

ZONGULDAK -AMASRA KÖMÜR LAVVARI FLOTASYON ARTIĞI NUMUNESİNİN 20 MİKRON ALTI FRAKSİYONUNA ELEKTROKİNETİK SUSUZLAŞTIRMA - ÇÖKTÜRME YÖNTEMİNİN UYGULANMASI

Gündüz ATE ŞOK (*)

ÖZET

Amasra lavvarı flotasyon artığında bulunan suyun, tesiste yeniden kullanılabilir hale getirilmesi için elektrakinetik çöktürme yöntemi, flotasyon artığı içinde bulunan ve çöktürmede problem teşkil eden 20 mikron altındaki malzemeye uygulanmıştır.

Flotasyon artığında bulunan katı malzemelerin mineralojik, kimyasal ve fiziksel özellikleri saptanarak, laboratuvar çapında geliştirilen deney hücresinde elektrakinetik çöktürme deneyleri yapılmıştır.

Elektrokinetik çöktürme deneyleri öncesi, deney pülpünün rezistivite üzerindeki etkisi araştırılmış ve en uygun şartlar tesbit edilmiştir.

Elektrokinetik çöktürme deneylerinde; akım yoğunluğunun, elektrod yerleşim düzeninin, pülpde katı oranının, tane boyutunun ve malzeme cinsinin elektrakinetik çöktürme üzerindeki etkileri incelenmiştir.

Elde edilen sonuçlara göre; elektrakinetik çöktürme yönteminin Amasra lavvarı flotasyon artığı 20 mikron altı malzemesi için uygun bir yöntem olduğu saptanmıştır.

ABSTRACT

In an attempt to recycle the water in the flotation tailing of Amasra lavuar, this research was carried out to analyze the relevant parameters. To this end, Electrokinetic settling method was applied on the sample of flotation tailing below 20 micron, which constituted the major problem in settling.

Through the mentioned method, which was carried out in the experiment cell developed at the laboratory scale, minerologic, chemical, and physical properties of the sample of flotation tailing was determined. To assure optimality of experimental conditions (the case of the lowest resistivity of pulp), resistivity of the experimental pulp was determined, and effect on this resistivity of several factors (pH, temperature, etc.) were examined.

More specifically, in the experiments studied the effects on electrokinetic settling of

- 1. current density,*
 - 2. electrood configuration,*
 - 3. solid ratio of pulp,*
 - 4. particalsize of flotation tailing,*
- were studied.*

The findings suggest that Electrokinetic Settling Method can successfully be applied on the flotation tailing of Amasra lavuar.

{} Y.Doç. Dr., Maden Yök. Müh., İTÜ Maden Fak. Maden Müh. B6Kimü, İSTANBUL.*

1. GİRİŞ

Doğru akım kullanılarak çok küçük boyutlu tanelerin su içinden elektrokinetik yöntem ile çöktürülmesi, 1968 yılından beri Bureau of Mines tarafından araştırılmaktadır. Yavaş çöken ve pülp içinde bazan hiç çökmeyen tanelerin çöktürülmesi bu yöntem ile başarılmıştır. Konunun hemen hemen bütün problemlerine çözüm yolları bulunmuştur.

Bugün ABD'de problem teşkil eden ve katılarının kazanılması çeşitli nedenler ile zorunlu olan yaklaşık olarak 2 milyon ton/yıl dolayında üretilen şlam, çevre hazırlama tesislerinde artık olarak meydana gelmektedir. Bu nedenle ince tanelerin çöktürülme problemi üzerinde halen geniş bir şekilde araştırmalar sürdürülmektedir. Bugün ABD'de çeşitli yörelerinde toplam yeraltı ve yerüstü olmak üzere 7 adet elektrokinetik yöntemle susuzlaştırma, çöktürme işlemi yapan tesis mevcuttur. Bütün bu tesislerde yapılan çöktürme işlemi, bazı problemler olmasına karşın başarıyla sürdürülmektedir. Sözkonusu bu tesislerde genellikle fosfat, kömür, kil ve silis şlamları işlem görmektedir. Bu tesislerden en önemlileri; Columbia, Monsanto Tennessee fosfat şlam tesisi, Virginia'daki Clinchfield Kömür Şirketi tarafından kurulan kömür şlam tesisi ile Colorado'daki Climax Molibden Şirketi ve AMAX Şirketi tarafından çalıştırılan Henderson madeni silis + kil şlam tesisidir. Genellikle bu tesislerde çöktürme tanklarından elde edilen katıların susuzlaştırılmasına çalışılmaktadır.

Elektrokinetik çöktürme yönteminin başarısı ilk planda katıların fiziksel ve kimyasal Özelliklerine bağlıdır. Tanklarda elektriksel olarak çöktürülecek katının ya da katıların elektriksel aktivitesi, parça boyut dağılımı, su içeriği ve özellikle yüzey işareti - yüzey potansiyel değeri çok önemlidir. Ayrıca katıların kimyasal Özellikleri de bu teknikte önemli bir rol oynar.

Sözkonusu araştırmaya konu teşkil eden Amasra lavannda flotasyon hücrelerine günde yaklaşık olarak 5 000 to n'a yakın su verilmekte olup, bu miktarın sadece ortalama olarak 400 tonu tesise geri gönderilmektedir. Amasra lavannda büyük ölçüde su sıkıntısı olduğundan ve mevcut suyun da 17 km'lik bir mesafeden güçlüklerle getirildiğinden, denize atılan bu suyun geri kazanılması gerekmektedir.

Ayrıca denize atılan bu flotasyon artığı büyük ölçüde çevre kirlenmesine neden olmaktadır. Sözkonusu flotasyon artığı bir süreden beri küçük limana döküldüğünden, bu koyu tamamen kirlenmiştir. Deniz mahsullerinin yaşamasına izin vermemeye başlamıştır. Pülp içindeki katılar nedeniyle de, küçük liman dolmaya başlamıştır. Zamanla bu limanın tamamen dolarak ortadan kalkacağı ve bu güzelim tatil beldesini çirkin leştireceği bir gerçektir.

Amasra lavanndan çıkan ve denize atılan flotasyon artığından susuzlaştırma-çöktürme neticesinde elde edilen katı ürünün de (kek'in) ayrıca değerlendirilmesi sözkonusudur. Zira, Amasra bölgesi kömür damarlarının taban taşı tamamen şiferton'dur (Ateşe dayanıklı kil). Kömürün yeraltından üretimi sırasında ara kesme

olarak gelen ve lavara giren kömürde % 2 oranında şiferton mevcuttur. Şiferton'un bir kısmı tesiste 100-10 mm arası jst vibratörlerinden atılmakla beraber, kömüre nazaran kırılabilirliğinin daha fazla olması ve suda daha kolay dağılabilmesi özelliğinden dolayı çöktürme işleminden sonra elde edilecek kek'in büyük bir miktarı 1500° C kadar ateşe mukavemeti olan şiferton'dur.

Amasra lavvanında olduğu gibi Zonguldak Merkez ve Çatalağzı lavvarlarında da aynı sorun mevcuttur. Su gereksinimi had safhada olan bu tesislerde suyun tekrar kazanılarak tesislere geri verilmesi zorunludur. Halen söz konusu lavvarlarda su, flokülün maddelerle temizlenmeye çalışılıyorsa da, suyun ancak % 5-10'u büyük gayret ve çabalarla, oldukça fazla sayılabilecek parasal gider karşılığı geri kazanılabilmektedir. Üstelik bu tesislerde kullanılan flokülün maddeler yurt dışından ithal edilmektedir.

Söz konusu olan elektrokinetik susuzlaştırma-çöktürme yönteminde ise, bu maliyetler oldukça düşük olup, elde edilen temiz su miktarları da, flokülünlerle elde edilen miktarlarla kıyas edilmeyecek derecede büyüktür.

Deneyler neticesinde, flokülün maddelerle tesiste çeşitli nedenler ile çöktürülmeyen ve çöktürülmesi güç olan mikron mertebesindeki koloidal taneler, elektrokinetik yöntemle gayet kolay ve kısa bir zaman içerisinde çöktürülebilmektedir. Deneyler sonunda elde edilen suyun transmittans değerinin, taze suyun (berrak su) transmittans değerine çok yakın olduğu çeşitli çalışmalarla saptanmıştır.

2. MALZEME VE YÖNTEM

2.1. Deneylerde Kullanılan Malzeme

Deneylerde kullanılan malzeme, Amasra lavarı flotasyon bölümünden alınmıştır. Flotasyon artığı olarak alınan malzeme, İTÜ Maden Fakültesi, Maden Bölümü, Cevher Hazırlama Anabilim Dalı laboratuvarına getirilerek çalışmalara başlanmıştır. Getirilen flotasyon artığının tamamının 0,595 mm boyutu altında olduğu görülmüştür. Elektrokinetik çöktürme deneylerinde kullanılacak olan 20 mikron altı malzemeyi elde etmek amacıyla, getirilen flotasyon artığı 38 mikronluk elekten yaş olarak elenmiştir. Elde edilen 38 mikron altı şlam malzemesi ABD'ne götürülmüştür. Çalışmaların büyük bir kısmı ABD'de Columbia Üniversitesi, Henry Krump School of Mines'de yürütülmüştür. Columbia Üniversitesi'nde 38 mikron altında bulunan malzeme, 20 mikronluk özel bir elekten yaş olarak elenerek, 20 mikron altında ve elektrokinetik deneylerinde kullanılacak deney numunesi elde edilmiştir. Deneylerin tümünde bu malzeme kullanılmıştır.

2.1.1. Mineralojik Özellikler

Çeşitli boyut gruplarında {- 0,595 - 0,038 ve - 0,020 mm) bu' >an flotasyon artığı numunesi üzerinde yapılan mikroskopik, X-Ray ve Diferansiyel Termik analizler sonucunda flotasyon artığında kaolen, kuvars, kömür, halloysit, kalsit, hematit ve limonit minerallerinin varlığı saptanmıştır.

Çeşitli boyut gruplarındaki mineral dağılımları Çizelge 1'de verilmiştir. Söz konusu deneylerde kullanılacak olan — 20 mikron deney numunesinin büyük bir kısmı kaddir. Deney numunesinin içinde bulunan kömürün büyük bir çoğunluğu vitraîndir. Vitrainle beraber duain ve fuzainin varlığı da mikroskobik çalışmalardan saptanmıştır.

Çizelge 1 - Boyut Analizi Sonuçları

Mineral	- 0,595 mm (%)	- 0,038 mm (%)	- 0,020 mm (%1
Kil Mineralleri (Kaolen + Halloysit)	46	67	85
Kuvars	26	20	10
Komur	25	8	4
Demir Mineralleri (Hematit + Limonit)	3	4	Eser
Diğerleri	—	~*	Eser

Ayrıca, deney numunesinden mikroskop altında ayırarak elde edilen ve X—Ray - Diferansiyel Termik Analiz yöntemleriyle kaolen ve halloysit oldukları saptanan saf minerallerin üzerinde yapılan kimyasal analiz neticeleri Çizelge 2'de verilmiştir.

Çizelge 2 — Kimyasal Analiz Sonuçları

Madde	Kaolen	Halloysit
Al_2O_3	38,76	38,47
SiO_2	45,17	43,00
Fe_2O_3	1,53	1,53
CaO	0,60	0,53
MgO	-	-
Na_2O	Eser	Eser
K_2O	Eser	Eser
Ateş Kaybı	13,94	16,18
SK	34	34

Analizlerden de görüleceği üzere, gerek kaolen in ve gerekse halloysit in 1789°C'a kadar ateşe mukavemeti olan refrakter kil malzemeleri oldukları saptanmıştır. Her iki kil mineralinin de SK değerleri 34 olarak bulunmuştur.

2.1.2. Kimyasal Özellikler

0,6 mm altında bulunan flotasyon artığı numunesi ile, bu numuneden yaş eleme ile elde edilen 0,038 mm altında bulunan numunede kimyasal analizler yapılmıştır. Neticeler Çizelge 3'de verilmiştir.

0,038 mm altında malzeme, 1500°C'a kadar ateşe mukavemeti olan refrakter bir malzemedir. 0,038 mm altında bulunan malzemenin SK değeri 30 olarak bulunmuştur.

