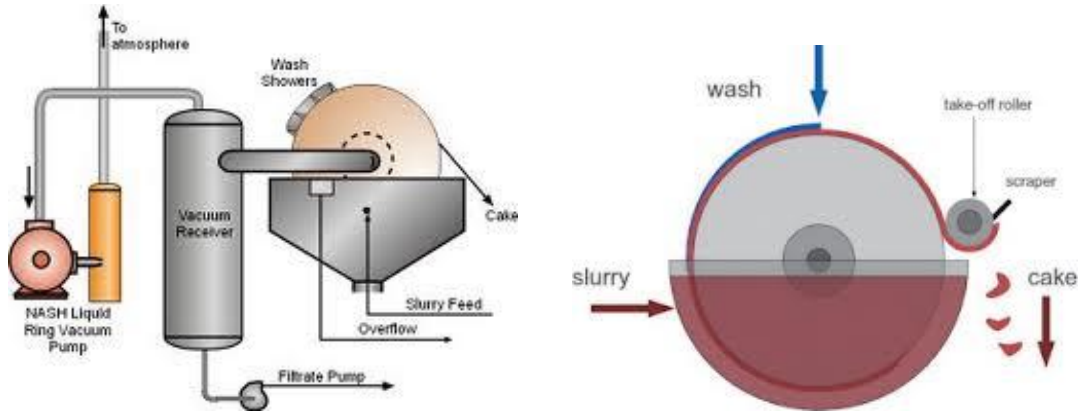
Şekil 4.4. Derin tikiner (Westech, 2015)



Şekil 4.5. Derin tikiner görüntüleri (Westech, 2010)

4.2.2. Vakumlu tambur filtreler (Drum filter)

Vakumlu tambur filtreler günümüzde ağırlıklı olarak maden ve kimya sanayisinde tercih edilmekte olup, en önemli özellikleri sürekli çalışan tipte olmalarıdır. Ürüne özel şekillerde de tasarlanabilen vakumlu tambur filtreler yüksek verim, yüksek kapasite ve düşük kek rutubeti sağlayacak şekilde geliştirilerek üretilmektedir. Günümüzde 4.5 m² ile 180 m² filtre yüzey alanlarına sahip filtreler üretilmektedir. Elde edilen kekin nemi kullanılan malzemeye bağlı olarak %35-45 civarlarındadır (Şekil 4.6 ve 4.7) (Langeloh ve ark., 2005).



Şekil 4.6. Tamburlu filtre (Bokela, 2007)



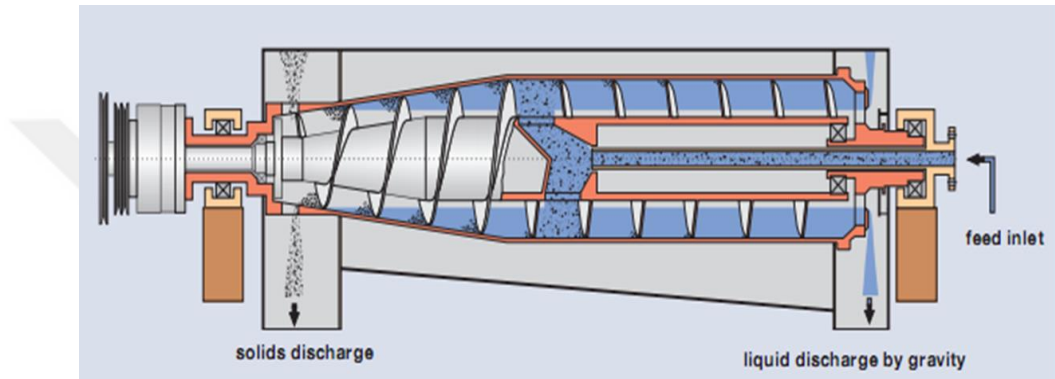
Şekil 4.7. Vakumlu tamburlu (Drum) filtre görüntüleri (Langeloh ve ark., 2005)

4.2.3. Dekantör santrifüj

Santrifüj dekantörler, sıvı-sıvı karışımların birbirinden ayrılmasında, sıvı-katı karışımlarının ayrılmasında, sıvı-katı karışımların susuzlandırılmasında, sınıflandırılmasında ve bileşenlerin ekstraksiyonunda kullanılmaktadır.

Dekantör santrifüj, yüksek hızda dönen tambur ve tamburla aynı ekseninde farklı hızda dönen helezon ile hız farkını ayarlayan ve tahrik grubuyla dönen elemanları taşıyan gövdeden meydana gelmektedir. Ayrılacak olan sıvı-katı ya da katı-sıvı-sıvı süspansiyonu dekantöre ait dönerli besleme haznesine besleme borusuyla girer. Merkezkaç kuvvetinin etkisiyle süspansiyon helezon besleme haznesinden tambura girer ve tambur yüzeyine doğru özgül ağırlıklar farkıyla katmanlaşır. Çöken katı helezon vasıtasıyla konik kısımdan dışarıya taşınırken, ayrılan sıvı ya da sıvı-sıvı (ağır ve hafif sıvı) tamburun silindirik bölümünün bitiminden itibaren seviyesi ayarlanabilir plakalardan boşalır (HAUS, 2013).

Dekantörler, eski ayırma sistemlerine göre daha yüksek verimle çalışarak üründen, zamandan ve enerjiden tasarruf ederek yeni teknolojinin avantajlarını sunmaktadır. Endüstrinin büyümesiyle artan işçilik giderleri, kapasite artırma ihtiyacı, zamanı geçmiş kesikli (batch) temizleme ve ayırma tekniklerinin yetersiz kalması sürekli işlemeye geçişi gerektirmiştir. Sürekli işlemeyi sağlayan dekantörler, bu sorunları ortadan kaldırarak her türlü gereksinime cevap vermektedir. En çok kullanıldığı alanlar atık su arıtımı, kâğıt üretimi, madencilik, gıda sanayi ve ilaç sanayidir. Sıvı-katı susuzlandırılmalarında yaklaşık % 40-60 nem aralığında ürün alınabilmektedir (Şekil 4.8 ve 4.9) (Flottweg, 2009).



Şekil 4.8. Dekantör santrifüj (Flottweg, 2009)



Şekil 4.9. Dekantör santrifüj görüntüleri (Flottweg, 2009)

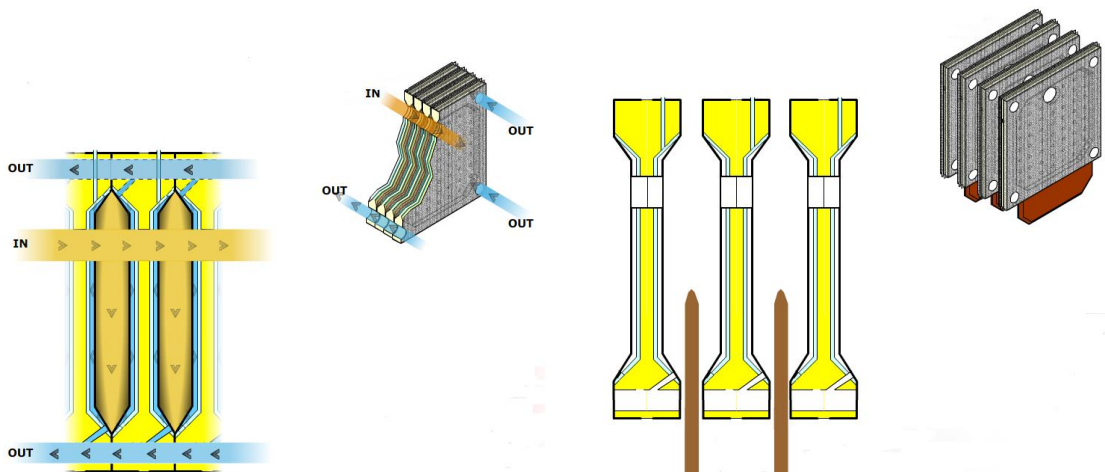
4.2.4. Pres filtreler (Filter press)

Pres filtreler en eski tip filtrelerdendir. İlk tasarlanan susuzlandırma ekipmanlarından olması, aynı zamanda en çok kullanılan filtre olmasını da sağlamıştır (AntGroup, 2012). Şekil 4.10'da gösterildiği gibi, çok çeşitli proseslerde kullanılması ile tanınan pres filtreler doldur-boşalt şeklinde çalışan filtrelerdir. Zamanla çok büyük teknolojik gelişmeler ile daha pratik, daha kontrollü ve tam otomatik olarak çalıştırılabilmektedirler (Bach, 2012).

Pres filtreler temel olarak düz plakalı(chamber), membran ve mixpack dizilimli olarak üç yapıda tasarlanmaktadır. Ayrıca kapalı veya açık deşarj seçenekleri ile farklı filtrat deşarjlı şekilleri, kek yıkamalı, kek kurutmalı gibi tasarlanmış olanları da vardır (Bach, 2012). Şekil 4.11' de pres filtrenin çalışma prensibi gösterilmiştir.



Şekil 4.10. Pres filtre



Şekil 4.11. Pres filtre çalışma prensibi

5. MATERYAL VE YÖNTEM

5.1. Materyal

Yapılan kırmızı çamurun susuzlandırılması deneylerinde numune olarak Eti Alüminyum A.Ş. kırmızı çamuru kullanılmıştır. Tüm çalışmalar kırmızı çamur yıkama devresinin son aşamasındaki 6. yıkayıcı tikineri alt akımı çamuru ile yapılmıştır. Ancak pres filtre testlerinde 6. yıkayıcı tikineri alt çamuruna ilaveten 1. 2. yıkayıcı ile çöktürücü tikinerleri alt akım çamurundan da numuneler alınmıştır.

5.1.1. ETİ Alüminyum kırmızı çamurunun kimyasal ve minerolojik bileşimi

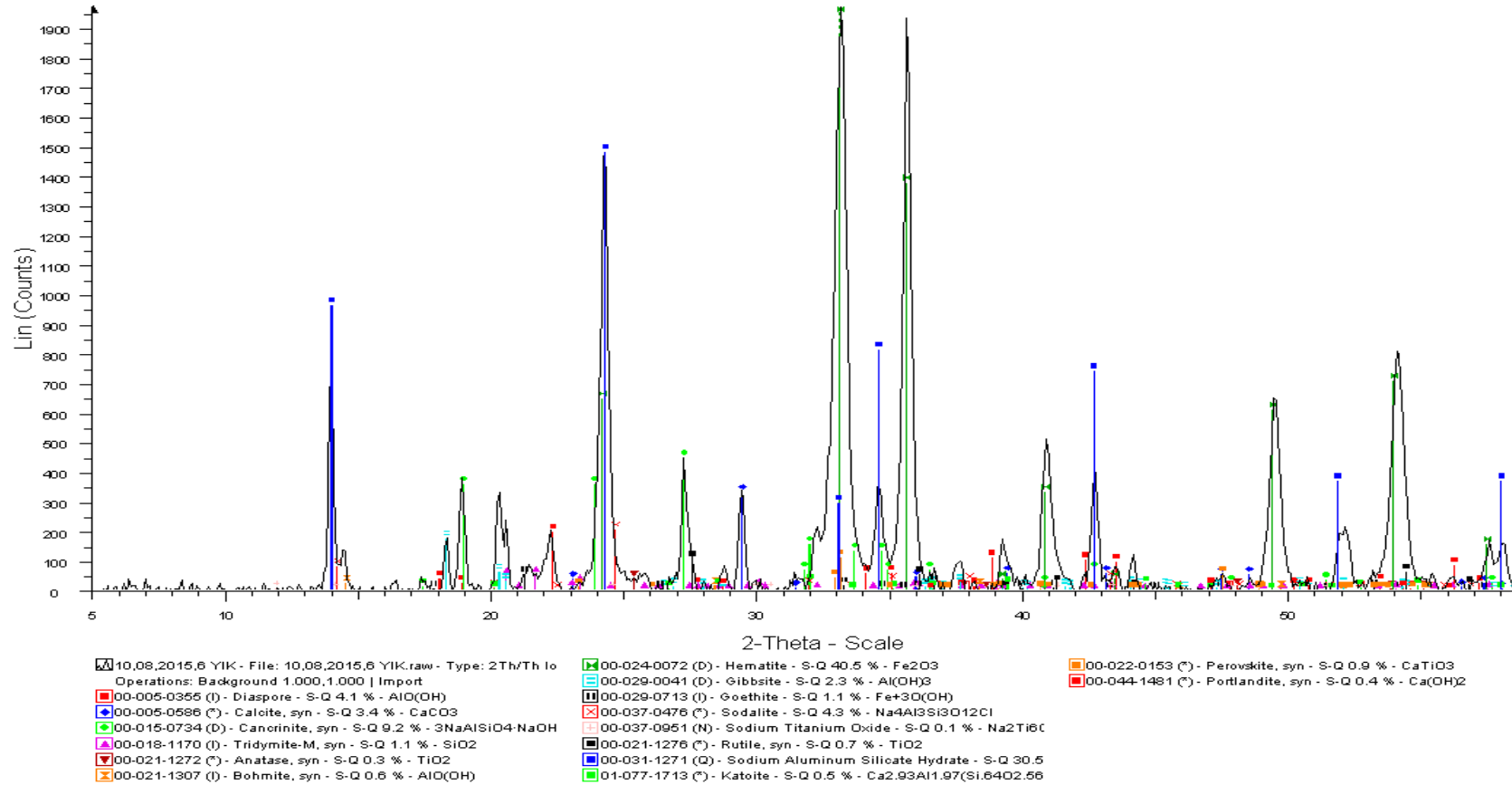
Boksit artığının kimyasal bileşimi çok değişmektedir. Bayer prosesinde oluşan kırmızı çamurun XRF (X-ray fluorescence) analizi ARL Advant'x 2098 Quantas cihazı kullanılarak elde edilmiştir ve sonuçlar Çizelge 5.1'de gösterilmektedir. Kırmızı çamurun XRD (X-ray diffraction) analizi için ise, D 5000 Siemens XRD diffractometresi kullanılmıştır. Elde edilen kırmızı çamur minerolojik XRD analizi sonuçları Çizelge 5.2'de ve Şekil 5.1'de gösterilmektedir. Çizelge 5.2'de görüldüğü gibi, ana fazlar olarak hematit ve silika mineralleri gözükmektedir.

Çizelge 5.1. Kırmızı çamurun XRF analizi (%w/w)

Element	(w/w) %	Component	(w/w) %
Al	9.870	Al ₂ O ₃	18.650
Ca	2.710	CaO	3.800
Cl	0.047	Cl	0.047
Cr	0.058	Cr ₂ O ₃	0.086
Fe	25.220	Fe ₂ O ₃	36.030
K	0.337	K ₂ O	0.406
Mg	0.168	MgO	0.279
Mn	0.008	MnO ₂	0.013
Na	6.620	Na ₂ O	8.920
Ni	0.038	NiO	0.049
P	0.015	P ₂ O ₅	0.035
Pb	0.005	PbO	0.006
S	0.041	SO ₃	0.102
Sc	0.009	Sc ₂ O ₃	0.015
Si	7.580	SiO ₂	16.240
Ti	3.030	TiO ₂	5.050

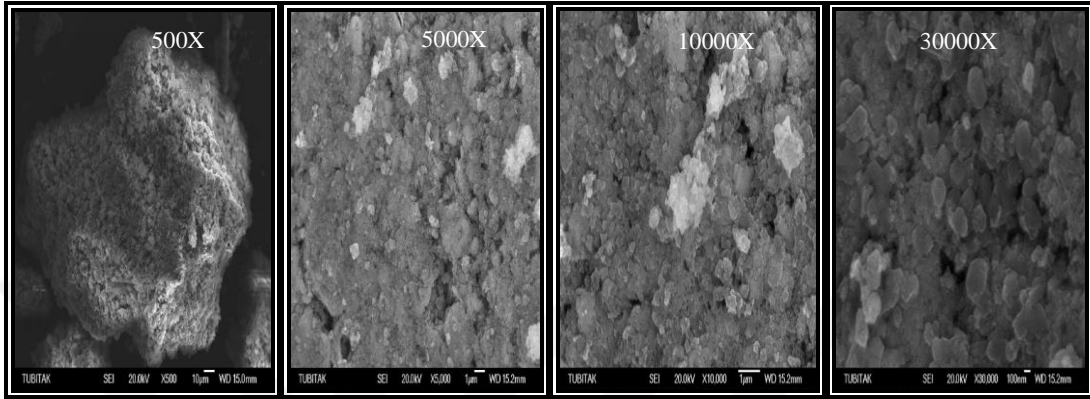
Çizelge 5.2. Kırmızı çamurun XRD analizi

Kırmızı Çamur Mineral Fazları	(w/w) %	Kırmızı çamur mineral fazları	(w/w) %
Hematite, Fe ₂ O ₃	40.5	Diaspore, AlO(OH)	4.1
Sodalite, Na ₄ Al ₃ Si ₃ O ₁₂ Cl	4.3	Goethite, FeO(OH)	1.1
Cancrinite, 3NaAlSi ₃ O ₈ ·NaOH	9.2	Sodium Titanate, Na ₂ Ti ₆ O ₁₃	0.1
Calcite, CaCO ₃	3.4	Rutile, TiO ₂	0.7
Gibbsite, Al(OH) ₃	2.3	Anatas, TiO ₂	0.3
Boehmite, AlO(OH)	0.6	Tridimite, SiO ₂	1.1
Sodium Aluminosilicate hydrate, Na ₆ (AlSi ₃ O ₁₀) ₂ ·4H ₂ O	30.5	Perovskite	0.9

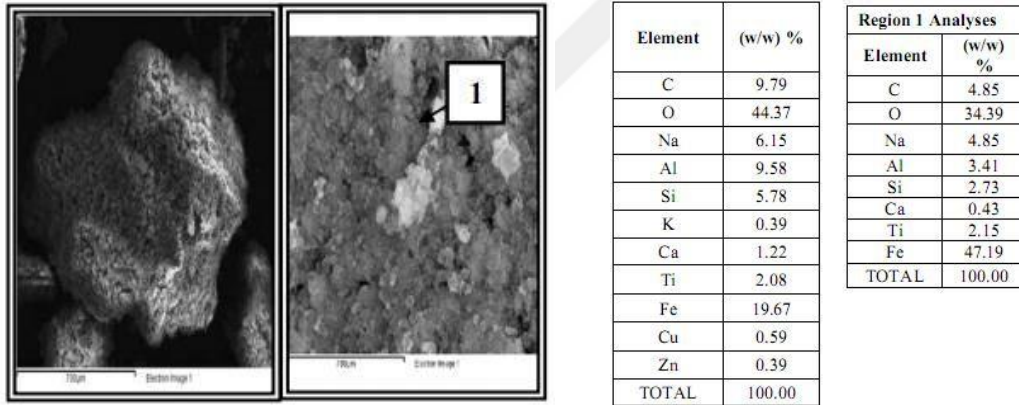


Şekil 5.1. Kırmızı çamur numunesinin XRD analizi grafiği

Kırmızı çamurun mikro yapısını, yüzey morfolojisini ve EDX (Energy dispersive X ray analysis) analizini yapmak için Jeol JSM 6335F taramalı elektron mikroskobu (Scanning Electron Microscopy, SEM) kullanılmıştır. Elde edilen mikro yapılar Şekil 5.2’de gösterilmektedir. Şekil 5.3’te ise mikro yapının bir şekli üzerindeki 1 no’lu bölgeden yapılan noktasal elementel analizden elde edilen sonuçlar gösterilmektedir.



Şekil 5.2. Kırmızı çamurun SEM analizi



Şekil 5.3. Noktasal elementel analiz (EDX)

Spesifik yüzey analizi tayini (Brunauer-Emmett-Teller, BET) için ise, Quantachrome Nova 2000e cihazı kullanılmış ve kırmızı çamurun yüzey alanı 28.378 m²/g olarak tespit edilmiştir.

5.1.2. Kırmızı çamurun fiziksel özellikleri

Eti Alüminyum A.Ş'nin kırmızı çamuruna ait bazı fiziksel analizlerden elde edilen sonuçlar ise Çizelge 5.3'te verilmiştir.

Çizelge 5.3. Kırmızı çamurun fiziksel analizleri

Kırmızı çamur tonajı (kuru baz)	28-35 t/h
Renk	Kırmızı
pH	12-14
Elektriksel iletkenlik (çamur)	17.55 μ S/cm
Sıvı / Katı oranı	2-2.5
Pulp katı miktarı	360-380 g/l (%25-30)
Pulp sıcaklığı	90 °C
Çamur katı yoğunluğu	3.03 g/cm ³
Pulp spesifik yoğunluğu (90 °C)	1.2 g/cm ³
Çözelti viskozitesi (25 °C)	0.31 cP

Kırmızı çamurun tane boyut dağılımını belirlemek için Malvern Mastersizer-2000 S Particle Size Analysier cihazı kullanılmış ve elde edilen sonuçlar Şekil 5.4'te verilmiştir. Buna göre, kullanılan kırmızı çamurun d_{50} değerinin 12.8 μ m d_{99} değerinin ise 28.7 μ m olduğu tespit edilmiştir.

Çözeltinin ve filtratın kimyasal analizleri otomatik titrasyon cihazı (Metrohm 809 Titrondo–Potansiometric Titration System) ile yapılmıştır. 6. yıkayıcı alt akım çamuruna yapılan analizlerde çamurdaki Al₂O₃ miktarının 1.5-2.5 g/l, Na₂O miktarının ise 1.5-3.0 g/l olduğu tespit edilmiştir.

ETİ ALÜMİNYUM AŞ-Kalite Kontrol ve Arge

Created by: Express
Last edited: 6.8.2015 11:03:09



Measurement Details

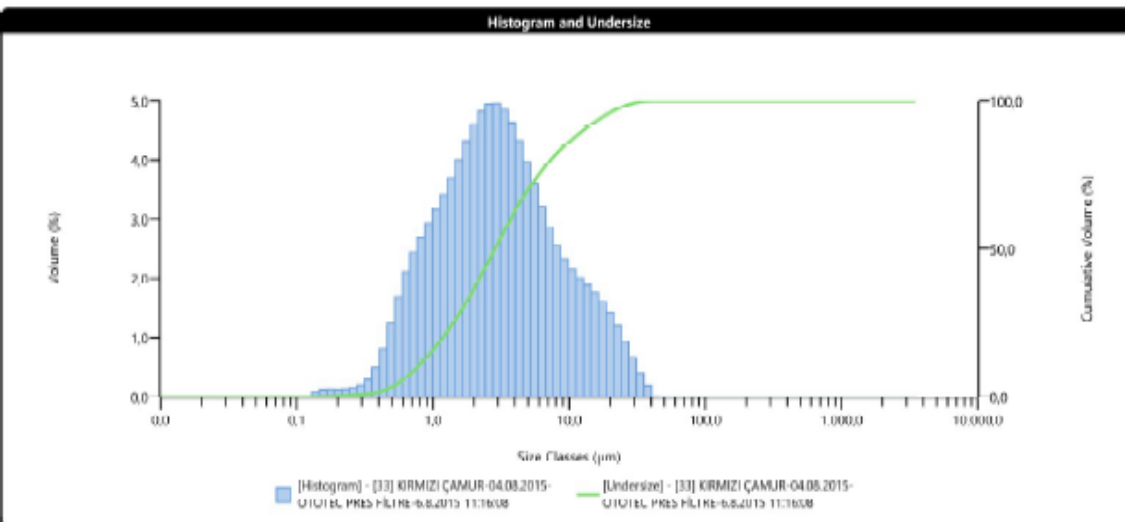
Sample Name	KIRMIZI ÇAMUR-04.08.2015-OTOTEC PRES FILTRE	Measurement Date Time	6.8.2015 11:16:08
Operator Name	Express3	Analysis Date Time	6.8.2015 11:16:08
SOP File Name	KIRMIZI ÇAMUR.msop	Result Source	Edited

Analysis

Particle Name [BROWSE]	Particle Refractive Index 2,590
Dispersant Name Water	Dispersant Refractive Index 1,330
Particle Absorption Index 0,100	Laser Obscuration 2,35 %
Weighted Residual 0,48 %	Scattering Model Mie
Analysis Model General Purpose	Analysis Sensitivity Enhanced

Result

Concentration 0,0005 %	Span 4,207
Uniformity 1,255	Result Units Volume
Specific Surface Area 1276 m ² /kg	Dv (10) 0,769 µm
D [3,2] 1,77 µm	Dv (50) 2,86 µm
D [4,75] 5,05 µm	Dv (90) 12,8 µm
	Dv (97) 22,1 µm
	Dv (99) 38,7 µm



Size (µm)	% Volume In	Size (µm)	% Volume In	Size (µm)	% Volume In	Size (µm)	% Volume In	Size (µm)	% Volume In	Size (µm)	% Volume In
0.0100	0.00	0.0679	0.00	0.460	1.23	3.12	4.84	21.2	1.20	144	0.00
0.0114	0.00	0.0771	0.00	0.523	1.69	3.55	4.63	24.1	0.94	163	0.00
0.0129	0.00	0.0876	0.00	0.594	2.10	4.03	4.32	27.4	0.66	186	0.00
0.0147	0.00	0.0995	0.00	0.675	2.40	4.50	3.97	31.1	0.40	211	0.00
0.0167	0.00	0.113	0.00	0.767	2.69	5.01	3.58	35.5	0.19	240	0.00
0.0189	0.00	0.128	0.09	0.872	2.93	5.62	3.21	40.1	0.00	272	0.00
0.0215	0.00	0.146	0.12	0.991	3.16	6.32	2.86	45.6	0.00	310	0.00
0.0244	0.00	0.166	0.14	1.13	3.41	7.14	2.56	51.8	0.00	352	0.00
0.0276	0.00	0.188	0.12	1.28	3.69	8.08	2.32	58.9	0.00	400	0.00
0.0315	0.00	0.214	0.13	1.45	4.00	9.06	2.14	66.9	0.00	454	0.00
0.0358	0.00	0.242	0.15	1.65	4.32	10.2	2.00	76.0	0.00	516	0.00
0.0407	0.00	0.276	0.19	1.88	4.60	12.7	1.88	86.4	0.00	586	0.00
0.0463	0.00	0.314	0.29	2.13	4.82	14.5	1.76	98.1	0.00	666	0.00
0.0526	0.00	0.357	0.49	2.42	4.95	16.4	1.61	111	0.00	756	0.00
0.0597	0.00	0.405	0.81	2.75	4.95	18.7	1.42	127	0.00	859	0.00

Software Version: 3.10
Instrument Serial Number: MAL1118124 Measurement File: C:\ProgramData\Malvern Instruments\Mastersizer 3000\Workspace\Measurement Data\KIRMIZI ÇAMUR.msop
Malvern Instruments Ltd - www.malvern.com
Page 1 of 1



Şekil 5.4. Kırmızı çamurun tane boyut dağılımı

5.2. Yöntem

Literatür araştırmaları ve susuzlandırma işlemlerinde deneyimli kişi ve firmalarla yapılan görüşmeler neticesinde ETİ Alüminyüm A.ř.'deki mevcut konvansiyonel tipteki tikinerin susuzlandırma performansını artırmak için alternatif susuzlandırma teknikleri ve yöntemleri tespit edilmeye çalışılmıştır. Yapılan tüm deneysel çalışmaların yapılışı ayrıntılı olarak 'Araştırma Sonuçları ve Tartışma' başlığı altında verilmiştir. Kırmızı çamurun sıkıştırılabilme ve bünyesindeki sıvı fazın uzaklaştırılmasında derin tikiner performansını görmek için sedimantasyon testi, vakum altındaki performansını tayin etmek için vakum filtrasyon testi, pilot ölçekli dekantör santrifüj yöntemi ile susuzlandırma testi ve son olarak da pres filtre testleri yapılmıştır. Belirtilen tüm bu testler laboratuvar ve pilot çaplı test ekipmanları ile gerçekteştirilmiştir (Arslan ve ark., 2015).

Derin tikiner sedimantasyon deneylerinde; katı-gram (g/l), pulp spesifik yoğunluğu (g/cm³), katı çamurun spesifik yoğunluğu (g/cm³), pulpun sıcaklığı (°C), pH, çamurun tane boyutu (d₅₀-µm), çamurun sıvı faz kostik içeriği (g/l), kullanılan flokülantın cinsi ve miktarı gibi parametlerin analiz ve tayinleri yapılmıştır. Yapılan deneylerin performansını ölçmek ve değerlendirmek için; flokülant miktarı (g/ton çamur), askıda kalan katı madde miktarı (mg/l), bulanıklık (NTU), çökme hızı (m/h), çökme (slump) testi ve akma gerilmesi (yield stress) (Pa) testleri yapılarak, elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir.

Vakumlu tambur filtre deneylerinde; koagulant (un) miktarı (t/g ton çamur), beslenen çamurun katı konsantrasyonu (g/l), katı miktarı (%), sıcaklığı (°C), yoğunluğu (t/m³), katı çamurun spesifik yoğunluğu (t/m³), kırmızı çamur tane boyutu (d₅₀) (µ), çözeltilinin spesifik yoğunluğu (t/m³), beslenen çamurun Al₂O₃ içeriği (g/l), Na₂O içeriği (g/l), çamur yıkama suyu, kondensat sıcaklığı gibi parametlerinin analiz ve tayinleri yapılmıştır. Yapılan deneylerin performansını ölçmek ve değerlendirmek için ise; filtre bezi türü, kek oluşum süresi (saniye), kek çatlağı oluşma süresi (saniye), kuruma süresi (saniye), süzme vakumu (bar), kurutma vakumu (bar), filtrat miktarı (ml), filtrat katı miktarı (mg/l), yıkama süresi (saniye), yıkama suyu miktarı (ml), yıkama suyu çeşidi, yıkama suyu sıcaklığı (°C), kek içerisindeki yıkanabilir kostik miktarı (%), kek kalınlığı (mm), kek nemi (%), katı miktarı (%), filtrasyon alanı (cm²), teknik zaman, (saniye), çevrim süresi (saniye), filtre kapasitesi (kg/m²/h) ve tamburun hazneye batma oranı (%) parametleri incelenmiştir.

Dekantör santrifüj deneylerinde; pulp miktarı (g/l), sıvı / katı oranı, tane boyutu (d_{50} - μm), pulp sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$), pH, elektriksel iletkenlik ($\mu\text{S}/\text{cm}$), yüzey alanı (m^2/g), kırmızı çamur katı yoğunluğu (g/cm^3), kırmızı çamur pulp yoğunluğu (g/cm^3), renk, sıvı faz Al_2O_3 ve Na_2O (g/l) parametlerinin analiz ve tayinleri yapılmıştır. Yapılan deneylerin performansını ölçmek ve değerlendirmek için sentratta katı miktarı (%), kekte katı miktarı (%) sonuçları incelenmiştir.

