

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

**ELEKTRO-OSMOZ YÖNTEMİYLE GİDYA TABAKALARININ
SUSUZLAŞTIRILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Kaan Volkan ÖZDEMİR
(201492111034)**

Maden Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Salih YÜKSEK

**SİVAS
NİSAN 2019**

Kaan Volkan ÖZDEMİR'in hazırladığı ve “**Elektro-Osmoz Yöntemiyle Gıdya Tabakalarının Susuzlaştırılması**” 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**
Cumhuriyet Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Prof. Dr. Mustafa DEĞİRMENÇİOĞLU**
Cumhuriyet Üniversitesi

Prof. Dr. Niyazi BİLİM
Konya Teknik 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.

© Kaan Volkan ÖZDEMİR, Nisan 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.

30.04.2019

Kaan Volkan ÖZDEMİR

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 yesi Salih YÜKSEK'e çok teşekkür ederim.

Jüri yelerim Sayın Prof. Dr. Mustafa DEğİRMENCİ ve Sayın Prof. Dr. Niyazi BİLİM hocalarıma yaptıkları olumlu eleştiriler ve katkılarından dolayı teşekkürlerimi sunarım.

Hayatımın her evresinde maddi manevi destekleriyle beni hiç bir zaman yalnız bırakmayan bana destek olan değerli aileme ve çalışma süresince tüm zorlukları benimle göğüsleyen biricik eşim Nuray'a sonsuz teşekkür ederim. 30/04/2019

ÖZET

ELEKTRO-OSMOZ YÖNTEMİYLE GİDYA TABAKALARININ SUSUZLAŞTIRILMASI

Kaan Volkan ÖZDEMİR

Yüksek Lisans Tezi

Maden Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Salih YÜKSEK

2019, 76+xiv sayfa

Madencilikte su atımı veya susuzlandırma önemli ve öncelikli bir konudur. Özellikle son yıllarda yaşanan maden kazalarının bazıları doğrudan veya dolaylı olarak su kaynaklıdır. Bu kazalar sebebiyle büyük miktarlarda işgücü kaybı ve maddi hasarın yanısıra işletmenin uzun dönem durmasına neden olmaktadır. Madencilikğin özellikle başlangıç arama safhasında ve işletme döneminde hidrolik ve hidrojeolojik etüd çalışmaları yapılarak maden sahasındaki yeraltı ve yerüstü suları araştırılır. Yapılan araştırmalara göre serbest su ve akifer suyu drenajı için pompa seçimi ve dizaynı ile drenaj kuyuları planlanır. Bununla birlikte özellikle killi tabakaların olduğu bazı maden sahalarında konveksiyonel yöntemlerle ortamlardan su uzaklaştırılmamakta ve stabilite sorunları ile karşılaşmaktadır. Ülkemizin en büyük linyit yatağının ve işletmesinin olduğu ve yılda ortalama 20 milyon ton kömür üretiminin yapıldığı Afşin-Elbistan sahasında geleneksel yöntemlerle susuzlaştırma çalışmaları yaygın ve yoğun bir şekilde sürdürülmektedir. Ancak özellikle kömür damarının üzerinde yeralan gıdya adı verilen tabakalardan sondajlarla verimli bir susuzlaştırma yapılamamaktadır.

Bu tez çalışması kapsamında geleneksel yöntemlere alternatif olarak kömür tabakalarının üzerinde yeralan gıdya tabakalarının elektro-osmos yöntemi ile susuzlaştırması laboratuvar ortamında araştırılmıştır. Bu amaçla bu çalışma için elektro-osmos susuzlandırma düzeneği olan 36 cm x 20 cm x 6 cm boyutlarında cam akvaryum ile bunun ortasına perfore bakır katod (-) ile delikli ve düz olmak üzere dikdörtgen çelik anodlar (+) imal edilmiştir. Suyu doymun hale getirilen gıdya malzemesi yerçekimiyle drenaj kuyusu olarak imal edilen katot borusundan drene edilmiştir. Yerçekimiyle su drenajı bittikten sonra elektro-osmoz yöntemiyle su drenajına başlanmıştır. Anot ve katodun A, B ve C olmak üzere üç farklı konfigürasyon için farklı voltajlar uygulanarak drene edilen su miktarları ölçülmüştür. Her deneyden sonra malzemenin bazı fiziksel özellikleri belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar değerlendirilmiş elektro-osmotik süre ile boşalım ve harcanan enerji miktarları arasındaki ilişkiler belirlenmiştir. A konfigürasyonunda su muhtevası %68 'den %38'e; B konfigürasyonunda %68 'den %28 'e ve C konfigürasyonunda %68 den %24 'e düşmüştür. Voltaj artımıyla su boşalımı artmış en fazla su boşalımı veya deşarjı 60 voltluk gerilim uygulandığında bulunmuş daha yüksek voltajlarda ortamın sıcaklığı artmış buna karşın su geliri azalmıştır. Yapılan deneylerle yerçekimi ile drene edilemeyen su içeren ortamlar elektro-osmoz yöntemi ile belli bir dereceye kadar susuzlaştırılabileceği ve gıdya zeminin stabilitesinin artırılabilceği ortaya konmuştur.