Çizelge 3— Kimyasal Analiz Sonuçları

Madde	- 0,595 mm	- 0,038 mm
Al ₂ O ₃	18,50	25,15
SiO ₂	47,55	50,55
Fe ₂ O ₃	3,02	3,83
CaO	0,60	0,53
MgO	-	-
Na ₂ O + K ₂ O	Eser	Eser
Ateş Kaybı	30,30	19,40
SK	—	30

2.1.3. Fiziksel Özellikler

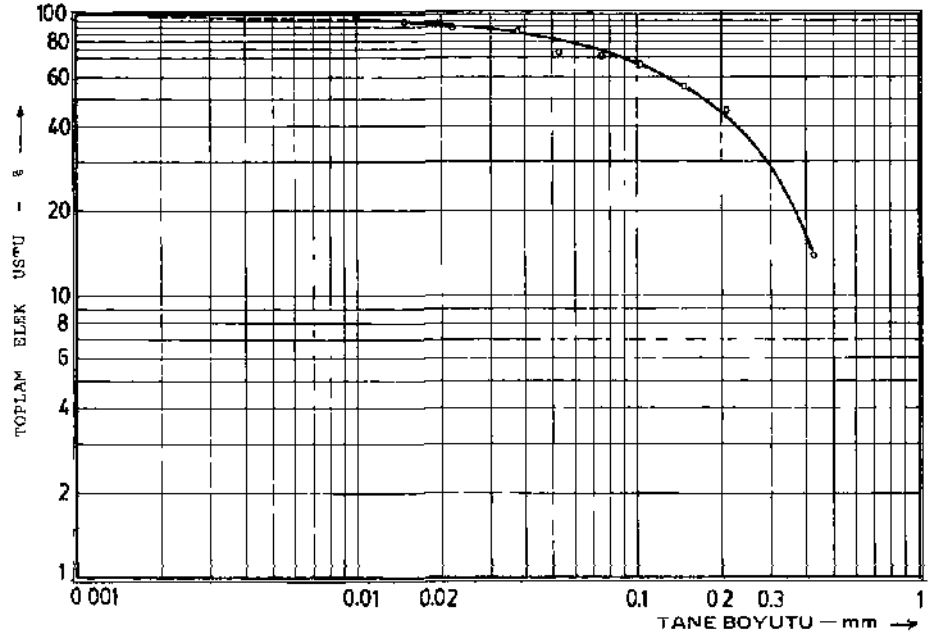
2.13.1. Tane Boyut Dağılımı

0,595 mm boyutu altında bulunan flotasyon artığı numunesinin elek analizi yapılmıştır. Elde edilen neticeler Şekil 1'de gösterilmiştir. Sonuçlardan da görüleceği üzere, 38 mikron altındaki malzeme miktarı % 13,6 ve 20 mikron altındaki malzeme miktarı ise % 8 civarındadır. 38 mikron altı malzemenin toplam yüzey alanı 32,20 m²/gr ve 20 mikron altı malzemenin ise toplam yüzey alanı 48,70 m²/gr'dır. Toplam yüzey alanı ölçüm değerleri, BET nitrojen gaz adsorpsiyon yöntemiyle saptanmıştır.

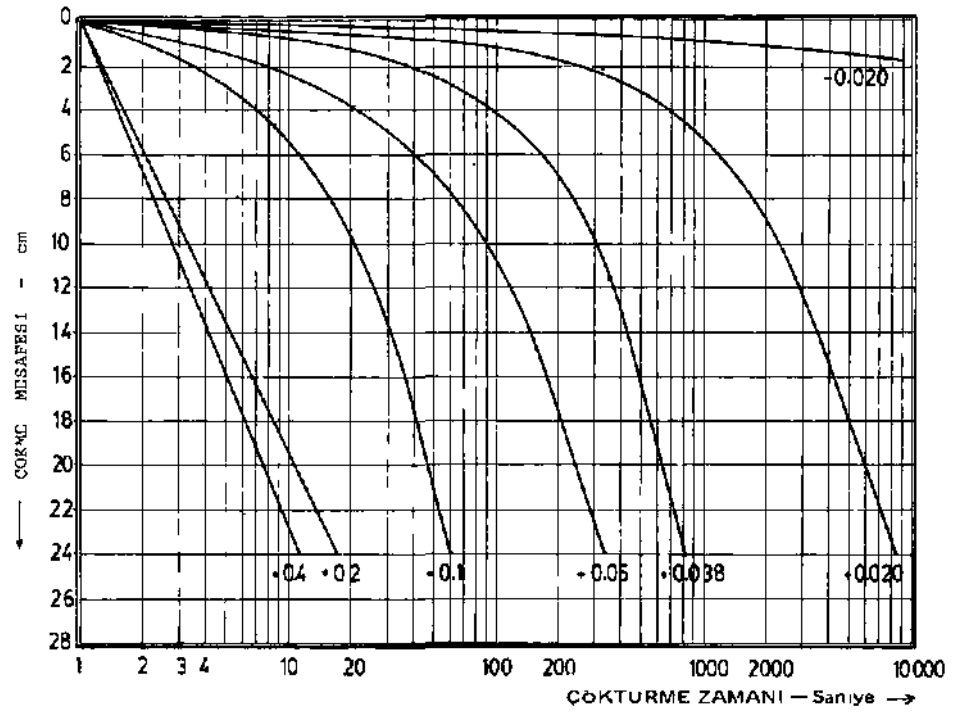
2.132. Tabii Çöktürme Deneyleri

Flotasyon artığı pülünde bulunan ve çöktürmede (temiz su elde edimi) problem olan katıların tane boyutunu saptamak amacıyla bir çöktürme deneyleri yapılmıştır.

0,595 mm boyutu altında bulunan flotasyon artığı - 0,595 + 0,4 mm, -0,4 + 0,2 mm, - 0,2 + 0,1 mm, - 0,1 + 0,05 mm, - 0,05 + 0,038 mm, - 0,038 + 0,020



Şekil 1. Amasra lavvari flotasyon artığının elek analiz sonuçları.



Şekil 2. Amasra lavvari flotasyon artığı numunesinde çeşitli boyut gruplarında yapılan tabii çöktürme deney sonuçları.

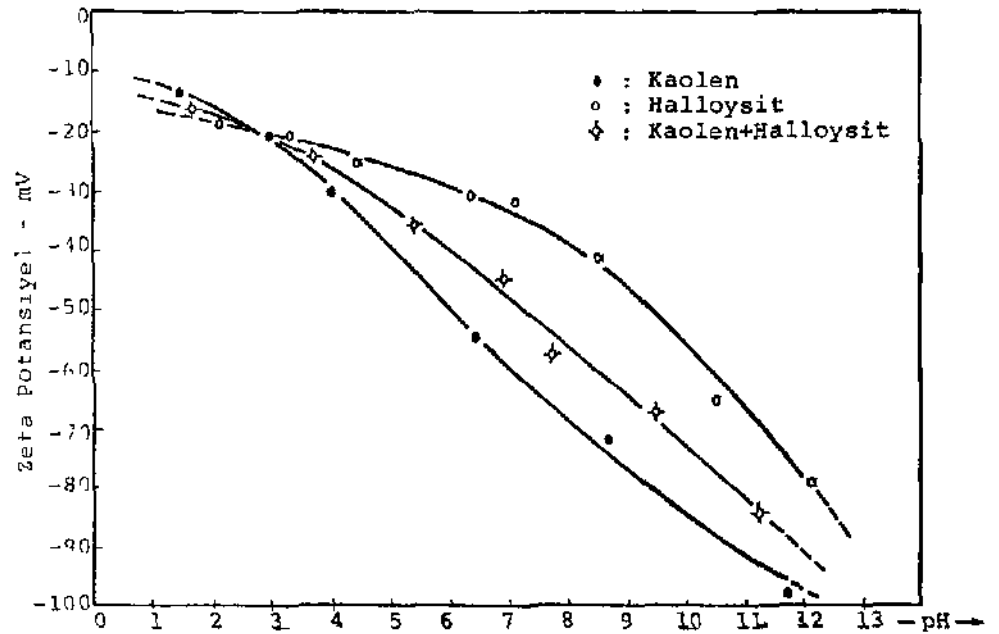
mm ve - 0,020 mm boyut gruplarına ayrılarak, herb'ir boyut grubu ayrı ayrı olarak çöktürme deneyine tabii tutulmuştur. Neticeler Şekil 2'de verilmiştir. Çöktürme deneyleri 1 lt'lik mezürde yapılmıştır. Çöktürme deneyi sonuçlarından görüleceği üzere, 20 mikron altında bulunan malzeme tabii koşullar altında çökmekte ve pülp içersinde askıda kalmaktadır.

2.13.3. Elektrokinetik Çalışmalar

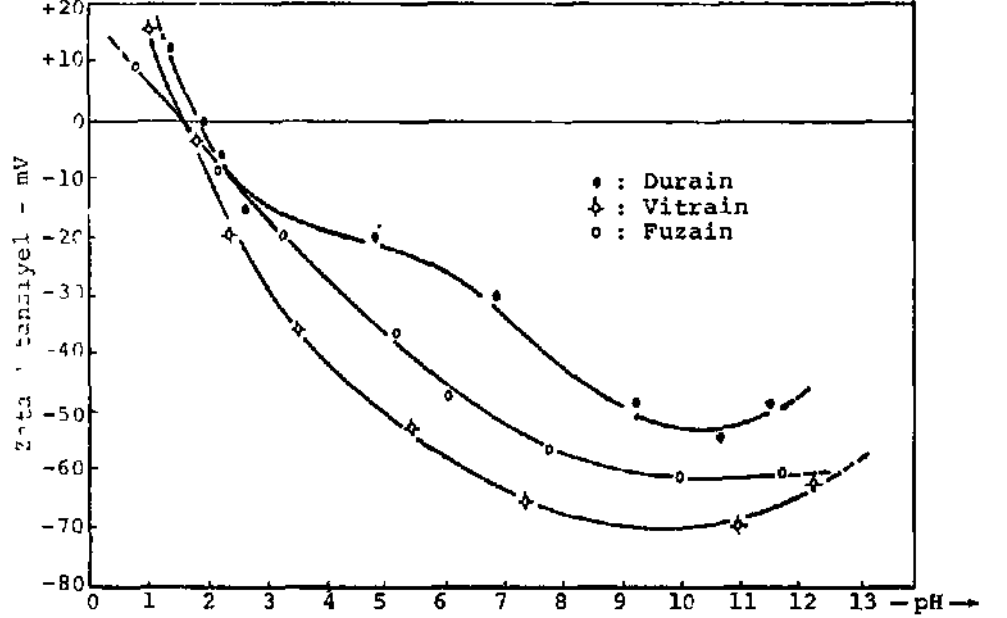
Flotasyon artığı pülpünde bulunan minerallerin yüzey potansiyel (Zeta- Potansiyel) ölçümleri çeşitli koşullarda yapılarak, gerek mineral yüzeyindeki elektrik yükü işaretinin ve gerekse potansiyel değerinin değişimi incelenmiştir.

Deney numunesi içinde bulunan mineraller mikroskop altında seçildikten ve cinsleri kesinlikle saptandıktan sonra, elde edilen bu minerallerin temizlenmesine çalışılmıştır. Temizleme işlemi genellikle damıtık su içersinde yapılmıştır. Ayrıca, zeta potansiyel ölçümleri sırasında bazı İyonların etkinliğini ortadan kaldırmak amacıyla, minerallerin büyük bir çoğunluğu NaCl solüsyonu ile yıkanmıştır.

Deney numunesi içinde bulunan ve refrakter özelliği taşıyan kil tipi mineralleri olan kaolen ve halloysitin zeta potansiyel değerleri bütün pH değerlerinde negatif olarak saptanmıştır. Ortamın pH değeri yükseldikçe, gerek kaolenin ve gerekse halloysitin yüzey potansiyel değeri artmaktadır (Şekil 3).



Şekil 3, Kil minerallerinin pH ile zeta potansiyellerinin değişimi.