Pres filtre deneylerinde; beslenen çamurun katı konsantrasyonu (g/l), beslenen çamurun yoğunluğu (g/cm^3), katı çamurun spesifik yoğunluğu (g/cm^3), kırmızı çamur tane boyutu (d_{50} - μm), pulpun spesifik yoğunluğu (g/cm^3), beslenen çamurun Na_2O içeriği, beslenen pulpun sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$), kırmızı çamur miktarı (ton/saat), proses yıkama suyu tüketimi (m^3/ton), kondensat sıcaklığı parametlerinin analiz ve tayinleri yapılmıştır. Yapılan deneylerin performansını ölçmek ve değerlendirmek için filtrasyon alanı (m^2), kek yıkama süresi (saniye), kek kurutma süresi (saniye), membran sıkıştırma süresi, membran basıncı (bar), toplam filtrasyon çevrim süresi (dakika), kek kalınlığı (mm), nemli kek ağırlığı (kg), kek nemi (%), kekin ayrılma özelliği, filtrat askıda katı miktarı (mg/l), yıkanabilir kostik içeriği (%), kek yıkama suyu miktarı (m^3/ton) ve spesifik filtrasyon hızı ($\text{kg}/\text{m}^2/\text{h}$) sonuçları incelenmiştir.

6. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

Materyal ve yöntem tespiti aşamasından sonra yapılan tüm deneysel çalışmalar ve elde edilen tüm sonuçlar bu bölümde detaylı olarak verilmektedir. Belirlenen tüm alternatif susuzlandırma yöntemlerinin uygulanabilirliği bu bölümde ayrıntılı bir şekilde yer almaktadır.

6.1. Derin Tikiner (Deepcone) Yöntemi Çalışmaları

6.1.1. Sedimentasyon testi

Sedimentasyon testinde amaç, çamurun çökme hızı, çamurun sıkıştırılabilirliği derecesi, süpernatant (üst akım) kalitesi gibi çamurun çökme verilerini tespit etmektir. 6.yıkayıcı tikineri alt akımından alınan kırmızı çamur numunesine ilk olarak % katı, sıvı/katı, yoğunluk tayini, tane boyut dağılımı, pH ve sıcaklık analizleri yapılmıştır. % katı miktarı tespit edilen numune ağırlıkça %4-8 katı miktarı (yaklaşık 50 g/l) olacak şekilde 6. yıkayıcı üst akım çözeltisi ile seyreltilmiştir. Deneylerde kullanılacak flokulantın seçimi ve dozaj miktarı daha önce yapılan testlere göre belirlenmiştir. Buna dayanarak seyreltik pulp karışımına 150 g/ton kuru çamur olacak şekilde sentetik flokülant ilavesi yapılmıştır. Flokülant olarak %0.1'lik Nalco 9779 çözeltisi kullanılmıştır. Sedimentasyon testinde kullanılan kırmızı çamur numunesinin analiz sonuçları Çizelge 6.1'de verilmiştir. Çökme testi öncesinde 2.140 ml'lik kırmızı çamur numunesi özel bir karıştırıcı ile homojen bir karışım haline getirilmiştir. Belirli periyotlarda zamana göre çamurun mezür üzerindeki çökelek hacmi takip edilerek çamurun sıkışma miktarı (compaction) yani, kap içerisindeki çamurun tabana çökerek oluşturduğu hacim miktarı ölçülmüştür. Test başladıktan 15 dakika sonrasında üst akım askıda kalan katı madde miktarı ve bulanıklık (turbidity) tayini için numune alınmıştır. Elde edilen sonuçlar Çizelge 6.2, 6.3 ve Şekil 6.1'de gösterilmiştir.

Buna göre, yapılan sedimentasyon testi sonucundan süpernatanttaki askı katı miktarı 75 mg/l (<100 mg/l), bulanıklığı ise 30 NTU (<50 NTU) olarak tespit edilmiştir. Bu sonuçlara göre üst akım kalitesi Outotec ve FLSmidth filtrasyon firmalarına göre kabul edilebilir değerler içinde kalmıştır. Ayrıca Şekil 6.1'den de anlaşıldığı gibi, başlangıçta hızlı bir çökme ve daha sonra bu çökmenin 380 ml seviyelerinde durduğu görülmüştür. Çökeleğin katı miktarı ise %33 olarak elde edilmiştir.

Çizelge 6.1. Sedimentasyon testinde kullanılan kırmızı çamur numunesinin özellikleri

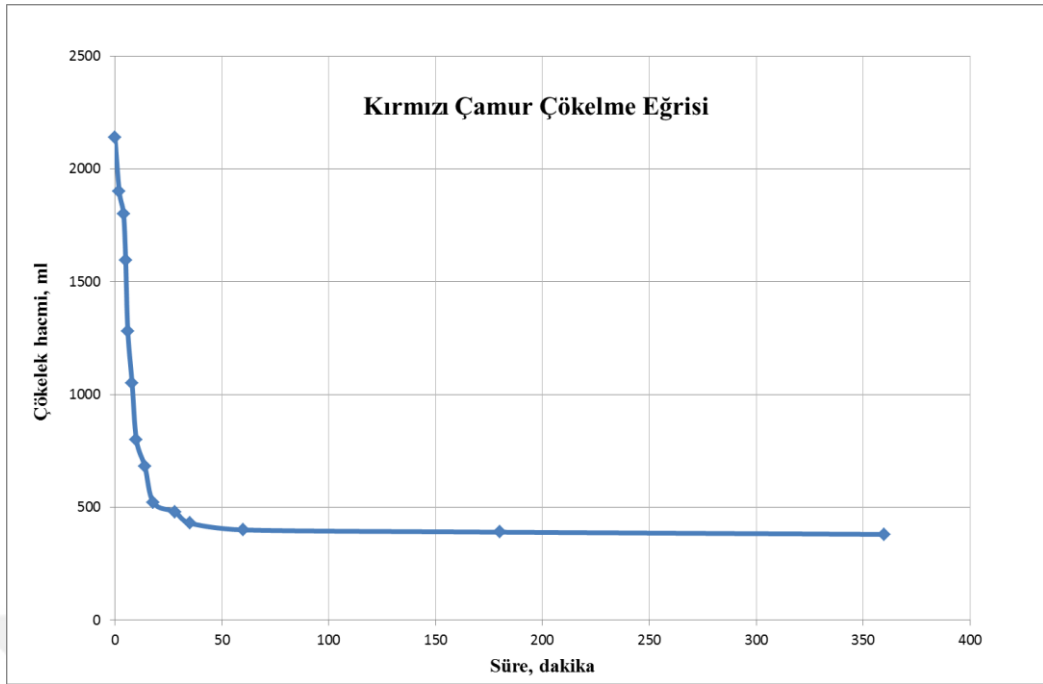
Özellikler	Birim	6. yıkayıcı alt akımı
Katı - Gram	g/l	360
Sıvı / Katı	-	2.5
Katı miktarı	%	28.5
Pulp spesifik yoğunluğu	g/cm ³	1.24
Katı çamurun spesifik yoğunluğu	g/cm ³	3
Pulpun sıcaklığı	°C	25
pH	-	12
Çamurun tane boyutu, d ₅₀	µm	1.6
Çamurun sıvı faz kostik içeriği, Na ₂ O _k	g/l	2.5

Çizelge 6.2. Sedimentasyon testi sonuçları

Süre	Çökelek hacmi	Çökelek katı oranı
dakika	ml	%
0	2140	7.2
2	2000	7.7
4	1900	8.1
5	1800	8.5
6	1595	9.6
8	1280	11.7
10	1050	14.0
14	800	17.9
18	680	20.6
28	520	25.8
35	480	27.6
60	430	30.1
180	400	31.9
360	380	33.2

Çizelge 6.3. Sedimentaston testinden elde edilen sonuçlar

Askıda katı madde miktarı	mg/l	75
Bulanıklık	NTU	30
Çökelek katı miktarı	%	33
Çökme hızı	m/saat	1.05



Şekil 6.1. Kırmızı çamurun zamana bağlı çökme eğrisi

6.1.2. Akma gerilmesi (yield stress) testleri

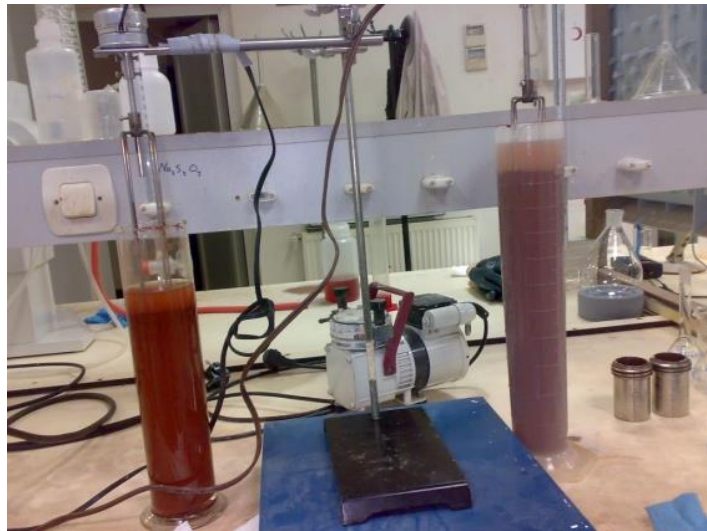
Tikiner dizaynına yön verecek olan kırmızı çamurun reolojisi hakkında bilgi sahibi olmak amacıyla akma gerilmesi testleri yapılmıştır. 5000 ml' lik kaplara alınan kırmızı çamur numunelerine % 0.1'lik 100 g/tonçamur derişimindeki sentetik flokulant eklenip karıştırılmış ve daha sonra kendi halinde çökmesi sağlanmıştır (Şekil 6.2). Yeterli çökme gerçekleştikten sonra süpernatant çözeltisi alınır. Kabın tabanındaki çökmüş olan ve yaklaşık 500 ml civarındaki çökelek ise 1 litrelik mezürlere alınmıştır. Sonrasında Şekil 6.3'te gösterildiği gibi, deney öncesi devir sayısı ayarlanabilen karıştırıcı deney düzeneği montajı yapılmıştır ve bu karıştırma mekanizması ile Tikiner karıştırma taraklarının simüle edilmesi amaçlanmıştır. Hızı 6 devir / saat olacak şekilde ayarlanan karıştırıcı yaklaşık 14 saat süresince karıştırma yapmıştır ve deney düzeneğinde belirli aralıklarla yüzeyde biriken çözelti kısım alınarak pulpten uzaklaştırılmıştır (Şekil 6.4). 14 saatin sonunda karıştırıcı macun hale gelmiş olan çamuru karıştırılmaz hale gelmiştir.



Şekil 6.2. Deneyde kullanılan kırmızı çamur numuneleri



Şekil 6.3. Karıştırıcı mekanizmalı deney düzeneği



Şekil 6.4. Deney esnasından bir görüntü

Deney düzeneğinden elde edilen çamur numuneleri ile çamurun akma gerilmesi (yield stress) değerleri hesaplanmıştır. Akma gerilmesi hesaplamaları iki farklı yöntem ile yapılmıştır. Bunlar:

1. Slump (çökme) testi ile akma gerilmesi hesaplama
2. Vizkozimetre testi ile akma gerilmesi hesaplama

6.1.2.1. Slump (çökme) testi ile akma gerilmesi hesaplama

Şekil 6.5 ve 6.6'da gösterilen ve belirli standartları olan bir silindirin içine konulan çamurun silindir çekildikten sonraki davranışını ölçmeye yarayan teste slump (çökme) testi adı verilmektedir. Bu testte, kalıbın iç yüzeyi ile taban plakası yüzeyde serbest su kalmayacak şekilde nemlendirilir ve kalıp yatay konumdaki taban plakası / yüzeyi üzerine yerleştirilir. Çamurun doldurulması esnasında tabandan çamurun akmaması için üzerine baskı uygulanır. Hazırlanan çamur tek seferde slump konisinin içine boşaltılır. Tamamen silindirin dolu olmasına dikkat edilir. İnce bir şiş yardımıyla içeride kalabilecek olan hava boşlukları alınarak en son silindir üst yüzeyi mastarlanır. Çökme konisini çekme işlemi birkaç saniyede sabit bir hızla yapılır ve deney kesintisiz olarak 150 saniyede tamamlanır. Çökme konisi ile beton arasında oluşan yükseklik farkı 3 farklı noktadan ölçülerek belirlenir. Bu ölçümlerin ortalaması alınarak çökme miktarı (uzunluk olarak) ölçülür. Örneğin; çamur 3 cm çökmüşse, "Slump 3" denir. Çamur ne kadar akışkan ise, slump o kadar fazladır. Elde edilen bu uzunluk ile aşağıda gösterilen eşitlikler kullanılarak akma gerilmesi (yield stress) hesaplanır.

$$s' = 1 - 2\tau_y (1 - \ln(2\tau_y)) \quad (6.1)$$

$$\tau_y' = \frac{\tau_y}{\rho \cdot g \cdot H} \quad (6.2)$$

$$\tau_y = \tau_y' \cdot \rho \cdot g \cdot H \quad (6.3)$$

$$s' = \frac{s}{H} \quad (6.4)$$

$$\tau_y' = \frac{1}{2} - \frac{1}{2} \sqrt{s'} \quad (6.5)$$

τ_y' = Akma gerilmesi (Yield stress), boyutsuz

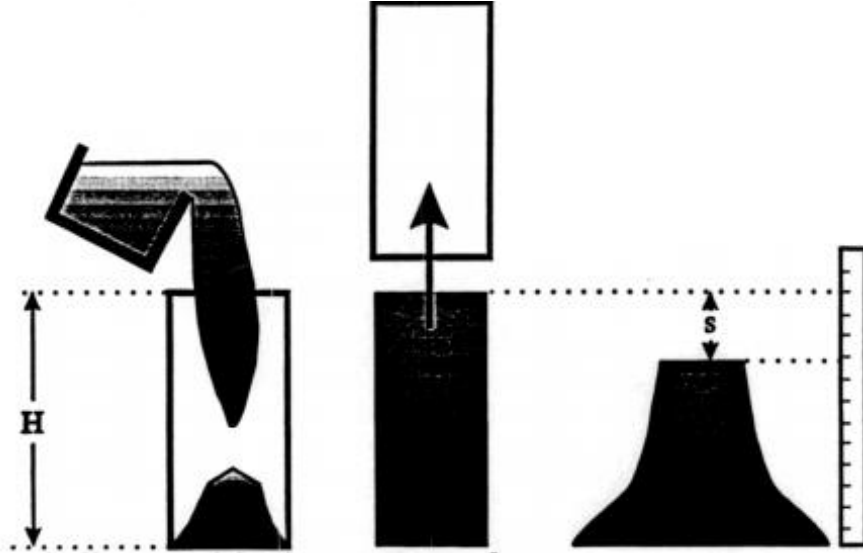
s = Çökme yüksekliği (slump), cm

τ_y = Akma gerilmesi (Yield stress)

ρ = Pulp yoğunluğu

s' = Çökme (slump), boyutsuz

H = Silindir yüksekliği, (önerilen yükseklik = 10 cm) (Pashias ve ark., 1996).



Şekil 6.5. Slump testi (Pashias ve ark., 1996)

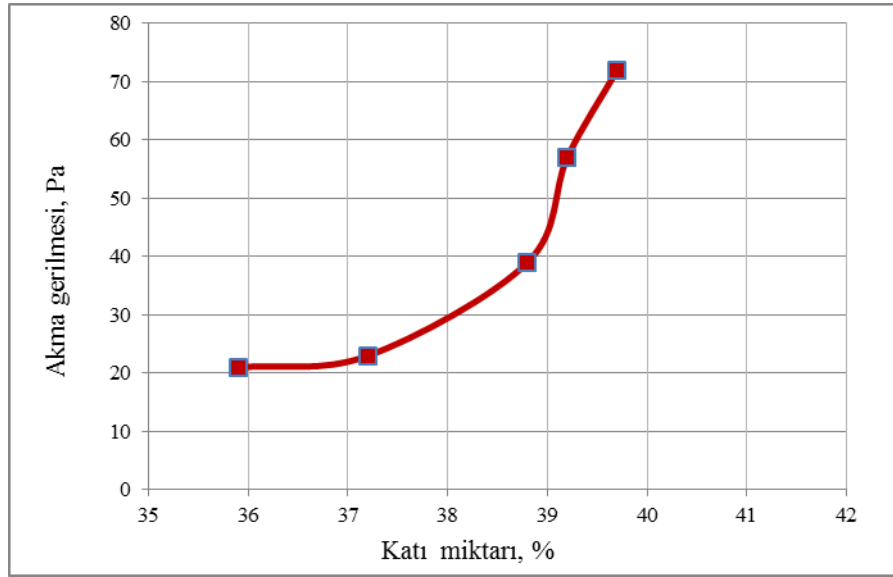


Şekil 6.6. Laboratuvarda yapılan kırmızı çamur slump testi görüntüsü

Yapılan sedimentasyon testinden elde edilen numune ile belirli oranlarda seyreltme yapılarak farklı ölçülerde 's' (çökme) yükseklikleri elde edilmiş ve yukarıdaki eşitlikler kullanılarak Çizelge 6.4'te belirtilen akma gerilmeleri hesaplanmıştır. Akma gerilmesi değerleri ile buna karşılık gelen % katı miktarları arasındaki ilişki ise Şekil 6.7'de gösterilmiştir. Şekil 6.7'den de anlaşılacağı gibi, çamurdaki katı miktarı ile akma gerilmesi arasında bir bağıntının olduğu ve artan katı miktarı ile akma gerilmesinin de arttığı tespit edilmiştir. Ayrıca deney sırasında aşamalı olarak çamura 6. yıkayıcı üst akımı eklenerek seyreltme işlemi yapılmış ve her aşamada küçük numuneler alınarak % katı miktarı belirtilmiştir. Şekil 6.8' de ise elde edilen sonuçlar gösterilmektedir.

Çizelge 6.4. Akma gerilmesi hesaplamaları

	Ölçülenler			Katı Miktarı	Pulp yoğunluğu	H, silindir yüksekliği	s, slump	Boyutsuz		Akma Gerilmesi	Hesaplanan s'	Hesaplanan t'	Akma Gerilmesi
	Yaş ağırlık, g	Dara	Kuru ağırlık, g					%	kg/m ³				
Başlangıç	6,44	0,45	3,5	50,9	1342	0,1	0,068	0,679	0,0881	116	0,6788	0,0480	63
1. seyreltme	46	5	30	61,0	1439	0,1	0,057	0,570	0,1225	173	0,5691	0,0740	104
2. seyreltme	47	5	30	59,5	1424	0,1	0,030	0,300	0,2261	316	0,3000	0,1669	233
3. seyreltme	48	5	30	58,1	1410	0,1	0,035	0,350	0,2042	282	0,4781	0,1000	138
4. seyreltme	49	5	30	56,8	1397	0,1	0,040	0,400	0,1838	252	0,4781	0,1000	137
5. seyreltme	50	5	30	55,6	1385	0,1	0,045	0,450	0,1646	223	0,4781	0,1000	136
6. seyreltme	51	5	30	54,3	1373	0,1	0,050	0,500	0,1464	197	0,4781	0,1000	135
7. seyreltme	52	5	30	53,2	1362	0,1	0,055	0,550	0,1292	172	0,4781	0,1000	134
8. seyreltme	53	5	30	52,1	1352	0,1	0,060	0,600	0,1127	149	0,4781	0,1000	133
9. seyreltme	54	5	30	51,0	1342	0,1	0,065	0,650	0,0969	127	0,6495	0,0545	72
10. seyreltme	55	5	30	50,0	1333	0,1	0,070	0,700	0,0817	107	0,6999	0,0436	57
11. seyreltme	56	5	30	49,0	1325	0,1	0,075	0,750	0,0670	87	0,7499	0,0339	44
12. seyreltme	57	5	30	48,1	1316	0,1	0,080	0,800	0,0528	68	0,7999	0,0251	32
13. seyreltme	58	5	30	47,2	1309	0,1	0,085	0,850	0,0390	50	0,8499	0,0172	22
14. seyreltme	59	5	30	46,3	1301	0,1	0,090	0,900	0,0257	33	0,9000	0,0102	13
15. seyreltme	60	5	30	45,5	1294	0,1	0,095	0,950	0,0127	16	0,9499	0,0044	6



Şekil 6.7. Laboratuvarında yapılan slump testlerinden elde edilen akma gerilmesi değerleri

	<p>Slump= 6.5 cm Katı miktarı= % 39.7 Hesaplanan Yield Stress = 72 Pa</p>
	<p>Slump= 7.0 cm Katı miktarı= % 39.2 Hesaplanan Yield Stress = 57 Pa</p>
	<p>Slump= 7.7 cm Katı miktarı= % 38.8 Hesaplanan Yield Stress = 39 Pa</p>

	<p>Slump= 8.4 cm Katı miktarı= % 37.2 Hesaplanan Yield Stress = 23 Pa</p>
	<p>Slump= 8.5 cm Katı miktarı= % 35.9 Hesaplanan Yield Stress = 22 Pa</p>

Şekil 6.8. Laboratuvarda yapılan slump test çalışmaları

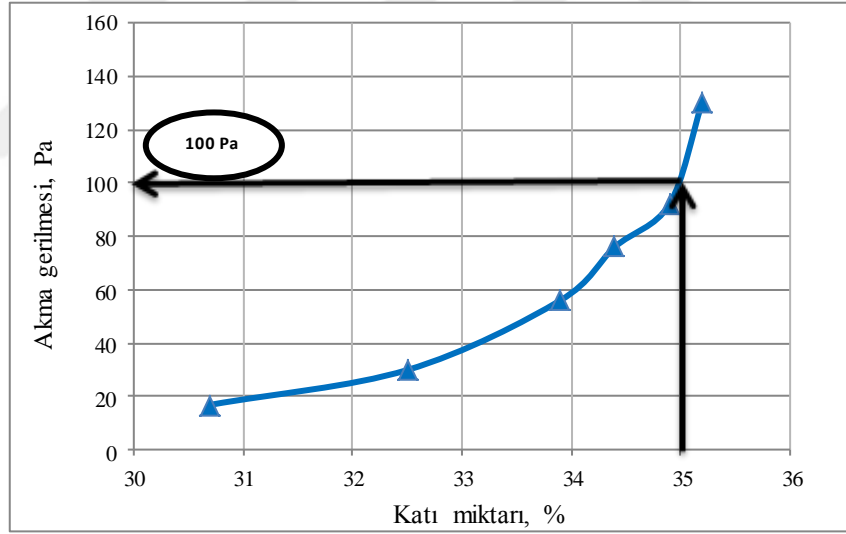
6.1.2.2. Viskozimetre ile akma gerilmesi hesaplama

Akma gerilemesi yield stress hesaplama yönteminin diğer bir seçeneği ise vizkozimetre kullanılarak yapılmaktadır. Bu amaç doğrultusunda Amerikan Westech firması ile ortak bir çalışma gerçekleştirilmiştir. 6. yıkayıcı çamurunun Westech firmasına ait Amerikadaki laboratuvarında vizkozimetre ile akma gerilmesi değerleri ölçülüp hesaplanmıştır. Deneyde Haake VT550 Viscometer kullanılmıştır. Viskozimetreden elde edilen veriler bir bilgisayar programına aktarılmış ve yapılan bir excel programı sayesinde kırmızı çamurun akma gerilmeleri hesaplanmıştır. Şekil 6.9'da yapılan deney çalışmasından bir görüntü gösterilmektedir.

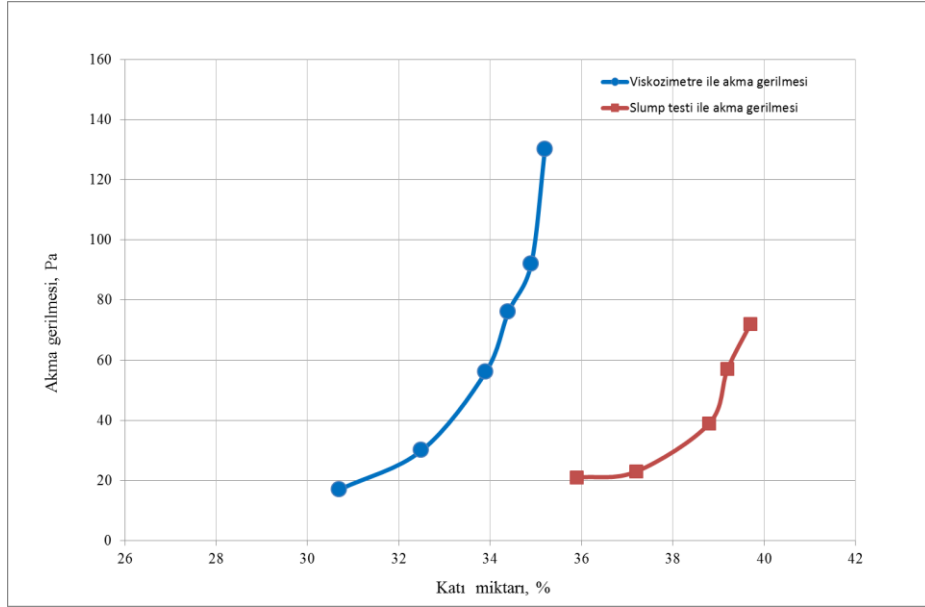
Akma gerilmesi eğrileri çizilirken öncelikle sedimentasyon deneyi ile elde edilen numunenin başlangıçtaki % katı miktarı tespit edilmiştir. Daha sonra aşamalı olarak çamurun seyreltilmesi sağlanmış ve her aşamada küçük numuneler alınarak % katı analizleri gerçekleştirilmiştir. Hesaplamalar yapılarak elde edilen akma gerilme değerleri Şekil 6.10'da gösterilmiştir. Şekil 6.11'de ise her iki yöntemle elde edilen akma gerilmesi ve buna karşılık gelen % katı miktarı gösterilmektedir. Şekil 6.11'de görüldüğü gibi, tikiner dizayn hesaplamalarında kullanılan operasyonel (işletmedeki dizayn değeri) akma gerilmesi değeri 100 Pa olarak alındığı takdirde tikiner alt akımından alınacak çamur katısının yaklaşık %35 olacağı söylenebilir. Bu değer dikkate alınarak tikiner alt akımının %33-37 katılık içereceği kabul edilerek hesaplama yapılır.



Şekil 6.9. Haake VT550 vizkozimetre ile yapılan akma gerilmesi deneyi



Şekil 6.10. Viskozimetre ile yapılan testlerden elde edilen akma gerilmesi değerleri

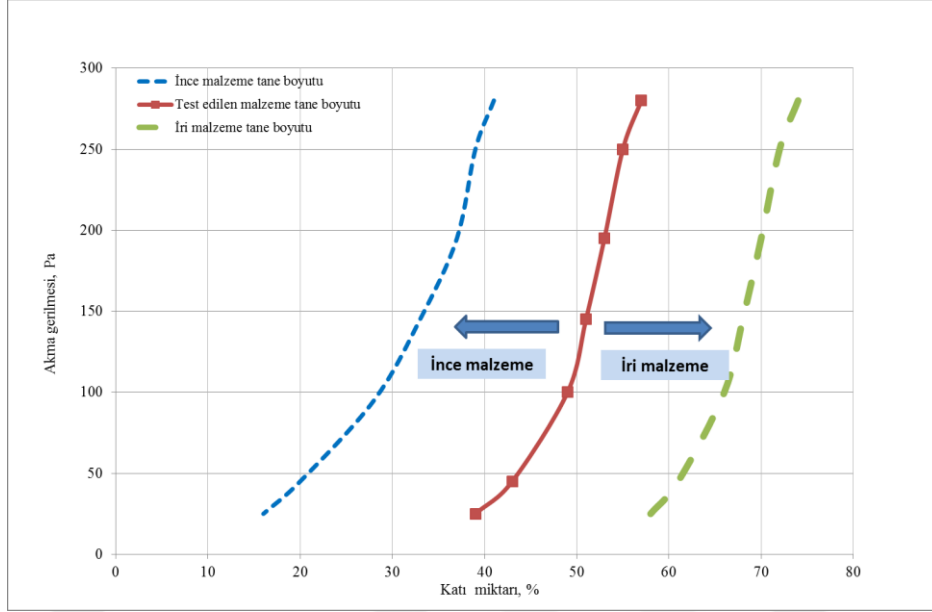


Şekil 6.11. Viskozimetre ve slump yöntemi ile yapılan akma gerilmesi testlerinin karşılaştırılması

Tikiner hesaplamalarında dikkate alınması gereken diğer önemli bir parametre ise malzemenin tane boyut dağılımıdır. Deneylerde kullanılan kırmızı çamurun tane boyut dağılımı değerleri Çizelge 6.5'te verilmiştir. Tane boyut dağılımının akma gerilmesi ve % katı miktarına etkisi ise Şekil 6.12'de gösterilmektedir. Buna göre, malzemenin tane boyutu küçüldükçe grafik sola doğru kaymakta ve % katı miktarı azalmaktadır. Artan tane boyutu ile % katı miktarı da artmaktadır. Yani kullanılan malzemenin boyutu büyük olduğu zaman 100 Pa akma gerilmesine karşılık gelen alt akım % katı miktarı artmaktadır. Tane boyut dağılımı grafiği dikkate alındığında tikiner dizaynına etkisinin büyük önem taşıdığı açıkça görülmektedir.

Çizelge 6.5. Deneylerde kullanılan kırmızı çamurun tane boyut dağılımı

	1.numune	2.numune
Tane boyut aralığı	μm	μm
d_{99}	13.7	11.2
d_{80}	3.9	3.6
d_{50}	1.6	1.6
d_{20}	0.6	0.6



Şekil 6.12. İri ve ince boyutlu kırmızı çamurun katı oranına bağlı olarak akma gerilmesinin değişimi

Derin tikiner yönteminden kazanılan sonuçlar:

- Yapılan çalışmalar neticesinde Eti Alüminyum A.Ş.'ye ait kırmızı çamuruna derin tikiner yönteminin (Deepcone) uygulanması halinde %35 katı alınabileceği belirlenmiştir. Derin tikinere beslenen pulpun katı oranı %5-8 olduğu kabul edilirse, tikinerin alt akım katı miktarı prosesteki dalgalanmalar da dikkate alınarak %33-40 olacak şekilde dizayn edilmelidir.
- Akma gerilmesi değeri 100 Pa olarak dikkate alındığında ise bunun standart dizayn değeri 50-150 Pa olacak şekilde dikkate alınmalıdır.
- Yıkama devresinin son kısmına derin tikiner konulduğunda çamur yıkama oranında düşme gerçekleşebileceği ve yıkama suyu kullanımından tasarruf edilebileceği kanaatine varılmıştır. Böylece, son yıkayıcının sıvı / katı oranı düşecek ve beraberinde çamurun sıvı fazında bulunan alümina ve kostik kayıpları da azalacaktır.
- Daha öncede bahsedildiği gibi, kırmızı çamur barajındaki doluluk sıvı hacminden kaynaklanmaktadır. Derin tikinerden çıkan macunumsu yapıdaki katı malzemenin özel dizayn edilmiş basınçlı pompalarla (PDP, positive displacement pump) baraja basılması ile baraj ömrü uzatılmış olacaktır.

