



**T. C.**  
**SIVAS CUMHURİYET ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**FARKLI MADEN ATIKLARININ ELEKTRO-OSMOZ  
METODUYLA SUSUZLAŞTIRILMASI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Merve ERCİNS**  
**(201192111007)**

**Maden Mühendisliği Anabilim Dalı**  
**Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Salih YÜKSEK**

**SIVAS**  
**Haziran 2019**

**Merve ERCİNS**'in hazırladığı ve “**FARKLI MADEN ATIKLARININ ELEKTRO-OSMOZ METODUYLA SUSUZLAŞTIRILMASI**” adlı bu çalışma aşağıdaki jüri tarafından **MADEN MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI**'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

**Tez Danışmanı :** **Dr. Öğr. Üyesi Salih YÜKSEK** .....  
Sivas Cumhuriyet Üniversitesi

**Jüri Üyeleri :** **Prof. Dr. Niyazi BİLİM** .....  
Konya Teknik Üniversitesi

**Doç. Dr. Fuat ÖZYONAR** .....  
Sivas Cumhuriyet Üniversitesi

Bu tez, Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tarafından **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak onaylanmıştır.

**Prof. Dr. İsmail ÇELİK**  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ MÜDÜRÜ

Bu tez, Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Senatosu'nun 20.08.2014 tarihli ve 7 sayılı kararı ile kabul edilen Fen Bilimleri Enstitüsü Lisansüstü Tez Yazım Kılavuzu'nda (Yönerge) belirtilen kurallara uygun olarak hazırlanmıştır.



Bütün hakları saklıdır.  
Kaynak göstermek koşuluyla alıntı ve gönderme yapılabilir.

© Merve ERCİNS, Haziran 2019

## ETİK

Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Tez Yazım Kılavuzu'nda (Yönerge) belirtilen kurallara uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- ✓ Bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- ✓ Görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- ✓ Başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere, bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu ve atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- ✓ Bütün bilgilerin doğru ve tam olduğunu, kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- ✓ Tezin herhangi bir bölümünü, Cumhuriyet Üniversitesi veya bir başka üniversitede, bir başka tez çalışması olarak sunmadığımı; beyan ederim.

24.06.2019

Merve ERCİNS

## KATKI BELİRTME VE TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın gerçekleştirilmesinde, bilgi ve deneyimlerinden sürekli yararlandığım, tezin her aşamasında değerli bilgisini ve yardımını esirgemeyen, tecrübeleriyle yol gösteren danışman hocam, Dr. Öğretim Üyesi Salih YÜKSEK'e çok teşekkür ederim.

Jüri üyelerim Sayın Prof. Dr. Niyazi BİLİM ve Sayın Doç. Dr. Fuat ÖZYONAR hocalarıma yaptıkları olumlu eleştiriler ve katkılarından dolayı teşekkürlerimi sunarım.

Manevi desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen annem Zehra ve babam Cemal EKMEKÇİOĞLU ile kardeşlerim Sena EKMEKÇİOĞLU ve Esra AKSOY'a, ayrıca çalışmalarım süresince sabır göstererek beni daima destekleyen eşim Dr. Öğretim Üyesi Serdar ERCİNS ile kızlarım Ecem ve Melis ERCİNS'e, kayınvalidem Aysel ERCİNS ve kayınpederim Vural ERCİNS'e en içten teşekkürlerimi sunarım. 24.06.2019

## ÖZET

### FARKLI MADEN ATIKLARININ ELEKTRO-OSMOZ METODUYLA SUSUZLAŞTIRILMASI

Merve ERCİNS

Yüksek Lisans Tezi

Maden Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Salih YÜKSEK

2019, 97+xviii sayfa

Çeşitli endüstriyel alanlarda ve madencilik faaliyetlerinde yapılan çalışmalar sonucunda su ile işlem gören ana kayacın türüne göre farklı atık malzemeler ortaya çıkmaktadır. Nihai aşamada uç ürüne dönüştürülen bazı maden artıklarında ya da depolama alanlarındaki yığınlarda, geleneksel yöntemlerle malzemelerden suyun tamamı atılamamaktadır. Bu yüzden atık malzemesinin daha fazla kurutulması veya su muhtevasının düşürülmesi için elektro-osmoz yöntemi ile susuzlandırma konusunda da çalışmalar yapılmaktadır.

Bu tez çalışması kapsamında, farklı maden işletmelerinden alınan kömür baca külü, krom, kurşun-çinko, demir atığı ile kil ve kaolen artıklarının elektro-osmoz yöntemi ile susuzlaştırması laboratuvar ortamında araştırılmıştır. Bu amaçla bu çalışma için elektro-osmoz susuzlandırma düzeneği olan 36 cm x 20 cm x 6 cm boyutlarında cam akvaryum ile bunun ortasına perfore bakır katot (-) ile delikli dikdörtgen çelik anodlar (+) imal edilmiştir. Suyu doygun hale getirilen maden artıkları, yerçekimiyle drenaj kuyusu olarak imal edilen katot borusundan drene edilmiştir. Yerçekimiyle su drenajı bittikten sonra elektro-osmoz yöntemiyle su drenajına başlanmıştır. Anot ve katodun farklı maden atıkları ve artıkları için farklı voltajlar uygulanarak drene edilen su miktarları ölçülmüştür. Her deneyden sonra malzemenin bazı fiziksel özellikleri belirlenmiştir. Ayrıca elektro-osmoz deneyleri öncesinde tüm maden numuneleri için SEM, EDX, Master Sizer X-RD analizleri yapılmıştır.

Elde edilen sonuçlar değerlendirilmiş elektro-osmotik süre ile boşalım ve harcanan enerji miktarları arasındaki ilişkiler belirlenmiştir. Kömür baca külü atığında su muhtevası %104,21 'den %28,95'e; krom atığında %52,63 'den %28,07 'ye, kurşun-çinko atığında %45,50 den %6'ya ve demir atığında %56,99'dan %12,37'ye düşmüştür. Kil ara kesme artığında %70'den %59,20'ye, kaolen artığında ise %28,91'den %7,11'e düşmüştür. Yapılan deneylerle yerçekimi ile drene edilemeyen su içeren ortamlar elektro-osmoz yöntemi ile belli bir dereceye kadar susuzlaştırılabileceği ortaya konmuştur.

**Anahtar kelimeler:** Maden atığı, Susuzlaştırma, Elektro-osmoz, Su muhtevası, Boyut analizi, SEM, X-RD

## ABSTRACT

### DEWATING DIFFERENT MINERAL WASTES BY ELECTRO-OSMOSIS METHOD

Merve ERCİNS

Master of Science Thesis, Department of Mining Engineering

Supervisor: Dr. Salih YÜKSEK

2019, 97+xviii pages

As a result of the studies carried out in various industrial areas and mining activities, different waste materials are produced according to the type of bedrock treated with water. In some mineral residues or stacks in storage areas that are eventually converted into end products, not all of the water can be removed from the materials by conventional methods. Therefore, further studies are carried out on dewatering by electro-osmosis method for further drying of the waste material or reducing the water content. Within the scope of this thesis, electro-osmosis dewatering of coal flue ash, chromium, lead-zinc, iron waste, clay intermediate and kaolin waste obtained from different mining enterprises was investigated in the laboratory. For this purpose, 36 cm x 20 cm x 6 cm glass aquarium with electro-osmosis dewatering device and perforated copper cathode (-) and perforated rectangular steel anodes (+) were produced for this study. The mineral residues, which are saturated with water, were drained from the cathode pipe produced as gravity drainage well. After gravity water drainage was completed, water drainage was started by electro-osmosis method. The amount of water drained was measured by applying different voltages for different mine wastes and residues of anode and cathode. After each experiment, some physical properties of the material were determined. In addition, SEM, EDX and Master Sizer X-RD analyzes were performed for all mineral samples before electro-osmosis experiments. The results obtained were evaluated and the relationships between electro-osmotic time and discharge and energy consumed were determined. Water content of coal flue ash waste from 104.21% to 28.95%; from 52.63% in chromium waste to 28.07%, from 45.50% in lead-zinc waste to 6% and from 56.99% in iron waste to 12.37%. Clay decreased from 70% to 59,20% in the intermediate cutting residue and from 28.91% to 7.11% in the kaolin residue. Experiments have shown that water-containing media which cannot be drained by gravity can be dewatered to a certain degree by electro-osmosis method.

**Key words:** Mineral wastes, Dewatering, Electro-osmosis, Water content, Master Sizing analysis, SEM, X-RD



## İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	vii
ABSTRACT .....	viii
İÇİNDEKİLER .....	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ .....	xi
ÇİZELGELER DİZİNİ .....	xv
SİMGELER DİZİNİ .....	xvii
<b>1. GİRİŞ</b> .....	1
1.1 Problemin Tarifi .....	1
1.2 Tez Konusu ve Kapsamı .....	1
<b>2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI</b> .....	3
2.1. Madencilikte Ortaya Çıkan Katı ve Sıvı Atıklar .....	3
2.1.1. Katı Atıklar .....	3
2.1.2. Kazı artıkları .....	4
2.1.3. Proses atıkları .....	4
2.1.4. Metalurjik atıklar .....	4
2.2. Elektro-kinetik Olaylar .....	5
2.2.1 Elektro-osmoz Yöntemi .....	7
2.2.2. Elektroforez Yöntemi .....	9
2.2.3. Elektrogöç .....	10
2.3.2. Elektro-Osmoz Koşulları ve Uygulama Alanları .....	15
<b>3. MATERYAL VE METOD</b> .....	17
3.1 Deneylerde Kullanılan malzemeler .....	17
3.1.1 Kömür Baca Külü .....	17
3.1.2 Krom Atığı .....	17
3.1.3 Kurşun-Çinko Atığı .....	18
3.1.4 Demir Atığı: .....	18
3.1.5 Kil-Ara Kesme Artığı.....	18
3.1.6 Kaolen Malzemesi.....	18
3.2. Maden Atıklarının Analizleri .....	19
3.2.1 Deneylerde Kullanılan Numunelerin SEM ve EDX Analizleri.....	19
3.2.2 Deneylerde Kullanılan Numunelerin Master Sizer Analizleri .....	22
3.2.3 Deneylerde Kullanılan Numunelerin X-RD Analizleri .....	24
3.2.4 Deneylerde Kullanılan Numunelerin Kıvam Limitleri.....	27
3.3. Maden Atıklarının Susuzlaştırması-Elektro-Osmoz Deneyleri .....	32
3.3.1. Deney Düzeneği ve Deneyde Kullanılan Ekipmanlar .....	33
3.3.2 Kömür Baca Külü Atığı Elektro-Osmoz Deneyleri .....	35
3.3.3. Krom Atığı Elektro-Osmoz Deneyleri .....	37
3.3.4. Kil Ara Kesme Artığı Elektro-Osmoz Deneyleri.....	39
3.3.5 Kurşun-Çinko Atığı Elektro-Osmoz Deneyleri.....	42
3.3.6. Kaolen Artığı Elektro-Osmoz Deneyleri .....	44

<b>4. BULGULAR VE TARTIŞMA</b> .....	49
4.1 Elektro-Osmoz Deneyleri Kömür Baca Külü Sonuçları ve Değerlendirmesi .....	49
4.2 Elektro-Osmoz Deneyleri Krom Atığı Sonuçları ve Değerlendirmesi .....	55
4.3 Elektro-Osmoz Deneyleri Kil Artığı Sonuçları ve Değerlendirmesi.....	62
4.4 Elektro-Osmoz Deneyleri Kurşun-Çinko Atığı Sonuçları ve Değerlendirmesi .....	69
4.5 Elektro-Osmoz Deneyleri Kaolen Artığı Sonuçları ve Değerlendirmesi .....	76
4.6 Elektro-Osmoz Deneyleri Demir Atığı Sonuçları ve Değerlendirmesi .....	83
<b>5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER</b> .....	91
5.1 Sonuçlar .....	91
5.2 Öneriler .....	92
<b>6. KAYNAKLAR</b> .....	93
<b>ÖZGEÇMİŞ</b> .....	97



## ŞEKİLLER DİZİNİ

<b>Şekil 2.1:</b> Madencilik her kademesinde oluşan atıklar.....	3
<b>Şekil 2.2</b> Mekanik susuzlaştırma ve elektro-susuzlaştırmanın şematik gösterimi.....	5
<b>Şekil 2.3.</b> Reuss tarafından yapılan yapılan ilk elektro-osmoz(a) ve elektroferez(b) deneyinin şematik görünümü.....	6
<b>Şekil 2.4</b> Elektrokinetik mekanizmalar: Elektro-osmoz, elektromigrasyon ve elektroferez	6
<b>Şekil 2.5</b> Doğru akım verilen zeminde gelişen elektro-kinetik olaylar.....	7
<b>Şekil 2.6</b> Elektro-ozmotik akış (a) ve Hidrolik akış (b) karşılaştırması şematik gösterimi..	9
<b>Şekil 2.7</b> Temel elektro-kinetik süreçler.....	10
<b>Şekil 2.8</b> Elektro-kinetik olaylarında iyon göçü.....	10
<b>Şekil 2.9</b> Katı/su arayüzündeki çift tabaka yapısının kavramsal görünümü.....	11
<b>Şekil 2.10</b> Elektrik çift tabaka: (a) Elektrik potansiyelinin yüklü bir yüzeye olan mesafesiyle değişimi; (b) kil yüzeyine bitişik iyonların dağılımı.....	12
<b>Şekil 2.11</b> Çift tabaka modelleri.....	12
<b>Şekil 2.12</b> Elektro-kinetik olaya için Helmholtz–Smoluchowski modeli.....	13
<b>Şekil 2.13</b> Sıvı hız akış vektörleri ve çift tabakada hareketsiz sıvı ve hareketli sıvı şematik gösterimi.....	13
<b>Şekil 2.14.</b> Elektrik potansiyel dağılımı ve zeta-kayma düzlemi potansiyeli.....	15
<b>Şekil 2.15</b> Tuz konsantrasyonu ile zeta potansiyeli değişimi.....	15
<b>Şekil 2.16</b> Zemin su içeriği ile kayma mukavemeti arasındaki ilişki.....	16
<b>Şekil 3.1</b> Kömür baca külü atığı SEM ve EDX analiz sonuçları.....	20
<b>Şekil 3.2</b> Krom atığı SEM ve EDX analiz sonuçları.....	20
<b>Şekil 3.3</b> Kurşun-çinko atığı SEM ve EDX analiz sonuçları.....	20
<b>Şekil 3.4</b> Demir atığı SEM ve EDX analiz sonuçları.....	21
<b>Şekil 3.5</b> Kil artığı SEM ve EDX analiz sonuçları.....	21
<b>Şekil 3.6</b> Kaolen numunesi SEM ve EDX analiz sonuçları.....	22
<b>Şekil 3.7</b> Kömür baca külü atığı master sizer analiz sonucu.....	22
<b>Şekil 3.8</b> Krom atığı master sizer analiz sonucu.....	23
<b>Şekil 3.9</b> Kurşun-çinko atığı master sizer analiz sonucu.....	23
<b>Şekil 3.10</b> Demir atığı master sizer analiz sonucu.....	23
<b>Şekil 3.11</b> Kil artığı master sizer analiz sonucu.....	24
<b>Şekil 3.12</b> Kaolen numunesi master sizer analiz sonucu.....	24
<b>Şekil 3.15:</b> Kömür Baca Külü atığı X-RD analiz sonucu.....	25
<b>Şekil 3.16:</b> Krom atığı X-RD analiz sonucu.....	25
<b>Şekil 3.17</b> Kurşun-Çinko atığı X-RD analiz sonucu.....	26
<b>Şekil 3.18</b> Demir atığı X-RD analiz sonuçları.....	26
<b>Şekil 3.19</b> Kil artığı X-RD analiz sonucu.....	27
<b>Şekil 3.20:</b> Kaolen artığı X-RD analiz sonucu.....	27
<b>Şekil 3.21</b> Deneyleerde kullanılan Casagrande likit limit aleti.....	29

<b>Şekil 3.22</b> Likit limit ve vuruş sayısı ile su muhtevası arasındaki ilişki .....	31
<b>Şekil 3.23</b> Elektro-osmoz deneyinde kullanılan malzemelerin suya doygun hale getirilmesi. .....	32
<b>Şekil 3.24</b> Elektro-osmoz deney düzeneği resmi ve şematik çizimi .....	33
<b>Şekil 3.25</b> Elektro-osmoz deneyi için kullanılan elektrotlar. ....	34
(a) Bakır katot borusu, (b) Delikli anot levhalar.....	34
<b>Şekil 3.26</b> Elektro-osmoz deneyinde kullanılan araç ve gereçler.....	34
<b>Şekil 3.27</b> Elektro-osmoz deneyinde kullanılan güç kaynağı ve dijital multimetre ve çoklu kablolar.....	34
<b>Şekil 4.1</b> Kömür baca külü atığı farklı voltajlar için elektro-ozmotik süreler .....	49
<b>Şekil 4.2</b> Kömür baca külü atığı farklı voltajlar için elektro-ozmotik süre ile boşalım ilişkisi .....	50
<b>Şekil 4.3</b> Kömür baca külü atığı farklı voltajlar için elektro-ozmotik süre ile kümülatif boşalım ilişkisi.....	50
<b>Şekil 4.4</b> Kömür baca külü atığı farklı voltajlar için elektro-ozmotik boşalım ve boşalım hızı ilişkisi.....	52
<b>Şekil 4.5</b> Kömür baca külü atığı farklı voltajlar için elektro-ozmotik boşalım, harcanan enerji ve sıcaklık ilişkisi.....	52
<b>Şekil 4.6</b> Kömür baca külü farklı voltajlar için elektro-ozmotik boşalım ve elektrik direnci arasındaki ilişki.....	53
<b>Şekil 4.8</b> Kömür baca külü atığı farklı voltajlar için toplam boşalım, su muhtevası ve porozite ilişkisi.....	53
<b>Şekil 4.9</b> Kömür baca külü atığı farklı voltajlar için ortalama akım ve gerilim ilişkisi.....	54
<b>Şekil 4.10</b> Kömür baca külü atığı farklı voltajlar için sıcaklık ve gerilim ilişkisi.....	54
<b>Şekil 4.11</b> Kömür baca külü atığı farklı voltajlar için gerilim porozite ilişkisi.....	55
<b>Şekil 4.12</b> Kömür baca külü atığı farklı voltajlar için su muhtevası ve gerilim ilişkisi .....	55
<b>Şekil 4.13</b> Krom atığı farklı voltajlar için elektro-ozmotik süreler.....	56
<b>Şekil 4.14</b> Krom atığı farklı voltajlar için elektro-ozmotik süre ile boşalım ilişkisi.....	56
<b>Şekil 4.16</b> Krom atığı farklı voltajlar için elektro-ozmotik boşalım ve gerilim ilişkisi .....	58
<b>Şekil 4.17</b> Krom atığı farklı voltajlar için elektro-ozmotik boşalım, harcanan enerji ve sıcaklık ilişkisi.....	59
<b>Şekil 4.18</b> Krom atığı farklı voltajlar için elektro-ozmotik boşalım ve elektrik direnci arasındaki ilişki.....	59
<b>Şekil 4.19</b> Krom atığı farklı voltajlar için elektro-ozmotik boşalım ve porozite, su muhtevası arasındaki ilişkiler.....	60
<b>Şekil 4.20</b> Krom atığı farklı voltajlar için ortalama akım ve gerilim ilişkisi .....	60
<b>Şekil 4.21</b> Krom atığı farklı voltajlar için sıcaklık ve gerilim ilişkisi .....	61
<b>Şekil 4.22</b> Krom atığı farklı voltajlar için porozite ve gerilim ilişkisi .....	61
<b>Şekil 4.23</b> Krom atığı farklı voltajlar için su muhtevası ve gerilim ilişkisi.....	62
<b>Şekil 4.24</b> Kil artığı farklı voltajlar için elektro-ozmotik süreler .....	63

<b>Şekil 4.26</b> Kil artığı farklı voltajlar için elektro-ozmotik süre ile kümülatif boşalım ilişkisi.	64
<b>Şekil 4.27</b> Kil artığı farklı voltajlar için elektro-ozmotik boşalım ve ortalama boşalım hızı ilişkisi.....	65
<b>Şekil 4.28</b> Kil artığı farklı voltajlar için elektro-ozmotik boşalım, harcanan enerji ve sıcaklık ilişkisi.....	66
<b>Şekil 4.29</b> Kil artığı farklı voltajlar için elektro-ozmotik boşalım ve elektrik direnci arasındaki ilişki .....	66
<b>Şekil 4.30</b> Kil artığı farklı voltajlar için elektro-ozmotik boşalım, porozite ve su muhtevası ilişkisi.....	67
<b>Şekil 4.31</b> Kil artığı farklı voltajlar için ortalama akım ve gerilim ilişkisi.....	67
<b>Şekil 4.32</b> Kil artığı farklı voltajlar için sıcaklık ve gerilim ilişkisi.....	68
<b>Şekil 4.33</b> Kil artığı farklı voltajlar için porozite ve gerilim ilişkisi.....	68
<b>Şekil 4.34</b> Kil artığı farklı voltajlar için su muhtevası ve gerilim ilişkisi .....	69
<b>Şekil 4.35</b> Kurşun-çinko atığı farklı voltajlar için elektro-ozmotik süreler .....	70
<b>Şekil 4.36</b> Kurşun-çinko atığı farklı voltajlar için elektro-ozmotik süre ile boşalım ilişkisi	70
<b>Şekil 4.37</b> Kurşun-çinko atığı farklı voltajlar için elektro-ozmotik süre ile kümülatif boşalım ilişkisi.....	71
<b>Şekil 4.38</b> Kurşun-çinko atığı farklı voltajlar için elektro-ozmotik boşalım ve ortalama boşalım hızı ilişkisi .....	72
<b>Şekil 4.39</b> Kurşun-çinko atığı farklı voltajlar için elektro-ozmotik boşalım, harcanan enerji ve sıcaklık ilişkisi.....	73
<b>Şekil 4.40</b> Kurşun-çinko atığı farklı voltajlar için elektro-ozmotik boşalım ve elektrik direnci arasındaki ilişki.....	73
<b>Şekil 4.41</b> Kurşun-çinko atığı farklı voltajlar için elektro-ozmotik boşalım, porozite ve su muhtevası ilişkisi .....	74
<b>Şekil 4.42</b> Kurşun-çinko atığı farklı voltajlar için ortalama akım ve gerilim ilişkisi.....	74
<b>Şekil 4.43</b> Kurşun-çinko atığı farklı voltajlar için sıcaklık ve gerilim ilişkisi.....	75
<b>Şekil 4.44</b> Kurşun-çinko atığı farklı voltajlar için porozite ve gerilim ilişkisi .....	75
<b>Şekil 4.45</b> Kurşun-çinko atığı farklı voltajlar için su muhtevası ve gerilim ilişkisi .....	76
<b>Şekil 4.46</b> Kaolen artığı farklı voltajlar için elektro-ozmotik süreler .....	77
<b>Şekil 4.47</b> Kaolen artığı farklı voltajlar için elektro-ozmotik süre ile boşalım ilişkisi .....	77
<b>Şekil 4.48</b> Kaolen artığı farklı voltajlar için elektro-ozmotik süre ile kümülatif boşalım ilişkisi .....	78
<b>Şekil 4.49</b> Kaolen artığı farklı voltajlar için elektro-ozmotik boşalım ve ortalama boşalım hızı ilişkisi.....	79
<b>Şekil 4.50</b> Kaolen artığı farklı voltajlar için elektro-ozmotik boşalım, harcanan enerji ve sıcaklık ilişkisi.....	80
<b>Şekil 4.51</b> Kaolen artığı farklı voltajlar için elektro-ozmotik boşalım ve elektrik direnci arasındaki ilişki.....	80

<b>Şekil 4.52</b> Kaolen atığı farklı voltajlar için elektro-ozmotik boşalım, porozite ve su muhtevası ilişkisi .....	81
<b>Şekil 4.53</b> Kaolen atığı farklı voltajlar için ortalama akım ve gerilim ilişkisi.....	81
<b>Şekil 4.54</b> Kaolen atığı farklı voltajlar için sıcaklık ve gerilim ilişkisi .....	82
<b>Şekil 4.55</b> Kaolen atığı farklı voltajlar için porozite ve gerilim ilişkisi.....	82
<b>Şekil 4.56</b> Kaolen atığı farklı voltajlar için su muhtevası ve gerilim ilişkisi .....	83
<b>Şekil 4.57</b> Demir atığı farklı voltajlar için elektro-ozmotik süreler.....	84
<b>Şekil 4.58</b> Demir atığı farklı voltajlar için elektro-ozmotik süre ile boşalım arasındaki ilişki .....	84
<b>Şekil 4.60</b> Demir atığı farklı voltajlar için elektro-ozmotik boşalım ve ortalama boşalım hızı ilişkisi.....	86
<b>Şekil 4.61</b> Demir atığı farklı voltajlar için elektro-ozmotik boşalım, harcanan enerji ve sıcaklık ilişkisi.....	87
<b>Şekil 4.62</b> Demir atığı farklı voltajlar için elektro-ozmotik boşalım ve elektrik direnci arasındaki ilişki .....	87
<b>Şekil 4.63</b> Demir atığı farklı voltajlar için elektro-ozmotik boşalım, porozite ve su muhtevası ilişkisi .....	88
<b>Şekil 4.64</b> Demir atığı farklı voltajlar için ortalama akım ve gerilim ilişkisi .....	88
<b>Şekil 4.65</b> Demir atığı farklı voltajlar için sıcaklık ve gerilim ilişkisi .....	89
<b>Şekil 4.66</b> Demir atığı farklı voltajlar için porozite ve gerilim ilişkisi .....	89
<b>Şekil 4.67</b> Demir atığı farklı voltajlar için su muhtevası ve gerilim ilişkisi.....	90

## ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2. 1 Electro-osmozda etkili zemin parametreleri .....	16
Çizelge 2. 2 Zeminlerin tane özellikleri.....	16
Çizelge 3. 1 Plastisite Ölçüleri-1.....	29
Çizelge 3. 2 Plastisite Ölçüleri-2.....	29
Çizelge 3. 3 Kıvam Limitleri Deney Sonuçları .....	30
Çizelge 3. 4 Kömür Baca Külü Atığı 15 Volt Elektro-Osmoz Deney Sonuçları .....	35
Çizelge 3. 5 Kömür Baca Külü Atığı 30 Volt Elektro-Osmoz Deney Sonuçları .....	35
Çizelge 3. 6 Kömür Baca Külü Atığı 45 Volt Elektro-Osmoz Deney Sonuçları .....	36
Çizelge 3. 7 Kömür Baca Külü atığı 60 Volt Elektro-Osmoz Deney Sonuçları .....	36
Çizelge 3. 8 Kömür Baca Külü Atığı 75 Volt Elektro-Osmoz Deney Sonuçları .....	36
Çizelge 3. 9 Kömür Baca Külü Atığı 90 Volt Elektro-Osmoz Deney Sonuçları .....	37
Çizelge 3. 10 Krom Atığı 15 Volt Elektro-Osmoz Deney Sonuçları .....	37
Çizelge 3. 11 Krom Atığı 30 Volt Elektro-Osmoz Deney Sonuçları .....	37
Çizelge 3. 12 Krom Atığı 45 Volt Elektro-Osmoz Deney Sonuçları .....	38
Çizelge 3. 13 Krom Atığı 60 Volt Elektro-Osmoz Deney Sonuçları .....	38
Çizelge 3. 14 Krom atığı 75 volt elektro-osmoz deney sonuçları .....	38
Çizelge 3. 15 Krom Atığı 90 Volt Elektro-Osmoz Deney Sonuçları .....	39
Çizelge 3. 16 Kil Artığı 15 Volt Elektro-Osmoz Deney Sonuçları .....	39
Çizelge 3. 17 Kil Artığı 30 Volt Elektro-Osmoz Deney Sonuçları .....	40
Çizelge 3. 18 Kil artığı 45 Volt Elektro-Osmoz Deney Sonuçları .....	40
Çizelge 3. 19 Kil Artığı 60 Volt Elektro-Osmoz Deney Sonuçları .....	41
Çizelge 3. 20 Kil Artığı 75 Volt Elektro-Osmoz Deney Sonuçları .....	41
Çizelge 3. 21 Kil Artığı 90 Volt Elektro-Osmoz Deney Sonuçları .....	42
Çizelge 3. 22 Kurşun-Çinko Atığı 15 Volt Elektro-Osmoz Deney Sonuçları .....	42
Çizelge 3. 23 Kurşun-Çinko atığı 30 Volt Elektro-Osmoz Deney Sonuçları.....	43
Çizelge 3. 24 Kurşun-Çinko Atığı 45 Volt Elektro-Osmoz Deney Sonuçları .....	43
Çizelge 3. 25 Kurşun-Çinko Atığı 60 Volt Elektro-Osmoz Deney Donuçları .....	43
Çizelge 3. 26 Kurşun-Çinko Atığı 75 Volt Elektro-Osmoz Deney Sonuçları .....	44
Çizelge 3. 27 Kurşun-Çinko Atığı 90 Volt Elektro-Osmoz Deney Sonuçları .....	44
Çizelge 3. 28 Kaolen Malzemesi 15 Volt Elektro-Osmoz Deney Sonuçları .....	44
Çizelge 3. 29 Kaolen Malzemesi 30 Volt Elektro-Osmoz Deney Sonuçları .....	45
Çizelge 3. 30 Kaolen Malzemesi 45 Volt Elektro-Osmoz Deney Sonuçları .....	45
Çizelge 3. 31 Kaolen Malzemesi 60 Volt Elektro-Osmoz Deney Sonuçları .....	45
Çizelge 3. 32 Kaolen Malzemesi 75 Volt Elektro-Osmoz Deney Sonuçları .....	46
Çizelge 3. 33 Kaolen Malzemesi 90 Volt Elektro-Osmoz Deney Sonuçları .....	46
Çizelge 3. 34 Demir Atığı 15 Volt Elektro-Osmoz Deney Sonuçları .....	47
Çizelge 3. 35 Demir Atığı 30 Volt Elektro-Osmoz Deney Sonuçları .....	47
Çizelge 3. 36 Demir Atığı 45 Volt Elektro-Osmoz Deney Sonuçları .....	47
Çizelge 3. 37 Demir Atığı 60 Volt Elektro-Osmoz Deney Sonuçları .....	48

<b>Çizelge 3. 38</b> Demir Atığı 75 Volt Elektro-Osmoz Deney Sonuçları .....	48
<b>Çizelge 3. 39</b> Demir Atığı 90 Volt Elektro-Osmoz Deney Sonuçları .....	48
<b>Çizelge 4.1</b> Elektro-Osmoz Deneyi Kömür Baca Külü Atığı Değişik Voltajlar İçin Ölçülen ve Hesaplanan Parametreler .....	51
<b>Çizelge 4.2</b> Elektro-Osmoz Deneyi Krom Atığı Değişik Voltajlar İçin Ölçülen ve Hesaplanan Parametreler .....	58
<b>Çizelge 4.3</b> Elektro-Osmoz deneyi Kil Artığı Değişik Voltajlar İçin Ölçülen ve Hesaplanan Parametreler .....	65
<b>Çizelge 4.4</b> Elektro-Osmoz Deneyi Kurşun-Çinko Atığı Değişik Voltajlar İçin Ölçülen ve Hesaplanan Parametreler .....	72
<b>Çizelge 4.5</b> Elektro-Osmoz deneyi Kaolen Artığı Değişik Voltajlar İçin Ölçülen ve Hesaplanan Parametreler .....	79
<b>Çizelge 4. 6</b> Elektro-osmoz deneyi Demir Atığı Değişik Voltajlar İçin Ölçülen ve Hesaplanan Parametreler .....	86



## SİMGELER DİZİNİ

<b>Ke</b>	: Elektro-ozmotik permeabilite ( $m^2/sV$ )
<b>Kh</b>	: Hidrolik iletkenlik (m/s)
<b>V</b>	: Potansiyel fark (Volt)
<b>I</b>	: Akım (amper)
<b>R</b>	: Direnç (ohm)
<b>W</b>	: Güç (Watt)
<b>Q</b>	: Debi ( $cm^3/s$ Litre/s)
<b>ζ</b>	: Zeta Potansiyeli
<b>n</b>	: Porozite (%)
<b>η</b>	: Viskozite
<b>γ</b>	: Birim hacim ağırlık ( $gr/cm^3$ )
<b>ω</b>	: Su muhtevası (%)
<b>φ</b>	: içsel sürtünme açısı ( $^{\circ}$ )

## KISALTMALAR DİZİNİ

**İTÜ** : İstanbul Teknik Üniversitesi

**MTA** : Maden Tetkik Arama

**SCÜ** : Sivas Cumhuriyet Üniversitesi

**SDÜ** : Süleyman Demirel Üniversitesi

**SEM** : Taramalı Elektron Mikroskobu

**XRD** : X-Işınları Kırınımı

**EDX** : Enerji yayımlı X-Işını Analizi

**CÜTAM**: Cumhuriyet Üniversitesi İleri Teknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezi

**BTUAM**: Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi Bilim Teknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezi



## 1. GİRİŞ

Madenlerin uç ürüne dönüştürülmesinden sonra, madenlerde ve fabrikalarda oluşan artık ve atıklarının arıtılması işlemlerinde 0.02 mm den küçük taneli ortamlarda “Elektro-Osmoz” yöntemi geliştirilerek uygulanmaktadır (Bjerrum ve ark. 1967, Powers 1981, Casagrande 1983, Milligan 1995, Burnotte 2004, Yoshid ve ark. 2007, Asadi 2013). “Elektro-Osmoz” ya da “Elektrokinetik” teknolojisi olarak isimlendirilen bu teknik ilk olarak 1930'larda Dr. Leo Casagrande tarafından uygulanmış ve yere doğru akım iletildiğinde zeminde bulunan suyun anottan katoda doğru ilerlediğini belirlemiş ve kazı yüzeyine doğru olan akışı bu teknik sayesinde kazı içine doğru yönlendirmiştir. Elektro-osmoz yöntemi jeoteknik uygulamaların dışında ziraat, çevre, ilaç gibi pek çok sektörde başarılı şekilde uygulanmaktadır (Hansen ve ark. 2003, Bayat 2005, Url-1).

Bu tez çalışmasında, laboratuvar ortamında bazı maden tesis atıklarının elektro-osmoz yöntemi kullanılarak susuzlaştırılması araştırılmıştır. Maden tesislerinin en önemli problemlerinden biri olan atıkların yönetmeliklerde belirtilen kurallara uyularak depolanması zorunluluğu bulunmaktadır. Hâlihazırda maden atıkları geleneksel yöntemle susuzlaştırılrsa dahi nem oranı veya su içeriği bazı maden atıkları için % 30 seviyesinin altına düşürülemez. Özellikle killi atıkların bünyesinden su uzaklaştırılmamaktadır. Bu amaç doğrultusunda yeni bir yöntemin uygulanabilirliği deneylerle araştırılmıştır. İncelemesi yapılan çoğu çalışma tek bir atık üzerine iken, bu tez çalışması kapsamında farklı atıkların elektro-osmoz yöntemi ile susuzlaştırılması araştırılmıştır.

### 1.1 Problemin Tanımı

Ülkemizde gerek maden işletmelerinde gerekse fabrikalarda uç ürüne dönüştürülen bazı maden artıklarında ya da stok alanlarındaki yığınlarda geleneksel yöntemlerle malzemelerden suyun tamamı atılamamaktadır. Bu yüzden atık malzemesinin daha fazla kurutulması veya su muhtevasının düşürülmesi için elektro-osmoz yöntemi ile susuzlandırma konusunda da çalışmalar yürütülmektedir. Bu tez çalışmasında ise laboratuvar ortamında farklı maden atıklarının elektro-osmoz yöntemi ile susuzlandırılması konusunda araştırmalar yapılmış ve elde edilen sonuçlar yorumlanmıştır.

### 1.2 Tez Konusu ve Kapsamı

Bu tezin amacı, laboratuvar ortamında bazı maden tesis atıklarının elektro-osmoz yöntemi kullanılarak susuzlaştırılmasını araştırmaktır. Bu amaç doğrultusunda uygun boyutlar dâhilinde cam malzemedeki elektro-osmoz deney düzeneği oluşturulmuş ve farklı madenlerin cevher zenginleştirme tesisi atıklarından numuneler alınmış ve analizleri yapılmıştır. Daha sonra anot ve katot etkisi ile su bünyesinde bulunan iyonlar harekete geçirilerek, suyun anottan katoda doğru yönelmesi sağlanmış ve numunelere ayarlanabilen güç kaynağından farklı voltajlar verilmek sureti ile drenaj kuyusu olarak kullanılacak

bakırdan imal edilmiş perfore boruda biriken su miktarı periyodik olarak ölçüldükten sonra elde edilen zamana bağlı değişim grafiği ve tabloları değerlendirilmiştir.

Tez çalışması için geniş bir literatür taraması yapıldıktan sonra mevcut su uzaklaştırma yöntemleri derlenerek elektro-osmoz yöntemi hakkında detaylı bilgiler ikinci bölümde verilmiştir. Literatür incelemeleri sonucunda elde edilen bilgiler dâhilinde hazırlanan deney düzeneği ile ayarlanabilir güç kaynağından verilen voltaj ile akım, direnç, amper, iletkenlik, güç, sıcaklık gibi parametrelerin farklı madenlerdeki değişimleri denenmiştir. Deney sürecinde farklı yapılandırmalar sonucu elde edilen veriler, bulgular ile tartışmalar tablo ve grafiklerle sunularak, tezin sonraki bölümlerinde yorumlanmış ve karşılaştırılmıştır.

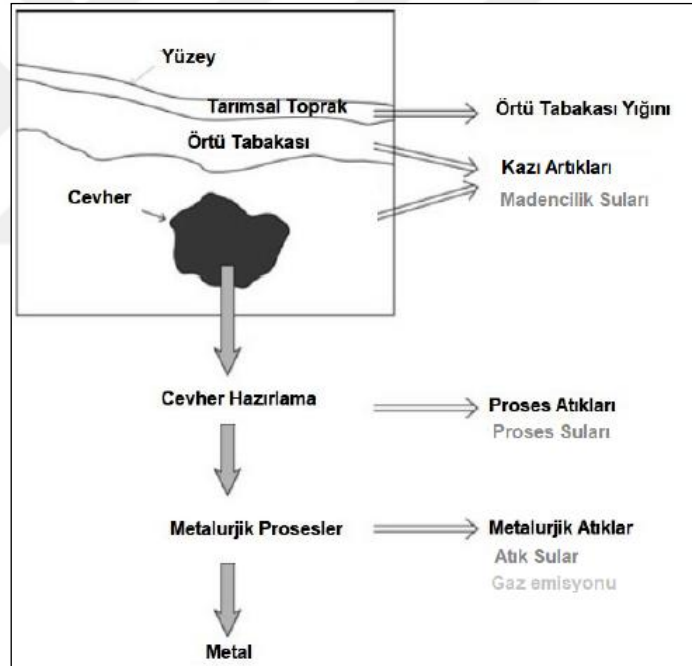


## 2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Bu bölümde, tez çalışması kapsamında gerçekleştirilen deneylerde kullanılan maden atık ve artıklarının içeriği ile ilgili bilgilere yer verilmiştir. Atık genel anlamda, ihtiyaç duyulmayan ve uzaklaştırılan ya da mevzuat hükümlerine göre atılmak zorunda olunan her türlü madde olarak ifade edilirken, maden atığı; madenlerin aranması, çıkarılması ve zenginleştirilmesi sonucu oluşan atıklar olarak tanımlanmaktadır. Artık (pasa) ise cevherleşme ihtiva etmeyen veya mevcut ekonomik ve teknik şartlara göre zenginleştirilmesi mümkün olmayan, ancak işletme gereği üretilmesi zorunlu olan ve kazı işlemi dışında herhangi bir işleme tabi tutulmamış madde veya malzemeyi tanımlar (Url-2).

### 2.1. Madencilikte Ortaya Çıkan Katı ve Sıvı Atıklar

Madencilik, cevher hazırlama ve metalurjik prosesler sonucu katı, sıvı ve gaz atıklar ortaya çıkar. Dolayısıyla maden atıkları kazı artıkları, proses atıkları, metalurjik atıklar ve maden suları olarak sınıflandırılabilir (Şekil 2.1). Birçok maden atıkları özellikle metalik maden endüstrisinden ortaya çıkan atıklar çeşitli konsantrasyonlarda metal içermektedir. Metalik cevherler çeşitli kimyasal bileşiklerde oksitli veya sülfürlü metaller içermektedir.



Şekil 2.1: Madencilik her kademesinde oluşan atıklar (Yenial, 2018).

#### 2.1.1. Katı Atıklar

Katı atıklar iri ve ince taneli atıklar olarak iki grup altında toplanabilir. İri atıklar birkaç mm'den daha iri boyuttaki atıklardır. Cevher üretimi için yapılan örtü kaldırma, kazı atıkları, eleme, iri boyutta uygulanan fiziksel zenginleştirme işlemi ortaya çıkan atıklardır. Bu atıklar genellikle yığın olarak depolanır ancak yağmur ve atmosferik koşullarda özellikle sülfür içeriyorsa, çevreye zarar verebilecek kimyasal tepkimelere yol açabilir. Dolayısıyla katı atıklarla yığın oluşturulurken özel önlem alınması gerekebilir. İnce atıklar ise 1-2 mm altında

olup, 2-0.02 mm arası kum, 0.02-0.005 mm arası silt, 0.005 mm altı ise şlam olarak isimlendirilmektedir (Yıldız, 2008).

Geleneksel olarak, maden ve cevher hazırlama atıklarının mümkün olduğunca en ekonomik ve en hızlı şekilde uzaklaştırılması istenmektedir. İdeal olanı da bu atıkların kazı alanına geri gönderilmesi ve bozulan alanın yeniden onarılmasıdır. Fakat bu özellikle maden halen aktif durumda ise her zaman mümkün olmayabilir.

Maden atıkları, cevher yatağından değerli minerallerin kazanılmasına kadar süren aşamalarda ortaya çıkan toprak ve kaya örtüsü içeren kazı atıkları, cevher hazırlama-proses atıkları, metalurjik işlemlerden geçmiş atıklar, şlamlar, kalıntı atıklar gibi malzemeleri içerir.

### **2.1.2. Kazı artıkları**

Kazı artıkları, maden endüstrisinde hacimce en fazla atık oluşturan artıklardandır. Değerli cevhere ulaşmak için yüksek miktarda kayaç kazılır ve başka bir yere nakledilir ve depolanır. Oluşan artık kayaçların miktarı her madene göre değişmekte, rezervin geometrik şekli, madenin kapasitesi, maden planlaması ve cevherin çıkarılma yöntemi artık miktarını etkilemektedir.

Genellikle açık işletme madenciliği yer altı madenciliğine göre daha fazla artık oluşturmaktadır. Bu artıklar genellikle iri boyutlu parçalardan oluşmakta ve boyutlar da değişkenlik göstermektedir (Lu, &Cai 2012).

### **2.1.3. Proses atıkları**

Proses atıkları (tailings) diğer bir deyişle zenginleştirme atıkları ise değerli minerali cevherden ayırmak için kullanılan fiziksel ve kimyasal zenginleştirme prosesleri sonucu oluşur. Ayrıca bakır, altın, gümüş (düşük içerikli cevherler) gibi değerli metallerin liçinden kalan atıklar, asit veya siyanür ile liç edildikten sonra kalan da bu grup içindedir. Taş ocağı atıkları taş ocağında kum ve çakıl gibi istenmeyen malzemeyi içerirler. Patlatma, kazma, kırma ve boyutlandırma işlemleri sonucu meydana gelirler.

Konsantratör atıkları metalik veya metal olmayan cevherlerin zenginleştirilmesinde ortaya çıkan genellikle ince boyutlu atıklardan oluşur. Bu boyut küçültme ve zenginleştirme yöntemine bağlıdır. Genellikle daha ince boyutlu olanlar şlam halinde havuzlarda çöktürülür.

### **2.1.4. Metalurjik atıklar**

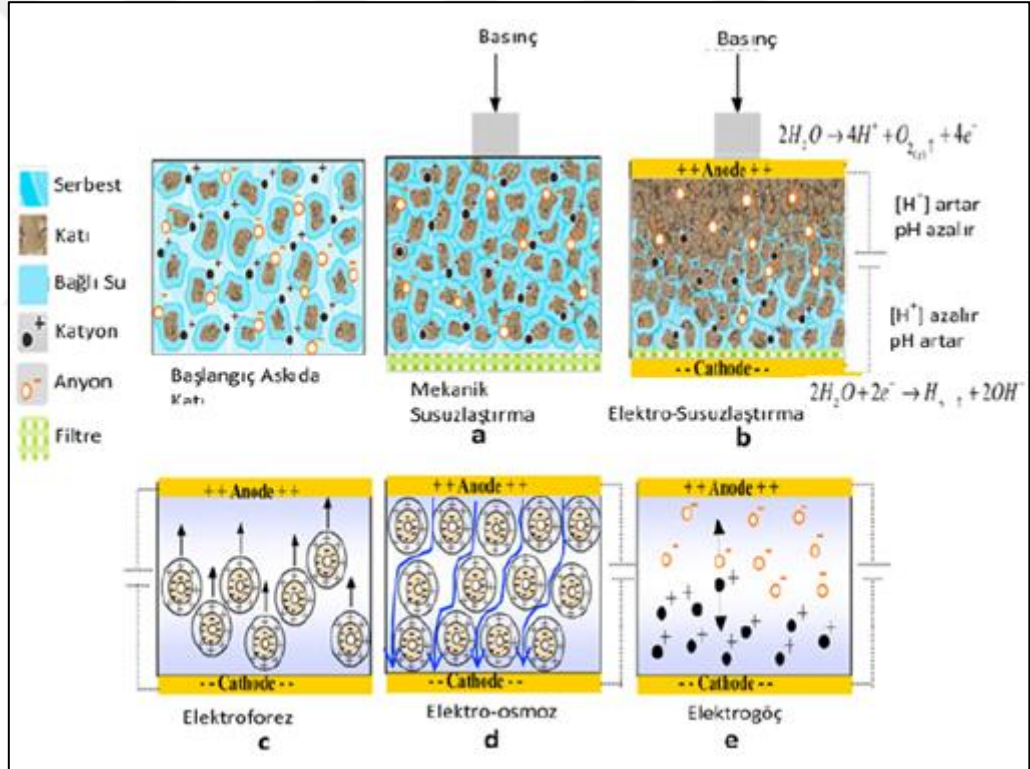
Metalik ve endüstriyel konsantrelerin ekstraktif metalurji yöntemleri ile ürüne dönüştürülmesinde ortaya çeşitli atıklar çıkmaktadır. Ekstraktif metalurji büyük oranda hidrometalurji (Au, U, Al, Cu, Zn, Ni, P), pirometalurji (Cu, Zn, Ni, Pb, Sn, Fe) ve daha az oranda elektrometalurjiye (Al, Zn) dayanmaktadır. Metalurjik atıklar, konsantrelerin çözüldürme veya ergitme sonucunda elde edilen, yeniden prosese girmesi açısından fakir ürünleridir. Birçok altın, uranyum ve fosfat madenlerinde hidrometalurjik çözüldürme uygulanır ve proses alanında atıkları biriktirilir. Metalik cevherlerin ergitme ve sinterlenmesi

sonucu yan ürün olarak ortaya çıkan ergimiş malzemelerdir. Özellikle demir-çelik, bakır, nikel, çinko, kurşun ve fosfat üretiminden ortaya çıkan atıklardır.

Birçok tarihi madende cevher veya konsantreler, ergitme veya kavurma uygulanarak sülfürü giderilmiş ve daha saf satılabilir ürünler elde edilmiştir. Ama sonuç olarak kavrulmuş cevher veya cüruf, kül ürünleri bu tarihi maden bölgelerinde bulunmaktadır (Lottermoser, 2010).

## 2.2. Elektro-kinetik Olaylar

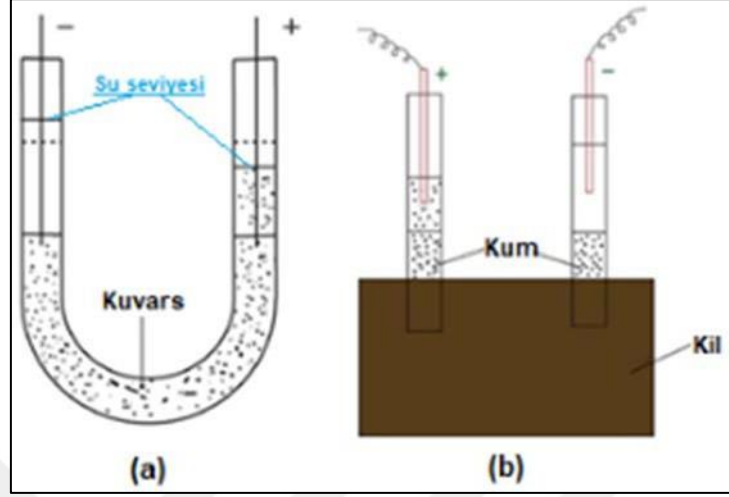
Elektro-susuzlaştırma, bir elektro-ozmotik olaya sebep olmak için, düşük doğru akım (DC) elektrik alanının çamur parçası boyunca uygulandığı bir prosestir. Elektro-osmotik akış, çamurdan ekstra su giderimini artırarak nihai çamur kekinin katı madde içeriğinde bir artışa sebep olur. Şekil 2.2'de görüldüğü gibi elektrik alan uygulandığı zaman sadece elektro-osmoz değil, aynı zamanda elektrotlarda elektroforez, elektro-göç ve elektro-kimyasal reaksiyonlar meydana gelmektedir. Bu elektrokinetik prosesler direkt veya indirekt olarak çamurun elektro-susuzlaştırmasını etkiler (Tuan, 2011).



**Şekil 2.2** Mekanik susuzlaştırma ve elektro-susuzlaştırmanın şematik gösterimi (Yenial, 2018).

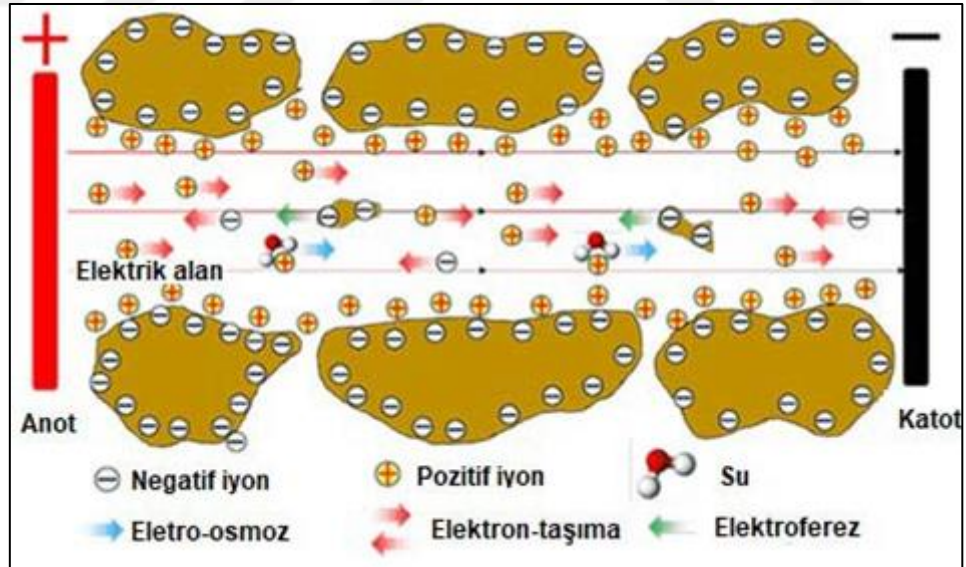
Rus araştırmacı Reuss (1809), bir su akışının bir kılcaldan harici bir elektrik alanı tarafından başlatılabileceğini keşfeden ilk kişidir (Mitchell 1993). Araştırmacı, alt kesiminde kuvars tozu ve doğru akım iletmek için kullanılan platin teller bulunan bir U-tüpü kullanarak yaptığı deneyde (Şekil 2.3a), suyun kapiler zondan ilerleyerek sol tüpte katot bölgesi yönünde 2.5 cm yükseldiğini sağ tüpte aynı miktarda azaldığını gözlemlemiş ve bu olay elektro-osmoz olarak adlandırılmıştır. Şekil 2.3b' de, Reuss kile iki cam tüp yerleştirerek bu iki tüpün altına

bir kum tabakası koymuş ve sonra tüpleri suyla doldurmuş. Elektrotları suya koyduktan ve bir an için doğru akım uyguladıktan sonra, sol borudaki kil yüzeyinin yükseldiğini ve aynı zamanda çok sayıda kil parçacıklarının suya geçtiğini gözlemlemiştir. Dağılmış kil parçacıklarının elektrik alanı altında göç etmesi olayına da elektroforez denilmektedir.



**Şekil 2.3.** Reuss tarafından yapılan ilk elektro-osmoz(a) ve elektroforez(b) deneyinin şematik görünümü (Yuan 2015).

Ortama, doğru akım verildiğinde ortamdaki yüklü parçacıkların yüzeyine bitişik çift tabakanın hareketli kısmındaki karşı iyonlar dış kuvvetler tarafından kaymaya maruz kaldıklarında bir kaç elektro-kinetik olaylar ortaya çıkabilir. Elektrokinetik olaylarda meydana gelen ana olayların özeti Şekil 2.4 'de gösterilmiştir.

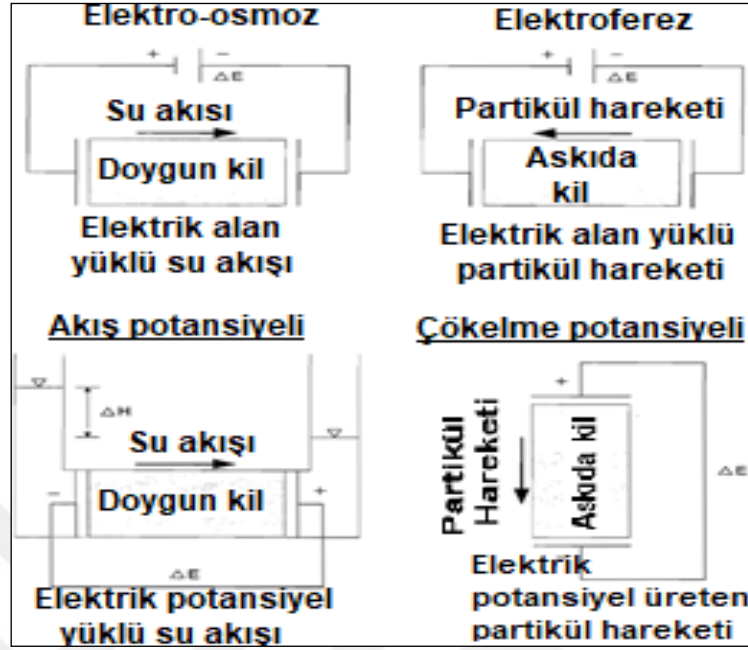


**Şekil 2.4** Elektrokinetik mekanizmalar: Elektro-osmoz, elektromigrasyon ve elektroforez (Url-3)

Elektrokinetik olaylar iki ana gruba ayrılabilir. Birinci grup; Elektro-osmoz ve elektroforez aynı anda meydana gelir ve elektro-kinetik olayların birinci grubunu oluşturur. İkinci grup, sıvı veya katı fazın hidrolik veya yerçekimi kuvveti etkisi altında diğerine göre hareket ettiği



ve böylece bir elektrik potansiyelini indüklediği akış potansiyeli ve göçme veya tortulaşma potansiyelinden oluşur. Bu dört elektrokinetik olay Şekil 2.5'de gösterilmiştir (Lee 2000).