Anahtar kelimeler: Susuzlaştırma, Elektro-osmoz, Su muhtevası, Gıdya

ABSTRACT

ELECTRO-OSMOTIC DEWATERING OF GITHYA LAYERS

Kaan Volkan ÖZDEMİR

Master of Science Thesis, Department of Mining Engineering

Supervisor: Dr. Salih YÜKSEK

2019, 76+xiv pages

Water drainage or dewatering in mining is an important and priority issue. Particularly in recent years, some of the mining accidents are directly or indirectly water-borne. These accidents result in a large amount of labor loss and material damage as well as stopping long-term mine activities. Hydraulics and hydrogeological studies are carried out during the exploration phase and operating period of mining. Drainage wells are planned with pump selection and design for surface water and aquifer water drainage. However, in some mining areas where there are clayey layers, water cannot be removed from the environment by conventional methods and stability problems are encountered. Dewatering works are carried out by traditional methods in the Afşin-Elbistan area where the biggest lignite deposit and operation of our country and the annual production of 20 million tons of coal is made annually. However, an efficient dewatering cannot be carried out by drilling the layers called gidya, which are located above the coal vein.

Within the scope of this research thesis, as an alternative to the traditional methods, the electro-osmosis dewatering of the githya layers on the coal layers was investigated in the laboratory. Electro-osmosis dewatering apparatus has been constructed in this work. For this purpose, a glass aquarium dimensioning 36 cm x 20 cm x 6 cm and a perforated copper cathode (-) in the middle and a rectangular steel anode (+) with perforated and straight lines were manufactured. The material that is saturated with water is drained from the cathode tube which is produced as gravity well by gravity. Water drainage was started with electro-osmosis method after the water drainage was completed with gravity. For three different configurations, A, B and C, different voltages were applied and the amount of drained water was measured. After each experiment, some physical properties of the material were determined. The obtained results were determined the relationships between the electro-osmotic period and the amount of discharged energy. The water content decreased from 68% to 38% in the configuration A, 68% to 28% in the configuration B, and 68% to 24% in the configuration C. Increased water discharge with increased voltage was found when the maximum water discharge was applied at 60 volts. At higher voltages, the ambient temperature increased but the water flow decreased. Experiments have shown that water-immersed environments with gravity can be dewatered to a certain extent by electro-osmosis and that stability of the ground can be increased.