6.2. Vakumlu Tambur Filtre Yöntemi ile Susuzlandırma Çalışmaları

Kırmızı çamur yıkama devresindeki 6. yıkayıcı tikineri alt akım çamurunu susuzlandırma çalışmalarında uygulanan diğer bir yöntem de vakumlu tambur filtrelerdir. Sürekli olarak dönen bir tamburun vakum altında çalıştırılarak pulpun sıvı ve katı fazının birbirinden ayrılması esasına dayanır. Sürekli olarak çalışması bu sistemin avantajları arasındadır.

Vakumlu tambur filtre deneyleri laboratuvarında Şekil 6.13'te gösterilen deney düzeneği ile gerçekleştirilmiştir. 6. yıkayıcı alt akımından alınan numunelerin vakum testine başlamadan önce analizleri yapılmıştır. % katı miktarı, sıvı faz kostik ve alüminyum değerlerinin analizi yapılmış ve elde edilen sonuçlar Çizelge 6.6'da gösterilmiştir. Diğer taraftan, deneye başlamadan önce pulpa 700 g/tonçamur olacak şekilde koagülant (un+su+sodyum alüminat karışımı) ilave edilmiştir. Döner tamburlu vakum filtrelerinde eğer kırmızı çamur filtrasyonu yapılacaksa pulpe koagülant / flokülant eklenmesi gerekmektedir. Burada amaç, filtrasyona yardımcı olmaktır. Koagülant / flokülant ilavesi kek yüzeyinde oluşacak çatlakların önüne geçilmesinde de çok etkilidirler. Filtrasyon sırasında oluşan çatlaklar vakum değerini düşürdüğü için filtrasyon kapasitesini ve çıkan kekin nem yüzdesini olumsuz yönde etkilemektedir. Ayrıca, deneylerde yaklaşık 0.65 bar vakum yapabilen vakum pompası, filtrasyon yapılmasını sağlayacak özel bir başlık ve filtre bezi kullanılmıştır.



Şekil 6.13. Vakum filtrasyon deney düzeneği

Çizelge 6.6. Deneyleerde kullanılan 6. yıkayıcı çamurunun analiz sonuçları

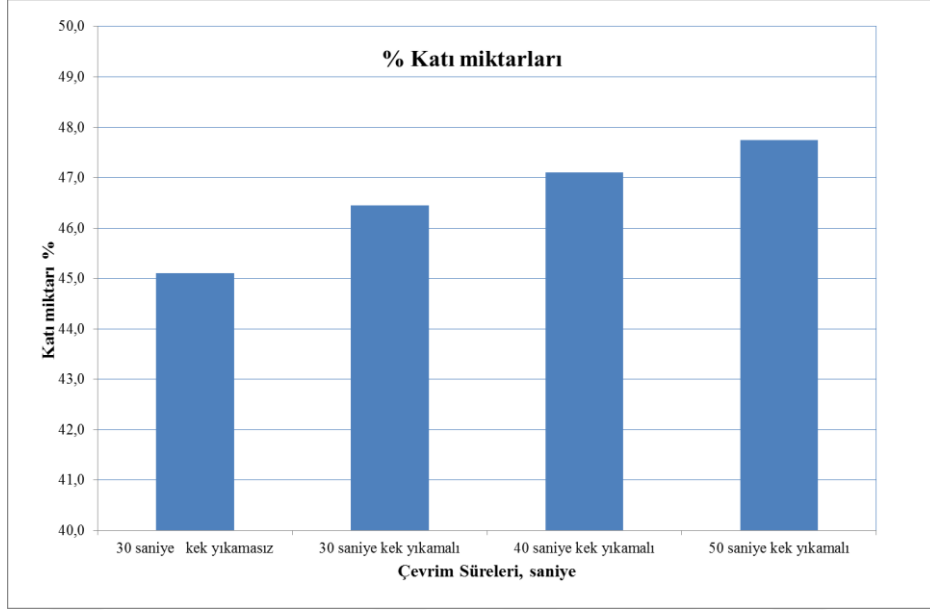
Kırmızı Çamur		
Dizayn Parametreleri	Birim	6. yıkayıcı
Beslenen çamurun katı konsantrasyonu	g/l	375
Beslenen çamurun katı miktarı	%	30
Beslenen çamurun sıcaklığı	°C	80
Beslenen çamurun yoğunluğu	t/m ³	1.24
Katı çamurun spesifik yoğunluğu	t/m ³	3.03
Kırmızı çamur tane boyutu, d50	µm	2.35
Beslenen çamurun Al ₂ O ₃ içeriği	g/l	2.38
Beslenen çamurun Na ₂ O içeriği	g/l	2.04
Kondensat sıcaklığı	°C	80

Vakum filtrasyon çalışmaları koagülant ve flokülant kullanılarak iki farklı şekilde yapılmıştır. İlk olarak çamura koagülant ilavesi yapılarak 8 ayrı test gerçekleştirilmiştir. Yapılan testlerde filtrasyon vakumları, kek oluşum süreleri, kuruma süreleri, yıkama süreleri, yıkama suyu miktarları, oluşan keklerin kalınlıkları, filtrat miktarları ve kalitesi, kekin % nemleri, toplam filtrasyon süreleri, filtrasyon kapasitesi gibi parametreler dikkate alınmıştır.

6.2.1. Sadece koagülant kullanılarak yapılan vakum filtrasyon deneyleri

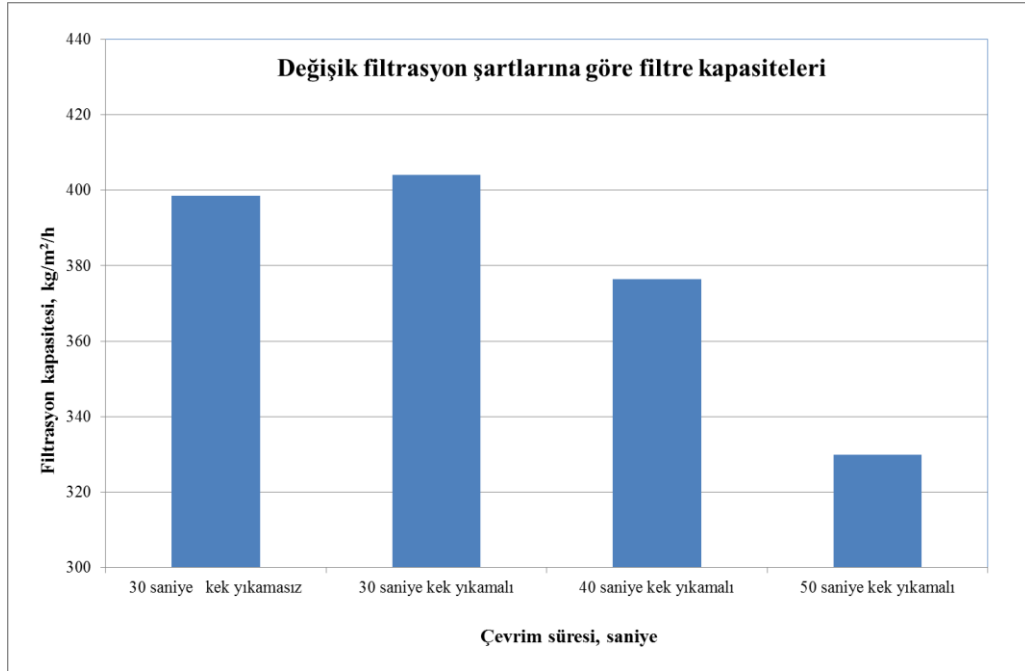
Yüzde katı miktarı bilinen ve içine yaklaşık 700 g/tonçamur olacak şekilde koagülant karıştırılan pulp, vakum pompası çalışır halde iken hazneye dökülmüştür. Filtrasyonun yapılacağı kabın içerisine yerleştirilen filtre bezinin filtrasyon alanı 92.7 cm² dir. Bu arada yapılan tüm bu işlemlerin zamanları bir kronometre yardımıyla not edilmiştir. Belirli bir süre sonra kabın içerisindeki sıvı hacim bitmiş ve kek oluşum süresi kaydedilmiştir. Daha sonra, vakum altında oluşan kek için farklı sürelerde kuruma zamanları denenmiştir. Kuruma süresi boyunca oluşan kek çatlakların oluşup oluşmadığı iyi gözlemlenmiştir. Çünkü filtrasyon süresi boyunca kek yüzeyinde çatlaklar oluşursa vakum düşeceğinden çok sağlıklı bir filtreleme yapılmış olmaz. Böylelikle istenilen düşük nem değerlerine ulaşamaz. Çatlak oluşumunu engellemek için koagülant ve flokülant miktarları iyi ayarlanmalıdır.

Vakum testinde düşük nemin yanında kek ile atılacak kostik miktarının da en düşük seviyede olması gerekmektedir. Bunu sağlamak için ise kekin yıkanması gerekmektedir. Bu sebeple test yapılırken kuruma aşamasından sonra proseste kullanılan kondensat (sıcak proses suyu) suyu ilave edilmiştir. Kullanılan yıkama suyu



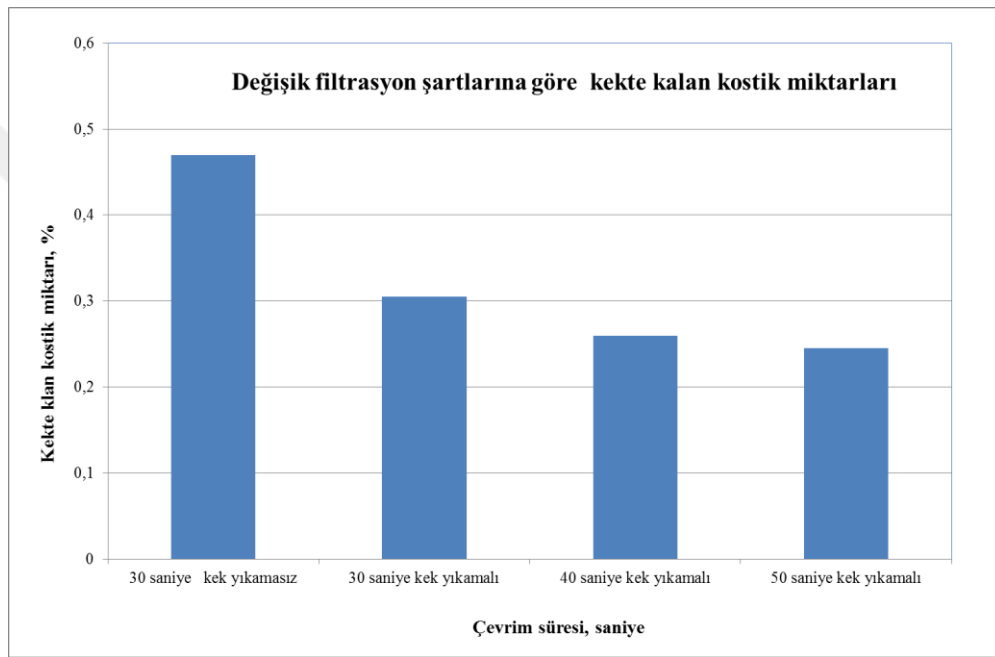
Şekil 6.14. Koagülant ilaveli çamurun vakum testi ile susuzlandırılması sonucu elde edilen % katı miktarları

Şekil 6.15'te ise değişik filtrasyon şartlarına göre elde edilen filtrasyon kapasite değerleri gösterilmektedir. Kek yıkamalı sisteme geçildikçe ve kek yıkama süresi ile miktarının artması sonucunda filtrenin çevrim süresinin uzadığı, buna karşılık olarak da filtrasyon kapasitesinin düştüğü görülmektedir. Yapılan çalışmaların neticesinde yaklaşık 320 ile 400 kg/m²/h arasında bir filtrasyon hızı veya kapasitesi elde edilmektedir.



Şekil 6.15. Değişik filtrasyon şartlarına göre filtre kapasiteleri

Laboratuvarda yapılan vakum filtrasyon testlerinde takip edilmesi gereken önemli parametrelerden biri de kekte kalan ve geriye kazanılabilecek sıvı fazdaki kostik miktarıdır. Şekil 6.16'da yapılan deneyler sonucu elde edilen keklere kalan yıkanabilir kostik miktarları gösterilmektedir. Şekil 6.16' da görüldüğü gibi, yıkama işleminin yapılmadığı testlerde yıkanabilir kostik miktarı % 0.5 civarında iken, yıkamalı testlerde yıkama suyu oranına göre bu miktar %0.18 değerlerine kadar azalmıştır. Buna göre, kostik kazanımı isteniyorsa vakumlu tambur filtrelerde yıkama işleminin mutlaka yapılması gerektiği anlaşılmaktadır.



Şekil 6.16. Elde edilen keklere kalan kostik miktarları

6.2.2. Koagülant ve flokülantın birlikte kullanıldığı deneyler

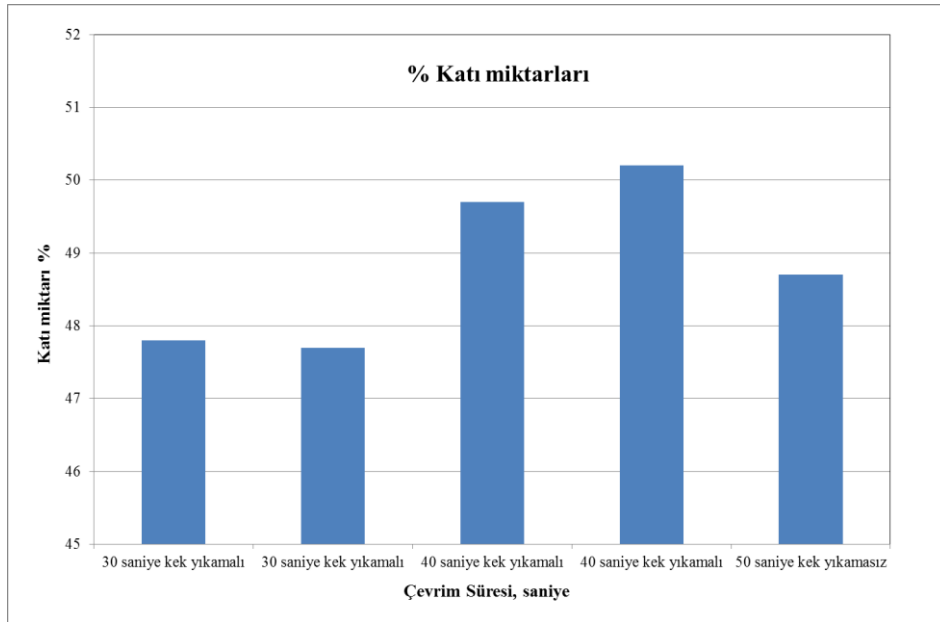
Altıncı yıkayıcı kırmızı çamuruna 200 g/tonçamur olacak şekilde Nalco 9779 sentetik flokülant ve koagülant ilavesi yapılmıştır. Böylece, sentetik flokülant ilavesinin çamurda ne gibi farklılıklara yol açacağı, çamurun filtrelenebilirliğini nasıl etkileyeceği ve çamurun % nem miktarını ne kadar azaltacağı belirlenmiştir. Deneylerde kullanılan kırmızı çamur numunesinin analiz sonuçları Çizelge 6.8'de yapılan tüm deneylerin sonuçları ise Çizelge 6.9'da verilmiştir. Elde edilen sonuçlardan yola çıkarak belirlenen çevrim süresine bağlı olarak % katı miktarları ise Şekil 6.17'de gösterilmiştir. Buna göre, % 47.7 ile %50.3 arasında katı değerleri elde edilebilmiştir. Sonuç olarak, koagülant+flokülant ilave edilerek yapılan vakum filtrasyon deney sonuçlarının sadece koagülant kullanılarak yapılan deney sonuçlarına göre daha iyi olduğu görülmektedir.

Çizelge 6.8. Deneylerde kullanılan 6. yıkayıcı çamurunun analiz sonuçları

Kırmızı Çamur		
Dizayn Parametreleri	Birim	6. yıkayıcı
Beslenen çamurun katı konsantrasyonu	g/l	525
Beslenen çamurun katı miktarı	%	37
Beslenen çamurun sıcaklığı	°C	80
Beslenen çamurun yoğunluğu	t/m ³	1.36
Katı çamurun spesifik yoğunluğu	t/m ³	3.03
Kırmızı çamur tane boyutu, d50	µm	2.35
Beslenen çamurun Al ₂ O ₃ içeriği	g/l	2.71
Beslenen çamurun Na ₂ O içeriği	g/l	2.42
Kondensat sıcaklığı	°C	80

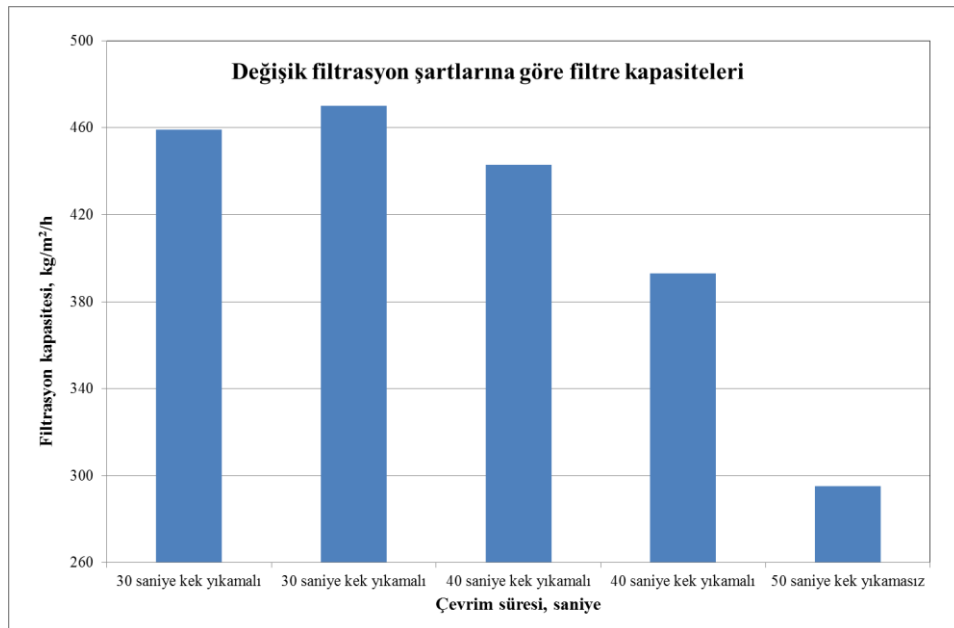
Çizelge 6.9. Flokülant ve koagülant eklenerek yapılan testlerin sonuçları

Test No	Birim	1	2	3	4	5
Beslenen katı miktarı	%	37	37	37	37	37
Sıcaklık	°C	80	80	80	80	80
Filtre bezi		N324 FC	N324 FC	N324 FC	N324 FC	N324 FC
Kek oluşum süresi	saniye	10	10	13	13	13
Kek çatlağı oluşma süresi		-	-	-	-	-
Kuruma süresi	saniye	11	11	15	15	30
Süzme vakumu	bar	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50
Kurutma vakumu	bar	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50
Filtrat miktarı	ml	19	21	35	32	23
Filtrat katı gramı	mg/l					
Yıkama süresi	saniye	4	4	5	5	0
Yıkama suyu miktarı	ml	7,7	7,6	5,3	4,4	0
Yıkama suyu çeşidi		kondensat	kondensat	kondensat	kondensat	-
Yıkama suyu sıcaklığı	°C	80	80	80	80	80
Kek içerisindeki kostik miktarı	%	0,30	0,27	0,22	0,25	0,51
Kek Kalınlığı	mm	5	5	7	6	6
Kekin ıslak ağırlığı	g	74,3	73,4	92,4	81,3	77,0
Kekin kuru ağırlığı	g	35,6	35	45,9	40,9	37,5
Nem	%	52,1	52,3	50,3	49,7	51,3
Kekin Katı miktarı	%	47,9	47,7	49,7	50,3	48,7
Filtrasyon alanı	cm ²	92,7	92,7	92,7	92,7	92,7
Teknik zaman	saniye	5	5	7	7	7
Çevrim Süresi	saniye	30	30	40	40	50
Filtre Kapasitesi	kg/m ² /h	459	470	443	393	295
Tamburun hazneye batıklık oranı	%	30	30	30	30	30

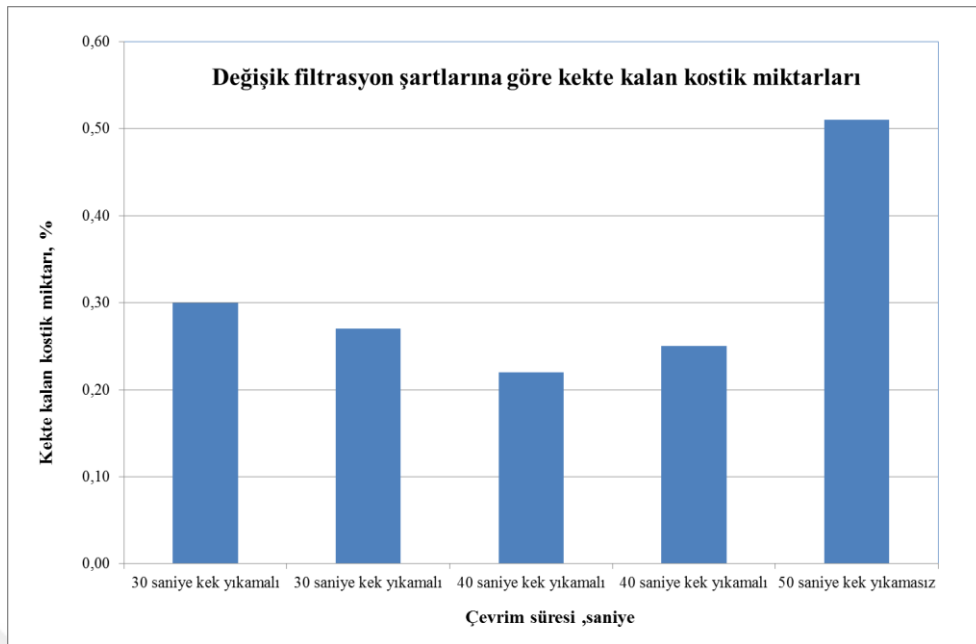


Şekil 6.17. Flokülant ve koagülanlı çamurun vakum testi ile elde edilen % katı miktarları

Farklı çevrim sürelerine göre elde edilen filtrasyon kapasiteleri ise Şekil 6.18’de verilmiştir. Şekil 6.18’de görüldüğü gibi, bu testlerde de kek yıkamalı sisteme geçildikçe ve kek yıkama süresi ile miktarının artması sonucunda filtrenin çevrim süresi artmakta ve buna karşılık olarak da filtrasyon kapasitesi düşmektedir. 295 ile 470 $\text{kg/m}^2/\text{h}$ aralığında bir filtrasyon hızı veya kapasitesi elde edilmiştir. Şekil 6.19’da da yıkanabilir kostik değerleri gösterilmekte olup, kek yıkama işleminin etkisi yine burada da açıkça görülmektedir. Şekil 6.19’ dan da anlaşılacağı gibi, yıkama yapılmadığı zaman % 0.5 civarında kekte kostik kalmaktadır.

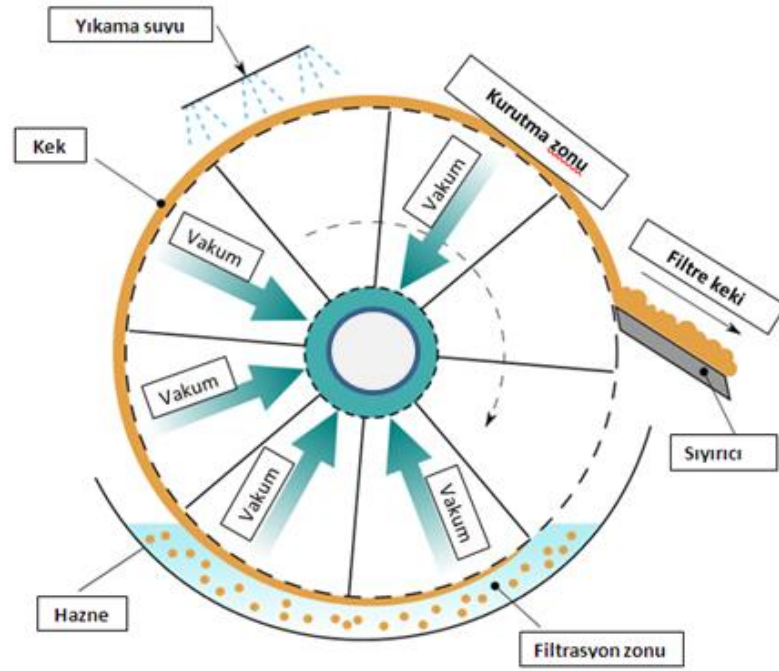


Şekil 6.18. Değişik filtrasyon şartlarına göre filtre kapasiteleri



Şekil 6.19. Elde edilen keklerde kalan kostik miktarı sonuçları

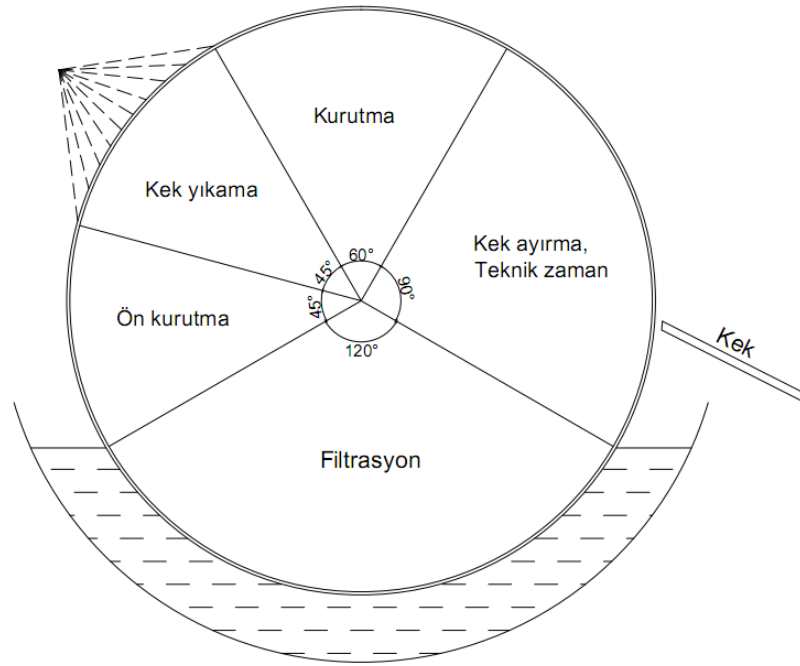
Deneysel çalışmalardan elde edilen veriler yardımıyla vakumlu tambur filtrenin çevrim basamaklarının nasıl dizayn edileceğine karar verilebilmektedir. Şekil 6.20’de döner tamburlu bir filtrenin zonları gösterilmektedir. Buna göre, birinci ve ikinci aşamada yapılan testlerden elde edilen veriler yardımıyla tamburun filtrasyon zonu, yıkama zonu, kurutma zonu ve kek ayırma zonu ile ilgili hesaplamalar yapılmıştır. Bunun için, laboratuvarında yapılan deneylerde her bir aşamanın süreleri kaydedildikten sonra toplam çevrim süresi hesaplanmıştır. Çalışmalarda 30,40 ve 50 saniyelik çevrim süreleri belirlenmiştir. 360 derecelik bir tamburun bu sürelerle karşılık gelen filtrasyon bölgesi, kuruma bölgesi, yıkama bölgesi ve kekin alınması bölgesi açıları hesaplanmıştır. Böylelikle tamburdaki bu zonların kaç derecelik açıya sahip olacağı belirlenmiştir. Her bir aşamadaki süreler ve bu sürelerle karşılık gelen zonların açıları Çizelge 6.10’da verilmiştir. Çizelge 6.10’dan yararlanılarak çevrim sürelerine karşılık gelen filtrenin zon aralıkları belirlenmiş ve Şekil 6.21’ te gösterilmiştir.



Şekil 6.20. Vakumlu tambur filtrenin zonları (Pugliesi, 2012)

Çizelge 6.10. Hesaplanan tambur zonlarının açıları

Filtrasyon çevrim süreleri, saniye				Hesaplanan tambur açıları			Kabul edilen tambur açıları
Toplam çevrim süresi	30	40	50	30	40	50	
Filtrasyon	10	13	17	120	117	122,4	120
Ön kurutma	4	5	6	48	45	43,2	45
Kek yıkama	4	5	6	48	45	43,2	45
Kurutma	5	7	8	60	63	57,6	60
Teknik zaman	7	10	13	84	90	93,6	90



Şekil 6.21. Dizayn edilen tambur filtrenin zonları ve açıları

Vakumlu tambur filtre deneylerinden kazanılan sonuçlar:

Sadece koagülant ilave edilen çamurun katısı %29-30 olması durumunda;

- Elde edilen kekin nemi %55'tir.
- Filtrenin çamur yıkama oranı $0.35 \text{ m}^3/\text{ton}$ dur. Mevcut şartlarda tikinerlerdeki bu değer $3-6 \text{ m}^3/\text{ton}$ olduğu düşünülürse oldukça verimli bir yıkama yapıldığı söylenebilir.
- Yıkabilir kostik konsantrasyonu ortalama %0.25 civarındadır. Yıkama yapılmadan yapılan deneylerde ise bu değer %0.47 civarında olmuştur.
- Elde edilen verilere göre dizayn edilecek filtrenin filtrasyon kapasitesi minimum $320 \text{ kg/m}^2/\text{h}$ olmalıdır.

Koagülant ve flokülant ilave edilen çamurun katısı %36-37 olması durumunda;

- Elde edilen kekin nemi %53'tür.
- Filtrenin çamur yıkama oranı $0.30 \text{ m}^3/\text{ton}$ dur. Mevcut şartlara göre oldukça verimli bir yıkama yapıldığı söylenebilir.
- Yıkabilir kostik konsantrasyonu ortalama % 0.26 civarındadır. Yıkama yapılmadan yapılan deneylerde ise bu değer %0.51 olarak gerçekleşmiştir.
- Elde edilen verilere göre dizayn edilecek filtrenin filtrasyon kapasitesi ise minimum $295 \text{ kg/m}^2/\text{h}$ olmalıdır.