Şekil 4. Kömür litotiplerinin pH ile zeta potansiyellerinin değişimi.

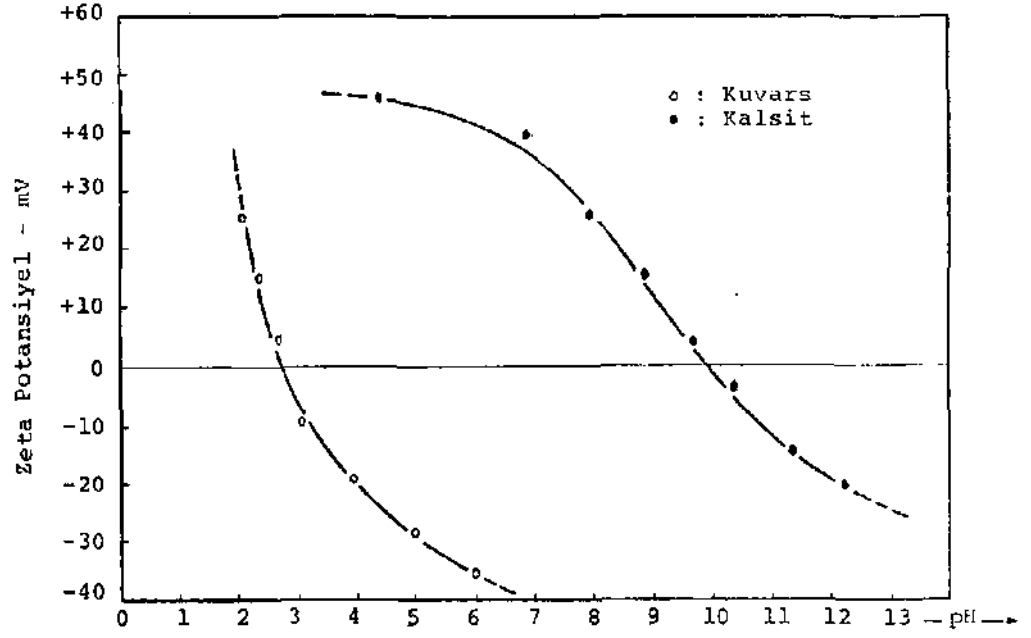
Şekil 4'de deney numunesinde saptanmış olan kömür litotiplerinin pH ile elektro kinetik potansiyellerinin değişimi verilmiştir. Durain, vitrain ve fuzainin sıfır yük noktası pH 2 civarında bulunmuştur. 2'den büyük pH değerlerinde bütün kömür litotiplerinin yüzey zeta potansiyel işareti negatif olarak saptanmıştır. pH yükseldikçe, kömür litotiplerinin zeta potansiyel değeri artmaktadır.

Şekil 5'de, deney numunesinde bulunan kuvars ve kalsitin, Şekil 6'da İse hematit ve limonit'in pH'nın fonksiyonu olarak zeta potansiyellerinin değişimi verilmiştir. Sıfır yük noktası kuvars için pH 3, kalsit için pH 10, hematit için pH 5,5 ve limonit için depH6,5 bulunmuştur.

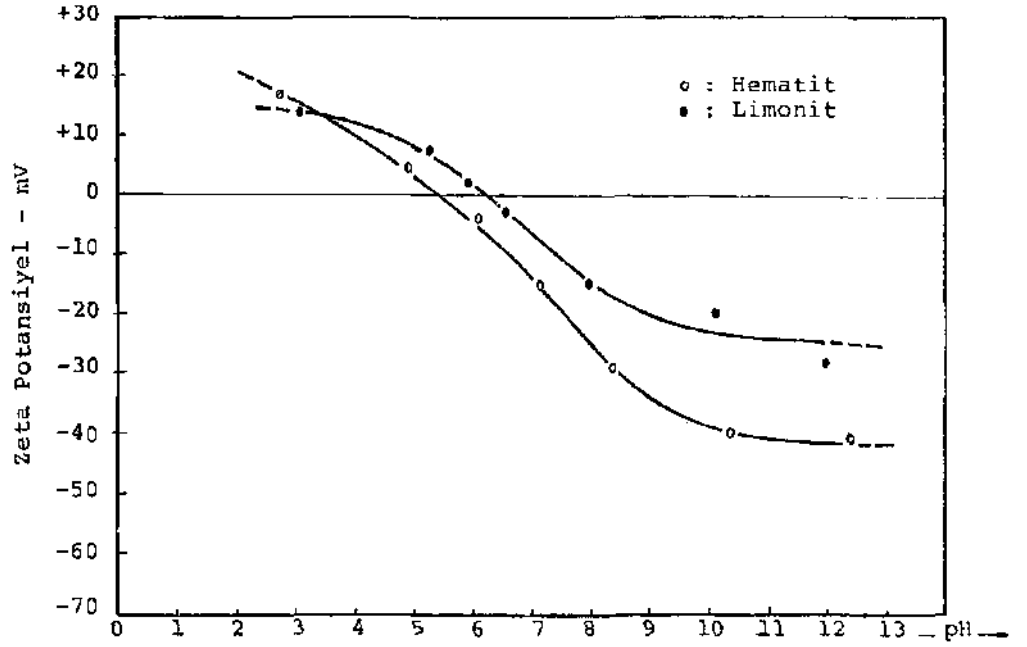
Amasra ve Zonguldak lavvarlarında flotasyon bölümünde, kömür flotasyon bölümünde, kömür flotasyonu için gazyağı + alkol karışımları kullanılmaktadır. Tesislerde alkol olarak genellikle Iso-Octanol ya da 2-Etil Hegzanol gazyağına katılmaktadır. Bu nedenle, lavvarlarda kömürün yüzdürülmesi amacıyla kullanılan gazyağı + alkol karışım reaktifinin kömür ve kil mineralleri üzerinde zeta potansiyel işaretine ve değerine etkisini incelemek üzere deneyler yapılmıştır. Deneyler neticesinde gazyağı + alkol karışım reaktiflerinin gerek kömür ve gerekse killer üzerinde zeta potansiyel özelliğine hemen hemen önemli bir etkisi saptanamamıştır.

22. Elektrokinetik Susuzlaşırma — Çöktürme Yönteminin Teorisi

Bu yöntemde esas olarak iki elektrokinetik olgu kullanılmaktadır. Bunlar elektroforesis ve elektroosmosis'dir. Elektroforesis'de, pülün içinde bulunan küçük boyutlu taneler, ihtiva ettikleri elektriksel yükleri nedeniyle, pülpe dışardan tat-



Şekil 5. Kuvars ve kalsitin pH ile zeta potansiyellerinin değişimi.



Şekil 6. Hematit ve limonitin pH ile zeta potansiyellerinin değişimi.

bik edilen bir elektrik akımıla pülp içinde hareket ederler. Elektroosmosis olgusuna göre ise, pülp içine dışardan tatbik edilen bir elektrik akımı dolayısıyla, pülpdeki su, katıların arasından uygun elektroda doğru hareket eder (2, 3, 5,6, 7).

Bu yöntemde pülp içersinde genellikle iki elektrod kullanılır. Kullanılan elektrik akımı doğru akımdır. Pülp içersinde bulunan ve tane boyutu 20 mikrondan daha küçük olan taneler için bu yöntem çok başarılı olarak gözükmektedir (10, 11,12,13,14,15,16,18).

Genellikle pülpü oluşturan katıların (özellikle killer, silis ve kömür) yüzey işareti (zeta potansiyel) negatiftir. Pülp içinde bulunan bu katılar, uygulanan doğru akım nedeniyle pozitif kutba (anoda) doğru hareket ederler. Zamanla pülp içersinde erimiş pozitif iyon konsantrasyonu artacağından, bir müddet sonra pülp suyu pozitif yüklü olacaktır. Su içinde bulunan pozitif iyonların negatif kutba (katot) hareketleri nedeniyle, pülp suyuda viskoz sürüklenme nedeniyle negatif kutba hareket edecektir. Doğru akımla elde edilen suyun bu hareketi elektroosmosis olarak bilinmektedir (2, 3,6).

Elektrokinetik susuzlaştırma - çöktürme yönteminin başarısı bazı faktörlere bağlıdır.

1. Pülp içersinde bulunan mineral tanelerinin yüzey özettikleri (zeta potansiyel).
2. Pülpdeki katı oranı
3. Tatbik edilen doğru akımın yoğunluğu
4. Pülp içinde bulunan katı tanelerin su içindeki davranışları
 - Elektroliz
 - İyon değişimi
 - Elektroforesis
5. Elektrodların yerleşim düzeni.

Bu yöntemde enerji tüketiminin minimum değerinde tutulabilmesi için çeşitli etkenlerin yöntem üzerindeki tesirlerinin çok iyi araştırılması ve en uygun şartların önceden saptanması gerekmektedir. Yöntemin başarısı sadece 20 mikrondan küçük taneler için sınırlı değildir. Şayet tanelerin yüzey özellikleri, iyon değişim kapasitesi, parça boyut dağılımı ve pülpdeki elektrolit konsantrasyonu uygun olduğu takdirde, daha iri boyutlu tanelerin de bu yöntemle sudan ayrılması başarıyla mümkündür (10, 11,12,13, 14).

3. ELEKTROKİNETİK SUSUZLAŞTIRMA - ÇÖKTÜRME DENEYLERİ

3.1. Resistivite Deneyleri

Resistivite deneyleri için 24 x 12 x 12 cm boyutlarında Plexglass'dan yapılmış dikdörtgenler prizması şeklinde bir kutu kullanılmıştır. Deney kutusunun içine pülp konularak, her iki ucuna da negatif ve pozitif olmak üzere bakır plakadan

yapılmış 2 elektrod yerleştirilmiştir. Bu elektrik kaynağından pülp içine tatbik edilen akım nedeniyle, pülpün göstermiş olduğu resistivite (direnç) bir ohmmetre vasıtasıyla ölçülmüştür. Resistivite deneyleri sırasında elde edilen değerler, öz direnç değerine dönüştürülerek, değerlendirmeye tabii tutulmuştur.

ρ : Spesifik resistivite, ohm-m

R: Ohmmetre ile elektrodlar arası ölçülen resistivite, ohm

A: Elektrik akımının geçtiği kesit, m²

L: Elektrodlar arası mesafe, m

$$\rho = \frac{R \cdot A}{L}$$

Resistivite deneyleri farklı iki ülkede yapıldığından, deneylerde kullanılan suların Özellikleri değişiktir. Bu nedenle kullanılan suların komple analizleri ABD'de Columbia Üniversitesi'nde yapılmıştır. Analiz neticeleri Çizelge 4'de verilmiştir.

Deneylerde kullanılan İstanbul - Beşiktaş semti şebeke suyunun resistivitesi 42,80 Ohm-m olarak saptandığı halde, deneylerin bir bölümünde kullanılan New York şehir suyunun resistivitesi ise 106,90 Ohm-m olarak saptanmıştır.

Çizelge 4 — Resistivite Deneylerinin Sonuçları

	İstanbul Şehir Suyu	New York Şehir Suyu
Resistivite, Ohm-m	42,80	106,90
Sıcaklık, °C	21 + 0,5	24 T 0,3
pH (tabii)	7,0 + 0,2	6,4 + 0,2
Ca, ppm	85	42
Mg, ppm	52	12
Fe, ppm	1,03	-
Mn, ppm	0,4	-
Na + K, ppm	25	6,2
Pb, ppm	0,03	-
Cu, ppm	2,8	-
Zn, ppm	17	1,1
P ₂ O ₅ , ppm	0,33	-
NH ₄ , ppm	2,85	0,82
SO ₄ , mg/l	38	22
Cl, ppm	57	44
NO ₃ , ppm	7,5	1,5
Organik madde, ppm	45	-

Resistivite ler arasında bu kadar büyük farkın olmasının tek nedeni, sular içinde mevcut olan İyonlardır. Bir suyun içinde iyon içeriği ne kadar fazla olursa, suyun

resistivite değeri o derece küçülecektir. Deneylerin ikinci bölümünde kullanılan suyun resistivite değerinin, ilk bölümünde kullanılan suyun resistivite değerinin 2,5 katı olmasının tek nedeni, iyon konsantrasyonunun farklı olmasıdır. Sudaki iyon konsantrasyonu resistivite ile doğrudan alakalıdır (10,11,16,17).

$$V = I.R$$
$$P = V.I$$

V : Potansiyel, volt
I : Akım , amper
P : Güç , watt

Yukarıdaki formüllere bağlı olarak, suyun resistivite değerinin düşmesi halinde, suya tatbik edilen belirli bir potansiyelde devreden geçen akımın artması nedeniyle daha fazla güç elde edilebilecektir.