Key words: Dewatering, Electro osmosis, Water content, Githya

İÇİNDEKİLER

ÖZET	VII
ABSTRACT	VIII
ŞEKİLLER DİZİNİ	X
ÇİZELGELER DİZİNİ	XIV
SİMGELER DİZİNİ	XV
KISALTMALAR DİZİNİ	XVI
1. GİRİŞ	1
1.1 Problemin Tanımı	1
1.2 Tez Konusu ve Kapsamı	2
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	3
2.1 Madenlerde Su Atımı	3
2.1.1 Açık İşletme Madenciliğinde Su Atımı	3
2.1.2 Yeraltı Madenciliğinde Suyun Kontrolü	4
2.1.3 Yeraltı Madenciliğinde Su Atımı	7
2.2 Elektro-osmoz Yöntemi	9
2.2.1 Susuzlandırmada Tane Boyutunun Etkisi ve Zeminde Suyun Bulunma Halleri	9
2.2.2 Elektro-kinetik Mekanizmalar	10
2.2.3 Elektro-Osmoz Koşulları ve Uygulama Alanları	20
3. MATERYAL VE METOD	24
3.1 Afşin-Elbistan Kömür Havzası	24
3.2 Afşin – Elbistan Havzasının Jeolojisi	25
3.2.1 Genel Jeoloji	25
3.2.2 Faylar	25
3.2.3 Havzada yapılmış sondajlar	26
3.3 Afşin – Elbistan Havzasında Susuzlaştırma Faaliyetleri	27
3.3.1 Hidroloji	27
3.3.2 Hidrojeoloji	28
3.3.3 Su Atımı/Drenajı	29
3.4 Gıda Tabakaları ve Özellikleri	30
3.4.1 Gıda Tabakalarının Zemin Mekaniği Özellikleri	31
3.5 Elektro-Osmoz Deney Çalışmaları	33
3.5.1 Deney Düzenliği ve Deneyde Kullanılan Ekipmanlar	33
3.5.2 Elektro-Osmoz Deneylerinin Yapılışı	35
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	47
4.1 Elektro-Osmoz Deneyleri A-konfirasyonu Sonuçları ve Değerlendirmesi	47
4.2 Elektro-Osmoz Deneyleri B-konfirasyonu Sonuçları ve Değerlendirmesi	54
4.3 Elektro-Osmoz Deneyleri C-konfirasyonu Sonuçları ve Değerlendirmesi	61
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	69
5.1 Sonuçlar	69
5.2 Öneriler	70
KAYNAKLAR	71
ÖZGEÇMİŞ	76

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Şekil 2.1 Açık işletme madenciliğinde drenaj (a: kanal drenajı b: galeri ve c: kuyu drenajı).....	4
Şekil 2.2 Kil Barajı (Köse ve Gürgen 1989' dan düzenlenmiştir).....	5
Şekil 2.3 Ahşap Baraj	5
Şekil 2.4 Beton Baraj	6
Şekil 2.5 Beton, bentonit, kum, çakıl ve rip-rap malzemeli yeraltı Barajı (Lang, 1999).	6
Şekil 2.6 Pompa Kombinasyonları (Tatar ve ark., 2013).....	8
Şekil 2.7 Farklı boyuttaki zeminlere uygulanan susuzlandırma sistemleri (U.S. Army Corps of engineers 1983).....	9
Şekil 2.8. Tamamen doygun ortamdaki su dağılımı ile ilgili susuzlaştırma yöntemleri (Mok 2006, Zhou ve diğ. 'den sonra, 2001).....	10
Şekil 2.9. Reuss tarafından yapılan yapılan ilk elektro-osmoz(a) ve elektroferez(b) deneyinin şematik görünümü (Yuan, 2015).	11
Şekil 2.10 Elektrokinetik mekanizmalar: Elektro-osmoz, elektromigrasyon ve elektroferez (Url-2)	11
Şekil 2.11 Doğru akım verilen zeminde gelişen elektro-kinetik olaylar (Lee 2000,Mitchel 1993'den).	12
Şekil 2.12 Temel elektro-kinetik süreçler (Nicholson 2015)	12
Şekil 2.13 Elektro-kinetik olaylarında iyon göçü (http://www.electrokinetic.co.uk).	13
Şekil 2.14 Zeminde elektro-osmos olayının kavramsal temsili şekli (Jones ve diğ. 2011).	14
Şekil 2.15. Elektro-osmoz basit şematik gösterimi (Das 2008'den Ashadi ve diğ. 2013).....	14
Şekil 2.16 Elektro-ozmotik akış (a) ve Hidrolik akış (b) karşılaştırması şematik gösterimi (Kasagranda, 1952).....	15
Şekil 2.17 Katı/su arayüzeyindeki çift tabaka yapısının kavramsal görünümü (Jones ve diğ. 2011).	16
Şekil 2.18 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).....	16
Şekil 2.19 Çift tabaka modelleri (Mok 2006, Weber&Stahl 2002 'den sonra).	17
Şekil 2.20 Elektro-kinetik olaya için Helmholtz–Smoluchowski modeli (Mitchel, 1993)	18
Şekil 2.21 Sıvı hız akış vektörleri ve çift tabakada hareketsiz sıvı ve hareketli sıvı şematik gösterimi (Kasagranda, 1952).....	18
Şekil 2.22. Elektrik potansiyel dağılımı ve zeta-kayma düzlemi potansiyeli (Ashadi 2013, Mitchel&Soga 2005'den uyarlanmıştır)	19
Şekil 2.23 Tuz konsantrasyonu ile zeta potansiyeli değişimi (Lee, 2000; Tan, 1993'den).....	19
Şekil 2.24 Almanya demiryollarında susuzlaştırma amaçlı Elektro-osmoz arazi uygulaması (Kravath, 1954).	21