**Şekil 2.5** Doğru akım verilen zeminde gelişen elektro-kinetik olaylar (Lee 2000, Mitchel 1993'den).

Doğru akım gözenekli ince taneli bir ortamdan geçirildiğinde yukarıda bahsedilen dört olaydan başka bazı etkilerde ortaya çıkabilmektedir. Bunlar: elektroliz, hidroliz, iyon difüzyonu ve değişimi, oksidasyon, indirgeme, gaz oluşumu, pH değişimi, fiziksel ve kimyasal adsorbsiyon, mineral ayrışması, ısınma/kurutma, çökeltme ve doku değişimleri gibi olaylar görülebilmektedir (Mitchel 1993).

### 2.2.1 Elektro-osmoz Yöntemi

Çamur bertarafında vakum filtrasyon, belt fitre ve santrifüj gibi mekanik ve termal teknolojiler oldukça sık kullanılmaktadır (Spinosa et al., 2001, Tchobanoglous, 2003, Gray, 2005). Özellikle de yanma öncesi çamurların katı içeriğinin %30-35 oranlarına getirilmelidir. Ayrıca bu işlemler çamurun deponi alanlarına gönderildiği durumlarda da önemlidir. Bu durumda çamur hacmi dolayısıyla su içeriği, taşıma maliyetini ve depolama alanını azaltacak seviyeye indirilmelidir. Ancak çamur susuzlaştırmada kullanılan vakum filtrasyon, belt fitre ve santrifüj gibi klasik mekanik teknikleri yalnızca çamur içindeki serbest suyu uzaklaştırabilirler (Spinosa et al., 2001, Tchobanoglous et al., 2003, Gray, 2005). Elektrosmotik prensibine dayalı elektro-susuzlaştırma ise serbest, flok suyun uzaklaştırılmasında oldukça etkili olmaktadır (Pham et al., 2012, Jiayang et al., 2012). Tamamen kuru çamura ancak termal işlemlerle ulaşılabilir. Klasik susuzlaştırma sistemlerinin en önemli dezavantajı, susuzlaştırma veriminin çamurun por çapıyla (hidrolik geçirgenliği)

ile orantılıdır. Özellikle filtre yüzeyine yakın yakın yerlerde porozite zamanla azalır ve susuzlaştırma verimi düşer. Bu yüzden düşük hidrolik geçirimsiliğe sahip çamurlar için sorun teşkil etmektedir.

Elektro-susuzlaştırma çamurun su verme özelliğini geliştirmek için son yıllarda kullanılmaya başlanmış bir tekniktir (Pham-Anh et al., 2012, Yoshida, 1993). Düşük voltaj doğru akımın elektrotlar vasıtasıyla çamura uygulanması ile meydana gelir. Tüm yüklü iyonlar elektriksel olarak hareket ederler. Böylelikle çamur içindeki su uzaklaşır ve daha katı bir çamur keki meydana gelir. Elektriksel alan uygulanması çeşitli elektrokimyasal olaylar meydana gelir.

Daneli zeminlerde hidrolik akış Darcy (1856) tarafından aşağıdaki şekilde ifade edilmiştir [1]:

$$q_h = k_h \cdot i_h \cdot A \quad [1]$$

$q_h$ : hidrolik akış ( $\text{cm}^3/\text{s}$ )

$k_h$ : hidrolik iletkenlik-permeabilite katsayısı ( $\text{cm/s}$ )  $i_h$ : hidrolik gradyan (eğim)

$A$ : kesit alanı ( $\text{cm}^2$ )

Killi ince taneli zeminler için  $k_h=0$  olduğunda en yaygın kullanılan elektro-ozmotik akış denklemi Casagrande (1949) tarafından önerilmektedir [2]:

$$q_e = k_e \cdot i_e \cdot A \quad [2]$$

$q_e$ : akış, ( $\text{cm}^3/\text{s}$ )

$k_e$ : elektro-ozmotik iletkenlik katsayısı, ( $\text{cm/s V.cm}^{-1}$ )  $i_e$ : hidrolik gradyan, ( $\Delta E/\Delta L$ )

$A$ : kesit alanı ( $\text{cm}^2$ )

Elektro-ozmotik iletkenlik,  $k_e$  tane boyutundan bağımsız olup ortamın zeta potansiyeli ve boşluk oranı ile doğrudan ilişkilidir ve aşağıdaki gibi ifade edilmektedir [3]:

$$k_e = (D \zeta / \eta) \cdot n \quad [3]$$

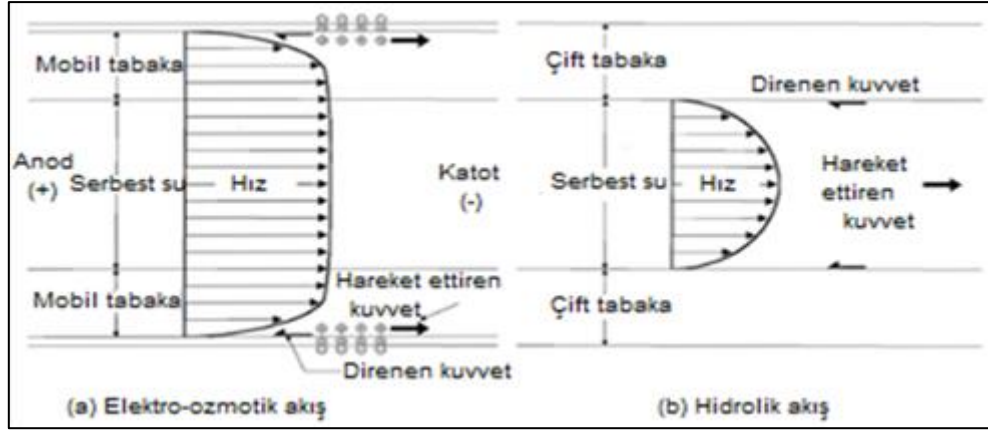
$D$ : boşluk suyunun dielektrik sabiti

$\zeta$ : Zeta Potansiyeli

$\eta$  : akışkanın viskozitesi

$n$ : boşluk oranı

Hidrolik iletkenlik ve akış ortamdaki tane boyutu ve dağılımı ile doğrudan ilişkili olurken, elektro-ozmotik iletkenlik ve akış ise tane boyutundan bağımsız olup ortamın porozite ve elektro-ozmotik potansiyeli ile ilişkilidir. Şekil 2.6' da hidrolik akış ile elektro-ozmotik akış arasındaki farklı durum şematik olarak görülmektedir.

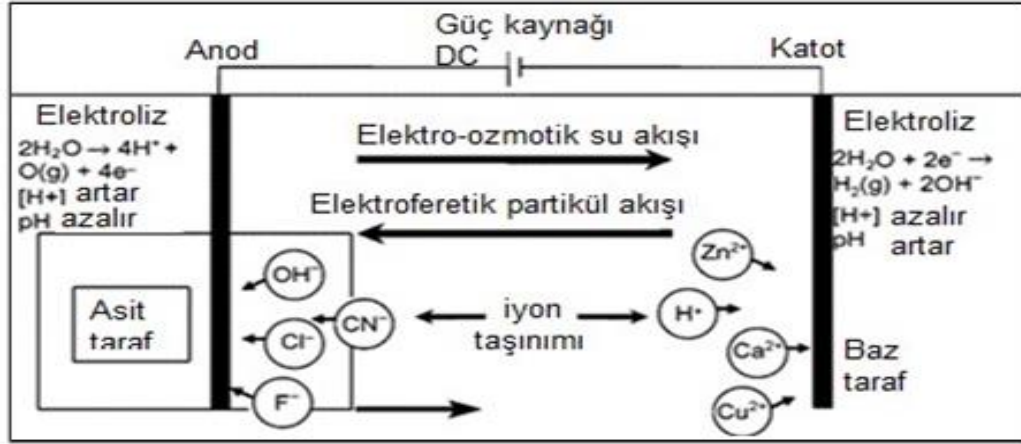


**Şekil 2.6** Elektro-ozmotik akış (a) ve Hidrolik akış (b) karşılaştırması şematik gösterimi (Casagrande 1952).

### 2.2.2. Elektroforez Yöntemi

Elektroforez, elektrik alan altında durgun sıvıda yüklü parçacıkların hareketidir. Elektroforez ve elektro-osmoz ilk olarak Prof. Ferdinand Friedrich Reuss tarafından 1809 yılında tarafından gözlemlenmiştir. Hayli dağıtılmış bir bölgede askıda malzeme içeren çözeltilerde bulunan askıdaki parçacıklar, elektrik alanın etkisi altında elektrotlardan birinin yönünde yer değiştirmeye başlamışlardır (Tuan, 2011). Prof. Reuss, çok dağınık durumda askıda metaryel içeren solüsyonlarda, bu partiküllerin elektrik alan etkisi altında elektrotlardan birinin yönünde yerdeğiştirmeye başladığını bulmuştur. Gelişmiş su giderimi üzerine elektroforezin etkisi Barton ve arkadaşları tarafından tanımlanmıştır (Barton et al., 1999). Elektro-osmozun başlangıç aşaması süresince, çamur partikülleri akışkan süspansiyon içinde hala serbest halde bulunmaktadır. Parçacıkların negatif yükünden dolayı, anota doğru göçetme ve yerleşme eğilimi gösterirler. Böylece alt filtre ortamında kek oluşumunu geciktirirler ve dolayısıyla su akışının artmasına neden olurlar. Çamur segmentinde KM içeriği arttıkça, çamur partikülleri, birbirlerine kenetlenmiş pozisyonda olacağından dolayı hareket ettirilemez ve elektro-osmoz, suyun anottan katota doğru taşınmasında önemli rol oynar.

Elektroforezde uygulanan elektriksel potansiyel farkı, askıya alınmış koloidal partiküllerin bir akışkan ortamda hareketini uyarır. Ortamda bulunan  $Na^{++}$ ,  $Ca^{++}$ ,  $Cr^{+++}$  gibi pozitif yüklü partiküller veya katyonlar katoda,  $Cl^{-}$ ,  $F^{-}$ ,  $SO_4^{-}$ ,  $CN^{-}$  gibi negatif yüklü partiküller veya anyonlar anota doğru elektrostatik olarak çekilir veya itilirler (Şekil 2.7). Tek bir kil parçası üzerindeki elektroferetik kuvvet, partikülün zeta potansiyeli bilinerek kantitatif olarak hesaplanabilir (Lee 2000). Elektroferetik hareketlilik genellikle  $1 \times 10^{-4}$  ila  $3 \times 10^{-4}$   $cm^2/V.sn$  aralığındadır (Van Olphen, 1977).



Şekil 2.7 Temel elektro-kinetik süreçler (Nicholson 2015).

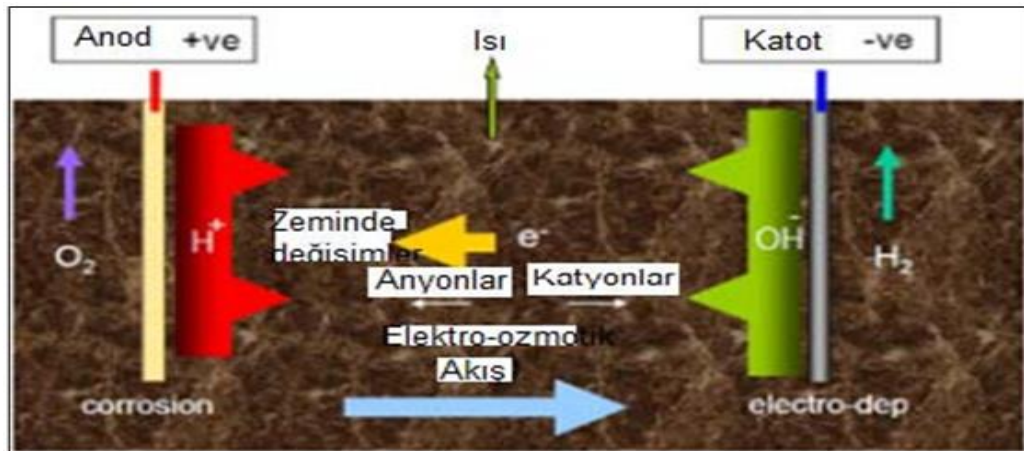
### 2.2.3. Elektrogöç

Elektrogöç, kendi iyonik hareketliliğine bağlı olarak her bir iyon türünün hareket ettiği çözeltilerdeki iyonların taşınmasıdır. Uygulanan elektrik alan altında anyonlar genellikle negatif yüklü katotdan pozitif yüklü anoda hareket ederler, katyonlar da pozitif yüklü anottan negatif yüklü katota hareket ederler (Tuan, 2011). Elektrogöç, elektrokinetik iyileştirme için özellikle metal kirlenmelerin uzaklaştırılması için çok önemlidir. Elektro-osmoz boyunca, elektrogöç meydana gelebilir (Tuan et al., 2010, Tuan et al., 2008).

**Suyun elektrolizi:** Uygulanan elektrik alanla orantılı olarak pozitif elektrot olan anot tarafında hidrojen iyonu [H+] konsantrasyonu artarak oksijen gazı açığa çıkar ve pH düşerek asidik bir yüzey oluşurken, negatif elektrot olan katot tarafında ise hidrojen iyonu [H+] konsantrasyonu azalırken OH<sup>-</sup> iyonu artmakta, ortamdan hidrojen gazı çıkar ve pH yükselmeye başlayarak bazik bir yüzey oluşmaktadır (Şekil 2.8). Elektrotlarda meydana gelen elektroliz işlevinin basitleştirilmiş mekanizması şu şekilde olmaktadır:

Pozitif elektrot (Anot) :  $2H_2O - 4e^- \rightarrow O_2\uparrow + 4H^+$  (oksidasyon) pH↓

Negatif elektrot (Katot) :  $4H_2O + 4e^- \rightarrow 2H_2\uparrow + 4OH^-$  (oksidasyon) pH↑



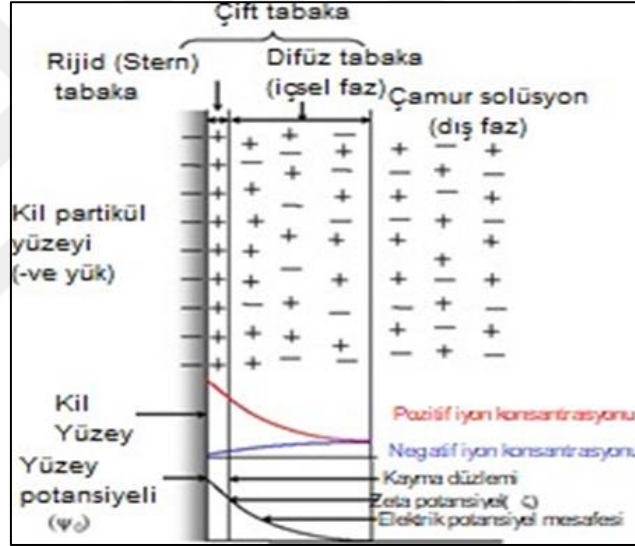
Şekil 2.8 Elektro-kinetik olaylarında iyon göçü (Url-4).

Uygulanan elektriksel potansiyel farkı, yüklü bir parçacık matrisinde akışkan akışını sağlar. Ortamdaki pozitif yüklü katyonlar negatif yüklü kil yüzeyine doğru hareket ederler ve yine bu pozitif yüklü katyonlar kil yüzeyinde adsorbe olmuş su molekülünün negatif dipollerini kendilerine çekerek negatif katot borusu veya kuyusuna doğru beraberinde sürükleyerek bir akış oluşur.

**Kimyasal reaksiyonlar:** Elektro-ozmoz işlemi ile bağlantılı elektro-kimyasal reaksiyonlar ortamın fiziksel ve kimyasal özelliklerini değiştirir ve daha fazla pekişmeye/konsolidasyona yol açar.

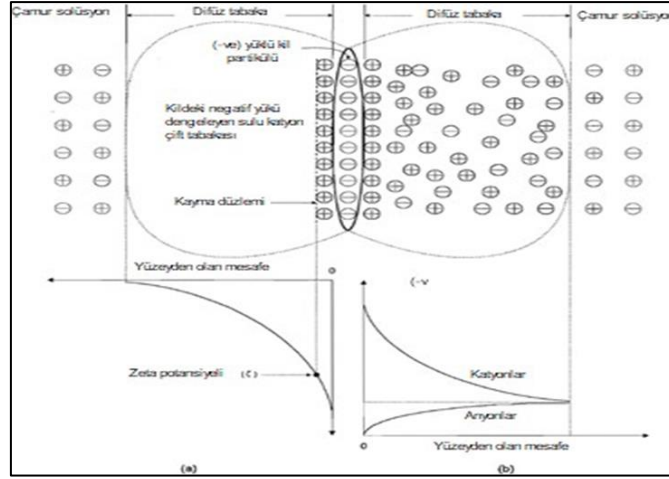
**Elektrik çift katman:**

Gözenek boşluklarındaki su, negatif ve pozitif yüklerin bir karışımını içerir ve etrafını çevreleyen su molekülleri ile birlikte, katıların negatif yüklü yüzeyine doğru çekilir. Burada su, bir iç hareketsiz bölgeye (stern tabakası) ve bir dış hareketli bölgeye sahip bir sınır tabakası oluşturur. Bu katmanlar arasındaki bağlantıdaki potansiyel, zeta potansiyeli olarak bilinir (Şekil 2.9).



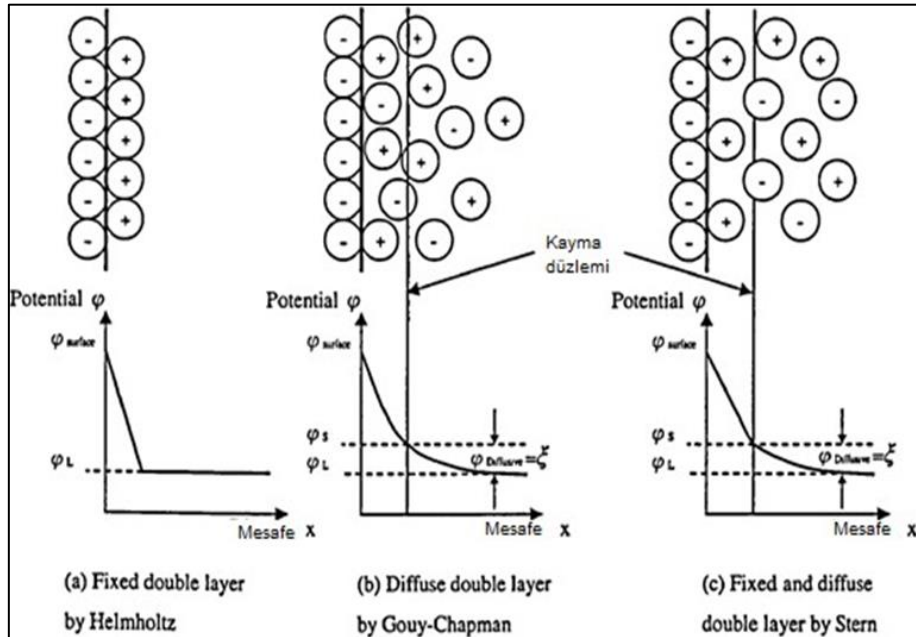
**Şekil 2.9** Katı/su arayüzeyindeki çift tabaka yapısının kavramsal görünümü (Jones ve diğ. 2011).

Kil partikülleri genellikle yüzlerinde negatif yükler ve kenarlarında pozitif yükler olarak dağıtılmış net negatif yük taşır. Böylece, ters yük iyonları, Şekil 2.10'da gösterildiği gibi elektriksel nötrülüğü korumak için negatif yüklü kil yüzeyleri tarafından elektrostatik olarak tutulur. Kil partiküllerinin yüzeylerine bitişik iyonların dağılımı ve yüzeydeki negatif yükler ile karşı iyonlar arasındaki etkileşimin neden olduğu elektriksel potansiyel dağılımı için değişik teorik yaklaşımlar bulunmaktadır.



**Şekil 2.10** Elektrik çift tabaka: (a) Elektrik potansiyelinin yüklü bir yüzeye olan mesafesiyle değişimi; (b) kil yüzeyine bitişik iyonların dağılımı (Lee 2000, Tan, 1993, Mitchell 1993 ve Rowe ve diğ. 1995'den).

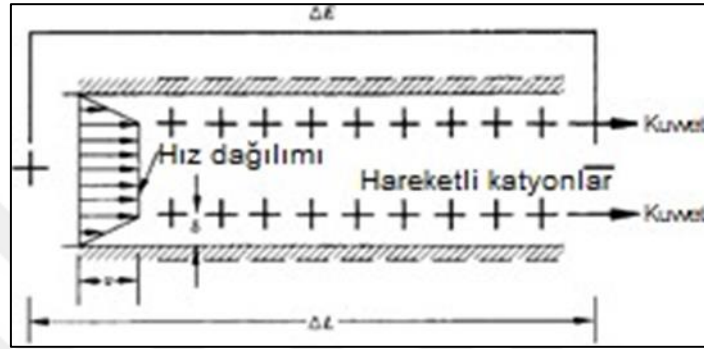
Elektro-osmozun açıklanması için Helmholtz-Smoluchowski teorisi, Schmid teorisi, Spiegler sürtünme modeli, Buckingham  $\pi$  teorisi ve iyon hidrasyon teorisi gibi birkaç teori vardır (Şekil 2.11). Bunlardan en yaygın olan Helmholtz-Smoluchowski teorisi olan çift katmanlı model ilk kez 1850'lerde Helmholtz (1879) tarafından öne sürüldü. Helmholtz modelinde, negatif yük potansiyeli, yüzey yükünü dengeleyen katyonlara yüzeyden doğrusal olarak yayılır (Helmholtz, 1879). Yaygın çift tabakanın kalınlığı, yüklü koloidal parçacıklar arasındaki etkileşimin derecesinin belirlenmesinde önemli bir parametredir ve çözeltideki iyonların konsantrasyonuna bağlıdır. Konsantre çözeltilerde, dağıntık çift tabakanın kalınlığı (<1nm) 'den küçüktür, çok seyreltilmiş çözeltilerde ise dağıntık, çift tabakalı daha büyük bir değer alabilir (~102 - 103 nm) (Vijh, 1999).



**Şekil 2.11** Çift tabaka modelleri (Mok 2006, Weber&Stahl 2002 'den sonra).

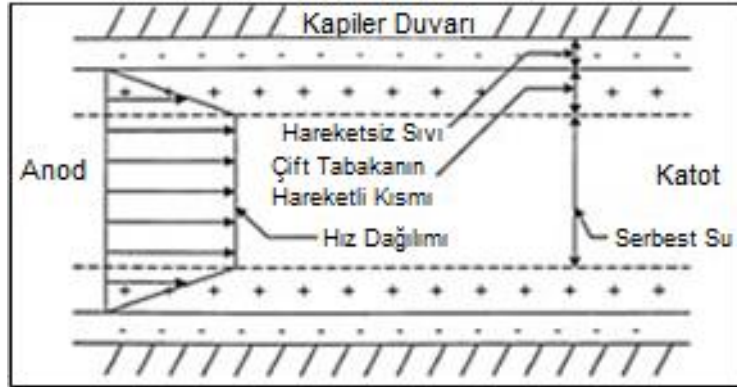
### **Helmholtz-Smoluchowski teorisi:**

Helmholtz (1879) tarafından tanıtılan ve Smoluchowski (1914) tarafından geliştirilen bir modele dayanan bu teori, elektro-osmoz süreçleri tanımlamak için kullanılan en eski ve en yaygın teorilerden biridir. Sıvı dolgulı bir kılcal, duvar yüzeyi üzerinde veya yakınında bir işaret yükü ve sıvı içinde bir kat içinde konsantre edilmiş karşı yükler, Şekil 2.12'de gösterildiği gibi, partikül duvardan biraz uzakta olan, duvarın üzerinde bir mesafede bulunan bir elektriksel kondansatör olarak muamele edilir. Tapa akışıyla suyun kılcal damar boyunca sürüklendiği kabul edilir ve şekil 2.13'de de gösterildiği gibi kondanserin iki plakası arasında yüksek hızlı bir gradyan vardır.



**Şekil 2.12** Elektro-kinetik olaya için Helmholtz-Smoluchowski modeli (Mitchel 1993)

Helmholtz-Smoluchowski teorisi, gözenek yarıçaplarının dağılık çift tabakanın kalınlığı ile karşılaştırıldığında nispeten büyük olduğunu ve hareketli iyonların toprak-su ara yüzeyinin yakınında yoğunlaştığını varsaymaktadır (Şekil 2.13).



**Şekil 2.13** Sıvı hız akış vektörleri ve çift tabakada hareketsiz sıvı ve hareketli sıvı şematik gösterimi (Casagrande 1952).

Hemholtz-Smoluchowski'ye dayanarak, zeta potansiyeli ( $\zeta$ ) ve toprak yüzeyine bitişik akışkandaki yük dağılımı, elektro-ozmotik akışın belirlenmesinde önemli rol oynar. Zeta ( $\zeta$ ), koloidal parçacıkların hareketine cevap olarak katı-sıvı arayüzünde geliştirilen elektrik potansiyelidir; yani,  $\zeta$  elektriksel çift tabakanın sabit ve hareketli parçaları arasındaki birleşme noktasındaki elektriksel potansiyeldir. Zeta ( $\zeta$ ), partikülün yüzey potansiyelinden daha azdır ve koloidal yüzeyden bilinmeyen bir mesafede bulunan kayma düzlemindeki

değeri gösterir (Hunter, 1981 ve 1983). Helmholtz-Smoluchowski (H-S) teorisine göre sıvı dolu bir kılcal içindeki elektro-osmotik akışı ( $q_e$ ) [4] ve elektro-osmotik hız ( $v_e$ ) [5] aşağıdaki gibi ifade edilebilir:

$$q_e = \frac{E D r^2 \zeta}{4 \eta} \quad [4]$$

$$v_e = \frac{E D \zeta}{4 \pi \eta} \quad [5]$$

Bu ifadelerde;  $q_e$ : elektro-osmotik akış,  $v_e$ : akış hızı;  $E$ : elektrik alan yoğunluğu (V/m),  $D$ ; gözenek suyunun dielektrik sabiti,  $\eta$ ; akışkanın viskozitesi,  $r$ ; kılcalın yarıçapı ve  $\zeta$ ; zeta potansiyelidir.

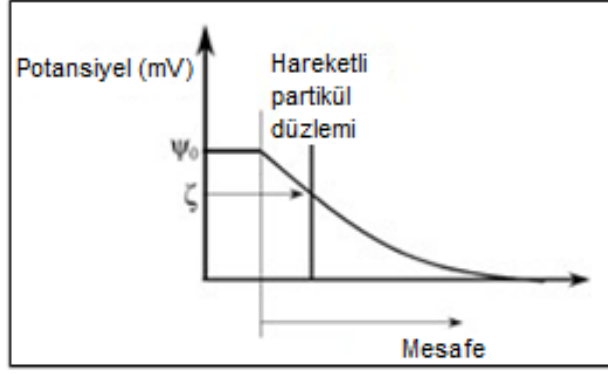
#### **Zeta ( $\zeta$ ) Potansiyeli:**

Bir parçacık uygulanan bir elektrik alanının etkisi altında bir sıvı içinde hareket ettiğinde, parçacığın etrafında bir kayma düzlemi oluşturulur. Kayma düzlemi ve yığın çözelti arasındaki elektriksel potansiyel farkına zeta potansiyeli ( $\zeta$ ) denir (Şekil 2.11 ve Şekil 2.14). Zeta potansiyeli denklem [5] den çekildiğinde aşağıdaki ifade elde edilir [6].

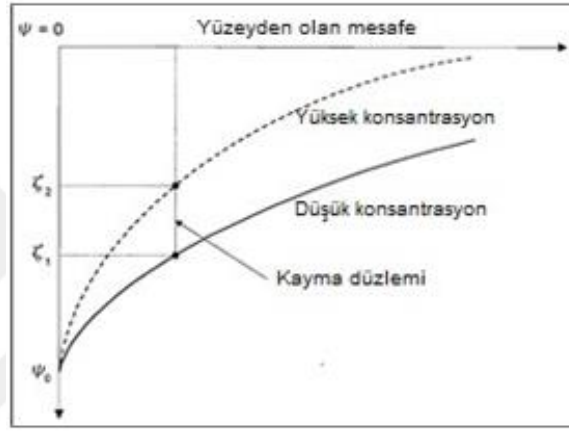
$$\zeta = \frac{v_e 4 \pi \eta}{E D} \quad [6]$$

Hidrolik iletkenlik  $k_h$ , ortamdaki gözenek ebadı ve dağılımından önemli ölçüde etkilenir, ancak Helmholtz-Smoluchowski teorisine dayanan elektro-osmotik iletkenlik  $k_e$ , ise esasen zeta ( $\zeta$ ) ve boşluk oranına ( $n$ )'ye bağlıdır. Helmholtz-Smoluchowski teorisine göre elektro-osmotik akış, zeta potansiyeli ile orantılıdır. Büyük zeta potansiyeli olan bir doymuş zemin için, su uzaklaştırma oranı daha büyük olma eğilimindedir (Chen ve diğerleri 1996). Killer için Zetanın değeri 0 ila -50mV aralığında değişir ve boşluklardaki tuzlu su derişimine bağlıdır. Bazı araştırmacılar kil minerallerinin  $\zeta$  potansiyelini farklı çözeltilerdeki değişimlerini araştırmışlar (Hamed ve diğ. 1991, West ve diğ. 1995). Sonuçlar, elektrolit konsantrasyonunun, elektrolit tipinin, iyonların dengesinin ve pH'ın önemli faktörler olduğunu ve  $\zeta$  değerlerini etkileyebileceğini göstermiştir. Şekil 2.15 iyon konsantrasyonlarındaki değişime göre zeta potansiyelinin büyüklüğündeki değişimin bir örneğini sunmaktadır. Artan iyon konsantrasyonu ile birlikte zeta potansiyelinin büyük ölçüde azalması beklenmektedir.





**Şekil 2.14.** Elektrik potansiyel dağılımı ve zeta-kayma düzlemi potansiyeli (Asadi 2013, Mitchel&Soga 2005'den uyarlanmış)



**Şekil 2.15** Tuz konsantrasyonu ile zeta potansiyeli değişimi (Lee, 2000; Tan, 1993'den).

### 2.3.2. Elektro-Osmoz Koşulları ve Uygulama Alanları

Genel olarak, elektro-osmozun etkili olabilmesi için bir ortamın veya toprağın plastik limitinin üzerinde ve doymuş olması gerekmektedir. Holtz ve diğ. (2001), etkili elektro-osmoz uygulamaları için ideal olabilecek spesifik parametrelerin özelliklerini Çizelge 2.1'de özetlemişlerdir. Elektro-osmoz yönteminin etkinliğinde diğer önemli özellik tane boyutu ve tane yüzey alanıyla ilgilidir. Elektrik yükünün büyüklüğü doğrudan toprak partikülünün yüzey alanıyla ilişkili olduğu için, kuru toprağın birim kütlesi başına yüzey alanı büyüdükçe, elektrik kuvvetlerinin toprak partikülünün davranışı üzerindeki göreceli etkisi artar. Davranışı kütle kaynaklı kuvvetlerden ziyade yüzey kaynaklı kuvvetlerle kontrol edilen partiküllerin sıfatı "kolloidal" dır. Kolloidlerin boyut aralığı 1nm ila 1µm arasındadır. 1 nm'den küçük, atomların ve moleküllerin çapına yaklaşır, 1 µm'den büyük partiküller ağırlıklı olarak kütle kuvvetlerinden etkilenir. Kolloidal davranış için alt limit olarak 25 m<sup>2</sup>/g spesifik bir yüzeyin daha düşük bir limiti de önerilmiştir (Lambe ve Whitman, 1969). Bununla birlikte, siltler ve killer arasındaki ayırım kısmen, küresel parçacıkları kabul eden Stokes Yasası kullanılarak hesaplanan laboratuvar düzenleme sürelerine dayanmaktadır. Ancak gerçek "kil" partikülleri, 20µm'ye kadar olan partikül boyutlarında bulunurken, "kil olmayan" partiküller, 1µm kadar düşük boyutlarda bulunur. Bu nedenle, bazı silt parçacıkları kolloidal

özellikler gösterir. Çizelge 2.2 'de genellikle zeminlerde karşılaşılan partikül büyüklüğü aralığı için tipik toprak partikül özelliklerini göstermektedir (Jones ve diğ. 2011).

**Çizelge 2. 1** Electro-osmozda etkili zemin parametreleri (Rittirong, A.& Shang, J. 2015)

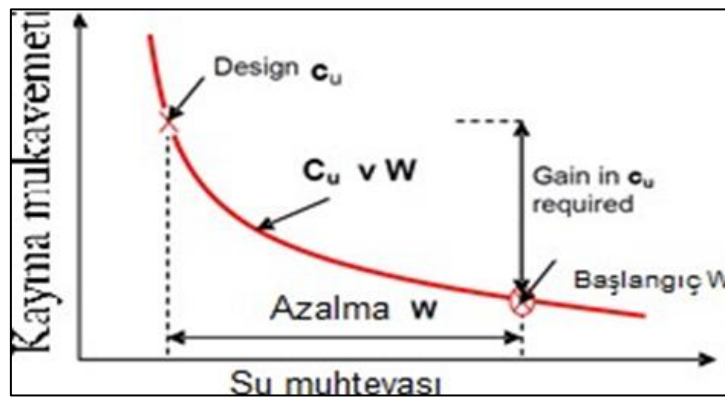
Parametreler	Birim	Değer
$k_h$ , (horiz) hidrolik iletkenlik	m/s	$10^{-10}$ - $10^{-8}$
$k_e$ , electro-osmotic permabilite	m <sup>2</sup> /sV	~ $10^{-9}$
$K$ , elektriksel iletkenlik	S/m	0.01-0.5
$E$ , elektri alan şiddeti	V/m	20-100
$c_v$ , konsolidasyon katsayısı	m <sup>2</sup> /s	0.01-1.0

**Çizelge 2. 2** Zeminlerin tane özellikleri (Jones ve diğ., 2011)

Partikül	Çap (mm)	Gram başına düşen partikül sayısı	Gram başına yüzey alanı (cm <sup>2</sup> )
Çok kaba kum	-	90	11
Kaba kum	2.00-0.02	720	23
Orta kum	-	5,700	45
İyi kum	0.20-0.02	46,000	91
Çok iyi kum	-	722,000	227
Silt	0.02-0.002	5,776,000	454
Kil	0.002 altında	90,260,853,000	8,000,000

Elektrokinetik mekanizmalarla aynı anda oluşan ve bu sistemin en önemlilerinden olan elektro- osmoz yönteminin ana amacı, ince taneli ortamların nemini düşürerek yada suyunu uzaklaştırarak, suyun akış yönünü değiştirmek, su muhtevasını azaltmak ve dolayısıyla zeminin konsolidasyonunu ve kaymaya karşı mukavemetini arttırmaktır. Bu nedenle bu yöntem daha çok geoteknik uygulamalarda zeminlerin iyileştirmesi, stabilitesinin artırılması amacıyla başlamış ve daha sonra çevresel ve maden gibi değişik kökenli atıkların arıtılmasında, tıp, ilaç ve gıda sektöründe de yaygın olarak kullanımı genişletilmiştir.

Yine aynı araştırmacılar bir çalışmada elektrokinetik yöntemle zemin su muhtevasını azaltarak zemin kayma mukavemetinin arttırdığını belirlemişlerdir (Şekil 2.16).



**Şekil 2.16** Zemin su içeriği ile kayma mukavemeti arasındaki ilişki (Jones ve diğ. 2006).

### 3. MATERYAL VE METOD

Elektro-osmoz deneyleri için termik santral atığı baca külü ile değişik cevher zenginleştirme tesislerinden alınan krom atığı, kurşun-çinko atığı, demir atığı ve doğal kaolen ile kil ara kesme malzemeleri maden mühendisliği kaya mekaniği laboratuvarına getirilmiştir. Laboratuvara getirilen bu malzemelerin genel bilgileri ve bu malzemeler için yapılan analizler bu bölümde anlatılmıştır.

#### 3.1 Deneylerde Kullanılan malzemeler

Elektro-osmoz deneylerinde kullanılacak maden atığı malzemelerinin genel bilgileri aşağıda özetlenmiştir.

##### 3.1.1 Kömür Baca Külü

Yakılmış kömür atıkları uçucu kül, taban atığı, karıştırıcı çamuru, akışkan yatakları yakma ünitesi atıklarından oluşur. Kömür kullanılan termik santrallerde taşkömürünün %10-15, linyitin ise %20-50'si kül olarak çıkmakta, bu küllerin de %75-85'i bacadan çıkan uçucu kül olarak tanımlanmaktadır. Türkiye'de yılda yaklaşık 45 milyon ton kömür yakılmakta ve 15 milyon ton uçucu kül üretilmektedir. Uçucu küller en fazla çimento sektöründe olmak üzere, madencilik için yapıldığı alanların reklamasyonunda, yol ve dolgu inşaatı yapımında, maden dolgusu olarak, tuğla, döşeme yapımında kullanılmaktadır. Bu alanların uçucu kül kullanımında yüksek potansiyeli bulunmaktadır (Singh, 2013).

Deneylerde kullanılan kömür baca külü, Kangal Termik Santrali'nden temin edilmiş olup, yakılan kömürün bacadan çıkan filtre atığıdır. Kangal uçucu külü, TS EN 197-1'e göre, reaktif kireci % 10'un üzerinde olduğu için kalkersi uçucu kül (W) sınıfına girmektedir.  $SiO_2+Al_2O_3+Fe_2O_3$  miktarı, TS 639'da  $> \% 70$  sağlamamakta; ancak ASTM C 618'e göre  $S+A+F > \% 50$  olduğu için bu kül C sınıfı (yüksek kireçli) uçucu kül kapsamına girmektedir. Kangal uçucu külü, yüksek kireçli uçucu kül ( $CaO > \% 10$ ) olduğu için serbest kireç miktarı ortalama % 7.65 olup, TS EN 450' de verilen % 1.0 sınırının üzerindedir.  $SO_3$  miktarı da ortalama % 6.95 olup, ilgili standard sınırlarının ( $> \% 3$ ) dışındadır. Kangal külü, TS EN 197-1'e göre W sınıfındaki külde % 10'un üzerinde reaktif kirece karşı en az % 25 reaktif silis gerekliliği koşulunda da uymaktadır (TÇMB, 2009).

##### 3.1.2 Krom Atığı

Türkiye krom üreticisi ülkeler arasında önemli yerini korurken, 150 yıldır yapılan üretim neticesinde doğrudan satılabilir nitelikteki yüksek tenörlü ( $> \% 35 Cr_2O_3$ ) yataklar tükenmiştir. MTA Genel Müdürlüğü verilerine göre bugün toplam 242 milyon ton dolayında olan Türkiye'nin bilinen krom kaynaklarının %83'ü %10  $Cr_2O_3$ 'den daha düşük tenörlü yataklardan gelmektedir. Düşük içerikli yataklara olan yönelim aynı zamanda eski krom zenginleştirme atıklarının yeniden değerlendirilebileceğini gözler önüne sermiştir.

Deneylerde kullanılan krom atığı Kayseri Pınarbaşı Pulpınar Krom İşletmeleri'nden temin edilmiştir. Pulpınar krom işletmeleri yıllık 525 bin ton krom cevheri üretim kapasitesine ulaşmıştır. Triyaj, jig ve konsantratör tesislerimizde düşük tenörlü krom cevherini

zenginleştirerek 120 bin ton yüksek tenörlü parça cevher ve 70.000 bin ton konsantre ürün ekonomiye kazandırılmaktadır. Krom atıkları (şlam) ise Şlam zenginleştirme tesislerinde değerlendirilmekte ve bu tesisten 75 mikron tane boyutunda, yıllık 10.000 bin ton kimya endüstrisine yönelik özel krom konsantresi üretimi hedeflenmektedir.

### **3.1.3 Kurşun-Çinko Atığı**

Deneyleerde kullanılan Kurşun çinko atığı Kayseri Yahyalı, Çadırkaya kurşun çinko işletmelerinden temin edilmiştir. Çadırkaya kurşun-çinko işletmesi, Kayseri ili Yahyalı ilçesi Çadırkaya köyünün 2km güneyinde denizden yaklaşık 1300m yükseklikte çıplak dağlık bir bölgede yer almaktadır. Cevherleşme, sahada 1500 m uzunlukta bir zon içinde görülmekte ve yer yer mostra vermektedir. Mostralar ortalama 50 - 75 m uzunlukta ve ortalama 3 m kalınlıktadır. Cevherleşmenin genel doğrultusu K 5 - 15D, eğimi 55° eğimle GD' ya dalmaktadır. Tenör aralıkları % 8–32 arasında Zn ve % 8'e kadar Pb içermekte olup ortalama tenör % 14 Zn ve % 2 Pb civarındadır. Yeraltından çıkarılan kurşun-çinko madeni işletmede kurulu tesiste zenginleştirilmekte atıklar ise havuzlarda biriktirilmektedir.

### **3.1.4 Demir Atığı:**

Deneyleerde kullanılan demir atığı, Sivas Divriği Demir İşletmesi cevher zenginleştirme tesisi havuzundan getirilmiştir. Ülkemizin en büyük rezerv ve üretimine sahip demir yatağı Divriği'de bulunmaktadır. Ana cevher minerali manyetit olan sahada 2018 yılı sonu itibarıyla %65 demir (Fe) içeriğine sahip, 8.9 milyon ton rezerv bulunmaktadır. Burada 2003 yılından günümüze kadar yaklaşık 3.4 milyon ton demir ceheri üretimi gerçekleşmiştir. Halen açık ve yer altı yöntemi ile 500 bin ton/yıl üretim yapılmaktadır. Cevher üretiminde yan kayaç veya gang olarak kireçtaşı ve granit yer almaktadır. Daha sonra cevher, cevher zenginleştirme ve peletleme tesisinde zenginleştirilmektedir (Url-5).

### **3.1.5 Kil-Ara Kesme Artığı**

Deneyleerde kullanılan Kil (Ara Kesme) artığı Sivas Kangal Kalburçayır açık ocaklarından temin edilmiştir. Kalburçayır kömür sahası Sivas iline kuş uçuşu 80km, Kangal ilçesine 18 km mesafede, güney doğuda Etyemez kuzey batıda Hamal kömür havzalarının tam ortasında Balıklı Tohma çayının doğusunda ortalama 1600m kotlarda engebesiz bir arazide yer almaktadır. Bölgede Linyitli serinin kalınlığı 25 m – 60 m arasında değişmektedir. Seri, altta silt ve killerle başlayıp, üste doğru kömür, kil-tüfit, kömür ve marn litolojisiyle yatay veya yataya yakın şekilde devam etmektedir. Alt damar (kalınlığı 3- 12 m) ve üst damar (kalınlığı 1- 15 m) olarak ayrılan kömür damarları arasında çok sayıda ince kömür damarları ile bol kil içeren tüfitler bulunmaktadır. Arakesme olarak adlandırılan bu killi birimin kalınlığı 2.26 m ile 41.3 m arasında değişmektedir.

### **3.1.6 Kaolen Malzemesi**

“Kaolen” kil hammaddeleri içinde Ca ve Na montmoryonit (bentonit) gibi tek mineralin kaolinit minerali ile karakterize olan bir hammaddedir. Kaolinitik killer içinde kaolinitin zenginleştirilerek kullanıldığı hammaddeler kökenine bakılmaksızın “kaolen” olarak diğerleri

ise kil hammaddelerine dâhil edilmektedir. Örneğin ball kilide kaolinitik bir kil olduğu halde “kaolen” olarak zenginleştirilmesi hem çok zor hem de endüstriyel olarak gereksizdir. Kil dışı mineraller, diğer killer (illit-smektit gurubu) ve organik madde içeriği ile ball kili plastikliği yüksek çok iyi bir kaolinitik bir kil hammaddesidir. Üretilen kaolenlerin parlaklığı, aşındırıcılığı, vizkositesi ve tane boyu dağılımı-maksimum tane boyu-şekli ve bunlara bağlı olarak reolojisi (su + kil davranışı) çok önemlidir. Bütün bu özellikler de kaolenin oluşum koşulları ile belirlenmekte ve üretim sonrası işlemler ile geliştirilmektedir. Deneylerde kullanılan kaolen malzemesi, Sivas Suşehri Geminbeli mevkiinden temin edilmiştir.

### **3.2. Maden Atıklarının Analizleri**

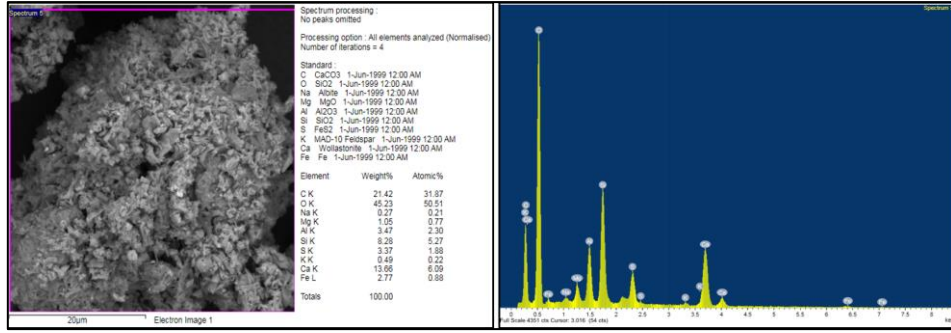
Elektro-osmoz öncesi maden atıkları için SEM, EDX ve Master Sizer analizleri Cumhuriyet Üniversitesi İleri Teknoloji Araştırma ve Uygulama Merkezi (CUTAM) laboratuvarlarında gerçekleştirilmiştir. X-RD analizleri Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi Bilim Teknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezi (BTUAM) laboratuvarlarında yaptırılmıştır. Ayrıca deneylerde kullanılan tüm malzemelerin kıvam limitleri deneyleri SCÜ İnşaat mühendisliği ve Maden mühendisliği laboratuvarlarında yapılmıştır. Analizler sonrası tüm numunelerin sistematik elektro-osmoz deneyleri SCÜ Maden Mühendisliği Kaya Mekaniği laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. Deneylerde kullanılan her bir maden atığı için yapılan analizler ve elektro-osmoz deneyleri aşağıda ayrıntılı anlatılmıştır.

#### **3.2.1 Deneylerde Kullanılan Numunelerin SEM ve EDX Analizleri**

SEM ve EDX analizinde kullanılan cihaz TESCAN MIRA3 XMU marka ve modeldir. Taramalı Elektron Mikroskopunda (SEM) görüntü, yüksek voltaj ile hızlandırılmış elektronların numune üzerine odaklanması, bu elektron demetinin numune yüzeyinde taratılması sırasında elektron ve numune atomları arasında oluşan çeşitli girişimler sonucunda meydana gelen etkilerin uygun algılayıcılarda toplanması ve sinyal güçlendiricilerinden geçirildikten sonra bir katot ışınları tüpünün ekranına aktarılmasıyla elde edilir. Deneyde kullanılan numuneler Au ile kaplanmıştır. Tez çalışmasında kullanılan deney numunelerinin SEM ve EDX analizleri sırasıyla aşağıda verilmiştir.

##### **3.2.1.1 Kömür Baca Külü Atığı SEM ve EDX Analizleri**

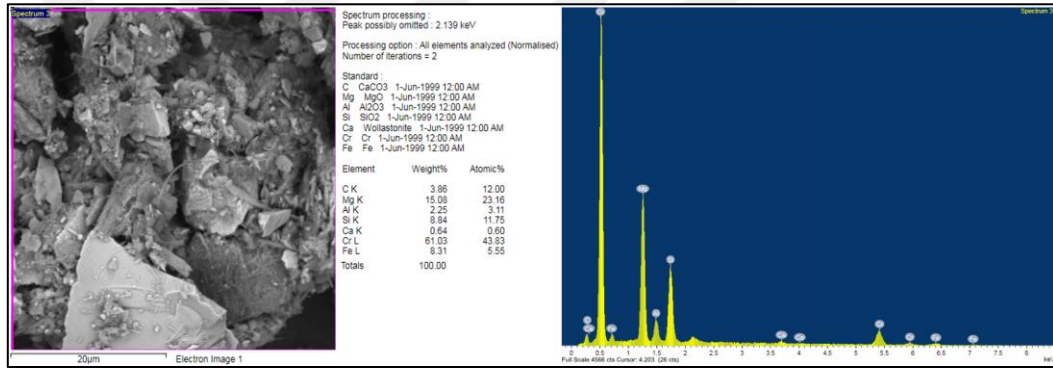
Şekil 3.1’ de kömür baca külü atığının SEM görüntüsü ve EDX analiz grafiği görülmektedir. Buna göre kömür baca külü atığı genellikle 20 µm altında dağılmaktadır. Malzemenin genellikle amorf yapılı olduğu anlaşılmaktadır. EDX analizi sonuçlarına göre kömür baca külü atığı %3,37 Si, %2,77 Fe, %13,66 Ca, %1,05 Mg, %0,27 Na, %3,47 Al, %0,49 K içermektedir.



**Şekil 3.1** Kömür baca külü atığı SEM ve EDX analiz sonuçları

### 3.2.1.2 Krom Atığı SEM ve EDX Analizleri

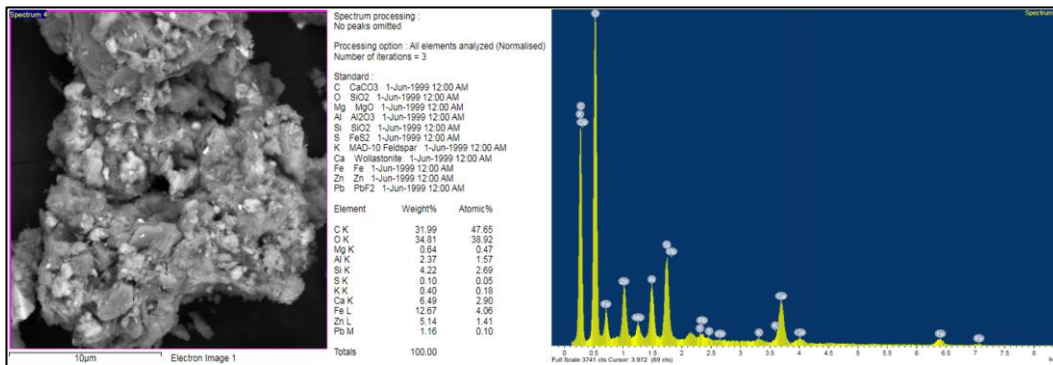
Şekil 3.2'de Krom Atığı' nın SEM görüntüsü ve EDX analiz grafiği görülmektedir. Buna göre krom atığı genellikle 20 µm altında dağılmaktadır. Malzemenin genellikle masif ve çubuksu yapıda olduğu anlaşılmaktadır. EDX analizinde sonuçlar atomik ve ağırlık bazında verilmiştir. Bu analize göre Krom Atığı %61,03 Cr, %8,84 Si, %8,31 Fe, %0,64 Ca, %15,08 Mg, %2,25 Al, %3,86 Karbon içermektedir.



**Şekil 3.2** Krom atığı SEM ve EDX analiz sonuçları

### 3.2.1.3 Kurşun-Çinko Atığı SEM ve EDX Analizleri

Şekil 3.3'de Kurşun-Çinko Atığı' nın SEM görüntüsü ve EDX analiz grafiği görülmektedir. Buna göre Kurşun-Çinko atığı genellikle 10 µm altında dağılmaktadır. Malzemenin genellikle masif ve karışık yapıda olduğu anlaşılmaktadır. EDX analizine göre Kurşun-Çinko Atığı %1,16 Pb, %4,22 Si, %12,67 Fe, %6,49 Ca, %0,64 Mg, %2,37 Al, %5,14 Zn, %0,40 K içermektedir.

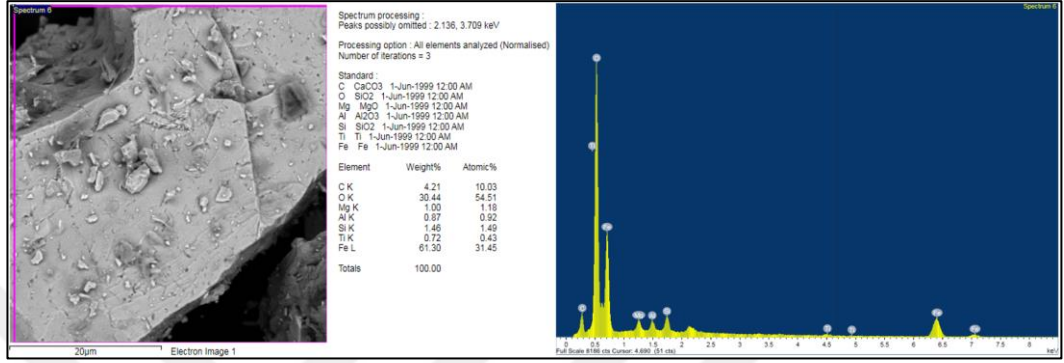


**Şekil 3.3** Kurşun-çinko atığı SEM ve EDX analiz sonuçları

### 3.2.1.4 Demir Atığı SEM ve EDX Analizleri

Şekil 3.4'de Demir Atığı' nın SEM görüntüsü ve EDX analiz grafiği görülmektedir. Buna göre demir atığı genellikle 20 µm altında dağılmaktadır. Malzemenin genellikle masif ve iri boyutlu yapıda olduğu anlaşılmaktadır. İri boyutlu taneler kadar küçük 2 µm civarında taneler de yer almaktadır.

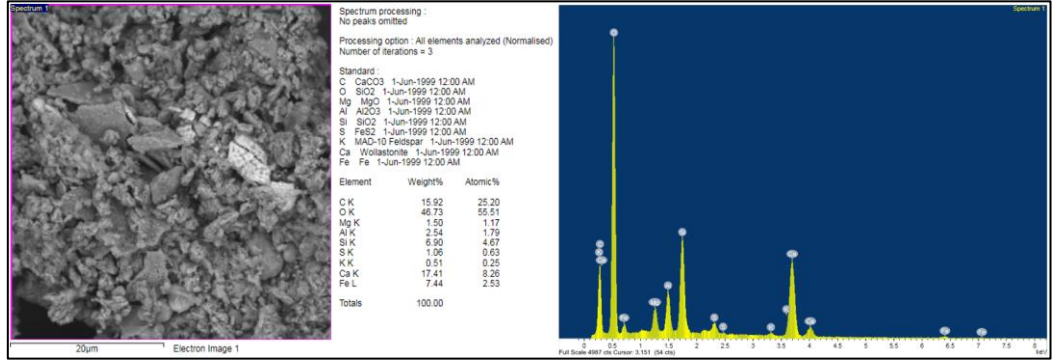
EDX analizine göre Demir Atığı %0,72 Ti, %1,46 Si, %61,30 Fe, %1,0 Mg, %0,87 Al, %4,21 Karbon içermektedir.



Şekil 3.4 Demir atığı SEM ve EDX analiz sonuçları

### 3.2.1.5 Kil Artığı SEM ve EDX Analizleri

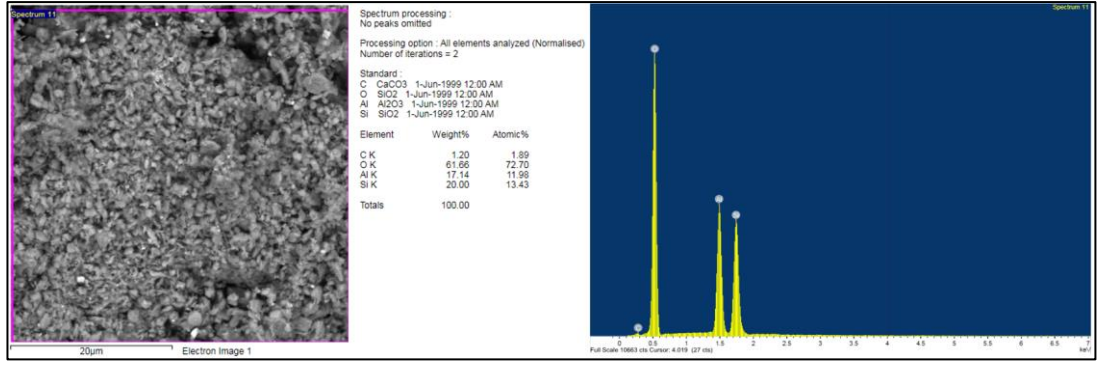
Şekil 3.5'de Kil Artığı' nın SEM görüntüsü ve EDX analiz grafiği görülmektedir. Buna göre kil artığı genellikle 20 µm altında dağılmaktadır. Malzemenin genellikle masif ve çubuksu yapıda olduğu anlaşılmaktadır. EDX analizine göre Kil Artığı; %1,06 S, %6,90 Si, %7,44 Fe, %17,41 Ca, %1,50 Mg, %2,54 Al, %0,51 K içermektedir.