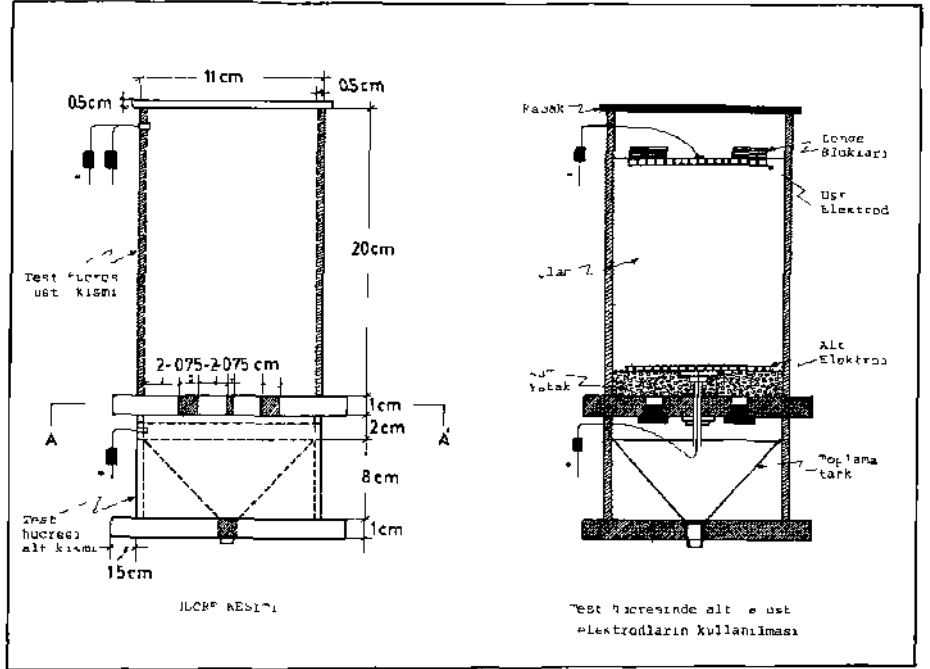
Resistivite deneylerinde, çeşitli etkenlerin pülp üzerinde etkisini incelemek amacıyla bir seri deney yapılmıştır. Pülpte katı oranının, NaCl konsantrasyonunun, pH değişiminin, gazyağı + alkol karışımı reaktif konsantrasyonunun ve değişik katı oranlarında sıcaklığın pülp resistivitesi üzerindeki etkisi incelenmiştir.-Deneyler neticesinde;

- Pülp sıcaklığı arttıkça pülp resistivitesi düşmekte,
- Pülpte katı oranı arttıkça pülp resistivitesi düşmekte,
- Nötr pH değerlerinde pülp resistivitesi maksimum değerinde olmakta, pH düş-tükçe ve yükseldikçe resistivite eşit değerde azalmakta,
- Pülp resistivitesi üzerinde alkol ya da gazyağının hiçbir etkisi bulunmadığı bu-lunmuştur.

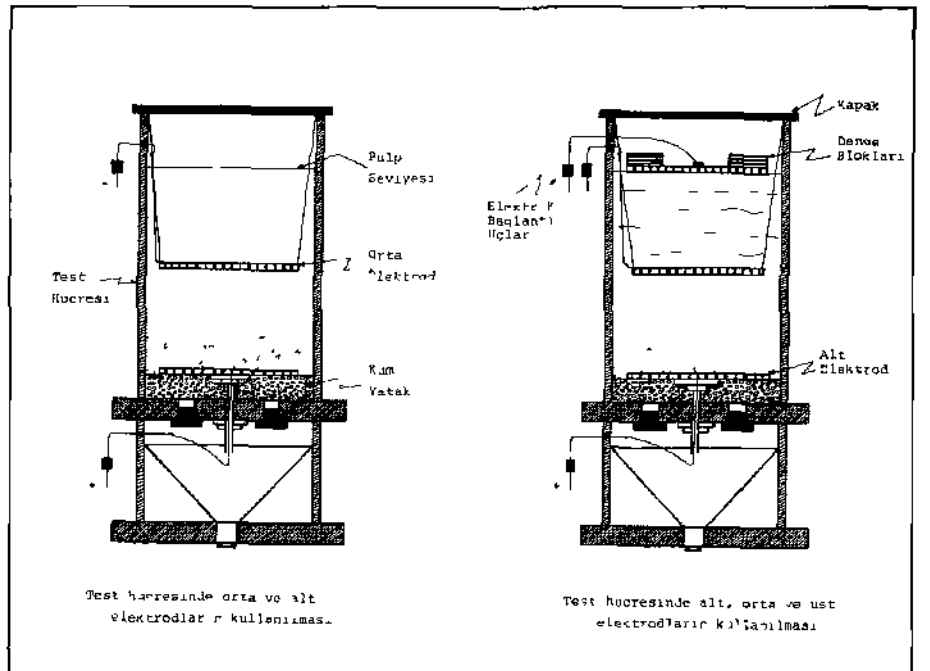
3.2. Elektrokinetik Susuzlaştırma - Çöktürme Deneylerinde Kullanılan Laboratuvar Test Hücresi

Deneylerde kullanılan test hücresinin çeşitli detay bilgileri Şekil 7 ve 8'de verilmiştir. Test hücresi plexglassdan yapılmıştır. Test hücresi üst ve alt olmak üzere iki kısımdan oluşmaktadır. Üst bölüm, deneylerin gerçekleştirildiği, deney pül-pünün ve elektrodların bulunduğu kısımdır. Deneyler sırasında çeşitli elektrod beraberlikleri denendiği için, Şekil 7 ve 8'de bu elektrod değişimlerinin yerleş-tirilmeleri verilmiştir. Ancak, deneylerin büyük bir çoğunluğu, test hücresinde alt ve üst elektrodların kullanılmasıyla yürütülmüştür. Sadece orta ve alt ile alt, orta ve üst elektrodların kullanılması halinde test hücresinin görünümü Şekil 8'de gösterilmiştir.

Deneyler sırasında, alt elektrodun altına kum yatak konulmuştur. Bu kum ya-tağın üstüne alt elektrod yerleştirilmiştir. Deneylerde kullanılan elektrodlar bakırdan yapılmış olup, 0,5 mm kalınlığındadır. Ayrıca toplam yüzey alanının kü-çültülmesi için elektrod plakaların yüzeyleri dairesel olarak çeşitli çaplarda delin-miştir. Böylece, 100 cm² (10 x 10 cm) alanı bulunan bakır elektrodların toplam yüzey alanı minimuma indirilmiştir.



Şekil 7. Laboratuvar test hücresi.



Şekil 8. Laboratuvar test hücresi.

Üst elektrodun pülp içinde kalabilmesi için denge blokları kullanılmıştır. Test hücresi orta bölümünde bulunan orta elektrod ise, rigid bağlantıyla test hücresine yerleştirilmiştir.

3.3. Deneylerde Kullanılan Elektrik Devresi

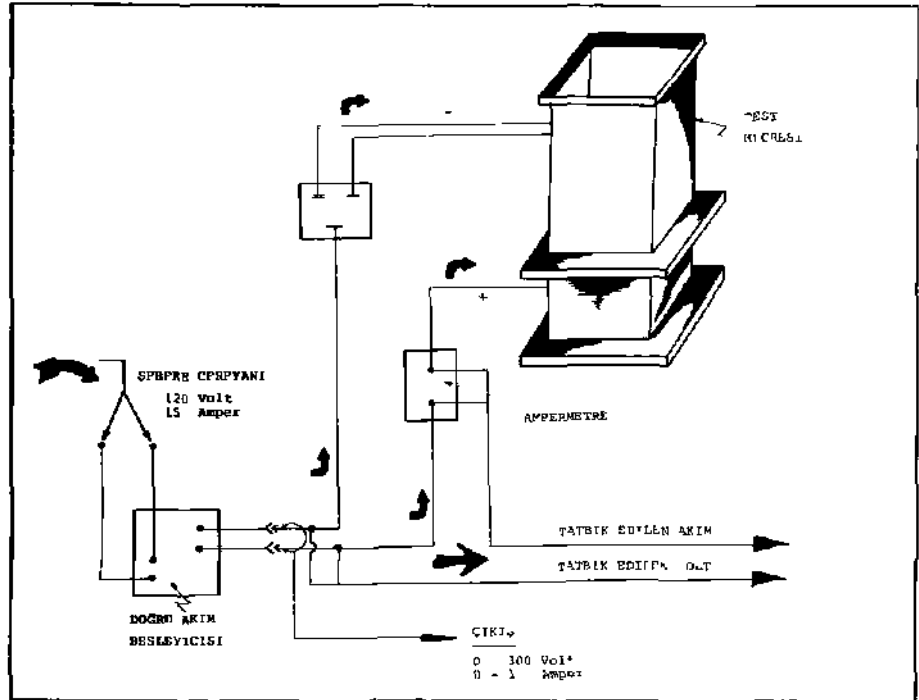
Elektro kinetik susuzlaştırma - çöktürme laboratuvar deneylerinde kullanılan elektrik devresi akım şeması Şekil 9'da gösterilmiştir. Deneylerde kullanılan doğru akım, şebeke devresine bağlı bir doğru akım besleyicisinden (Regulated power supply) alınmıştır. Doğru akım besleyicisi 0-300 volt ve 0-1 amper değerleri arasında doğru akım vermektedir. Test hücresine uygulanan akımın ve voltajın ayrıca kontrol edilebilmesi için devrelere, ampermetre ve voltmetre bağlanmıştır.

3.4. Elektrokînetik Laboratuvar Deneyleri

3.4.1. Ön Deneyler

ön deneylerde Şekil 7'de yerleşim düzeni gösterildiği gibi test hücresinde alt ve üst elektrod lar kullanılmıştır.

Birinci kademe ön deneyde, test hücresine 20 mikron altı deney numunesinden 25 gr/lt olmak üzere katı konulmuştur. Katı ile su bir mikser vasıtasıyla iyice ka-



Şekil 9. Elektrik devresi akım şeması.

riştirildikten ve dengeli bir pülp elde edildikten sonra, numune test hücresine aktarılmıştır. Alt elektrod pozitif ve üst elektroda negatif yapılarak test hücresine 80 volt ve 300 mA değerinde bir doğru akım tatbik edilmiştir. Deney sırasında hiç bir ölçüm yapılmamış olup, tanelerin çöküşü gözlenmiştir. 5 saat sonra çökmenin bittiği ve hemen hemen tüm katıların alt pozitif elektroda toplandığı görülmüştür. Elde edilen suyun transmittans değerinin, temiz bir suyunkine benzer olduğu ayrıca gözlenmiştir.

İkinci kademe ön deneyde, birinci kademe ön deneyde uygulanan şartlar kullanılarak sadece elektrodların yerleri değiştirilmiştir. Bu deneyde, alt elektrod negatif ve üst elektrod pozitif yapılmıştır. 20 saatlik bir doğru akım uygulamasından sonra, pülp içindeki tanelerin halen pülp içinde askıda bulunduğu ve üst elektrod çevresinde, özellikle keloidal tanelerin bir miktarının toplandığı gözlenmiştir. Ancak pülpden katıların ayrılarak temiz bir su elde edimi mümkün olmamıştır.

Yapılan ön deneyler sonucunda elde edilen neticeler aşağıda verilmiştir.

1- Flotasyon artığında bulunan ve çökmede en büyük problemi gösteren 20 mikron altındaki malzemede bulunan katıların yüzey potansiyel işaretleri negatiftir.