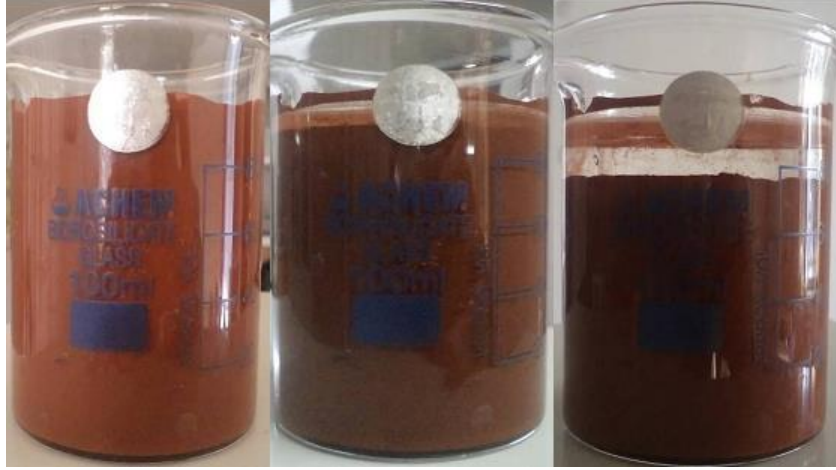
- Her iki aşamada ise çevrim süreleri dikkate alınarak filtre zonlarının (sektörlerinin) açılarının belirlenmesi ile gerekli olan filtrasyon kapasitesine bağlı olarak tambur çapı ve her bir zonun yüzey alanı kolayca hesaplanabilmektedir.

6.3. Dekantör Santrifüj Yöntemi ile Susuzlandırma Çalışmaları

Eti Alüminyum A.Ş. kırmızı çamurunun susuzlandırılması için alternatiflerden bir tanesinin de dekantör santrifüj yöntemi olabileceği düşünülmüştür. Endüstriyel boyutta bu tip susuzlandırma üniteleri hızla yaygınlaşmaktadır (Flotweg, 2009). Ancak kırmızı çamurun susuzlandırılmasında daha önce böyle bir uygulama yapıldığına dair herhangi bir sonuca ulaşamamıştır.

Bu çalışmada ilk olarak kırmızı çamurun merkezkaç kuvveti ile katı-sıvı ayırımına olan tepkisi ölçülüp belirlenmiştir. Laboratuvarda yapılan kendiliğinden çökme test sonuçları Şekil 6.22’de verilmiştir. Sonraki aşamada ise numune karıştırılarak homojen bir hale getirilmiştir. Bu sırada pulpe ağırlıkça %2 oranında anyonik polielektrolit ilavesi yapılmıştır. Deneyde kullanılan kırmızı çamurun özellikleri ise Çizelge 6.11’de gösterilmiştir.

Pulp üzerinde flokülantın etkisini görmek için deney iki aşamalı yapılmıştır. İlk deneyde flokülant kullanılmamış, ikinci deneyde ise %2 anyonik flokülant kullanılmıştır. Hazırlanan her iki numuneye laboratuvarda bulunan santrifüj cihazı ile 5’er dakika 3000 G (Gravity) merkezkaç kuvveti etkisi ile santrifüj uygulanmıştır. Santrifüj ile yapılan çalışmalarda elde edilen çözeltiliye sentrat denilmektedir. Deney sonunda elde edilen flokülantlı ve flokülantsız sentrat ve kek görüntüleri Şekil 6.23 ve 6.24’ te gösterilmektedir. Şekil 6.23 ve 6.24’te görüldüğü gibi, flokülant kullanıldığı zaman elde edilen sentrat sıvısındaki görüntüsü daha temiz ve berraktır. Her iki deneyin karşılaştırmalı sonuçları ise ayrıca Çizelge 6.12’de verilmiştir.



Şekil 6.22. Soldan sağa; kırmızı çamur pulpu, 1 saat bekletilmiş, 24 saat bekletilmiş numune

Çizelge 6.11. Deneyde kullanılan kırmızı çamur pulpunun özellikleri

Numune	Pulp Yoğunluğu, g/cm ³	Katı Yoğunluğu, g/cm ³	Tane Boyutu d ₉₀ , (µm)	% katı miktarı	pH
Kırmızı çamur pulpu	1,28	3,03	<10	27,87	12



Şekil 6.23. Anyonik flokülant eklenmiş numunenin santrifüj sonrası sentrat ve kek görüntüsü



Şekil 6.24. Flokülantsız numunenin santrifüj sonrası sentrat ve kek görüntüsü

Çizelge 6.12. Flokülantlı ve flokülantsız sentrat ve kekin özellikleri

	Flokülantsız santrifüj	Flokülantlı santrifüj
Sentratta Katı Miktarı, %	1.18	0.72
Kekte Katı Miktarı, %	48.19	48.42

Yapılmış olan bu deneysel çalışmaların benzeri daha sonra tesiste kurulan pilot çaptaki dekantör santrifüj ile gerçekleştirilmiştir. Şekil 6.25'te kurulumu yapılan dekantör santrifüj gösterilmektedir. Ayrıca mobil dekantörün çalışma şartları, ekipman listesi ve özellikleri Çizelge 6.13'te verilmiştir. Mobil dekantör ile yapılacak çalışmalarda 6. yıkayıcı altından beslenen kırmızı çamurun spesifik özellikleri ise Çizelge 6.14'te gösterilmiştir.



Şekil 6.25. Mobil dekantör santrifüj ünitesi ve 6. yıkayıcı altındaki kurulumu

Çizelge 6.13. Mobil dekantörün özellikleri

Çalışma Şartları			
İhtiyaç	Gereken		Not
Enerji	150	kW	150 amper şalter
Su	4	Bar	2 inç hat girişi
Besleme hattı	4	Bar	4 inç
Flokülant	25	Kg	Atığı floküle etmek

Ekipmanlar	
	Özellikler
Dekantör	20/50 m ³ /saat, 3400 devir/ dakika, 3 fazlı
Flokülant tankı	3000 litre, karıştırıcılı
Besleme pompası	22 kW, monopompa
Elektrik kablosu	3x50 + 25 bakır kablo

Çizelge 6.14. 6. yıkayıcı tikineri alt akım kırmızı çamurunun fiziksel ve kimyasal özellikleri

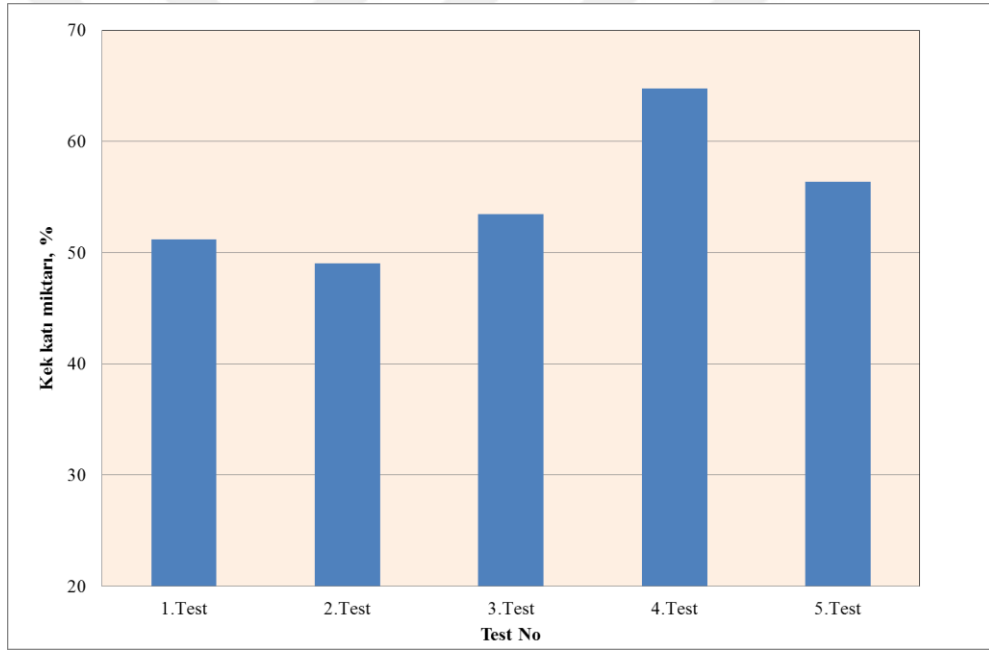
Pulp miktarı, g/l	360-380 (%28-30)
Sıvı/katı oranı	2.35
Tane boyutu-d ₅₀ , µm	2.5
Pulp sıcaklığı, °C	90
pH	12.5
Elektriksel iletkenlik, µS/cm	17.55
Yüzey alanı, m ² /g	28.38
Kırmızı çamur katı yoğunluğu, g/cm ³	3.03
Kırmızı çamur pulp yoğunluğu, g/cm ³	1.28
Renk	Kırmızı
Sıvı faz Al ₂ O ₃ , g/l	1.5-2.5
Sıvı faz Na ₂ O, g/l	1.5-3

Yıkama devresine kurulumu gerçekleştirilen mobil ünite ile kırmızı çamur susuzlandırma deneyleri yapılmıştır. Testler esnasında çeşitli parametreler üzerinde değişiklikler yapılmış ve farklı sonuçlar elde edilmiştir. Yapılan deneylerden elde edilen sonuçlar Çizelge 6.15'te verilmiş olup, oluşan % katı miktarları ise Şekil 6.26'da

gösterilmiştir. Sonuçlardan da anlaşıldığı gibi, %30 katılığa beslenen çamur santrifüj teknolojisi ile ortalama %53.6 katılığa yükselmiştir.

Çizelge 6.15. Kırmızı çamurun susuzlandırılması esnasında uygulanan deneysel şartlar ve elde edilen sonuçlar

Eti Kırmızı Çamur Dekantör Santrifüj Testleri										
Test No	Sentrat kapak seviyesi, mm	Diferansiyel hız, devir/dakika	Tambur devri, devir/dakika	Tork, %	Çamur besleme hızı, m ³ /h	Polimer konsantrasyonu, %	Polimer besleme hızı, m ³ /h	Polimer cinsi	Kek kuruluk oranı, % katı	Sentrat kuruluk oranı, % katı
1	320	7,0	1613	18,0	10,0	0,3	1,1	Zetag 4120	51,17	0,80
2	320	8,0	1830	23,0	15,0	-	-	-	49,05	kirli
3	320	7,5	1936	21,0	15,0	0,3	2,0	Zetag 4120	53,47	3,86
4	310	9,0	1385	22,3	16,1	0,3	1,7	Zetag 4120	64,74	0,38
5	310	9,0	1380	22,6	20,3	0,3	2,0	Zetag 4120	56,36	3,00



Şekil 6.26. Elde edilen keklerin % katı miktarları

Kırmızı çamurun dekantör santrifüj yöntemi ile susuzlandırılması sonucunda;

- Kek kuruluğu % 50-60 civarındadır.
- Dekantörün verimli bir şekilde sürekli çalışabildiği gözlenmiş, yüksek kek kuruluklarına ulaşılmıştır.
- Dekantör çıkışı katı ürünlerin (kek) kolaylıkla taşınabilecek kurulukta olduğu gözlemlenmiştir (Şekil 6.27).

- Anyonik polielektrolit kullanımı sonucu sentrat çıkışının daha berrak ve tortusuz olduğu gözlemlenmiştir.



Şekil 6.27. Dekantör çıkışı katı kırmızı çamur

6.4. Pres Filtre Yöntemi ile Kırmızı Çamurun Susuzlandırma Çalışmaları

Farklı susuzlandırma yöntemlerinin bir diğeri de pres filtre yöntemidir. Pres filtre yöntemi Macaristandaki Ajka, Fransadaki Gardanne ve Brezilyadaki Alunorte alümina fabrikalarında kullanılmaktadır. Pres filtre çalışmaları ikiye ayrılmıştır. Birinci aşamada yerli bir firmaya ait pres filtre ikinci aşamada ise yabancı bir firmaya ait pres filtre kullanılmıştır. Her iki pilot üniteye besleme basıncı, besleme kapasitesi, sıkıştırma basınçları, kek yıkama sistemleri, filtrasyon yüzey alanları gibi farklılıklar mevcuttur.

6.4.1. Birinci aşama pres filtre deneyleri

İlk pres filtre testleri Şekil 6.28’de gösterilen pilot ölçekte manuel bir pres filtre ile gerçekleştirilmiştir. 5 adet düz plakadan (chamber tip) oluşan, diyafram pompası (3 dm³’lük filtrasyon hacminde ve 7 bar besleme kapasitesinde) olan ve manuel olarak 14 bar pres basıncı sağlayabilen hidrolik üniteye sahip pres filtre kırmızı çamurun preslenebilirliğinin yolunu açmıştır. 6. yıkayıcı tikineri alt akımı çamuru diyafram pompa ile beslenmiş plaka filtrat çıkış kanallarından sıvı kesilinceye kadar hidrolik pres ile sıkıştırılmıştır. Filtrat çıkışı (Şekil 6.29) giderek azalıp damlalar haline dönüştükten

sonra hidrolik basınç kontrollü bir şekilde düşürülerek plakalar birer birer açılmış ve Şekil 6.30'da gösterilen kırmızı çamur keki elde edilmiştir.



Şekil 6.28. Laboratuvar ölçekli pres filtre



Şekil 6.29. Filtrasyon esnasında farklı zamanlarda alınan filtrat numuneleri.



Şekil 6.30. Elde edilen kırmızı çamur kek görüntüleri

Elde edilen keklerden alınan numuneler Eti Alüminyum A.Ş. bünyesinde bulunan Kalite Kontrol ve Ar-Ge Müdürlüğüne nem analizi yapılmak üzere gönderilmiştir. Yapılan analiz sonucunda mevcut düzende ortalama %70 nem ile atılan kırmızı çamurun nem miktarı pres filtre yöntemi ile %39'lara kadar düşürülebilmektedir. Bu sonuçlardan yola çıkarak tesise pilot ölçekli pres filtre dizaynı yapılmıştır (Şekil 6.31). Pilot pres filtre 1000x1000 mm ölçülerinde 5 adet plakadan oluşmaktadır ve toplam 6 m² lik bir filtrasyon yüzey alanına sahiptir. Pres filtrenin plakaları mixedpack olarak adlandırılan düz tip (chamber) ve membranlı tip olacak şekilde karışık olarak dizayn edilmiştir. Polipropilen malzemeden imal edilen plakalar 90 °C sıcaklığa dayanacak özelliktedir. Pres filtrenin ayrıca hava ile kek kurutma ve kek yıkama özellikleri de vardır. Her aşaması tam otomatik olarak çalışan pres filtreye start verildikten sonra PLC (Programmable Logic Controller- Programlanabilir Mantıksal Denetleyici) kontrollü SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition -Uzaktan Kontrol ve Gözleme Sistemi) ekranından her türlü veri takip ve kontrolü yapılabilmektedir.

Pres filtrelerde çoğunlukla polipropilen filtre bezleri kullanılmaktadır. Polipropilen filtre bezleri dokumu yapısına göre monofilament, multifilament ya da mono-multifilament olarak üç gruba ayrılırlar. Seçilecek bez filtrasyon hızını ve kalitesini belirlemektedir. Yapılan testlerde monofilament dokuma yapılı ve 12 l/dm²/dakika hava geçirgenliğine sahip olan filtre bezleri kullanılmıştır. Şekil 6.31'de gösterilen kırmızı çamur yıkama ünitesindeki 6. yıkayıcı tikineri yanındaki uygun bir alana montajı yapılan pres filtre ile testler gerçekleştirilmiştir.



Şekil 6.31. Kırmızı çamur yıkama devresinde montajı yapılan pilot ölçekli pres filtre

6.4.2. Birinci aşama pres filtre testlerinden elde edilen bulgular

Pilot ölçekli pres filtre testlerinde öncelikle 6. yıkayıcı çamuru kullanılmıştır. Alınan sonuçlardan yola çıkarak yöntem, 1. ve 2. yıkayıcı alt akım çamurları ile çöktürücü alt akım çamuruna da uygulanmıştır. Çizelge 6.16'da pres filtre testlerinden kırmızı çamur yıkama devresinde yapıldığı noktalar ve buradaki çamura ait spesifik değerler gösterilmektedir.

Çizelge 6.16. Testlerde kullanılan kırmızı çamurun özellikleri

Kırmızı Çamur					
Dizayn Parametreleri	Birim	Çöktürücü	1. yıkayıcı	2. yıkayıcı	6. yıkayıcı
Beslenen çamurun katı oranı	%	28	28	28	30
Beslenen çamurun yoğunluğu	t/m ³	1.48	1.27	1.26	1.24
Katı çamurun spesifik yoğunluğu	t/m ³	3.03			
Kırmızı çamur tane boyutu, d50	µm	2.35			
Pulpun spesifik yoğunluğu	t/m ³	1.26	1.02	1.01	0.99
Beslenen çamurun Na ₂ O içeriği	g/l	135	45	21	1,8
Beslenen pulpun sıcaklığı	°C	100	95	90	85
Çamur yıkama suyu		Kondensat			
Yıkama suyu tüketimi	m ³ /t	5.7			
Kondensat sıcaklığı	°C	90			

6.4.2.1 Altıncı yıkayıcı tikineri çamuru ile yapılan pres filtre deneyleri

Kırmızı çamur yıkama devresine kurulan pilot ölçekli pres filtre deney ünitesi ile ilk olarak 6. yıkayıcı çamuru ile deneyler yapılmıştır. Filtrasyon esnasında normal presleme, membranlı presleme, membranlı kek kurutmalı ve membranlı kek yıkamalı olarak presleme deneyleri gerçekleştirilmiştir. Bu esnada besleme süresi, besleme basıncı, kek yıkama miktarı vb. çeşitli parametreler üzerinde değişiklikler yapılarak elde edilen kek ve filtratların analizleri fabrika bünyesinde bulunan Kalite Kontrol ve Ar-Ge Müdürlüğüne bağlı laboratuvarlarda detaylı olarak analiz edilmiştir.

a) Normal presleme

6. yıkayıcı çamurunun normal plakalar (chamber tip) ile preslenmesi ile elde edilen sonuçlar Çizelge 6.17 ve 6.18'de gösterilmektedir. Buna göre, düz plakalı tip olarak adlandırılan ilk pres filtre testinde ortalama %37.5 kek nemi elde edilmiştir. Filtrasyon esnasında kekin filtre plakasından kolay ayrılabilme ve elde edilen filtrat

kalitesi özelliği başarılı sonuç vermiştir. Spesifik filtrasyon hızı ise ortalama 36.9 kg/m²/h olarak hesaplanmıştır.

Çizelge 6.17. Farklı şartlar altında 6. yıkayıcı alt akım çamurunun normal presleme ile yapılan test sonuçları

Eti Alüminyum Kırmızı Çamurunun Pres Filtre Testleri (6. yıkayıcı çamuru)						
Test No	Birim	1	2	3	4	5
Filtrasyon alanı	m ²	6	6	6	6	6
Plaka derinliği	mm	40	40	40	40	40
Plaka düzeneği						
Tipi		mixed pack	mixed pack	mixed pack	mixed pack	mixed pack
Plaka adeti		5	5	5	5	5
Besleme çamuru						
Alındığı yer		6. yıkayıcı alt akımı	6. yıkayıcı alt akımı	6. yıkayıcı alt akımı	6. yıkayıcı alt akımı	6. yıkayıcı alt akımı
Sıcaklık	°C	80	80	80	80	80
Katı konsantrasyonu	g/l	353	353	353	353	353
Na ₂ O _k konsantrasyonu	g/l	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
Beslenen çamur miktarı	l	230	230	230	230	230
Çamur besleme süresi	dakika	19	19	23	23	21,6
Maksimum basınç	bar	8	13	12	14	7
Kek yıkama						
Kullanılan su						
Sıcaklık	°C					
Yıkama süresi	dakika					
Yıkama basıncı	bar					
Filtrat						
Filtrat AKM	mg/l	10	53	18	55	140
Filtrat Bulanıklık	NTU	48,5	249	68	214	510
Membran Sıkıştırma						
Sıkıştırma süresi	dakika					
Sıkıştırma basıncı	bar					
Hava ile sıkıştırma	Var/ Yok	yok	yok	yok	yok	yok
Toplam çevrim süresi	dakika	20	20	24	24	25
Filtre keki						
Ortalama kek kalınlığı	mm	31	35	30	30	32
Toplam nemli kek ağırlığı	kg	132	131	130	130	138
Yıkanabilir Na ₂ O _k	%	0,13		0,15		
Kek nemi	%	39,3	35,8	37,23	37,72	37,55
Toplam kuru kek ağırlığı	kg	80,1	84,1	81,6	81,0	86,2
Spesifik filtrasyon hızı	kg/m ² /h	40,1	42,1	34,0	33,7	34,5
Kek yıkama suyu miktarı	l/kg	-	-	-	-	-

Çizelge 6.18. 6. yıkayıcı alt akım çamuru normal presleme test sonuçlarının değerlendirme özet tablosu

Toplam filtrasyon çevrim süresi, dakika	20 - 25
Kek kalınlığı, mm	30 - 35
Nemli kek ağırlığı, kg	132
Kek nemi, %	37.5
Kekin ayrılma özelliği	iyi
Filtrat askıda katı miktarı	temiz
Yıkanabilir kostik içeriği, %	0.10 – 0.15
Kek yıkama suyu miktarı, m ³ /ton	-
Spesifik filtrasyon hızı, kg/m ² /h	36.9

b) Membranlı presleme

Normal pres filtre plakalarındaki ilk sıkıştırma sonrasında plakanın dizaynında ikinci bir sıkıştırma işlemi gerçekleştirilmiştir. Plakanın her iki yüzeyinde bulunan membranlar basınçlı hava ya da su ile şişirilmiş ve böylece ikinci presleme işlemi gerçekleştirilmiştir.

6. yıkayıcı alt akım çamuru ile karışık plaka (mixed pack) olarak adlandırılan plaka tipleri ile yapılan membranlı presleme testlerinden elde edilen sonuçlar Çizelge 6.19 ve 6.20’de verilmiştir. Buna göre;

- Membranlı tip plakaların aktif olarak kullanıldığı ve karışık tipteki plakalardan oluşan testlerden ortalama % 32.3 nem değerine sahip kekler elde edilmiştir.
- Membran basıncı ile kek daha fazla sıkıştırılarak çamur bünyesindeki sıvı daha fazla dışarı atılmış ve böylece daha düşük nem değerine ulaşılmıştır.
- Filtrat kalitesi temiz ve kekin plakalardan ayrılabilmesi ise iyi olarak adlandırılabilir.
- Ayrıca spesifik filtrasyon hızı $28.7 \text{ kg/m}^2/\text{h}$ olarak hesaplanmıştır.

Çizelge 6.19. Farklı şartlar altında 6. Yıkayıcı alt akım çamurunun membranlı presleme ile yapılan test sonuçları

Eti Alüminyum Kırmızı Çamurunun Pres Filtre Testleri (6. yıkayıcı çamuru)				
	Birim	1	2	3
Test No				
Filtrasyon alanı	m ²	6	6	6
Plaka derinliği	mm	40	40	40
Plaka düzeneği				
Tipi		mixed pack	mixed pack	mixed pack
Plaka adeti		5	5	5
Besleme çamuru				
Alındığı yer		6. yıkayıcı alt akımı	6. yıkayıcı alt akımı	6. yıkayıcı alt akımı
Sıcaklık	°C	80	80	80
Katı konsantrasyonu	g/l	358	358	358
Na ₂ O _k konsantrasyonu	g/l	1,4	1,4	1,4
Beslenen çamur miktarı	l	200	200	200
Çamur besleme süresi	dakika	15	17,5	16
Maksimum basınç	bar	8	8	8
Kek yıkama				
Kullanılan su				
Sıcaklık	°C			
Yıkama süresi	dakika			
Yıkama basıncı	bar			
Filtrat				
Filtrat AKM	mg/l	79	30	11
Filtrat Bulanklık	NTU	105	82,6	34,6
Membran Sıkıştırma				
Sıkıştırma süresi	dakika	6	5	10
Sıkıştırma basıncı	bar	12,6	12,6	12,6
Hava ile sıkıştırma	Var/ Yok	var	var	var
Toplam çevrim süresi	dakika	22	25	29
Filtre keki				
Ortalama kek kalınlığı	mm	28	25-30	25-30
Toplam nemli kek ağırlığı	kg	106	106	106
Yıkanabilir Na ₂ O _k	%			0,11
Kek nemi	%	32,52	32,13	32,27
Toplam kuru kek ağırlığı	kg	71,5	71,9	71,8
Spesifik filtrasyon hızı	kg/m ² /h	32,5	28,8	24,8
Kek yıkama suyu miktarı	l/kg	-	-	-

Çizelge 6.20. 6. yıkayıcı alt akım çamurunun membranlı presleme sonuçları değerlendirme özet tablosu

Toplam filtrasyon çevrim süresi, dakika	18 - 29
Kek kalınlığı, mm	25 - 30
Nemli kek ağırlığı, kg	106
Kek nemi, %	32.3
Kekin ayrılma özelliği	iyi
Filtrat askıda katı miktarı	temiz
Yıkanabilir kostik içeriği, %	0.11
Kek yıkama suyu miktarı, m ³ /ton	-
Spesifik filtrasyon hızı, kg/m ² /h	28.7

c) Membranlı ve kek kurutmalı presleme

6. yıkayıcı alt akım çamuruna membranlı presleme aşamasından sonra hava ile kurutma (drying) işlemi uygulanmıştır. Basınçlı hava kompresörü yardımıyla elde edilen 3-7 bar basınç değerlerine sahip hava keki kurutma amacıyla beslenmiştir. Çizelge 6.21 ve 6.22’de kek kurutma testlerinden elde edilen sonuçlar gösterilmektedir. Buna göre;

- Membranlı ve kek kurutmalı preslemede ortalama %32.2 nem değerine sahip kekler elde edilmiştir.
- Elde edilen filtratın kalitesi temiz, kekin plakalardan ayrılabilmesi ise iyi sonuç vermiştir.
- Spesifik filtrasyon hızı ise $23.9 \text{ kg/m}^2/\text{h}$ olarak hesaplanmıştır.
- Kek kurutmanın önemli bir katkısı olmamıştır.

Çizelge 6.21. Farklı şartlar altında 6. Yıkayıcı alt akım çamurunun membranlı ve kek kurutmalı presleme ile yapılan test sonuçları

Eti Alüminyum Kırmızı Çamurunun Pres Filtre Testleri (6. yıkayıcı çamuru)					
Test No	Birim	1	2	3	4
Filtrasyon alanı	m ²	6	6	6	6
Plaka derinliği	mm	40	40	40	40
Plaka düzeneği					
Tipi		mixed pack	mixed pack	mixed pack	mixed pack
Plaka adeti		5	5	5	5
Besleme çamuru					
Alındığı yer		6. yıkayıcı alt akımı	6. yıkayıcı alt akımı	6. yıkayıcı alt akımı	6. yıkayıcı alt akımı
Sıcaklık	°C	80	80	80	80
Katı konsantrasyonu	g/l	370	370	370	370
Na ₂ O _k konsantrasyonu	g/l	1,4	1,4	1,4	1,4
Beslenen çamur miktarı	l	200	200	200	200
Çamur besleme süresi	dakika	16,6	16,6	16,6	20
Maksimum basınç	bar	8	7	7	7
Kek Kurutma					
Kurutma süresi	dakika	7,5	5	4	5
Kurutma basıncı	bar	7-3	7-3	6	6
Filtrat					
Filtrat AKM	mg/l	23	17	53,3	24
Filtrat Bulanıklık	NTU	101	59,7	384	73,9
Membran Sıkıştırma					
Sıkıştırma süresi	dakika	5	5	5	5
Sıkıştırma basıncı	bar	12,5	12,5	12,5	12,5
Hava ile sıkıştırma	Var/ Yok	var	var	var	var
Toplam çevrim süresi	dakika	32	30	29	32
Filtre keki					
Ortalama kek kalınlığı	mm	32	30	25	30
Toplam nemli kek ağırlığı	kg	110	102	112	110
Yıkanabilir Na ₂ O _k	%				
Kek nemi	%	31,82	31,79	32,93	32,32
Toplam kuru kek ağırlığı	kg	75,0	69,6	75,1	74,4
Spesifik filtrasyon hızı	kg/m ² /h	23,4	23,2	25,9	23,3
Kek yıkama suyu miktarı	l/kg	-	-	-	-

Çizelge 6.22. 6. Yıkayıcı membranlı ve kek kurutmalı presleme test sonuçları değerlendirme özet tablosu

Toplam filtrasyon çevrim süresi, dakika	30
Kek kalınlığı, mm	25 - 32
Nemli kek ağırlığı, kg	108
Kek nemi, %	32.2
Kekin ayrılma özelliği	iyi
Filtrat askıda katı miktarı	temiz
Yıkanabilir kostik içeriği, %	-
Kek yıkama suyu miktarı, m ³ /ton	-
Spesifik filtrasyon hızı, kg/m ² /h	23.9

d) Membranlı ve kek yıkamalı presleme

Pres filtrenin sahip olduğu özelliklerden bir tanesi olan kek yıkama sisteminde, filtreye beslenen çamura önce ön sıkıştırma işlemi uygulanmaktadır. Kek formuna gelmiş çamura hesaplanarak belirlenmiş olan kek yıkama oranı kadar su ilave edilmiştir. Daha sonra belirli basınca ve debiye sahip proses kondensatı (yaklaşık 90°C) kekin içerisinden geçirilmiştir. Böylelikle kek içerisindeki sıvı faz kostik ve alümina filtrat geri kazanılabilmektedir. Çizelge 6.23 ve 6.24'te kek yıkamalı olarak yapılan presleme testlerine ait sonuçlar gösterilmektedir. Sonuçlarda;

- Elde edilen keklerin ortalama nemi % 31.8 olarak bulunmuştur.
- Kek yıkama su miktarında 2 ile 3.2 l/kg arasındaki değerler kullanılmıştır.
- Yıkabilir kostik diye adlandırılan ve kek yıkama yapıldıktan sonra kekte geriye kalan kostik miktarı % 29.9-33.12 arasındadır.
- Spesifik filtrasyon hızı ise ortalama 20.1 kg/m²/h olarak gerçekleşmiştir.
- Filtrat kalitesi temiz ve kekin plakalardan ayrılabilme özelliği iyi olarak belirlenmiştir.

Kek yıkamalı preslemede, kek yıkama su miktarı filtrasyon performansını olumsuz etkilememelidir. Ne kadar fazla su verilirse o kadar fazla kostik ve alümina geri kazanımı demek değildir. Su miktarının artması proses kütle denliğini bozabilmektedir. Ayrıca fazla su kullanımı tüketim değerlerini artırmakla birlikte toplam filtrasyon çevrim süresini de artırmaktadır.