Şekil 3.5 Kil artığı SEM ve EDX analiz sonuçları

### 3.2.1.6 Kaolen SEM ve EDX Analizleri

Şekil 3.6'da Kaolen numunesinin SEM görüntüsü ve EDX analiz grafiği görülmektedir. Buna göre kaolen kristalleri genellikle 2 µm altında dağılmaktadır. Yığılımların kalınlığı 20 µm' e kadar çıkmaktadır. Malzeme gelişigüzel dağılmış ve birbirine ilişkilendirilemeyen kristaller halinde olduğu anlaşılmıştır. EDX analizine göre Kaolen numunesi; %20,0 Si, %17,14 Al, %1,20 Karbon içermektedir.



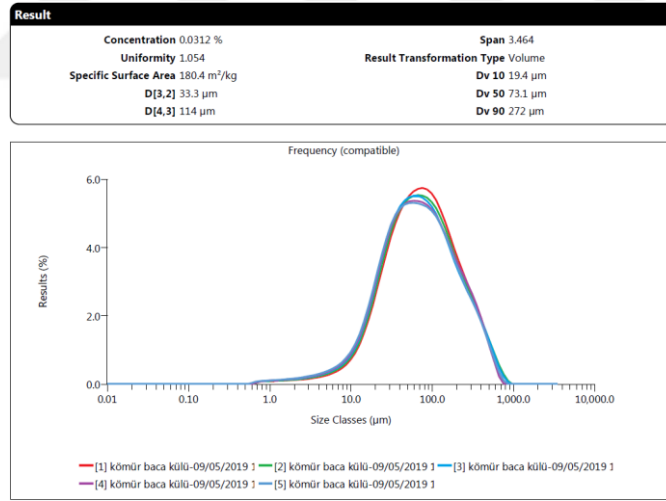
**Şekil 3.6** Kaolen numunesi SEM ve EDX analiz sonuçları

### 3.2.2 Deneyselerde Kullanılan Numunelerin Master Sizer Analizleri

Partikül boyut analizinde Malvern Mastersizer 3000 marka cihaz kullanılmıştır. Malzemelerin mukavemeti, kimyasal reaktifliği, opaklığı, sağlamlığı ve akışkanlığı gibi özellikleri, malzemelerin içerisindeki taneçik boyutu karakteristiklerine bağlıdır. Deneyselerde kullanılan maden atıklarının master sizer deney sonuçları sırasıyla aşağıda verilmiştir.

#### 3.2.2.1 Kömür Baca Külü Master Sizer Analizleri

Kömür baca külü boyut analiz sonuçları ve dağılım grafiği Şekil 3.7’de verilmiştir. Buna göre kömür baca külünün özgül yüzey alanı 180.4 m<sup>2</sup>/kg ‘dır. Numunenin %10 u 19.4 µm den büyük %90 nı ise 272 µm den küçük şeklinde dağılım göstermektedir.

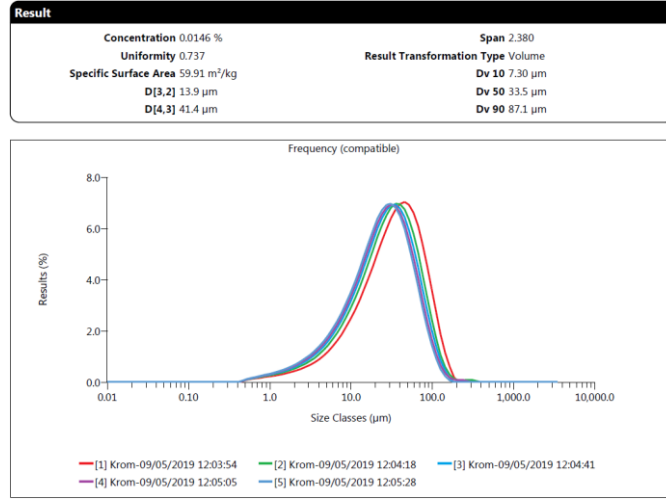


**Şekil 3.7** Kömür baca külü atığı master sizer analiz sonucu

#### 3.2.2.2 Krom Atığı Master Sizer Analizleri

Krom atığı numunelerinin boyut analiz sonuçları ve dağılım grafiği Şekil 3.8’de görülmektedir. Buna göre krom atığı tanelerinin özgül yüzey alanı 59.91 m<sup>2</sup>/kg ve tane boyu dağılımı ise; % 10’u 13.9 µm den büyük, %90’ı 87.1 µm den küçüktür.

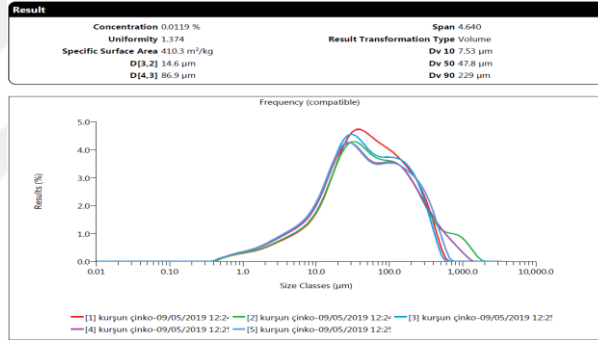




Şekil 3.8 Krom atığı master sizer analiz sonucu

### 3.2.2.3 Kurşun-Çinko Atığı Master Sizer Analizleri

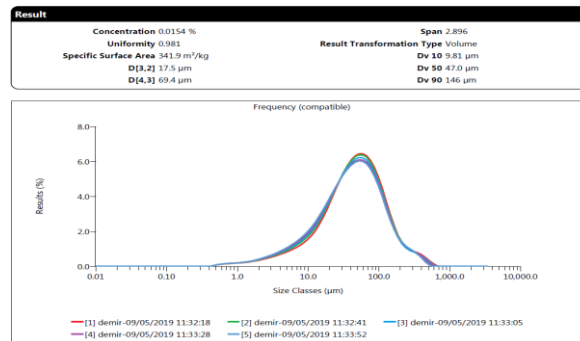
Kurşun-Çinko atığı numunelerinin boyut analiz sonuçları ve dağılım grafiği Şekil 3.9'da görülmektedir. Buna göre kurşun-çinko atığı tanelerinin özgül yüzey alanı 410.0 m<sup>2</sup>/kg ve tane boyu dağılımı ise; % 10'u 7.53 µm den büyük, %90'ı 229 µm den küçüktür.



Şekil 3.9 Kurşun-çinko atığı master sizer analiz sonucu

### 3.2.2.4 Demir Atığı Master Sizer Analizleri

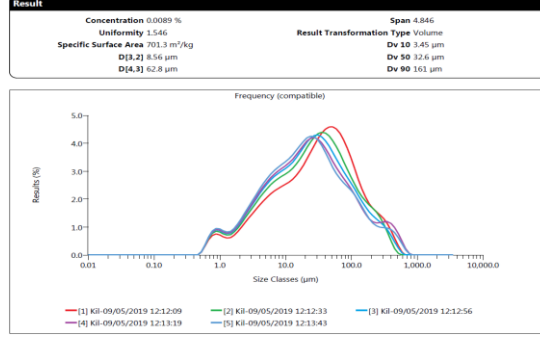
Demir cevheri atığı numunelerinin boyut analiz sonuçları ve dağılım grafiği Şekil 3.10'da görülmektedir. Buna göre demir atığı tanelerinin özgül yüzey alanı 341.9 m<sup>2</sup>/kg ve tane boyu dağılımı ise; % 10'u 9.81 µm den büyük, %90'ı 146 µm den küçüktür.



Şekil 3.10 Demir atığı master sizer analiz sonucu

### 3.2.2.5 Kil Artığı Master Sizer Analizleri

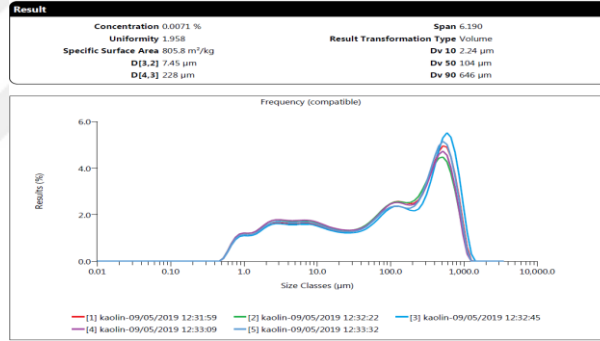
Kil artığı numunelerinin boyut analiz sonuçları ve dağılım grafiği Şekil 3.11'de görülmektedir. Buna göre kil artığı tanelerinin özgül yüzey alanı 701.3 m<sup>2</sup>/kg ve tane boyu dağılımı ise; % 10'u 3.45 µm den büyük, %90'ı 161 µm den küçüktür.



Şekil 3.11 Kil artığı master sizer analiz sonucu

### 3.2.2.6 Kaolen numunesi Master Sizer Analizleri

Kaolen numunelerinin boyut analiz sonuçları ve dağılım grafiği Şekil 3.12'de görülmektedir. Buna göre kaolen tanelerinin özgül yüzey alanı 805.8 m<sup>2</sup>/kg ve tane boyu dağılımı ise; % 10'u 2.24 µm den büyük, %90'ı 646 µm den küçüktür.



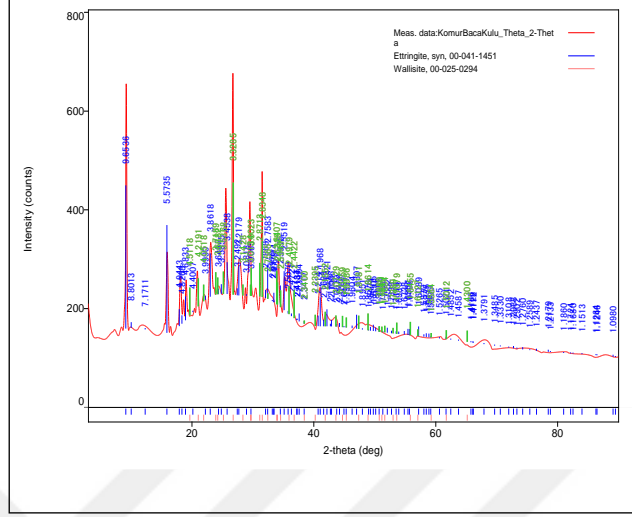
Şekil 3.12 Kaolen numunesi master sizer analiz sonucu

### 3.2.3 Deneylerde Kullanılan Numunelerin X-RD Analizleri

X Işınımı Kırınım (X-RD) analizinde kullanılan cihaz RIGAKU miniflex 600 marka ve modeldir. X-Işını Kırınım yöntemi (X-RD), her bir kristalin fazın kendine özgü atomik dizilimlerine bağlı olarak X-ışınları karakteristik bir düzen içerisinde kırması esasına dayanır. Her bir kristalin faz için bu kırınım profilleri bir nevi parmak izi gibi o kristali tanımlar. X-Işını Kırınım analiz metodu, analiz sırasında numuneyi tahrip etmez ve çok az miktardaki numunelerin dahi (sıvı, toz, kristal ve ince film halindeki) analizlerinin yapılmasını sağlar. X-Işını Kırınım cihazıyla kayaçların, kristalin malzemelerin, ince filmlerin ve polimerlerin nitel ve nicel incelemeleri yapılabilir. Deneyde kullanılan numunelerinin X-RD analizleri sırasıyla aşağıda verilmektedir.

### 3.2.3.1 Kömür Baca Külü Atığı X-RD Analizi

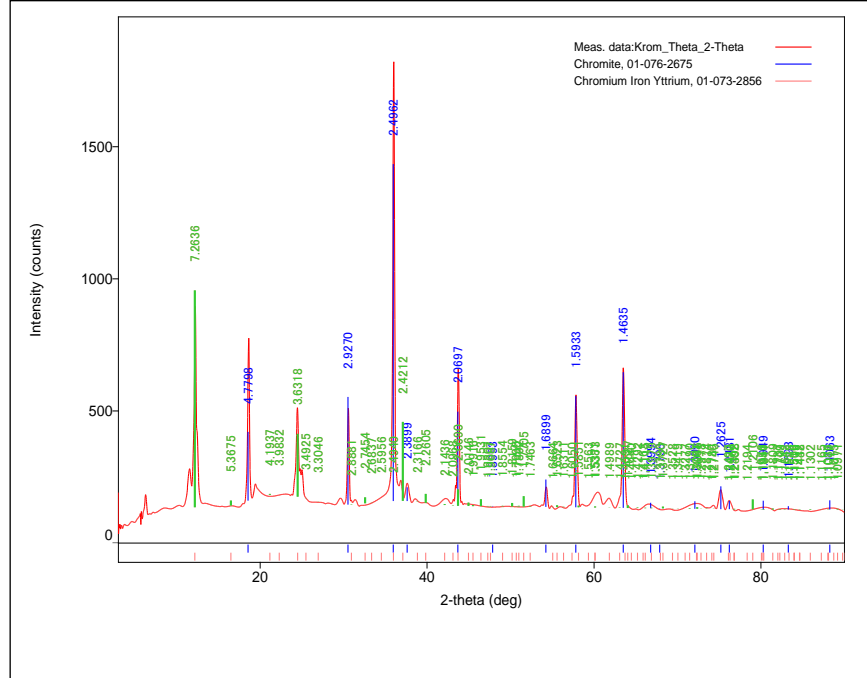
Şekil 3.15'de Kömür Baca Külü Atığı X-RD analiz sonucu yer almaktadır. Kömür Baca Külü Atığı *kuvars* ve *kalsit* minerallerinden oluşmaktadır. X-RD analizleri kimyasal analiz ve EDX analizleri ile uyumludur.



Şekil 3.15: Kömür Baca Külü atığı X-RD analiz sonucu

### 3.2.3.2 Krom Atığı X-RD Analizi

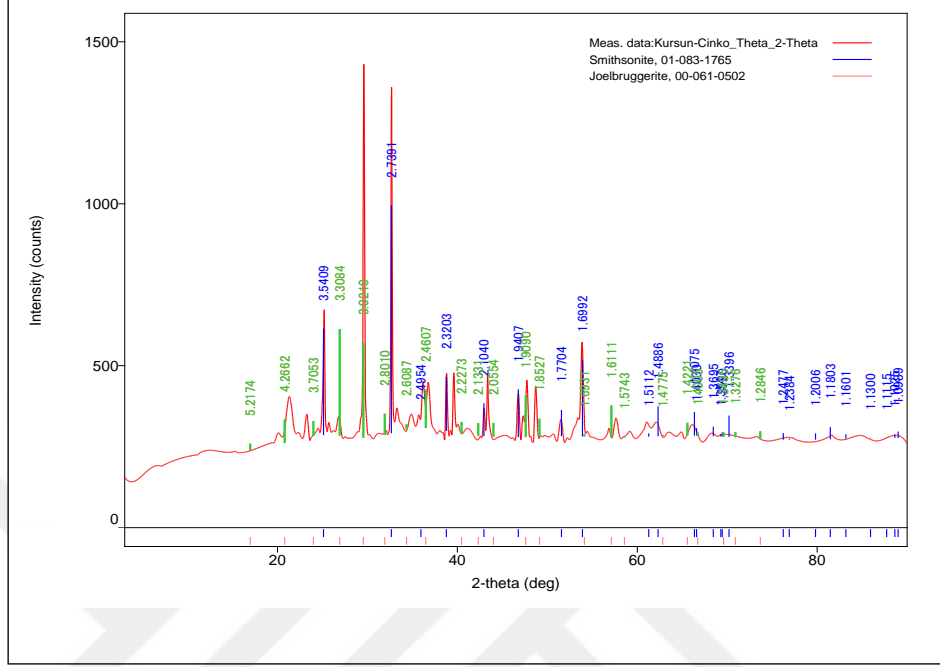
Krom Atığı X-RD analiz sonucu Şekil 3.16'da yer almaktadır. Krom Atığı *kromit* ve *demir* minerallerinden oluşmaktadır. X-RD analizleri kimyasal analiz ve EDX analizleri ile uyumludur.



Şekil 3.16: Krom atığı X-RD analiz sonucu

### 3.2.3.3 Kurşun-Çinko Atığı X-RD Analizi

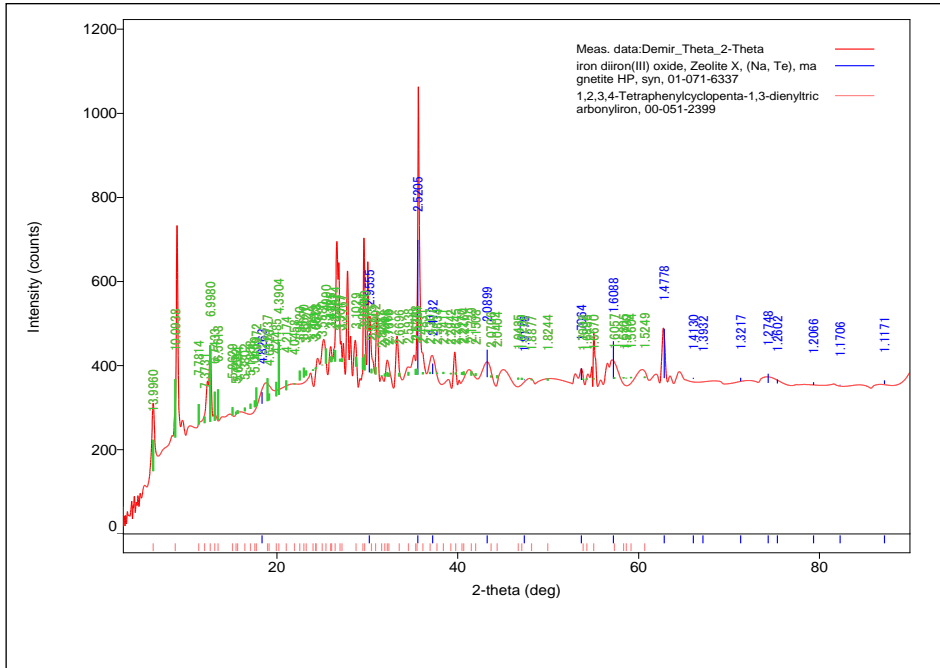
Kurşun-Çinko atığı X-RD analiz sonucu Şekil 3.17'de verilmiştir. Kurşun-Çinko atığı **serüzit**, **galenit**, **hematit** gang minerali olarak **kuvars** belirlenmiştir. X-RD analizleri kimyasal analiz ve EDX analizleri ile uyumludur.



Şekil 3.17 Kurşun-Çinko atığı X-RD analiz sonucu

### 3.2.3.4 Demir Atığı X-RD Analizi

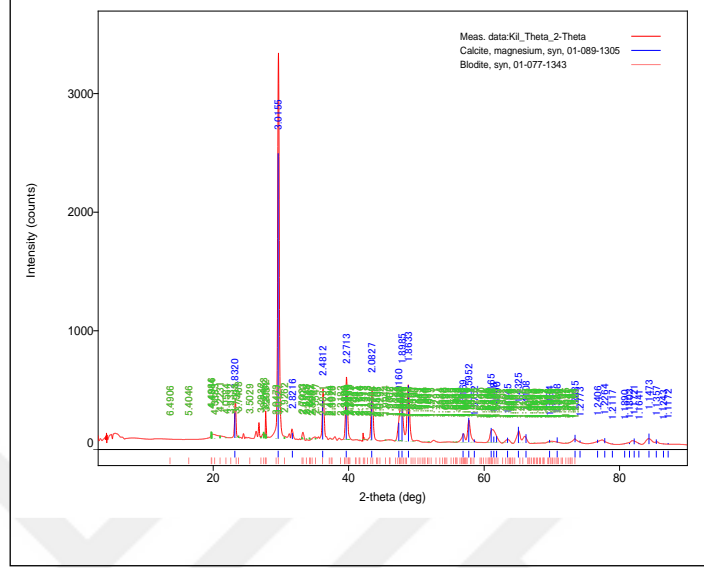
Şekil 3.18'de Demir atığı X-RD analiz sonucu yer almaktadır. Demir Atığı **manyetit** ve **zeolit** olarak belirlenmiştir. X-RD analizleri kimyasal analiz ve EDX analizleri ile uyumludur



Şekil 3.18 Demir atığı X-RD analiz sonuçları

### 3.2.3.5 Kil Artığı X-RD Analizi

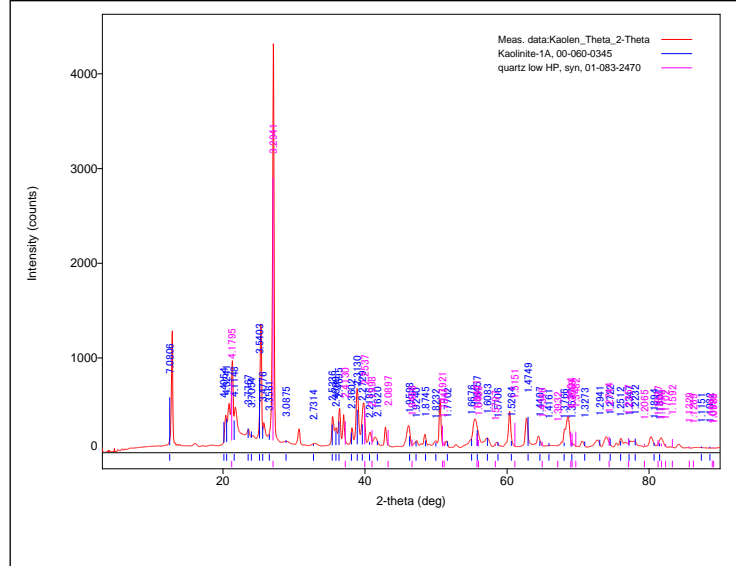
Şekil 3.19'da Kil numunesi X-RD analiz sonucu yer almaktadır. Kil Artığı **kalsit** ve **magnezyum** minerallerinden oluşmaktadır. X-RD analizleri kimyasal analiz ve EDX analizleri ile uyumludur.



Şekil 3.19 Kil artığı X-RD analiz sonucu

### 3.2.3.6 Kaolen Numunesi X-RD Analizi

Şekil 3.20'de Kaolen numunesi X-RD analizi yer almaktadır. Kaolen numunesi **kaolinit** ve **kuvars** olarak belirlenmiştir. X-RD analizleri kimyasal analiz ve EDX analizleri ile uyumludur.



Şekil 3.20: Kaolen artığı X-RD analiz sonucu

### 3.2.4 Deneylerde Kullanılan Numunelerin Kıvam Limitleri

İnce taneli zeminlerde (kohezyonlu) zeminin yumuşaklık, sertlik durumu kıvam ile belirtilir. İnce taneli zeminlerin bünyesindeki su miktarı artıkça çok katı bir durumdan akıcı bir sıvı

kıvamına kadar çok geniş bir aralık içinde değişim gösterir. Buna bağlı olarak, mukavemet, yük altında şekil değiştirme ve sıkışma gibi mühendislik özelliklerinde büyük farklılıklar meydana gelmektedir. İnce taneli zeminlerin kıvamında su muhtevasına bağlı değişimleri deneysel olarak belirleyebilmek için bazı sınır su muhtevası değerleri tanımlanmıştır. Kıvam limitleri olarak bilinen bu değerleri belirleyebilmek için İsveçli bilim adamı Atterberg tarafından geliştirilen deneyler kullanılır. Bu deneyler;

#### **Plastik Limit (PL) Deneyi**

Plastiklik ince taneli zeminlerin bir özelliği olup kırılmadan şekil verilebilmeyi ifade eder. Plastik limit ise, ıslak zeminin yoğrulma sırasında yüzeyinde çatlakların belirdiği su muhtevası olarak tanımlanır. Bir başka ifadeyle, plastik limit, zeminin yarı katı malzemedен plastik bir malzemeye dönüştüğü su muhtevası değeridir.

Plastik Limit Deneyinin Yapılışı:

- 40 nolu elekten geçirilmiş ve likit limit deneyi için kullanılan numuneden bir miktar, buzlu cam üzerinde avuç ile yuvarlanır.
- Avuç ile yuvarlama sırasında oluşan 3 mm. kalınlıktaki çamur çubuklarda, çatlama ve kendi kendine kopmalar oluştuğunda, su muhtevasını belirlemek için numune kabına alınır.
- Numune kabı ile birlikte tartımı yapılan numune etüve kurutma için bırakılır.
- Eđer zemin çubuklarında, çap 3 mm'nin altına düştüğü halde çatlama ve dağılma meydana gelmiyorsa zeminin henüz plastik olduğu kabul edilir.
- Bir süre daha su muhtevasının azalması beklenilir. Avuç ile yuvarlama işlemi tekrarlanarak deneye devam edilir, b ve c şıkları için uygulanır.

#### **Likit Limit (LL) Deneyi**

Likit limit, zeminin plastik bir malzemedен akıcı bir malzemeye dönüştüğü andaki su muhtevasıdır. Likit limiti belirlemek için birkaç yöntem vardır. Bunlardan Casagrande Yöntemi yaygın kullanılır. Casagrande likit limit aleti (Şekil 3.6), kolu döndürüldüğünde, sert bir lastik blok üzerine 1 cm. yükseklikten düşen, yarım küre şeklindeki piriņç tasta oluşur.

- Kurutulmuş ve 40 nolu elekten geçirilmiş zeminden bir miktar alınarak porselen bir kap içerisine konur ve biraz damıtık su ilave ederek karıştırılır.
- Numunenin kuru için bir müddet beklenilir.
- Karıştırılan numuneden biraz alınır. Piriņç tasta yerleştirilir. Üzeri spatula ile düzeltilir. Yarık açma bıçağı ile tastaki numune ikiye bölünür. Tekrar üst tarafı düzeltilir, ikiye bölme sırasında her iki parçasının da eşit büyüklükte olmasına dikkat edilir.
- Sonra aletin kolu çevrilerek tas 1 cm. yükseklikten saniyede 2 defa olmak üzere düşürülür. Düşme etkisiyle oyuk kapanmaya, ayrılan iki parça birbirine yaklaşmaya başlar.
- Başlangıçtan itibaren her vuruş, yarık 1,12 cm. kapanana kadar sayılır. Kapandığı anda, buradan bir miktar numune, su muhtevası belirlenmek için alınır ve vuruş sayısı kayıt edilir.
- Tas temizlenir, karıştırma kabında bulunan numune üzerine biraz daha damıtık su ilave edilerek karıştırılır.
- c, e, f işlemleri sırayla yapılır. Bu işlem en az 4 defa tekrarlanmalıdır.



**Şekil 3.21** Deneylerde kullanılan Casagrande likit limit aleti

**Plastisite (Plasticity) indisi (PI),**

Plastik durumun geçerli olduğu su içeriği aralığını ifade eder ve likit limit ile plastik limit değerinin farkına eşittir [7]:

$$PI = LL - PL \quad [7]$$

Hesaplanan plastisite indisi değerlerine göre numunenin plastisite derecesi nitel olarak sınıflandırılmaktadır. Plastisite indisi tanımlama ölçütleri Çizelge 3.1 ve Çizelge 3.2'de verilmiştir.

**Çizelge 3. 1** Plastisite Ölçüleri-1

<b>Plastisite derecesi tanımlama ölçütleri (Leonards, 1962)</b>	
<b>Plastisite indeksi (%)</b>	<b>Plastisite derecesi</b>
0 – 5	Plastik değil
5 – 15	Az plastik
15 – 40	Plastik
>40	Çok plastik

**Çizelge 3. 2** Plastisite Ölçüleri-2

<b>Plastisite derecesi tanımlama ölçütleri (IAEG, 1979)</b>	
<b>Plastisite indeksi (%)</b>	<b>Plastisite derecesi</b>
>7	Plastik değil
1 – 7	Düşük plastisiteli
7 – 17	Orta plastisiteli
17 – 35	Yüksek plastisiteli
>35	Çok yüksek plastisiteli

Yukarıda anlatılan deney adımlarına göre elektro-osmoz deneylerinde kullanılacak maden atıklarının kıvam limitleri laboratuvarında belirlenmiş ve sonuçlar Çizelge 3.3'te toplu olarak verilmiştir. Numunelerin 25 vuruş sonucundaki su muhtevaları belirlenmiş olup çizilen grafikler ve vuruş sayısı ile su muhtevası arasındaki ilişkiler Şekil 3.22'de görülmektedir.

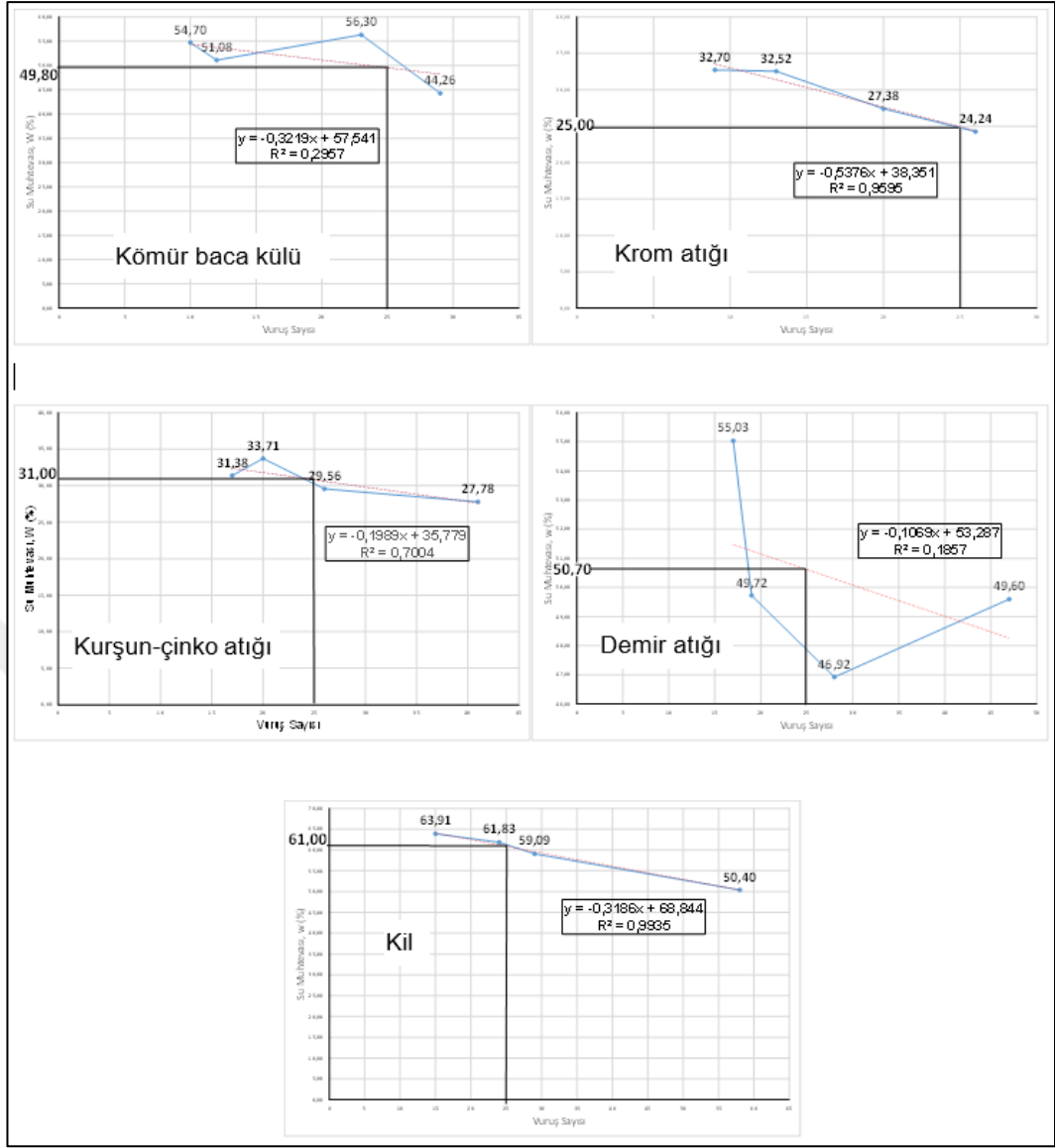
Deneylerde kaolen malzemesi haricinde diğer numunelerin kıvam limitleri başarılı bir şekilde gerçekleşmiştir. Fakat Kaolen'in likit limit değeri ölçülememiştir. Plastisite indisi

sonuçlarından plastisite derecesi tanımlama ölçülerine bakıldığında Leonard, 1962 'e göre; **kömür baca külü atığı ve kil numunesi** 15-40 aralığında olup “plastik” olarak derecelendirilirken, **krom atığı, kurşun-çinko atığı ve demir atığı** ise “az plastik” özelliğe sahip derecelendirme sınıfındadır. Çizelge 3.2 de verilen diğer bir plastisite derecesi tanımlama ölçülerinden IAEG,1979 'a göre, **kömür baca külü atığı ve kil** malzemesi “yüksek plastisiteli”, **krom atığı ve kurşun-çinko atığı** “orta plastisiteli”, demir atığı ise “az plastisiteli” özelliğe sahiptir.

**Çizelge 3. 3** Kıvam Limitleri Deney Sonuçları

Kurşun Çinko	Vuruş Sayısı (Log N)	Yaş Ağırlık (gr)	Kuru Ağırlık (gr)	Su Muhtevası (%)	Likit Limit	Plastik Limit			Plastik Limit	Plastisite İndisi
						Yaş Ağırlık (gr)	Kuru Ağırlık (gr)	Su Muhtevası (%)		
1. deney	41	20.7	16.2	27.78	31.00	5.5	4.7	17.02	17.02	13.98
2. deney	26	20.6	15.9	29.56						
3. deney	20	23.8	17.8	33.71						
4. deney	17	24.7	18.8	31.38						
<b>Kil</b>	<b>Vuruş Sayısı (Log N)</b>	<b>Yaş Ağırlık (gr)</b>	<b>Kuru Ağırlık (gr)</b>	<b>Su Muhtevası (%)</b>	<b>Likit Limit</b>	<b>Plastik Limit</b>			<b>Plastik Limit</b>	<b>Plastisite İndisi</b>
1. deney	58	18.8	12.5	50.40	61.00	Yaş Ağırlık (gr)	Kuru Ağırlık (gr)	Su Muhtevası (%)	30.3	30.7
2. deney	29	21.0	13.2	59.09						
3. deney	24	21.2	13.1	61.83						
4. deney	15	21.8	13.3	63.91						
<b>Kömür Baca Külü</b>	<b>Vuruş Sayısı (Log N)</b>	<b>Yaş Ağırlık (gr)</b>	<b>Kuru Ağırlık (gr)</b>	<b>Su Muhtevası (%)</b>	<b>Likit Limit</b>	<b>Plastik Limit</b>			<b>Plastik Limit</b>	<b>Plastisite İndisi</b>
1. deney	29	17.6	12.2	44.26	49.80	Yaş Ağırlık (gr)	Kuru Ağırlık (gr)	Su Muhtevası (%)	31.25	18.55
2. deney	23	18.6	11.9	56.30						
3. deney	12	21.0	13.9	51.08						
4. deney	10	18.1	11.7	54.70						
<b>Krom</b>	<b>Vuruş Sayısı (Log N)</b>	<b>Yaş Ağırlık (gr)</b>	<b>Kuru Ağırlık (gr)</b>	<b>Su Muhtevası (%)</b>	<b>Likit Limit</b>	<b>Plastik Limit</b>			<b>Plastik Limit</b>	<b>Plastisite İndisi</b>
1. deney	47	18.7	12.5	49.60	50.70	Yaş Ağırlık (gr)	Kuru Ağırlık (gr)	Su Muhtevası (%)	42.11	8.59
2. deney	28	19.1	13.0	46.92						
3. deney	19	27.1	18.1	49.72						
4. deney	17	23.1	14.9	55.03						
<b>Demir</b>	<b>Vuruş Sayısı (Log N)</b>	<b>Yaş Ağırlık (gr)</b>	<b>Kuru Ağırlık (gr)</b>	<b>Su Muhtevası (%)</b>	<b>Likit Limit</b>	<b>Plastik Limit</b>			<b>Plastik Limit</b>	<b>Plastisite İndisi</b>
1. deney	26	24.6	19.8	24.24	25.00	Yaş Ağırlık (gr)	Kuru Ağırlık (gr)	Su Muhtevası (%)	18.75	6.25
2. deney	20	33.5	26.3	27.38						
3. deney	13	27.3	20.6	32.52						
4. deney	9	28	21.1	32.70						





Şekil 3.22 Likit limit ve vuruş sayısı ile su muhtevası arasındaki ilişki

### 3.3. Maden Atıklarının Susuzlaştırması-Elektro-Osmoz Deneyleri

Bu bölümde maden işletmelerinden alınan farklı maden atıkları için laboratuvarda kurulan elektro-osmoz düzeneği ile yapılan deneyler anlatılmıştır.

Çeşitli maden sahalarından alınan maden atık ve artıkları üzerinde laboratuvar ortamında susuzlaştırma yöntemi kullanılarak 15, 30, 45, 60, 75 ve 90 volt uygulanarak elektro-osmoz deneyleri yürütülmüştür.

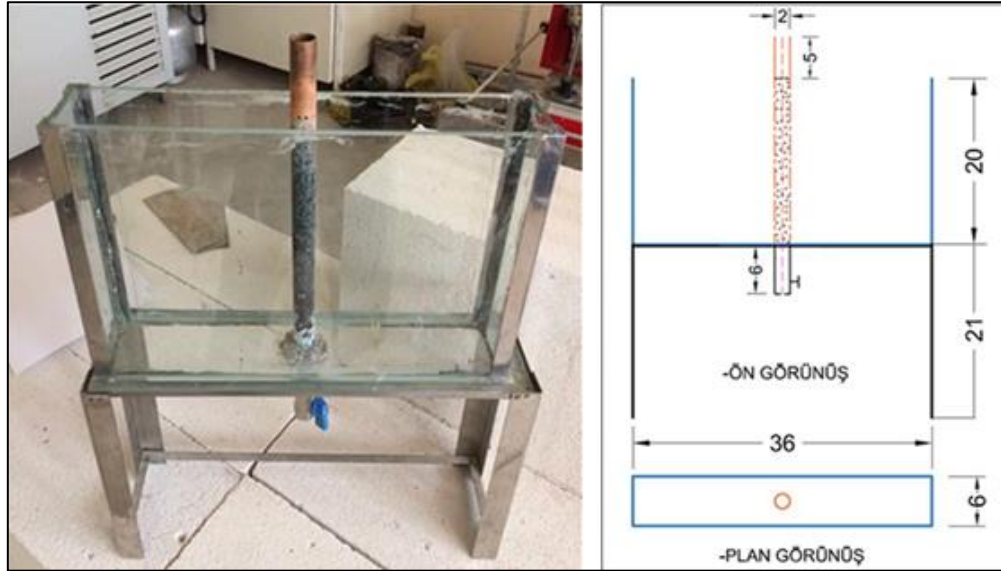
Deneye başlamadan önce filtre amacıyla drenaj kuyusu olarak kullanılacak katot borusunun etrafı 60 mm çaplı plastik boru kullanılarak, 1-3 mm çaplı yıkanmış çakıl malzemesi ile doldurulmuştur. Daha sonra deneyde kullanılan malzemeler tane boyutu analizi yapıldıktan ve elendikten sonra dikkatli bir şekilde deney düzeneğinin içerisine eklenmiştir. Hazne deney malzemesi ile doldurulduktan sonra üzerine mezür ile çeşme suyu dökülmüştür. Deneyde kullanılan malzeme tamamen doymun hale gelinceye kadar su ile beslenmiştir. Su gereksinimi bittikten sonra düzeneğin üstten 5 cm derinliğe kadar hidrolik yük oluşturacak şekilde su dolu halde 24 saat beklenilmiştir (Şekil 3.23). Deney devam ederken su seviyesi sürekli kontrol edilerek 5 cm'lik seviye sabit kalacak şekilde su ilavesi yapılmıştır. Bu durum genellikle deneyin başlangıç saatlerinde gözlemlenirken, deneyin ilerleyen saatlerinde seviye düşümü pek fazla olmamıştır. Ertesi gün deney malzemesinin tamamen suya doymun hale geldiği izlendikten sonra anot çelik levhalar deney haznesine yerleştirilmiş ve bu levhalara güç kaynağından gelen pozitif kabloların kırmızı renkli uçları tutturulmuştur. Benzer şekilde cam düzeneğin ortasında bulunan ve drenaj kuyusu olarak da kullanılan bakır boruya, güç kaynağından gelen negatif kablonun siyah renkli ucu tutturulmuştur. Bütün deneylerde elektro-osmoz deneyine başlamadan önce vana açılarak yerçekimi ile su deşarjı başlatılarak, 15'er dakikalık zaman aralıkları ile ne kadar su deşarjının olduğu belirlenerek deney formuna işlenmiştir.



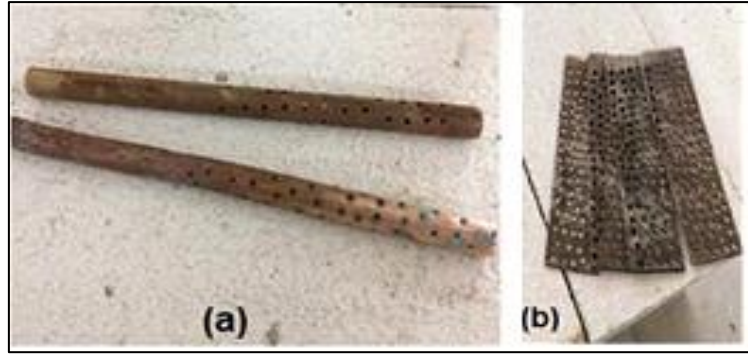
**Şekil 3.23** Elektro-osmoz deneyinde kullanılan malzemelerin suya doymun hale getirilmesi.

### 3.3.1. Deney Düzeneği ve Deneyde Kullanılan Ekipmanlar

Elektro-osmoz testleri rutin laboratuvar testleri olmadığından uygun boyutlarda bir düzenek hazırlanmıştır. Elektro-osmoz düzeneği iç boyutları 36 cm x 20 cm x 6 cm olan 6mm et kalınlığında camdan imal edilmiş dikdörtgen prizması şeklinde üst tarafı açık bir düzenektir. Cam düzenek su drenajını alttan almak için 21cm yüksekliğinde çelikten yapılmış dört ayaklı bir sehpa üzerine oturtulmuştur. Drenaj kuyusu olarak kullanılacak olan katot (-) çubuğu 1.2mm kalınlığında 18mm çapında 25cm yüksekliğinde bakırdan imal edilmiş ve akvaryumun tam ortasına silikonlu sızdırmaz contalarla monte edilmiştir. Su deşarjını sağlamak için katot bakır borunun ucuna da küresel vana bağlanmıştır. Silindir boru şeklinde imal edilen katot borusu perfore boru gibi çalışacak şekilde düzenek boyunca ortalama 5mm aralıklı ve 1.2mm çaplı delikler açılmıştır. Deney düzeneğinin resmi ve boyutlandırılmış çizimi Şekil 3.24' de verilmiştir. Anot (+) çubuğu olarak kullanılacak çelik levha 21 cm x 6 cm boyutlarında 2mm et kalınlığında delikli dikdörtgen şeklinde imal edilmiştir. Delikli çelik levhalarda delik çapları 6 - 8mm ve delikler arası mesafe 6mm ve her bir levhada ortalama 100 adet delik olup toplam levha yüzeyinin %50 sini kaplamakta ve bu delikler suyun drenajını sağlamak üzere imal edilmiştir. Bakır katot borusu ile anot delikli çelik levhaların resmi Şekil 3.25' de görülmektedir. Ayrıca elektro-osmoz deneylerinde değişik boyutta beherler, mezürler, şırınga, erlen, termometre ve kaşık gibi gereçler de kullanılmıştır (Şekil 3.26). Deneyde kullanılan güç kaynağı ve dijital multimetre ile çoklu kablolar ise Şekil 3.27'de görülmektedir.



Şekil 3.24 Elektro-osmoz deney düzeneği resmi ve şematik çizimi.



**Şekil 3.25** Elektro-osmoz deneyi için kullanılan elektrotlar.

(a) Bakır katot borusu, (b) Delikli anot levhalar.



**Şekil 3.26** Elektro-osmoz deneyinde kullanılan araç ve gereçler.



**Şekil 3.27** Elektro-osmoz deneyinde kullanılan güç kaynağı ve dijital multimetre ve çoklu kablolar.

### 3.3.2 Kömür Baca Külü Atığı Elektro-Osmoz Deneyleri

Bu deneyde tamamen suya doymun hale getirilen malzeme içerisinde bulunan katodun sağına ve soluna 15'er cm mesafede delikli olan çelik elektrotlar batırılmıştır. Gerekli bağlantılar yapıldıktan sonra başlangıç ortam sıcaklığı, elektrik iletkenliği gibi bilgiler hazırlanan formda işlenmiştir. Yerçekimi etkisi ile su deşarjı bittikten sonra, güç kaynağı 15 volta getirilerek çalıştırılmıştır. Belirli bir süre sonra katot çubuğunun altındaki musluktan su damlamaya başlamıştır. Daha sonra her 15 dakikada bir su deşarjı, sıcaklık ve akım değerleri ölçülerek, kümülatif boşalım, harcanan güç, direnç ve iletkenlik değerleri hesaplanarak aşağıda verilen çizelgelere işlenmiştir.

Bundan sonra kömür baca külü atığına tekrar su ilavesi yapılarak doymun hale gelmesi için 24 saat beklenmiş ve 30, 45, 60, 75 ve 90 volt için yapılacak işlemler, yukarıda bahsedilen uygulama şekli ile aynen yapılmış ve ölçülen değerler sırasıyla Çizelge 3.4, 3.5, 3.6, 3.7, 3.8 ve 3.9'da verilmiştir.

Toplam elektro-osmoz süresi 15 volt için 105 dk, 30 volt için 165 dk, 45 volt için 165 dk, 60 volt için 150 dk, 75 volt için 240 dk, 90 volt için 150 dk da tamamlanmıştır.

**Çizelge 3. 4 Kömür Baca Külü Atığı 15 Volt Elektro-Osmoz Deney Sonuçları**

Deney Tarihi	22.2.2019		MALZEME: KÖMÜR BACA KÜLÜ ATIĞI				
Deney Numunesi	Kömür Baca Külü		Eklenen su miktarı: 560 cm <sup>3</sup>				
Elektrotlar Arası Mesafe	15 cm		Yerçekimi etkisi ile alınan su miktarı: 306 cm <sup>3</sup>				
Verilen Sabit Gerilim	15 Volt		Elektro-osmoz ile alınan su miktarı: 1.4 cm <sup>3</sup>				
Başlangıç Sıcaklığı	18°C		Toplam alınan su miktarı: 307.4 cm <sup>3</sup>				
Ölçüm Yapan	Merve ERCİNS		$\gamma$ : 1.40 gr/cm <sup>3</sup>				
Deney Süresi (dk)	Boşalım (cm <sup>3</sup> )	Kümülatif Boşalım (cm <sup>3</sup> )	Sıcaklık (°C)	Akım i, (amper)	Güç P, (watt)	Direnç R, (ohm)	İletkenlik (1 / R)
15	0.2	0.2	20	0.2	3	75	0.0130
15	0.4	0.6	20	0.2	3	75	0.0130
15	0.4	1	21	0.2	3	75	0.0130
15	0.2	1.2	20	0.2	3	75	0.0130
15	0.2	1.4	21	0.2	3	75	0.0130
15	0	1.4	20	0.2	3	75	0.0130
15	0	1.4	20	0.2	3	75	0.0130

**Çizelge 3. 5 Kömür Baca Külü Atığı 30 Volt Elektro-Osmoz Deney Sonuçları**

Deney Tarihi	21.2.2019		MALZEME: KÖMÜR BACA KÜLÜ ATIĞI				
Deney Numunesi	Kömür Baca Külü		Eklenen su miktarı: 640 cm <sup>3</sup>				
Elektrotlar Arası Mesafe	15 cm		Yerçekimi etkisi ile alınan su miktarı: 413.4 cm <sup>3</sup>				
Verilen Sabit Gerilim	30 Volt		Elektro-osmoz ile alınan su miktarı: 9.4 cm <sup>3</sup>				
Başlangıç Sıcaklığı	18°C		Toplam alınan su miktarı: 422.8 cm <sup>3</sup>				
Ölçüm Yapan	Merve ERCİNS		$\gamma$ : 1.38 gr/cm <sup>3</sup>				
Deney Süresi (dk)	Boşalım (cm <sup>3</sup> )	Kümülatif Boşalım (cm <sup>3</sup> )	Sıcaklık (°C)	Akım i, (amper)	Güç P, (watt)	Direnç R, (ohm)	İletkenlik (1 / R)
15	0.6	0.6	20	0.4	12	75	2.5000
15	0.4	1	21	0.4	12	75	2.5000
15	0.8	1.8	22	0.4	12	75	2.5000
15	1.4	3.2	23	0.5	15	60	2.0000
15	1.6	4.8	23	0.5	15	60	2.0000
15	1.2	6	24	0.5	15	60	2.0000
15	1.2	7.2	24	0.5	15	60	2.0000
15	1	8.2	24	0.5	15	60	2.0000
15	0.8	9	25	0.5	15	60	2.0000
15	0.4	9.4	26	0.5	15	60	2.0000
15	0	9.4	26	0.5	15	60	2.0000

**Çizelge 3. 6** Kömür Baca Külü Atığı 45 Volt Elektro-Osmoz Deney Sonuçları

Deney Tarihi		20.2.2019		MALZEME: KÖMÜR BACA KÜLÜ ATIĞI			
Deney Numunesi		Kömür Baca Külü		Eklenen su miktarı: 770 cm <sup>3</sup>			
Elektrotlar Arası Mesafe		15 cm		Yerçekimi etkisi ile alınan su miktarı: 470,4 cm <sup>3</sup>			
Verilen Sabit Gerilim		45 Volt		Elektro-osmoz ile alınan su miktarı: 32,8 cm <sup>3</sup>			
Başlangıç Sıcaklığı		19°C		Toplam alınan su miktarı: 503,2 cm <sup>3</sup>			
Ölçüm Yapan		Merve ERCİNS		$\gamma$ : 1,34 gr/cm <sup>3</sup>			
Deney Süresi (dk)	Boşalım (cm <sup>3</sup> )	Kümülatif Boşalım (cm <sup>3</sup> )	Sıcaklık (°C)	Akım i, (amper)	Güç P, (watt)	Direnç R, (ohm)	İletkenlik (1 / R)
15	6	6	22	0,9	40,5	50	0,0200
15	6	12	24	0,9	40,5	50	0,0200
15	6	18	26	0,9	40,5	50	0,0200
15	5	23	29	0,9	40,5	50	0,0200
15	4	27	32	0,9	40,5	50	0,0200
15	3	30	33	1	45	45	0,0220
15	2	32	35	1	45	45	0,0220
15	0,6	32,6	34	0,9	40,5	50	0,0200
15	0,2	32,8	35	0,9	40,5	50	0,0200
15	0	32,8	35	0,9	40,5	50	0,0200
15	0	32,8	34	0,9	40,5	50	0,0200

**Çizelge 3. 7** Kömür Baca Külü atığı 60 Volt Elektro-Osmoz Deney Sonuçları

Deney Tarihi		19.2.2019		MALZEME: KÖMÜR BACA KÜLÜ ATIĞI			
Deney Numunesi		Kömür Baca Külü		Eklenen su miktarı: 1768 cm <sup>3</sup>			
Elektrotlar Arası Mesafe		15 cm		Yerçekimi etkisi ile alınan su miktarı: 395,2 cm <sup>3</sup>			
Verilen Sabit Gerilim		60 Volt		Elektro-osmoz ile alınan su miktarı: 81 cm <sup>3</sup>			
Başlangıç Sıcaklığı		19°C		Toplam alınan su miktarı: 476,2 cm <sup>3</sup>			
Ölçüm Yapan		Merve ERCİNS		$\gamma$ : 1,38 gr/cm <sup>3</sup>			
Deney Süresi (dk)	Boşalım (cm <sup>3</sup> )	Kümülatif Boşalım (cm <sup>3</sup> )	Sıcaklık (°C)	Akım i, (amper)	Güç P, (watt)	Direnç R, (ohm)	İletkenlik (1 / R)
15	27	27	22	1,5	90	40	0,0250
15	18	45	24	1,5	90	40	0,0250
15	12	57	28	1,4	84	42,86	0,0233
15	11	68	30	1,4	84	42,86	0,0233
15	6	74	34	1,4	84	42,86	0,0233
15	4	78	37	1,4	84	42,86	0,0233
15	2	80	43	1,4	84	42,86	0,0233
15	1	81	42	1,4	84	42,86	0,0233
15	0	81	48	1,3	78	46,15	0,0217
15	0	81	46	1,4	84	42,86	0,0233

**Çizelge 3. 8** Kömür Baca Külü Atığı 75 Volt Elektro-Osmoz Deney Sonuçları

Deney Tarihi		25.2.2019		MALZEME: KÖMÜR BACA KÜLÜ ATIĞI			
Deney Numunesi		Kömür Baca Külü		Eklenen su miktarı: 570 cm <sup>3</sup>			
Elektrotlar Arası Mesafe		15 cm		Yerçekimi etkisi ile alınan su miktarı: 194,6 cm <sup>3</sup>			
Verilen Sabit Gerilim		75Volt		Elektro-osmoz ile alınan su miktarı: 43,8 cm <sup>3</sup>			
Başlangıç Sıcaklığı		19°C		Toplam alınan su miktarı: 238,4 cm <sup>3</sup>			
Ölçüm Yapan		Merve ERCİNS		$\gamma$ : 1,40 gr/cm <sup>3</sup>			
Deney Süresi (dk)	Boşalım (cm <sup>3</sup> )	Kümülatif Boşalım (cm <sup>3</sup> )	Sıcaklık (°C)	Akım i, (amper)	Güç P, (watt)	Direnç R, (ohm)	İletkenlik (1 / R)
15	3	3	23	0,6	45	125	0,0080
15	8	11	26	0,6	45	125	0,0080
15	5	16	29	0,7	52,5	107,14	0,0093
15	5	21	33	0,7	52,5	107,14	0,0093
15	3	24	36	0,7	52,5	107,14	0,0093
15	3	27	42	0,8	60	93,75	0,0107
15	3	30	43	0,8	60	93,75	0,0107
15	3	33	45	0,8	60	93,75	0,0107
15	2,5	35,5	47	0,9	67,5	83,33	0,0120
15	3,5	39	50	0,9	67,5	83,33	0,0120
15	2	41	52	0,9	67,5	83,33	0,0120
15	1,6	42,6	55	0,9	67,5	83,33	0,0120
15	1	43,6	58	0,9	67,5	83,33	0,0120
15	0,2	43,8	59	0,9	67,5	83,33	0,0120
15	0	43,8	60	0,9	67,5	83,33	0,0120
15	0	43,8	60	0,9	67,5	83,33	0,0120

**Çizelge 3. 9** Kömür Baca Külü Atığı 90 Volt Elektro-Osmoz Deney Sonuçları

Deney Tarihi		18.2.2019		MALZEME: KÖMÜR BACA KÜLÜ ATIĞI			
Deney Numunesi		Kömür Baca Külü		Eklenen su miktarı: 1800 cm <sup>3</sup>			
Elektrotlar Arası Mesafe		15 cm		Yerçekimi etkisi ile alınan su miktarı: 424,4 cm <sup>3</sup>			
Verilen Sabit Gerilim		90 Volt		Elektro-osmoz ile alınan su miktarı: 66,2 cm <sup>3</sup>			
Başlangıç Sıcaklığı		19°C		Toplam alınan su miktarı: 490,6 cm <sup>3</sup>			
Ölçüm Yapan		Merve ERCİNS		γ : 1,02 gr/cm <sup>3</sup>			
Deney Süresi (dk)	Boşalım (cm <sup>3</sup> )	Kümülatif Boşalım (cm <sup>3</sup> )	Sıcaklık (°C)	Akım i, (amper)	Güç P, (watt)	Direnç R, (ohm)	İletkenlik (1 / R)
15	23	23	22	1,8	108	33,3333	0,0300
15	12	35	25	1,8	108	33,3333	0,0300
15	10	45	28	1,8	108	33,3333	0,0300
15	7	52	30	1,8	108	33,3333	0,0300
15	5	57	35	1,8	108	33,3333	0,0300
15	4	61	37	1,8	108	33,3333	0,0300
15	3,2	64,2	45	1,8	108	33,3333	0,0300
15	1,8	66	47	1,7	102	35,2941	0,0283
15	0,2	66,2	54	1,7	102	35,2941	0,0283
15	0	66,2	54	1,7	102	35,2941	0,0283

**3.3.3. Krom Atığı Elektro-Osmoz Deneyleri**

Bu deneyde tamamen suya doymun hale getirilen malzeme yukarıda bahsedilen uygulama şekli ile aynen yapılmış ve ölçülen değerler sırasıyla Çizelge 3.10, 3.11, 3.12, 3.13, 3.14 ve 3.15'de verilmiştir.