2- 20 mikron altında bulunan deney numunesinin elektriksel yöntemlerle çöktürülmesi mümkündür.

3- Deney numunesini çöktürmede elektriksel yöntemi kullanırken, gravite kuvvetinden de yararlanılmasının zorunlu olduğu görülmüştür. Sadece elektriksel gücün çöktürmede kullanılması yeterli olmamaktadır. Muhakkak surette, elektriksel gücün yanında gravite kuvvetinden de yararlanılması zorunludur. Bu nedenle, deneyler sırasında, alt elektrodun devamlı olarak pozitif elektrod olarak kullanılması gerekmektedir.

3.42. Nihai Deneyler

Bu deneyler serisinde, çeşitli etkenlerin elektrokinetik susuzlaştırma-çöktürme yöntemi üzerinde etkisi araştırılmıştır. Bu etkenler aşağıda verilmiştir.

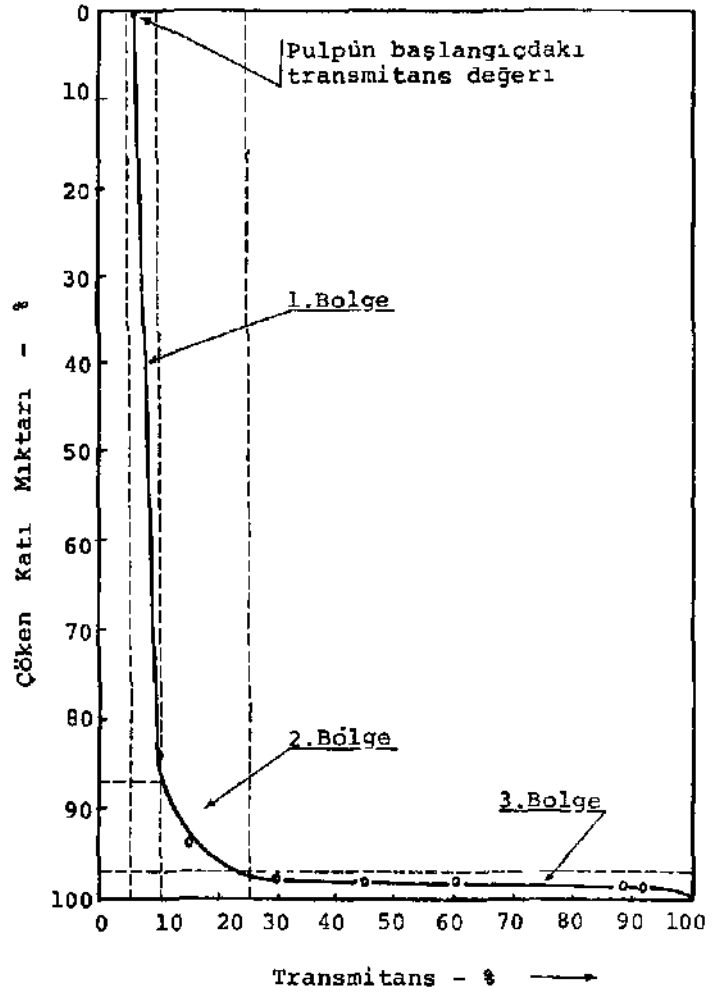
- Akım yoğunluğunun etkisi
- Elektrod yerleşim düzeninin etkisi
- Katı oranının etkisi
- Tane boyutunun etkisi

Deneyler sırasında, test hücresi içinde bulunan pülp üzerinden direkt olarak veya pülpün belirli üst seviyesinden alınan numuneler üzerinde transmittans, sıcaklık ve pH ölçümleri yapılmıştır. Transmittans ölçümleri için Brinkman PC/600 Colorimetresi kullanılmıştır. Alet normal berrak su ile 100 değerine getirilerek standarde edilmiştir. Daha sonra deneyler sırasında test hücresinin belirli seviyelerinden

alınan numuneler üzerinde transmittans ölçümleri yapılmıştır. Deneyler sırasında harcanan güç, uygulanan akım ve volt değerlerinden giderek hesaplanmıştır.

3.4.2.1. Pulp Transmittans Değeri İle Çöken Katı Miktarı Arasındaki İlişki

Deneylerde elde edilen suyun kalitesini tespit etmek amacıyla kullanılan transmittans değeri ile pulp içinde bulunan katı miktarı arasındaki ilişkiyi saptamak amacıyla bir deney yapılmıştır. Sadece transmittans değeri ile pülpde çöken katı miktarı arasındaki ilişkiyi saptamak amacıyla yapılan deneyde, zaman zaman pulp içerisinden alınan numunelerde, sadece transmittans değeri ile içinde bulunan katı miktarı saptanmıştır. Neticeler Şekil 10'da verilmiştir.



Şekil 10. Pulp transmittans değeri ile pülpde çöken katı madde miktarı arasındaki ilişki.

Şekil 10'da görüleceği üzere; pülpde çöken katı miktarı ile transmittans değeri arasında 3 önemli bölge mevcuttur.

1. BÖLGE. Deneyin başlangıcında pülp transmittans değerinin çok az miktarda yükselmesine karşın, pülp içinde çöken katı miktarının oranı çok fazladır. Pülp içerisinde bulunan katıların % 87'si çökmesine rağmen, pülp transmittans değeri ancak % 5 artmaktadır. Bu bölgede genellikle 20 mikron altında bulunan malzemenin iri olan taneleri çökmektedir.

2. BÖLGE. Bu bölge, çöken katı miktarı oranı ile transmittans değerinin değişim miktarı arasında bir dengenin var olduğu bölgedir. Pülp içerisinde bulunan katıların % 10'u çökmesine karşın, pülp transmittans değeri de % 15'lik bir artış sağlamaktadır.

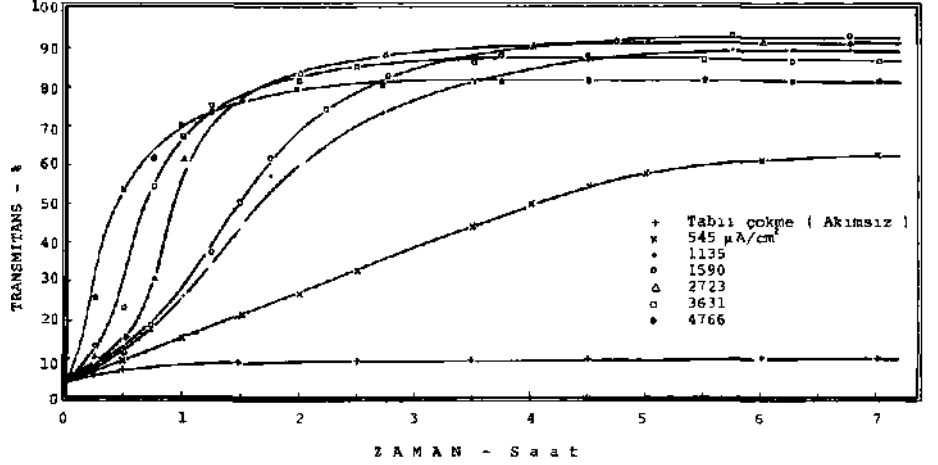
3. BÖLGE. Bu bölge 1. bölgenin tamamen tersi olan bir bölgedir. Pülp transmittans değerinin oldukça fazla miktarda artmasına karşın, pülp içerisinde çöken katı madde miktarı oranı çok azdır. Pülp içerisinde bulunan katıların % 3'ü çökmesine rağmen, pülp transmittans değeri % 75 artmaktadır. Bu bölgede genellikle pülp içerisinde bulunan koloidal taneler çökmektedir.

Pülp transmittans değerini etkileyen ve birinci derecede çöktürme işlemlerinde problem olan söz konusu koloidal taneler belirli bir zaman içerisinde, elektriksel güçle çöktürülmesinden sonra pülp transmittans değeri temiz bir suyun transmittans değerine yaklaşmaktadır. Pülp içinde mevcut bulunan iri tanelerin transmittans üzerinde önemli bir etkisi bulunmamaktadır. Şekil 10'da 1. ve 2. Bölgelerin bu derece birbirlerinden farklı olmasının nedeni de budur. Deneyin başlangıcında, elektriksel gücün tatbikinden hemen sonra pülp içinde bulunan iri taneler derhal çökmektedir. Daha sonra, transmittans değerini birinci derecede etkileyen koloidal taneler çökmektedir.

3.4.2.2. Akım Yoğunluğu Değerinin Çöktürmeye Etkisi

Akım yoğunluğunun çöktürme üzerindeki etkisini saptamak ve en uygun akım yoğunluk değerini bulmak amacıyla bir seri deney yapılmıştır. Deneylerde 545 fi A/cm^2 ile 4766 juA/cm^2 değerleri arasında akım yoğunlukları kullanılmıştır. Tüm deneyler alt ve üst elektrod çiftinin kullanılmasıyla yürütülmüştür. Deneyler sırasında alt elektrod pozitif, üst elektrod ise negatif yapılarak deney hücresinin içine 2 lt pülp yerleştirilmiştir. Pülpdeki katı oranı 25 gr/lt'dir. Deney pülpü test hücresine yerleştirilmeden önce, pülp 2 saat müddetle bir mikserde 1500 d/d hızla karıştırılarak homogen bir pülp karışımı sağlanmıştır. Daha sonra pülp, test hücresine aktarılarak elektro kinetik çöktürme işlemine geçilmiştir.

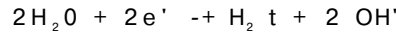
Şekil 11'de 545 /iA/cm^2 ve 4766 juA/cm^2 arasındaki akım yoğunluklarında uygulanan deneylerin, zamanla pülp transmittans değeri arasındaki ilişkiyi veren deney sonuçları verilmiştir.



Şekil 11. Çeşitli akım yoğunluklarında yapılan çöktürme deneylerinde zamana bağlı olarak transmittans değerinin değişimi.

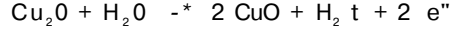
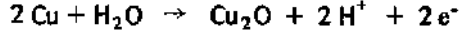
Şekil 11'den görüleceği üzere; ilk 1,5 saat içinde tanelerin büyük bir kısmı çöktüğünden pülp transmittans değeri hızla yükselmektedir. Pülp transmittans değerindeki bu değişim, uygulanan akım yoğunluğuna bağlı olarak artmaktadır. Daha kısa bir zaman sonra, yüksek transmittans değerlerine ulaşabilmektedir. 4 saat sonunda, hemen hemen tüm akım yoğunluğunda yapılan deneylerde pülp transmittans değeri sabit duruma gelmekte ve pülp transmittans değeri pek değişiklik göstermemektedir. Ancak değişik akım yoğunluklarında elde edilen nihai suyun transmittans değerleri farklıdır. 1590 µA/cm² akım yoğunluğunda elde edilen nihai suyun transmittans değeri, 2723 µA/cm² ve daha büyük akım yoğunluğunda elde edilen nihai suların transmittans değerinden büyüktür. Pülp içine uygulanan akım yoğunluğu arttıkça, elde edilen nihai suyun transmittans değeri küçülmektedir.

Bilindiği üzere; alkali solüsyonlarda aşağıdaki reaksiyon gereği katotda bir hidrojen gaz çıkışı olmaktadır.