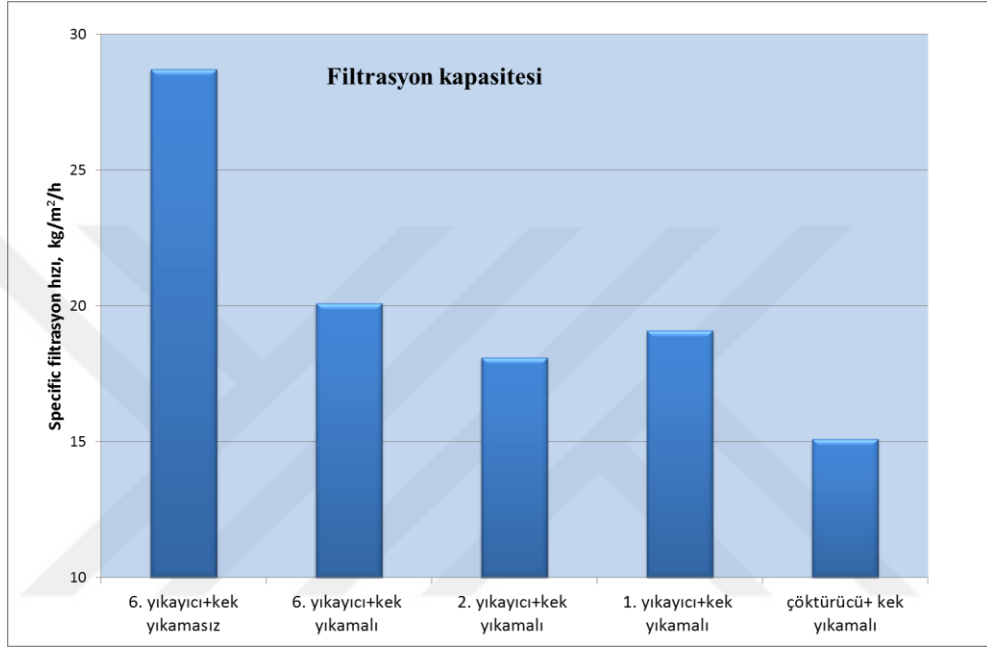
Çizelge 6.23. Farklı şartlar altında 6. yıkayıcı alt akım çamurunun membranlı ve kek yıkamalı presleme test sonuçları

Eti Alüminyum Kırmızı Çamurunun Pres Filtre Testleri (6. yıkayıcı çamuru)					
Test No	Birim	1	2	3	4
Filtrasyon alanı	m ²	6	6	6	6
Plaka derinliği	mm	40	40	40	40
Plaka düzeneği					
Tipi		mixed pack	mixed pack	mixed pack	mixed pack
Plaka adeti		5	5	5	5
Besleme çamuru					
Alındığı yer		6. yıkayıcı alt akımı	6. yıkayıcı alt akımı	6. yıkayıcı alt akımı	6. yıkayıcı alt akımı
Sıcaklık	°C	80	80	80	80
Katı konsantrasyonu	g/l	384	384	384	384
Na ₂ O _k konsantrasyonu	g/l	1,3	1,3	1,3	1,3
Beslenen çamur miktarı	l	200	200	200	200
Çamur besleme süresi	dakika	20	20	21,6	18,3
Maksimum basınç	bar	7,5	4,5	6	4
Kek yıkama					
Kullanılan su		Kondensat	Kondensat	Kondensat	Kondensat
Sıcaklık	°C	70	70	70	70
Kullanılan su miktarı	l	150	150	180	250
Yıkama süresi	dakika	12	12	6,1	8,3
Yıkama basıncı	bar	5	5	8	8
Filtrat					
Filtrat AKM	mg/l	28	39	8	27
Filtrat Bulanıklık	NTU	49,9	60,1	10,1	53,2
Membran Sıkıştırma					
Sıkıştırma süresi	dakika	5	5	5	5
Sıkıştırma basıncı	bar	12,6	12,6	12,6	12,6
Hava ile sıkıştırma	Var/ Yok	var	var	var	var
Toplam çevrim süresi	dakika	41	41	35	35
Filtre keki					
Ortalama kek kalınlığı	mm	25	26	22	25
Toplam nemli kek ağırlığı	kg	110	106	113	116
Yıkanabilir Na ₂ O _k	%	0,1	0,09	0,09	0,1
Kek nemi	%	31,49	29,9	33,12	32,74
Toplam kuru kek ağırlığı	kg	75,4	74,3	75,6	78,0
Spesifik filtrasyon hızı	kg/m ² /h	18,4	18,1	21,6	22,3
Kek yıkama suyu miktarı	l/kg	2,0	2,0	2,4	3,2

Çizelge 6.24. 6. yıkayıcı membranlı ve kek yıkamalı presleme test sonuçları değerlendirme özet tablosu

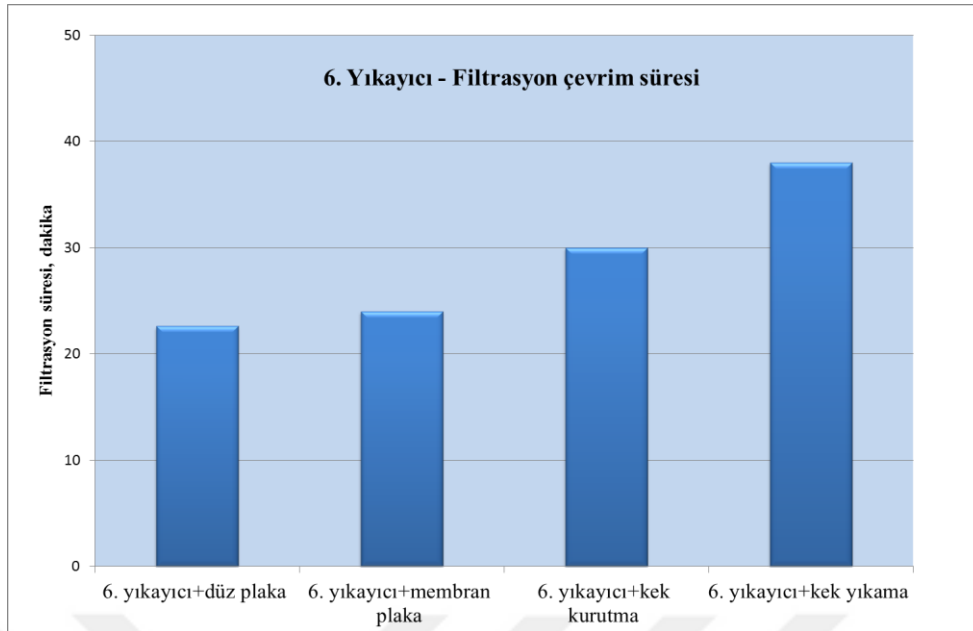
Toplam filtrasyon çevrim süresi, dakika	35 - 41
Kek kalınlığı, mm	22 - 26
Nemli kek ağırlığı, kg	111
Kek nemi, %	31,8
Kekin ayrılma özelliği	iyi
Filtrat askıda katı miktarı	temiz
Yıkanabilir kostik içeriği, %	0.095
Kek yıkama suyu miktarı, m ³ /ton	2 - 3.2
Spesifik filtrasyon hızı, kg/m ² /h	20.1

Kırmızı çamuru daha düşük nem oranı ile çamur barajına göndermek ve bunun yanında sıvı fazdaki kostik ve alümina kayıplarını azaltmak amacıyla yapılan pres filtre testlerinden elde edilen sonuçlar grafiksel olarak da gösterilmiştir. 6. yıkayıcı alt akım çamuruna farklı kombinasyonlarla yapılan testlerine bağlı olarak elde edilen filtrasyon hızları (kapasite) Şekil 6.32’de verilmiştir. Şekil 6.32’de görüldüğü gibi, kek kurutma veya kek yıkama işlemleri filtrasyon hızını düşürmektedir. Filtrasyon hızının düşmesi kapasiteye oranla daha fazla filtreye ihtiyaç duyulması anlamına gelmektedir.



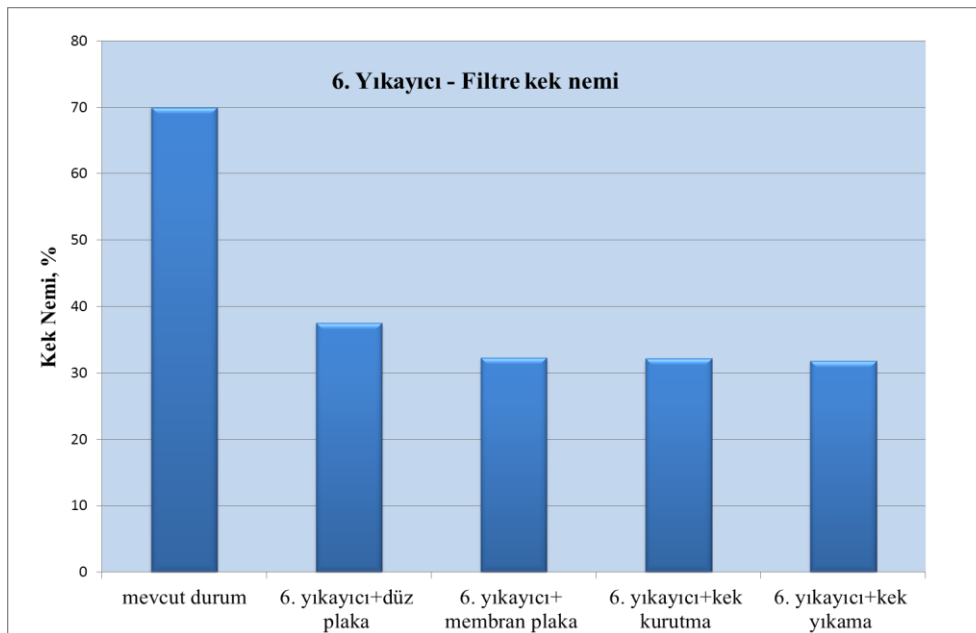
Şekil 6.32. 6. yıkayıcı alt akım çamurunun farklı kombinasyonlara göre filtrasyon hızları

% 100 kapasitede atılan çamur miktarı ortalama 32 ton/saat'tir. Bu kadar çamurun preslenebilmesi için kaç adet pres filtreye ihtiyaç duyulacağını belirleyen filtrasyon çevrim süreleri ise Şekil 6.33'te gösterilmiştir. Şekil 6.33' ten de anlaşıldığı gibi, 6. yıkayıcı tikiner alt akım çamuru yıkamasız olarak preslendiği takdirde ortalama 25 dakikalık bir filtrasyon çevrim süresine ihtiyaç duyulacaktır. Kurutmalı veya yıkamalı preslemede ise daha yüksek çevrim süreleri gerekmektedir.



Şekil 6.33. 6. yıkayıcı alt akım çamurunun farklı kombinasyonlara göre filtrasyon çevrim süreleri

6. yıkayıcı alt akım çamurunun farklı kombinasyonlara bağlı olarak preslenmesi sonucunda elde edilen susuzlandırma performansı değerleri yani nem değerleri Şekil 6.34'te verilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi, mevcut durumda 6.yıkayıcıdan ortalama %70 nem ile baraja atılan kırmızı çamurun nem değeri pres filtre uygulaması ile ortalama aralığı %32-37 olarak gerçekleşmiştir.



Şekil 6.34. 6. yıkayıcı alt akım çamurunun farklı kombinasyonlara göre preslenmesi sonucu elde edilen kek nemleri

6.4.2.2. İkinci yıkayıcı tikineri çamuru ile yapılan pres filtre deneyleri

6. yıkayıcı tikineri alt akım çamuru ile yapılan pres filtre susuzlandırma çalışmalarının benzeri 2. yıkayıcı tikineri alt akım çamuruna da uygulanmıştır. Membranlı ve kek yıkamalı olarak yapılan testlerin detaylı sonuçları Çizelge 6.25'te verilmiştir. Bu sonuçlara göre;

- 2. yıkayıcı alt akım kırmızı çamuru ile yapılan pres filtre testlerinden oldukça başarılı sonuçlar elde edilmiştir.
- Pres filtre plakalarının orijinal derinliği 32 mm dir. Yapılan testlerden elde edilen keklerin kalınlıkları ise 23-28 mm arasında değişkenlik göstermiştir.
- Pres filtre, 2. yıkayıcı altı çamurunu preslemek amacıyla kullanılacak olursa kek yıkama yapmak dışında bir alternatif söz konusu olmamaktadır. Bu sebeple kek yıkamalı olarak yapılan testlerdeki filtrasyon çevrim süresi 41 ile 55 dakika arasındadır.
- Elde edilen filtratın AKM değerleri kabul sınırının (<500 mg/l) altında olup, ortalama 64.8 mg/l'dir.
- En önemli parametrelerden biri olan % nem içeriği değerlerine bakıldığında ise, yaklaşık %28.5 nem değeri elde edilmiştir.
- Çamur preslendikten sonra filtreden kolay ayrılabilmesi önemlidir. Yapılan testlerde keklerin filtre plakalarından ayrılma özelliği iyi derecede gerçekleşmiştir.
- Atılan kek içerisinde bulunan kostiğin yıkama yapılarak geri kazanılması ile ilgili analizler yapılmış, yıkama yapıldıktan sonra kalan yıkanabilir kostik miktarı yaklaşık % 0.42 olarak bulunmuştur.

Özetlenecek olursa, 2. yıkayıcı alt akım kırmızı çamuruna yapılan pres filtre testleri neticesinde membranlı sıkıştırılmalı ve kek yıkamalı elde edilen sonuçlar başarılı olarak kabul edilmiştir. Dünyadaki kırmızı çamur pres filtre sonuçları ile kıyaslandığında benzer sonuçlar alındığı tespit edilmiştir. Örneğin, Macaristan'daki fabrikada Diemme firmasına ait olan pres filtre de ortalama %65-70 katı madde elde edilmiştir (Diemme Filtration, 2011). Yapılan testlerin özet tablosu ise Çizelge 6.26'da gösterilmiştir.

Çizelge 6.25. Farklı şartlar altında 2. yıkayıcı tikineri alt akım çamuruna yapılan membranlı ve kek yıkamalı presleme test sonuçları

Eti Alüminyum Kırmızı Çamurunun Pres Filtre Testleri (2. yıkayıcı çamuru)						
Test No	Birim	1	2	3	4	5
Filtrasyon alanı	m ²	6	6	6	6	6
Plaka derinliği	mm	40	40	40	40	40
Plaka düzeneği						
Tipi		mixed pack	mixed pack	mixed pack	mixed pack	mixed pack
Plaka adeti		5	5	5	5	5
Besleme çamuru						
Alındığı yer		2. yıkayıcı alt akımı	2. yıkayıcı alt akımı	2. yıkayıcı alt akımı	2. yıkayıcı alt akımı	2. yıkayıcı alt akımı
Sıcaklık	°C	80	80	80	80	80
Katı konsantrasyonu	g/l	382	382	382	382	382
Na ₂ O _k konsantrasyonu	g/l	25,04	25,04	25,04	25,04	25,04
Beslenen çamur miktarı	l	230	230	230	230	230
Çamur besleme süresi	dakika	21,6	30	33,3	30,8	30
Maksimum basınç	bar	6,5	6,5	4	4	4
Kek yıkama						
Kullanılan su		Kondensat	Kondensat	Kondensat	Kondensat	Kondensat
Sıcaklık	°C	70	70	70	70	70
Kullanılan su miktarı	l	175	260	200	300	280
Yıkama süresi	dakika	10	18	10,8	10,8	9,2
Yıkama basıncı	bar	5	5	8	8	8
Filtrat						
Filtrat AKM	mg/l	52	87	74	70	41
Filtrat Bulanıklık	NTU	131	191	222	171	151
Membran Sıkıştırma						
Sıkıştırma süresi	dakika	7	5	5	5	5
Sıkıştırma basıncı	bar	12,5	12,5	12,6	12,6	12,6
Hava ile sıkıştırma	Var/ Yok	var	var	var	var	var
Toplam çevrim süresi	dakika	41	55	52	50	47
Filtre keki						
Ortalama kek kalınlığı	mm	25-28	25-28	23	23	24
Toplam nemli kek ağırlığı	kg	124	124	120	123	124
Yıkanabilir Na ₂ O _k	%	0,61	0,83	0,22	0,21	0,22
Kek nemi	%	28,29	28,62	28,9	28,74	27,96
Toplam kuru kek ağırlığı	kg	88,9	88,5	85,3	87,6	89,3
Spesifik filtrasyon hızı	kg/m ² /h	21,7	16,1	16,4	17,5	19,0
Kek yıkama suyu miktarı	l/kg	1,97	2,94	2,34	3,42	3,13

Çizelge 6.26. 2. yıkayıcı alt akım çamurunun membranlı ve kek yıkamalı presleme test sonuçları değerlendirme özet tablosu

Toplam filtrasyon çevrim süresi, dakika	41-55
Kek kalınlığı, mm	23-28
Nemli kek ağırlığı, kg	123
Kek nemi, %	28.5
Kekin ayrılma özelliği	İyi
Filtrat askıda katı miktarı	temiz
Yıkanabilir kostik içeriği, %	0.42
Kek yıkama suyu miktarı, m ³ /ton	1.97-3.41
Spesifik filtrasyon hızı, kg/m ² /h	18.1

6.4.2.3. Birinci yıkayıcı tikineri çamuru ile yapılan pres filtre deneyleri

6 kademeli kırmızı çamur yıkama devresinin ilk tikineri olan ve yıkama devresinden elde edilen üst akım yıkama suyunun elde edildiği 1. yıkayıcı alt akım çamurunun pres filtre testleri gerçekleştirilmiştir. Membranlı ve kek yıkamalı olarak presleme deneyleri yapılmış ve sonuçlar detaylı olarak Çizelge 6.27 ve 6.28’de verilmiştir. Sonuçlara göre;

- 1.yıkayıcı alt akım kırmızı çamuru ile yapılan pilot pres filtre deneyleri oldukça başarılı sonuçlar vermiştir.
- Pres filtre plakalarının orijinal derinliği 40 mm dir. Yapılan testlerden elde edilen keklerin kalınlıkları ise 23-28 mm arasında değişkenlik göstermiştir.
- Pres filtre 1. yıkayıcı altı çamurunu preslemek amacıyla kullanılacak olursa kek yıkama yapmak dışında bir alternatif söz konusu olmamaktadır. Bu sebeple kek yıkamalı olarak yapılan testlerdeki filtrasyon çevrim süresi 37 ile 51 dakika arasındadır.
- Elde edilen filtratın AKM değerleri kabul sınırının (<500 mg/l) olup, ortalama 29.96 mg/l’dir.
- %28.8 nem değeri elde edilmiştir.
- Keklerin filtre plakalarından ayrılma özelliği iyi derecede gerçekleşmiştir.
- Yıkama yapıldıktan sonra kalan yıkanabilir kostik miktarı ise yaklaşık % 0.64’tür.

Çizelge 6.27. Farklı şartlar altında 1. yıkayıcı tikineri alt akım çamuruna yapılan membranlı ve kek yıkamalı presleme test sonuçları

Eti Alüminyum Kırmızı Çamurunun Pres Filtre Testleri (1. yıkayıcı çamuru)						
Test No	Birim	1	2	3	4	5
Filtrasyon alanı	m ²	6	6	6	6	6
Plaka derinliği	mm	40	40	40	40	40
Plaka düzeneği						
Tipi		mixed pack	mixed pack	mixed pack	mixed pack	mixed pack
Plaka adeti		5	5	5	5	5
Besleme çamuru						
Alındığı yer		1. yıkayıcı alt akımı	1. yıkayıcı alt akımı	1. yıkayıcı alt akımı	1. yıkayıcı alt akımı	1. yıkayıcı alt akımı
Sıcaklık	°C	80	80	80	80	80
Katı konsantrasyonu	g/l	370	370	370	370	370
Na ₂ O _k konsantrasyonu	g/l	52,2	52,2	52,2	52,2	52,2
Beslenen çamur miktarı	l	230	230	230	230	230
Çamur besleme süresi	dakika	28	30	20	23,3	35
Maksimum basınç	bar	6	6	4	4	4
Kek yıkama						
Kullanılan su		Kondensat	Kondensat	Kondensat	Kondensat	Kondensat
Sıcaklık	°C	70	70	70	70	70
Kullanılan su miktarı	l	160	260	190	260	350
Yıkama süresi	dakika	12	16,6	9	8	8
Yıkama basıncı	bar	5	5	8	8	8
Filtrat						
Filtrat AKM	mg/l	50	42	14,7	22,5	20,6
Filtrat Bulanıklık	NTU	168	39	67	135	124
Membran Sıkıştırma						
Sıkıştırma süresi	dakika	5	5	5	5	5
Sıkıştırma basıncı	bar	12,6	12,6	12,6	12,6	12,6
Hava ile sıkıştırma	Var/ Yok	var	var	var	var	var
Toplam çevrim süresi	dakika	47	54	37	40	51
Filtre keki						
Ortalama kek kalınlığı	mm	28	25-28	25	24	23
Toplam nemli kek ağırlığı	kg	124	124	118	122	113
Yıkanabilir Na ₂ O _k	%	0,81	0,73	1,16	0,27	0,23
Kek nemi	%	28,53	29,15	27,98	28,81	29,41
Toplam kuru kek ağırlığı	kg	88,6	87,9	85,0	86,9	79,8
Spesifik filtrasyon hızı	kg/m ² /h	18,9	16,3	23,0	21,7	15,6
Kek yıkama suyu miktarı	l/kg	1,81	2,96	2,24	2,99	4,39

Çizelge 6.28. 1. yıkayıcı alt akım çamurunun membranlı ve kek yıkamalı presleme test sonuçları değerlendirme özet tablosu

Toplam filtrasyon çevrim süresi, dakika	37-51
Kek kalınlığı, mm	23-28
Nemli kek ağırlığı, kg	120
Kek nemi, %	28.8
Kekin ayrılma özelliği	iyi
Filtrat askıda katı miktarı	temiz
Yıkanabilir kostik içeriği, %	0.1
Kek yıkama suyu miktarı, m ³ /ton	1.81-4.39
Spesifik filtrasyon hızı, kg/m ² /h	19.1

6.4.2.4. Çöktürücü tikineri çamuru ile yapılan pres filtre deneyleri

Kırmızı çamurun 6 kademeli yıkama devresine gönderildiği yer olarak adlandırılan çöktürücü tikinerinden alınan çamurun pres filtre deneyleri gerçekleştirilmiştir. Önceki çalışmada olduğu gibi, membranlı ve kek yıkamalı olarak presleme yapılmış ve testlerin detaylı sonuçları Çizelge 6.29 ve Çizelge 6.30'da verilmiştir. Buna göre, elde edilen sonuçlar şöyle gerçekleşmiştir;

- Çöktürücü tikineri alt akım kırmızı çamuru ile yapılan pres filtre çalışmaları neticesinde oldukça başarılı sonuçlar elde edilmiştir.
- Pres filtre plakalarının orijinal derinliği 32 mm dir. Yapılan testlerden elde edilen keklerin kalınlıkları ise 26-28 mm arasında değişkenlik göstermiştir.
- Pres filtre çöktürücü altı çamurunu preslemek amacıyla kullanılacak olursa kek yıkama yapmak dışında bir alternatif söz konusu olmamaktadır. Bu sebeple kek yıkamalı olarak yapılan testlerdeki filtrasyon çevrim süresi 48-58 dakika arasındadır.
- Elde edilen filtratın AKM değerleri kabul sınırının (<500 mg/l) altında olup, ortalama 103.5 mg/l'dir.
- %28.1 nem değeri elde edilmiştir.
- Keklerin filtre plakalarından ayrılma özelliği iyi derecede gerçekleşmiştir.
- Çamur kekinin yıkanabilir kostik içeriği ile ilgili analizler yapılmış ve yıkama yapıldıktan sonra kalan yıkanabilir kostik miktarının % 4.33 arasında olduğu tespit edilmiştir. Kostik miktarının yüksek oluşu kek içerisinde iyi bir yıkamanın yapılamadığı anlamına gelmektedir.

Çizelge 6.29. Farklı şartlar altında Çöktürücü tikineri alt akım çamuruna yapılan membranlı ve kek yıkamalı presleme test sonuçları

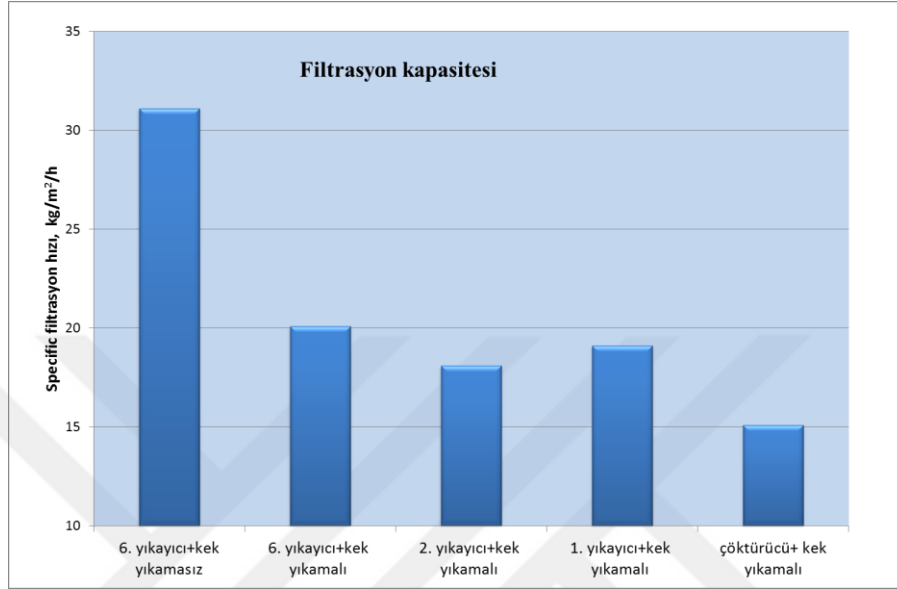
Eti Alüminyum Kırmızı Çamurunun Pres Filtre Testleri (Çöktürücü)			
	Birim	1	2
Test No			
Filtrasyon alanı	m ²	6	6
Plaka derinliği	mm	40	40
Plaka düzeneği			
Tipi		mixed pack	mixed pack
Plaka adeti		5	5
Besleme çamuru			
Alındığı yer		Çöktürücü alt akımı	Çöktürücü alt akımı
Sıcaklık	°C	85	85
Katı konsantrasyonu	g/l	410	410
Na ₂ O _k konsantrasyonu	g/l	154,4	154,4
Beslenen çamur miktarı	l	230	230
Çamur besleme süresi	dakika	21,6	33,3
Maksimum basınç	bar	4	4
Kek yıkama			
Kullanılan su		Kondensat	Kondensat
Sıcaklık	°C	70	70
Kullanılan su miktarı	l	180	400
Yıkama süresi	dakika	6,5	15
Yıkama basıncı	bar	8	8
Filtrat			
Filtrat AKM	mg/l	112	95
Filtrat Bulanıklık	NTU	230	213
Membran Sıkıştırma			
Sıkıştırma süresi	dakika	5	5
Sıkıştırma basıncı	bar	12,6	12,6
Hava ile sıkıştırma	Var/ Yok	var	var
Toplam çevrim süresi	dakika	48	58
Filtre keki			
Ortalama kek kalınlığı	mm	26	28
Toplam nemli kek ağırlığı	kg	136	130
Yıkanabilir Na ₂ O _k	%	3,89	4,78
Kek nemi	%	28,24	27,92
Toplam kuru kek ağırlığı	kg	97,6	93,7
Spesifik filtrasyon hızı	kg/m ² /h	19,4	16,2
Kek yıkama suyu miktarı	l/kg	1,84	4,27

Çizelge 6.30. Çöktürücü tikineri alt akım çamurunun membranlı ve kek yıkamalı presleme test sonuçları değerlendirme özet tablosu

Toplam filtrasyon çevrim süresi, dakika	48 - 51
Kek kalınlığı, mm	26 - 28
Nemli kek ağırlığı, kg	133
Kek nemi, %	28.1
Kekin ayrılma özelliği	iyi
Filtrat askıda katı miktarı	temiz
Yıkanabilir kostik içeriği, %	4,33
Kek yıkama suyu miktarı, m ³ /ton	1.84 – 4.27
Spesifik filtrasyon hızı, kg/m ² /h	17.8

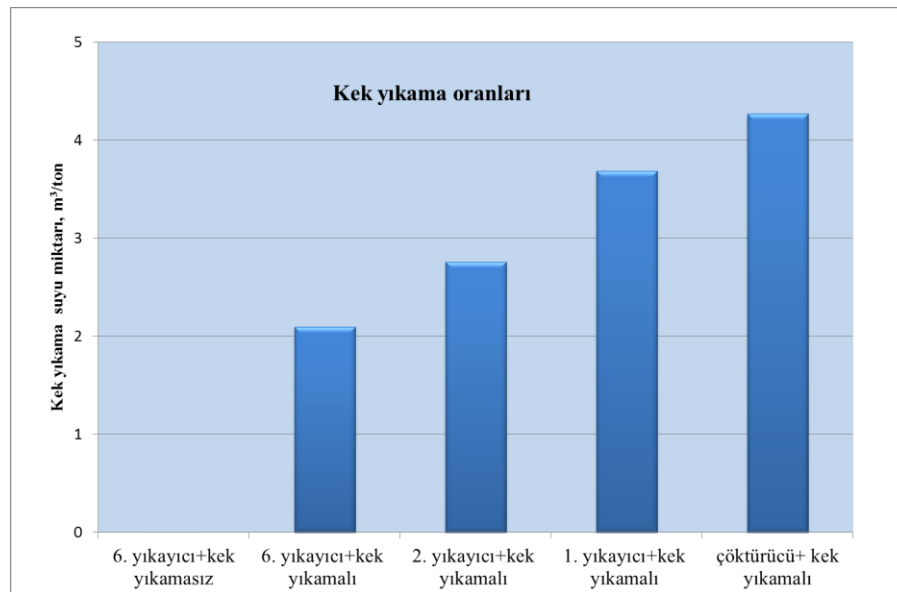
Farklı tikiner çamurları ile yapılan birinci aşama pres filtre testlerinden elde edilen sonuçlar:

Şekil 6.35'te farklı tikinerlerde yapılan pres filtre testlerinden elde edilen filtrasyon hızları gösterilmektedir. Buna göre, kek yıkama işlemi filtrasyon hızını (kapasiteyi) oldukça azaltarak $20 \text{ kg/m}^2/\text{h}$ değerinin altına düşmesine neden olmuştur.