Toplam elektro-osmoz süresi 15 volt için 120 dk, 30 volt için 120 dk, 45 volt için 180 dk, 60 volt için 210 dk, 75 volt için 165 dk, 90 volt için 165 dakikada tamamlanmıştır.

**Çizelge 3. 10** Krom Atığı 15 Volt Elektro-Osmoz Deney Sonuçları

Deney Tarihi		26.02.2019		MALZEME: KROM MADEN ATIĞI			
Deney Numunesi		Krom Atığı		Eklenen su miktarı: 1500 cm <sup>3</sup>			
Elektrotlar Arası Mesafe		15 cm		Yerçekimi etkisi ile alınan su miktarı: 603.2 cm <sup>3</sup>			
Verilen Sabit Gerilim		15 Volt		Elektro-osmoz ile alınan su miktarı: 17.6 cm <sup>3</sup>			
Başlangıç Sıcaklığı		20 °C		Toplam alınan su miktarı: 620.8 cm <sup>3</sup>			
Ölçüm Yapan		Merve ERCİNS		γ : 1.64 gr/cm <sup>3</sup>			
Deney Süresi (dk)	Boşalım (cm <sup>3</sup> )	Kümülatif Boşalım (cm <sup>3</sup> )	Sıcaklık (°C)	Akım i, (amper)	Güç P, (watt)	Direnç R, (ohm)	İletkenlik (1 / R)
15	5	5	22	0,03	0,45	500	0,0020
15	6	11	22	0,03	0,45	500	0,0020
15	5	16	23	0,02	0,30	750	0,0013
15	1	17	23	0,02	0,30	750	0,0013
15	0,4	17,4	22	0,02	0,30	750	0,0013
15	0,2	17,6	22	0,02	0,30	750	0,0013
15	0	17,6	21	0,02	0,30	750	0,0013
15	0	17,6	21	0,02	0,30	750	0,0013

**Çizelge 3. 11** Krom Atığı 30 Volt Elektro-Osmoz Deney Sonuçları

Deney Tarihi		27.02.2019		MALZEME: KROM MADEN ATIĞI			
Deney Numunesi		Krom Atığı		Eklenen su miktarı: 570 cm <sup>3</sup>			
Elektrotlar Arası Mesafe		15 cm		Yerçekimi etkisi ile alınan su miktarı: 415.6 cm <sup>3</sup>			
Verilen Sabit Gerilim		30 Volt		Elektro-osmoz ile alınan su miktarı: 10 cm <sup>3</sup>			
Başlangıç Sıcaklığı		19°C		Toplam alınan su miktarı: 425.6 cm <sup>3</sup>			
Ölçüm Yapan		Merve ERCİNS		γ : 1.88 gr/cm <sup>3</sup>			
Deney Süresi (dk)	Boşalım (cm <sup>3</sup> )	Kümülatif Boşalım (cm <sup>3</sup> )	Sıcaklık (°C)	Akım i, (amper)	Güç P, (watt)	Direnç R, (ohm)	İletkenlik (1 / R)
15	2	2	20	0,06	1,8	500	0,0020
15	2	4	20	0,06	1,8	500	0,0020
15	3,6	7,6	21	0,06	1,8	500	0,0020
15	1,6	9,2	21	0,06	1,8	500	0,0020
15	0,6	9,8	22	0,06	1,8	500	0,0020
15	0,2	10	22	0,06	1,8	500	0,0020
15	0	10	22	0,06	1,8	500	0,0020
15	0	10	21	0,06	1,8	500	0,0020

**Çizelge 3. 12 Krom Atığı 45 Volt Elektro-Osmoz Deney Sonuçları**

Deney Tarihi		28.02.2019		MALZEME: KROM MADEN ATIĞI			
Deney Numunesi		Krom Atığı		Eklene su miktarı: 480 cm <sup>3</sup>			
Elektrotlar Arası Mesafe		15 cm		Yerçekimi etkisi ile alınan su miktarı: 408 cm <sup>3</sup>			
Verilen Sabit Gerilim		45 Volt		Elektro-osmoz ile alınan su miktarı: 7.6 cm <sup>3</sup>			
Başlangıç Sıcaklığı		20°C		Toplam alınan su miktarı: 415.6 cm <sup>3</sup>			
Ölçüm Yapan		Merve ERCİNS		Y : 1.84 gr/cm <sup>3</sup>			
Deney Süresi (dk)	Boşalım (cm <sup>3</sup> )	Kümülatif Boşalım (cm <sup>3</sup> )	Sıcaklık (°C)	Akım i, (amper)	Güç P, (watt)	Direnç R, (ohm)	İletkenlik (1 / R)
15	1	1	20	0,09	4,05	500	0,0020
15	0,8	1,8	21	0,09	4,05	500	0,0020
15	0,4	2,2	21	0,08	3,60	562,5	0,0018
15	1,2	3,4	21	0,08	3,60	562,5	0,0018
15	0,8	4,2	21	0,08	3,60	562,5	0,0018
15	1	5,2	22	0,08	3,60	562,5	0,0018
15	1,8	7	22	0,08	3,60	562,5	0,0018
15	0,2	7,2	22	0,08	3,60	562,5	0,0018
15	0,2	7,4	22	0,08	3,60	562,5	0,0018
15	0,2	7,6	23	0,08	3,60	562,5	0,0018
15	0	7,6	23	0,08	3,60	562,5	0,0018
15	0	7,6	23	0,08	3,60	562,5	0,0018

**Çizelge 3. 13 Krom Atığı 60 Volt Elektro-Osmoz Deney Sonuçları**

Deney Tarihi		01.03.2019		MALZEME: KROM MADEN ATIĞI			
Deney Numunesi		Krom Atığı		Eklene su miktarı: 440 cm <sup>3</sup>			
Elektrotlar Arası Mesafe		15 cm		Yerçekimi etkisi ile alınan su miktarı: 375.8 cm <sup>3</sup>			
Verilen Sabit Gerilim		60 Volt		Elektro-osmoz ile alınan su miktarı: 8.8 cm <sup>3</sup>			
Başlangıç Sıcaklığı		20°C		Toplam alınan su miktarı: 384.6 cm <sup>3</sup>			
Ölçüm Yapan		Merve ERCİNS		Y : 1.84 gr/cm <sup>3</sup>			
Deney Süresi (dk)	Boşalım (cm <sup>3</sup> )	Kümülatif Boşalım (cm <sup>3</sup> )	Sıcaklık (°C)	Akım i, (amper)	Güç P, (watt)	Direnç R, (ohm)	İletkenlik (1 / R)
15	2,5	2,5	22	0,1	6	600	0,0017
15	1,2	3,7	22	0,1	6	600	0,0017
15	0,6	4,3	22	0,1	6	600	0,0017
15	0,8	5,1	22	0,11	6,6	545,45	0,0018
15	0,6	5,7	23	0,11	6,6	545,45	0,0018
15	0,4	6,1	23	0,12	7,2	500	0,0020
15	0,2	6,3	23	0,12	7,2	500	0,0020
15	0,6	6,9	24	0,12	7,2	500	0,0020
15	0,5	7,4	24	0,12	7,2	500	0,0020
15	0,5	7,9	25	0,12	7,2	500	0,0020
15	0,5	8,4	25	0,12	7,2	500	0,0020
15	0,4	8,8	25	0,12	7,2	500	0,0020
15	0	8,8	25	0,1	6	600	0,0017
15	0	8,8	26	0,1	6	600	0,0017

**Çizelge 3. 14 Krom atığı 75 volt elektro-osmoz deney sonuçları**

Deney Tarihi		04.03.2019		MALZEME: KROM MADEN ATIĞI			
Deney Numunesi		Krom Atığı		Eklene su miktarı: 340 cm <sup>3</sup>			
Elektrotlar Arası Mesafe		15 cm		Yerçekimi etkisi ile alınan su miktarı: 285 cm <sup>3</sup>			
Verilen Sabit Gerilim		75 Volt		Elektro-osmoz ile alınan su miktarı: 6.5 cm <sup>3</sup>			
Başlangıç Sıcaklığı		19°C		Toplam alınan su miktarı: 291.5 cm <sup>3</sup>			
Ölçüm Yapan		Merve ERCİNS		Y : 1.74 gr/cm <sup>3</sup>			
Deney Süresi (dk)	Boşalım (cm <sup>3</sup> )	Kümülatif Boşalım (cm <sup>3</sup> )	Sıcaklık (°C)	Akım i, (amper)	Güç P, (watt)	Direnç R, (ohm)	İletkenlik (1 / R)
15	2,5	2,5	20	0,13	9,75	576,92	0,0017
15	1	3,5	21	0,13	9,75	576,92	0,0017
15	0,8	4,3	21	0,13	9,75	576,92	0,0017
15	0,6	4,9	23	0,13	9,75	576,92	0,0017
15	0,6	5,5	23	0,13	9,75	576,92	0,0017
15	0,4	5,9	24	0,14	10,5	535,71	0,0019
15	0,2	6,1	25	0,14	10,5	535,71	0,0019
15	0,2	6,3	25	0,14	10,5	535,71	0,0019
15	0,2	6,5	26	0,14	10,5	535,71	0,0019
15	0	6,5	26	0,14	10,5	535,71	0,0019
15	0	6,5	26	0,14	10,5	535,71	0,0019



**Çizelge 3. 15 Krom Atığı 90 Volt Elektro-Osmoz Deney Sonuçları**

Deney Tarihi	05.03.2019	MALZEME: KROM MADEN ATIĞI					
Deney Numunesi	Krom Atığı	Eklenen su miktarı: 600 cm <sup>3</sup>					
Elektrotlar Arası Mesafe	15 cm	Yerçekimi etkisi ile alınan su miktarı: 459.2 cm <sup>3</sup>					
Verilen Sabit Gerilim	90 Volt	Elektro-osmoz ile alınan su miktarı: 13.2 cm <sup>3</sup>					
Başlangıç Sıcaklığı	18°C	Toplam alınan su miktarı: 472.4 cm <sup>3</sup>					
Ölçüm Yapan	Merve ERCİNS	γ : 1.87 gr/cm <sup>3</sup>					
Deney Süresi (dk)	Boşalım (cm <sup>3</sup> )	Kümülatif Boşalım (cm <sup>3</sup> )	Sıcaklık (°C)	Akım i, (amper)	Güç P, (watt)	Direnç R, (ohm)	İletkenlik (1 / R)
15	3,2	3,2	20	0,17	15,3	529,41	0,0019
15	3,2	6,4	21	0,17	15,3	529,41	0,0019
15	2	8,4	22	0,17	15,3	529,41	0,0019
15	1,2	9,6	22	0,18	16,2	500,00	0,0020
15	1	10,6	24	0,19	17,1	473,68	0,0021
15	1	11,6	25	0,19	17,1	473,68	0,0021
15	0,8	12,4	26	0,20	18	450,00	0,0022
15	0,6	13	27	0,20	18	450,00	0,0022
15	0,2	13,2	28	0,20	18	450,00	0,0022
15	0	13,2	29	0,20	18	450,00	0,0022
15	0	13,2	30	0,20	18	450,00	0,0022

### 3.3.4. Kil Ara Kesme Artığı Elektro-Osmoz Deneyleri

Bu deneyde tamamen suya doymuş hale getirilen malzeme yukarıda bahsedilen uygulama şekli ile aynen yapılmış ve ölçülen değerler sırasıyla Çizelge 3.16, 3.17, 3.18, 3.19, 3.20 ve 3.21'de verilmiştir. Toplam elektro-osmoz süresi 15 volt için 195 dk, 30 volt için 195 dk, 45 volt için 270 dk, 60 volt için 315 dk, 75 volt için 270 dk, 90 volt için 210 dk da tamamlanmıştır.

**Çizelge 3. 16 Kil Artığı 15 Volt Elektro-Osmoz Deney Sonuçları**

Deney Tarihi	15.03.2019	MALZEME: KİL ARA KESME					
Deney Numunesi	Kil Ara Kesme	Eklenen su miktarı: 600 cm <sup>3</sup>					
Elektrotlar Arası Mesafe	15 cm	Yerçekimi etkisi ile alınan su miktarı: 454.2 cm <sup>3</sup>					
Verilen Sabit Gerilim	15 Volt	Elektro-osmoz ile alınan su miktarı: 40 cm <sup>3</sup>					
Başlangıç Sıcaklığı	18°C	Toplam alınan su miktarı: 494.2 cm <sup>3</sup>					
Ölçüm Yapan	Merve ERCİNS	γ : 1.64 gr/cm <sup>3</sup>					
Deney Süresi (dk)	Boşalım (cm <sup>3</sup> )	Kümülatif Boşalım (cm <sup>3</sup> )	Sıcaklık (°C)	Akım i, (amper)	Güç P, (watt)	Direnç R, (ohm)	İletkenlik (1 / R)
15	2	2	20	0,09	1,35	166,67	0,0060
15	2	4	20	0,09	1,35	166,67	0,0060
15	6	10	21	0,09	1,35	166,67	0,0060
15	8	18	21	0,09	1,35	166,67	0,0060
15	8	26	22	0,09	1,35	166,67	0,0060
15	6	32	22	0,09	1,35	166,67	0,0060
15	5	37	22	0,09	1,35	166,67	0,0060
15	2	39	23	0,09	1,35	166,67	0,0060
15	0,6	39,6	23	0,09	1,35	166,67	0,0060
15	0,2	39,8	24	0,09	1,35	166,67	0,0060
15	0,2	40	23	0,09	1,35	166,67	0,0060
15	0	40	23	0,09	1,35	166,67	0,0060
15	0	40	24	0,09	1,35	166,67	0,0060

**Çizelge 3. 17 Kil Artığı 30 Volt Elektro-Osmoz Deney Sonuçları**

Deney Tarihi	14.03.2019	MALZEME: KİL ARA KESME					
Deney Numunesi	Kil Ara Kesme	Eklenen su miktarı: 600 cm <sup>3</sup>					
Elektrotlar Arası Mesafe	15 cm	Yerçekimi etkisi ile alınan su miktarı: 477.6 cm <sup>3</sup>					
Verilen Sabit Gerilim	30 Volt	Elektro-osmoz ile alınan su miktarı: 30.4 cm <sup>3</sup>					
Başlangıç Sıcaklığı	18°C	Toplam alınan su miktarı: 508 cm <sup>3</sup>					
Ölçüm Yapan	Merve ERCİNS	γ : 1.65 gr/cm <sup>3</sup>					
Deney Süresi (dk)	Boşalım (cm <sup>3</sup> )	Kümülatif Boşalım (cm <sup>3</sup> )	Sıcaklık (°C)	Akım i, (amper)	Güç P, (watt)	Direnç R, (ohm)	İletkenlik (1 / R)
15	5,8	5,8	20	0,18	5,4	166,67	0,0060
15	5	10,8	21	0,20	6	150	0,0067
15	3,8	14,6	22	0,20	6	150	0,0067
15	2,8	17,4	23	0,20	6	150	0,0067
15	2	19,4	23	0,22	6,6	136,36	0,0073
15	3	22,4	23	0,23	6,9	130,43	0,0077
15	2,8	25,2	24	0,23	6,9	130,43	0,0077
15	2	27,2	23	0,23	6,9	130,43	0,0077
15	1,8	29	24	0,24	7,2	125	0,0080
15	1,2	30,2	24	0,24	7,2	125	0,0080
15	0,2	30,4	24	0,24	7,2	125	0,0080
15	0	30,4	25	0,24	7,2	125	0,0080
15	0	30,4	25	0,24	7,2	125	0,0080

**Çizelge 3. 18 Kil artığı 45 Volt Elektro-Osmoz Deney Sonuçları**

Deney Tarihi	13.03.2019	MALZEME: KİL ARA KESME					
Deney Numunesi	Kil Ara Kesme	Eklenen su miktarı: 600 cm <sup>3</sup>					
Elektrotlar Arası Mesafe	15 cm	Yerçekimi etkisi ile alınan su miktarı: 447.4 cm <sup>3</sup>					
Verilen Sabit Gerilim	45 Volt	Elektro-osmoz ile alınan su miktarı: 57.8 cm <sup>3</sup>					
Başlangıç Sıcaklığı	19°C	Toplam alınan su miktarı: 505.2cm <sup>3</sup>					
Ölçüm Yapan	Merve ERCİNS	γ : 1.64 gr/cm <sup>3</sup>					
Deney Süresi (dk)	Boşalım (cm <sup>3</sup> )	Kümülatif Boşalım (cm <sup>3</sup> )	Sıcaklık (°C)	Akım i, (amper)	Güç P, (watt)	Direnç R, (ohm)	İletkenlik (1 / R)
15	12	12	21	0,4	18	112,5	0,0089
15	9	21	22	0,4	18	112,5	0,0089
15	3	24	23	0,4	18	112,5	0,0089
15	5	29	24	0,4	18	112,5	0,0089
15	4,2	33,2	25	0,4	18	112,5	0,0089
15	4	37,2	25	0,4	18	112,5	0,0089
15	3,2	40,4	26	0,4	18	112,5	0,0089
15	3,2	43,6	28	0,4	18	112,5	0,0089
15	3,2	46,8	30	0,4	18	112,5	0,0089
15	2	48,8	30	0,4	18	112,5	0,0089
15	2	50,8	30	0,4	18	112,5	0,0089
15	2,2	53	33	0,4	18	112,5	0,0089
15	2	55	34	0,4	18	112,5	0,0089
15	1,4	56,4	34	0,4	18	112,5	0,0089
15	1,2	57,6	35	0,4	18	112,5	0,0089
15	0,2	57,8	34	0,4	18	112,5	0,0089
15	0	57,8	35	0,4	18	112,5	0,0089
15	0	57,8	35	0,4	18	112,5	0,0089

**Çizelge 3. 19 Kil Artığı 60 Volt Elektro-Osmoz Deney Sonuçları**

Deney Tarihi	12.03.2019		MALZEME: KİL ARA KESME				
Deney Numunesi	Kil Ara Kesme		Eklene su miktarı: 800 cm <sup>3</sup>				
Elektrotlar Arası Mesafe	15 cm		Yerçekimi etkisi ile alınan su miktarı: 620.6 cm <sup>3</sup>				
Verilen Sabit Gerilim	60 Volt		Elektro-osmoz ile alınan su miktarı: 67.6 cm <sup>3</sup>				
Başlangıç Sıcaklığı	17°C		Toplam alınan su miktarı: 688.2 cm <sup>3</sup>				
Ölçüm Yapan	Merve ERCİNS		Y : 1.63 gr/cm <sup>3</sup>				
Deney Süresi (dk)	Boşalım (cm <sup>3</sup> )	Kümülatif Boşalım (cm <sup>3</sup> )	Sıcaklık (°C)	Akım i, (amper)	Güç P, (watt)	Direnç R, (ohm)	İletkenlik (1 / R)
15	10	10	21	0,4	24	150	0,0067
15	9	19	22	0,5	30	120	0,0083
15	6	25	23	0,5	30	120	0,0083
15	6	31	24	0,5	30	120	0,0083
15	5	36	26	0,5	30	120	0,0083
15	4	40	28	0,5	30	120	0,0083
15	4	44	30	0,5	30	120	0,0083
15	1,2	45,2	32	0,5	30	120	0,0083
15	2,2	47,4	35	0,5	30	120	0,0083
15	3	50,4	36	0,5	30	120	0,0083
15	3,2	53,6	38	0,5	30	120	0,0083
15	2,8	56,4	40	0,5	30	120	0,0083
15	3	59,4	41	0,5	30	120	0,0083
15	1,2	60,6	43	0,5	30	120	0,0083
15	1,4	62	42	0,5	30	120	0,0083
15	1,6	63,6	45	0,5	30	120	0,0083
15	1,2	64,8	43	0,6	36	100	0,0100
15	2	66,8	44	0,6	36	100	0,0100
15	0,6	67,4	42	0,5	30	120	0,0083
15	0,2	67,6	42	0,5	30	120	0,0083
15	0	67,6	43	0,5	30	120	0,0083

**Çizelge 3. 20 Kil Artığı 75 Volt Elektro-Osmoz Deney Sonuçları**

Deney Tarihi	11.03.2019		MALZEME: KİL ARA KESME				
Deney Numunesi	Kil Ara Kesme		Eklene su miktarı: 2540 cm <sup>3</sup>				
Elektrotlar Arası Mesafe	15 cm		Yerçekimi etkisi ile alınan su miktarı: 609.4 cm <sup>3</sup>				
Verilen Sabit Gerilim	75 Volt		Elektro-osmoz ile alınan su miktarı: 58.2 cm <sup>3</sup>				
Başlangıç Sıcaklığı	17°C		Toplam alınan su miktarı: 667.6 cm <sup>3</sup>				
Ölçüm Yapan	Merve ERCİNS		Y : 1.63 gr/cm <sup>3</sup>				
Deney Süresi (dk)	Boşalım (cm <sup>3</sup> )	Kümülatif Boşalım (cm <sup>3</sup> )	Sıcaklık (°C)	Akım i, (amper)	Güç P, (watt)	Direnç R, (ohm)	İletkenlik (1 / R)
15	10	10	20	0,4	30	187,5	0,0053
15	9	19	23	0,4	30	187,5	0,0053
15	6	25	26	0,5	37,5	150	0,0067
15	6	31	28	0,5	37,5	150	0,0067
15	4,2	35,2	31	0,5	37,5	150	0,0067
15	4,2	39,4	34	0,5	37,5	150	0,0067
15	3,4	42,8	36	0,6	45	125	0,0080
15	3	45,8	37	0,6	45	125	0,0080
15	2,6	48,4	40	0,6	45	125	0,0080
15	2,2	50,6	43	0,6	45	125	0,0080
15	2	52,6	45	0,6	45	125	0,0080
15	1,6	54,2	47	0,6	45	125	0,0080
15	1,6	55,8	49	0,6	45	125	0,0080
15	1,2	57	50	0,6	45	125	0,0080
15	1	58	50	0,6	45	125	0,0080
15	0,2	58,2	49	0,6	45	125	0,0080
15	0	58,2	49	0,6	45	125	0,0080
15	0	58,2	49	0,6	45	125	0,0080

**Çizelge 3. 21 Kil Artığı 90 Volt Elektro-Osmoz Deney Sonuçları**

Deney Tarihi	18.03.2019	MALZEME: KİL ARA KESME					
Deney Numunesi	Kil Ara Kesme	Eklenen su miktarı: 640 cm <sup>3</sup>					
Elektrotlar Arası Mesafe	15 cm	Yerçekimi etkisi ile alınan su miktarı: 480 cm <sup>3</sup>					
Verilen Sabit Gerilim	90 Volt	Elektro-osmoz ile alınan su miktarı: 135cm <sup>3</sup>					
Başlangıç Sıcaklığı	19°C	Toplam alınan su miktarı: 615 cm <sup>3</sup>					
Ölçüm Yapan	Merve ERCİNS	Y : 1,62 gr/cm <sup>3</sup>					
Deney Süresi (dk)	Boşalım (cm <sup>3</sup> )	Kümülatif Boşalım (cm <sup>3</sup> )	Sıcaklık (°C)	Akım i, (amper)	Güç P, (watt)	Direnç R, (ohm)	İletkenlik (1 / R)
15	20	20	21	0,9	81	100	0,0100
15	30	50	22	1,00	90	90	0,0111
15	20	70	23	1,03	92,7	87,38	0,0114
15	18	88	27	1,03	92,7	87,38	0,0114
15	16	104	30	1,03	92,7	87,38	0,0114
15	12	116	34	1,03	92,7	87,38	0,0114
15	10	126	38	1,03	92,7	87,38	0,0114
15	4	130	40	1,03	92,7	87,38	0,0114
15	2	132	45	1,03	92,7	87,38	0,0114
15	1	133	50	1,03	92,7	87,38	0,0114
15	0,2	133,2	53	1,03	92,7	87,38	0,0114
15	1,2	134,4	54	0,9	81	100	0,0100
15	0,6	135	57	0,9	81	100	0,0100
15	0	135	58	0,9	81	100	0,0100

### 3.3.5 Kurşun-Çinko Atığı Elektro-Osmoz Deneyleri

Bu deneyde tamamen suya doymun hale getirilen malzeme yukarıda bahsedilen uygulama şekli ile aynen yapılmış ve ölçülen değerler sırasıyla Çizelge 3.22, 3.23, 3.24, 3.25, 3.26 ve 3.27'de verilmiştir. Toplam elektro-osmoz süresi 15 volt için 165 dk, 30 volt için 300 dk, 45 volt için 225dk, 60 volt için 210 dk, 75 volt için 225 dk, 90 volt için 225 dk da tamamlanmıştır.

**Çizelge 3. 22 Kurşun-Çinko Atığı 15 Volt Elektro-Osmoz Deney Sonuçları**

Deney Tarihi	21.03.2019	MALZEME: KURŞUN ÇİNKO					
Deney Numunesi	Kurşun Çinko	Eklenen su miktarı: 2000 cm <sup>3</sup>					
Elektrotlar Arası Mesafe	15 cm	Yerçekimi etkisi ile alınan su miktarı: 636.4 cm <sup>3</sup>					
Verilen Sabit Gerilim	15 Volt	Elektro-osmoz ile alınan su miktarı: 15.6 cm <sup>3</sup>					
Başlangıç Sıcaklığı	18°C	Toplam alınan su miktarı: 652 cm <sup>3</sup>					
Ölçüm Yapan	Merve ERCİNS	Y : 1.96 gr/cm <sup>3</sup>					
Deney Süresi (dk)	Boşalım (cm <sup>3</sup> )	Kümülatif Boşalım (cm <sup>3</sup> )	Sıcaklık (°C)	Akım i, (amper)	Güç P, (watt)	Direnç R, (ohm)	İletkenlik (1 / R)
15	6	6	20	0,35	5,25	42,86	0,0233
15	4	10	21	0,32	4,8	46,88	0,0213
15	2	12	22	0,3	4,5	50,00	0,0200
15	1	13	23	0,32	4,8	46,88	0,0213
15	1	14	23	0,32	4,8	46,88	0,0213
15	1	15	24	0,35	5,25	42,86	0,0233
15	0,2	15,2	24	0,4	6	37,50	0,0267
15	0,2	15,4	24	0,4	6	37,50	0,0267
15	0,2	15,6	25	0,4	6	37,50	0,0267
15	0	15,6	25	0,4	6	37,50	0,0267
15	0	15,6	25	0,4	6	37,50	0,0267

**Çizelge 3. 23 Kurşun-Çinko atığı 30 Volt Elektro-Osmoz Deney Sonuçları**

Deney Tarihi		22.03.2019		MALZEME: KURŞUN ÇİNKO			
Deney Numunesi		Kurşun Çinko		Eklene su miktarı: 700 cm <sup>3</sup>			
Elektrotlar Arası Mesafe		15 cm		Yerçekimi etkisi ile alınan su miktarı: 669,8 cm <sup>3</sup>			
Verilen Sabit Gerilim		30 Volt		Elektro-osmoz ile alınan su miktarı: 71,2 cm <sup>3</sup>			
Başlangıç Sıcaklığı		18°C		Toplam alınan su miktarı: 741 cm <sup>3</sup>			
Ölçüm Yapan		Merve ERCİNS		Y : 1.84 gr/cm <sup>3</sup>			
Deney Süresi (dk)	Boşalım (cm <sup>3</sup> )	Kümülatif Boşalım (cm <sup>3</sup> )	Sıcaklık (°C)	Akım i, (amper)	Güç P, (watt)	Direnç R, (ohm)	İletkenlik (1 / R)
15	6	6	20	1,00	30,00	30,00	0,0333
15	7	13	21	1,04	31,20	28,85	0,0347
15	10	23	23	1,05	31,50	28,57	0,0350
15	6	29	25	1,05	31,50	28,57	0,0350
15	8	37	26	1,13	33,9	26,55	0,0377
15	8	45	27	1,13	33,9	26,55	0,0377
15	7	52	30	1,14	34,2	26,32	0,0380
15	5	57	30	1,18	35,4	25,42	0,0393
15	4	61	30	1,17	35,1	25,64	0,0390
15	3	64	32	1,12	33,6	26,79	0,0373
15	1	65	30	1,12	33,6	26,79	0,0373
15	1	66	31	1,12	33,6	26,79	0,0373
15	1,4	67,4	32	1,13	33,9	26,55	0,0377
15	1,2	68,6	33	1,13	33,9	26,55	0,0377
15	1,2	69,8	33	1,14	34,2	26,32	0,0380
15	1	70,8	34	1,15	34,5	26,09	0,0383
15	0,2	71	33	1,15	34,5	26,09	0,0383
15	0,2	71,2	33	1,14	34,2	26,32	0,0380
15	0	71,2	33	1,14	34,2	26,32	0,0380
15	0	71,2	33	1,14	34,2	26,32	0,0380

**Çizelge 3. 24 Kurşun-Çinko Atığı 45 Volt Elektro-Osmoz Deney Sonuçları**

Deney Tarihi		25.03.2019		MALZEME: KURŞUN ÇİNKO			
Deney Numunesi		Kurşun Çinko		Eklene su miktarı: 800 cm <sup>3</sup>			
Elektrotlar Arası Mesafe		15 cm		Yerçekimi etkisi ile alınan su miktarı: 588 cm <sup>3</sup>			
Verilen Sabit Gerilim		45 Volt		Elektro-osmoz ile alınan su miktarı: 134,4 cm <sup>3</sup>			
Başlangıç Sıcaklığı		17°C		Toplam alınan su miktarı: 722,4 cm <sup>3</sup>			
Ölçüm Yapan		Merve ERCİNS		Y : 1.73 gr/cm <sup>3</sup>			
Deney Süresi (dk)	Boşalım (cm <sup>3</sup> )	Kümülatif Boşalım (cm <sup>3</sup> )	Sıcaklık (°C)	Akım i, (amper)	Güç P, (watt)	Direnç R, (ohm)	İletkenlik (1 / R)
15	12	12	20	0,80	36,00	56,25	0,0178
15	13	25	24	0,90	40,50	50,00	0,0200
15	10	35	28	1,3	58,50	34,62	0,0289
15	12	47	31	1,4	63,00	32,14	0,0311
15	18	65	32	1,3	58,50	34,62	0,0289
15	17	82	36	1,4	63,00	32,14	0,0311
15	16	98	38	1,09	49,05	41,28	0,0242
15	12	110	42	1,1	49,50	40,91	0,0244
15	10	120	49	1,11	49,95	40,54	0,0247
15	8	128	54	1,12	50,40	40,18	0,0249
15	4	132	56	1,11	49,95	40,54	0,0247
15	2	134	56	1,04	46,80	43,27	0,0231
15	0,4	134,4	56	0,99	44,55	45,45	0,0220
15	0	134,4	55	0,92	41,4	48,91	0,0204
15	0	134,4	55	0,92	41,4	48,91	0,0204

**Çizelge 3. 25 Kurşun-Çinko Atığı 60 Volt Elektro-Osmoz Deney Sonuçları**

Deney Tarihi		26.03.2019		MALZEME: KURŞUN ÇİNKO			
Deney Numunesi		Kurşun Çinko		Eklene su miktarı: 810 cm <sup>3</sup>			
Elektrotlar Arası Mesafe		15 cm		Yerçekimi etkisi ile alınan su miktarı: 580 cm <sup>3</sup>			
Verilen Sabit Gerilim		60 Volt		Elektro-osmoz ile alınan su miktarı: 160,8 cm <sup>3</sup>			
Başlangıç Sıcaklığı		18°C		Toplam alınan su miktarı: 740,8 cm <sup>3</sup>			
Ölçüm Yapan		Merve ERCİNS		Y : 1.69 gr/cm <sup>3</sup>			
Deney Süresi (dk)	Boşalım (cm <sup>3</sup> )	Kümülatif Boşalım (cm <sup>3</sup> )	Sıcaklık (°C)	Akım i, (amper)	Güç P, (watt)	Direnç R, (ohm)	İletkenlik (1 / R)
15	27	27	23	1,3	78,00	46,15	0,0217
15	31	58	29	1,2	72,00	50,00	0,0200
15	30	88	36	1,2	72,00	50,00	0,0200
15	20	108	40	0,9	54,00	66,67	0,0150
15	14	122	46	0,8	48,00	75,00	0,0133
15	11	133	49	0,8	48,00	75,00	0,0133
15	10	143	50	0,8	48,00	75,00	0,0133
15	9	152	52	0,78	46,80	76,92	0,0130
15	4,8	156,8	53	0,78	46,80	76,92	0,0130
15	3	159,8	54	0,7	42,00	85,71	0,0117
15	0,6	160,4	54	0,68	40,80	88,24	0,0113
15	0,4	160,8	54	0,62	37,2	96,77	0,0103
15	0	160,8	53	0,6	36	100,00	0,0100
15	0	160,8	53	0,6	36	100,00	0,0100

**Çizelge 3. 26** Kurşun-Çinko Atığı 75 Volt Elektro-Osmoz Deney Sonuçları

Deney Tarihi		27.03.2019		MALZEME: KURŞUN ÇİNKO			
Deney Numunesi		Kurşun Çinko		Eklenen su miktarı: 830 cm <sup>3</sup>			
Elektrotlar Arası Mesafe		15 cm		Yerçekimi etkisiyle alınan su miktarı: 615 cm <sup>3</sup>			
Verilen Sabit Gerilim		75 Volt		Elektro-osmoz ile alınan su miktarı: 153.4 cm <sup>3</sup>			
Başlangıç Sıcaklığı		18°C		Toplam alınan su miktarı: 768.4 cm <sup>3</sup>			
Ölçüm Yapan		Merve ERCİNS		Y : 1.71 gr/cm <sup>3</sup>			
Deney Süresi (dk)	Boşalım (cm <sup>3</sup> )	Kümülatif Boşalım (cm <sup>3</sup> )	Sıcaklık (°C)	Akım i, (amper)	Güç P, (watt)	Direnç R, (ohm)	İletkenlik (1 / R)
15	27	27	23	1,4	105	53,57	0,0187
15	37	64	30	1,20	90	62,50	0,0160
15	30	94	36	0,90	67,5	83,33	0,0120
15	16	110	40	0,85	63,75	88,24	0,0113
15	15	125	45	0,8	60,00	93,75	0,0107
15	8	133	46	0,7	52,50	107,14	0,0093
15	6	139	47	0,7	52,50	107,14	0,0093
15	6	145	52	0,65	48,75	115,38	0,0087
15	5	150	56	0,65	48,75	115,38	0,0087
15	2,2	152,2	56	0,65	48,75	115,38	0,0087
15	0,8	153	57	0,65	48,75	115,38	0,0087
15	0,2	153,2	57	0,63	47,25	119,05	0,0084
15	0,2	153,4	57	0,6	45,00	125,00	0,0080
15	0	153,4	56	0,6	45,00	125,00	0,0080
15	0	153,4	56	0,6	45,00	125,00	0,0080

**Çizelge 3. 27** Kurşun-Çinko Atığı 90 Volt Elektro-Osmoz Deney Sonuçları

Deney Tarihi		28.03.2019		MALZEME: KURŞUN ÇİNKO			
Deney Numunesi		Kurşun Çinko		Eklenen su miktarı: 840 cm <sup>3</sup>			
Elektrotlar Arası Mesafe		15 cm		Yerçekimi etkisi ile alınan su miktarı: 625.4 cm <sup>3</sup>			
Verilen Sabit Gerilim		90 Volt		Elektro-osmoz ile alınan su miktarı: 142.2 cm <sup>3</sup>			
Başlangıç Sıcaklığı		18°C		Toplam alınan su miktarı: 767.6 cm <sup>3</sup>			
Ölçüm Yapan		Merve ERCİNS		Y : 1.72 gr/cm <sup>3</sup>			
Deney Süresi (dk)	Boşalım (cm <sup>3</sup> )	Kümülatif Boşalım (cm <sup>3</sup> )	Sıcaklık (°C)	Akım i, (amper)	Güç P, (watt)	Direnç R, (ohm)	İletkenlik (1 / R)
15	28	28	24	1,4	126	64,29	0,0156
15	30	58	30	1,3	117	69,23	0,0144
15	25	83	38	0,90	81	100	0,0100
15	16	99	45	0,70	63	128,57	0,0078
15	15	114	50	0,65	58,5	138,46	0,0072
15	10	124	52	0,65	58,50	138,46	0,0072
15	6	130	54	0,6	54,00	150	0,0067
15	5	135	55	0,58	52,20	155,17	0,0064
15	4	139	56	0,58	52,20	155,17	0,0064
15	2	141	56	0,58	52,20	155,17	0,0064
15	0,8	141,8	56	0,58	52,20	155,17	0,0064
15	0,2	142	56	0,6	54,00	150,00	0,0067
15	0,2	142,2	56	0,6	54,00	150,00	0,0067
15	0	142,2	56	0,58	52,20	155,17	0,0064
15	0	142,2	56	0,58	52,20	155,17	0,0064

### 3.3.6. Kaolen Artığı Elektro-Osmoz Deneyleri

Bu deneyde tamamen suya doymun hale getirilen malzeme yukarıda bahsedilen uygulama şekli ile aynen yapılmış ve ölçülen değerler sırasıyla Çizelge 3.28, 3.29, 3.30, 3.31, 3.32 ve 3.33'de verilmiştir. Toplam elektro-osmoz süresi 15 volt için 150 dk, 30 volt için 180 dk, 45 volt için 195 dk, 60 volt için 195 dk, 75 volt için 240 dk, 90 volt için 195 dk da tamamlanmıştır.

**Çizelge 3. 28** Kaolen Malzemesi 15 Volt Elektro-Osmoz Deney Sonuçları

Deney Tarihi		05.04.2019		MALZEME: KAOLEN			
Deney Numunesi		Kaolen		Eklenen su miktarı: 2300 cm <sup>3</sup>			
Elektrotlar Arası Mesafe		15 cm		Yerçekimi etkisi ile alınan su miktarı: 749cm <sup>3</sup>			
Verilen Sabit Gerilim		15 Volt		Elektro-osmoz ile alınan su miktarı: 16.2 cm <sup>3</sup>			
Başlangıç Sıcaklığı		17°C		Toplam alınan su miktarı: 765.2 cm <sup>3</sup>			
Ölçüm Yapan		Merve ERCİNS		Y : 2.08 gr/cm <sup>3</sup>			
Deney Süresi (dk)	Boşalım (cm <sup>3</sup> )	Kümülatif Boşalım (cm <sup>3</sup> )	Sıcaklık (°C)	Akım i, (amper)	Güç P, (watt)	Direnç R, (ohm)	İletkenlik (1 / R)
15	1,8	1,8	19	0,01	0,15	1500	0,0007
15	4,2	6	20	0,01	0,15	1500	0,0007
15	3,2	9,2	20	0,01	0,15	1500	0,0007
15	2	11,2	20	0,01	0,15	1500	0,0007
15	1,8	13	20	0,01	0,15	1500	0,0007
15	2	15	21	0,01	0,15	1500	0,0007
15	1	16	21	0,01	0,15	1500	0,0007
15	0,2	16,2	20	0,01	0,15	1500	0,0007
15	0	16,2	20	0,01	0,15	1500	0,0007
15	0	16,2	20	0,01	0,15	1500	0,0007

**Çizelge 3. 29** Kaolen Malzemesi 30 Volt Elektro-Osmoz Deney Sonuçları

Deney Tarihi		08.04.2019		MALZEME: KAOLEN			
Deney Numunesi		Kaolen		Eklene su miktarı: 830 cm <sup>3</sup>			
Elektrotlar Arası Mesafe		15 cm		Yerçekimi etkisi ile alınan su miktarı: 663cm <sup>3</sup>			
Verilen Sabit Gerilim		30 Volt		Elektro-osmoz ile alınan su miktarı: 24.6 cm <sup>3</sup>			
Başlangıç Sıcaklığı		16°C		Toplam alınan su miktarı: 687.6 cm <sup>3</sup>			
Ölçüm Yapan		Merve ERCİNS		Y : 2.05 gr/cm <sup>3</sup>			
Deney Süresi (dk)	Boşalım (cm <sup>3</sup> )	Kümülatif Boşalım (cm <sup>3</sup> )	Sıcaklık (°C)	Akım i, (amper)	Güç P, (watt)	Direnç R, (ohm)	İletkenlik (1 / R)
15	2,4	2,4	19	0,02	0,60	1500	0,0007
15	3	5,4	19	0,02	0,60	1500	0,0007
15	4	9,4	19	0,02	0,60	1500	0,0007
15	4,2	13,6	20	0,02	0,60	1500	0,0007
15	3,8	17,4	20	0,02	0,60	1500	0,0007
15	1	18,4	21	0,02	0,60	1500	0,0007
15	1,4	19,8	21	0,018	0,54	1666,7	0,0006
15	2,6	22,4	21	0,017	0,51	1764,7	0,0006
15	1	23,4	21	0,017	0,51	1764,7	0,0006
15	1	24,4	21	0,017	0,51	1764,7	0,0006
15	0,2	24,6	21	0,016	0,48	1875	0,0005
15	0	24,6	20	0,016	0,48	1875	0,0005

**Çizelge 3. 30** Kaolen Malzemesi 45 Volt Elektro-Osmoz Deney Sonuçları

Deney Tarihi		09.04.2019		MALZEME: KAOLEN			
Deney Numunesi		Kaolen		Eklene su miktarı: 755 cm <sup>3</sup>			
Elektrotlar Arası Mesafe		15 cm		Yerçekimi etkisi ile alınan su miktarı: 682.8cm <sup>3</sup>			
Verilen Sabit Gerilim		45 Volt		Elektro-osmoz ile alınan su miktarı: 25.2 cm <sup>3</sup>			
Başlangıç Sıcaklığı		18°C		Toplam alınan su miktarı: 708 cm <sup>3</sup>			
Ölçüm Yapan		Merve ERCİNS		Y : 2.03 gr/cm <sup>3</sup>			
Deney Süresi (dk)	Boşalım (cm <sup>3</sup> )	Kümülatif Boşalım (cm <sup>3</sup> )	Sıcaklık (°C)	Akım i, (amper)	Güç P, (watt)	Direnç R, (ohm)	İletkenlik (1 / R)
15	4	4	19	0,028	1,26	1607	0,0006
15	4	8	19	0,028	1,26	1607	0,0006
15	3	11	20	0,028	1,26	1607	0,0006
15	3	14	20	0,025	1,13	1800	0,0006
15	2	16	20	0,025	1,13	1800	0,0006
15	2,6	18,6	20	0,025	1,13	1800	0,0006
15	1,8	20,4	21	0,024	1,08	1875	0,0005
15	1,4	21,8	21	0,024	1,08	1875	0,0005
15	1,2	23	21	0,024	1,08	1875	0,0005
15	1	24	21	0,024	1,08	1875	0,0005
15	1	25	21	0,024	1,08	1875	0,0005
15	0,2	25,2	21	0,024	1,08	1875	0,0005
15	0	25,2	21	0,024	1,08	1875	0,0005

**Çizelge 3. 31** Kaolen Malzemesi 60 Volt Elektro-Osmoz Deney Sonuçları

Deney Tarihi		10.04.2019		MALZEME: KAOLEN			
Deney Numunesi		Kaolen		Eklene su miktarı: 700 cm <sup>3</sup>			
Elektrotlar Arası Mesafe		15 cm		Yerçekimi etkisi ile alınan su miktarı: 642.4cm <sup>3</sup>			
Verilen Sabit Gerilim		60 Volt		Elektro-osmoz ile alınan su miktarı: 54.8 cm <sup>3</sup>			
Başlangıç Sıcaklığı		18°C		Toplam alınan su miktarı: 697.2 cm <sup>3</sup>			
Ölçüm Yapan		Merve ERCİNS		Y : 1.91 gr/cm <sup>3</sup>			
Deney Süresi (dk)	Boşalım (cm <sup>3</sup> )	Kümülatif Boşalım (cm <sup>3</sup> )	Sıcaklık (°C)	Akım i, (amper)	Güç P, (watt)	Direnç R, (ohm)	İletkenlik (1 / R)
15	14	14	20	0,042	2,52	1429	0,0007
15	9	23	20	0,040	2,40	1500	0,0007
15	11	34	20	0,040	2,40	1500	0,0007
15	7	41	21	0,038	2,28	1579	0,0006
15	4	45	21	0,038	2,28	1579	0,0006
15	2,2	47,2	21	0,038	2,28	1579	0,0006
15	2	49,2	21	0,038	2,28	1579	0,0006
15	2	51,2	21	0,038	2,28	1579	0,0006
15	2	53,2	21	0,038	2,28	1579	0,0006
15	1	54,2	21	0,038	2,28	1579	0,0006
15	0,4	54,6	21	0,038	2,28	1579	0,0006
15	0,2	54,8	21	0,038	2,28	1579	0,0006
15	0	54,8	21	0,038	2,28	1579	0,0006

**Çizelge 3. 32** Kaolen Malzemesi 75 Volt Elektro-Osmoz Deney Sonuçları

Deney Tarihi		11.04.2019		MALZEME: KAOLEN			
Deney Numunesi		Kaolen		Eklenen su miktarı: 680 cm <sup>3</sup>			
Elektrotlar Arası Mesafe		15 cm		Yerçekimi etkisi ile alınan su miktarı: 595.2 cm <sup>3</sup>			
Verilen Sabit Gerilim		75 Volt		Elektro-osmoz ile alınan su miktarı: 71.6 cm <sup>3</sup>			
Başlangıç Sıcaklığı		16°C		Toplam alınan su miktarı: 666.8 cm <sup>3</sup>			
Ölçüm Yapan		Merve ERCİNS		Y : 1.808 gr/cm <sup>3</sup>			
Deney Süresi (dk)	Boşalım (cm <sup>3</sup> )	Kümülatif Boşalım (cm <sup>3</sup> )	Sıcaklık (°C)	Akım i, (amper)	Güç P, (watt)	Direnç R, (ohm)	İletkenlik (1 / R)
15	7,8	7,8	19	0,053	3,98	1415,09	0,0007
15	10	17,8	20	0,050	3,75	1500,00	0,0007
15	9	26,8	21	0,048	3,60	1562,50	0,0006
15	11	37,8	21	0,048	3,60	1562,50	0,0006
15	10	47,8	21	0,046	3,45	1630,43	0,0006
15	7	54,8	21	0,046	3,45	1630,43	0,0006
15	5	59,8	21	0,043	3,23	1744,19	0,0006
15	3,4	63,2	22	0,043	3,23	1744,19	0,0006
15	3	66,2	22	0,042	3,15	1785,71	0,0006
15	2	68,2	22	0,042	3,15	1785,71	0,0006
15	1,2	69,4	22	0,042	3,15	1785,71	0,0006
15	1	70,4	22	0,042	3,15	1785,71	0,0006
15	1	71,4	23	0,041	3,08	1829,27	0,0005
15	0,2	71,6	23	0,041	3,08	1829,27	0,0005
15	0	71,6	22	0,041	3,08	1829,27	0,0005
15	0	71,6	22	0,041	3,08	1829,27	0,0005

**Çizelge 3. 33** Kaolen Malzemesi 90 Volt Elektro-Osmoz Deney Sonuçları

Deney Tarihi		12.04.2019		MALZEME: KAOLEN			
Deney Numunesi		Kaolen		Eklenen su miktarı: 630 cm <sup>3</sup>			
Elektrotlar Arası Mesafe		15 cm		Yerçekimi etkisi ile alınan su miktarı: 525.6 cm <sup>3</sup>			
Verilen Sabit Gerilim		90 Volt		Elektro-osmoz ile alınan su miktarı: 53.6 cm <sup>3</sup>			
Başlangıç Sıcaklığı		18°C		Toplam alınan su miktarı: 579.2 cm <sup>3</sup>			
Ölçüm Yapan		Merve ERCİNS		Y : 1.92 gr/cm <sup>3</sup>			
Deney Süresi (dk)	Boşalım (cm <sup>3</sup> )	Kümülatif Boşalım (cm <sup>3</sup> )	Sıcaklık (°C)	Akım i, (amper)	Güç P, (watt)	Direnç R, (ohm)	İletkenlik (1 / R)
15	10	10	19	0,053	4,77	1698,11	0,0006
15	12	22	20	0,052	4,68	1730,77	0,0006
15	6	28	20	0,050	4,50	1800,00	0,0006
15	5,2	33,2	21	0,050	4,50	1800,00	0,0006
15	5	38,2	22	0,048	4,32	1875,00	0,0005
15	4,2	42,4	22	0,048	4,32	1875,00	0,0005
15	3,4	45,8	22	0,045	4,05	2000,00	0,0005
15	2,6	48,4	22	0,043	3,87	2093,02	0,0005
15	2	50,4	22	0,043	3,87	2093,02	0,0005
15	2	52,4	23	0,043	3,87	2093,02	0,0005
15	1	53,4	23	0,044	3,96	2045,45	0,0005
15	0,2	53,6	23	0,044	3,96	2045,45	0,0005
15	0	53,6	23	0,044	3,96	2045,45	0,0005

**3.2.6. Demir Atığı Elektro-Osmoz Deneyleri**

Bu deneyde tamamen suya doygun hale getirilen malzeme yukarıda bahsedilen uygulamaya şekli ile aynen yapılmış ve ölçülen değerler sırasıyla Çizelge 3.31, 3.32, 3.33, 3.34, 3.35 ve 3.36'da verilmiştir.

Toplam elektro-osmoz süresi 15 volt için 195 dk, 30 volt için 195 dk, 45 volt için 270 dk, 60 volt için 315 dk, 75 volt için 270 dk, 90 volt için 210 dk da tamamlanmıştır.