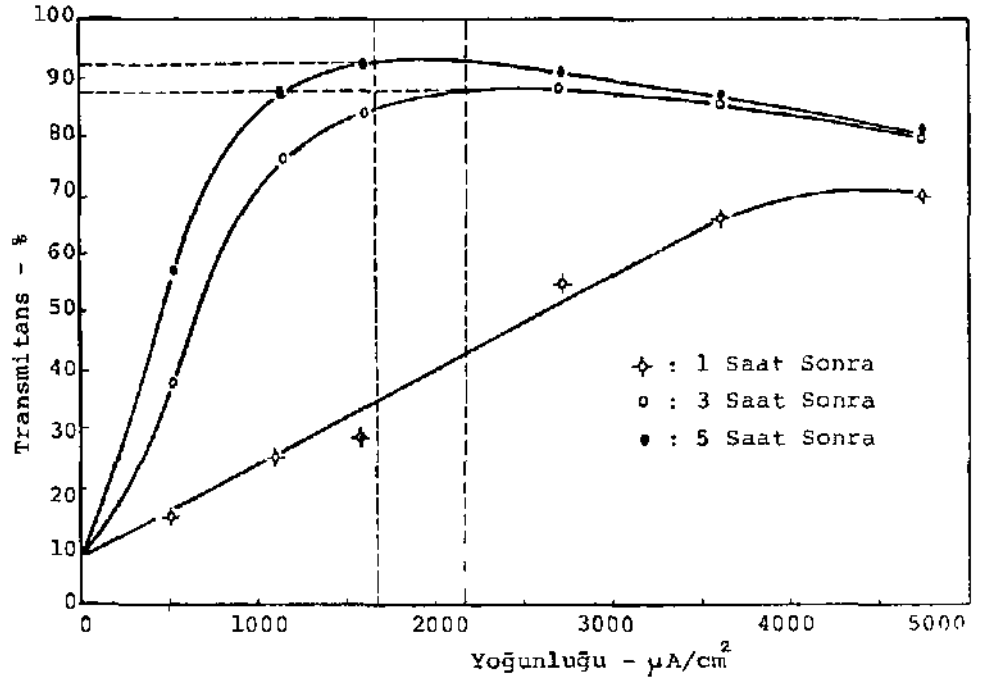
Hidrojen gazının çıkışı nedeniyle, zamanla pülp içerisinde OH⁻ iyonu konsantrasyonu arttığından, pülp pH'si yükselmekte ve deney sonlarına doğru 11 civarına gelmektedir. Pülpün normal pH'si 8 civarındadır.

Anotda ise düşük akım yoğunluklarında (2000 µA/cm² değerine kadar) hemen hemen hiçbir gaz çıkışına rastlanmamıştır. Ancak 2723 µA/cm², 3631 µA/cm² ve 4766 µA/cm² akım yoğunluk değerini kullanarak yapılan son üç deneyde, anotdan gaz çıkışı gözlenmiştir. Aşağıdaki eşitlikler gereği ;

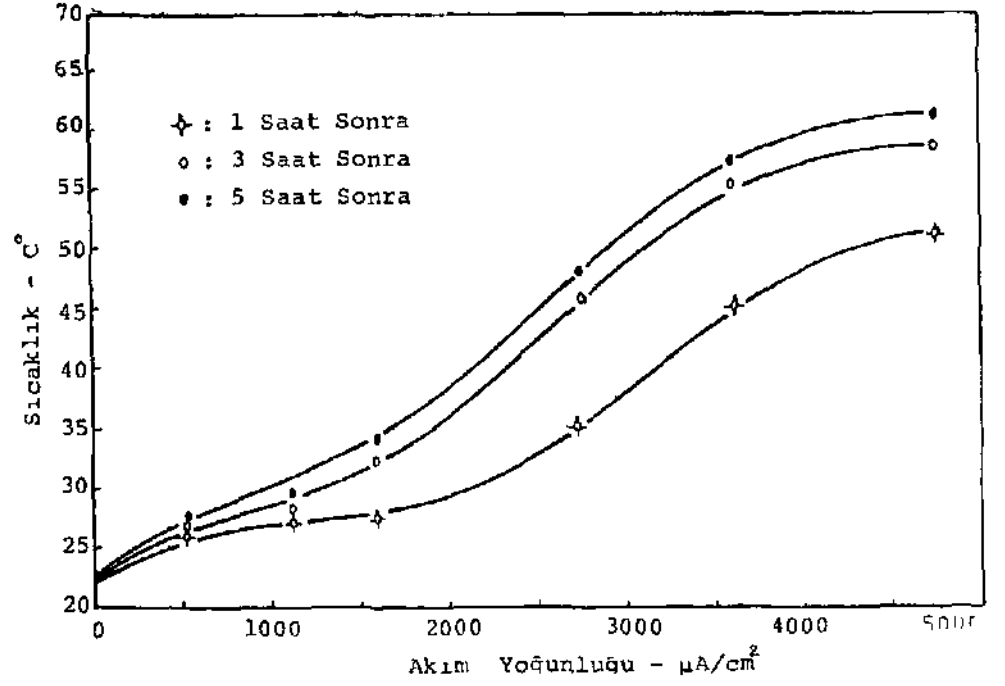


bakir anotun oksitlenmesi neticesinde, bakır elektrodun yüzeylerinin CuO'e dönüşümü sırasında anotdan çıkan hidrojen gazı habbeciklerinin çöken katılan elektrolotasyon olayı neticesi pülp yüzeyine çıkarması nedeniyle, pülp hiçbir zaman sakin olamamaktadır. Pülp yüzeyine çıkan bu gaz habbecikleri patladıkları zaman, taşıdığı katıyı bırakmakta ve katı yeniden anoda doğru hareket ederek çökmektedir. Bu nedenle, pülpün transmittans değeri yükselmemektedir.

Ayrıca yüksek akım yoğunluklarında, nihai pülp transmittans değerinin yükselmemesinin ikinci önemli bir nedeni daha vardır. Çeşitli akım yoğunluklarında yapılan deneylerden görüldüğü üzere, test pülpüne tatbik edilen akım değeri arttıkça pülp sıcaklığı artmaktadır. 1590 $\mu\text{A}/\text{cm}^2$ akım yoğunluğunda yapılan deneyde elde edilen nihai suyun sıcaklığı 34°C civarında iken, 4766 $\mu\text{A}/\text{cm}^2$ akım yoğunluğunda yapılan deneyde elde edilen nihai suyun sıcaklığı 62°C'dir. Pülp içinde sıcaklık arttıkça, katıların çözünerek suya geçmeleri kolaylaşmaktadır. Test pülpünde bulunan katıların % 85'i kil mineralleri olduğuna göre, bu olasılığın olması kuvvetle muhtemeldir. Zira, kil mineralleri (özellikle kaolen) suyun içerisinde sıcaklığın da etkisiyle kolayca çözünebilir maddelerdir (6, 7). Bu nedenle de, yüksek akım yoğunluklarında elde edilen nihai suyun transmittans değeri düşük olmaktadır.



Şekil 12. Zamana bağlı olarak akım yoğunluğu ile pülp transmittans değeri arasındaki ilişki.



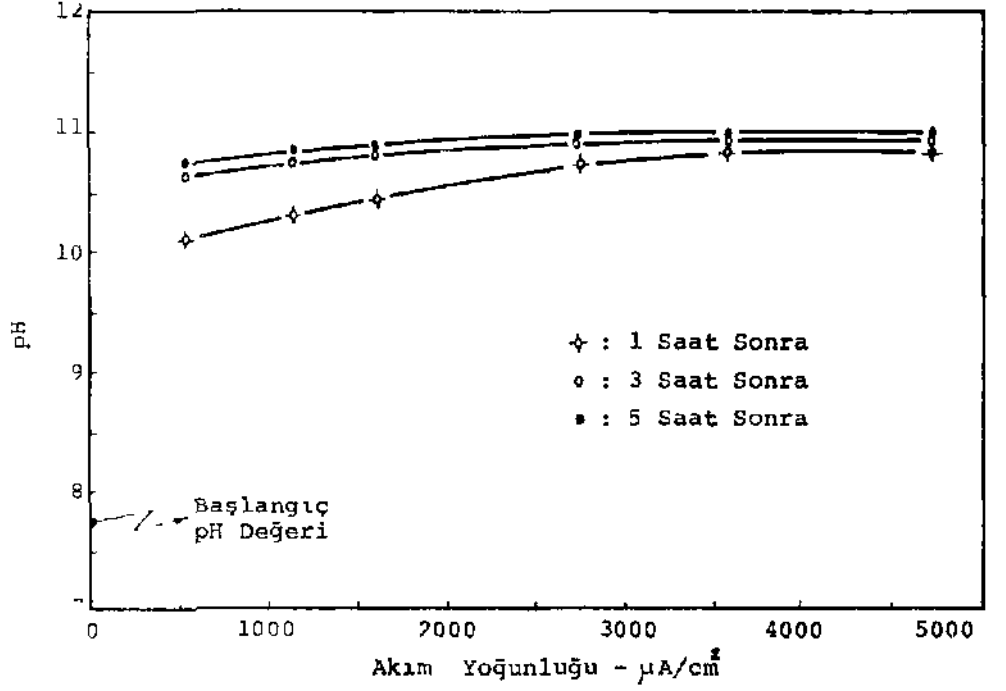
Şekil 13. Zamana bağlı olarak akım yoğunluğu ile pülp sıcaklığı arasındaki ilişki.

Şekil 12, 13, 14 ve 15'de, çeşitli akım yoğunluklarında yapılan deneylerin sonuçlarının değerlendirilmesi verilmiştir.

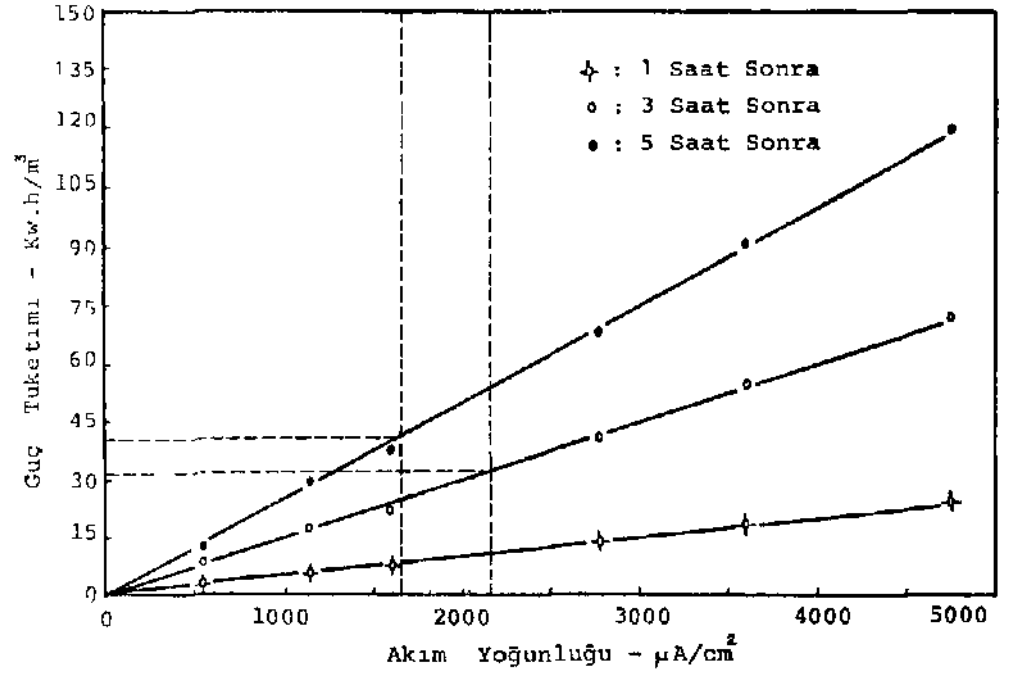
Şekil 12'de, zamana bağlı olarak test pülpüne uygulanan akım yoğunluk değeri ile pülp transmittans değeri arasındaki ilişki gösterilmiştir. Şekilden de görüleceği üzere; test pülpüne uygulanan akım yoğunluk değeri arttıkça, pülp transmittans değeri düşmektedir. En uygun akım yoğunluk değerleri $1650 \mu\text{A}/\text{cm}^2$ ile $2150 \mu\text{A}/\text{cm}^2$ arasındadır. Bu değerler arasında test hüresinden elde edilen nihai suyun transmittans değeri % 90 civarında olmaktadır.

Şekil 13'de, çeşitli akım yoğunluklarında test pülpünde elde edilen sıcaklık değerleri verilmiştir. Zaman ve uygulanan akım yoğunluk değeri arttıkça, pülpün sıcaklık değeri de artmaktadır.

Şekil 14'de, çeşitli akım yoğunluk değerlerinde test pülpünde elde edilen pH değerleri gösterilmiştir. Pülpün başlangıç pH değeri $7,75 \pm 0,3$ 'dür. Genellikle 5 saat içerisinde pülp pH'sı 11 civarına gelmektedir.