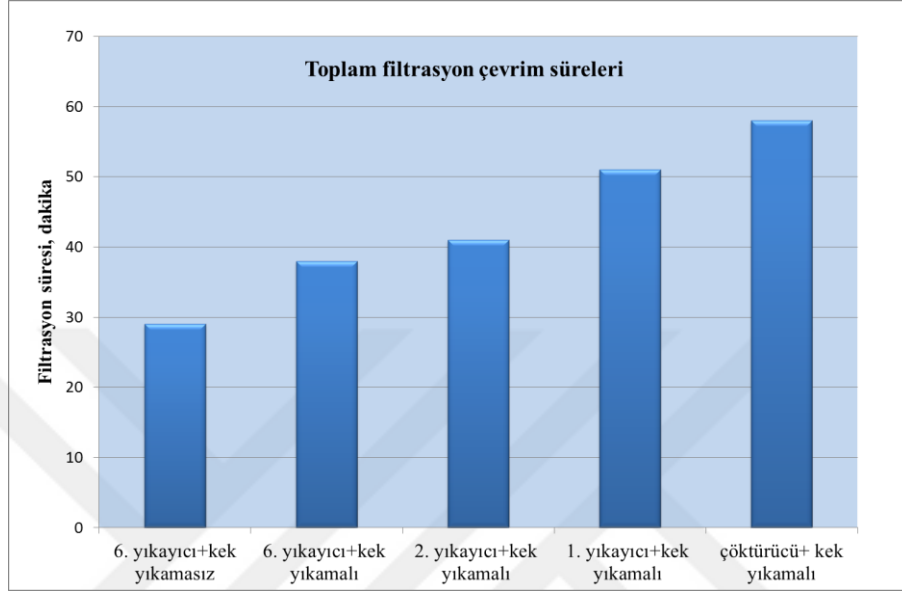
Şekil 6.35. Farklı alt akım çamurlarının pres filtre testlerindeki filtrasyon hızları

Şekil 6.36'da farklı alt akım çamurlarının pres filtre testlerinde kullanılan kek yıkama suyu miktarları gösterilmiştir. Baraja atılacak olan çamurun içerisindeki sıvı faz kostik ve alümina kayıplarını minimum seviyede tutmak için yapılan kek yıkama testlerinde, mevcut tikiner yıkama sisteminde ortalama $5-6 \text{ m}^3/\text{ton}$ su kullanılırken pres filtre kek yıkama işleminde $2 \text{ m}^3/\text{ton}$ suyun yeterli olduğu belirlenmiştir.



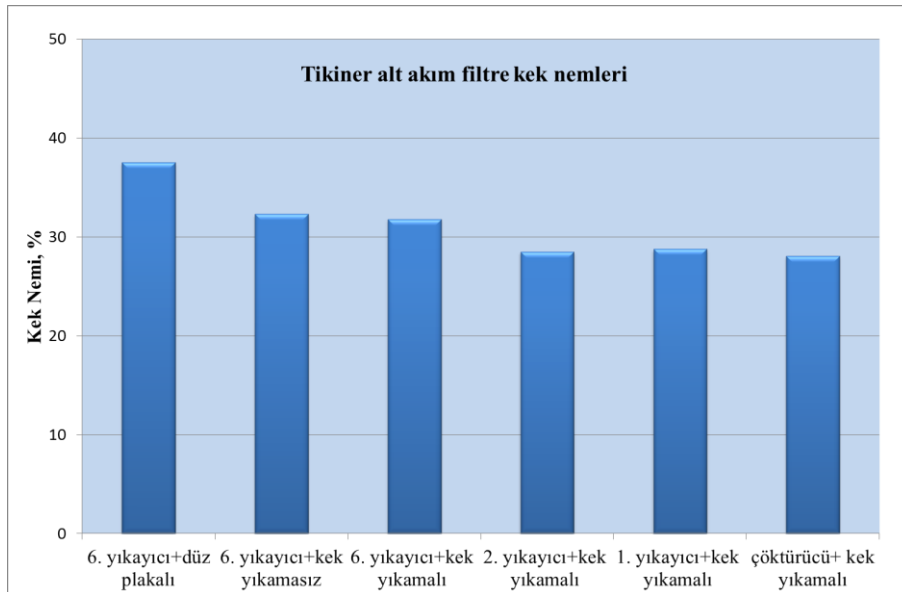
Şekil 6.36. Farklı alt akım çamurlarının pres filtre testlerindeki çamur yıkama suyu miktarları

Farklı tikiplerden alınan çamurlara yapılan pres filtre testlerinden elde edilen filtrasyon çevrim süreleri Şekil 6.37’de gösterilmektedir. Şekil 6.37’de görüldüğü gibi, filtre kek yıkamasız olarak dizayn edildiğinde saatte 2 çevrim yapılırken, kek yıkamalı olarak dizayn edildiğinde saatte 1 çevrim yapılabilmektedir.



Şekil 6.37. Farklı alt akım çamurlarının pres filtre testlerindeki filtrasyon çevrim süreleri

Farklı alt akım çamurlarının pres filtre kullanılması sonucu elde edilen susuzlandırma performansı yani % nem değerleri Şekil 6.38’de verilmiştir. Şekil 6.38’den de anlaşıldığı gibi, mevcut durumda ortalama %70 nem ile baraja veya bir sonraki tikiğe gönderilen kırmızı çamurun nem değeri pres filtre uygulaması ile %30 kadar düşürülebilmektedir.



Şekil 6.38. Preslenen farklı alt akım çamurlarının nem değerleri

Şekil 6.39'da ise kırmızı çamurun yıkamalı olarak preslendikten sonra geriye kalan sıvı faz kostik miktarı değerleri gösterilmektedir. Şekil 6.39'da görüldüğü gibi, %30 nemli olan kek içerisindeki kalan yıkanabilir kostik miktarı %0.10 ile %4.33 arasındadır Yapılan pres filtre testlerinde en olumsuz sonuçlar kekte kalan yıkanabilir kostik miktarlarında olmuştur. Filtrenin kek yıkama performansı çok da tatmin edici sonuçlar vermemiştir. Özellikle yüksek kostik konsantrasyonunun olduğu bölgelere doğru gidildikçe yıkama performansında büyük düşmeler meydana gelmiştir.



Şekil 6.39. Tikinerlere göre yıkanabilir kostik miktarları

Özetlenecek olursa;

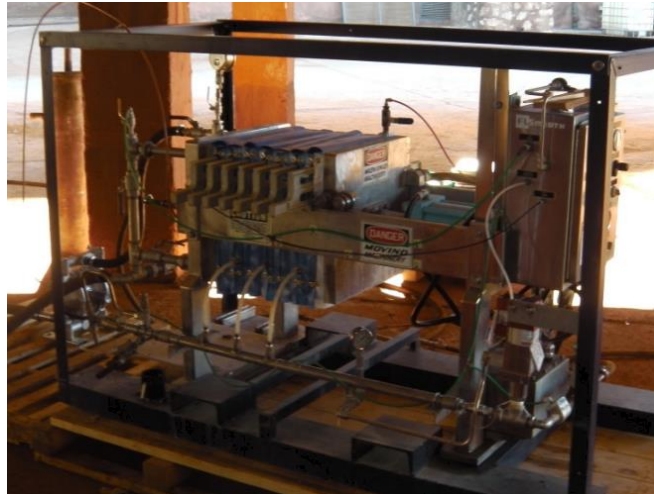
- Kırmızı çamurun mevcut sisteme göre daha fazla susuzlandırılarak kek halinde baraja gönderilmesi, böylelikle kostik ve alümina kayıplarının da azaltılması amacıyla yapılan pilot pres filtre testlerinde oldukça başarılı sonuçlar elde edilmiştir.
- 6. yıkayıcı tikineri alt akım çamuru ile yapılan testlerde ortalama %32.1 nem elde edilmiştir. Kek yıkamasız olarak yıkanabilir kostik miktarı %0.15 iken 2 m³/ton su kullanılarak elde edilen kekte kalan yıkanabilir kostik miktarı %0.095' lere kadar düşmüştür.
- 6. yıkayıcı ile yapılan testlerde ortalama kek yıkamasız 36.9 kg/m²/h, kek yıkamalı 20.1 kg/m²/h filtrasyon hızları elde edilmiştir.
- 2.yıkayıcı tikineri alt akım kırmızı çamuru ile yapılan pres filtre testlerinde ortalama %28.5 nem değeri elde edilmiştir. Filtrasyon kapasitesi 18.1 kg/m²/h

olarak gerçekleşirken çevrim süresi 41 dakika olmuştur. Kekte kalan yıkanabilir kostik değeri ise %0.42 olarak belirlenmiştir.

- 1.yıkayıcı tikineri alt akım kırmızı çamuru ile yapılan pres filtre testlerinde ortalama %28.8 nem değeri elde edilmiştir. Filtrasyon kapasitesi $19.1 \text{ kg/m}^2/\text{h}$ olarak gerçekleşirken çevrim süresi 51 dakika olmuştur. Kekte kalan yıkanabilir kostik değeri ise % 0.64 olarak belirlenmiştir.
- Son olarak, çöktürücü tikineri alt akım çamuru ile yapılan testlerde ortalama % 28.1 nem elde edilmiştir. Filtrasyon kapasitesi $18.9 \text{ kg/m}^2/\text{h}$ olarak gerçekleşirken çevrim süresi ise 58 dakika olmuştur. $4.27 \text{ m}^3/\text{ton}$ su kullanılması sonucunda yıkanabilir kostik miktarı % 4.33 olarak belirlenmiştir. Bu değer oldukça yüksek bir değerdir. Bu sebeple verimli ve etkin bir yıkama yapılamadığı söylenebilir. Filtre üzerindeki çeşitli yıkama performansını artırıcı çalışmaların yapılması gerekmektedir. Örneğin, plaka üzerindeki yıkama suyu besleme noktalarının konumu ve sayısı değiştirilebilir.

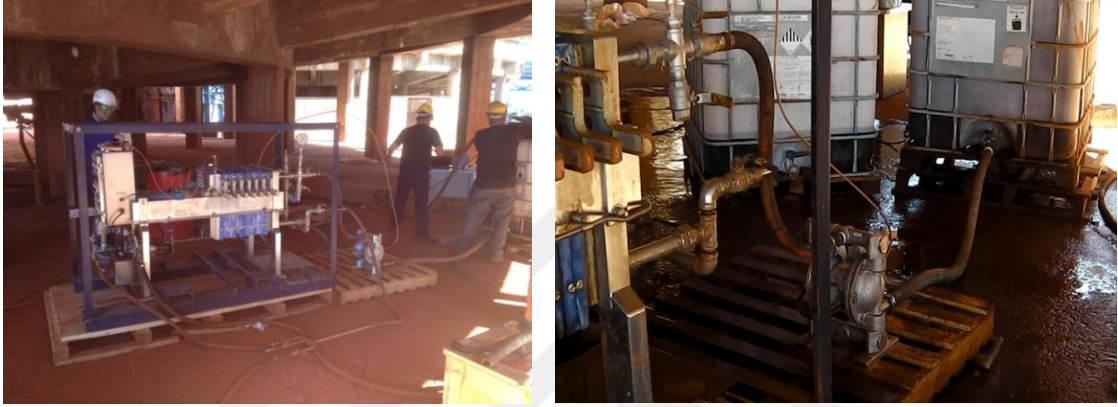
6.4.3. İkinci aşama pres filtre deneylerinin yapılışı

Pres filtre testlerinin ikinci aşamasında yurtdışından bir firma ile anlaşma sağlanmış ve pilot pres filtre ünitesi Almanya'dan Eti Alüminyum A.Ş. tesisine getirilmiştir. Pilot ünitenin kurulumu ve çalıştırılması için gerekli tüm detaylar incelenmiş ve hazır hale getirilmiştir. Şekil 6.40'ta gösterilen yüksek basınçlı pres filtre olarak tanımlanan bu filtre mixpack (düz plakalı ve membranlı plaka) olarak adlandırılan karışık tipte plakaların kullanıldığı ve kontrol paneli ile yarı otomatik olarak çalıştırılan bir modeldir. Sıkıştırma işlemi için ise basınçlı su tedarik eden bir pompa kullanılmaktadır.



Şekil 6.40. 16 bar'lık düz ve membran plakalı ikinci aşama pilot pres filtre

Pres filtre karıştırılmalı bir besleme tankına ve diyaframlı bir besleme pompasına sahiptir. Şekil 6.41’de pilot pres filtre ünitesinin ön kısmı ve prosese bağlantı noktaları gösterilmektedir. Pilot pres filtre ünitesi yarı otomatik olarak kumanda panelinden devreye alınıp çıkartılabilmektedir. Panelin üzerinde pompaların start–stop düğmeleri ve çeşitli manometre ve sayaçlar bulunmaktadır. Kontrol paneli sayesinde filtrasyon çevriminin tüm aşamaları kontrol düğmeleri ile kumanda edilmekte ve prosedür aşamaları dikkate alınarak operasyon yapılabilmektedir.



Şekil 6.41. Pilot pres filtrenin besleme tankı ve diyafram pompası

Pres filtrelerde istenilen nem miktarına ulaşılmasını sağlayan önemli parametrelerden biri de kullanılacak olan filtre bezidir. Preslenecek olan malzemenin özellikleri, tane boyut dağılımı ve filtrenin kapasitesini belirleyen etkenlerden bir tanesi olan filtre bezi seçiminde çok dikkatli olunması gerekmektedir. En uygun bezin seçimi için çeşitli ön testler yapılmalıdır. Yapılan testler neticesinde kullanılacak olan beze karar verilmelidir. Pres filtrelerde çoğunlukla polypropilen filtre bezleri kullanılmaktadır. Polypropilen filtre bezleri dokuma yapısına göre monofilament, multifilament ya da mono-multifilament olarak üç gruba ayrılırlar. Seçilecek bez filtrasyon hızını ve kalitesini belirler. Şekil 6.42’te testlerde kullanılan mono-multifilament filtre bezleri gösterilmektedir.

Pilot pres filtrede kullanılan düz ve membranlı plakalar polypropilen malzemeden yapılmıştır. Bunlar 16 bar basınca ve 90 °C sıcaklığa dayanacak özelliğe sahiptirler. Plakaların derinliği 32 mm’ dir. Pilot üniteye 6 adet plaka kullanılmıştır. Birer atlamalı olarak bir adet düz plaka bir adet membran plaka olacak şekilde yerleştirilmiştir. Ünitenin toplam filtrasyon yüzey alanı 2.04 m²’ dir.



Şekil 6.42. Polypropilen filtre bezi ve kullanılan plakalar

6.4.4. İkinci aşama pres filtre testlerinden elde edilen bulgular

Almanya'dan getirilen pilot pres filtre ile öncelikle 6. yıkayıcı çamuru ile pres testleri yapılmıştır. Alınan sonuçlar neticesinde ayrıca 1. ve 2. yıkayıcı ile çöktürücü alt akım çamurları için de testler gerçekleştirilmiştir. Çizelge 6.31' de kırmızı çamur yıkama devresinde pres filtre testlerinin yapıldığı noktalar ve buradaki çamura ait spesifik değerler gösterilmektedir.

Çizelge 6.31. Testlerde kullanılan kırmızı çamurun özellikleri

Kırmızı Çamur					
Dizayn Parametreleri	Birim	Çöktürücü	1. yıkayıcı	2. yıkayıcı	6. yıkayıcı
Beslenen çamurun katı oranı	%	26.5	28	28.5	29.5
Beslenen çamurun yoğunluğu	t/m ³	1.48	1.27	1.26	1.24
Katı çamurun spesifik yoğunluğu	t/m ³	3.03			
Kırmızı çamur tane boyutu, d ₅₀	µm	2.35			
Pulpun spesifik yoğunluğu	t/m ³	1.26	1.02	1.01	0.99
Beslenen çamurun Na ₂ O içeriği	g/l	135	43	16	1.6
Beslenen pulpun sıcaklığı	°C	100	95	90	85
Çamur yıkama suyu		Kondensat			
Yıkama suyu tüketimi	m ³ /t	5.7			
Kondensat sıcaklığı	°C	90			

6.4.4.1. Altıncı yıkayıcı tikineri alt akım çamuru ile pres filtre deneyleri

Kırmızı çamur yıkama devresindeki uygun bir bölgeye kurulan pilot test ünitesi ile ilk olarak 6. yıkayıcı çamuru testlerine yapılmıştır. Test esnasında normal presleme, membranlı presleme ve kek yıkamalı olarak presleme yapılmış ve testlerin detaylı sonuçları Çizelge 6.32 ve 6.33'te gösterilmiştir. Buna göre;

- Sonuçlar oldukça başarılıdır.
- Kek yıkaması yapılmadan filtre kullanılacak olunursa her bir filtre çevrimi 20 dakika, yıkama yapılarak elde edilen kekte daha fazla kostik geri kazanımı hedeflenirse bu süre 30 dakika olmaktadır. Kesikli olarak çalışan filtreler için çevrim süresinin önemi büyüktür. Proses atığı saatlik miktarına göre kaç adet filtre alınacağı buna göre belirlenmektedir.
- Pres filtre plakalarının orijinal derinliği 32 mm'dir. Yapılan testlerden elde edilen keklerin kalınlıkları ise 19-30 mm arasında değişkenlik göstermiştir.
- Filtrasyon sonrasında elde edilen kekler bir kaba alınmış ve her çevrim sonrasında tartım yapılmıştır. Elde edilen tartımlar neticesinde elde edilen keklerin ortalama ağırlıklarının 38 kg civarında olduğu belirlenmiştir. Bu rakamın hemen hemen aynı olması demek filtre keki neminin birbirine çok yakın sonuçların alındığı neticesini doğrular yönde olmuştur.
- Çamur filtrelenirken filtrat ve preslenmiş kek olmak üzere iki adet ürün açığa çıkmaktadır. Kırmızı çamur filtrasyonu neticesinde pres filtreden elde edilen filtratın ortalama AKM (askıda katı madde) miktarı 500 mg/l nin altında olması gerekmektedir. Yapılan testlerde elde edilen filtrat AKM değeri bu üst sınır değerinin çok altında gerçekleşerek başarılı bir filtrasyon yapıldığı anlaşılmaktadır.
- Önemli bir parametre olan % nem içeriği ise %31.8'dir.
- Keklerin filtre plakalarından ayrılma özelliği iyi derecede gerçekleşmiştir.
- Atılan kek içerisindeki kostiğin geri kazanılması ile ilgili çıkan sonuçlar oldukça başarılı olmuştur.

Özetlemek gerekirse, 6. yıkayıcı alt akım kırmızı çamuruna yapılan pres filtre testleri neticesinde membranlı sıkıştırılmalı, kek yıkamalı ve kek yıkamasız elde edilen sonuçlar başarılı olarak kabul edilmiştir.

Çizelge 6.32. Farklı şartlar altında 6. Yıkayıcı tikineri alt akım çamuruna yapılan pres filtre test sonuçları

Eti Alüminyum Kırmızı Çamurunun Pres Filtre Testleri (6. yıkayıcı çamuru)					
Test No	Birim	1	2	3	4
Filtrasyon alanı	m ²	2,04	2,04	2,04	2,04
Plaka derinliği	mm	32	32	32	32
Plaka düzeneği					
Tipi		mixed pack	mixed pack	mixed pack	mixed pack
Plaka adeti		6	6	6	6
Besleme çamuru					
Alındığı yer		6. yıkayıcı alt akımı	6. yıkayıcı alt akımı	6. yıkayıcı alt akımı	6. yıkayıcı alt akımı
Sıcaklık	°C	70	70	70	70
Katı konsantrasyonu	g/l	375	375	375	375
Na ₂ O _k konsantrasyonu	g/l	1,6	1,6	1,6	1,6
Çamur besleme süresi	dakika	9	9	4,5	4,5
Maksimum basınç	bar	5,5			
Ön sıkıştırma					
Ön sıkıştırma süresi	dakika	15	2	2	2
Ön sıkıştırma basıncı	bar	7	2	2	2
Kek ön yıkama					
Kullanılan su				filtrat	filtrat
Suyun sıcaklığı	°C			20	20
Ön yıkama süresi	dakika			2	10
Ön yıkama basıncı	bar			4	6
Son kek yıkama					
Kullanılan su			proses suyu	sıcak kondensat	sıcak kondensat
Sıcaklık	°C		20	60	60
Son yıkama süresi	dakika		11,5	12,5	15
Son yıkama basıncı	bar		6,4	4	8,5
Filtrat					
Filtrat miktarı(yıkama dahil)	l	46	48	60	45
Filtrat akış hızı	l/dakika		4,2	4,8	3
Filtrat AKM	mg/l	12	15	56	2
Filtrat Bulanıklık	NTU	67	59	24	17
Son sıkıştırma					
Son sıkıştırma süresi	dakika	3	10	10,5	12
Son sıkıştırma basıncı	bar	15	16	16	16
Hava ile sıkıştırma	Var/ Yok	yok	yok	var	var
Toplam çevrim süresi	dakika	28	34,5	31,5	44
Filtre keki					
Ortalama kek kalınlığı	mm	20-30	22-33	21-28	20-26
Toplam nemli kek ağırlığı	kg	38	38	38	38
Kek kalınlığı (1)		20	22	21	20
Kek kalınlığı (2)		30	33	28	26
Kek nemi (1)		31,2	31,96	31,8	31,7
Kek nemi (2)		31,3	32,29	32	31,8
Yıkabilir Na ₂ O _k (1)		0,15	0,09	0,09	0,03
Yıkabilir Na ₂ O _k (2)		0,15	0,11	0,16	0,07
Ortalama kek nemi	%	31,2	32,1	31,9	31,8
Toplam kuru kek ağırlığı	kg	26,1	25,8	25,9	25,9
Spesifik filtrasyon hızı	kg/m ² /h	27,4	22	24,2	17,3
Kek yıkama suyu miktarı	l/kg	-	1,9	2,3	1,7

Çizelge 6.33. 6. Yıkayıcı alt akım çamurunun pres filtre test sonuçları değerlendirme özet tablosu

Toplam filtrasyon çevrim süresi, dakika	
Kek yıkamasız	20
Kek yıkamalı	30
Kek kalınlığı, mm	19 - 30
Nemli kek ağırlığı, kg	38
Kek nemi, %	31.8
Kekin ayrılma özelliği	iyi
Filtrat askıda katı miktarı	oldukça temiz
Yıkabilir kostik içeriği, %	
Kek yıkamasız	0.15
Kek yıkamalı	0.03 – 0.12
Kek yıkama suyu miktarı, m ³ /ton	2
Spesifik filtrasyon hızı, kg/m ² /h	25

6.4.4.2. İkinci yıkayıcı tikineri alt akım çamuru ile pres filtre deneyleri

Bu testlerde kırmızı çamurun ters akım prensibi ile yıkanmasını sağlayan yıkama devresindeki 2. yıkayıcı tikineri alt akım çamurunda presleme ile elde edilecek sonuçlar değerlendirilmiştir. Testler esnasında normal presleme, membranlı presleme ve kek yıkamalı olarak presleme yapılmış ve Çizelge 6.34 ve 6.35'te testlerin detaylı sonuçları gösterilmiştir. Elde edilen sonuçlar şöyledir:

- Oldukça başarılı sonuçlar elde edilmiştir.
- Pres filtre 2. yıkayıcı altı çamurunu preslemek amacıyla kullanılacak olursa kek yıkama yapmak dışında bir alternatif söz konusu olamamaktadır. Bu sebeple kek yıkamalı olarak yapılan testlerdeki filtrasyon çevrim süresi 34 ile 39 dakika arasında değişmektedir.
- Elde edilen filtratın AKM değerleri ortalama 55 mg/l'dir.
- %29.2 nem değeri elde edilmiştir.
- Keklerin filtre plakalarından ayrılma özelliği ise oldukça iyidir.
- Kekte kalan yıkabilir kostik miktarının % 0.12-0.16 olduğu bulunmuştur.
- yıkayıcı alt akım kırmızı çamuruna yapılan pres filtre testleri neticesinde membranlı sıkıştırılmalı, kek yıkamalı elde edilen sonuçlar başarılı olarak kabul edilmiştir.

Çizelge 6.34. Farklı şartlar altında 2. yıkayıcı tikineri alt akım çamuruna yapılan pres filtre test sonuçları

Eti Alüminyum Kırmızı Çamurunun Pres Filtre Testleri (2. yıkayıcı çamuru)				
Test No	Birim	1	2	3
Filtrasyon alanı	m ²	2,04	2,04	2,04
Plaka derinliği	mm	32	32	32
Plaka düzeneği				
Tipi		mixed pack	mixed pack	mixed pack
Plaka adeti		6	6	6
Besleme çamuru				
Alındığı yer		2. yıkayıcı alt akımı	2. yıkayıcı alt akımı	2. yıkayıcı alt akımı
Sıcaklık	°C	70	70	70
Katı konsantrasyonu	g/l	380	380	380
Na ₂ O _k konsantrasyonu	g/l	16	16	16
Çamur besleme süresi	dakika	6	6	7
Maksimum basınç	bar	4,5	4	4
Ön sıkıştırma				
Ön sıkıştırma süresi	dakika	2	2	2
Ön sıkıştırma basıncı	bar	2	2	2
Kek ön yıkama				
Kullanılan su				
Suyun sıcaklığı	°C			
Ön yıkama süresi	dakika			
Ön yıkama basıncı	bar			
Son kek yıkama				
Kullanılan su		proses suyu	sıcak kondensat	sıcak kondensat
Sıcaklık	°C	20	70	70
Son yıkama süresi	dakika	18	20	25
Son yıkama basıncı	bar	6	8,5	7,5
Filtrat				
Filtrat miktarı(yıkama dahil)	l	59,4	45	82,5
Filtrat akış hızı	l/dakika	3,3	2,25	3,3
Filtrat AKM	mg/l	127	27	11
Filtrat Bulanıklık	NTU	540	68	37
Son sıkıştırma				
Son sıkıştırma süresi	dakika	8	8	5
Son sıkıştırma basıncı	bar	16	16	16
Hava ile sıkıştırma	Var/ Yok	var	var	var
Toplam çevrim süresi	dakika	34	36	39
Filtre keki				
Ortalama kek kalınlığı	mm	25	19-26	25-30
Toplam nemli kek ağırlığı	kg	38	38	38
Kek kalınlığı (1)		25	19	25
Kek kalınlığı (2)			26	30
Kek nemi (1)		30,06	28,44	29,1
Kek nemi (2)			28,74	28,8
Yıkanabilir Na ₂ O _k (1)		0,22	0,12	0,15
Yıkanabilir Na ₂ O _k (2)			0,16	0,16
Ortalama kek nemi	%	30	28,7	29
Toplam kuru kek ağırlığı	kg	26,6	27,1	27
Spesifik filtrasyon hızı	kg/m ² /h	23	22,1	20,4
Kek yıkama suyu miktarı	l/kg	2,2	1,7	3,1

Çizelge 6.35. 2.Yıkayıcı alt akım çamurunun pres filtre test sonuçları değerlendirme özet tablosu

Toplam filtrasyon çevrim süresi, dakika	34-39
Kek kalınlığı, mm	19-30
Nemli kek ağırlığı, kg	38
Kek nemi, %	29.2
Kekin ayrılma özelliği	iyi
Filtrat askıda katı miktarı	oldukça temiz
Yıkanabilir kostik içeriği, %	0.12–0.16
Kek yıkama suyu miktarı, m ³ /ton	2.3
Spesifik filtrasyon hızı, kg/m ² /h	23

6.4.4.3. Birinci yıkayıcı tikiyeri alt akım çamuru ile pres filtre deneyleri

Birinci yıkayıcı çamuru ile yapılan testler membranlı presleme ve kek yıkamalı olarak gerçekleştirilmiştir. Elde edilen bulgular Çizelge 6.36 ve 6.37’de gösterilmiştir. Neticede;

- Oldukça başarılı sonuçlar elde edilmiştir.
- Pres filtre 1. yıkayıcı altı çamurunu preslemek amacıyla kullanılacak olursa kek yıkama yapmak dışında bir alternatif söz konusu olamamaktadır. Bu sebeple kek yıkamalı olarak yapılan testlerdeki filtrasyon çevrim süresi 32 ile 38 dakika arasında gerçekleşmiştir.
- Elde edilen filtratın AKM değerleri ortalama 7 mg/l’dir.
- %29.5 nem değeri elde edilmiştir.
- Keklerin filtre plakalarından ayrılabilme özelliği iyi derecededir.
- Yıkanabilir kostik miktarının % 0.16-0.19 olduğu belirlenmiştir.

Çizelge 6.36. Farklı şartlar altında 1. yıkayıcı tikineri alt akım çamuruna yapılan pres filtre test sonuçları

Eti Alüminyum Kırmızı Çamurunun Pres Filtre Testleri (1. yıkayıcı çamuru)			
	Birim	1	2
Test No			
Filtrasyon alanı	m ²	2,04	2,04
Plaka derinliği	mm	32	32
Plaka düzeneği			
Tipi		mixed pack	mixed pack
Plaka adeti		6	6
Besleme çamuru			
Alındığı yer		1. yıkayıcı alt akımı	1. yıkayıcı alt akımı
Sıcaklık	°C	70	70
Katı konsantrasyonu	g/l	385	385
Na ₂ O _k konsantrasyonu	g/l	43	43
Çamur besleme süresi	dakika	6	9
Maksimum basınç	bar	4	4
Ön sıkıştırma			
Ön sıkıştırma süresi	dakika	2	2
Ön sıkıştırma basıncı	bar	2	2
Kek ön yıkama			
Kullanılan su			
Suyun sıcaklığı	°C		
Ön yıkama süresi	dakika		
Ön yıkama basıncı	bar		
Son kek yıkama			
Kullanılan su		sıcak kondensat	sıcak kondensat
Sıcaklık	°C	70	70
Son yıkama süresi	dakika	22	18
Son yıkama basıncı	bar	6	8,5
Filtrat			
Filtrat miktarı(yıkama dahil)	l	72,6	72
Filtrat akış hızı	l/dakika	3,3	4
Filtrat AKM	mg/l	6	8
Filtrat Bulanıklık	NTU	11	28
Son sıkıştırma			
Son sıkıştırma süresi	dakika	8	6
Son sıkıştırma basıncı	bar	16	16
Hava ile sıkıştırma	Var/ Yok	var	var
Toplam çevrim süresi	dakika	38	32
Filtre keki			
Ortalama kek kalınlığı	mm	27-29	21-30
Toplam nemli kek ağırlığı	kg	38	38
Kek kalınlığı (1)		27	21
Kek kalınlığı (2)		29	30
Kek nemi (1)		29,3	29,6
Kek nemi (2)		29,4	29,3
Yıkabilir Na ₂ O _k (1)		0,17	0,16
Yıkabilir Na ₂ O _k (2)		0,19	0,16
Ortalama kek nemi	%	29,4	29,4
Toplam kuru kek ağırlığı	kg	26,8	26,8
Spesifik filtrasyon hızı	kg/m ² /h	20,8	21,6
Kek yıkama suyu miktarı	l/kg	2,7	2,7

Çizelge 6.37. 1.yıkayıcı alt akım çamurunun pres filtre test sonuçları değerlendirme özet tablosu

Toplam filtrasyon çevrim süresi, dakika	32 - 38
Kek kalınlığı, mm	21 - 30
Nemli kek ağırlığı, kg	38
Kek nemi, %	29.5
Kekin ayrılma özelliği	iyi
Filtrat askıda katı miktarı	oldukça temiz
Yıkabilir kostik içeriği, %	0.16 -0.19
Kek yıkama suyu miktarı, m ³ /ton	2.7
Spesifik filtrasyon hızı, kg/m ² /h	20.8

6.4.4.4. Çöktürücü tikineri çamuru ile ikinci aşama pres filtre deneyleri

Testler normal presleme, membranlı presleme ve kek yıkamalı olarak yapılmıştır.