Şekil 2.25 Norveçte bir inşatta (U-boat) siltli kil zeminde Elektro-osmoz arazi uygulaması (Kravath, 1954).	21
Şekil 2.26. Hidrolik iletkenliğe karşı elektro-ozmotik iletkenlik (Jones ve diğ. 2006).....	22
Şekil 2.27 Zemin su içeriği ile kayma mukavemeti arasındaki ilişki (Jones ve diğ. 2006).....	23
Şekil 2.28 EKG teknolojisinde kullanılan ekipmanlar, elektrotlar (a, b, c) ve elektrot dizaynı ve saha uygulaması (Url-3).....	23
Şekil 2.29 Elektro-ozmotik susuzlandırmada elektrot dizaynı. Solda: sıg yenilme yüzeyi sağda: daha derin yenilme yüzeyi (Url-3).....	23
Şekil 3.1 Afşin-Elbistan kömür havzası sınırları, Çöllolar, Kışlaköy ve E-Sektörü	24
Şekil 3.2 Afşin-Elbistan havzası genel jeoloji haritası (MTA, 1990).	26
Şekil 3.3 Hurman ve Kışlaköy fayları ile Ahmetçik formasyonunu şematik gösteren havzanın enine kesiti (Bedi vd., 2009).	26
Şekil 3.4 Afşin-Elbistan havzası birimlerinin basitleştirilmiş log şeması.	27
Şekil 3.5 Afşin-elbistan havzasından 1981-2014 yılları arasında sondajlarla drene edilen su miktarları (Taştekin vd., 2015).	29
Şekil 3.6 Kışlaköy işletmesi bager ile kazı ve alüvyon, lehim, bej gıdya, gri gıdya ve kömür damarları (Resimler EÜAŞ tanıtım filminden kırpılmıştır).	30
Şekil 3.7 Kışlaköy işletmesi gıdya tabakaları (Akbulut vd., 2007).	30
Şekil 3.8 Bej ve Gri Gıdya malzemesinin granülometri eğrisi (Akbulut vd., 2007).	31
Şekil 3.9 Kışlaköy işletmesinde kil ve gıdya malzemelerinin şişme potansiyeli abağı (Akbulut vd., 2007'den düzenlenmiştir).	32
Şekil 3.10 Kışlaköy ocağında yer alan ince taneli birimlerin Plastisite abağı üzerindeki dağılımları (Akbulut vd., 2007'den düzenlenmiştir).	32
Şekil 3.11 Elektro-osmoz deney düzeneği resmi ve şematik çizimi.	33
Şekil 3.12 Elektro-osmoz deneyi için kullanılan elektrotlar. (a) Bakır katod borusu, (b) düz ve delikli anod levhalar.	34
Şekil 3.13 Elektro-osmoz deneyinde kullanılan araç ve gereçler.	34
Şekil 3.14 Elektro-osmoz deneyinde kullanılan Güç kaynağı ve dijital mültimetre ve çoklu kablolar.	34
Şekil 3.15 Elektro-osmoz deneyinde gıdya malzemesinin suya doygun hale getirilmesi.	35
Şekil 3.16 Elektro-osmoz deneyi A-Konfigürasyonu kavramsal modeli kesit ve plan görünüşü.	36
Şekil 3.17 Elektro-osmoz deneyi B-Konfigürasyonu resmi.	39
Şekil 3.18 Elektro-osmoz deneyi B-Konfigürasyonu kavramsal modeli kesit ve plan görünüşü.	40
Şekil 3.19 Elektro-osmoz deneyi C-Konfigürasyonu kavramsal modeli kesit ve plan görünüşü.	43
Şekil 4.1 A-konfigürasyonu farklı voltajlar için elektro-ozmotik süreler.....	47
Şekil 4.2 A-konfigürasyonu farklı voltajlar için elektro-ozmotik süre ile boşalım arasındaki ilişki....	48
Şekil 4.3 A-konfigürasyonu farklı voltajlar için elektro-ozmotik süre ile kümülatif boşalım ilişkisi ...	48
Şekil 4.4 A-konfigürasyonu farklı voltajlar için elektro-ozmotik boşalım ve ortalama boşalım hızı ilişkisi	49