**Çizelge 3. 34** Demir Atığı 15 Volt Elektro-Osmoz Deney Sonuçları

Deney Tarihi		26.04.2019		MALZEME : DEMİR			
Deney Numunesi		Demir		Eklenen su miktarı: 700 cm <sup>3</sup>			
Elektrotlar Arası Mesafe		15 cm		Yerçekimi etkisiyle alınan su miktarı: 535.6 cm <sup>3</sup>			
Verilen Sabit Gerilim		15 Volt		Elektro-osmoz ile alınan su miktarı: 31.6 cm <sup>3</sup>			
Başlangıç Sıcaklığı		17°C		Toplam alınan su miktarı: 567.2 cm <sup>3</sup>			
Ölçüm Yapan		Merve ERCİNS		Y : 2.252 gr/cm <sup>3</sup>			
Deney Süresi (dk)	Boşalım (cm <sup>3</sup> )	Kümülatif Boşalım (cm <sup>3</sup> )	Sıcaklık (°C)	Akım i, (amper)	Güç P, (watt)	Direnç R, (ohm)	İletkenlik (1 / R)
15	9	9	19	0,105	1,58	142,86	0,0070
15	6	15	19	0,104	1,56	144,23	0,0069
15	3	18	19	0,107	1,61	140,19	0,0071
15	3	21	19	0,108	1,62	138,89	0,0072
15	2,4	23,4	19	0,101	1,52	148,51	0,0067
15	2	25,4	20	0,091	1,37	164,84	0,0061
15	2	27,4	20	0,082	1,23	182,93	0,0055
15	1,8	29,2	20	0,079	1,19	189,87	0,0053
15	1,2	30,4	20	0,078	1,17	192,31	0,0052
15	1	31,4	20	0,078	1,17	192,31	0,0052
15	0,2	31,6	20	0,078	1,17	192,31	0,0052
15	0	31,6	20	0,079	1,19	189,87	0,0053

**Çizelge 3. 35** Demir Atığı 30 Volt Elektro-Osmoz Deney Sonuçları

Deney Tarihi		29.04.2019		MALZEME : DEMİR			
Deney Numunesi		Demir		Eklenen su miktarı: 600 cm <sup>3</sup>			
Elektrotlar Arası Mesafe		15 cm		Yerçekimi etkisiyle alınan su miktarı: 470.4 cm <sup>3</sup>			
Verilen Sabit Gerilim		30 Volt		Elektro-osmoz ile alınan su miktarı: 35.2 cm <sup>3</sup>			
Başlangıç Sıcaklığı		20°C		Toplam alınan su miktarı: 505.6 cm <sup>3</sup>			
Ölçüm Yapan		Merve ERCİNS		Y : 2.048 gr/cm <sup>3</sup>			
Deney Süresi (dk)	Boşalım (cm <sup>3</sup> )	Kümülatif Boşalım (cm <sup>3</sup> )	Sıcaklık (°C)	Akım i, (amper)	Güç P, (watt)	Direnç R, (ohm)	İletkenlik 1 / R
15	12	12	20	0,204	6,12	147,06	0,0068
15	7	19	20	0,200	6,00	150,00	0,0067
15	5	24	21	0,183	5,49	163,93	0,0061
15	3,2	27,2	21	0,152	4,56	197,37	0,0051
15	2	29,2	21	0,134	4,02	223,88	0,0045
15	2	31,2	23	0,132	3,96	227,27	0,0044
15	1,8	33	24	0,136	4,08	220,59	0,0045
15	1	34	24	0,144	4,32	208,33	0,0048
15	1	35	24	0,135	4,05	222,22	0,0045
15	0,2	35,2	24	0,132	3,96	227,27	0,0044
15	0	35,2	24	0,138	4,14	217,39	0,0046

**Çizelge 3. 36** Demir Atığı 45 Volt Elektro-Osmoz Deney Sonuçları

Deney Tarihi		06.05.2019		MALZEME : DEMİR			
Deney Numunesi		Demir		Eklenen su miktarı: 690 cm <sup>3</sup>			
Elektrotlar Arası Mesafe		15 cm		Yerçekimi etkisiyle alınan su miktarı: 420.8 cm <sup>3</sup>			
Verilen Sabit Gerilim		45 Volt		Elektro-osmoz ile alınan su miktarı: 38.8 cm <sup>3</sup>			
Başlangıç Sıcaklığı		17°C		Toplam alınan su miktarı: 459.6 cm <sup>3</sup>			
Ölçüm Yapan		Merve ERCİNS		Y : 2.004 gr/cm <sup>3</sup>			
Deney Süresi (dk)	Boşalım (cm <sup>3</sup> )	Kümülatif Boşalım (cm <sup>3</sup> )	Sıcaklık (°C)	Akım i, (amper)	Güç P, (watt)	Direnç R, (ohm)	İletkenlik 1 / R
15	14	14	18	0,214	9,63	210,28	0,0048
15	9	23	19	0,189	8,51	238,10	0,0042
15	3	26	19	0,171	7,70	263,16	0,0038
15	3	29	19	0,169	7,61	266,27	0,0038
15	2,2	31,2	20	0,170	7,65	264,71	0,0038
15	2	33,2	20	0,161	7,25	279,50	0,0036
15	2	35,2	21	0,174	7,83	258,62	0,0039
15	1,2	36,4	21	0,183	8,24	245,90	0,0041
15	1,2	37,6	21	0,176	7,92	255,68	0,0039
15	1	38,6	22	0,172	7,74	261,63	0,0038
15	0,2	38,8	22	0,167	7,52	269,46	0,0037
15	0	38,8	22	0,169	7,61	266,272	0,0038

**Çizelge 3. 37** Demir Atığı 60 Volt Elektro-Osmoz Deney Sonuçları

Deney Tarihi	07.05.2019		MALZEME : DEMİR				
Deney Numunesi	Demir		Eklenen su miktarı: 675 cm <sup>3</sup>				
Elektrotlar Arası Mesafe	15 cm		Yerçekimi etkisiyle alınan su miktarı: 591 cm <sup>3</sup>				
Verilen Sabit Gerilim	60 Volt		Elektro-osmoz ile alınan su miktarı: 40.6 cm <sup>3</sup>				
Başlangıç Sıcaklığı	17°C		Toplam alınan su miktarı: 631.6 cm <sup>3</sup>				
Ölçüm Yapan	Merve ERCİNS		Y : 1.932 gr/cm <sup>3</sup>				
Deney Süresi (dk)	Boşalım (cm <sup>3</sup> )	Kümülatif Boşalım (cm <sup>3</sup> )	Sıcaklık (°C)	Akım i, (amper)	Güç P, (watt)	Direnç R, (ohm)	İletkenlik 1 / R
15	18	18	18	0,243	14,58	246,91	0,0041
15	4,2	22,2	19	0,247	14,82	242,91	0,0041
15	4	26,2	20	0,252	15,12	238,10	0,0042
15	3	29,2	21	0,256	15,36	234,38	0,0043
15	3	32,2	22	0,283	16,98	212,01	0,0047
15	2,2	34,4	23	0,291	17,46	206,19	0,0049
15	2	36,4	23	0,317	19,02	189,27	0,0053
15	1,8	38,2	23	0,326	19,56	184,05	0,0054
15	1,2	39,4	25	0,314	18,84	191,08	0,0052
15	1	40,4	26	0,338	20,28	177,51	0,0056
15	0,2	40,6	26	0,327	19,62	183,49	0,0055
15	0	40,6	26	0,331	19,86	181,269	0,0055

**Çizelge 3. 38** Demir Atığı 75 Volt Elektro-Osmoz Deney Sonuçları

Deney Tarihi	08.05.2019		MALZEME : DEMİR				
Deney Numunesi	Demir		Eklenen su miktarı: 620 cm <sup>3</sup>				
Elektrotlar Arası Mesafe	15 cm		Yerçekimi etkisiyle alınan su miktarı: 568.8 cm <sup>3</sup>				
Verilen Sabit Gerilim	75 Volt		Elektro-osmoz ile alınan su miktarı: 51 cm <sup>3</sup>				
Başlangıç Sıcaklığı	17°C		Toplam alınan su miktarı: 616.8 cm <sup>3</sup>				
Ölçüm Yapan	Merve ERCİNS		Y : 1.784 gr/cm <sup>3</sup>				
Deney Süresi (dk)	Boşalım (cm <sup>3</sup> )	Kümülatif Boşalım (cm <sup>3</sup> )	Sıcaklık (°C)	Akım i, (amper)	Güç P, (watt)	Direnç R, (ohm)	İletkenlik 1 / R
15	19	19	18	0,276	20,70	271,74	0,0037
15	5	24	19	0,3	22,50	250,00	0,0040
15	4,8	28,8	20	0,316	23,70	237,34	0,0042
15	4	32,8	21	0,328	24,60	228,66	0,0044
15	3,8	36,6	23	0,376	28,20	199,47	0,0050
15	3,2	39,8	26	0,392	29,40	191,33	0,0052
15	3	42,8	28	0,411	30,83	182,48	0,0055
15	3	45,8	29	0,423	31,73	177,30	0,0056
15	2	47,8	30	0,437	32,78	171,62	0,0058
15	2	49,8	30	0,445	33,38	168,54	0,0059
15	1	50,8	31	0,46	34,50	163,04	0,0061
15	0,2	51	32	0,456	34,20	164,474	0,0061
15	0	51	32	0,472	35,4	158,8983	0,0063

**Çizelge 3. 39** Demir Atığı 90 Volt Elektro-Osmoz Deney Sonuçları

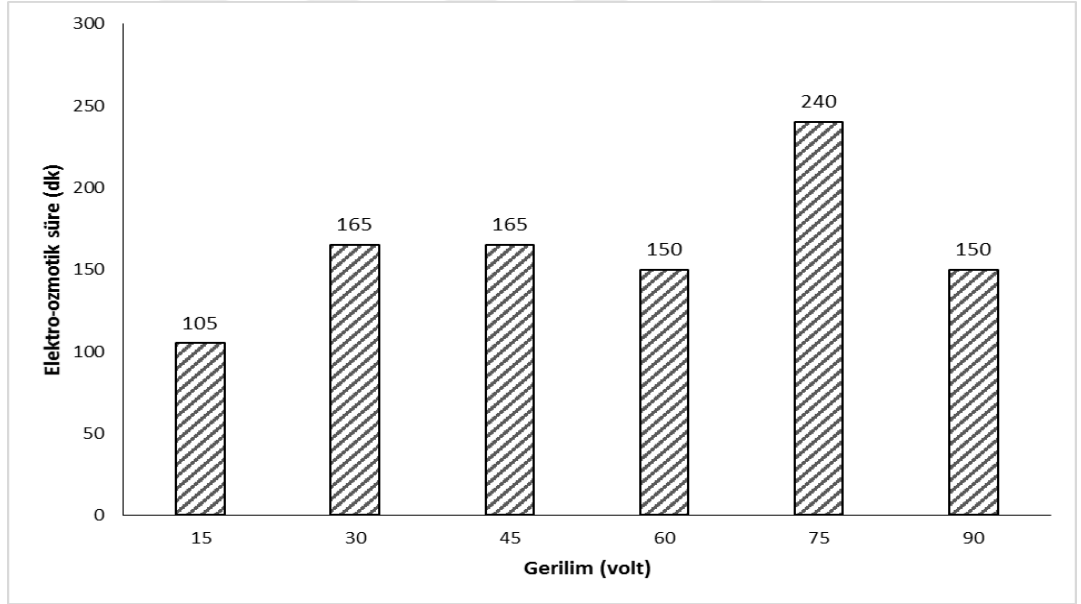
Deney Tarihi	09.05.2019		MALZEME : DEMİR				
Deney Numunesi	Demir		Eklenen su miktarı: 600 cm <sup>3</sup>				
Elektrotlar Arası Mesafe	15 cm		Yerçekimi etkisiyle alınan su miktarı: 510.3 cm <sup>3</sup>				
Verilen Sabit Gerilim	90 Volt		Elektro-osmoz ile alınan su miktarı: 77.4 cm <sup>3</sup>				
Başlangıç Sıcaklığı	17°C		Toplam alınan su miktarı: 587.7 cm <sup>3</sup>				
Ölçüm Yapan	Merve ERCİNS		Y : 1.672 gr/cm <sup>3</sup>				
Deney Süresi (dk)	Boşalım (cm <sup>3</sup> )	Kümülatif Boşalım (cm <sup>3</sup> )	Sıcaklık (°C)	Akım i, (amper)	Güç P, (watt)	Direnç R, (ohm)	İletkenlik 1 / R
15	23	23	18	0,311	27,99	289,39	0,0035
15	14	37	19	0,346	31,14	260,12	0,0038
15	6	43	22	0,377	33,93	238,73	0,0042
15	6	49	23	0,396	35,64	227,27	0,0044
15	5	54	26	0,447	40,23	201,34	0,0050
15	4,8	58,8	30	0,475	42,75	189,47	0,0053
15	4,2	63	32	0,478	43,02	188,28	0,0053
15	4	67	34	0,489	44,01	184,05	0,0054
15	3	70	35	0,506	45,54	177,87	0,0056
15	3	73	39	0,517	46,53	174,08	0,0057
15	2	75	40	0,515	46,35	174,76	0,0057
15	1,2	76,2	41	0,519	46,71	173,410	0,0058
15	1	77,2	42	0,525	47,25	171,4286	0,0058
15	0,2	77,4	42	0,528	47,52	170,4545	0,0059
15	0	77,4	42	0,532	47,88	169,1729	0,0059

#### 4. BULGULAR VE TARTIŞMA

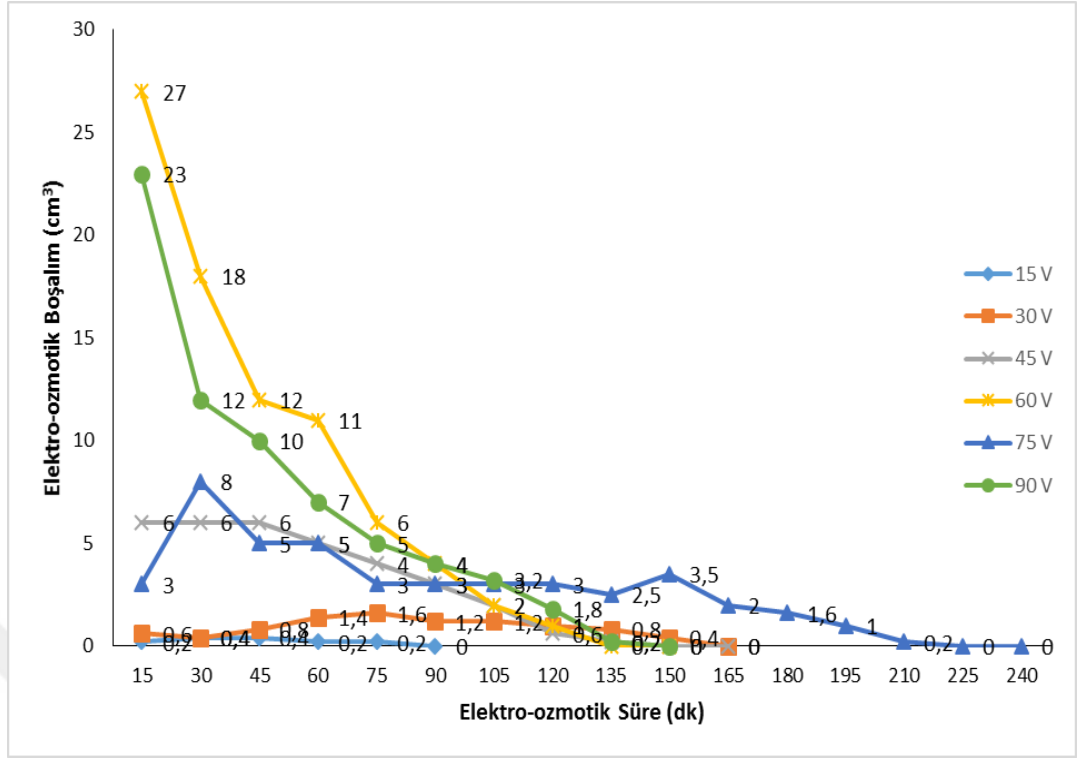
Bu bölümde farklı maden atıkları üzerinde yapılan elektro-osmoz deney sonuçları ile elektro-ozmotik süre, voltaj, su boşalımı, akım, harcanan enerji, maden atıklarının kuru ve doymuş birim hacim ağırlığı, porozite, su muhtevası, ortalama boşalım hızı gibi değişkenler arasındaki ilişkiler geliştirilmiştir. Ayrıca maden atıklarının özellikleri ile ilgili laboratuvar deney çalışmaları yapılmış olup sonuçları değerlendirilmiştir..

##### 4.1 Elektro-Osmoz Deneyleri Kömür Baca Külü Sonuçları ve Değerlendirmesi

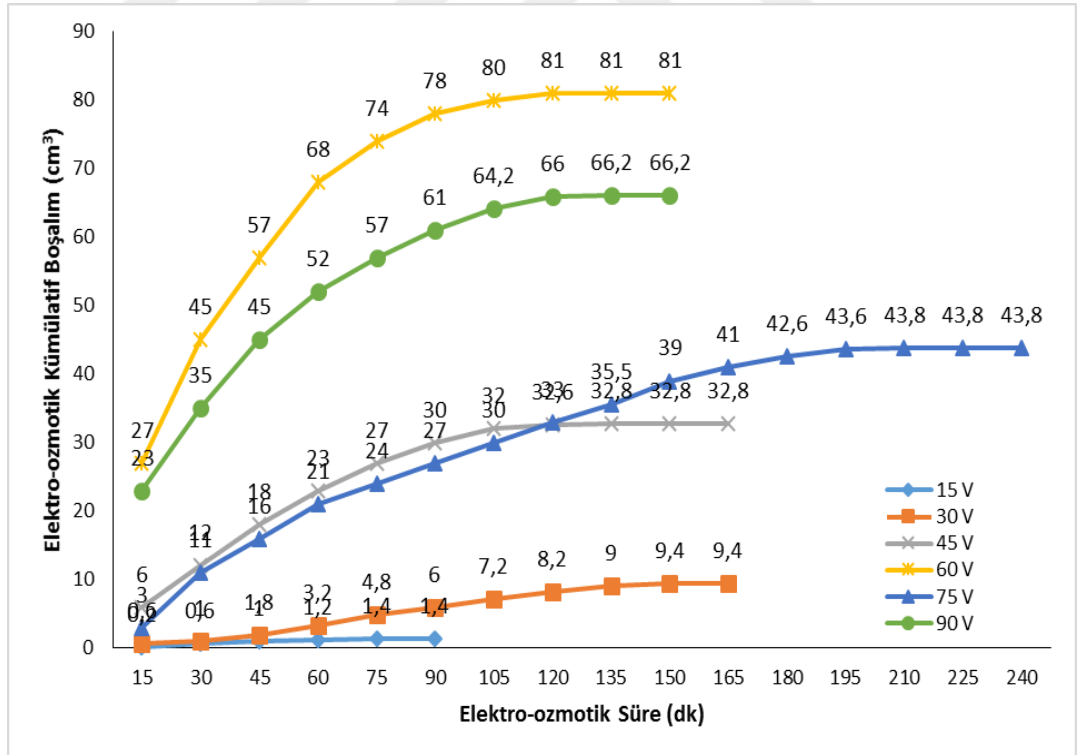
Elektro-osmoz deneyleri kömür baca külünde delikli çelik anot çubukları katot borusunun sağında ve solunda 15 cm mesafede, 15, 30, 45, 60, 75 ve 90 olacak şekilde farklı voltaj aralıklarında deneyler yürütülmüştür. Uygulanan voltajla elektro-ozmotik süre artmıştır ve en yüksek elektro-ozmotik süre 240 dk ile 75 volt uygulandığında olmuştur. 75 volttan sonra ise elektro-ozmotik süre azalmıştır (Şekil 4.1). Daha sonra 6 farklı voltaj durumu için boşalım grafikleri çizilmiş ve her 15 dakidaki su deşarjı-boşalımı Şekil 4.2'de ve her bir voltaj aralıkları için kümülatif-birikimli su deşarjı-boşalımı ilişkisi Şekil 4.3'de gösterilmiştir. Sözkonusu bu şekiller incelendiğinde tüm voltajlarda zamanla elektro-ozmotik boşalımın giderek azaldığı, kümülatif boşalımın ise 60 volttan sonra azalıp sonra bir miktar arttığı ve en yüksek kümülatif boşalımın 240 dk ile 60 volt elektrik verildiğinde olduğu görülmüştür.



Şekil 4.1 Kömür baca külü atığı farklı voltajlar için elektro-ozmotik süreler



Şekil 4.2 Kömür baca külü atığı farklı voltajlar için elektro-ozmotik süre ile boşalım ilişkisi

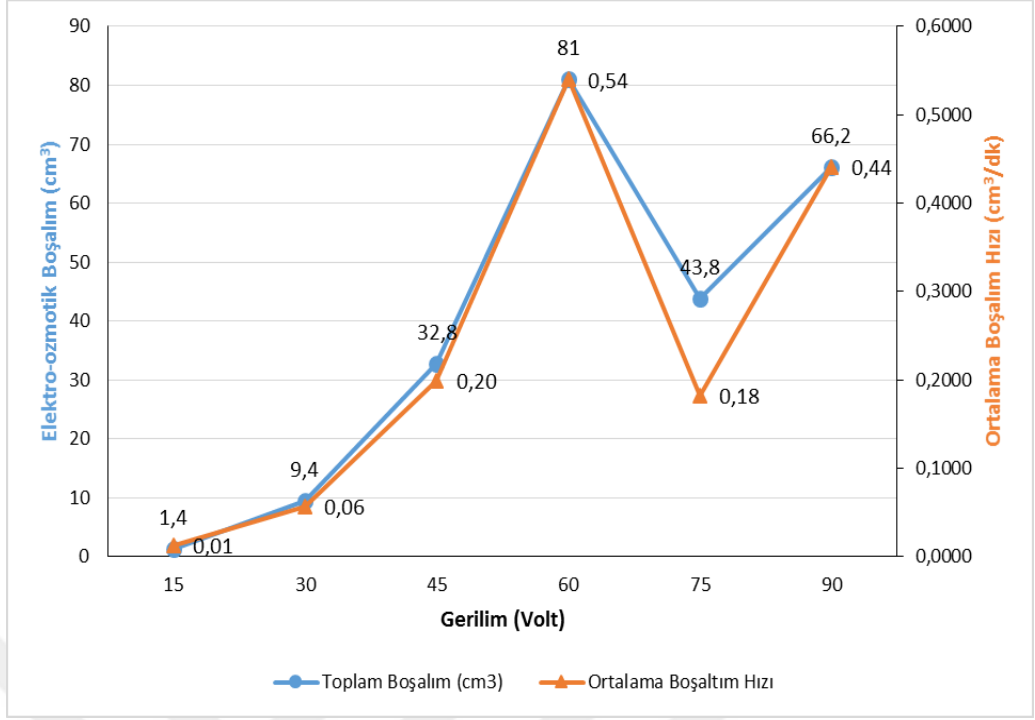


Şekil 4.3 Kömür baca külü atığı farklı voltajlar için elektro-ozmotik süre ile kümülatif boşalım ilişkisi

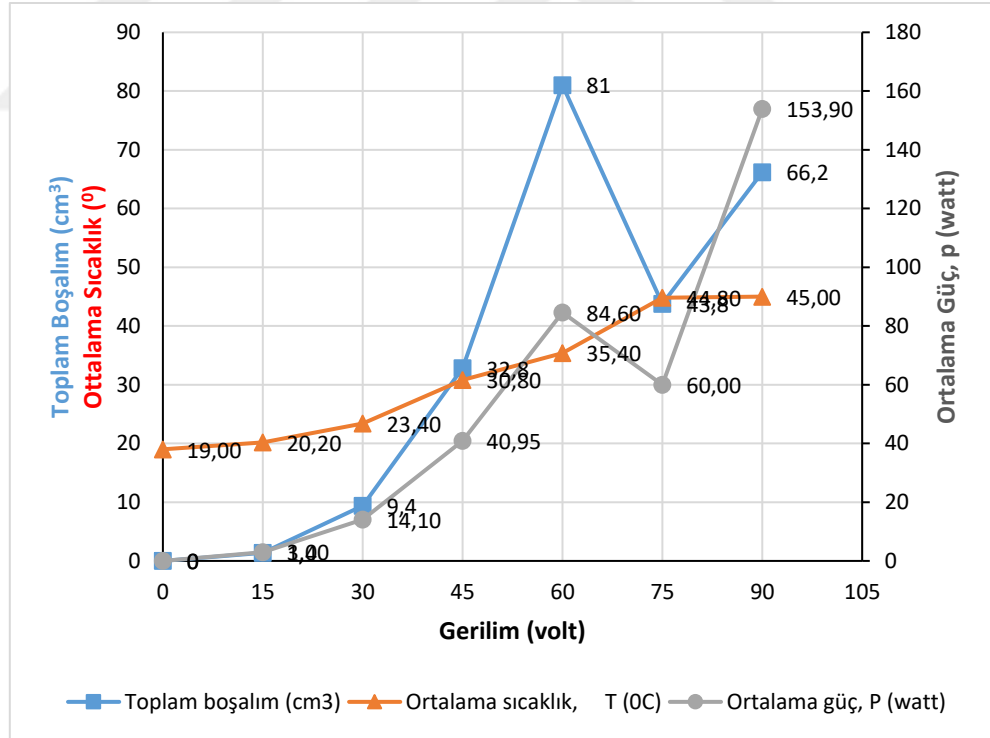
Elektro-osmoz deneylerinde ölçülen ve hesaplanan değerler bölüm 3.2.1 'de verilmiştir. Kömür baca külü elektro-osmoz yönteminde başlangıç 15volt, 30volt, 45volt, 60volt, 75volt ve 90 volt için uzaklaştırılan su miktarları, ortalama sıcaklık, elektrik akımı, elektrik direnci, elektrik iletkenliği, harcanan enerji ile kömür baca külü malzemesinin kuru ve doymuş birim hacim ağırlıkları, porozite, boşluk oranı, ortalama boşalım hızı ve su muhtevası gibi bazı zemin mekaniği özellikleri de belirlenmiş ve Çizelge 4.1' de özetlenmiştir. Çizelgedeki veriler kullanılarak elektro-ozmotik parametreler arasında ilişkiler geliştirilmiştir. Şekil 4.4'de voltaj ile kümülatif boşalım ve boşalım hızı arasındaki ilişki görülmektedir. Şekilden de görüldüğü gibi voltaj arttıkça kümülatif boşalım ve boşalım hızı artmakta 60 volttan sonra her iki parametrede düşüş görülmektedir. Yani 60 volt'a kadar elektro- ozmotik susuzlandırma verimli olduğu görülmektedir. Yine voltajla kümülatif boşalım, harcanan enerji ve sıcaklık değişimi Şekil 4.5' de görülmektedir. Voltaj arttıkça enerji tüketimi ve ortamın sıcaklığıda artmış 90 voltta 54 °C' ye kadar yükselmiştir. Benzer şekilde voltajla elektro-ozmotik su boşalımı ve ortamın elektrik direnci arasındaki ilişki Şekil 4.6'da gösterilmiştir. Ortamın elektrik direnci düştükçe su boşalımı artmış ve 60 volt'ta en düşük direçte en yüksek su boşalımı, 81 cm<sup>3</sup> olarak gerçekleşmiştir.

**Çizelge 4. 1** Elektro-Osmoz Deneyi Kömür Baca Külü Atığı Değişik Voltajlar İçin Ölçülen ve Hesaplanan Parametreler

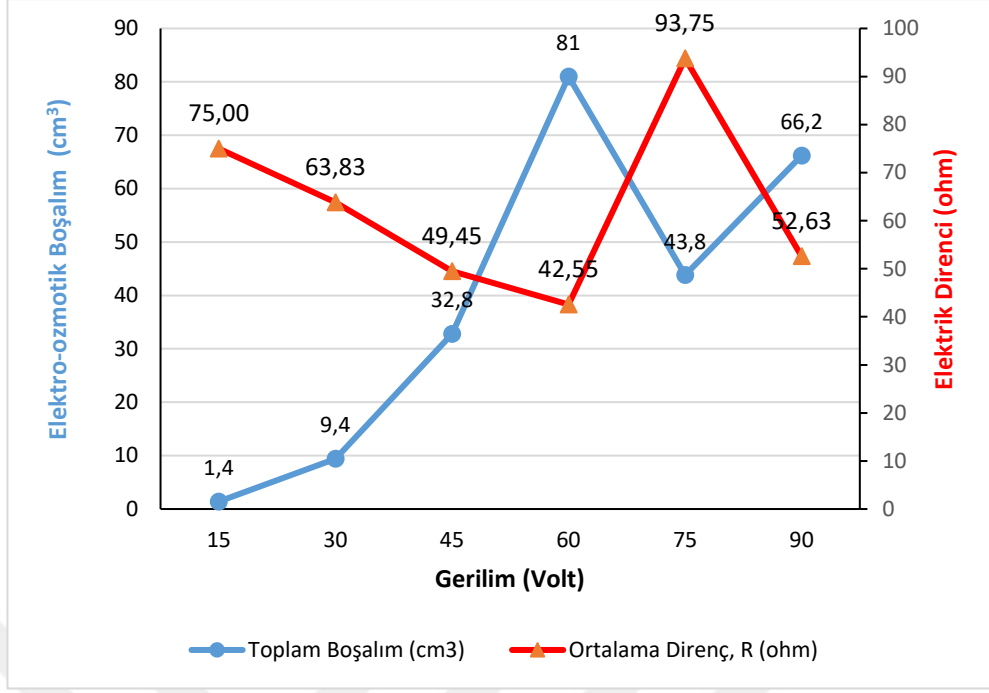
Gerilim (volt)	Kuru birim hacim ağırlık (gr/cm <sup>3</sup> )	Suya Doymuş birim hacim ağırlık (gr/cm <sup>3</sup> )	Kuru ağırlık (gr)	Yaş ağırlık (gr)	Porozite, n, (%) (V <sub>boşluk</sub> /V <sub>toplam</sub> )	Boşluk oranı, e (n/(1-n)) (%)	Su muhtevası ω (W <sub>su</sub> / W <sub>kat</sub> ) (%)	Toplam boşalım (cm <sup>3</sup> )	Toplam boşalım süresi (dk)	Ortalama boşalım hızı (cm <sup>3</sup> /dk)	Ortalama sıcaklık, T (°C)	Ortalama akım, i (amper)	Ortalama direnç, R (ohm)	Ortalama iletkenlik (ohm <sup>-1</sup> )	Ortalama güç, P (watt)
0	0.76	1.55	19	38.8	79.2	3.81	104.21	0	0	0	19.00	0	0	0	0
15	0.76	1.43	19	35.8	67.2	2.05	88.42	1.4	105	0.0133	20.20	0.20	75	0.0133	3.00
30	0.76	1.38	19	34.6	62.4	1.66	82.11	9.4	165	0.0570	23.40	0.47	63.83	0.0157	14.10
45	0.76	1.14	19	28.6	38.4	0.62	50.53	32.8	165	0.1988	30.80	0.91	49.45	0.0202	40.95
60	0.76	0.98	19	24.5	22	0.28	28.95	81	150	0.5400	35.40	1.41	42.55	0.0235	84.60
75	0.76	1.07	19	26.8	31.2	0.45	41.05	43.8	240	0.1825	44.80	0.80	93.75	0.0107	60.00
90	0.76	1.02	19	25.5	26	0.35	34.21	66.2	150	0.4413	45.00	1.71	52.63	0.0190	153.90



Şekil 4.4 Kömür baca külü atığı farklı voltajlar için elektro-ozmotik boşalım ve boşalım hızı ilişkisi

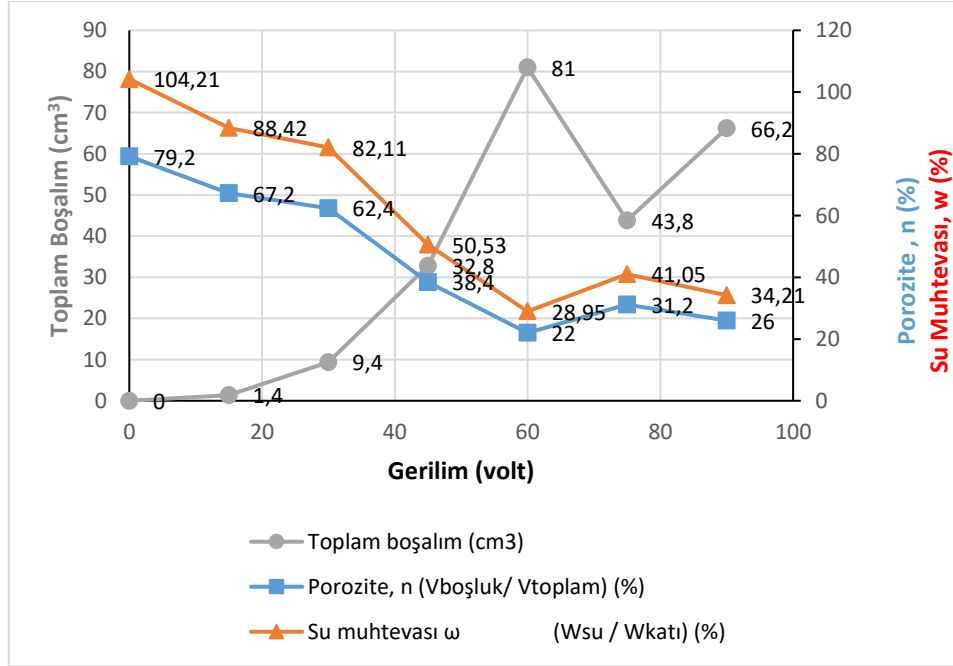


Şekil 4.5 Kömür baca külü atığı farklı voltajlar için elektro-ozmotik boşalım, harcanan enerji ve sıcaklık ilişkisi



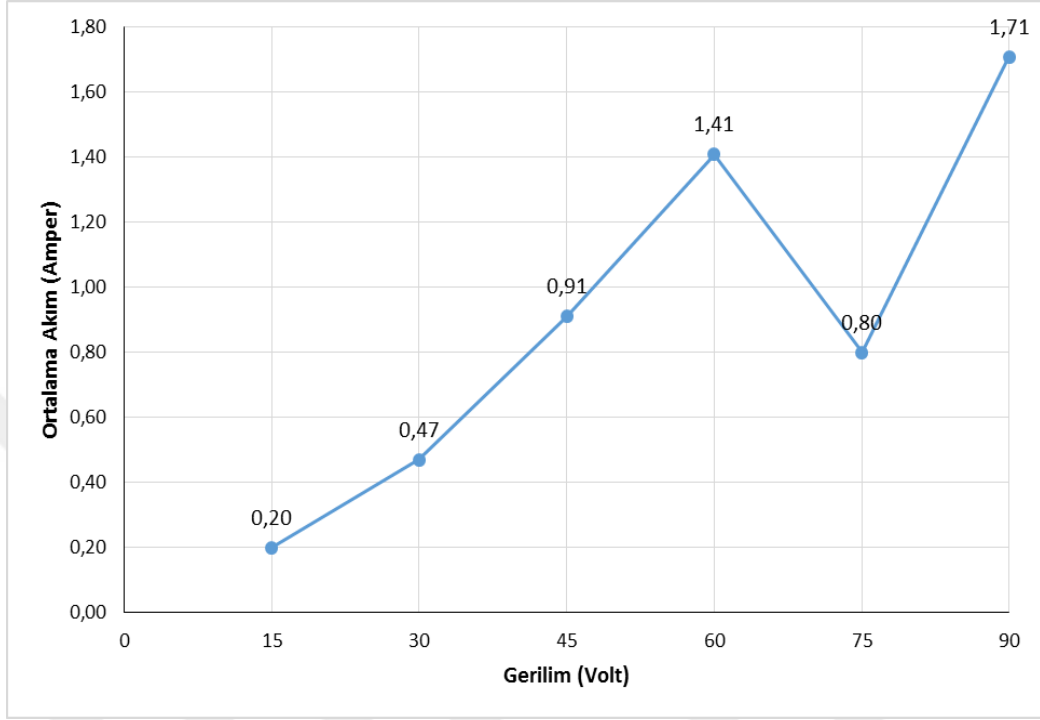
**Şekil 4.6** Kömür baca külü farklı voltajlar için elektro-ozmotik boşalım ve elektrik direnci arasındaki ilişki

Yukarıda voltajla diğer elektro-ozmotik parametreler arasındaki ilişkilerden başka kömür baca külü malzemesinin zemin mekaniği özelliklerindeki değişimler arasında da karşılaştırmalar yapılmıştır. Voltajla porozite, su muhtevası ve su boşalımı arasındaki ilişki Şekil 4.8'de gösterilmiştir.

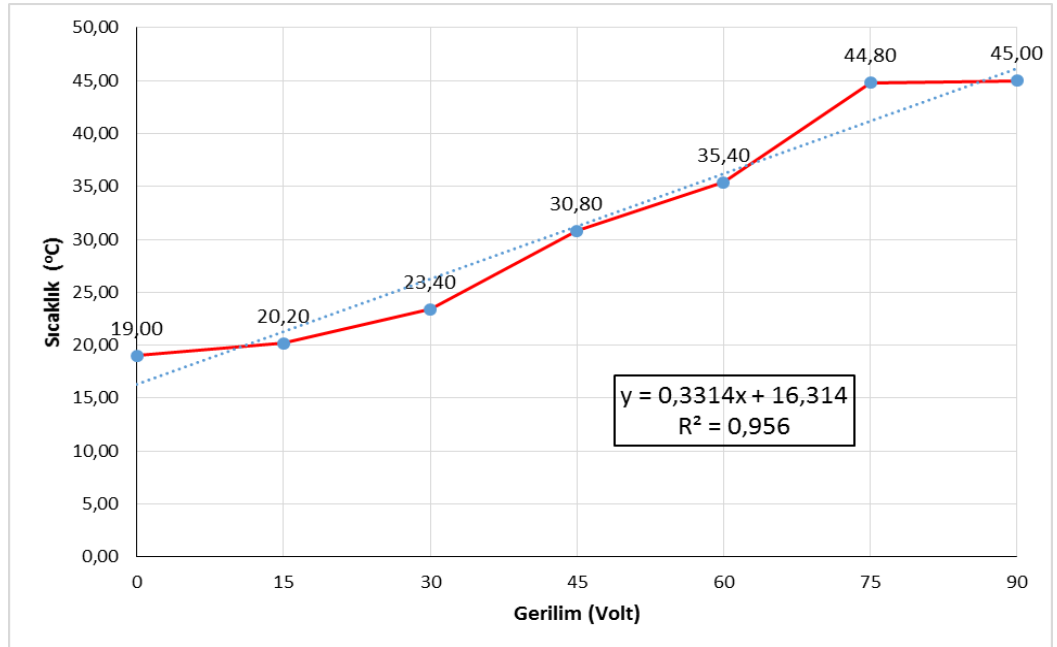


**Şekil 4.8** Kömür baca külü atığı farklı voltajlar için toplam boşalım, su muhtevası ve porozite ilişkisi

Kömür baca külü deneyinde elektro-osmoz parametrelerinden voltaj ile kömür baca külü ortamından geçen elektrik akımı arasında 60 volt'a kadar kadar doğrusal bir ilişki olurken voltajın 60 volttan sonra akım değeri düşmüş 75 volt' tan sonra tekrar artış olmuştur (Şekil 4.9). Diğer bir şekilde voltaj ile ortamın sıcaklığı arasında yüksek korelasyon katsayılı doğrusal bir ilişki olduğu Şekil 4.10'da görülmektedir.



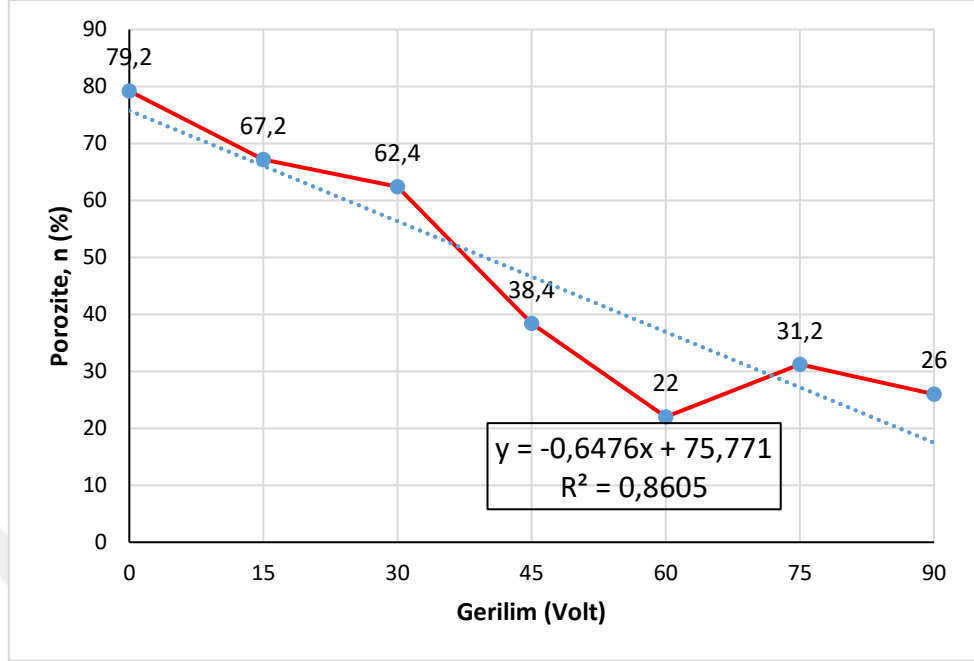
Şekil 4.9 Kömür baca külü atığı farklı voltajlar için ortalama akım ve gerilim ilişkisi



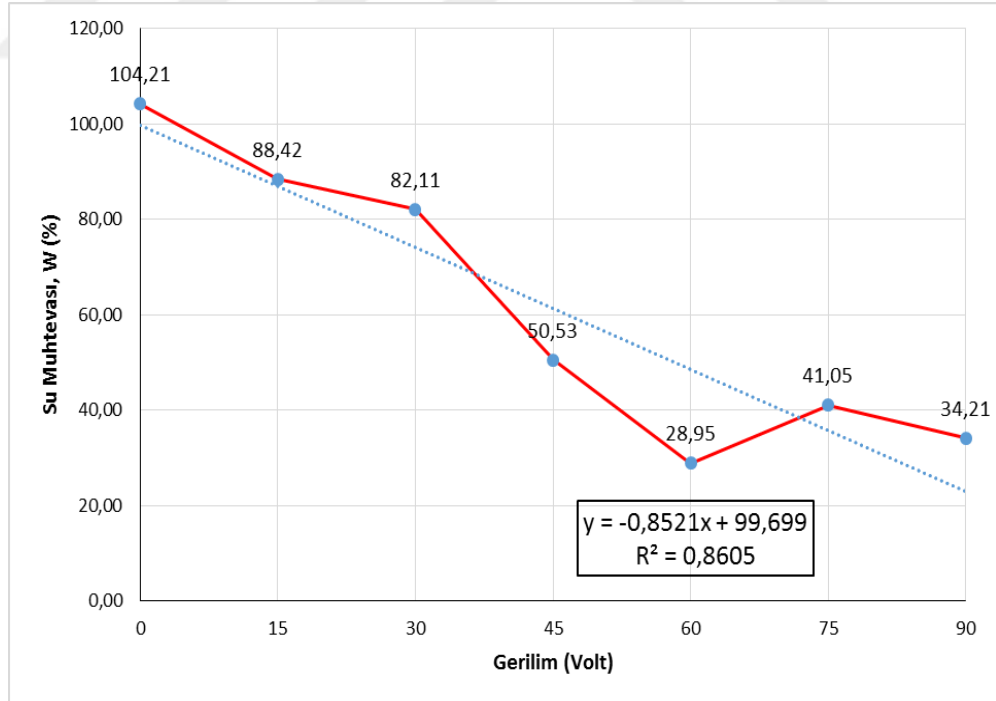
Şekil 4.10 Kömür baca külü atığı farklı voltajlar için sıcaklık ve gerilim ilişkisi



Kömür baca külü deneyinde elektro-ozmotik parametrelerden voltaj ile kömür baca külü malzemesinin porozite arasındaki ilişki Şekil 4.11'de ve yine voltaj ile su muhtevası arasında yüksek korelasyon katsayılı lineer bir ilişki olduğu Şekil 4.12 'de görülmektedir.



Şekil 4.11 Kömür baca külü atığı farklı voltajlar için gerilim porozite ilişkisi

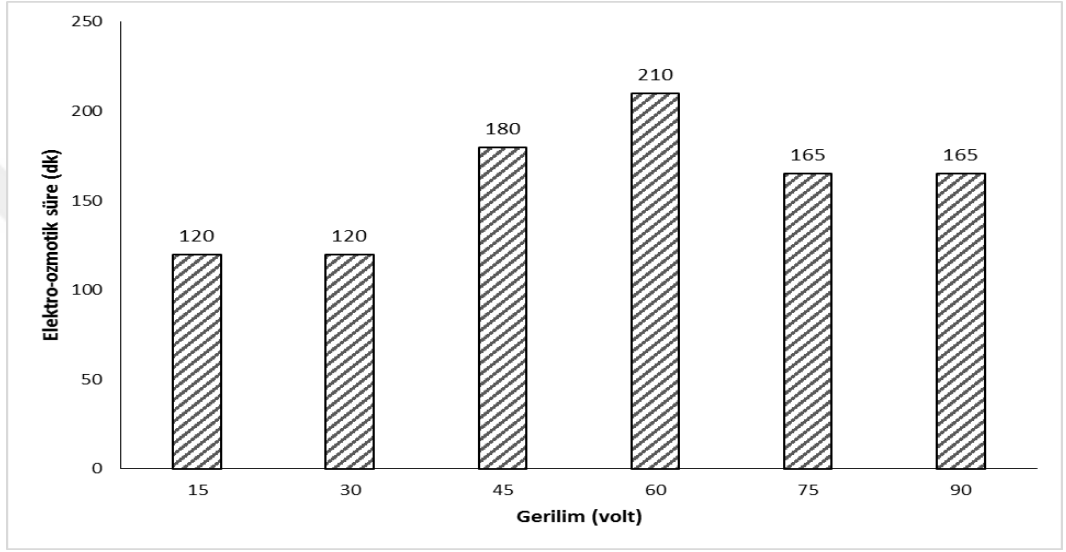


Şekil 4.12 Kömür baca külü atığı farklı voltajlar için su muhtevası ve gerilim ilişkisi

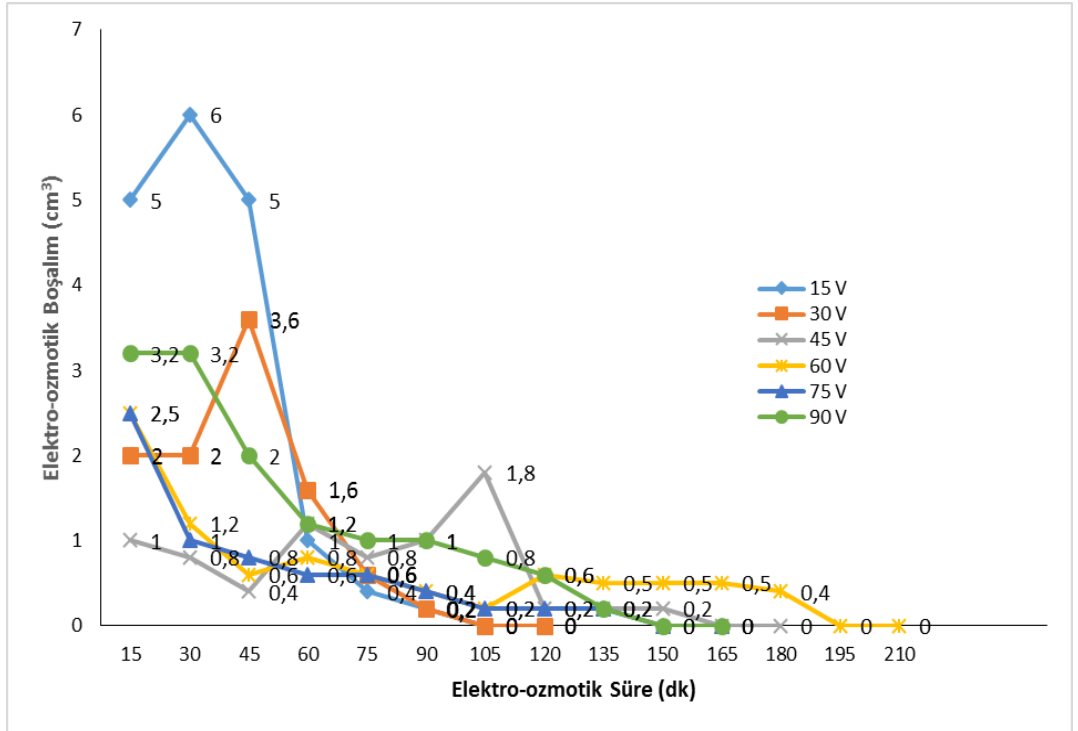
#### 4.2 Elektro-Osmoz Deneyleri Krom Atığı Sonuçları ve Değerlendirmesi

Elektro-osmoz deneyleri krom atığında delikli çelik anot çubukları katot borusunun sağında ve solunda 15 cm mesafede, 15, 30, 45, 60, 75 ve 90 olacak şekilde farklı voltaj

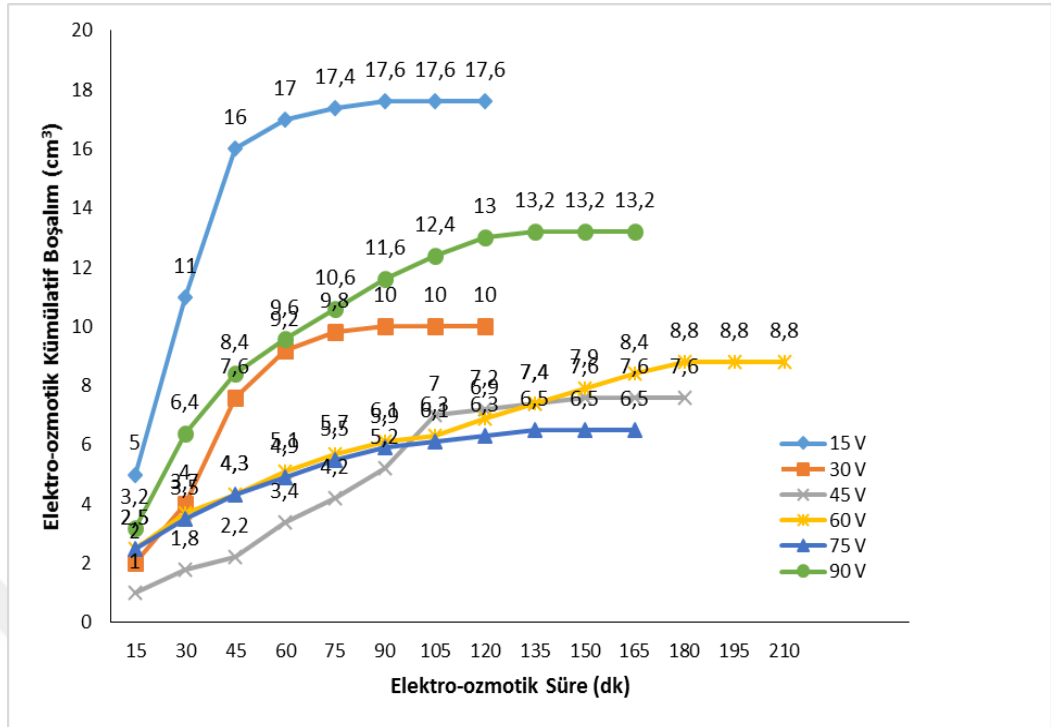
aralıklarında deneyler yürütülmüştür. Uygulanan voltajla elektro-ozmotik süre artmıştır ve en yüksek elektro-ozmotik süre 210 dk ile 60 volt uygulandığında olmuştur. 60 volttan sonra ise elektro-ozmotik süre azalmıştır (Şekil 4.13). Daha sonra 6 farklı voltaj durumu için boşalım grafikleri çizilmiş ve her 15 dakidaki su deşarj-boşalım Şekil 4.14'de ve her bir voltaj aralıkları için kümülatif-birikimli su deşarj-boşalım ilişkisi Şekil 4.15'de gösterilmiştir. Sözkonusu bu şekiller incelendiğinde tüm voltajlarda zamanla elektro-ozmotik boşalımın giderek azaldığı, kümülatif boşalımın ise 15 volttan sonra azalıp sonra bir miktar arttığı ve en yüksek kümülatif boşalımın 15 volt elektrik verildiğinde olduğu görülmüştür.



Şekil 4.13 Krom atığı farklı voltajlar için elektro-ozmotik süreler



Şekil 4.14 Krom atığı farklı voltajlar için elektro-ozmotik süre ile boşalım ilişkisi

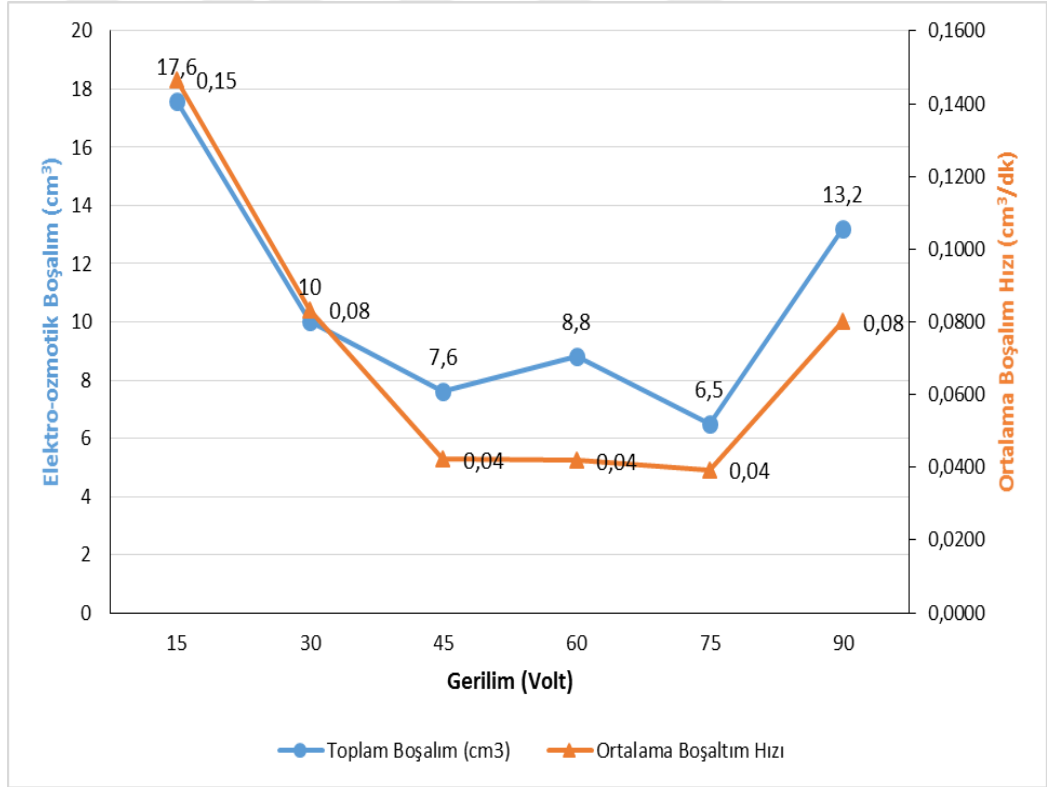


**Şekil 4.15** Krom atığı farklı voltajlar için elektro-ozmotik süre ile kümülatif boşalım ilişkisi

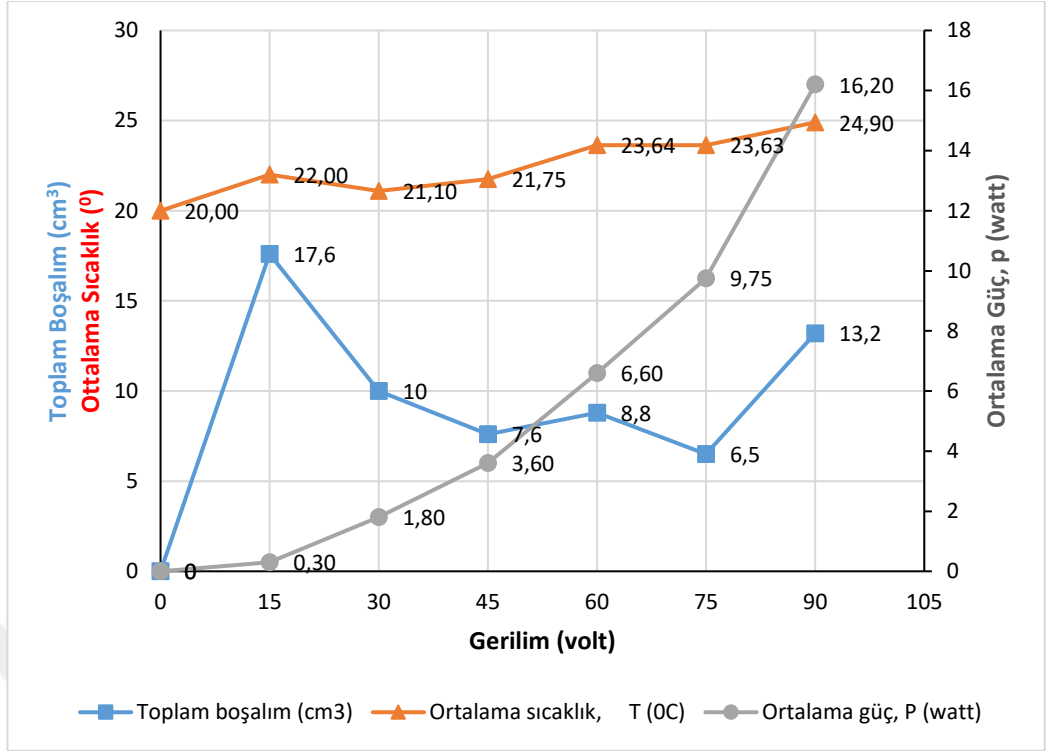
Krom atığı elektro-osmoz yönteminde başlangıç ve 15 volt, 30 volt, 45 volt, 60 volt, 75 volt ve 90 volt için uzaklaştırılan su miktarları, ortalama sıcaklık, elektrik akımı, elektrik direnci, elektrik iletkenliği, harcanan enerji ile krom atığı malzemesinin kuru ve doymuş birim hacim ağırlıkları, porozite, boşluk oranı ve su muhtevası gibi bazı zemin mekaniği özellikleri de belirlenmiş ve Çizelge 4.2' de özetlenmiştir. Çizelgedeki veriler kullanılarak elektro-ozmotik parametreler arasında ilişkiler geliştirilmiştir. Şekil 4.16'da voltaj ile kümülatif boşalım ve boşalım hızı arasındaki ilişki görülmektedir. Şekilden de görüldüğü gibi voltaj arttıkça kümülatif boşalım ve boşalım hızı azalmaktadır, 15 volttan sonra boşalım hızı azalırken boşalım miktarı da azalmaya başlamıştır. Yani 15 volt'a kadar elektro-ozmotik susuzlandırma verimli olduğu görülmektedir. Yine voltajla kümülatif boşalım, harcanan enerji ve sıcaklık değişimi Şekil 4.17' de verilmiştir. Voltaj arttıkça enerji tüketimi ve ortamın sıcaklığı da artmış 90 volt'ta 30.0 °C' ye kadar yükselmiştir. Benzer şekilde voltajla elektro-ozmotik su boşalımı ve ortamın elektrik direnci arasındaki ilişki Şekil 4.18'de gösterilmiştir. Ortamın elektrik direnci düştükçe su boşalımı artmış ve 15 volt'ta en düşük dirençte en yüksek su boşalımı, 17,6 cm<sup>3</sup> olarak gerçekleşmiştir.