Çizelge 6.38 ve Çizelge 6.39'da da elde edilen bulgular gösterilmiştir. Sonulara göre;

- Kek yıkamalı olarak yapılan testlerdeki filtrasyon çevrim süresi 38 dakikadır.
- Elde edilen filtratın AKM değeri 6 mg/l'dir.
- %29.8 nem değeri elde edilmiştir.
- Keklerin filtre plakalarından ayrılma özelliği iyi derecededir.
- Yıkama yapıldıktan sonra kekte kalan yıkabilir kostik miktarı % 0.18-0.19 arasında olmuştur.

Çizelge 6.38. Farklı şartlar altında Çöktürücü tikineri alt akım çamuruna yapılan pres filtre test sonuçları

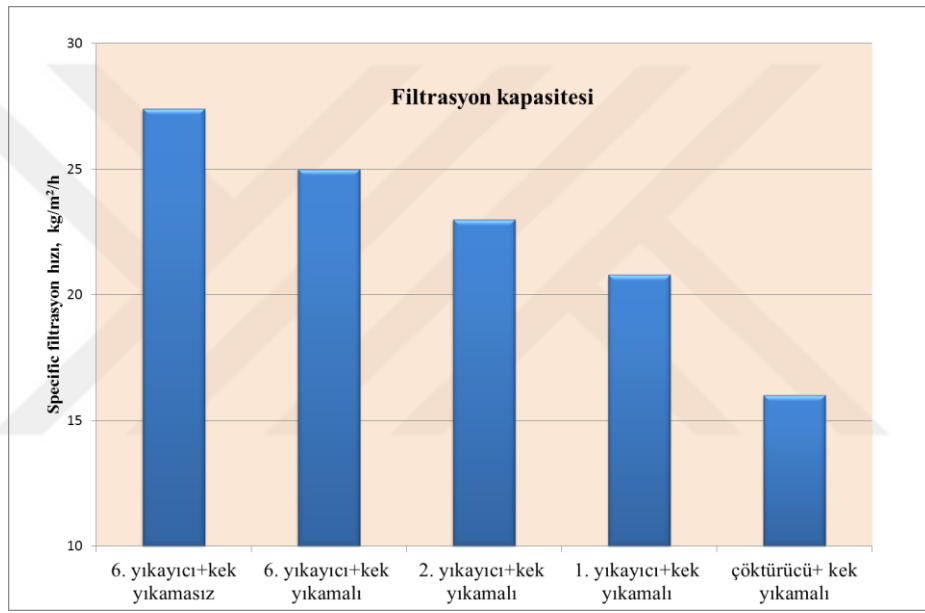
Etü Alüminyum Kırmızı Çamurunun Pres Filtre Testleri (Çöktürücü)		
Test No	Birim	1
Filtrasyon alanı	m ²	2,04
Plaka derinliği	mm	32
Plaka düzeneği		
Tipi		mixed pack
Plaka adeti		6
Besleme çamuru		
Alındığı yer		Çöktürücü alt akımı
Sıcaklık	°C	86
Katı konsantrasyonu	g/l	390
Na ₂ O _k konsantrasyonu	g/l	135
Çamur besleme süresi	dakika	8
Maksimum basınç	bar	4
Ön sıkıştırma		
Ön sıkıştırma süresi	dakika	2
Ön sıkıştırma basıncı	bar	2
Kek ön yıkama		
Kullanılan su		
Suyun sıcaklığı	°C	
Ön yıkama süresi	dakika	
Ön yıkama basıncı	bar	
Son kek yıkama		
Kullanılan su		sıcak kondensat
Sıcaklık	°C	70
Son yıkama süresi	dakika	31
Son yıkama basıncı	bar	6
Filtrat		
Filtrat miktarı(yıkama dahil)	l	84
Filtrat akış hızı	l/dakika	2,7
Filtrat AKM	mg/l	6
Filtrat Bulanıklık	NTU	21
Son sıkıştırma		
Son sıkıştırma süresi	dakika	8
Son sıkıştırma basıncı	bar	16
Hava ile sıkıştırma	Var/ Yok	var
Toplam çevrim süresi	dakika	49
Filtre keki		
Ortalama kek kalınlığı	mm	18-20
Toplam nemli kek ağırlığı	kg	38
Kek kalınlığı (1)		18
Kek kalınlığı (2)		20
Kek nemi (1)		29,8
Kek nemi (2)		29,8
Yıkanabilir Na ₂ O _k (1)		0,18
Yıkanabilir Na ₂ O _k (2)		0,19
Ortalama kek nemi	%	29,8
Toplam kuru kek ağırlığı	kg	26,7
Spesifik filtrasyon hızı	kg/m ² /h	16
Kek yıkama suyu miktarı	l/kg	3,1

Çizelge 6.39. Çöktürücü tikineri alt akım çamuru pres filtre test sonuçları değerlendirme özet tablosu

Toplam filtrasyon çevrim süresi, dakika	49
Kek kalınlığı, mm	18 - 20
Nemli kek ağırlığı, kg	38
Kek nemi, %	29,8
Kekin ayrılma özelliği	iyi
Filtrat askıda katı miktarı	oldukça temiz
Yıkanabilir kostik içeriği, %	0.18 – 0.19
Kek yıkama suyu miktarı, m ³ /ton	3.1
Spesifik filtrasyon hızı, kg/m ² /h	16

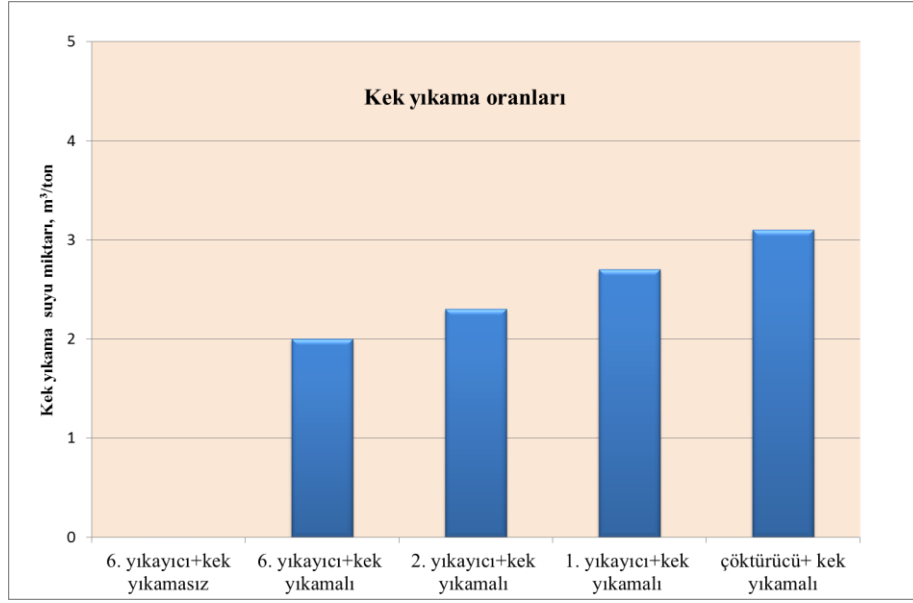
Farklı tikiner çamurları ile yapılan ikinci aşama pres filtre testlerinden elde edilen sonuçlar:

Kırmızı çamuru daha fazla susuzlandırmak ve sıvı fazdaki kostik ve alümina kayıplarını azaltmak amacıyla yapılan ikinci aşama pres filtre testlerinden elde edilen sonuçlar değerlendirilmiş ve testlerin yapıldığı tikiner alt akım çamurlarına karşılık gelen filtrasyon hızları (kapasite) Şekil 6.43'te gösterilmiştir. Şekil 6.43'te görüldüğü gibi, farklı şartlarda yapılan testlerde 27 kg/m²/h ile 16 kg/m²/h arasında değişen filtrasyon hızları elde edilmiştir. Kek yıkamalı ve kek yıkamasız yapma arasındaki fark yine Şekil 6.43'te açıkça gözlemlenmektedir.



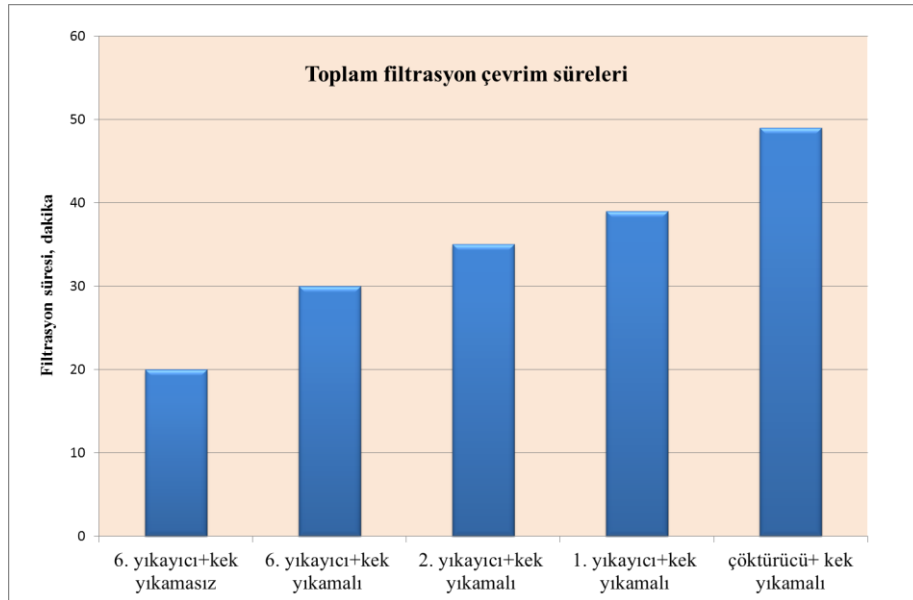
Şekil 6.43. Farklı alt akım çamurlarının filtrasyon hızları

Şekil 6.44'te farklı noktaların çamurları ile yapılan kek yıkama suyu miktarları gösterilmiştir. Baraja atılacak olan çamurun içerisindeki sıvı faz kostik ve alümina kayıplarını minimum seviyede tutmak için yapılan kek yıkama testlerinde mevcut tikiner yıkama sisteminde 5-6 m³/ton su kullanılması gerekirken pres filtre kek yıkama işleminde 6. yıkayıcı çamuru için 2 m³/ton su kullanılması yeterli olmaktadır.



Şekil 6.44. Tikiner altı çamur yıkama suyu miktarları

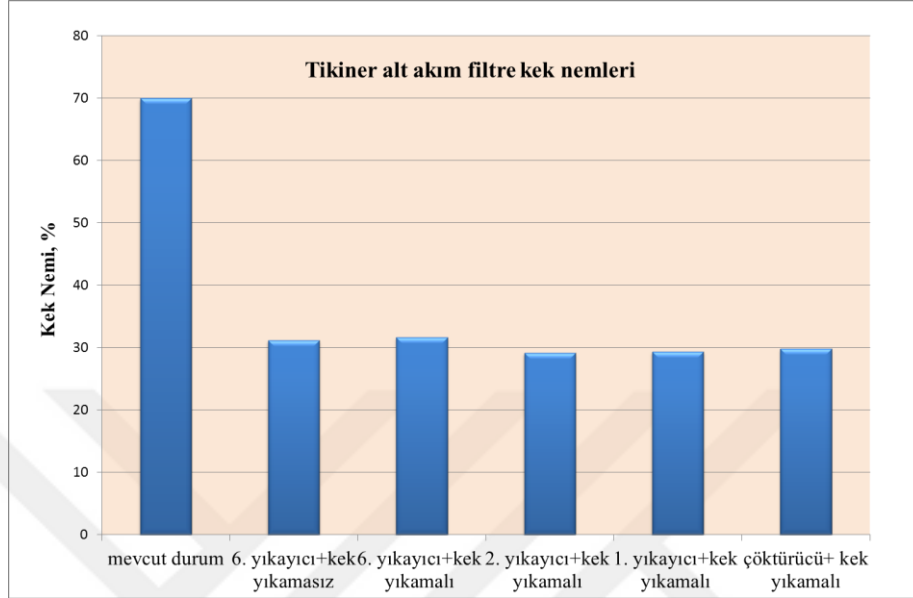
% 100 kapasitede ortalama atılan çamur miktarı 32 ton/h tir. Bu tonajdaki çamurun preslenmesi için kullanılacak olan ve kaç adet pres filtreye ihtiyaç duyulacağını belirleyecek olan filtrasyon çevrim süreleri ise Şekil 6.45'te gösterilmiştir. 6.yıkayıcı tikiner alt akım çamuruna yıkamasız olarak pres filtre uygulandığı takdirde ortalama 20 dakikalık bir filtrasyon çevrim süresinin gerçekleştiği belirlenmiştir.



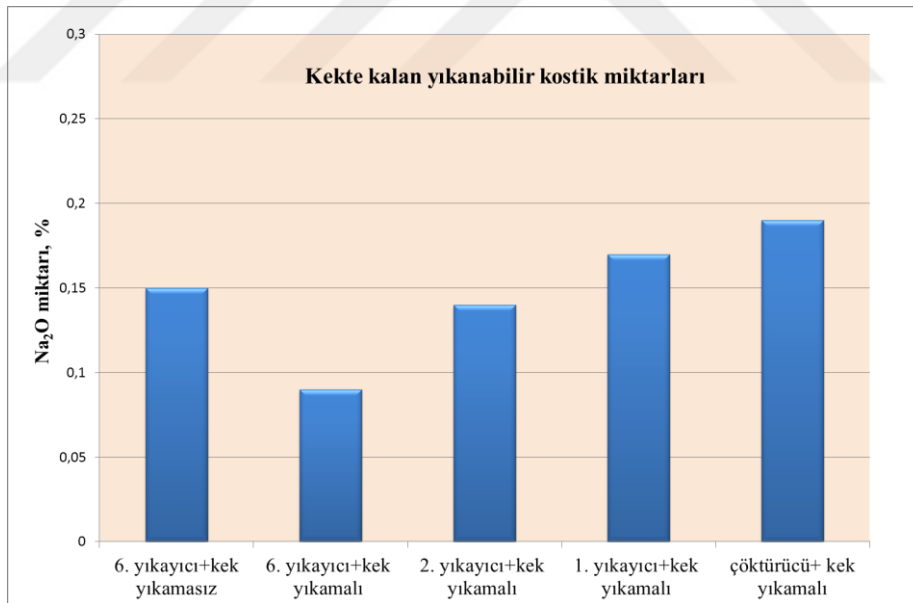
Şekil 6.45. Tikinerlere göre filtrasyon çevrim süreleri

Şekil 6.46'da ise susuzlandırma performansı gösterilmiştir. Mevcut durumda ortalama %70 nem ile baraja veya bir sonraki tikinere gönderilen kırmızı çamurun nem değeri ikinci aşama pres filtre uygulaması ile %30'lara düşürülebilmektedir. Yıkamalı

olarak preslenen kırmızı çamurdan kalan sıvı faz kostik miktarı değerleri Şekil 6.47'de verilmiştir. Buna göre, ortalama %30 nemli olan kek içerisindeki yıkanabilir kostik miktarı %0.09 ile 0.019 arasında değişiklik göstermektedir. Şekil 6.48 ve 6.49'da ise yapılan kırmızı çamur presleme çalışmaları ile ilgili görüntüler yer almaktadır.



Şekil 6.46. Preslenen çamurların nem değerleri



Şekil 6.47. Tikinerlere göre yıkanabilir kostik yüzdeleri



Şekil 6.48. Test esnasında elde edilen kek görüntüleri



Şekil 6.49. Elde edilen keklerden genel bir görüntü

Yapılan çalışmalar özetlenecek olursa:

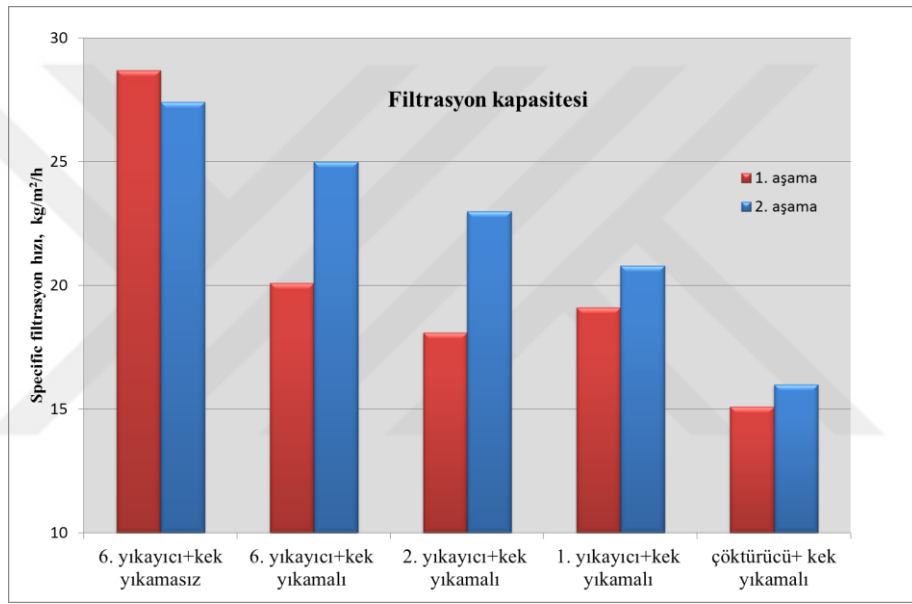
- Kırmızı çamurun pres filtre ile mevcut sisteme oranla daha fazla susuzlandırılarak baraja gönderilmesi böylelikle kostik ve alümina kayıplarının da azaltılması amacıyla yapılan pilot pres filtre ile yapılan testlerde olumlu sonuçlar elde edilmiştir.
- 6.yıkayıcı tikineri alt akım çamuru ile yapılan testlerde ortalama %32 nem elde edilmiştir. Kek yıkamasız preslemede yıkanabilir kostik miktarı %0.14 iken, 2 m³/ton su kullanılarak yapılan preslemede yıkanabilir kostik miktarı % 0.03'e kadar düşürülebilmektedir.
- Filtreleme işlemi esnasında keklerin plakalardan ayrılması kolay olmuştur. Plakaların açılması esnasında içeride hapsolmuş sıvının çevreye sıçraması gözlemlenmemiştir. Bu durum, filtrasyon sırasında etkin bir basınç drenajının yapıldığını göstermektedir.
- Yapılan testlerde kek yıkamasız yaklaşık 27 kg/m²/h, kek yıkamalı ise 25 kg/m²/h filtrasyon hızları elde edilmiştir.

- 2.yıkayıcı tikineri alt akım kırmızı çamuru ile yapılan pres filtre testlerinde %28-30 arasında nem değerleri elde edilmiştir. Filtrasyon kapasitesi 23 kg/m²/h olarak gerçekleşirken çevrim süresi ise 34 dakika olmuştur. Yıkanabilir kostik değeri ise % 0.16-0.22 arasında değişiklik göstermiştir.
- 1.yıkayıcı tikineri alt akım kırmızı çamuru ile yapılan ikinci aşama pres filtre testlerinde %29-30 arasında nem değerleri elde edilmiştir. Filtrasyon kapasitesi 20 kg/m²/h olarak gerçekleşirken çevrim süresi ise 38 dakika olmuştur. Yıkanabilir kostik değeri ise % 0.18 olarak elde edilmiştir.
- Çöktürücü tikineri alt akım çamuru ile yapılan testte ise % 29.8 nem değeri elde edilmiştir. 3.1 m³/ton su kullanılarak elde edilen yıkanabilir kostik miktarı % 0.19 olmuştur. Filtrasyon kapasitesinin 16 kg/m²/h, çevrim süresinin ise 49 dakika olduğu belirlenmiştir.

6.4.5. Birinci ve ikinci aşama pres filtre testlerinin performanslarının karşılaştırılması

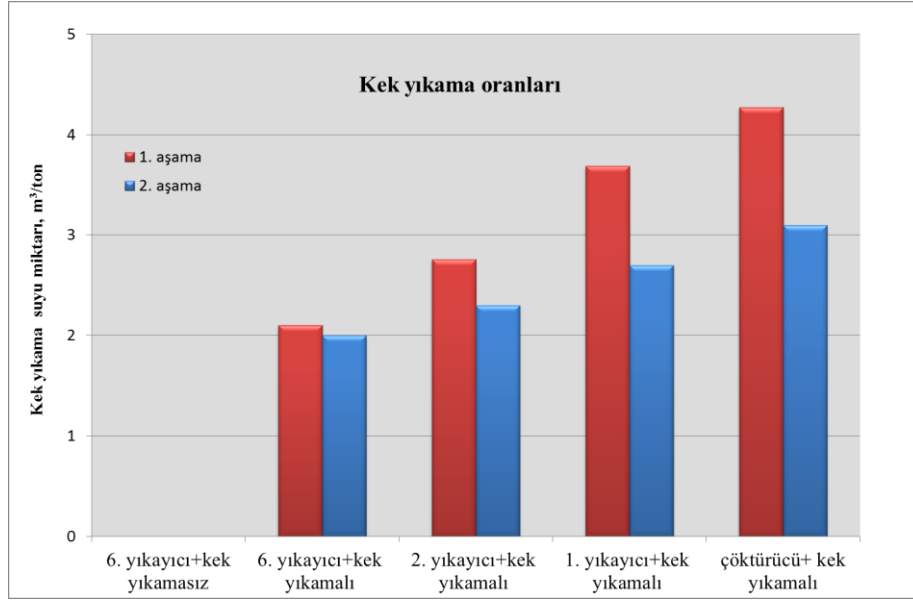
Yapılan 1. ve 2. aşama pres filtre testlerinden elde edilen sonuçlar birbirleri ile karşılaştırılmış ve böylece aralarındaki performans farkları daha net bir şekilde belirtilmiştir.

Şekil 6.50'de 1. ve 2. aşama pres filtre çalışmalarının filtrasyon hızları karşılaştırılmıştır. 1. aşama testlerinde filtrasyon hızı sonuçları ikinci aşamaya göre özellikle yıkamalı sisteme geçildiğinde daha düşük olmuştur. Bunun farklı filtre teknolojisinden ve çalışma şartlarından kaynaklandığı söylenebilir.



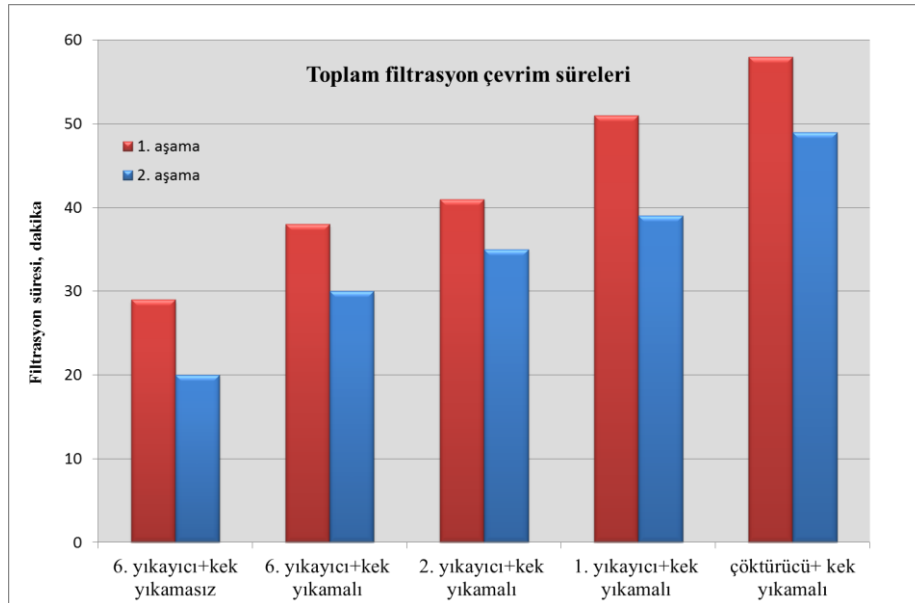
Şekil 6.50. Birinci ve ikinci aşama pres filtre testlerinden elde edilen filtrasyon hızlarının karşılaştırılması

1.ve 2. aşama pres filtre çalışmalarındaki kek yıkama suyu miktarları arasındaki değişim ise Şekil 6.51'de verilmiştir. Şekil 6.51 incelendiğinde, 6. yıkayıcı alt akım çamurunun yıkama suyu miktarı her iki filtrede benzer çıkmıştır. Ancak, diğer tikiner alt akımları uygulamalarında yıkama suyu miktarı oldukça yüksek seviyelerde olmuştur. Pres filtrelerin plaka dizaynlarının farklı olması bu duruma sebep gösterilebilir. Etkif bir yıkama alabilmek için yıkama suyu giriş noktalarının filtre plakalarına yerleşimi ve sayısının önemli olduğu söylenebilir.



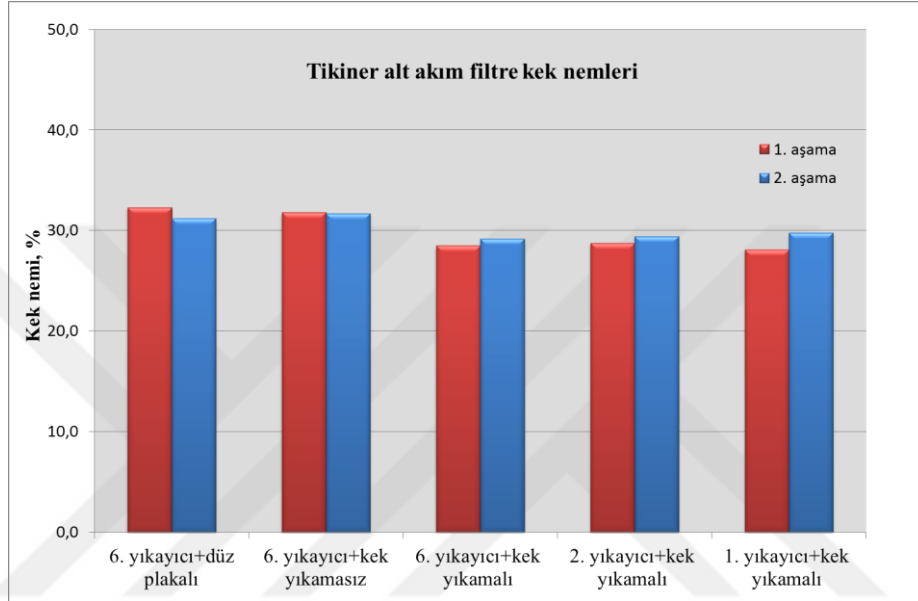
Şekil 6.51. Birini ve ikinci aşama pres filtre testlerinden elde edilen kek yıkama suyu miktarlarının karşılaştırılması

Şekil 6.52’te ise, filtrelerin çevrim süreleri karşılaştırılmış olup 1. aşama testlerinden elde edilen çevrim süresinin daha fazla olduğu belirlenmiştir. Bu da kesikli çalışan sistemi olumsuz etkilemektedir. Filtrasyon süresinin farklı olması, kullanılan filtre bezine, besleme pompasının kapasitesine ve teknik zaman olarak nitelendirilen filtrenin yeniden filtrasyona hazırlanması için geçen zaman aralığına bağlıdır. Çevrim süresi arttıkça bu olumsuzluğu tolere etmek için daha büyük kapasiteli filtre seçimi yapmak gerekmektedir.

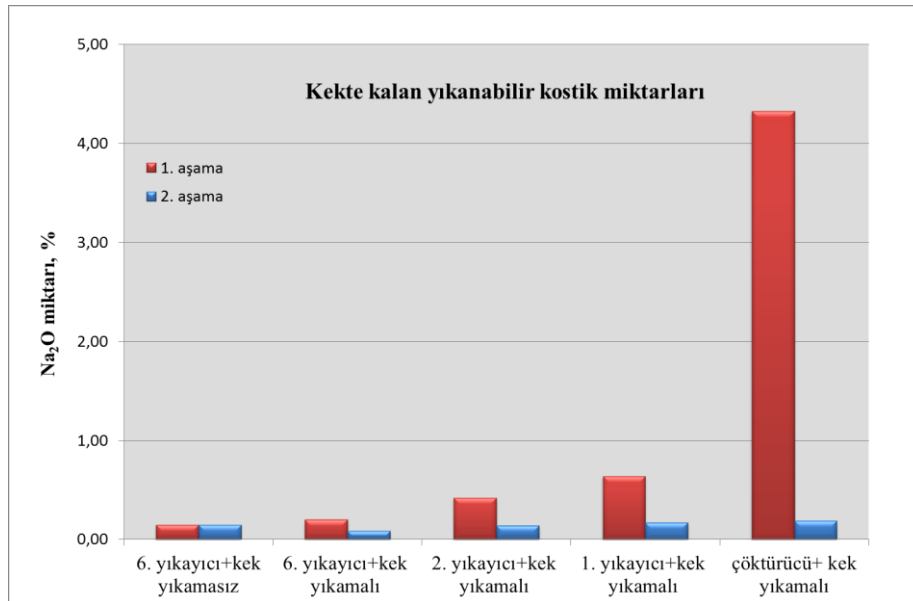


Şekil 6.52. Birinci ve ikinci aşama pres filtre testlerinden elde edilen filtrasyon çevrim sürelerinin karşılaştırılması

Yapılan testlerde her iki aşamada da belirlenen nem değerleri Şekil 6.53'te gösterilmiştir. Buna göre, her iki aşama pres filtre yönteminden yakın sonuçların elde edildiği görülmüştür. 1. ve 2. aşama pres filtre uygulamalarındaki yıkanabilir kostik miktarının karşılaştırması ise Şekil 6.54'te verilmiştir. Yıkanabilir kostik değerleri 2. aşama testlerinde oldukça başarılı sonuçlar vermiş, 1. aşama testlerinde ise kostik profili yükseldikçe yıkamanın verimsiz olduğu gözlemlenmiştir.



Şekil 6.53. Birinci ve ikinci aşama pres filtre testlerinden elde edilen kek nemlerinin karşılaştırılması



Şekil 6.54. Birinci ve ikinci aşama pres filtre testlerinden elde edilen kekte kalan yıkanabilir kostik değerlerinin karşılaştırılması

6.5. Alternatif Susuzlandırma Tekniklerinin Maliyet Analizi

Eti Alüminyum kırmızı çamurunun susuzlandırılması çalışması kapsamında dtestleri yapılan tüm bu alternatif yöntemlerin maliyet analizi de yapılması gerekmektedir. Tüm bu alternatiflerin değerlendirilmesi esnasında tek amaç elde edilen susuzlandırılmış kırmızı çamurun % nem miktarı en az seviyede tutmak değildir. Bunun yanında alternatif yöntemlerin ilk yatırım maliyetleri, yapılan yatırımın bize kazandıracakları ve kullanılmakta olan kırmızı çamurun baraj doluluk miktarına etkisi de ayrıntılı bir şekilde analiz etmemiz gerekmektedir.