Şekil 14. Zamana bağlı olarak akım yoğunluğu ile pülp pH değeri arasındaki ilişki.



Şekil 15. Zamana bağlı olarak akım yoğunluğu ile güç tüketimi arasındaki ilişki.

Şekil 15'de, çeşitli akım yoğunluklarında yapılan deneylerde zamana bağlı olarak tüketilen güç (Kw.h/m³ su olarak) miktarları verilmiştir. En uygun ve en efektif akım yoğunluk değerleri olan 1650 A/cm² ve 2150 A/cm² değerleri arasında 1 m³ ortalama % 90 transmittans değerinde temiz bir su elde etmek için yaklaşık olarak 35 Kw.h'lik (3540 Kw.h/m³) bir güç sarfiyatı gerekmektedir.

3.4.23. Elektrod Yerleşim Düzeninin Çökmeye Etkisi

Şimdiye kadar yapılan deneylerde Şekil 17'de gösterilen ve alt-üst elektrodların kullanılmasıyla yürütülen yerleşim düzeni uygulanmıştır. Elektrod yerleşim düzeninin değiştirilerek, Şekil 18'de gösterilen, orta ve alt elektrodların ya da üst, orta ve alt elektrod beraberliğinin kullanılmasıyla elektrokinetik çöktürmeye etkisi araştırılmıştır.

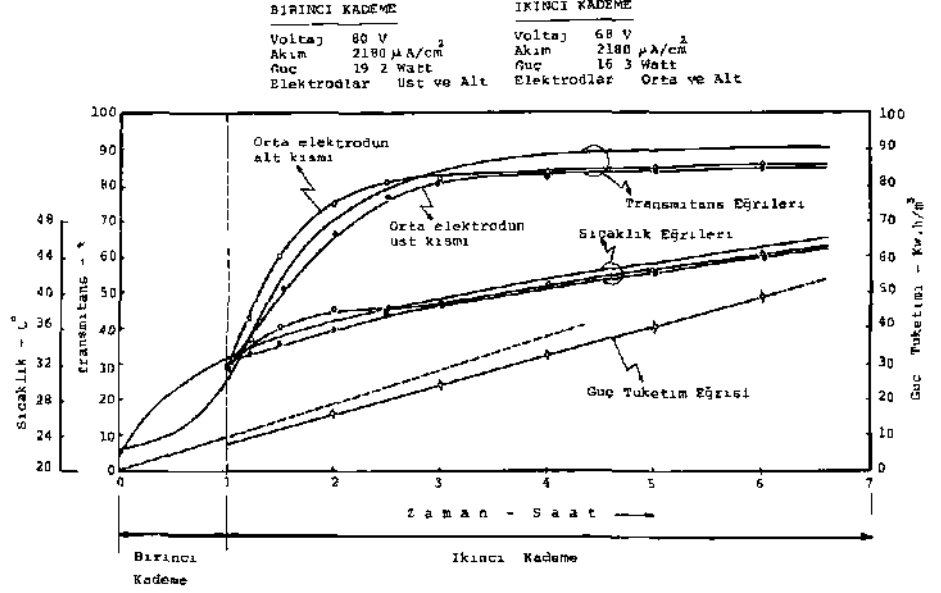
Test hücresinde alt ve orta elektrodların kullanılmasıyla bazı deneyler yapılmıştır. Ancak elde edilen neticeler tatminkâr olmamıştır. Orta elektrodun üst bölümüne elektriksel kuvvetin etkimemesi, sadece bu bölümdeki tanelerin gravite kuvveti ile orta elektrodun altındaki tanelerin buldukları ortamın viskozite farklılığından dolayı, orta elektrodun altına zamanla sürüklenmesi neticesi, bu yerleşim düzeninde çökme olayı uzun zaman (yaklaşık 20 saat) almıştır. Orta elektrodun üst bölümünde pülp içinde bulunan koloidal tanelerin çökmesi, bu bölgeye elektriksel gücün etkin olmaması nedeniyle İmkânsız bir hale gelmektedir. Neticeler tatminkâr olmadığı için, bu deneye ait veriler bildiride gösterilmemiştir.

Şekil 18'de yerleşim düzeni gösterilen ve alt, orta ve üst elektrod beraberliğinin kullanılarak yapılan deney neticeleri Şekil 19'da verilmiştir. Bu deneyde de, diğer deneylerde olduğu gibi, deney hücresinin içine katı oranı 25 gr/l olan, 2 lt pülp yerleştirilmiştir. Pülp test hücresine konmadan önce pülp homojenliğinin sağlanması için 2 saat müddetle bir mikserde 1500 d/d hızla karıştırılmıştır.

Deneyin birinci kademesinde, daha önce yürütüldüğü üzere alt ve üst elektrodlar kullanılarak, 1 saat müddetle pülpe elektrik gücü tatbik edilmiştir. Bu süre zarfında üst elektrod negatif, alt elektrod ise pozitif yapılmıştır. 1 Saat sonunda, üst elektrod devre dışı bırakılarak, orta elektrod negatif yapılmış ve deneye devam edilmiştir. Birinci ve ikinci kademede kullanılan şartlar Şekil 19'da verilmiştir.

İkinci kademedeki ölçümler, orta elektrodun altına ve üstünde ayrı ayrı yapılarak Şekil 19'da görüldüğü üzere değerlendirilmeye sokulmuştur.

Şekil 19'dan görüleceği üzere; İkinci kademenin ilk 2 saati içinde orta elektrodun alt ve üst kısmındaki bölümlerinde gerek transmittans ve gerekse sıcaklık değerleri arasında bir miktar fark mevcuttur. Bu fark, İkinci kademede orta elektrodun üst kısmına elektriksel bir gücün tatbik edilmeyerek sadece alt bölümüne tatbik edilmesinden ileri gelmektedir. Ancak zamanla, alt elektrodun altındaki ve üstündeki transmittans ve sıcaklık farkları ortadan kalkarak, pülpün tamamı suyun da hareketi nedeniyle homojen bir hale gelmektedir.



Şekil 16. Çöktürmede alt, orta ve üst elektrodlanrı kullanılması.

Deneyler sırasında harcanan gücün düşürülmesi amacıyla yapılan bu deney, belirli bir üstünlük getirmediği gibi, elde edilen nihai suyun transmittans değerinin düşük olmasına neden teşkil etmiştir. Transmittans değeri, ikinci kademede gücün 19,2 Watt'dan 16,3 Watta düşürülmesi nedeniyle % 92'den % 84'e düşmüştür. Deneyler sırasında harcanan enerji. Şekil 16'da birinci ve ikinci kademeler için ayrı ayrı gösterilmiştir.

3.4.2.4. Pülp Katı Oranının Çökmeye Etkisi

Pülpde katı oranının elektrokinetik çöktürmeye etkisini araştırmak için bir seri deney yapılmıştır. Pülpde katı oranının artmasının, elektrokinetik çöktürme üzerinde önemli bir etki yapmadığı saptanmıştır.

3.4.2.5. Tane Boyutunun Çökmeye Etkisi

Yapılan deneyler, pülpde bulunan katıların içinde iri tane boyutu oranı arttıkça çöktürme işleminin pozitif olarak etkilendiğini göstermiştir. Pülp içinde bulunan iri taneler, çökme işlemi sırasında koloidal taneleri de sürükleyerek çöktürme işlemine yardımcı olmaktadır.

4. ELEKTROKİNETİK SUSUZLAŞTIRMA - ÇÖKTÜRME YÖNTEMİNİN ENDÜSTRİYEL UYGULAMASI VE KARŞILAŞILAN PROBLEMLER

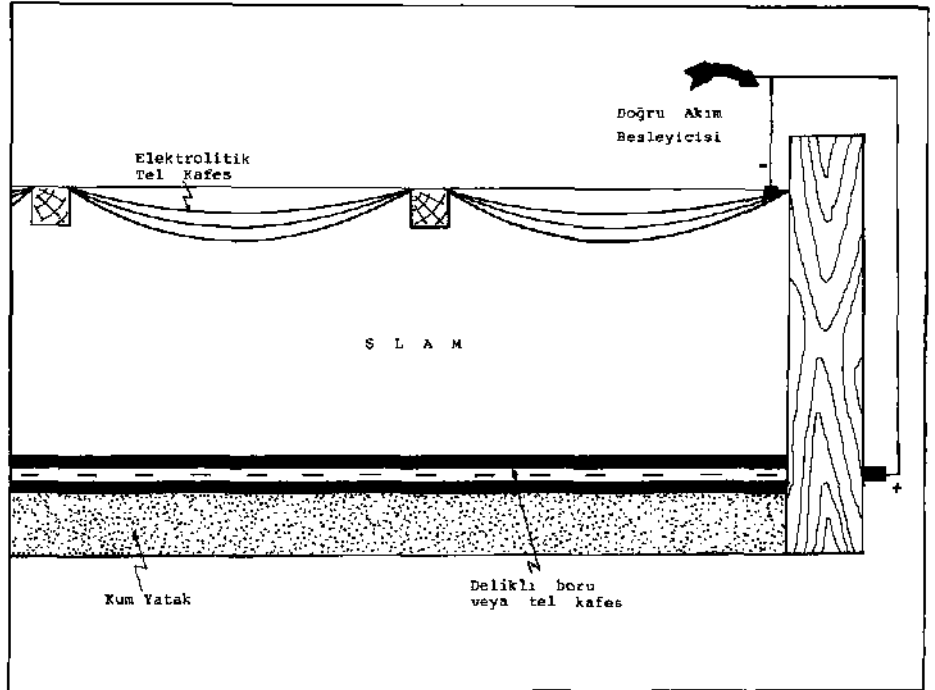
Elektrokinetik çöktürme yönteminin uygulaması bugün ABD'de oldukça yaygınlaşan bir yöntem olup, özellikle çok İnce taneli malzemelerin çöktürülmesin-

de kullanılan ve olumlu neticeler alınan bir yöntemdir. ABD'de bu yöntemle çalışan çeşitli tesisler mevcuttur. Bu tesislerde genellikle öğütme devrelerinden, siklon devrelerinden, klasifikasyon devrelerinden ve özellikle flotasyon devrelerinden gelen İnce taneli malzemelerin (şlamların) ayrılma işlemleri yapılmaktadır.

Söz konusu olan bu tesislerde her türlü emniyet tedbirleri alınmasına rağmen, özellikle yeraltı uygulamalarında çeşitli durumlarda bazı belirgin tehlikelerin var olduğu da bir gerçektir. Bu tür tesislerde en belirgin zararlı nedenler şu şekilde sıralanabilir.

- Yanıcı ve zararlı gazların oluşumu.
- Yeraltı uygulamalarında, elektrik tatbik edilen sahada, başıboş dolaşabilecek akımlar nedeniyle oluşabilecek tehlikeler.
- Elektrokimyasal korozyon.
- Elektrokinetik susuzlaştırma - çöktürme havuzları çevresinde çalışan personele tesir edebilecek elektrik akımları.
- Çöken malzemenin çöktürme havuzlarından nakli işlemi.