**Çizelge 4. 2 Elektro-Osmoz Deneyi Krom Atığı Değişik Voltajlar İçin Ölçülen ve Hesaplanan Parametreler**

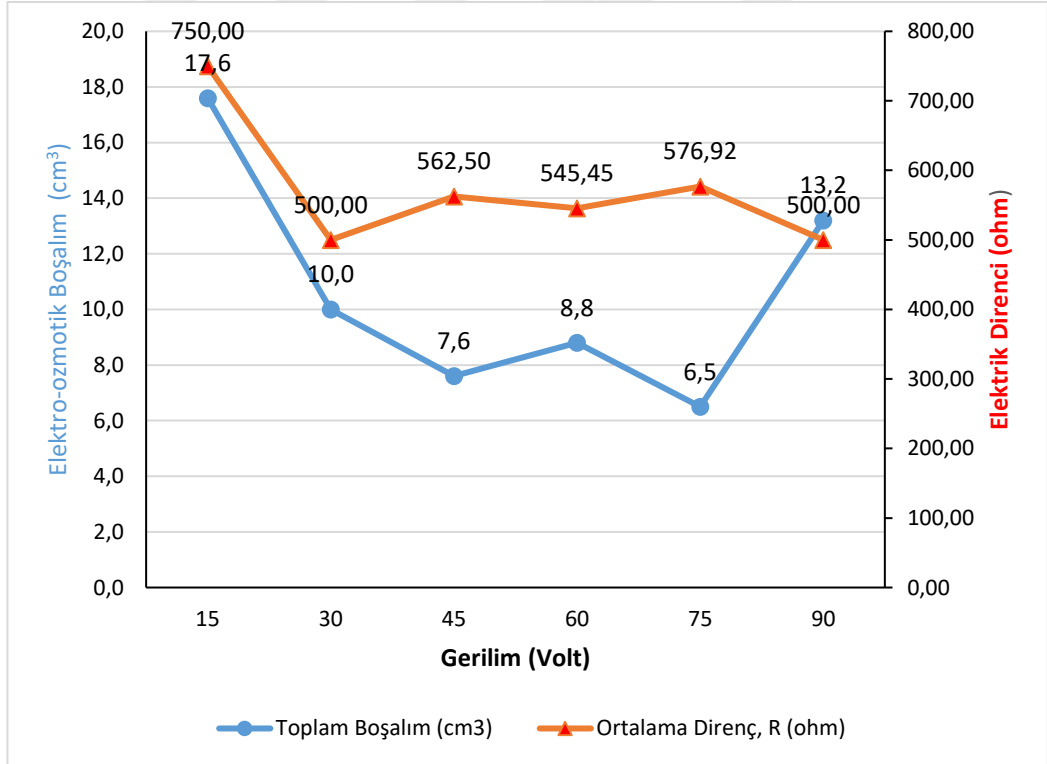
Gerilim (volt)	Kuru birim hacim ağırlık (gr/cm <sup>3</sup> )	Suya Doygun birim hacim ağırlık (gr/cm <sup>3</sup> )	Kuru ağırlık (gr)	Yaş ağırlık (gr)	Porozite, n, (%) (V <sub>boşluk</sub> /V <sub>toplam</sub> )	Boşluk oranı, e (n/1-n) (%)	Su muhtevası ω (W <sub>su</sub> / W <sub>kat</sub> ) (%)	Toplam boşalım (cm <sup>3</sup> )	Toplam boşalım süresi (dk)	Ortalama boşalım hızı (cm <sup>3</sup> /dk)	Ortalama sıcaklık, T (°C)	Ortalama akım, i (amper)	Ortalama direnç, R (ohm)	Ortalama iletkenlik (ohm <sup>-1</sup> )	Ortalama güç, P (watt)
0	1,36	2,08	34,20	52,20	72,00	2,57	52,63	0	0	0	20	0	0	0	0
15	1,36	1,64	34,20	41,00	27,20	0,37	19,88	17,6	120	0,1467	22,00	0,02	750,00	0,0013	0,30
30	1,36	1,84	34,20	46,20	48,00	0,92	35,09	10,0	120	0,0833	21,10	0,06	500,00	0,0020	1,80
45	1,36	1,92	34,20	48,10	55,60	1,25	40,64	7,6	180	0,0422	21,75	0,08	562,50	0,0018	3,60
60	1,36	1,92	34,20	48,00	55,20	1,23	40,35	8,8	210	0,0419	23,64	0,11	545,45	0,0018	6,60
75	1,36	1,93	34,20	48,40	56,80	1,31	41,52	6,5	165	0,0394	23,63	0,13	576,92	0,0017	9,75
90	1,36	1,75	34,20	43,80	38,40	0,62	28,07	13,2	165	0,0800	24,90	0,18	500,00	0,0020	16,20



**Şekil 4.16** Krom atığı farklı voltajlar için elektro-ozmotik boşalım ve gerilim ilişkisi

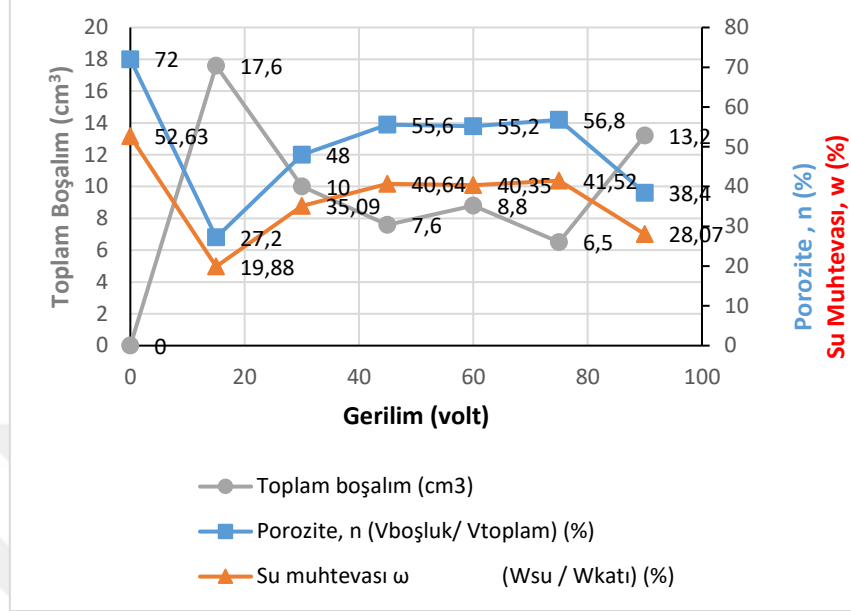


Şekil 4.17 Krom atığı farklı voltajlar için elektro-ozmotik boşalım, harcanan enerji ve sıcaklık ilişkisi



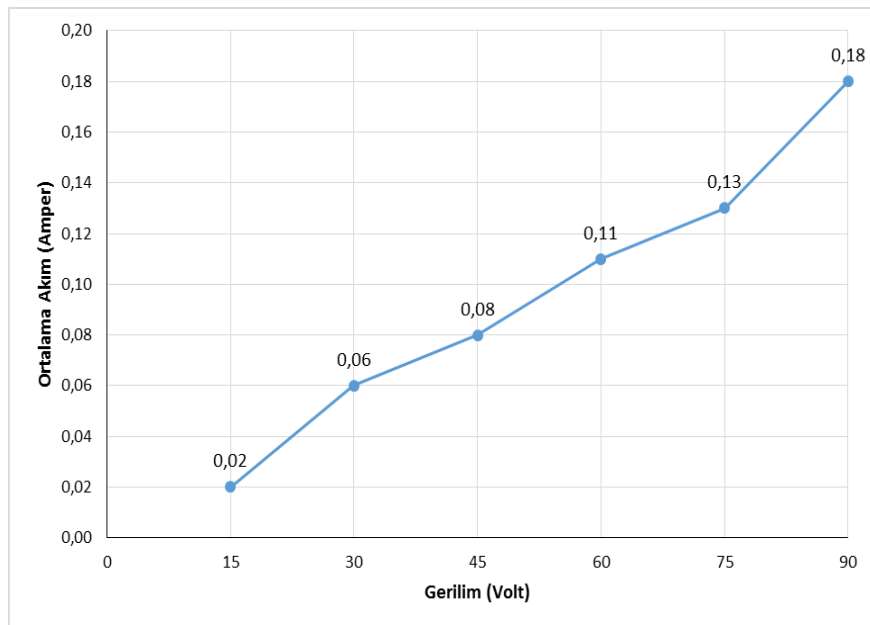
Şekil 4.18 Krom atığı farklı voltajlar için elektro-ozmotik boşalım ve elektrik direnci arasındaki ilişki

Yukarıda voltajla diğer elektro-ozmotik parametreler arasındaki ilişkilerden başka krom atığı malzemesinin zemin mekaniği özelliklerindeki değişimler arasında da karşılaştırmalar yapılmıştır. Buna göre voltajla porozite, su muhtevası ve su boşalımı arasındaki ilişki Şekil 4.19'da gösterilmiştir.

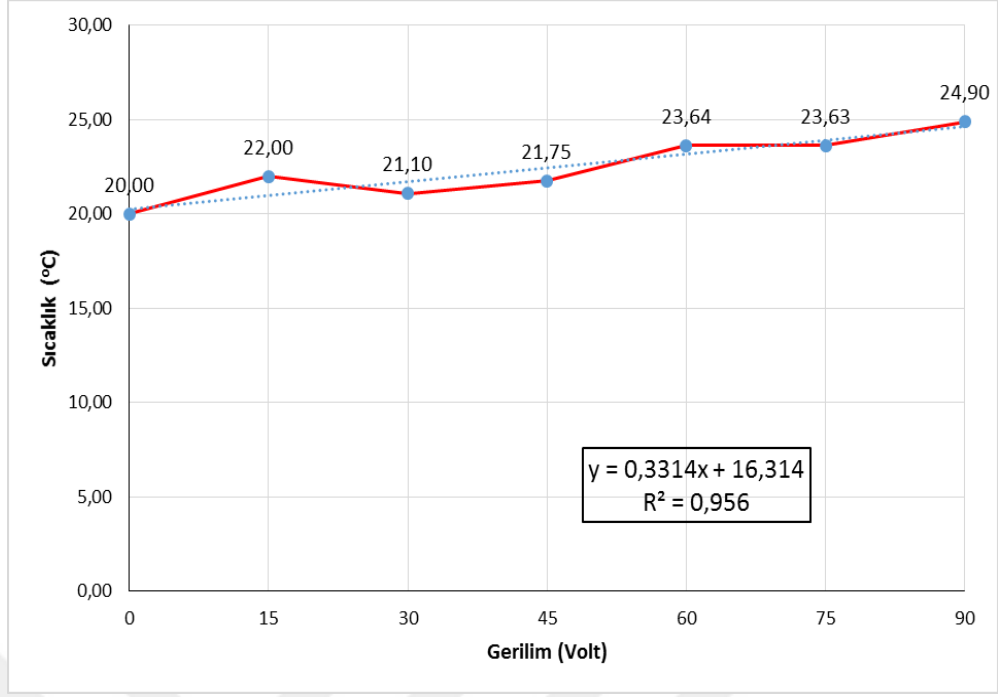


**Şekil 4.19** Krom atığı farklı voltajlar için elektro-ozmotik boşalım ve porozite, su muhtevası arasındaki ilişkiler

Krom atığı elektro-osmoz parametrelerinden voltaj ile krom atığı ortamından geçen elektrik akımı arasında yüksek korelasyon doğrusal bir ilişki olduğu görülmüştür (Şekil 4.20). Benzer şekilde voltaj ile ortamın sıcaklığı arasında da yüksek korelasyon katsayılı doğrusal bir ilişki olduğu Şekil 4.21'de görülmektedir.

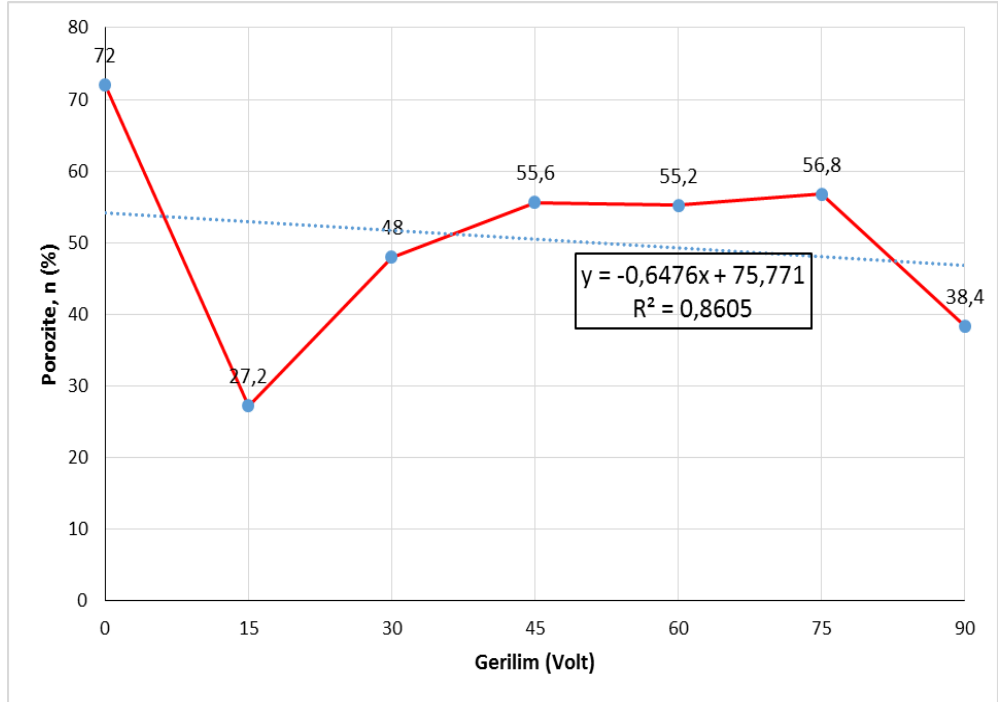


**Şekil 4.20** Krom atığı farklı voltajlar için ortalama akım ve gerilim ilişkisi

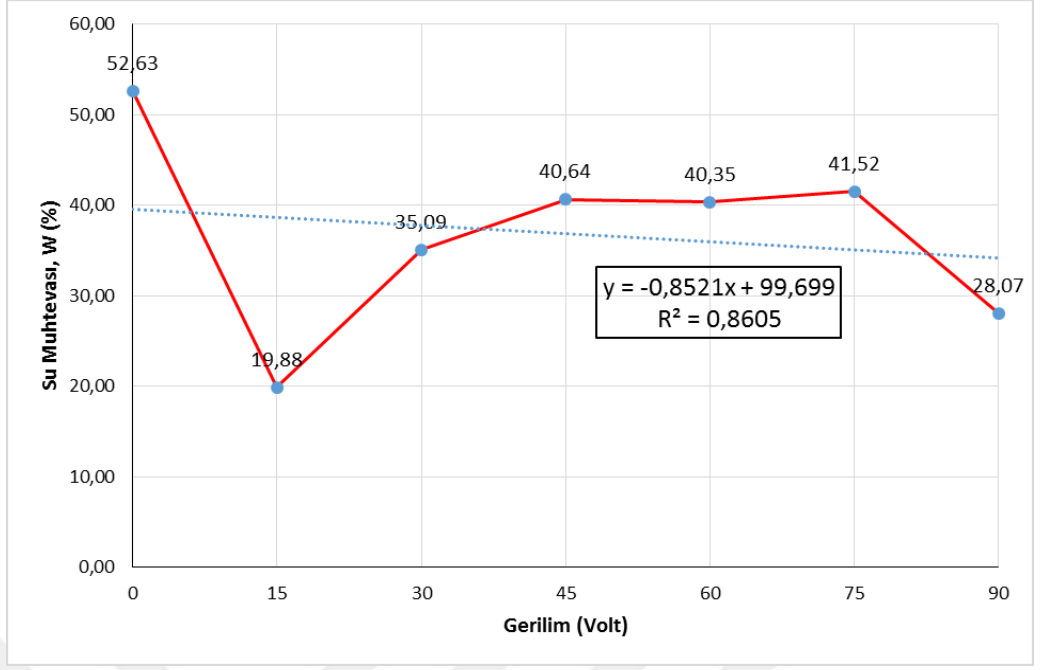


**Şekil 4.21** Krom atığı farklı voltajlar için sıcaklık ve gerilim ilişkisi

Krom atığı deneyinde elektro-ozmotik parametrelerden voltaj ile krom atığı malzemesinin porozite arasındaki ilişki Şekil 4.22’de ve yine voltaj ile su muhtevası arasında yüksek korelasyon katsayılı doğrusal bir ilişki olduğu Şekil 4.23 ‘de görülmektedir.



**Şekil 4.22** Krom atığı farklı voltajlar için porozite ve gerilim ilişkisi

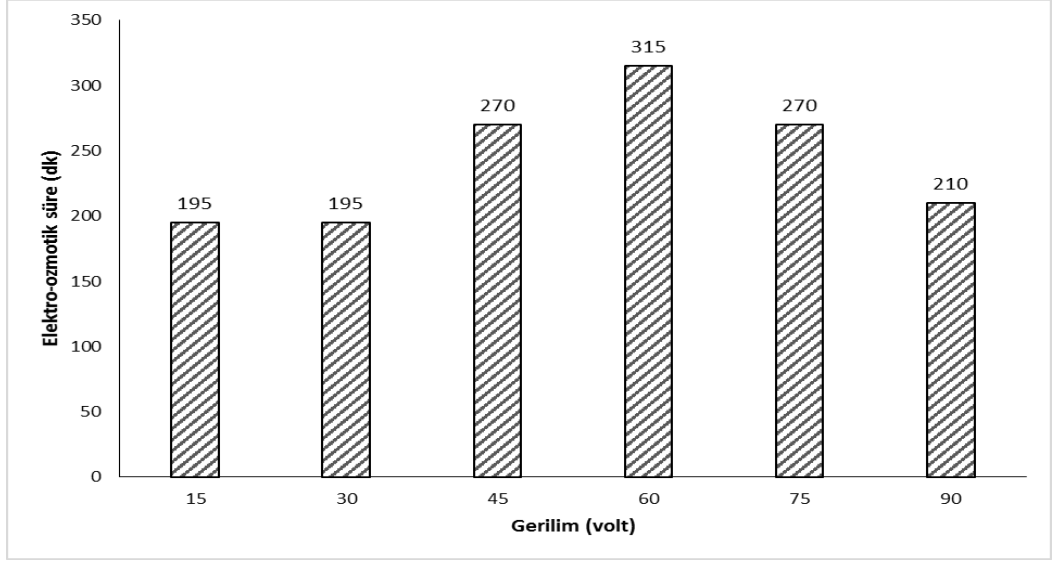


**Şekil 4.23** Krom atığı farklı voltajlar için su muhtevası ve gerilim ilişkisi

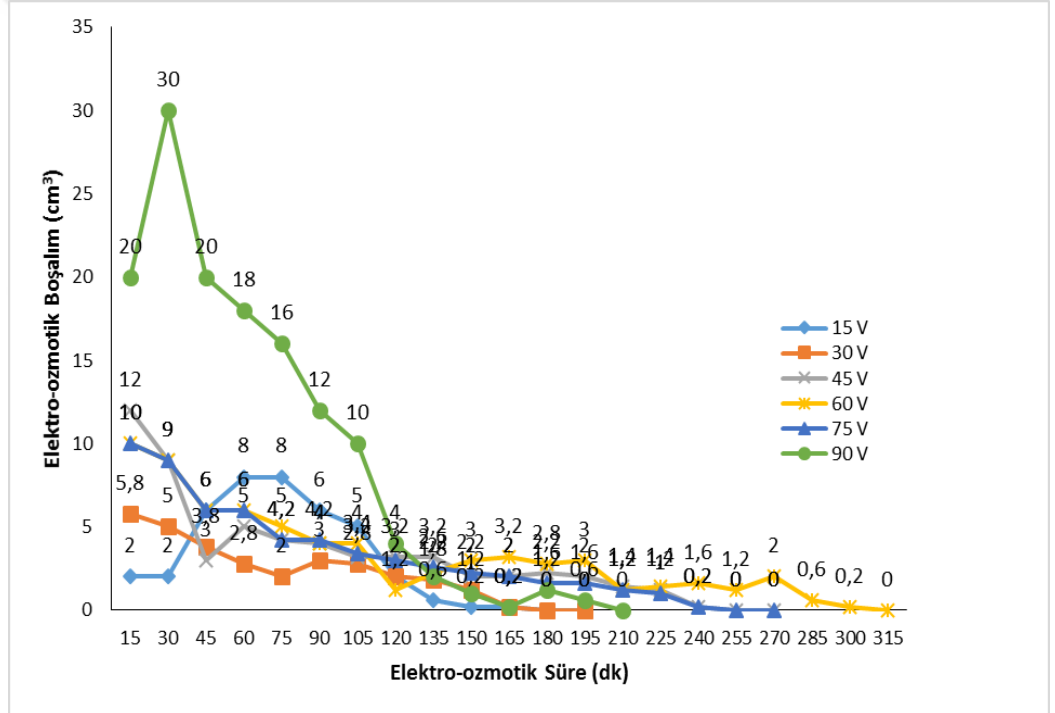
#### 4.3 Elektro-Osmoz Deneyleri Kil Artığı Sonuçları ve Değerlendirmesi

Elektro-osmoz deneyleri kil artığında delikli çelik anot çubukları katot borusunun sağında ve solunda 15 cm mesafede olacak şekilde 15, 30, 45, 60, 75 ve 90 olacak şekilde farklı voltaj aralıklarında deneyler yürütülmüştür. Uygulanan voltajla elektro-ozmotik süre artmıştır ve en yüksek elektro-ozmotik süre 315 dk ile 60 volt uygulandığında olmuştur. 60 volttan sonra ise elektro-ozmotik süre azalmıştır (Şekil 4.24). Daha sonra 6 farklı voltaj durumu için boşalım grafikleri çizilmiş ve her 15 dakidaki su deşarjı-boşalım Şekil 4.25'de ve her bir voltaj aralıkları için kümülatif-birikimli su deşarjı-boşalım ilişkisi Şekil 4.26'da gösterilmiştir. Söz konusu bu şekiller incelendiğinde tüm voltajlarda zamanla elektro-ozmotik boşalmanın giderek azaldığı, kümülatif boşalmanın ise 60 volttan sonra azalıp sonra 90 volt geriliminde tekrar yükseldiği, en yüksek kümülatif boşalmanın 90 volt elektrik verildiğinde olduğu görülmüştür.

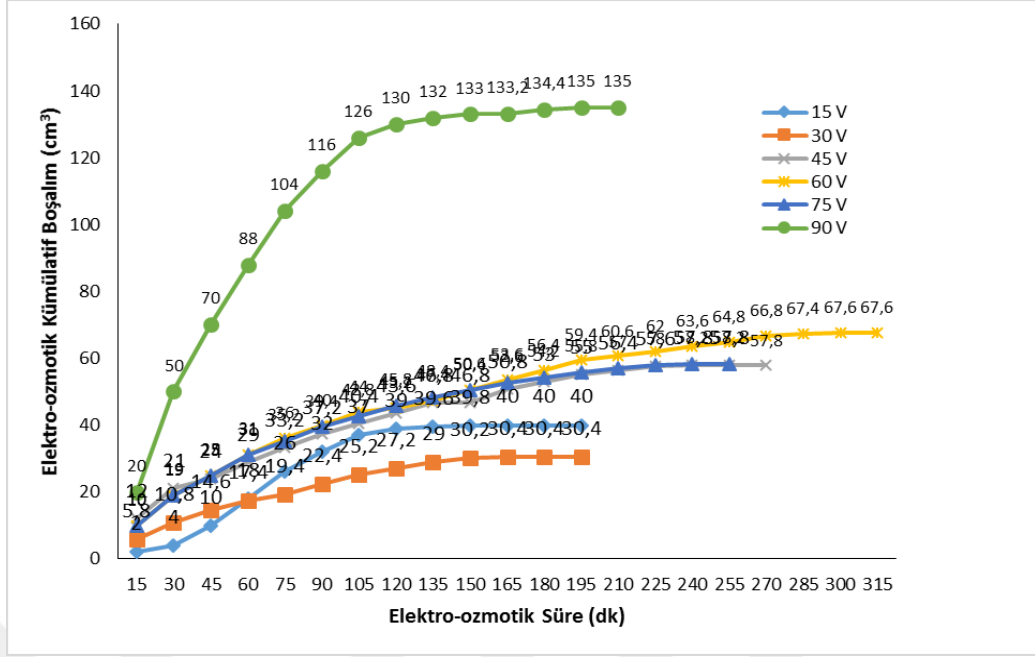




Şekil 4.24 Kil artışı farklı voltajlar için elektro-ozmotik süreler



Şekil 4.25 Kil artışı farklı voltajlar için elektro-ozmotik süre ile boşalım ilişkisi

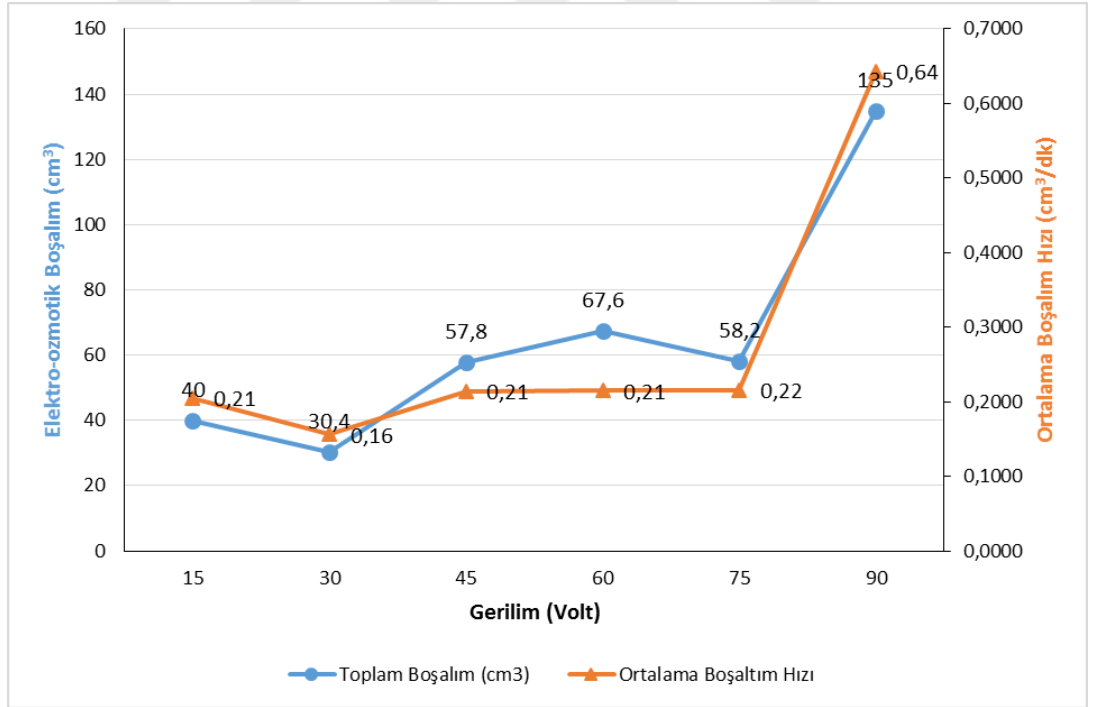


**Şekil 4.26** Kil artışı farklı voltajlar için elektro-osmotik süre ile kümülatif boşalım ilişkisi

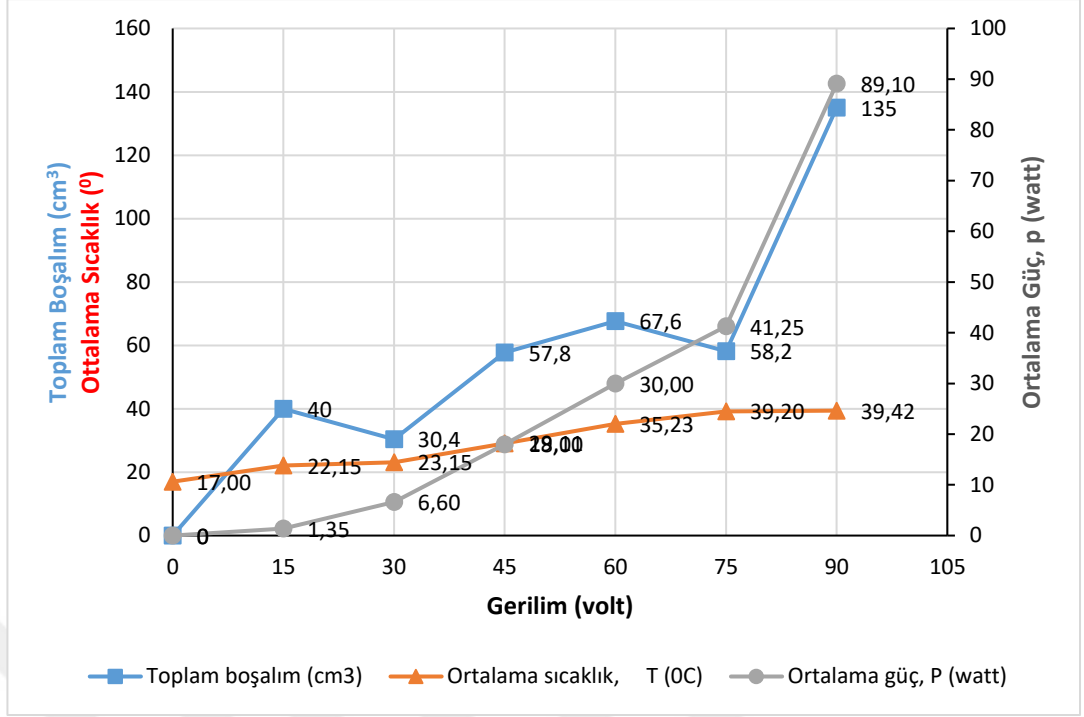
Kil artışı elektro-osmoz yönteminde başlangıç ve 15 volt, 30 volt, 45 volt, 60 volt, 75 volt ve 90 volt için uzaklaştırılan su miktarları, ortalama sıcaklık, elektrik akımı, elektrik direnci, elektrik iletkenliği, harcanan enerji ile kil malzemesinin kuru ve doymuş birim hacim ağırlıkları, porozite, boşluk oranı ve su muhtevası gibi bazı zemin mekaniği özellikleri de belirlenmiş ve Çizelge 4.3' de özetlenmiştir. Çizelgedeki veriler kullanılarak elektro-osmotik parametreler arasında ilişkiler geliştirilmiştir. Şekil 4.27'de voltaj ile kümülatif boşalım ve boşalım hızı arasındaki ilişki görülmektedir. Şekilden de görüldüğü gibi voltaj arttıkça kümülatif boşalım ve boşalım hızı artmakta 60 volttan sonra boşalım hızı artarken boşalım miktarı azalmaya başlamıştır. Yani 60 volt'a kadar elektro-osmotik susuzlandırma verimli olduğu görülmektedir. Yine voltajla kümülatif boşalım, harcanan enerji ve sıcaklık değişimi Şekil 4.28' de verilmiştir. Voltaj arttıkça enerji tüketimi ve ortamın sıcaklığıda artmış 90 voltta 58.0 °C' ye kadar yükselmiştir. Benzer şekilde voltajla elektro-osmotik su boşalımı ve ortamın elektrik direnci arasındaki ilişki Şekil 4.29'da gösterilmiştir. Ortamın elektrik direnci düştükçe su boşalımı artmış ve 90 voltta en düşük dirençte en yüksek su boşalımı, 135 cm<sup>3</sup> olarak gerçekleşmiştir.

**Çizelge 4. 3** Elektro-Osmoz Deneyi Kil Artığı Değişik Voltajlar İçin Ölçülen ve Hesaplanan Parametreler

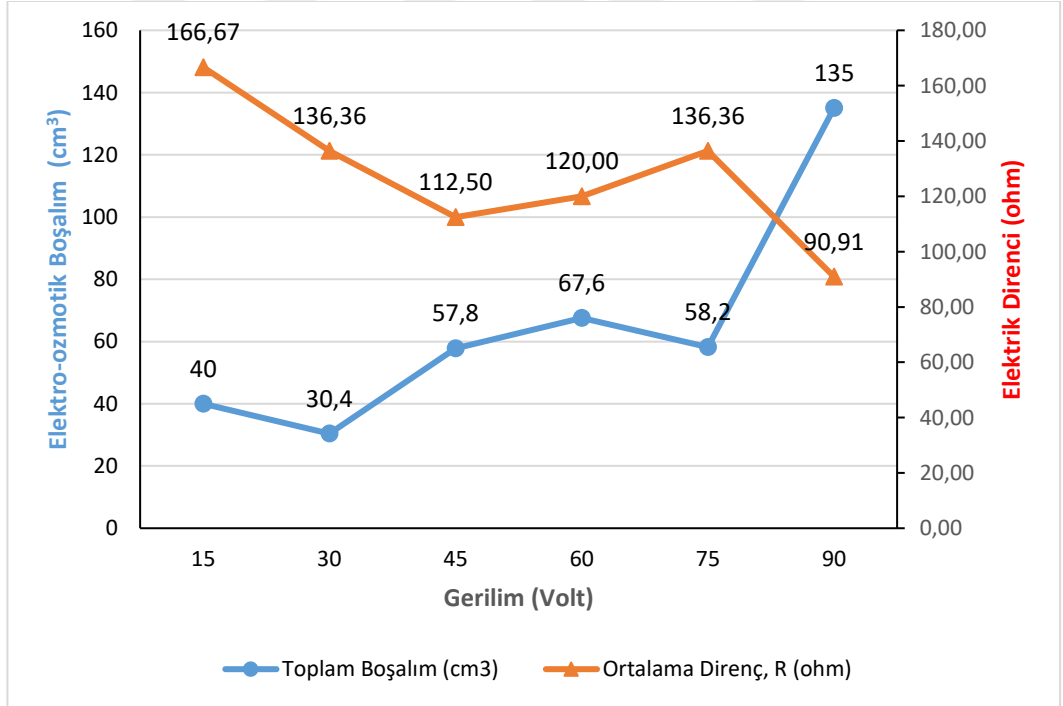
Gerilim (volt)	Kuru birim hacim ağırlık (gr/cm <sup>3</sup> )	Suya Doygun birim hacim ağırlık (gr/cm <sup>3</sup> )	Kuru ağırlık (gr)	Yaş ağırlık (gr)	Porozite, n, (%) ( $V_{boşluk} / V_{toplam}$ )	Boşluk oranı, e ( $n/(1-n)$ ) (%)	Su muhtevası $\omega$ ( $W_{su} / W_{kat}$ ) (%)	Toplam boşalım (cm <sup>3</sup> )	Toplam boşalım süresi (dk)	Ortalama boşalım hızı (cm <sup>3</sup> /dk)	Ortalama sıcaklık, T (°C)	Ortalama akım, i (amper)	Ortalama direnç, R (ohm)	Ortalama iletkenlik (ohm <sup>-1</sup> )	Ortalama güç, P (watt)
0	1	1,70	25	42,5	70	2.33	70,00	0	0	0	17	0	0	0	0
15	1	1,64	25	41,2	64,8	1.84	64,80	40	195	0,2051	22,15	0,09	166,67	0,0060	1,35
30	1	1,65	25	41,3	65,2	1.87	65,20	30,4	195	0,1559	23,15	0,22	136,36	0,0073	6,6
45	1	1,64	25	41,0	64	1.78	64,00	57,8	270	0,2141	29,11	0,40	112,50	0,0089	18
60	1	1,63	25	40,8	63,2	1.72	63,20	67,6	315	0,2146	35,23	0,50	120,00	0,0083	30
75	1	1,63	25	40,9	63,6	1.75	63,60	58,2	270	0,2156	39,20	0,55	136,36	0,0073	41,25
90	1	1,59	25	39,8	59,2	1.45	59,20	135	210	0,6429	39,42	0,99	90,91	0,011	89,1



**Şekil 4.27** Kil artığı farklı voltajlar için elektro-ozmotik boşalım ve ortalama boşalım hızı ilişkisi



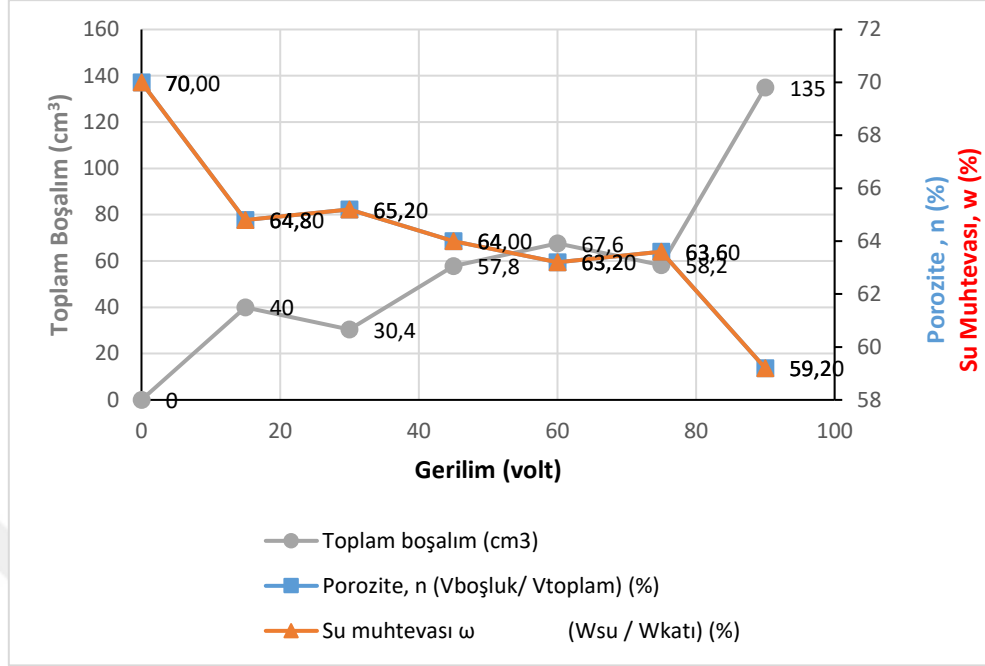
Şekil 4.28 Kil artışı farklı voltajlar için elektro-ozmotik boşalım, harcanan enerji ve sıcaklık ilişkisi



Şekil 4.29 Kil artışı farklı voltajlar için elektro-ozmotik boşalım ve elektrik direnci arasındaki ilişki

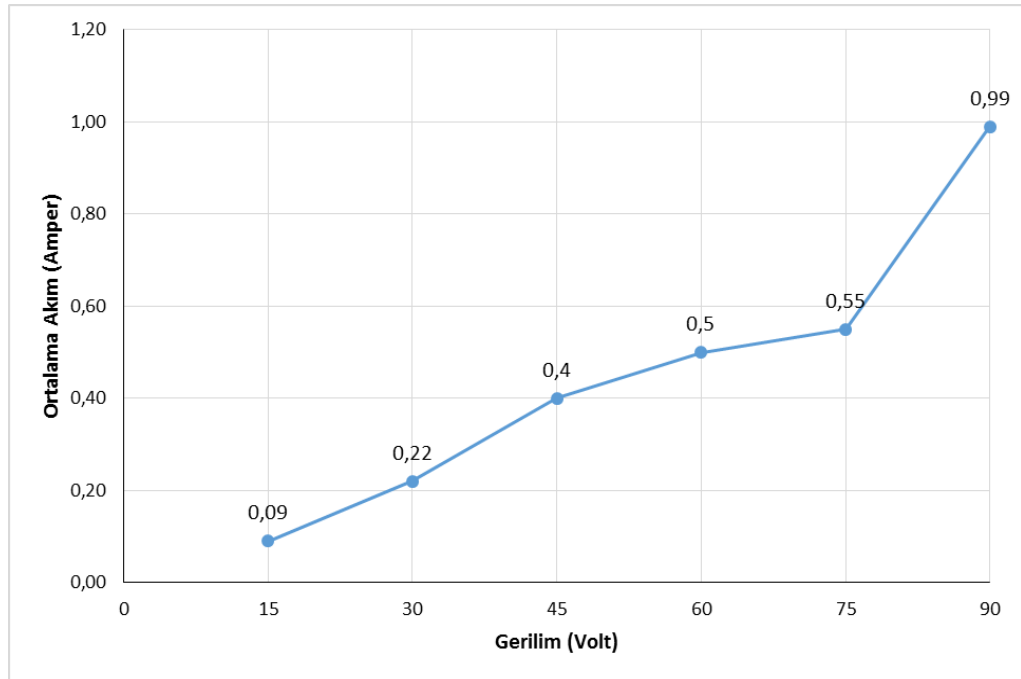
Yukarıda voltajla diğer elektro-ozmotik parametreler arasındaki ilişkilerden başka kil artışı malzemesinin zemin mekaniği özelliklerindeki değişimler arasında da karşılaştırmalar

yapılmıştır. Buna göre voltajla porozite, su muhtevası ve su boşalımı arasındaki ilişki Şekil 4.30'da gösterilmiştir.

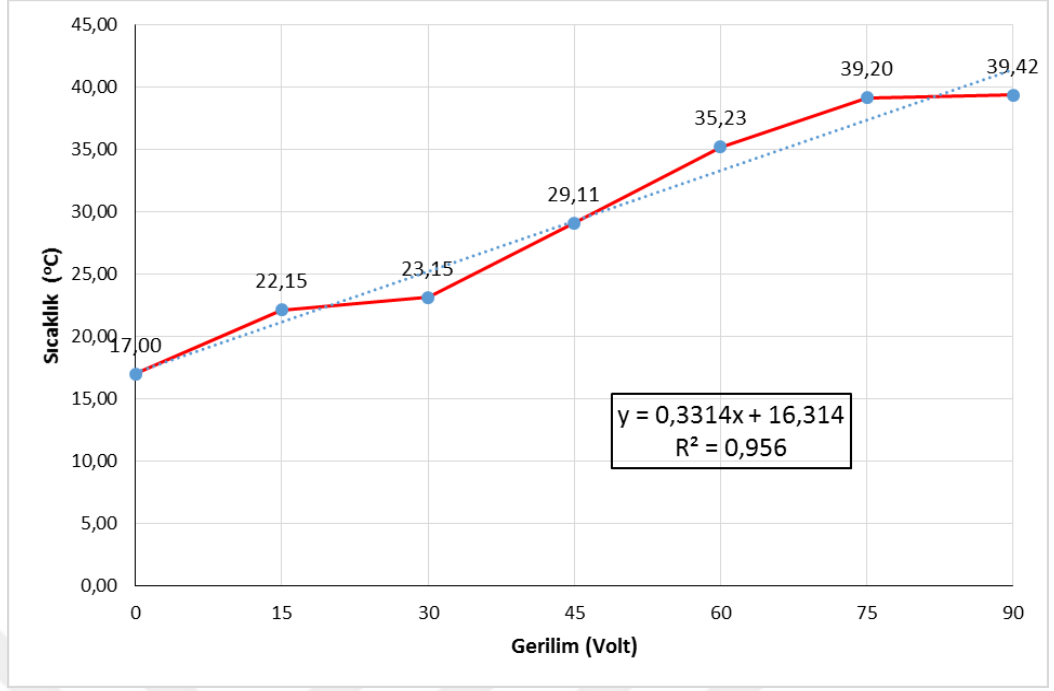


**Şekil 4.30** Kil artığı farklı voltajlar için elektro-ozmotik boşalım, porozite ve su muhtevası ilişkisi

Elektro-osmoz parametrelerinden voltaj ile kil artığı ortamından geçen elektrik akımı arasında ve ortam sıcaklığı arasında yüksek korelasyonlu lineer bir ilişki olduğu Şekil 4.31 ve Şekil 4.32'de gösterilmiştir.

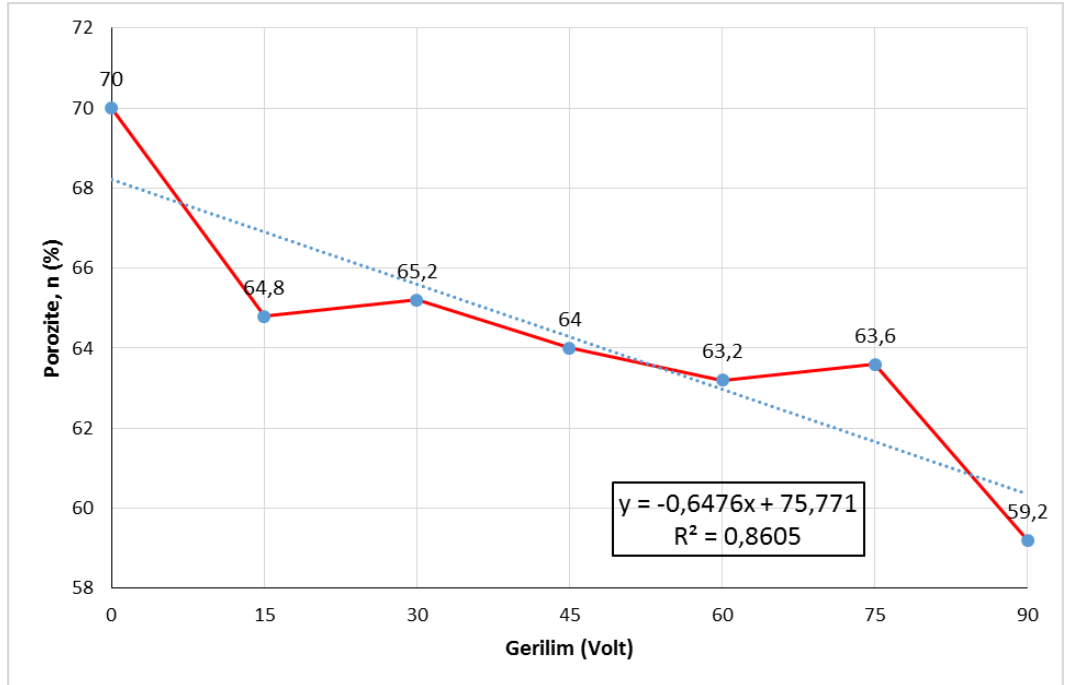


**Şekil 4.31** Kil artığı farklı voltajlar için ortalama akım ve gerilim ilişkisi

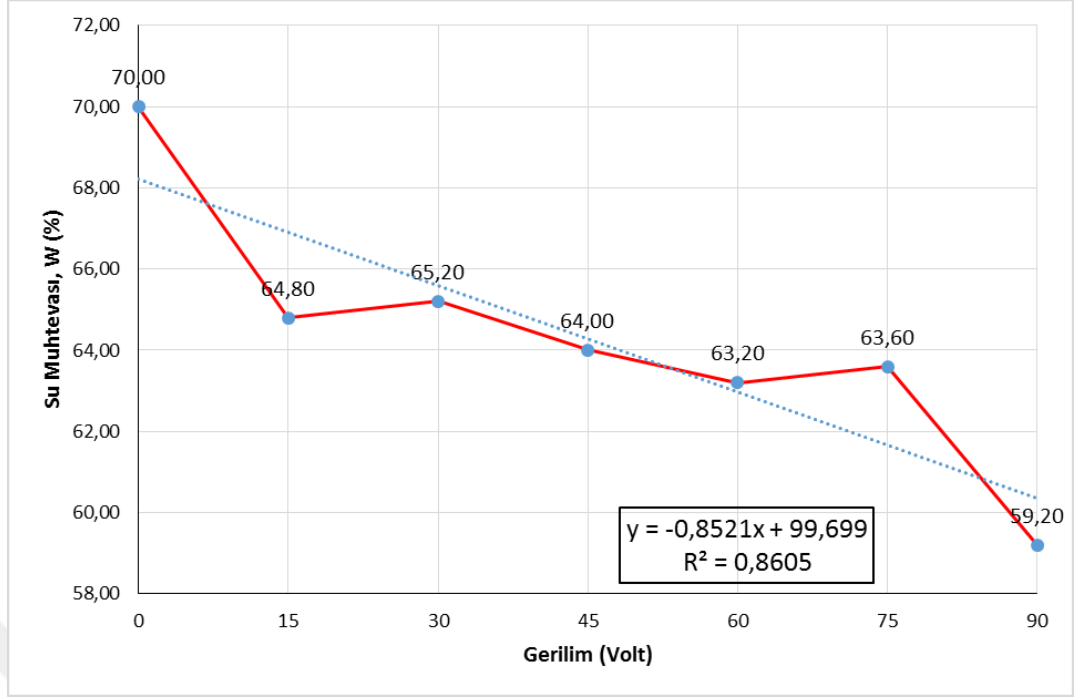


**Şekil 4.32** Kil artığı farklı voltajlar için sıcaklık ve gerilim ilişkisi

Kil artığı deneyinde elektro-ozmotik parametrelerden voltaj ile kil artığı malzemesinin porozite arasındaki ilişki Şekil 4.33'de ve yine voltaj ile su muhtevası arasında yüksek korelasyon katsayılı lineer bir ilişki olduğu Şekil 4.34 'de görülmektedir.



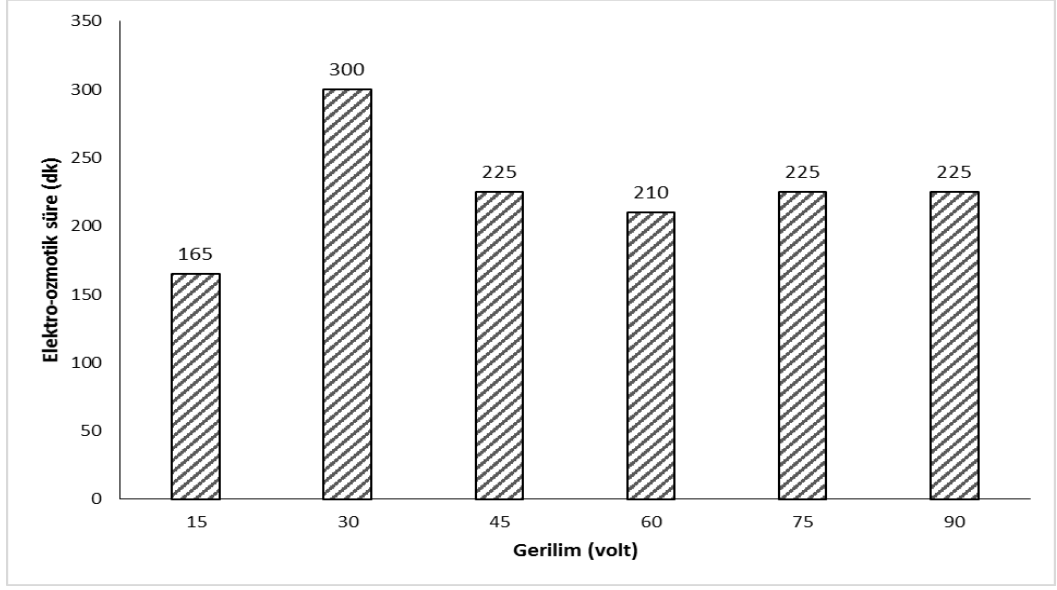
**Şekil 4.33** Kil artığı farklı voltajlar için porozite ve gerilim ilişkisi



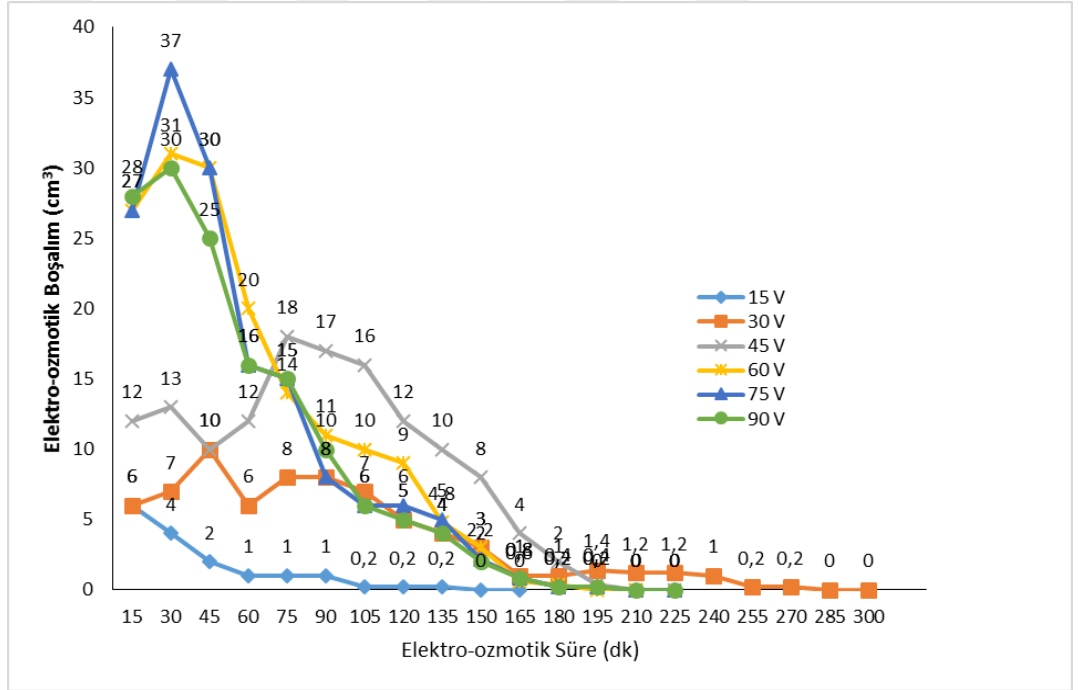
**Şekil 4.34** Kil artışı farklı voltajlar için su muhtevası ve gerilim ilişkisi

#### 4.4 Elektro-Osmoz Deneyleri Kurşun-Çinko Atığı Sonuçları ve Değerlendirmesi

Elektro-osmoz deneyleri kurşun-çinko atığında delikli çelik anot çubukları katot borusunun sağında ve solunda 15 cm mesafede olacak şekilde 15, 30, 45, 60, 75 ve 90 olacak şekilde farklı voltaj aralıklarında deneyler yürütülmüştür. Uygulanan voltajla elektro-ozmotik süre artmıştır ve en yüksek elektro-ozmotik süre 300 dk ile 30 volt uygulandığında olmuştur. 30 volttan sonra ise elektro-ozmotik süre azalmıştır (Şekil 4.35). Daha sonra 6 farklı voltaj durumu için boşalım grafikleri çizilmiş ve her 15 dakidaki su deşarjı-boşalımı Şekil 4.36'de ve her bir voltaj aralıkları için kümülatif-birikimli su deşarjı-boşalımı ilişkisi Şekil 4.37'de gösterilmiştir. Söz konusu bu şekiller incelendiğinde tüm voltajlarda zamanla elektro-ozmotik boşalmanın giderek azaldığı, kümülatif boşalımın ise 60 volttan sonra azaldığı, en yüksek kümülatif boşalımın 60 volt elektrik verildiğinde olduğu görülmüştür.