Bu aşamada alternatif yöntemlerin sağlayıcısı firmalardan teklifler alınmış ve yukarıda bahsi geçen konular üzerinde mali analizler ve durum değerlendirilmesi yapılmıştır. Çizelge 6.40'ta mevcut kullanılan konvansiyonel tipteki tikiinere karşılık gelen derin tikiner, tamburlu vakum filtre, santrifüj dekantör, pres filtre yöntemleri mali açıdan ve barajdaki doluluğa etkileri detaylı bir şekilde verilmiştir.

Tüm bu verilere göre ilk yatırım maliyeti en yüksek olan pres filtre olarak karşımıza çıkmışken buna karşılık kostik geri kazanım miktarı da en fazla pres filltre gerçekleşmiştir. Bu aşamada alternatiflerin geri dönüş sürelerini analiz gerekmektedir. Bu çalışmada öncelikli amaç kırmızı çamur barajının doluluğunun önüne geçmek olduğundan tercih yaparken barajın ömrünü en çok uzatan ve bunun yanında geri dönüş süresi en uygun yatırımı tercih etmek gerekir.

Çizelge 6.40'a bakılırsa mevcut tikiner kullanılırsa barajın su seviyesi kotu her yıl 54 cm yükselmektedir. Fakat pres filtre kullanıldığı durumda bu seviye artışı 2 cm civarında kalmaktadır. Bu da baraj ömrünü mevcut sisteme oranla yaklaşık 3 kat uzatacağı anlamına gelmektedir. Mevcut sistemde kırmızı çamur ile baraja atılan kostik miktarı hesaplandığında eğer pres filtreye kullanılırsa ve ortalama kostik fiyatını 500 \$ olarak kabul edersek yılda ortalama 800,000 - 1,000,000 \$'lık bir kostik baraja atılmamış olunacaktır. Baraja atılmayan bu kostik geri kazanılacak ve fabrika açısından önemli bir tüketim kaleminin azaltılması anlamına gelecektir.

Günümüzde yeni atık barajı yapmak 5-10 milyon dolar civarındadır. Ayrıca bu barajların çevreye olumsuz etkilerinin azaltılması ve barajların ıslah edilip kapatılması da oldukça maliyetli bir çalışmadır. Bu sebeple asıl amaç barajları plansızca doldurup bir yeni baraj yapmaktan ziyade mevcut atık barajların ömrünü maksimum şekilde kullanmak çevresel ve toplumsal açıdan birinci önceliğimiz olmak zorundadır.

Çizelge 6.40. Susuzlandırma alternatiflerinin maliyet analizi ve barajın doluluğuna etkisi

KIRMIZI ÇAMUR SUSUZLANDIRMA ALTERNATİFLERİ ANALİZİ

PARAMETRELER	Birim	ETİ Tikiner	Deepcone	Drum Filtre	Santrifüj Dekantör	Pres Filtre
Kapasite	ton/h	32	32	32	32	32
Adet	1	1	1	2	3	1
Filtrasyon alanı	m ²	-	-	120	-	480
Katı oranı	%	30	38	45	52	70
Nem	%	70	62	55	48	30
Yıkama suyu miktarı	m ³ /ton	5,3	4,4	4,03	4	3,27
Kostik geri dönüş miktarı	g/l	2,7	3,7	4,5	4,6	6
Toplam Kazanç	\$/yıl	0	412.239	496.314	517.468	949.234
BARAJ ŞARTLARI						
Kostik fiyatı	\$/ton	500	500	500	500	500
Beslenen boksit miktarı	ton/yıl	520.000	520.000	520.000	520.000	520.000
Kırmızı çamur miktarı	ton/yıl	249.600	249.600	249.600	249.600	249.600
Çöktürücü S/K oranı	S/K	2,90	2,90	2,90	2,90	2,90
Kırmızı çamurun S/K oranı	S/K	2,30	1,50	1,13	1,08	0,42
Baraja prosten atılan katı miktarı	m ³ /yıl	83.200	83.200	83.200	83.200	83.200
Baraja prosten atılan sıvı miktarı	m ³ /yıl	574.080	374.400	282.048	269.568	104.832
Baraja giren yeraltı ve sızsızntı su miktarı	m ³ /yıl	220.000	220.000	220.000	220.000	220.000
Baraja giren yağmur suyu miktarı	m ³ /yıl	649.890	649.890	649.890	649.890	649.890
Barajdan buharlaşan su miktarı	m ³ /yıl	1.038.780	1.038.780	1.038.780	1.038.780	1.038.780
Barajdaki hacim artışı miktarı	m ³ /yıl	488.390	288.710	196.358	183.878	19.142
BARAJDAKİ SEVİYE DURUMU	cm/yıl	54	32	22	20	2

7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

7.1. Sonuçlar

Bayer prosesinin atığı olarak adlandırılan kırmızı çamurun susuzlandırma performansını artırmak amacıyla yapılan bu çalışmada öncelikle çamurun fiziksel ve kimyasal özellikleri incelenmiştir. Bunun için XRF, XRD, SEM, EDX, BET, PSD analizleri yapılmıştır. Sonrasında ise kırmızı çamurun derin tikiner yöntemi, vakumlu tambur filtre yöntemi, dekantör santrifüj yöntemi ve pres filtre yöntemi ile susuzlandırma testleri gerçekleştirilmiştir.

Derin Tikiner Yöntemi

Konvansiyonel tipteki tikinerler ile alt akım çamurunun katı oranı % 25-30 arasında değişiklik göstermektedir. Yetersiz olan bu oranı artırabilmek için alternatif susuzlandırma teknikleri araştırılmıştır. İlk olarak derin tikiner (deep cone) olarak adlandırılan yöntem için laboratuvar ortamında deneyler yapılmıştır. Yapılan tüm çalışmalar neticesinde derin tikiner kullanılması halinde Eti Alüminyum A.Ş.'ye ait kırmızı çamurdan % 35 katı alınabilmektedir. Derin tikinere beslenen pulpun katı oranı %5-8 olduğu kabul edilirse, bu değere göre tikinerin alt akım katı miktarının prosesteki dalgalanmalar da dikkate alınarak %33-40 olacak şekilde dizayn edilmelidir. Akma gerilmesi değeri 100 Pa olarak dikkate alındığında ise bunun standart operasyonel değerinin 50-150 Pa olacak şekilde dizaynı yapılmalıdır.

Vakumlu tambur filtre yöntemi

İkinci alternatif olarak üzerinde durulan vakumlu tambur filtre yönteminde ise, beslenen çamura koagülant ilave edilmesi halinde elde edilen kekin nemi %55 olarak gerçekleşmiştir. Ayrıca, filtrenin çamur yıkama oranı $0.35 \text{ m}^3/\text{ton}$ dur. Mevcut şartlarda tikinerlerde bu değer $3-6 \text{ m}^3/\text{ton}$ olduğu düşünülürse oldukça verimli bir yıkama yapıldığı söylenebilir. Bununla birlikte, ortalama % 0.25'lik bir kekte kalan yıkanabilir kostik konsantrasyonu elde edilmiştir. Yıkama yapılmadan yapılan deneylerde ise bu değer %0.47 civarında olmuştur. Dizayn edilecek filtrenin filtrasyon kapasitesinin ise minimum $320 \text{ kg}/\text{m}^2/\text{h}$ olması gerektiği tespit edilmiştir.

Vakumlu tambur filtre yönteminde ikinci olarak kırmızı çamur pulpuna 200 g/tonçamur Nalco 9779 + 200 g/tonçamur koagülant ilave edilerek susuzlandırma deneyleri yapılmıştır. Deneylerden % 47 katı oranına sahip kekler elde edilmiştir. Filtrenin çamur yıkama oranı ise $0.30 \text{ m}^3/\text{ton}$ 'dur. Mevcut şartlarda tikinerlerde bu

değer 3-6 m³/ton olduğu düşünülürse oldukça verimli bir yıkama yapıldığı söylenebilir. Yıkama yapılmadan yapılan deneylerde elde edilen kekte kalan yıkanabilir kostik konsantrasyonu %0.51 iken yıkama yapıldığında bu değer ortalama % 0.26'ya düşmüştür. Dizayn edilecek filtrenin filtrasyon kapasitesinin minimum 295 kg/m²/h olması gerektiği belirlenmiştir. Bununla birlikte, her iki vakumlu tambur filtre yönteminde çevrim süreleri de dikkate alınarak filtre zonlarının (sektörlerinin) açılarının hesaplanması tambur çapı ve her bir zonun yüzey alanı kolayca belirlenebilecektir.

Dekantör santrifüj yöntemi

Kırmızı çamurun susuzlandırılması amacıyla Türkiye'de ve Dünya'da daha önce herhangi bir uygulamanın yapılmadığı bir diğer alternatif susuzlandırma yöntemi olan dekantör santrifüj yöntemi çalışmalarında ise, dekantörün verimli olarak sürekli çalışabildiği gözlenmiş ve % 50-60 aralığında kek kuruluğu elde edilebilmiştir. Ayrıca, anyonik polielektrolit kullanımı ile daha berrak ve tortusuz şekilde sentrat çıkışı sağlanabilmiştir.

Pres filtre yöntemi

Son olarak, kırmızı çamurun susuzlandırılması için pilot pres filtre tetsleri yapılmıştır. Çalışmalarda kırmızı çamurun pres filtre ile mevcut sisteme oranla daha fazla susuzlandırılarak baraja gönderilebileceği ve böylelikle kostik ve alümina kayıplarının da azaltılabileceği sonucuna ulaşılmıştır. Mevcut durumda ortalama %70 nem ile baraja veya bir sonraki tükine gönderilen kırmızı çamurun nem değeri pres filtre uygulaması ile yaklaşık %30'a kadar düşürülebilmektedir. Böylece kırmızı çamur barajının kullanım ömrü de oldukça uzayacaktır. Bununla birlikte, farklı şartlarda yapılan testlerde 28 kg/m²/h ile 16 kg/m²/h arasında değişen filtrasyon hızları elde edilmiştir. Kek yıkamalı ve kek yıkamasız olarak yapılan deneyler arasındaki fark ise burada açıkça gözlemlenmiştir.

6. yıkayıcı tükini alt akım çamuru ile yapılan testlerde ortalama %30 nem elde edilmiştir. Kek yıkamasız olarak kekte kalan yıkanabilir kostik miktarı %0.14 iken 2 m³/ton su kullanıldığında bu değer ortalama % 0.03'lere düşürülebilmektedir. 6.yıkayıcı tükine alt akım çamuru yıkamasız olarak preslendiği takdirde 20 dakikalık bir filtrasyon çevrim süresi gerekmektedir. Yaklaşık %30 neme sahip kek içerisinde kalan yıkanabilir kostik miktarı %0.09 ile 0.019 arasında değişiklik göstermiştir.

2. yıkayıcı tükinine ait alt akım kırmızı çamuru ile yapılan pres filtre testlerinde %28-30 arasında nem değerleri elde edilmiştir. Filtrasyon kapasitesi 23 kg/m²/h olarak

gerçekleşirken, çevrim süresi 34 dakika olmuştur. Yıkabilir kostik değeri ise % 0.16-0.22 arasındadır.

1. yıkayıcı tikineri ait akım kırmızı çamuru ile yapılan pres filtre testlerinde %29-30 arasında nem değerleri elde edilmiştir. Filtrasyon kapasitesi 20 kg/m²/h olarak gerçekleşirken, çevrim süresi 38 dakika olmuştur. Kekte kalan yıkabilir kostik değeri ise % 0.18 civarındadır.

Çöktürücü tikineri alt akım çamuru ile yapılan testlerde ise % 29.8 nem değeri elde edilmiştir. 3.1 m³/ton su kullanılarak % 0.19 oranında kekte kalan yıkabilir kostik miktarı elde edilmiştir. Ayrıca, filtrasyon kapasitesinin 16 kg/m²/h ve çevrim süresinin ise 49 dakika olduğu tespit edilmiştir.

7.2. Öneriler

Günümüzde çağdaş yaşama ulaşılmasında madenlerin ve madenciliğin önemi çok büyüktür. Tüm dünyada ekonominin hızla gelişmesi, teknolojinin de beraberinde büyümesi ve bunun sonucu olarak damadene olan talepte artışa neden olmaktadır. Büyüyen sanayi ile birlikte talep artmakta böylelikle dünya çevresel sorunlarla karşı karşıya kalmakta ve bu sorunlar günümüzde olduğu gibi gelecek için de önemli tehditler oluşturmaktadır. Çevresel sorumluluğun önemli olduğunun farkına varan toplumlar bu sorunları bertaraf etmek için çeşitli çevresel, mekânsal plânlama ve korumanın birlikte planlanması gerekliliğini kabul etmişlerdir.

Madenciliğin çevrede yarattığı etkilerini en aza indirmek için tüm bu faaliyetlerin her aşamasında iyileştirme ve yeniden kazanma çalışmalarını planlamak zorundayız. Böylelikle geri kazanım çalışmaları daha ekonomik olabilir ve minimum zaman kaybı ile iyileştirme gerçekleştirilebilir. Dünya üzerinde hiçbir şey insan ve çevre korumasından daha önemli olamaz. Kısacası çevremizi ve insanımızı koruyabildiğimiz zaman maden işletmeciliği de ayakta kalacaktır. Madenler işletilirken doğayı koruduğumuz sürece insanlığın ilerlemesi de buna paralel olarak gelişecektir.

Bu tez çalışmasının verdiği olumlu sonuçlar neticesinde kırmızı çamurun katı olarak stoklanmasının gerekliliği açıkça ortaya konulmuştur. Bu doğrultuda;

1. Kırmızı çamurun katı stoklanması ile yaşanan doğa felaketlerinin (örneğin; Macaristan kırmızı çamur barajı) önüne geçilebilir.
2. Katı stoklama ile kullanılan baraj ömrü artırılarak baraj hacmi daha verimli kullanılabilir. Böylece kuru stoklanan kırmızı çamurun diğer sektörlerde hammadde olarak kullanımı daha kolay hale gelebilir.

3. Kırmızı çamurda bulunan kostik miktarı azaltılarak hem çevreye olan etkisi azaltılır hem de kostiğin geri kazanımı yapılmış olur.
4. Dünya’da giderek azalan doğal kaynakların kullanımının ve yönetiminin önemi her geçen gün artmaktadır. Bu sebeple kırmızı çamura uygulanan alternatif susuzlandırma teknikleri ile tesiste tüketilen su miktarının azalacağı ve böylece kaynak tüketimi konusunda büyük tasarruf sağlanacağı öngörülmüştür.
5. Yapılan tüm bu çalışmalar neticesinde kırmızı çamurun susuzlandırılması alternatifleri tüm yönüyle ele alındığında seçilmesi ve uygulanması en uygun yöntemin pres filtre olduğu görülmüştür.
6. Yapılan bu tez çalışması Üniversite&Sanayi işbirliğine örnek olabilecek bir proje haline dönüştürülecektir.

KAYNAKLAR

- ABARE, 1995, Australian Bureau of Agricultural and Resource Economics. Quarterly Mineral Statistics. Australia.
- Agatzini-Leonardou, S., Oustadakis, P., Tsakiridis, P. ve Markopoulos, C., 2008, Titanium leaching from red mud by diluted sulfuric acid at atmospheric pressure, *Journal of hazardous materials*, 157 (2), 579-586.
- Akıncı, A., 2004, Polimer Matriksli Kompozitlerde Katkı Malzemelerinin Yapı ve Özelliklere Etkisi, Doktora Tezi, SAÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği, Sakarya.
- Aksu, S., 2001, Kırmızı Çamur Bileşenlerinin Hidroklorik Asit Çözeltisindeki Çözünürlükleri, Yüksek Lisans Tezi, SAÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.
- Akyıl, H. ve Altıok, V., 1983, Boksitten Alümina Üretiminin Onuncu Yılı, *Etibank Bülteni*, Sayı: 50, 3-4.
- AL, 2015, Volume of production bauxite, alumina and aluminium in the world (mt), http://www.aluminiumleader.com/economics/world_market, [Ziyaret Tarihi: 20.02.2015].
- Alp, A., 1990, Zonguldak Boksitlerinin Alümina Üretiminde Değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 13-16.
- AntGroup, 2012, Solid-Liquid Separation Report Turkey, 1-15.
- Arslan, S., Demir, G. K., Celikel, B., Baygul, M. ve Suarez, C. E., 2012, ETI Aluminum Red Mud Characterization and Processing, *Light Metals 2012*, Florida- USA, 81-85.
- Arslan, S., Uçbeyiay, H., Çelikel, B., Baygöl, M., Avcu, S. ve Demir, G. K., 2015, ETI Aluminium red mud characteristics and evaluation of dewatering performance, *Bauxite Residue Valorisation and Best Practices Conference 2015*, Leuven, Belgium, 71-80.
- Atasoy, A., 2007, The comparison of the Bayer process wastes on the base of chemical and physical properties, *Journal of thermal analysis and calorimetry*, 90 (1), 153-158.
- Aydoğanlı, O., Ersoy, H. ve Kocaefe, M., 1982, Türkiye Alüminyum Envanteri MTA, Ankara, Yayın no:181.
- Bach, M., 2012, Red Mud Filtration Test Results using AFP IV™ Automatic Filter Press, *Light Metals 2012*, 71-74.
- Bahçeci, A., 1985, Türkiye Alüminyum Yataklarının Özellikleri, Ülke Olanakları, MTA'nın Alüminyum Aramacılığındaki Yeri, Bir Örnek Olarak Seydişehir Yatağı, *Maden Etüd ve Arama Dairesi MTA 50. Yıl Sempozyumu* Ankara, 180-189.
- Baksa, G., 1992, Alumina production and environmental protection at AJKA plant in Hungary, *Proceedings of an International Bauxite Tailings Workshop*, Perth, Western Australia, 454-466.
- Bánvölgyi, G. ve Huan, T. M., 2010, De-watering, Disposal and Utilization of Red Mud: State of the Art and Emerging Technologies, *Proceedings of XVIII International Symposium of ICSOBA*.
- Bokela, 2007, Filtration technology alumina refineries, *BOKELA leaflet*.
- Borges, A. J. P., Hauser-Davis, R. A. ve de Oliveira, T. F., 2011, Cleaner red mud residue production at an alumina plant by applying experimental design

- techniques in the filtration stage, *Journal of Cleaner Production*, 19 (15), 1763-1769.
- Borra, C. R., Pontikes, Y., Binnemans, K. ve Van Gerven, T., 2015, Leaching of rare earths from bauxite residue (red mud), *Minerals Engineering*, 76, 20-27.
- Brady, G. S. ve Claser, H. R., 1979, *Materials Handbook, 12th Mc Graw-Hill Book Company, New York*, p. 24-32.
- Cablik, V., 2007, Characterization and applications of red mud from bauxite processing, *Gospodarka surowcami mineralnymi*, 23 (4), 27-38.
- Cote, M. ve Joanne, T., 2012, High purity alumina market potential and orbite's competitive advantages, Canada.
- Çengelöglü, Y., 1991, Kırmızı çamurun değerlendirilmesi, Doktora Tezi, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*.
- Demirci, K. M., 2011, Dünya Alüminyum Üretiminde Türkiye' nin Yeri, 5. *Alüminyum Sempozyumu Açılış Bildirisi*, İstanbul.
- DPT, 2001, Sekizinci Beş Yıllık Kalkınma Planı Madencilik Özel İhtisas Komisyonu Endüstriyel Hammaddeler Alt Komisyonu Toprak Sanayi Hammaddeleri Çalışma Grubu Raporu, Ankara, 3-5.
- ENVİS, 2012, Seydişehir kırmızı çamur barajı raporu, *İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul*, 45.
- Evans, K., Nordheim, E. ve Tsesmelis, K., 2012, Bauxite residue management, *Light Metals. Warrendale, PA: TMS*, 63-66.
- Evans, K., 2015, Successes and challenges in the management and use of bauxite residue, *Bauxite Residue Valorisation and Best Practices Conference 2015, Leuven, Belgium*, 113-127.
- Flottweg, 2009, Innovative Solid Bowl Centrifuge Technology, Flottweg Separation Technology.
- Gitzen, W. H., 2002, Alumina as a ceramic material, *The American Ceramic Society, Special Puplicaton*, 4, 43-73.
- Göral, M., 1999, Kırmızı çamurdan alümina'nın geri kazanımında verimlilik koşullarının araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Sakarya, 95.
- Gözmen, T., Yüzer, H., Kalafatoğlu, E. ve Balkaş, T., 1983, Kırmızı Çamurun Değerlendirilmesi, TÜBİTAK-MAM. Gebze.
- Güldoğan, Y., 2014, Bayer gibsiti ve alüminyum tuzlarından yüksek saflıkta alüminyum hidroksit ve alümina üretimi, Yüksek Lisans Tezi, *Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İleri Teknolojiler Anabilim Dalı*, Eskişehir, 95.
- Gülfen, G., 1996, Milas Boksit Cevherlerinin Sülfürik Asit Çözeltisindeki Çözünürlüğü, *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya*.
- Gülfen, G., 1998, Hidroklorik asit çözeltisinde milas boksit cevherlerinin çözünürlüğü, Yüksek Lisans Tezi, *SAÜ Fen Bilimleri Enstitüsü*, Sakarya, 10-14.
- Hairi, S. N. M., Jameson, G. N. L., Rogers, J. J. ve MacKenzie, K. J. D., 2015, Synthesis and properties of inorganic polymers (geopolymers) derived from Bayer process residue (red mud) and bauxite, *Journal of Materials Science*, 50 (23), 7713-7724.
- HAUS, 2013, Centrifuge Technology, Centrifugal Technology Report, Turkey.
- Hudson, L. K., Misra, C., Perrotta, A. J., Wefers, K. ve Williams, F., 2000, Aluminum oxide, *Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry*.
- Kara, M., A., E. M. ve Emrulloğlu, Ö. F., 1995, Katkılı kırmızı çamurun yapı malzemesi olarak kullanım imkanlarının araştırılması, 8. Uluslararası Metalürji ve Malzeme Kongresi, İstanbul. II.Cilt: 1435-1440.

- Kılıç, Y., 2013, Kalsine kırmızı çamurun puzolanik aktivite ve betonun renklendirme, mineraloji ve fiziksel özelliklerine etkisinin incelenmesi, Doktora Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 133.
- Kocaefe, M., 1982, Dünyada ve Türkiye’de Metal ve Mineral Kaynaklarının Potansiyeli, Ticareti, Beklenen Gelişmeleri, *IX. Alüminyum Kongresi, MTA Enstitüsü*, Ankara.
- Langeloh, T., Bott, R. ve Hahn, J., 2005, Improving the performance of the red mud drum filters at EURALLUMINA with the BOKELA revamping program. 7th Alumina Quality Workshop. Perth-Australia: 131-136.
- Liddell, D. M., 1945, Handbook of Nonferrous Metallurgy: Recovery of the metals, McGraw-Hill book Company, Incorporated, p.
- Liu, X. M., Zhang, N., Sun, H. H., Zhang, J. X. ve Li, L. T., 2011, Structural investigation relating to the cementitious activity of bauxite residue - Red mud, *Cement and Concrete Research*, 41 (8), 847-853.
- Mayes, W. M., Jarvis, A. P., Burke, I. T., Walton, M., Feigl, V., Klebercz, O. ve Gruiz, K., 2011, Dispersal and Attenuation of Trace Contaminants Downstream of the Ajka Bauxite Residue (Red Mud) Depository Failure, Hungary, *Environmental Science & Technology*, 45 (12), 5147-5155.
- Mishra, B., Staley, A. ve Kirkpatrick, D., 2001, Recovery and utilization of iron from red mud, *Light Metals*, 149-156.
- Panov, A., Klimentenok, G., Gennadiy, P. ve Gorbunov, V., 2012, Directions for large scale utilization of bauxite residue, *Light Metals 2012*, Florida-USA, 93-98.
- Pashias, N., Boger, D., Summers, J. ve Glenister, D., 1996, A fifty cent rheometer for yield stress measurement, *Journal of Rheology (1978-present)*, 40 (6), 1179-1189.
- Perez-Villarejo, L., Corpas-Iglesias, F. A., Martinez-Martinez, S., Artiaga, R. ve Pascual-Cosp, J., 2012, Manufacturing new ceramic materials from clay and red mud derived from the aluminium industry, *Construction and Building Materials*, 35, 656-665.
- Power, G., Gräfe, M. ve Klauber, C., 2011, Bauxite residue issues: I. Current management, disposal and storage practices, *Hydrometallurgy*, 108 (1), 33-45.
- Pugliesi, D., 2012, Separation processes, Rotary vacuum drum filter, https://en.wikipedia.org/wiki/Rotary_vacuum-drum_filter, [Ziyaret Tarihi: 8 Temmuz 2015].
- Senff, L., Hotza, D. ve Labrincha, J., 2011, Effect of red mud addition on the rheological behaviour and on hardened state characteristics of cement mortars, *Construction and Building Materials*, 25 (1), 163-170.
- Sigmond, G., Solymar, K., Toth, P., Çev.Gencer, E. ve Nemli, H. F., 1979, Boksitten alümina üretiminin kimyasal temeli ve teknolojisi, *United Nations Industrial Development Organization*, Aluterv-FKI.
- Singh, M., Upadhayay, S. ve Prasad, P., 1996, Preparation of special cements from red mud, *Waste Management*, 16 (8), 665-670.
- Svarovsky, L., 2000, Solid-liquid separation *4 th Edition*, England and University of Pardubice, p. 246-441.
- Taggart, A. F. ve Behre, H. A., 1945, Handbook of mineral dressing, ores and industrial minerals, John Wiley & Sons, p.
- TMMOB, 2006, Alüminyum Komisyonu, 24. Dönem Çalışma Raporu, Türkiye Metalurji Mühendisleri Odası, Ankara, 114-115.

- Tsakiridis, P., Agatzini-Leonardou, S. ve Oustadakis, P., 2004, Red mud addition in the raw meal for the production of Portland cement clinker, *Journal of hazardous materials*, 116 (1), 103-110.
- Tümen, T., 2003, Dünya ve Türkiye’de birincil alüminyum üretiminde hammadde rezervleri, *II. Alüminyum Sempozyumu ve Sergisi*, Seydisehir, 127-129.
- USGS, 2006, United states geological survey, <http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/bauxite>, [Ziyaret Tarihi: 16 Aralık 2015].
- Uzun, D., 2006, Kırmızı çamurdan demir ve alüminyumun sülfürik asit çözeltisindeki çözünme kinetiği, Yüksek Lisans Tezi, *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Sakarya, 93.
- WAO, 2015, Primary aluminium, <http://www.world-aluminium.org/statistics/primary-aluminium>, [Ziyaret Tarihi: 10 Ağustos 2015].
- Wefers, K. ve Misra, C., 1987, Oxides and hydroxides of aluminum, *ALCOA Technical Paper*, 19.
- Westech, 2010, Seydisehir ETI Aluminium on-site laboratory testing report. Seydisehir, Turkey.
- Westech, 2015, Deep paste thickener, www.westech.com, [Ziyaret Tarihi: 15 Eylül 2015].
- Yalçın, N., 1996, Kırmızı Çamurun Seramik Endüstrisinde Değerlendirilmesi, *Doktora Tezi*, *Sakarya Üniversitesi*, Sakarya.
- Yalçın, Ü., Schreyer, W. ve Medenbach, O., 1993, Zn-rich högbomite formed from gahnite in the metabauxites of the Menderes Massif, SW Turkey, *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 113 (3), 314-324.
- Yeğen, A. ve Yalçın, N., 2002, Sulardaki fosfatın kimyasal atık maddeler kullanılarak adsorpsiyonu, *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 6 (2), 10-13.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Sedat ARSLAN
Uyruğu : T.C
Doğum Yeri ve Tarihi : Seydişehir, 15.09.1978
Telefon : 0 543 893 13 63
Faks : 0 332 582 39 29
e-mail : sedat.arслан@etialuminyum.com

EĞİTİM

Derece	Adı, İlçe, İl	Bitirme Yılı
Lise	: Seydişehir Lisesi, Seydişehir, Konya	1995
Üniversite	: Karaelmas Üniversitesi, Zonguldak	2000
Yüksek Lisans:	Selçuk Üniversitesi, Konya	
Doktora	:	

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görevi
2003-2005	BülKoç Madencilik	Mühendis
2005-	Eti Alüminyum A.Ş	Üretim Mühendisi

UZMANLIK ALANI

Cevher Hazırlama, Yüksek Basıncılı Kaplar (Otoklavlar), Katı-Sıvı Ayırımı, Dekantasyon (Çöktürme), Filtrasyon, Kırmızı çamur, Teknik Nezaretçilik, C Sınıfı İş Güvenliği Uzmanı

YABANCI DİLLER

İngilizce

BELİRTMEK İSTEĞİNİZ DİĞER ÖZELLİKLER

- Teknik Nezaretçilik Sertifikası
- C Sınıfı İş Güvenliği uzmanlığı Sertifikası
- TS ISO 9001 Kalite Yönetim Sistemi Sertifikası
- TS ISO 14001 Çevre Yönetim sistemi Sertifikası
- TS 18001 OHSAS İş Güvenliği ve Sağlık Sistemi Sertifikası
- TS ISO/IEC 27001 Bilgi Güvenliği Yönetim Sistemi Sertifikası
- TÜBİTAK, 1501 TEYDEP Projesi, Proje No:3100309, Boksitten gelen silisyumun fiziksel ve kimyasal reaksiyonlarla uzaklaştırılması ve bu yolla alumina üretiminde kullanılan kostik miktarının azaltılması, 2010-2012.

YAYINLAR

Arslan, S., Demir, G., Celikel, B., Baygul, M., Suarez E.C., 2012, ETI Aluminum Red Mud Characterization and Processing, *TMS-2012(The Minerals, Metals &Materials Society)*, Florida- USA, 81-85.

Baygul, M., Arslan, S., Ozen, B., Ertugral, S., Suarez, E.C., 2012, Turkey Morcukur Bauxite Processing at ETI Aluminium, *TMS-2012(The Minerals, Metals &Materials Society)*, Florida- USA, 57-60.

Arslan, S., Uçbeyiyay, H., Çelikel, B., Baygöl, M., Avcu, S., Demir G. K., 2015, Eti Aluminium red mud characteristics and evaluation of dewatering performance, *Bauxite Residue Valorisation and Best Practices Conference 2015*, Leuven, Belgium, 71-80 (Yüksek Lisans Tezinden yapılmıştır).

Seminer Sumunu, 2015, Eti Alüminyum A.Ş. kırmızı çamur prosesi ve kırmızı çamur susuzlandırma teknikleri, *Selçuk Üniversitesi*, Konya.

SUNUMLAR

ETI Aluminum Red Mud Characterization and Processing, *TMS-2012(The Minerals, Metals &Materials Society)*, Florida- USA.

Eti Aluminium red mud characteristics and evaluation of dewatering performance, *Bauxite Residue Valorisation and Best Practices Conference 2015*, Leuven, BELGIUM.