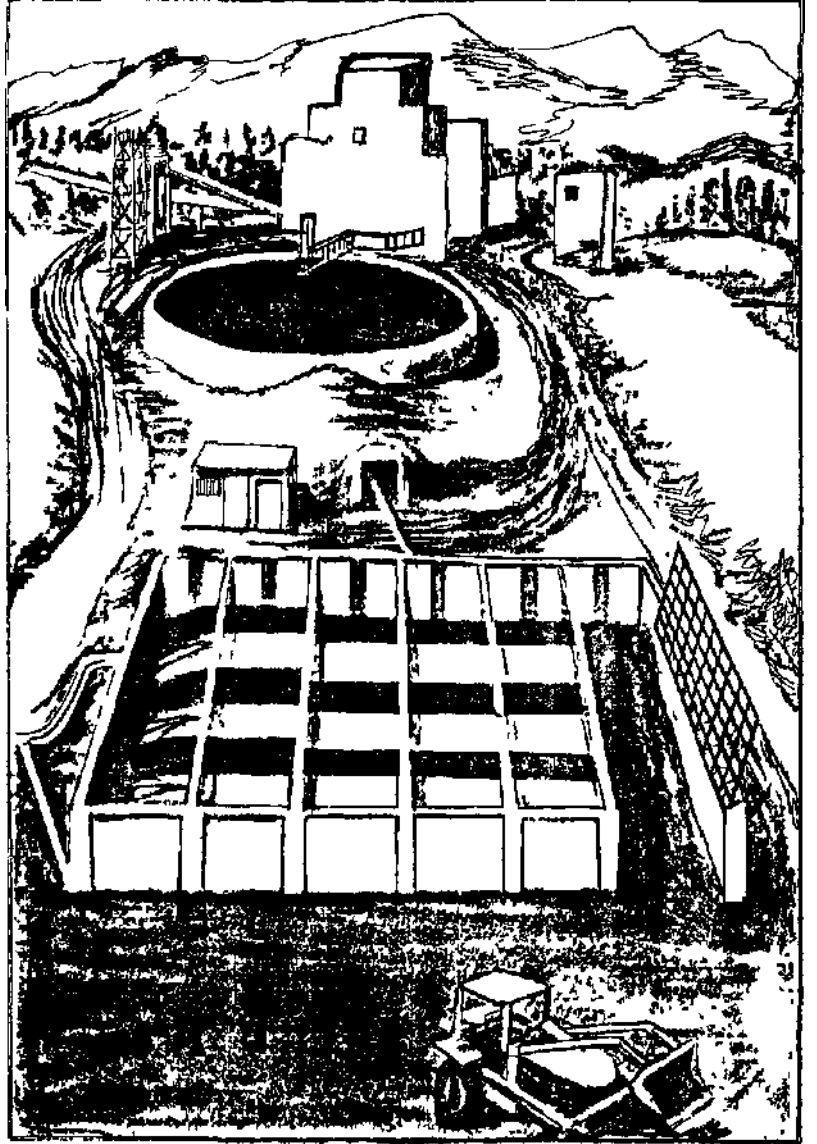
Şekil 17'de gösterildiği üzere; söz konusu elektrokinetik çöktürme havuzları genellikle ağaç malzemenin yapılmaktadır. Ağacın pülp içinden geçen elektrik akımı nedeniyle oluşacak elektrokimyasal korozyonunu önlemek amacıyla bazı koruyucu boyalarla kaplanması şarttır. Bu şekilde ağaçtan yapılan çöktürme havuzlarının ömrü uzatılmış olmaktadır.



Şekil 17. Elektrokinetik susuzlaştırma hücresi örneği

Çöktürme havuzlarında genellikle elektrod olarak tel kafesler kullanılmaktadır. Ayrıca çöktürme havuzlarının alt kum yatağının üstüne yerleştirilen elektrodun delikli borudan yapılması da mümkündür. Bu şekilde dizayn edilen ve Şekil 17'den de görüleceği üzere, iki elektrod bir doğru akım besleyicisine bağlanmaktadır.

Şekil 18'de resim halinde gösterilen elektro kinetik çöktürme havuzunun tesis içindeki yeri verilmiştir. Genellikle bu tür elektrokinetik çöktürme havuzla-



Şekil 18. Elektrokinetik çöktürme havuzu.

rına tesis içindeki çöktürme tanklarından (tıkinerler) çıkan alt veya üst çıkış ürünlerinin her ikisinde verilebilmektedir. Şayet çöktürme tanklarının alt çıkış ürünleri (un'der-flow) verilirse, bu katının neminin elektrokînetik çöktürme havuzlarında daha mümkün mertebe düşürülmesine çalışılmaktadır. Şayet çöktürme tanklarının üst çıkışı (over-flow) elektro kinetik çöktürme havuzlarına verilecek olursa, bu seferde üst çıkış pülünün içinde bulunan ve çökmede büyük problem teşkil eden katıların alınmasına çalışılarak tesise yeniden geri verilebilecek berraklıkta temiz bir su elde edilmesine çalışılmaktadır (10, 11, 17). Genellikle elektrokînetik çöktürme havuzları tesiste bulunan ve ş lam in içindeki iri taneleri çöktürmede etkin olan çöktürme tanklarının yanına inşa edilmektedir. Şekil 18'de bu durum görülmektedir.

Tesislerde var olan elektrokînetik çöktürme havuzları genetikte pülün içindeki katıların çöktürülmesinden sonra, içinde bulunan temiz su bir tulumba vasıtasıyla boşaltılmaktadır. Daha sonra havuzun alt bölümünde bulunan ve kum yatağın içine dağılmış vaziyette duran çamur madde bir kepçe vasıtasıyla havuzun dışına alınmaktadır. Bu işlemler genellikle tesisin çalıştırılmadığı bakım vardiyasında yapılmaktadır. Havuzun alt tarafında toplanan bu katıların kolayca dışarıya alınabilmesi için çöktürme havuzlarının tabanları genellikle, kepçenin çöktürme havuzuna gireceği kısma doğru (kepçenin çamuru alacağı bölüm) eğimli yapılmaktadır. Bu şekilde havuzun işlem sonunda boşaltılması kolay olmaktadır. Bu durum Şekil 18'de görülmektedir. Tesisin kapasitesine ve flotasyon tesisinden çıkan artığın miktarına göre, tesisin uygun yerlerine elektrokînetik çöktürme havuzlarından bir ya da birkaç tane yapılabilmektedir. Genel eğilim, küçük kapasiteli çöktürme havuzlarının yapımı şeklindedir. Tesis çalışmalarının aksamaması, bakım kolaylıkları ve havuz tabanında çöktürme neticesinde biriken katıların nakliyesinin kolaylığı için küçük çapta elektrokînetik susuzlaştırma - çöktürme havuzlarının yapımı tercih edilmektedir.

S. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

- Sözkonusu çalışmaya malzeme teşkil eden Amasra Kömür lavvarı flotasyon artığı numunesinde, çeşitli yöntemlerle kaolen, kuvars, kömür, halloysit, kalsit, hematit ve limonit minerallerinin varlığı saptanmıştır.
- Tabii çöktürme deneylerinde problem olan ve 20 mikron altında bulunan flotasyon artığı numunesinin % 85'ini kil mineralleri teşkil etmektedir. 38 Mikron ya da 20 mikron altında bulunan malzeme refrakter amaçlarla kullanılabilir. Zira, deney numunesi içinde bulunan kil mineralleri refrakter özelliği taşımaktadır. 38 Mikron altında bulunan malzemenin SK değeri 30 olup, 1500°C a kadar ısıya dayanıklıdır. 20 Mikron altında bulunan malzemenin refrakter özelliği daha yüksektir.

- Çöktürme deneylerine malzeme olan ve 20 mikron altında bulunan malzemenin içinde bulunan minerallerin büyük bir çoğunluğunun nötr pH civarında yüzey potansiyel işareti (zeta potansiyel) negatiftir. pH = 7 civarında, zeta potansiyel değeri kaolenin — 60 mV, haloysitin — 35 mV, durainin — 30 mV, fuzainin - 50 mV, vitrainin — 63 mV ve kuvarsın — 40 mV'dur.
- Deney numunesi içinde bulunan minerallerin yüzey özelliklerine, tesiste flotasyon bölümünde kullanılan gazyağı + alkollerin hemen hemen hiçbir tesiri bulunmamaktadır. Sözkonusu olan çeşitli reaktiflerin pülp içinde bulunan minerallerin yüzey işaretini değiştirici hiçbir etkinliği yoktur. Ancak yüzey potansiyel değerlerini bir miktar etkilemektedir.
- Amasra lavvarı flotasyon artığı numunesi 20 mikron altı fraksiyonu, elektrokinetik susuzlaştırma - çöktürme yöntemi için uygundur. 20 Mikron altında bulunan ve tesiste büyük problem olan malzeme için çeşitli etkenlerin etkinlikleri incelenmiştir. Bu deneylerin neticelerine göre-

1- Elektro kinetik çöktürme için, en uygun akım yoğunluk değerleri 1650 fi A/cm² ile 2150 fi A/cm²'dir. Bu değerler arasında laboratuvarında test hücrelerinden elde edilen nihai suyun transmittans değeri % 90 civarında olmaktadır.

2- En uygun ve en etkin akım yoğunluk değerleri olan 1650-2150 jnA/cm² arasında, yaklaşık olarak % 90 transmittans değerinde 1 m³ temiz bir su elde etmek için, yaklaşık olarak 35 Kw.h'lik bir enerji sarfiyatı gerekmektedir.

3- En uygun elektrod yerleşim düzeni, alt elektrodun pozitif ve üst elektrodun negatif olarak kullanılmasıyla dizayn edilen (Şekil 7) yerleşim düzenidir. Sadece alt ve üst elektrodların kullanılması, diğer elektrod yerleşim düzenlerinden daha olumlu netice vermektedir.

KAYNAKLAR

1. ADAMSON, L.G., "Elektrokinetic Dewatering, Consolidation and Stabilization of Soils" Eng. Geol., Vol. 1, No. 4, 1966, pp. 291-304.
2. BJERRUM, L., "Application of Electro-Osmosis to a Foundation Problem in a Norwegian Quick Clay" Geotechnique, Vol 1, 1967, pp. 214-235.
3. CASAGRANDE, L., "Electro Osmosis and Related Phenomena" Ingineria, Vol. 32, No. 2, April 1962, pp. 1-62.
4. CASALÍ, J.T., "Heat Drying Sludge From Pounds" Min. Cong. J., Jan. 1975, p. 34.
5. ESRIG, M.I., "Pore Pressure, Consolidation and Electrokinetics" Mech. and Foundation Div. Am.Soc. CívU Eng., Vol 94, No. SM4 July 1968, pp. 899-921.
6. EVANS, H.E., "A Theoretical Treatment of the Electro-Osmotic Consolidation of Soils" Civil Eng. and Public Works Rev. October 1965, pp. 1495-1498.
7. GRAY, D.H., and MITCHELL J.K., "Estimation of Electro Osmatic Efficiency in Soils" Am. So. Civil Eng. Structural Eng. Conf-, Seattle, Wash., Conf. Preprini 497, May 1967, 46 p.
8. SOMASUNDARAN, P., "Thickening or Dewatering of Slow Settling Mineral Suspensions" XIII. 4nt. Min. Proc. Cong., Elsevier, in press.

9. SOMASUNDARAN, P., "Fundamentals of Dewatering Fine Particle Slurries" in Progress in the Dewatering of Fine Particles Conference, USBM and U. Alabama, 1981, 35 p.
10. SPRUTE, R.H., and KELSH, DJ., "Laboratory Experiments in Electrokinetic Densification of Mill Tailings (In two parts) I. Development of Equipment and Procedures. Bu Mines, RI7892, 1974, 72. p.
11. SPRUTE, R.H., and KELSH, DJ., "Laboratory Experiments in Electrokinetic Densification of Mill Tailings (In two parts) 2. Application of Various Types and Classification of Tailings. Bu Mines, RI 7900, 1974.
12. SPRUTE, R.H., and KELSH, DJ., "Limited Fields Tests in Electrokinetic Densification of Mill Tailings. Bu Mines, RI 8034, 1975.
13. "Electrokinetic Densification of Hydraulic Backfill-A Field Test" Bu Mines, RI 8075, 1975.
14. "Electrokinetic Consolidation of Slimes in an Underground Mine" Bu Mines, RI 8190, 1976.
15. "Using Slimes for Backfill in Deep Mines" Min. Cong. J., Vol. 62, No. 4, April 1976, pp. 22-26.
16. "Dewatering and densification of Coal Waste by Direct Current-Laboratory Tests" Bu Mines, RI 8197, 1976.
17. SOMASUNDARAN, P., SPRUTE, R.H., and KELSH, DJ., "Dewatering Fine-Particle Suspensions With Direct Current" Processing of Fine-Particle, 1984.
18. Ward Worthy "Electrical Separation Tested in Phosphate Settling Ponds" Chemical Abstract, Feb, 1984.
19. WESTERSTROM, W., "Coal-Bituminous and Lignite" Bu Mines, Mineral Yearbook, Vol. 1, 1973, 358 p.