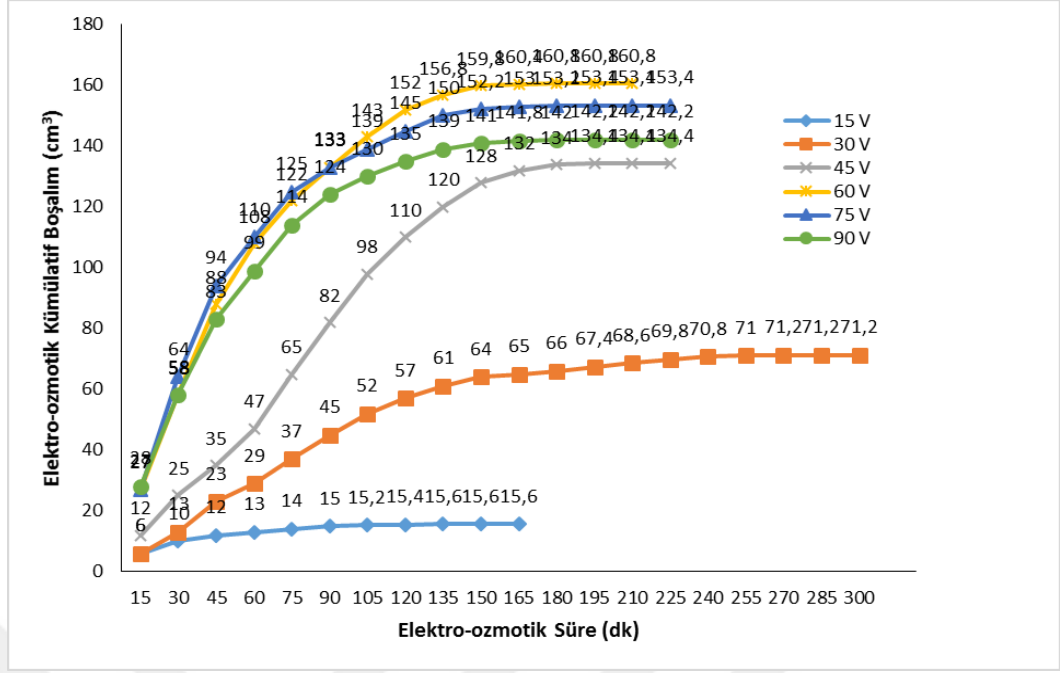


Şekil 4.35 Kurşun-çinko atığı farklı voltajlar için elektro-ozmotik süreler



Şekil 4.36 Kurşun-çinko atığı farklı voltajlar için elektro-ozmotik süre ile boşalım ilişkisi



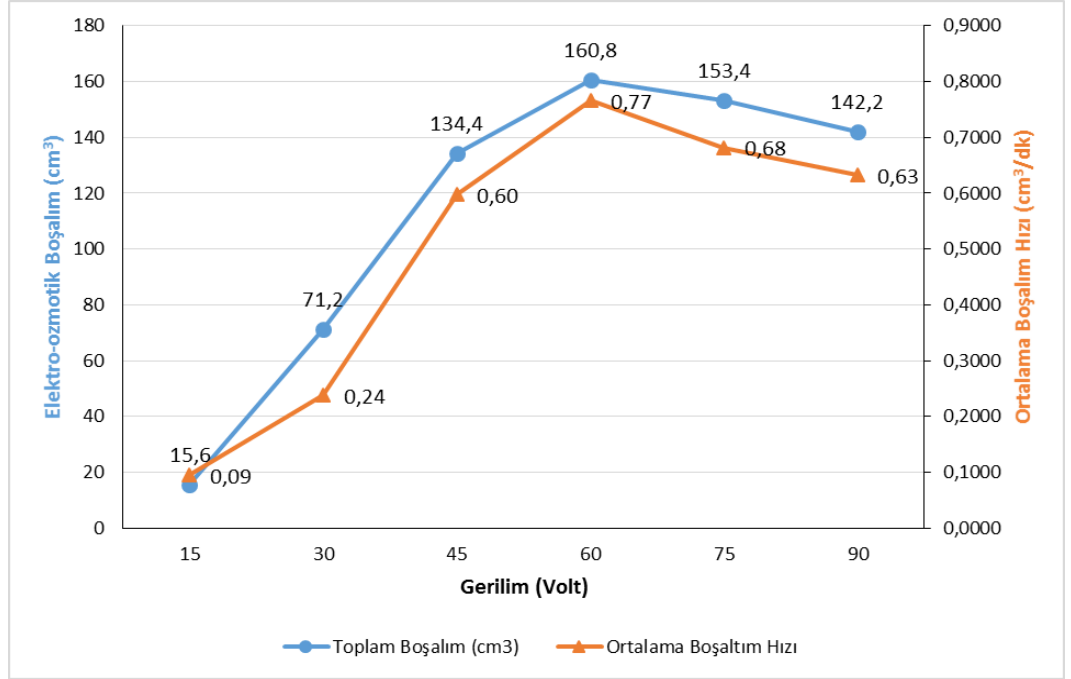


**Şekil 4.37** Kurşun-çinko atığı farklı voltajlar için elektro-ozmotik süre ile kümülatif boşalım ilişkisi

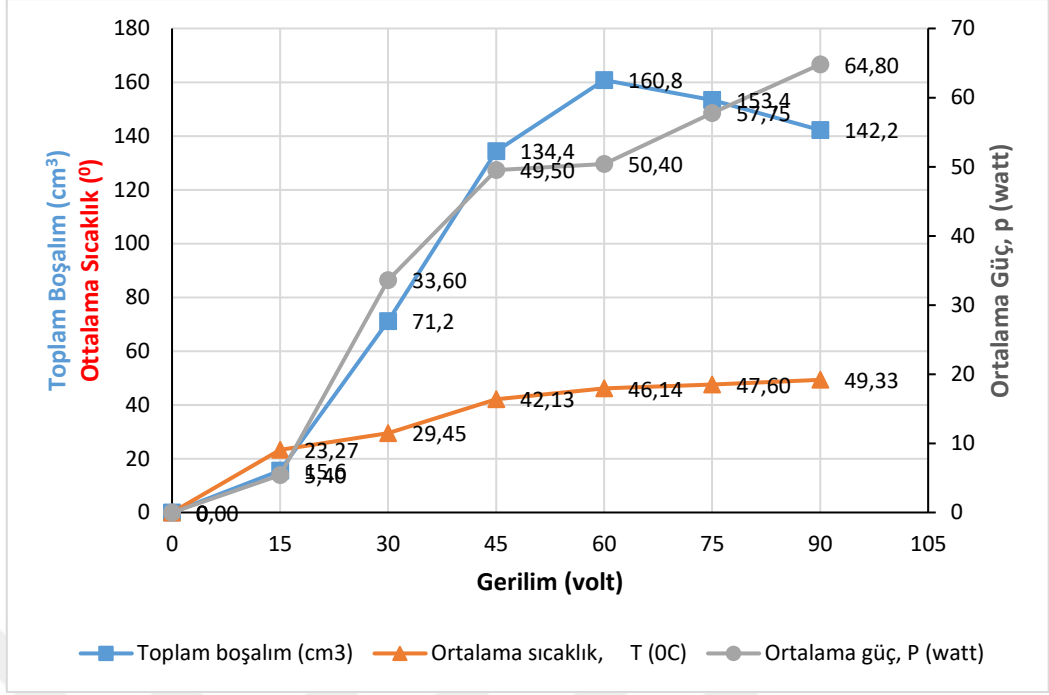
Kurşun-çinko atığı elektro-osmoz yönteminde başlangıç ve 15 volt, 30 volt, 45 volt, 60 volt, 75 volt ve 90 volt için uzaklaştırılan su miktarları, ortalama sıcaklık, elektrik akımı, elektrik direnci, elektrik iletkenliği, harcanan enerji ile kurşun-çinko atığı malzemesinin kuru ve doymun birim hacim ağırlıkları, porozite, boşluk oranı ve su muhtevası gibi bazı zemin mekaniği özellikleri de belirlenmiş ve Çizelge 4.4' de özetlenmiştir. Çizelgedeki veriler kullanılarak elektro-ozmotik parametreler arasında ilişkiler geliştirilmiştir. Şekil 4.38'de voltaj ile kümülatif boşalım ve boşalım hızı arasındaki ilişki görülmektedir. Şekildende görüldüğü gibi voltaj arttıkça kümülatif boşalım ve boşalım hızı artmakta 60 volttan sonra boşalım hızı azalırken boşalım miktarı azalmaya başlamıştır. Yani 60 volt'a kadar elektro-ozmotik susuzlandırma verimli olduğu görülmektedir. Yine voltajla kümülatif boşalım, harcanan enerji ve sıcaklık değişimi Şekil 4.39' da verilmiştir. Voltaj arttıkça enerji tüketimi ve ortamın sıcaklığıda artmış 90 volt'ta 56.0 °C' ye kadar yükselmiştir. Benzer şekilde voltajla elektro-ozmotik su boşalımı ve ortamın elektrik direnci arasındaki ilişki Şekil 4.40'da gösterilmiştir. Ortamın elektrik direnci arttıkça su boşalımı azalmıştır.

**Çizelge 4. 4 Elektro-Osmoz Deneyi Kurşun-Çinko Atığı Değişik Voltajlar İçin Ölçülen ve Hesaplanan Parametreler**

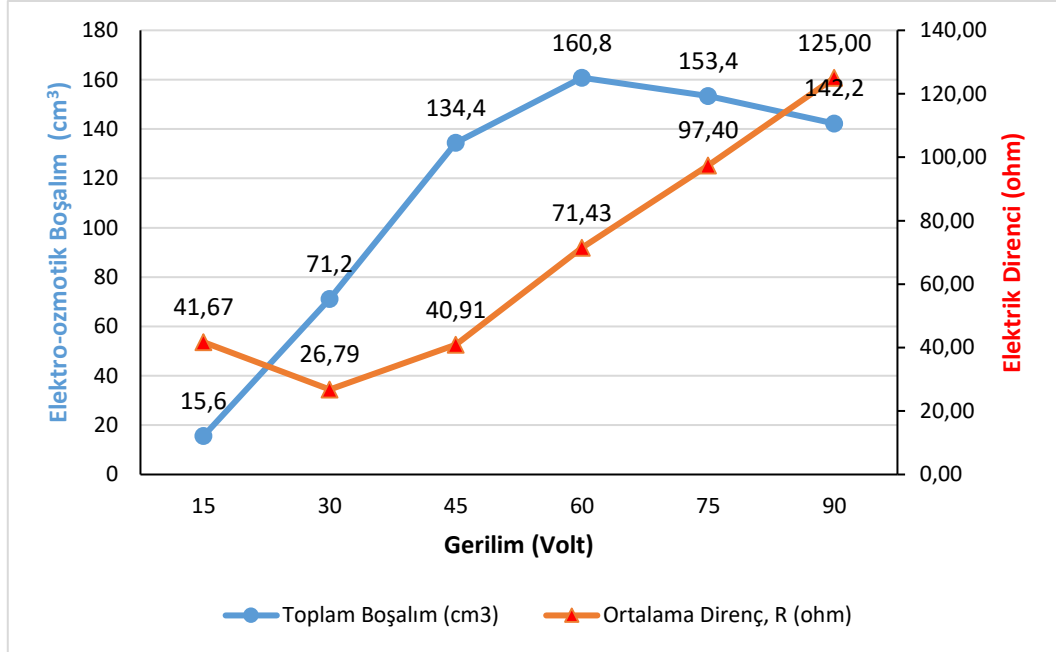
Gerilim (volt)	Kuru birim hacim ağırlık (gr/cm <sup>3</sup> )	Suya Doygun birim hacim ağırlık (gr/cm <sup>3</sup> )	Kuru ağırlık (gr)	Yaş ağırlık (gr)	Porozite, n, (%) ( $V_{boşluk}/V_{toplam}$ )	Boşluk oranı, e ( $n/1-n$ ) (%)	Su muhtevası $\omega$ ( $W_{su}/W_{kat}$ ) (%)	Toplam boşalım (cm <sup>3</sup> )	Toplam boşalım süresi (dk)	Ortalama boşalım hızı (cm <sup>3</sup> /dk)	Ortalama sıcaklık, T (°C)	Ortalama akım, i (amper)	Ortalama direnç, R (ohm)	Ortalama iletkenlik (ohm <sup>-1</sup> )	Ortalama güç, P (watt)
0	1,6	2,30	40	58,2	72,8	2,68	45,50	0	0	0	0	0	0	0	0
15	1,6	1,96	40	49,0	36	0,56	22,50	15,6	165	0,0945	23,27	0,36	41,67	0,0240	5,4
30	1,6	1,84	40	46,2	24,8	0,33	15,50	71,2	300	0,2373	29,45	1,12	26,79	0,0373	33,6
45	1,6	1,73	40	43,3	13,2	0,15	8,25	134,4	225	0,5973	42,13	1,10	40,91	0,0244	49,5
60	1,6	1,69	40	42,4	9,6	0,11	6,00	160,8	210	0,7657	46,14	0,84	71,43	0,0140	50,4
75	1,6	1,71	40	42,9	11,6	0,13	7,25	153,4	225	0,6818	47,60	0,77	97,40	0,0103	57,75
90	1,6	1,72	40	43,1	12,4	0,14	7,75	142,2	225	0,6320	49,33	0,72	125,00	0,008	64,8



**Şekil 4.38** Kurşun-çinko atığı farklı voltajlar için elektro-osmotik boşalım ve ortalama boşalım hızı ilişkisi

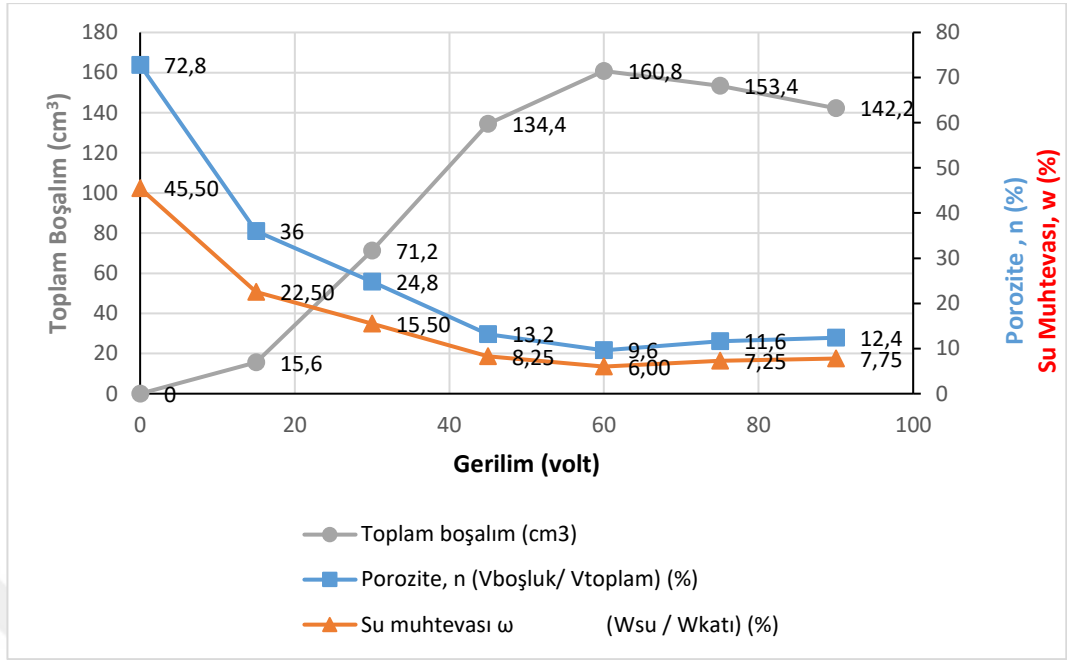


Şekil 4.39 Kurşun-çinko atığı farklı voltajlar için elektro-ozmotik boşalım, harcanan enerji ve sıcaklık ilişkisi



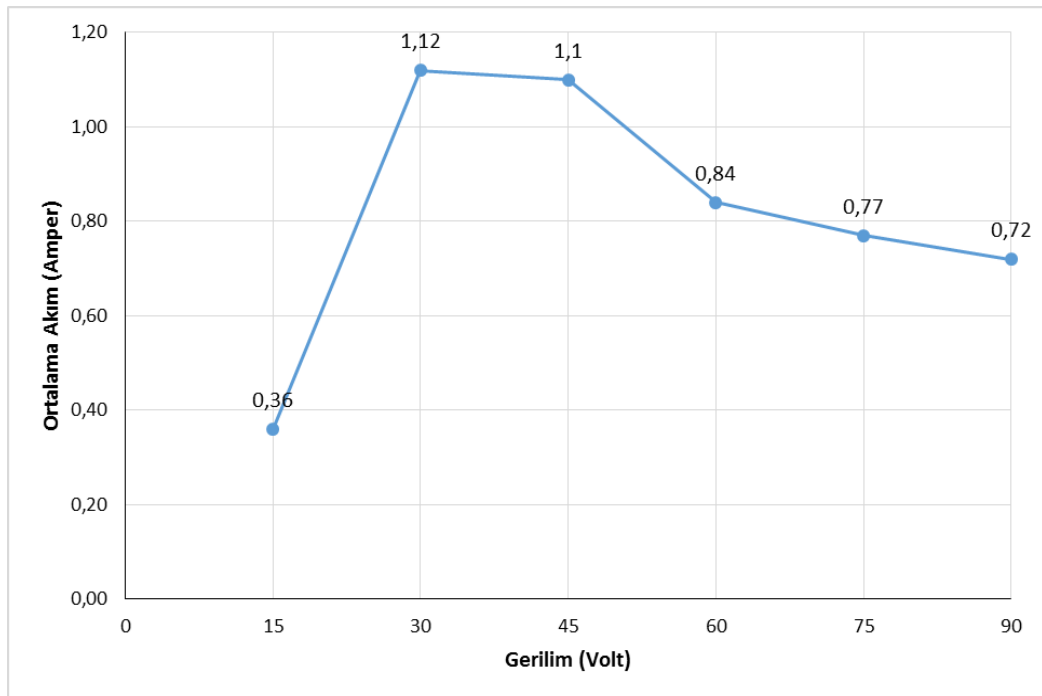
Şekil 4.40 Kurşun-çinko atığı farklı voltajlar için elektro-ozmotik boşalım ve elektrik direnci arasındaki ilişki

Yukarıda voltajla diğer elektro-ozmotik parametreler arasındaki ilişkilerden başka kurşun-çinko atığı malzemesinin zemin mekaniği özelliklerindeki değişimler arasında da karşılaştırmalar yapılmıştır. Buna göre voltajla porozite, su muhtevası ve su boşalımı arasındaki ilişki Şekil 4.41'de gösterilmiştir.

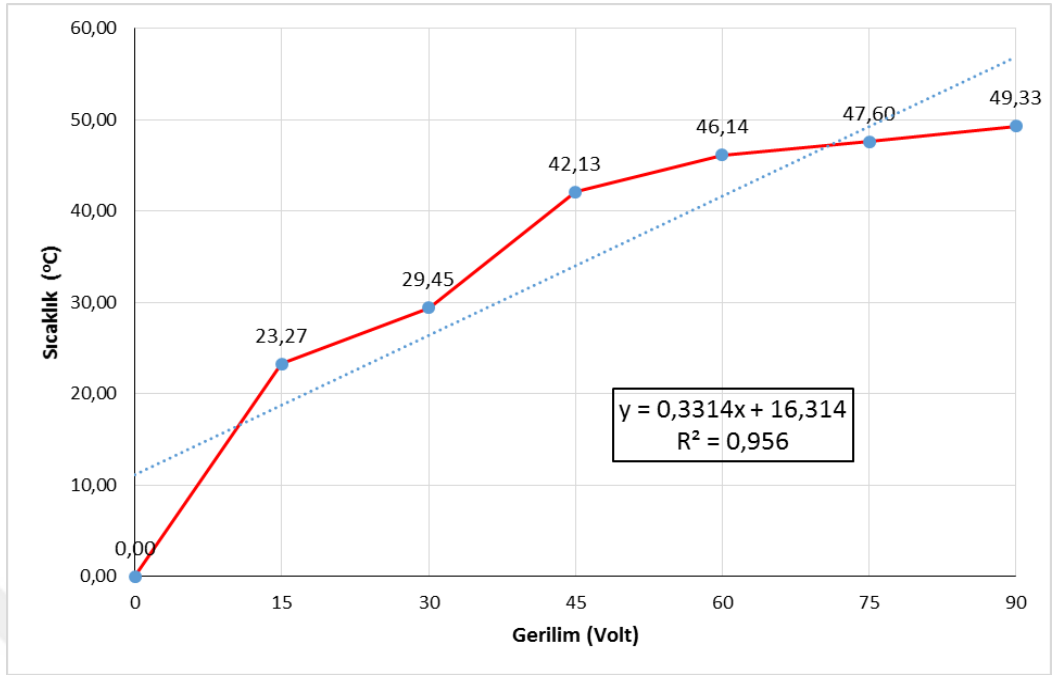


**Şekil 4.41** Kurşun-çinko atığı farklı voltajlar için elektro-ozmotik boşalım, porozite ve su muhtevası ilişkisi

Kurşun-çinko atığı elektro-osmoz parametrelerinden voltaj ile kurşun-çinko ortamından geçen elektrik akımı arasında yüksek korelasyonlu lineer bir ilişki olduğu görülmüştür (Şekil 4.42). Benzer şekilde voltaj ile ortamın sıcaklığı arasında da yüksek korelasyon katsayılı lineer bir ilişki olduğu Şekil 4.43'de görülmektedir.

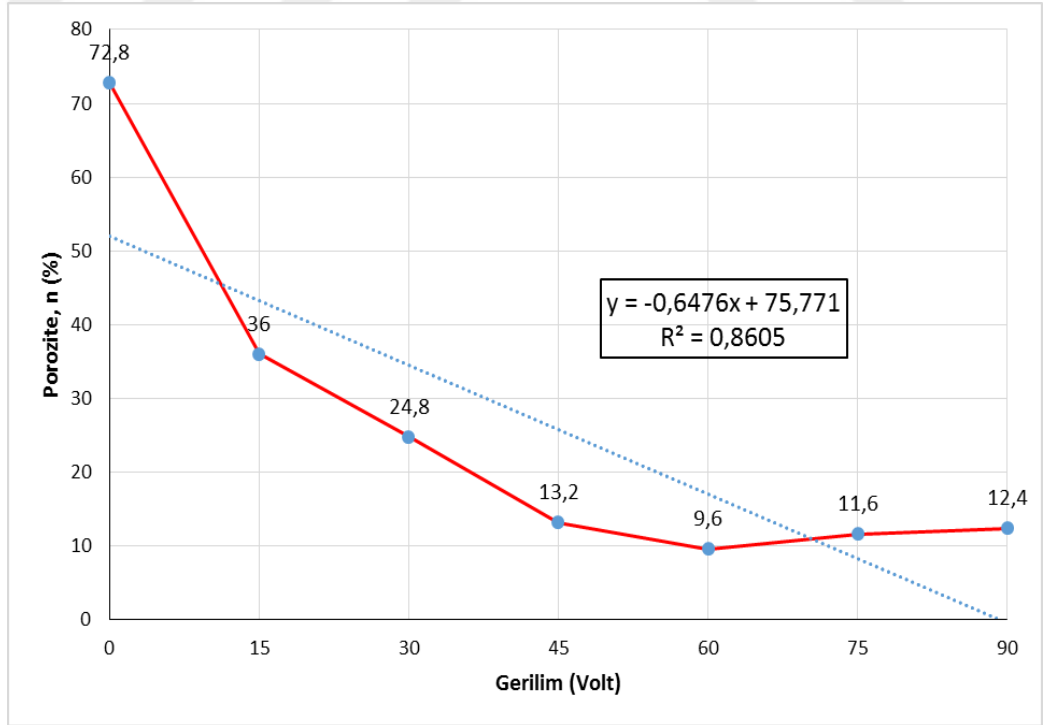


**Şekil 4.42** Kurşun-çinko atığı farklı voltajlar için ortalama akım ve gerilim ilişkisi

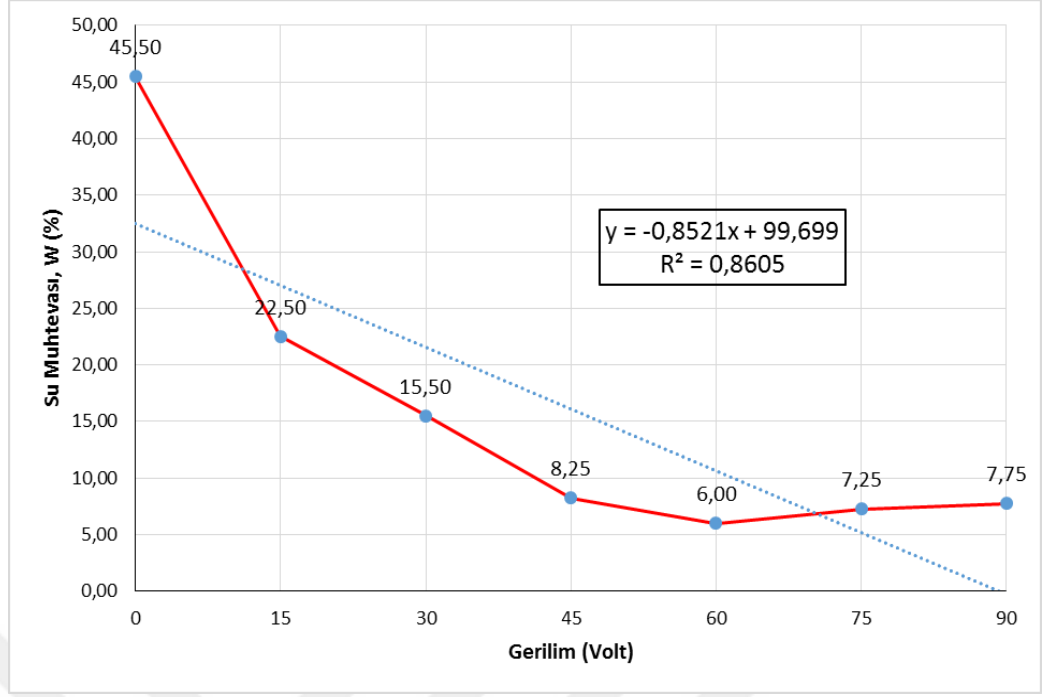


**Şekil 4.43** Kurşun-çinko atığı farklı voltajlar için sıcaklık ve gerilim ilişkisi

Kurşun çinko atığı deneyinde elektro-ozmotik parametrelerden voltaj ile kurşun çinko atığı malzemesinin porozite arasındaki ilişki Şekil 4.43'de ve yine voltaj ile su muhtevası arasında yüksek korelasyon katsayılı lineer bir ilişki olduğu Şekil 4.44 'de görülmektedir.



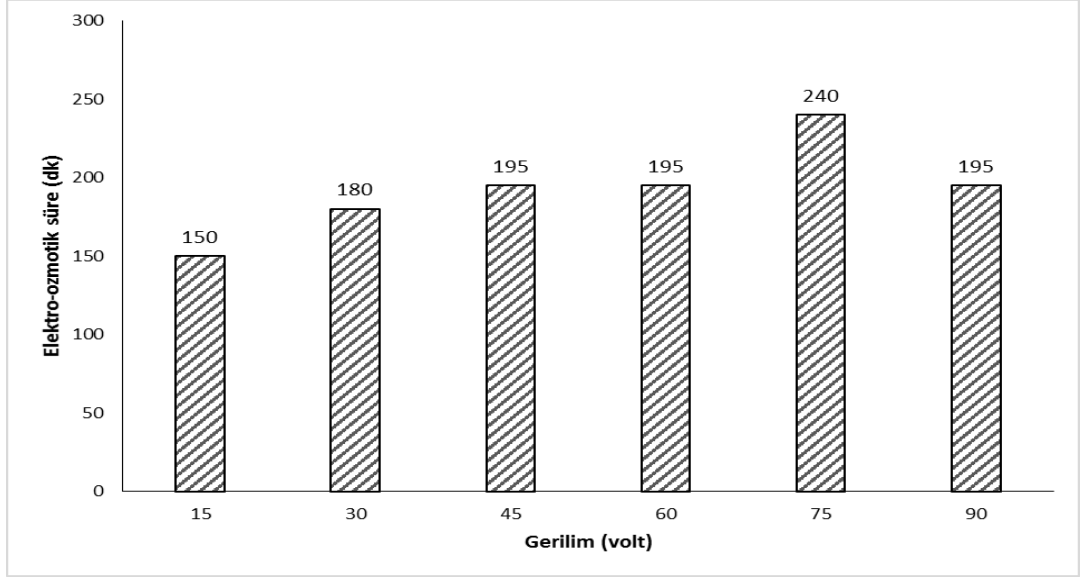
**Şekil 4.44** Kurşun-çinko atığı farklı voltajlar için porozite ve gerilim ilişkisi



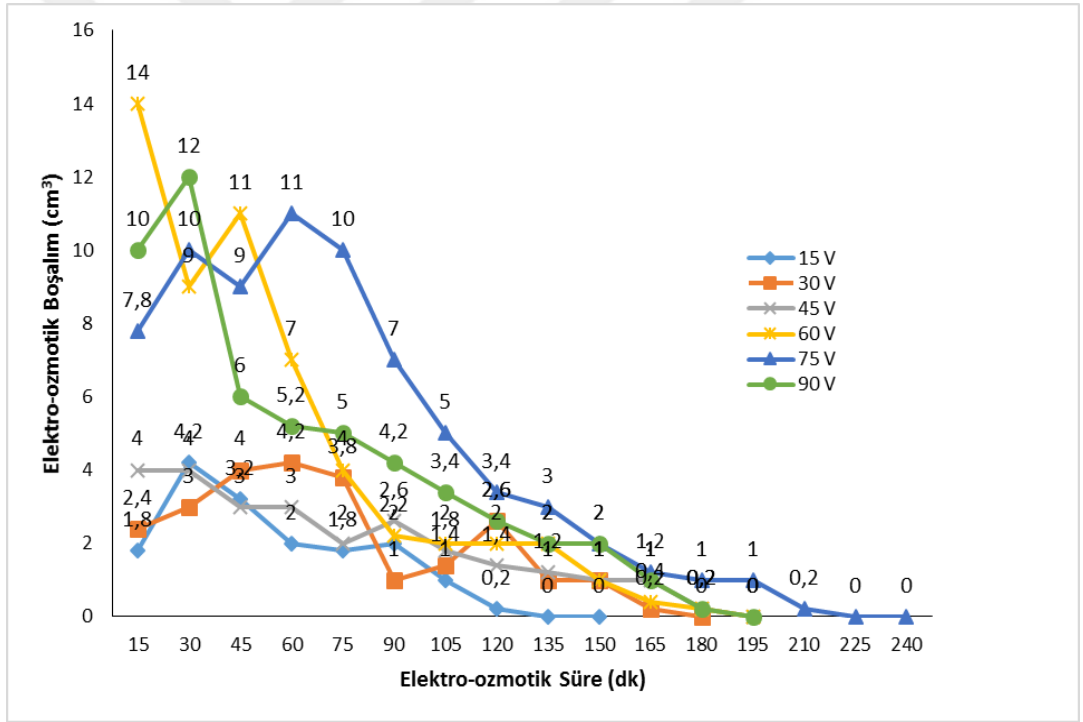
**Şekil 4.45** Kurşun-çinko atığı farklı voltajlar için su muhtevası ve gerilim ilişkisi

#### 4.5 Elektro-Osmoz Deneyleri Kaolen Artığı Sonuçları ve Değerlendirmesi

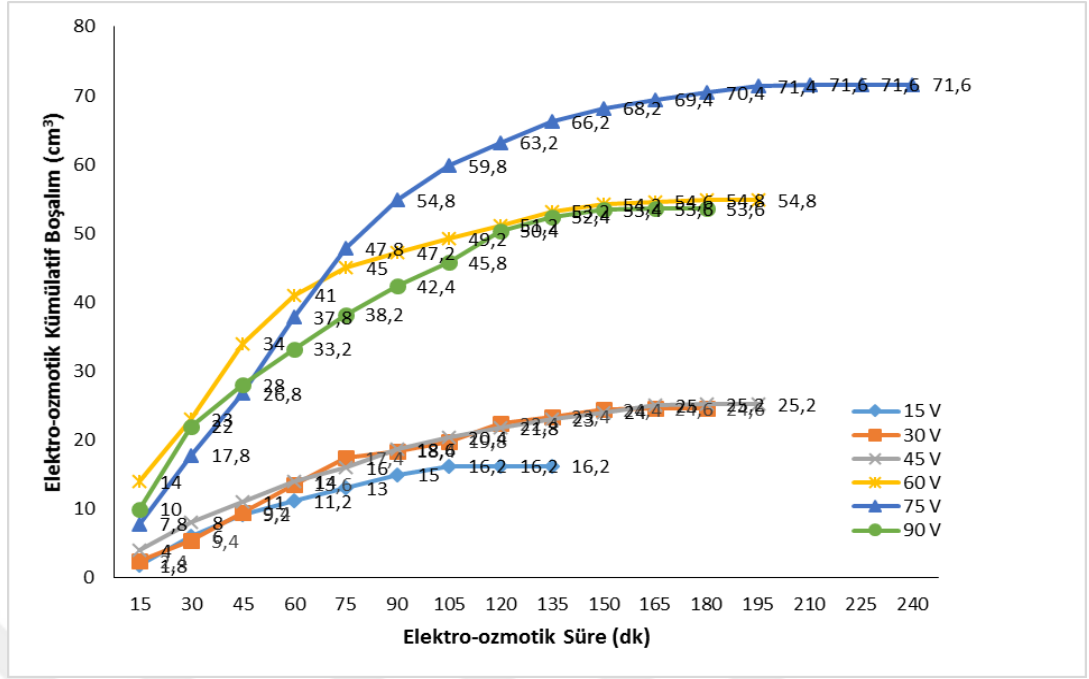
Elektro-osmoz deneyleri kaolen artığında delikli çelik anot çubukları katot borusunun sağında ve solunda 15 cm mesafede olacak şekilde 15, 30, 45, 60, 75 ve 90 olacak şekilde farklı voltaj aralıklarında deneyler yürütülmüştür. Uygulanan voltajla elektro-ozmotik süre artmıştır ve en yüksek elektro-ozmotik süre 240 dk ile 75 volt uygulandığında olmuştur. 30 volttan sonra ise elektro-ozmotik süre azalmıştır (Şekil 4.45). Daha sonra 6 farklı voltaj durumu için boşalım grafikleri çizilmiş ve her 15 dakidaki su deşarjı-boşalımını Şekil 4.46'da ve her bir voltaj aralıkları için kümülatif-birikimli su deşarjı-boşalımını ilişkisi Şekil 4.47'de gösterilmiştir. Söz konusu bu şekiller incelendiğinde tüm voltajlarda zamanla elektro-ozmotik boşalımın giderek azaldığı, kümülatif boşalımın ise 75 volttan sonra azaldığı, en yüksek kümülatif boşalımın 75 volt elektrik verildiğinde olduğu görülmüştür.



Şekil 4.46 Kaolen artığı farklı voltajlar için elektro-ozmotik süreler



Şekil 4.47 Kaolen artığı farklı voltajlar için elektro-ozmotik süre ile boşalım ilişkisi



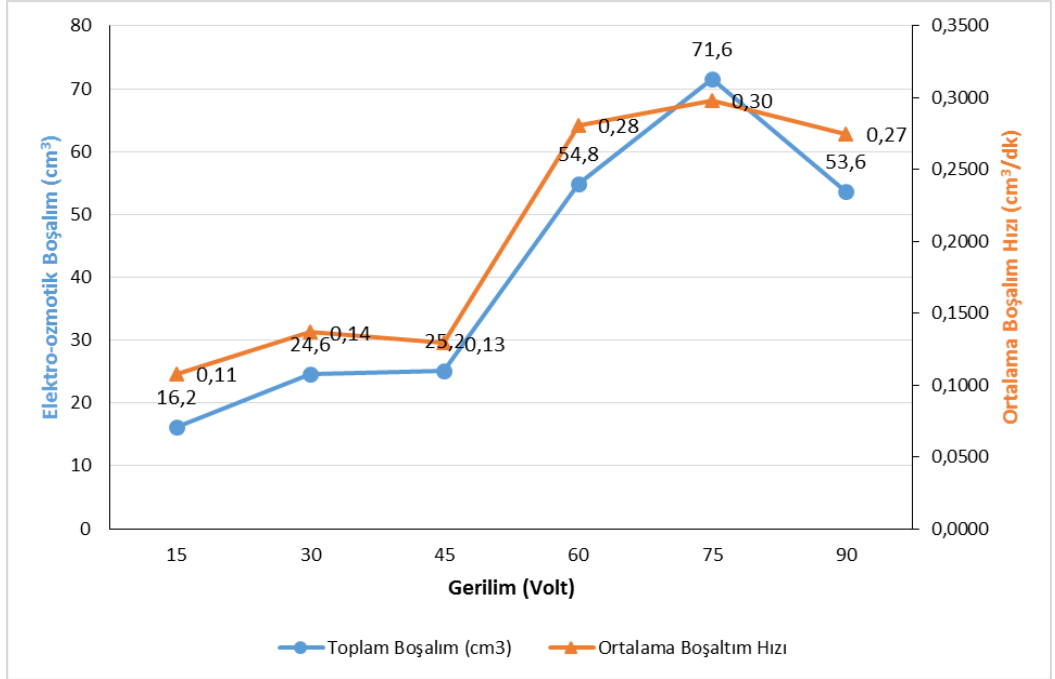
**Şekil 4.48** Kaolen artığı farklı voltajlar için elektro-ozmotik süre ile kümülatif boşalım ilişkisi

Kaolen artığı elektro-osmoz yönteminde başlangıç ve 15 volt, 30 volt, 45 volt, 60 volt, 75 volt ve 90 volt için uzaklaştırılan su miktarları, ortalama sıcaklık, elektrik akımı, elektrik direnci, elektrik iletkenliği, harcanan enerji ile kaolen malzemesinin kuru ve doymun birim hacim ağırlıkları, porozite, boşluk oranı ve su muhtevası gibi bazı zemin mekaniği özellikleri de belirlenmiş ve Çizelge 4.5' de özetlenmiştir. Çizelgedeki veriler kullanılarak elektro-ozmotik parametreler arasında ilişkiler geliştirilmiştir. Şekil 4.48'de voltaj ile kümülatif boşalım ve boşalım hızı arasındaki ilişki görülmektedir. Şekilden de görüldüğü gibi voltaj arttıkça kümülatif boşalım ve boşalım hızı artmakta 60 volttan sonra boşalım hızı artarken boşalım miktarı azalmaya başlamıştır. Yani 75 volt'a kadar elektro-ozmotik susuzlandırma verimli olduğu görülmektedir. Yine voltajla kümülatif boşalım, harcanan enerji ve sıcaklık değişimi Şekil 4.49' da verilmiştir. Voltaj arttıkça enerji tüketimi ve ortamın sıcaklığında artmış 90volt'ta 22.0 °C' ye kadar yükselmiştir. Benzer şekilde voltajla elektro-ozmotik su boşalımı ve ortamın elektrik direnci arasındaki ilişki Şekil 4.50'de gösterilmiştir. Ortamın elektrik direnci düştükçe su boşalımı azalmıştır.

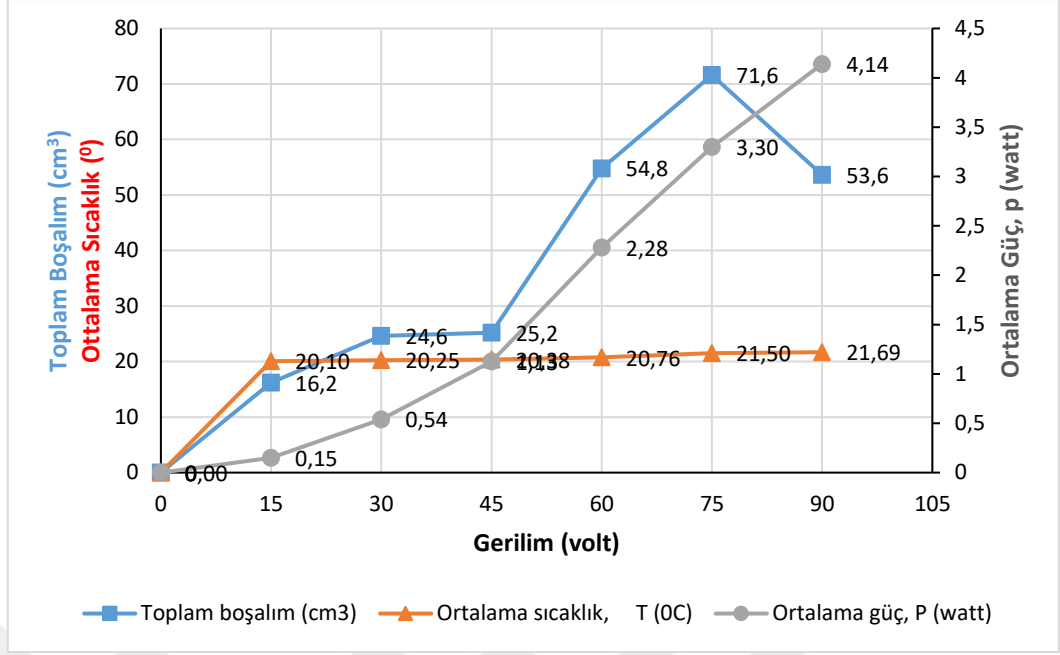


**Çizelge 4. 5** Elektro-Osmoz deneyi Kaolen Artığı Değişik Voltajlar İçin Ölçülen ve Hesaplanan Parametrele

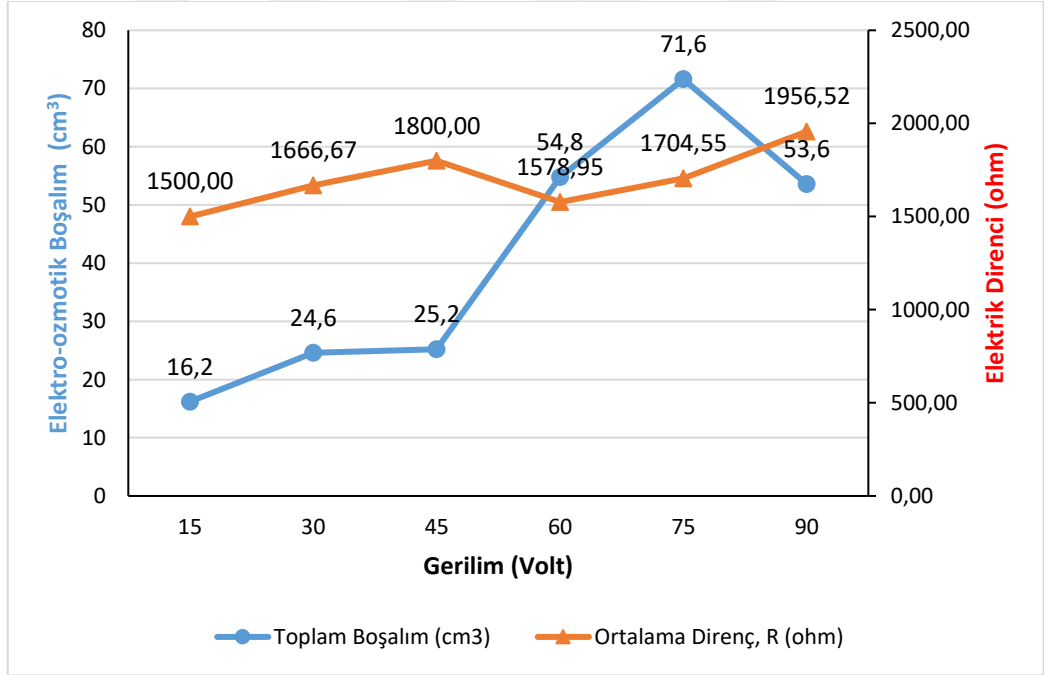
Gerilim (volt)	Kuru birim hacim ağırlık (gr/cm <sup>3</sup> )	Suya Doygun birim hacim ağırlık (gr/cm <sup>3</sup> )	Kuru ağırlık (gr)	Yaş ağırlık (gr)	Porozite, n, (%) ( $V_{boşluk} / V_{toplam}$ )	Boşluk oranı, e ( $n/(1-n)$ ) (%)	Su muhtevası $\omega$ ( $W_{su} / W_{kat}$ ) (%)	Toplam boşalım (cm <sup>3</sup> )	Toplam boşalım süresi (dk)	Ortalama boşalım hızı (cm <sup>3</sup> /dk)	Ortalama sıcaklık, T (°C)	Ortalama akım, i (amper)	Ortalama direnç, R (ohm)	Ortalama iletkenlik (ohm <sup>-1</sup> )	Ortalama güç, P (watt)
0	1,68	2,17	42,2	54,4	48,8	0,95	28,91	0	0	0	0	0	0	0	0
15	1,68	2,08	42,2	52,0	39,2	0,64	23,22	16,2	150	0,1080	20,10	0,010	1500,00	0,0007	0,150
30	1,68	2,05	42,2	51,4	36,8	0,58	21,80	24,6	180	0,1367	20,25	0,018	1666,67	0,0006	0,540
45	1,68	2,03	42,2	50,8	34,4	0,52	20,38	25,2	195	0,1292	20,38	0,025	1800,00	0,0006	1,125
60	1,68	1,91	42,2	47,9	22,8	0,30	13,51	54,8	195	0,2810	20,76	0,038	1578,95	0,0006	2,280
75	1,68	1,80	42,2	45,2	12,0	0,14	7,11	71,6	240	0,2983	21,50	0,044	1704,55	0,0006	3,300
90	1,68	1,92	42,2	48,2	24,0	0,32	14,22	53,6	195	0,2749	21,69	0,046	1956,52	0,0005	4,140



**Şekil 4.49** Kaolen artığı farklı voltajlar için elektro-osmotik boşalım ve ortalama boşalım hızı ilişkisi

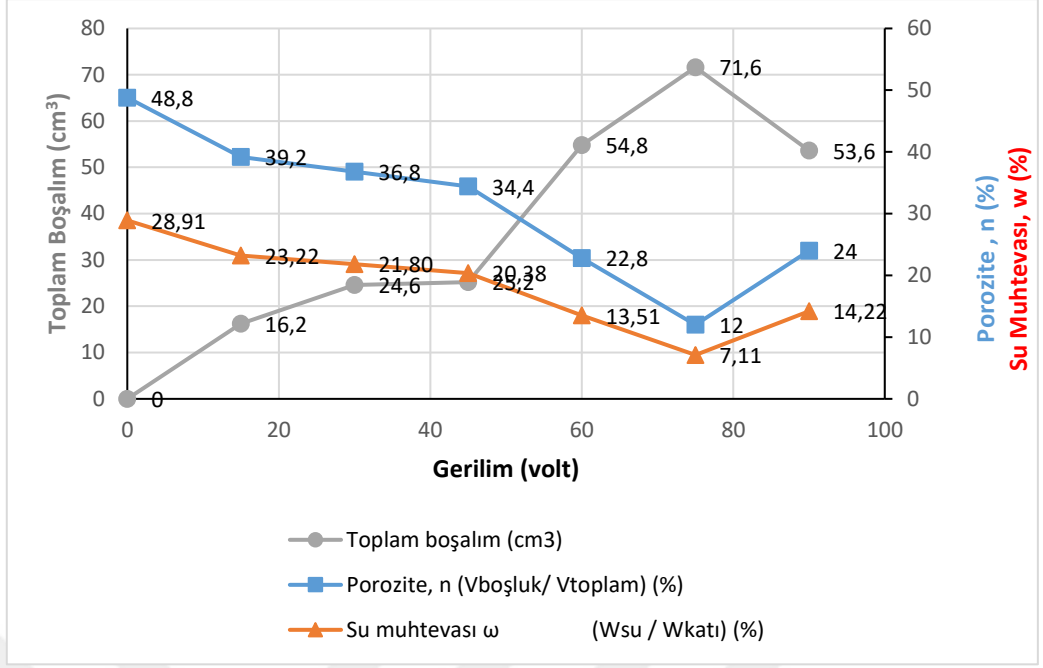


**Şekil 4.50** Kaolen artığı farklı voltajlar için elektro-ozmotik boşalım, harcanan enerji ve sıcaklık ilişkisi



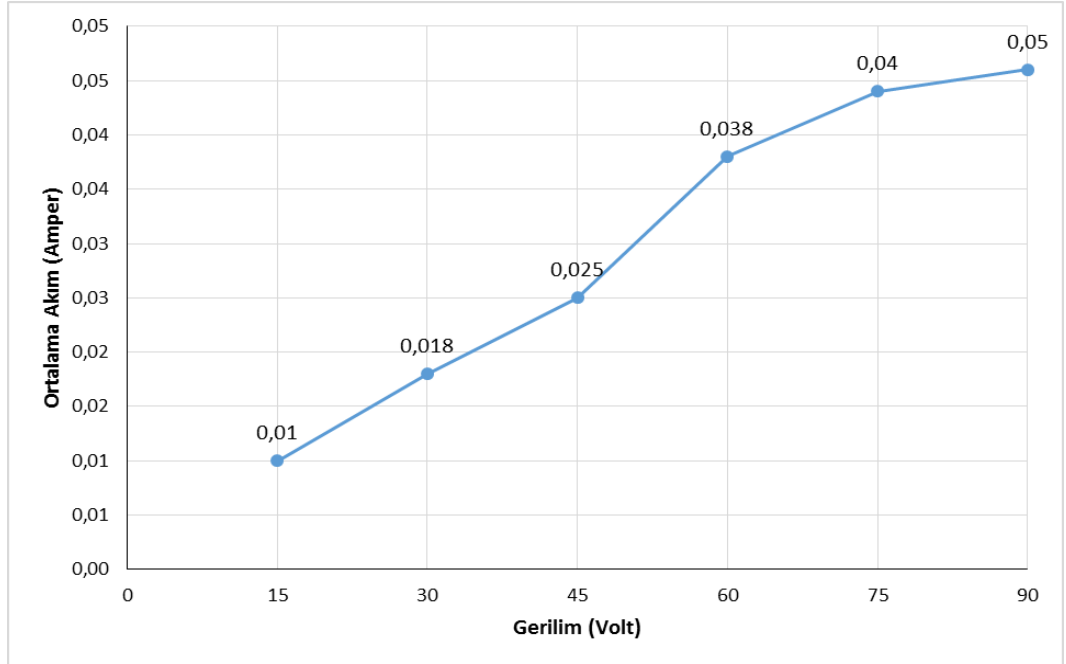
**Şekil 4.51** Kaolen artığı farklı voltajlar için elektro-ozmotik boşalım ve elektrik direnci arasındaki ilişki

Yukarıda voltajla diğer elektro-ozmotik parametreler arasındaki ilişkilerden başka kaolen artığı malzemesinin zemin mekaniği özelliklerindeki değişimler arasında da karşılaştırmalar yapılmıştır. Buna göre voltajla porozite, su muhtevası ve su boşalımı arasındaki ilişki Şekil 4.51'de gösterilmiştir.

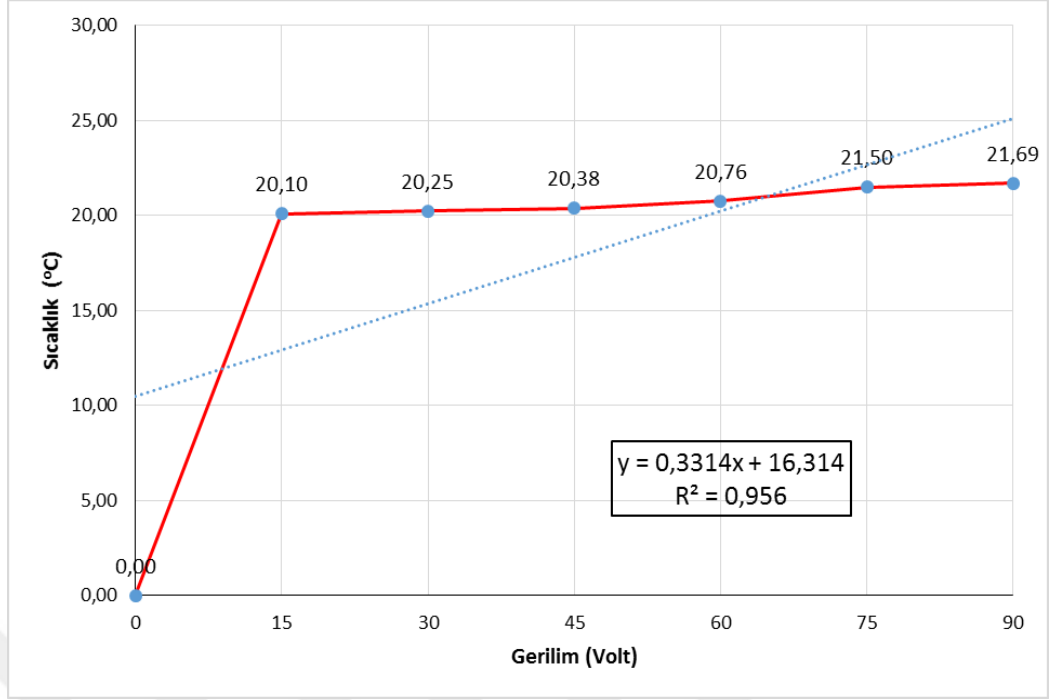


**Şekil 4.52** Kaolen artığı farklı voltajlar için elektro-ozmotik boşalım, porozite ve su muhtevası ilişkisi

Kaolen artığı elektro-osmoz parametrelerinden voltaj ile kaolen ortamından geçen elektrik akımı arasında yüksek korelasyonlu lineer bir ilişki olduğu görülmüştür (Şekil 4.52). Benzer şekilde voltaj ile ortamın sıcaklığı arasında da yüksek korelasyon katsayılı lineer bir ilişki olduğu Şekil 4.53'de görülmektedir.

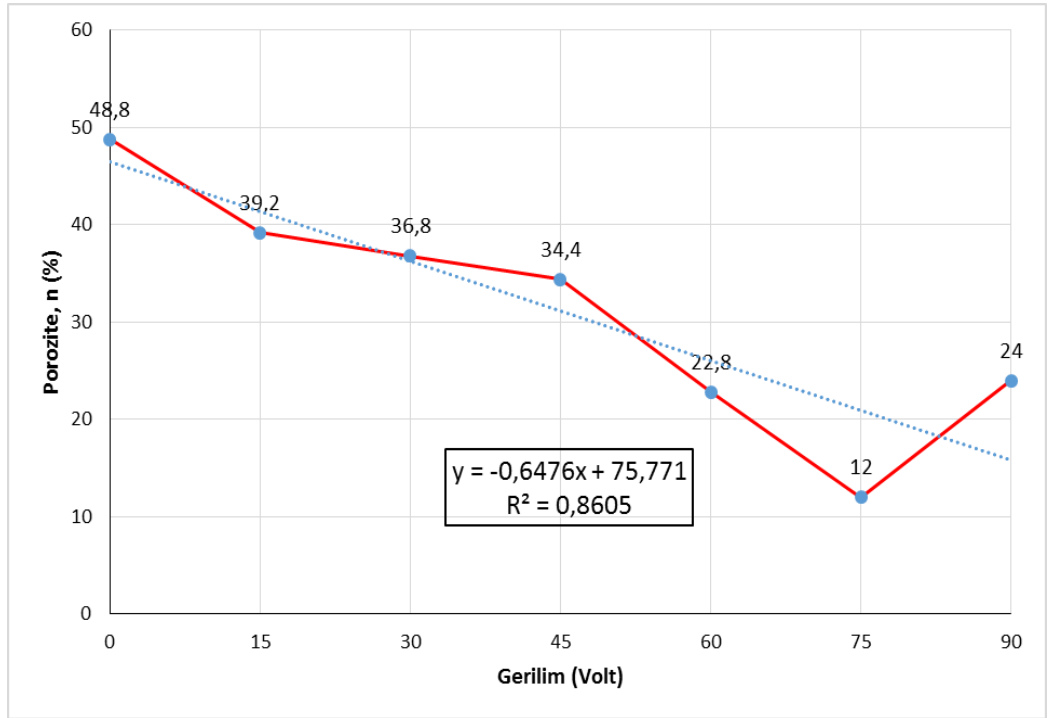


**Şekil 4.53** Kaolen artığı farklı voltajlar için ortalama akım ve gerilim ilişkisi

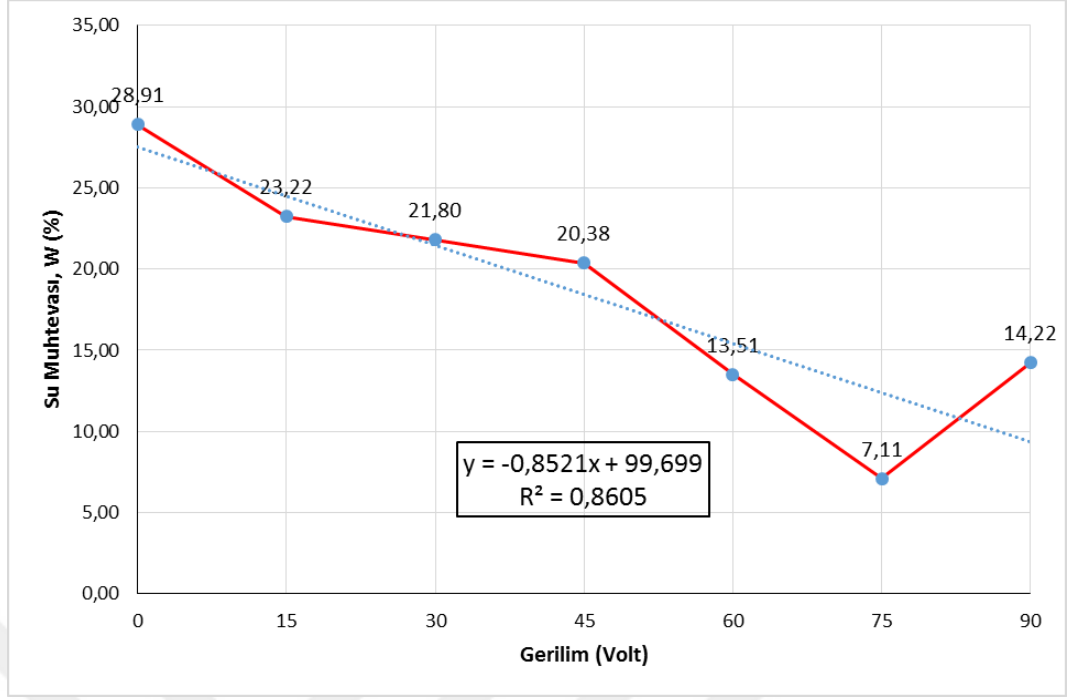


Şekil 4.54 Kaolen artışı farklı voltajlar için sıcaklık ve gerilim ilişkisi

Kaolen malzemesi deneyinde elektro-ozmotik parametrelerden voltaj ile kaolen malzemesinin porozite arasındaki ilişki Şekil 4.54'de ve yine voltaj ile su muhtevası arasında yüksek korelasyon katsayılı lineer bir ilişki olduğu Şekil 4.55 'de görülmektedir.



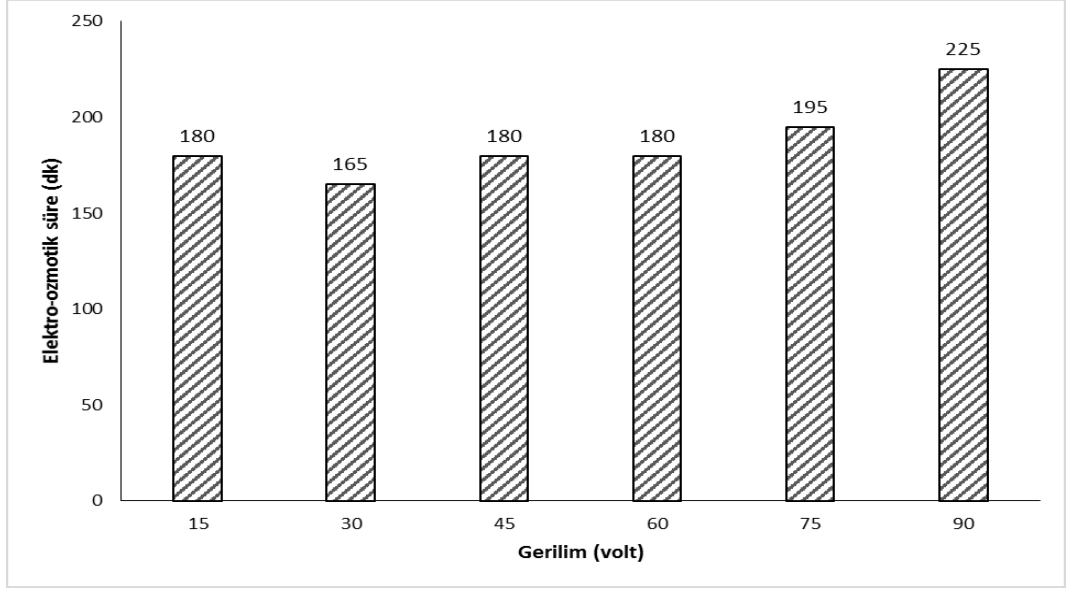
Şekil 4.55 Kaolen artışı farklı voltajlar için porozite ve gerilim ilişkisi



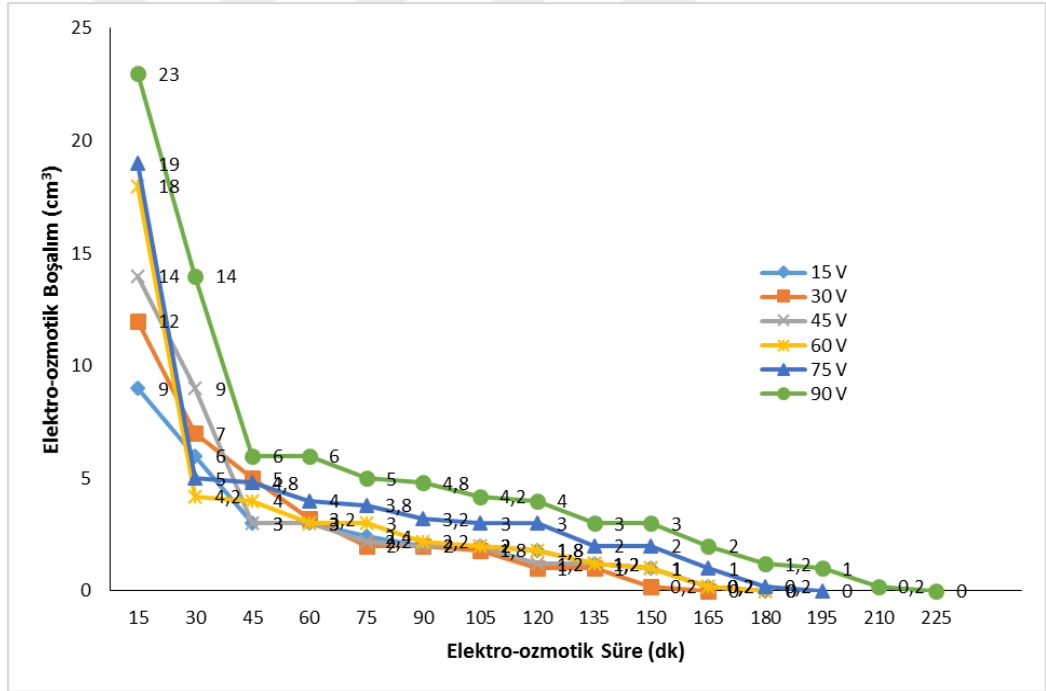
**Şekil 4.56** Kaolen artığı farklı voltajlar için su muhtevası ve gerilim ilişkisi

#### 4.6 Elektro-Osmoz Deneyleri Demir Atığı Sonuçları ve Değerlendirmesi

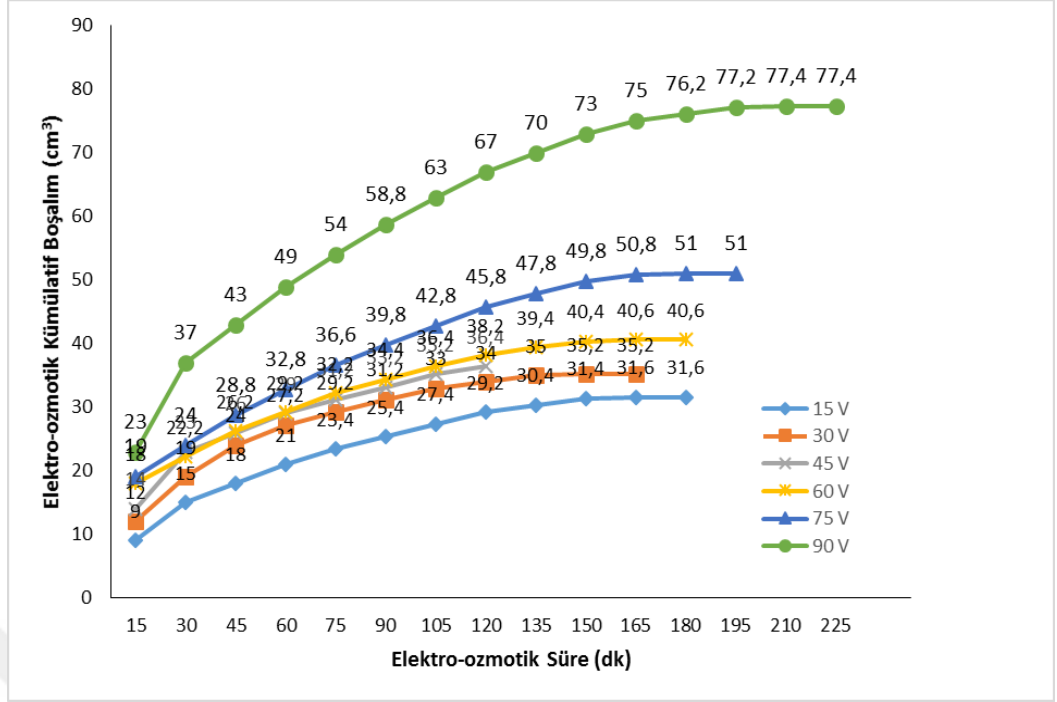
Elektro-osmoz deneyleri demir atığında delikli çelik anot çubukları katot borusunun sağında ve solunda 15 cm mesafede olacak şekilde 15, 30, 45, 60, 75 ve 90 olacak şekilde farklı voltaj aralıklarında deneyler yürütülmüştür. Uygulanan voltajla elektro-ozmotik süre artmıştır ve en yüksek elektro-ozmotik süre 225 dk ile 90 volt uygulandığında olmuştur (Şekil 4.56). Daha sonra 6 farklı voltaj durumu için boşalım grafikleri çizilmiş ve her 15 dakidaki su deşarjı-boşalımını Şekil 4.57'de ve her bir voltaj aralıkları için kümülatif-birikimli su deşarjı-boşalımını ilişkisi Şekil 4.58'de gösterilmiştir. Söz konusu bu şekiller incelendiğinde tüm voltajlarda zamanla elektro-ozmotik boşalımın giderek azaldığı, kümülatif boşalımın ise giderek arttığı, en yüksek kümülatif boşalımın 90 volt elektrik verildiğinde olduğu görülmüştür.



Şekil 4.57 Demir atığı farklı voltajlar için elektro-ozmotik süreler



Şekil 4.58 Demir atığı farklı voltajlar için elektro-ozmotik süre ile boşalım arasındaki ilişki

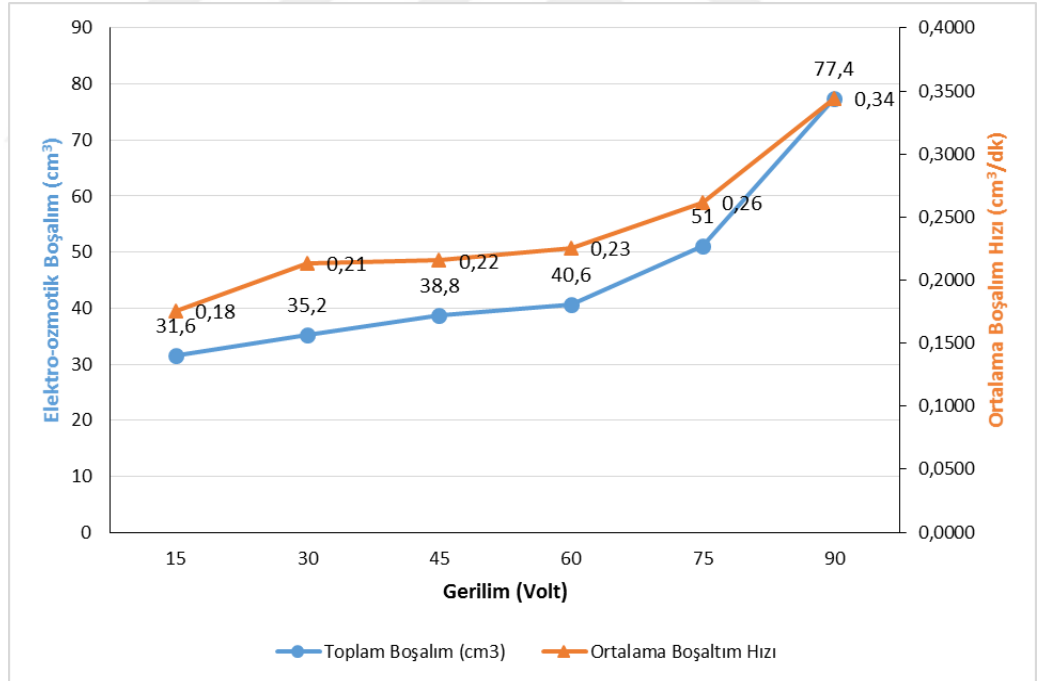


**Şekil 4.59** Demir atığı farklı voltajlar için elektro-ozmotik süre ile kümülatif boşalım ilişkisi

Demir atığı elektro-osmoz yönteminde başlangıç ve 15 volt, 30 volt, 45 volt, 60 volt, 75 volt ve 90 volt için uzaklaştırılan su miktarları, ortalama sıcaklık, elektrik akımı, elektrik direnci, elektrik iletkenliği, harcanan enerji ile demir atığı malzemesinin kuru ve doymuş birim hacim ağırlıkları, porozite, boşluk oranı ve su muhtevası gibi bazı zemin mekaniği özellikleri de belirlenmiş ve Çizelge 4.6' da özetlenmiştir. Çizelgedeki veriler kullanılarak elektro-ozmotik parametreler arasında ilişkiler geliştirilmiştir. Şekil 4.59'da voltaj ile kümülatif boşalım ve boşalım hızı arasındaki ilişki görülmektedir. Şekilden de görüldüğü gibi voltaj arttıkça kümülatif boşalım ve boşalım hızı artmakta 90 volt' ta boşalım hızı ve boşalım miktarı en yüksek seviyededir. Yani 90 volt' a kadar elektro-ozmotik susuzlandırma verimli olduğu görülmektedir. Yine voltajla kümülatif boşalım, harcanan enerji ve sıcaklık değişimi Şekil 4.60' da verilmiştir. Voltaj arttıkça enerji tüketimi ve ortamın sıcaklığı da artmış 90 volt'ta 42.0°C' ye kadar yükselmiştir. Benzer şekilde voltajla elektro-ozmotik su boşalımı ve ortamın elektrik direnci arasındaki ilişki Şekil 4.61'de gösterilmiştir. Ortamın elektrik direnci düştükçe su boşalımı azalmış ve 15 volt'ta en düşük dirençte en düşük su boşalımı gerçekleşmiştir.

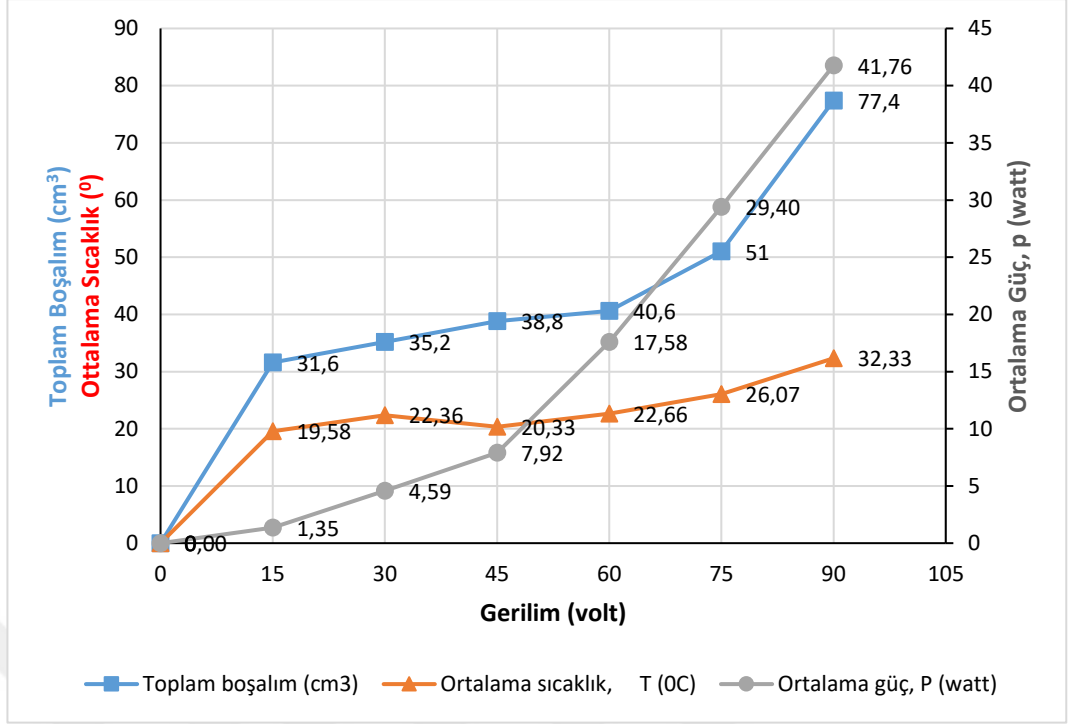
**Çizelge 4. 6** Elektro-osmoz deneyi Demir Atığı Değişik Voltajlar İçin Ölçülen ve Hesaplanan Parametreler

Gerilim (volt)	Kuru birim hacim ağırlık (gr/cm <sup>3</sup> )	Suya Doygun birim hacim ağırlık (gr/cm <sup>3</sup> )	Kuru ağırlık (gr)	Yaş ağırlık (gr)	Porozite, n, (%) ( $V_{boşluk} / V_{toplam}$ )	Boşluk oranı, e ( $n/1-n$ ) (%)	Su muhtevası $\omega$ ( $W_{su} / W_{kat}$ ) (%)	Toplam boşalım (cm <sup>3</sup> )	Toplam boşalım süresi (dk)	Ortalama boşalım hızı (cm <sup>3</sup> /dk)	Ortalama sıcaklık, T (°C)	Ortalama akım, i (amper)	Ortalama direnç, R (ohm)	Ortalama iletkenlik (ohm <sup>-1</sup> )	Ortalama güç, P (watt)
0	1,488	2,336	37,2	58,4	84,8	5.58	56,99	0	0	0	0,00	0	0	0	0
15	1,488	2,25	37,2	56,3	76,4	3.24	51,34	31,6	180	0,1756	19,58	0,09	166,667	0,0060	1,35
30	1,488	2,048	37,2	51,2	56	1.27	37,63	35,2	165	0,2133	22,36	0,153	196,08	0,0051	4,59
45	1,488	2,004	37,2	50,1	51,6	1.07	34,68	38,8	180	0,2156	20,33	0,176	255,68	0,0039	7,92
60	1,488	1,932	37,2	48,3	44,4	0.80	29,84	40,6	180	0,2256	22,66	0,293	204,78	0,0049	17,58
75	1,488	1,78	37,2	44,6	29,6	0.42	19,89	51	195	0,2615	26,07	0,39	191,327	0,0052	29,40
90	1,488	1,67	37,2	41,8	18,4	0.23	12,37	77,4	225	0,3440	32,33	0,46	193,97	0,0052	41,76

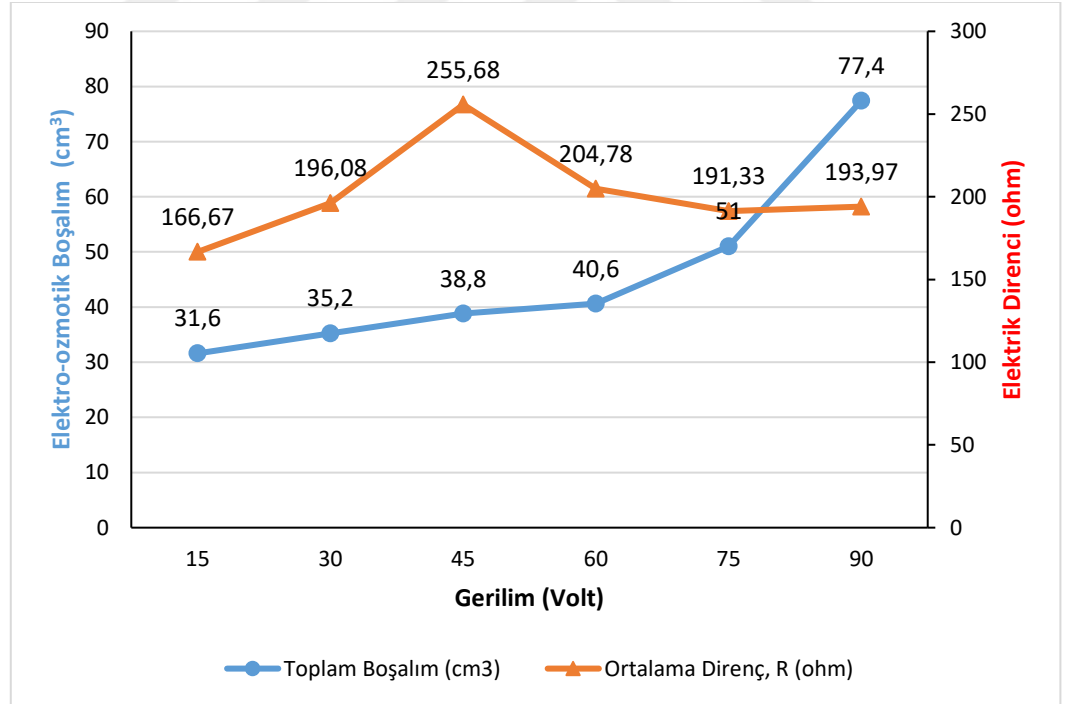


**Şekil 4.60** Demir atığı farklı voltajlar için elektro-osmotik boşalım ve ortalama boşalım hızı ilişkisi





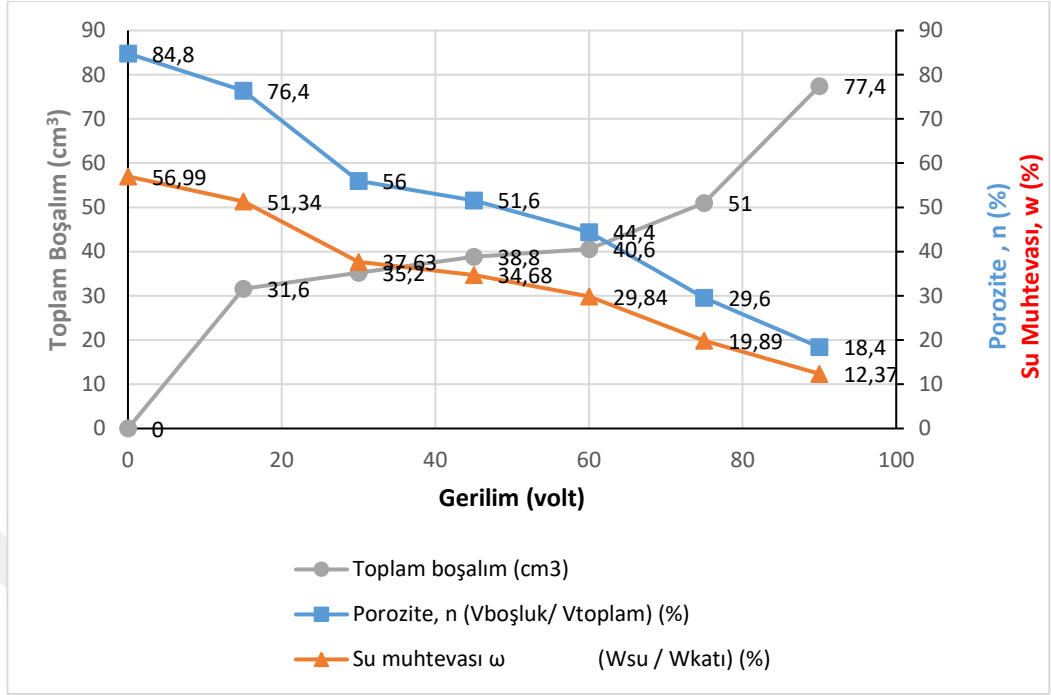
**Şekil 4.61** Demir atığı farklı voltajlar için elektro-ozmotik boşalım, harcanan enerji ve sıcaklık ilişkisi



**Şekil 4.62** Demir atığı farklı voltajlar için elektro-ozmotik boşalım ve elektrik direnci arasındaki ilişki

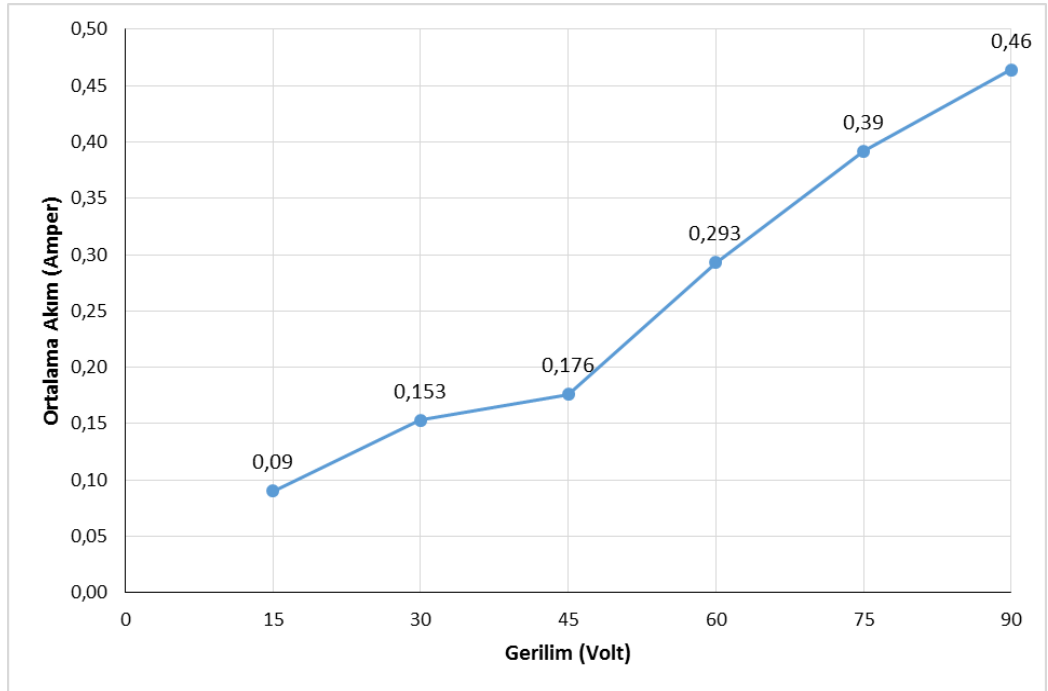
Yukarıda voltajla diğer elektro-ozmotik parametreler arasındaki ilişkilerden başka demir atığı malzemesinin zemin mekaniği özelliklerindeki değişimler arasında da karşılaştırmalar

yapılmıştır. Buna göre voltajla porozite, su muhtevası ve su boşalımı arasındaki ilişki Şekil 4.62'de gösterilmiştir.

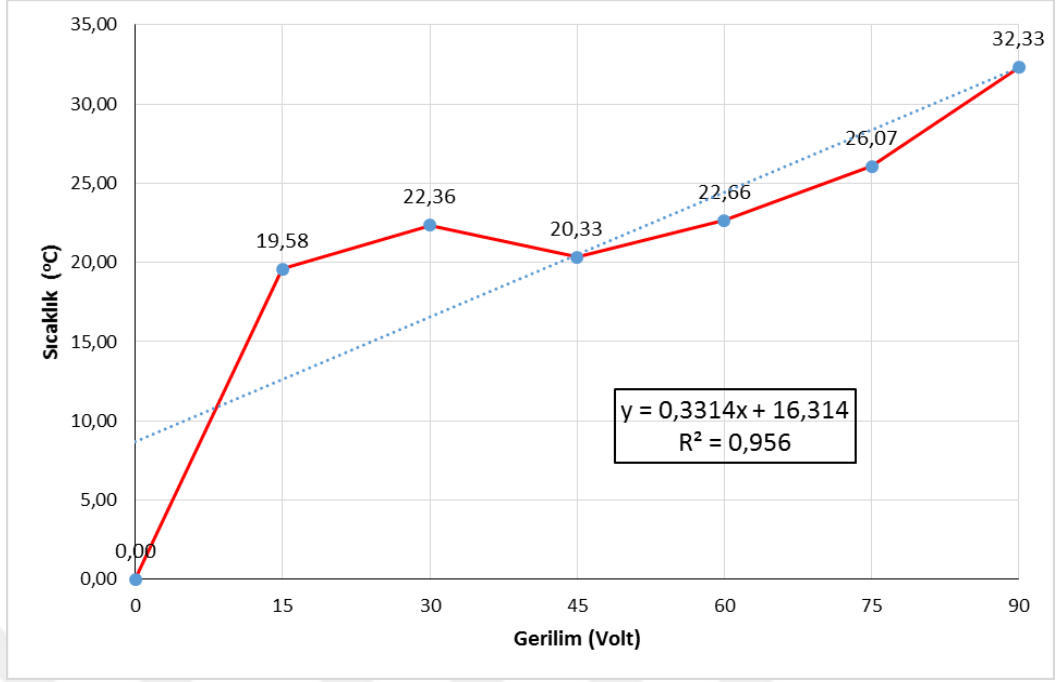


**Şekil 4.63** Demir atığı farklı voltajlar için elektro-ozmotik boşalım, porozite ve su muhtevası ilişkisi

Demir atığı elektro-osmoz parametrelerinden voltaj ile demir ortamından geçen elektrik akımı arasında yüksek korelasyonlu lineer bir ilişki olduğu görülmüştür (Şekil 4.63). Benzer şekilde voltaj ile ortamın sıcaklığı arasında da yüksek korelasyon katsayılı lineer bir ilişki olduğu Şekil 4.64'de görülmektedir.

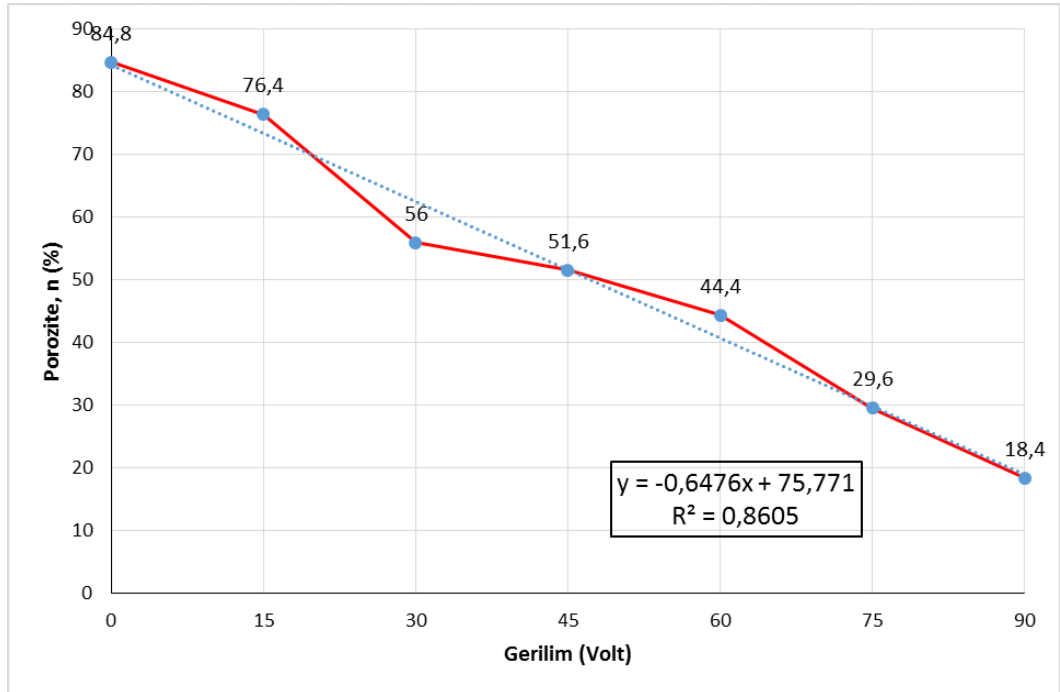


**Şekil 4.64** Demir atığı farklı voltajlar için ortalama akım ve gerilim ilişkisi

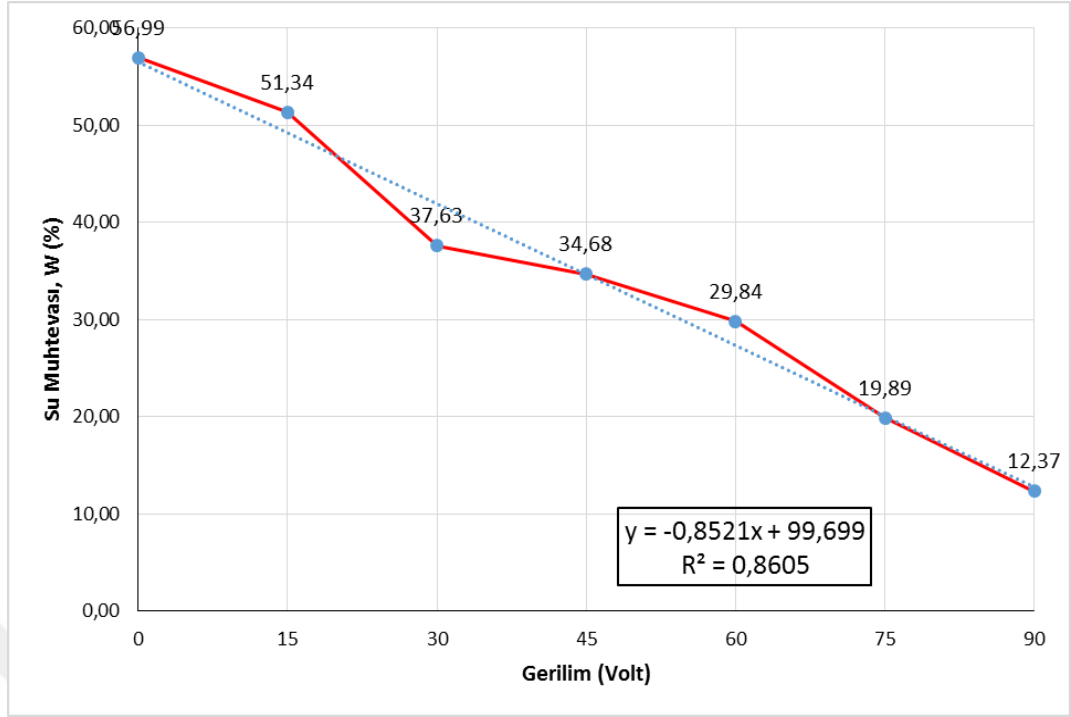


Şekil 4.65 Demir atığı farklı voltajlar için sıcaklık ve gerilim ilişkisi

Demir atığı deneyinde elektro-ozmotik parametrelerden voltaj ile demir atığı malzemesinin porozite arasındaki ilişki Şekil 4.65’de ve yine voltaj ile su muhtevası arasında yüksek korelasyon katsayılı lineer bir ilişki olduğu Şekil 4.66 ‘da görülmektedir.



Şekil 4.66 Demir atığı farklı voltajlar için porozite ve gerilim ilişkisi



Şekil 4.67 Demir atığı farklı voltajlar için su muhtevası ve gerilim ilişkisi

## 5.SONUÇLAR ve ÖNERİLER

### 5.1 Sonuçlar

Bu tez çalışmasında farklı maden sahalarından alınan maden atık ve artıklarının laboratuvar ortamında elektro-osmoz deneyleri ile susuzlaştırılması araştırılmıştır. Öncelikle bu malzemelerin SEM-EDX, X-RD, tane boyutu dağılımları ve kıvam limitleri belirlenmiş ve tez içerisinde detaylı verilmiştir. Elektro-osmoz deneylerinde delikli çelik anot kullanılmak üzere 15 volt, 30 volt, 45 volt, 60 volt, 75 volt ve 90 volt elektrik verilmiştir. Her bir voltaj için katot kuyusundan alınan su miktarı, elektro-ozmotik su boşalım süresi, ortamın sıcaklığı, elektrik direnci, ortamdaki geçen akımlar ölçülmüş ve elektro-ozmotik boşalım hızı, ortamın iletkenliği, kuru birim hacim ağırlığı porozitesi ve su muhtevası gibi bazı zemin özellikleri hesaplanmıştır.

Elde edilen sonuçlar için tablo ve grafikler çizilerek elektro-ozmotik parametreler arasında ilişkiler geliştirilmiştir. Verilerin değerlendirilmesiyle aşağıdaki sonuçlar ortaya çıkarılmıştır. Deneilerde kullanılan malzemelerin başlangıç özellikleri aşağıdaki tabloda verilmiştir.

ÖZELLİKLER	MALZEME					
	Kömür-baca külü atığı	Kil-ara kesme artığı	Krom atığı	Kurşun çinko atığı	Demir atığı	Kaolen
Kuru birim hacim ağırlığı (gr/cm <sup>3</sup> )	0,76	1,00	1,36	1,60	1,48	1,68
Yaş birim hacim ağırlığı (gr/cm <sup>3</sup> )	1,15	1,70	1,94	2,30	2,33	2,17
Porozite n (%)	39,20	70,00	72,00	72,8	84,80	48,80
Su içeriği ω (%)	51,58	70,00	52,63	45,5	56,99	28,91
Elektrik iletkenlik EC ( μs/cm) - malzeme	505	841	544	3010	1105	491
Elektrik iletkenlik EC ( μs/cm) -çeşme suyu	500	500	500	500	500	500
pH - malzeme	8,50	8,40	8,32	8,55	6,80	7,36
pH - çeşme suyu	7,90	7,90	7,90	7,90	7,90	7,90
Likit limit, LL (%)	31,25	30,30	80,00	17,02	35,71	-
Plastik limit, PL (%)	49,80	61,00	50,70	31,00	25,00	-
Plastisite indisi, PI (%)	18,55	30,70	8,59	13,98	6,25	-
Tane yüzey alanı (m <sup>2</sup> /kg)	180,4	701,3	59,91	410,30	341,9	805,8

Tüm deneylerde numunelerden yerçekimi ile alınamayan suyun elektro-osmoz yöntemi ile alınabildiği görülmüştür. Her bir deney için değişik voltajlarda ölçülen elektro-ozmotik su boşalımı, elektro-ozmotik süre ve harcanan enerji miktarları aşağıdaki tabloda özetlenmiştir. En yüksek su boşalımının 60 volt' ta kurşun-çinko atığında ve en yüksek elektro-ozmotik sürenin 60 volt'ta kil artığında gerçekleştiği görülmüştür.

	Elektro-ozmotik su boşalımı (cm <sup>3</sup> )						Elektro-ozmotik süre (dk)						Harcanan enerji (Watt)					
	15 Volt	30 Volt	45 Volt	60 Volt	75 Volt	90 Volt	15 Volt	30 Volt	45 Volt	60 Volt	75 Volt	90 Volt	15 Volt	30 Volt	45 Volt	60 Volt	75 Volt	90 Volt
Kömür Baca Külü Atığı	1,4	9,4	32,8	81,0	43,8	66,2	105	165	165	150	240	150	3,00	14,10	40,95	84,60	60,00	153,9
Krom Atığı	17,6	10,0	7,6	8,8	6,5	13,2	120	120	180	210	165	165	0,30	1,80	3,60	6,60	9,75	16,20
Kil Artığı	40,0	30,4	57,8	67,6	58,2	135	195	195	270	315	270	210	1,35	6,6	18,0	30,0	41,25	89,1
Kurşun-Çinko Atığı	15,6	71,2	134,4	160,8	153,4	142,2	165	300	225	210	225	225	5,4	33,6	49,5	50,4	57,75	64,8
Kaolen	16,2	24,6	25,2	54,8	71,6	53,6	150	180	195	195	240	195	0,15	0,54	1,125	2,28	3,30	4,14
Demir Atığı	31,6	35,2	38,8	40,6	51	77,4	180	165	180	180	195	225	1,35	4,59	7,92	17,58	29,4	41,76

Elektro-osmoz deneyleri sonucu farklı voltajlar için malzemelerdeki yaş birim hacim ağırlıkları, porozite ve su muhtevsındaki değişimler belirlemiş ve aşağıdaki tabloda verilmiştir. Buna göre bütün malzemelerin elektro-osmoz deneyleri sonrası yaş birim hacim ağırlıkları, poroziteleri ve su muhtevsının da azaldığı görülmüştür. Yaş birim hacim ağırlığının en yüksek değişimi kurşun çinko atığında görülmüş olup, başlangıçta 2.30 gr/cm<sup>3</sup> olan yaş birim hacim ağırlık 60 volt' ta 1.69 gr/cm<sup>3</sup> e kadar düşmüştür. Porozite de en yüksek değişim kurşun çinko atığında görülmüş olup, başlangıçta %72.8 olan porozite 60 volt' ta %9.6 seviyesine kadar düşmüştür. Su muhtevsında da aynı şekilde kurşun çinko atığın da en yüksek değişim gözlenmiş olup, %45.50 olan başlangıç muhtevası 60 volt' ta %6 ya düşmüştür.

	Yaş birim hacim ağırlık (gr/cm <sup>3</sup> )							Porozite (%)							Su muhtevası (%)						
	0 Volt	15 Volt	30 Volt	45 Volt	60 Volt	75 Volt	90 Volt	0 Volt	15 Volt	30 Volt	45 Volt	60 Volt	75 Volt	90 Volt	0 Volt	15 Volt	30 Volt	45 Volt	60 Volt	75 Volt	90 Volt
<b>Kömür Baca Külü Atığı</b>	1.55	1.43	1.38	1.14	0.98	1.07	1.02	79.2	67.2	62.4	38.4	22	31.2	26	104.21	88.42	82.11	50.53	28.95	41.05	34.21
<b>Krom Atığı</b>	2,08	1,64	1,84	1,92	1,92	1,93	1,75	72,00	27,20	48,00	55,60	55,20	56,80	38,40	52,63	19,88	35,09	40,64	40,35	41,52	28,07
<b>Kil Artığı</b>	1,70	1,64	1,65	1,64	1,63	1,63	1,59	70,00	64,80	65,20	64,00	63,20	63,60	59,20	70	64,8	65,2	64	63,2	63,6	59,2
<b>Kurşun-Çinko Atığı</b>	2,30	1,96	1,84	1,73	1,69	1,71	1,72	72,8	36	24,8	13,2	9,6	11,6	12,4	45,50	22,50	15,50	8,25	6,00	7,25	7,75
<b>Kaolen</b>	2,17	2,08	2,05	2,03	1,91	1,80	1,92	48,8	39,2	36,8	34,4	22,8	12,0	24,0	28,91	23,22	21,80	20,38	13,51	7,11	14,22
<b>Demir Atığı</b>	2,33	2,25	2,04	2,00	1,93	1,78	1,67	56,99	51,34	37,63	34,68	29,84	19,89	12,37	84,8	76,4	56	51,6	44,4	29,6	18,4

## 5.2 Öneriler

Bu çalışmada üç farklı maden atığı, bir kömür açık işletmesi artığı, bir termik santral baca külü ve doğal kaolen malzemesinin elektro-osmoz yöntemiyle susuzlaştırılabileceği görülmüştür.

Başka maden atık ve artıklarının elektro-osmoz yöntemi ile susuzlaştırılması araştırılması önerilir. Ayrıca farklı elektrot tipleri ve farklı elektrot dizilimleri için denemelerin yapılması önerilir.

Deneylerde akımın daha iyi iletilmesini sağlamak için elektrodların uygun kimyasal çözelti ile temizlenmesi önerilir.

Bundan başka anotda biriken malzemelerin incelenmesi ve atıklardan cevher kazanımı üzerine araştırmaların yapılması önerilir.

## 6. KAYNAKLAR

- Al-Asheh S., Juma, R., Banat, F., Al-Zou'bi, A., and Al-Qutaish, N.** (2011). Treatment of Olive- Mills effluent using Electro-osmosis Dewatering, *Hydrol Current Res* 2011, 2:2 <http://dx.doi.org/10.4172/2157-7587.1000113>.
- Asadi, A., Huat, B. B. K., Nahazanan, H., Keykhah H. A.** (2013). Theory of Electroosmosis in Soil, *Int. J. Electrochem. Sci.*, 8 1016 – 1025
- Barton W. A., Miller S. A., Veal, C.J.,** (1999), "The Electrodewatering of Sewage Sludges", *Drying Technology*, 497-522.
- Bayat, O., Kilic, O., B. Bayat, Anil, M., Akarsu, H., Poole, C.** (2005). Electrokinetic Dewatering of Turkish Glass Sand Plant Tailings, *Water Research* 40 ( 2006 ) 61 – 66
- Bjerrum, L., Moum, J. and Eide, O.** (1967). Application of electro-osmosis to a foundation problem in a Norwegian quick clay. *Géotechnique*, 17(3):214-235. Doi:10.1680 /geot. 1967. 17. 3.214.
- Burnotte, F., Lefebvre G., and Grondin, G.** (2004). A case record of electroosmotic consolidation of soft clay with improved soil-electrode contact. *Can. Geotech J.*, 41(6): p. 1038-1053.
- Casagrande, L.** (1949). Electro-Osmosis in Soils, *Géotechnique*, Vol. 1 Issue 3. 159-177pp. Doi: /geol.<http://dx.org/10.1680/geol.1949.1.3.159>
- Casagrande, L.** (1952). Electro-osmotic stabilization of soils, *Journal of the Boston Society of Civil Engineers*, Vol. XXXIX, No. 1;reprinted in *Contributions to Soil Mechanics*, 1941-1953.
- Casagrande, L.** (1983). Stabilization of soils by means of electro-osmosis-State of the art. *Journal of the Boston Society of Civil Engineers Section, American Society of Civil Engineers*, 69(2): p. 255-302.
- Chen H, Mujumdar AS, Ragbaran GSV** (1996). Laboratory Experiments on Electro-osmotic Dewatering of Vegetable Sludge and Mine Tailings .*Drying Technology*, 14: 2435-2445.
- Darcy, A.** (1856). *Les Fontaines Publiques de la Ville de Dijon*, Dalmont, Paris.
- Doyuran, V.** (1976). Maden işletmeciliğinde yeraltı suyu sorunları ve hidrojeolojik yaklaşım, *Madencilik Dergisi*, Sayı: 5 Cilt: 15, 22-30s.
- Gray N.,** (2005), "Sludge treatment and disposal, *Water Technology*, 2nd Edition", Butterworth-Heinemann, USA.
- Hamed J., Acar, Y.B.and Gale, R.J.** (1991). Pb(II) Removal from Kaolinite Using Electrokinetics, *Journal of Geotechnical Engineering, ASCE*, 117(2) (1991) 241-271.

**Hansen, H. K., Kristensen, I. V., Ottosen, L. M. and Villumsen, A.** (2003). Electroosmotic Dewatering of Porous Materials—Experiences with Chalk, Iron Hydroxide and Biomass Sludges, and Wet Fly Ash, *Journal of Chemical Engineering of Japan*, Vol. 36, No. 6, pp. 689–694, 2003.

**Helmholtz, H.** (1879). *Wiedemanns Annalend . Physik*, Vol 7,137.

**Holtz, R.D., Shang, J.Q., Bergado, D.** (2001). Soil improvement. In: Rowe, R.K. (ed.), *Geotechnical and Geoenvironmental Engineering Handbook*. Kluwer Academic Publishers, pp.429-462.

**Hunter, J.R.** (1981). *Zeta potential in colloid science*. Academic Press, London, 386 p.

**Hunter, J.R.** (1983). *Introduction to Modern Colloid Science*, Oxford Science Publications, *Oxford University Press*, New York.

**Jiaxiang Z. A., Zheng L. A., Peng S., Fuxin D.,** (2012), "Water Removal From Sludge In A Horizontal Electric Field", *Drying Technology*, 19(3-4), 627-638.

**Jones C.J.F.P., Lamont-Black, J., Glendinning, S. D. B., Eng, T., Fourie, A., Liming, Pugh, C., Romantshuk, M., Simpanen S. and Feng, Z.Y.** (2006) Recent Research And Applications In The Use Of Electro-Kinetic Geosynthetics, EuroGeo4 Keynote Paper.

**Jones, C.J.F.P., Glendinning, S., Huntley, D.T.& Lamont-Black, J.** (2011). Soil consolidation and strengthening using electrokinetic geosynthetics – concepts and analysis, *Geosynthetics*, J.Kuwano&J.Koseki (eds) Millpress, Rotterdam, ISBN9059660447, 411- 414p.

**Jones, C.J.F.P., Lamont-Black, J., Glendinning, S.** (2011). Electrokinetic geosynthetics in hydraulic applications, *Geotextiles and Geomembranes*, 29 381-390p. doi:10.1016/j.geotextmem.2010.11.011

**Lambe, T.W. and Whitman, R.W.** (1969). *Soil Mechanics*, MIT, John Wiley&Sons, 547p.

**Lee, M.** (2000). *An Experimental and Analytical Study of Electrokinetic Consolidation*, PhD thesis, Univ. of Oxford, 245p.

**Lottermoser, B. G.** (2010). *Mine Wastes Characterization, Treatment and Environmental Impacts*, Third Edition, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, ISBN 978-3-642-12418-1.

**Lu, Z. & Cai, M.** (2012). Disposal methods on solid wastes from mines in transition from open-pit to underground mining, *Procedia Environmental Sciences*, 16, 715-721.

**Milligan, V.** (1995). First application of electro-osmosis to improve friction pile capacity - three decades later. *Proceedings - ICE: Geotechnical Engineering*, 113(2): p.112-116. <https://doi.org/10.1680/igeng.1995.27591>

**Mitchell, J.K.** (1993). *Fundamentals of Soil Behaviour*. 2nd ed. John Wiley & Sons Inc., New York, 592p.



**Nicholson, P., G.** (2015). Soil Improvement and Ground Modification Methods. 455p.

**Pham T., Sillanpa M., Isosaari P.,** (2012), "Sewage Sludge Electro-Dewatering Treatment", *Drying Technology*, 30, 691-706.

**Powers, Patrick J.** (1981). Construction Dewatering: A Guide to Theory and Practice, John Wiley&Sons, Inc., ISBN-10: 0471695912, 484p.

**Reuss, F. F.** (1809). Sur un Nouvel Effet de l'électricité Galvanique, Mémoires de la Societé Imperiale de Naturalistes de Moscou, Vol. 2, 327-337.

**Rittirong, A., Shang, J.** (2015). Electro-Osmotic Stabilization, Chapter 14. Ground improvement. Case Histories, Chemical, Elektroknetic, Thermal and Bioengineering Methods. Eds. B.Indraratna, J.Chu and C.Rujikiatkamjorn, Elsevier Ltd. p683.

**Rowe, R.K., Quigley, R.M. and Booker, J.R.** (1965). Clayey barrier systems for waste disposal facilities. Chapman&Hall.

**Smoluchowski, M.** (1914). In: L. Graetz (Ed.), Handbuch der Elektrizitat und Magnetismus, Vol. 2, J. A. Barth, Leipzig.

**Spinosa L.,** (2011), "Wastewater Sludge", 2.Baskı, IWA Publishing.

**Spinosa L., Vesilind, A. P.,** (2001), "Sludge Into Biosolids: Processing, Disposal, Utilization", IWA, Cornwall, UK.

**Spinosa L., Vesilind P. A.,** (2001), "Sludge into Biosolids", IWA Publishing.

**Tan, K.H.** (1993). Principles of soil chemistry. 2nd ed. Marcel Dkker, Inc.

**Tchobanoglous G., Burton F.L. and Stensel H. D., McGraw-Hill,** (2003), "Metcalf and Eddy, Wastewater Engineering, Treatment, And Reuse, Fourth Edition", New York, USA.

**TÇMB.** (2009). Türkiye'deki Uçucu Küllerin Sınıflandırılması Ve Özellikleri, 112s. Ankara.

**Tuan P. A., Virkutyte J., Sillanpa M.,** (2008), "Electro-dewatering of sludge under pressure and non-pressure conditions", *Environmental Technology*, 29(10), 1075-1084.

**Tuan P.A., Sillanpa M.,** (2010), "Migration of ions and organic matter during electro-dewatering of anaerobic sludge", *Journal of Hazardous Materials*, 173 (1-3), 54-61.

**Tuan P. A., Sillanpa M., Virkutyte, J.,** (2010), "Sludge dewatering by sand-drying bed coupled with electro-dewatering at various potential", *International Journal of Mining, Reclamation and Environment*, 151-162.

**Tuan P.,** (2011), "Sewage Sludge Electro-Dewatering", Lappeenranta University of Technology.

**Url-1:** <http://www.terrancorp.com/content/case-electroosmosis-remediation> (Erişim tarihi, 12/03/2019)

**Url-2** : <http://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2015/07/20150715-3.htm> (Erişim tarihi, 27/04/2019)

**Url-3** : <https://www.multiphysics.us/electrokinetics.html> (Erişim tarihi, 01/06/2019)

**Url-4** : <http://www.electrokinetic.co.uk> (Erişim tarihi, 08/05/2019)

**Url-5** : <https://www.demirexport.com/Pages/ContentDetail.aspx?GMID=170> (Erişim tarihi, 10/04/2019)

**Van Olphen, H.** (1977). An introduction to clay colloid chemistry. 2nd Ed. New York: Wiley.

**Vijh, A. K.** (1999). Electroosmotic dewatering (EOD) of clays and suspensions: components of voltage in an electroosmotic cell. *Drying Technology*, 17 (3), 565-574.

**Weber, K. and Stahl, W.** (2002). Improvement of filtration kinetics by pressure electrofiltration. *Separation and Purification Technology*, 26,69-80.

**West, L.J. and Stewart, D.I.** (1995). Geotechnical Special Publication No. 46, ASCE, New York, N.Y., 2 1535-1549.

**Yenial, Ü.** (2018). Atık suların temizlenmesinde mineral kökenli atıklardan adsorbent geliştirilmesi (Doktora Tezi). *İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul.

**Yıldız, A. H. (2008).** Mermer Toz Atıklarının Yol İnşaatında Değerlendirilmesi (Doktora Tezi). *SDÜ Fen Bilimleri Enstitüsü*, Isparta.

**Yoshida, H., Kitajyo, K.& Nakayama, M.** (2007). Electroosmotic Dewatering Under A. C. Electric Field with Periodic Reversals of Electrode Polarity, *Drying Technology*, 17:3, 539-554, DOI: 10.1080/07373939908917550.

**Yoshida H.,** (1993), "Practical Aspects Of Dewatering Enhanced By Electroosmosis", *Drying Technology*, 11, 787-814.

**Yuan, J.** (2015). Large Strain Analysis of Electro-osmosis Consolidation for Clays, Master of Science in Hydraulic Structure Engineering, Hohai University, Nanjing, China geboren te Hunan, China. 162p.



## ÖZGEÇMİŞ

### **Kişisel bilgiler**

Adı Soyadı: Merve ERCİNS  
Doğum Yeri ve Tarihi: Sivas, 1987  
Medeni Hali: Evli  
Yabancı Dil: İngilizce  
İletişim Adresi: Mevlana Mah. Huzurlu Sok. Huzur Apt. B1 Blok Kat:1 No:1 Sivas  
E-posta Adresi: merve.ekmekcioglu@gmail.com  
Telefon: 0(506) 670 44 94

### **Eğitim ve Akademik Durumu**

Lise Kongre Lisesi, 2004  
Lisans Cumhuriyet Üniversitesi Maden Mühendisliği, 2011  
Lisans Cumhuriyet Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği, (ÇAP) 2015  
Yüksek Lisans Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Entitüsü, Maden Müh. Maden İşletme Anabilim Dalı, 2019

### **İs Tecrübesi**

Buğra Döviz Gişe Yetkilisi, 01/ 2006- 04/2007  
TURMER Mermer A.Ş. Maden Mühendisi, 02/ 2013- 05/2013  
NETBOR A.Ş. Lojistik ve Saha Yöneticisi, 05/2013- 08/2013  
DSİ 19. Bölge Müdürlüğü C Sınıfı İSG Uzmanı, 01/2016- 12/2016  
DSİ 19. Bölge Müdürlüğü Maden Müh. Daimi Nezaretçi, 04/2017- 12/2017  
DSİ 19. Bölge Müdürlüğü Maden Müh. Daimi Nezaretçi, 04/2018- 12/2018

### **Ödüller, Tesvikler ve Üyelikler**

MADEN MÜHENDİSLERİ ODASI