Şekil 4.5 A-konfigürasyonu farklı voltajlar için elektro-ozmotik boşalım, harcanan enerji ve sıcaklık ilişkisi	50
Şekil 4.6 A-konfigürasyonu farklı voltajlar için elektro-ozmotik boşalım ve elektrik direnci arasındaki ilişki	50
Şekil 4.7 A-konfigürasyonu farklı voltajlar için kuru ve doymuş birim hacim ağırlık ve porozite ilişkisi	51
Şekil 4.8 A-konfigürasyonu farklı voltajlar için boşalım, su muhtevası ve porozite ilişkisi.....	51
Şekil 4.9 A-konfigürasyonu voltaj ile akım arasındaki ilişki	52
Şekil 4.10 A-konfigürasyonu voltaj ile sıcaklık arasındaki ilişki	52
Şekil 4.11 A-konfigürasyonu voltaj ile porozite arasındaki ilişki	53
Şekil 4.12 A-konfigürasyonu voltaj ile su muhtevası arasındaki ilişki.....	53
Şekil 4.13 A-konfigürasyonu elektro-ozmotik boşalım ile harcanan enerji arasındaki ilişki.....	53
Şekil 4.14 B-konfigürasyonu farklı voltajlar ile elektro-ozmotik süreler	54
Şekil 4.15 B-konfigürasyonu farklı voltajlar için elektro-ozmotik süre ile boşalım arasındaki ilişki..	55
Şekil 4.16 B-konfigürasyonu farklı voltajlar için elektro-ozmotik süre ile kümülatif boşalım ilişkisi .	55
Şekil 4.17 B-konfigürasyonu farklı voltajlar için elektro-ozmotik boşalım ve ortalama boşalım hızı ilişkisi	56
Şekil 4.18 B-konfigürasyonu farklı voltajlar için elektro-ozmotik boşalım, harcanan enerji ve sıcaklık ilişkisi	57
Şekil 4.19 B-konfigürasyonu farklı voltajlar için elektro-ozmotik boşalım ve elektrik direnci arasındaki ilişki	57
Şekil 4.20 B-konfigürasyonu farklı voltajlar için kuru ve doymuş birim hacim ağırlık ve porozite ilişkisi	58
Şekil 4.21 B-konfigürasyonu farklı voltajlar için kuru ve doymuş birim hacim ağırlık ve porozite ilişkisi	58
Şekil 4.22 B-konfigürasyonu voltaj ile akım arasındaki ilişki	59
Şekil 4.23 B-konfigürasyonu voltaj ile sıcaklık arasındaki ilişki	59
Şekil 4.24 B-konfigürasyonu voltaj ile porozite arasındaki ilişki	60
Şekil 4.25 B-konfigürasyonu voltaj ile su muhtevası arasındaki ilişki.....	60
Şekil 4.26 B-konfigürasyonu elektro-ozmotik boşalım ile tüketilen enerji arasındaki ilişki	60
Şekil 4.27 C-konfigürasyonu farklı voltajlar ile elektro-ozmotik süreler	61
Şekil 4.28 C-konfigürasyonu farklı voltajlar için elektro-ozmotik süre ile boşalım arasındaki ilişki .	62
Şekil 4.29 C-konfigürasyonu farklı voltajlar için elektro-ozmotik süre ile kümülatif boşalım ilişkisi .	62
Şekil 4.30 C-konfigürasyonu farklı voltajlar için elektro-ozmotik boşalım ve ortalama boşalım hızı ilişkisi	63
Şekil 4.31 C-konfigürasyonu farklı voltajlar için elektro-ozmotik boşalım, harcanan enerji ve sıcaklık ilişkisi	64
Şekil 4.32 C-konfigürasyonu farklı voltajlar için elektro-ozmotik boşalım ve elektrik direnci arasındaki ilişki	64

Şekil 4.33 C-konfigürasyonu farklı voltajlar için elektro-ozmotik boşalım, porozite ve su muhtevası ilişkisi	65
Şekil 4.34 C-konfigürasyonu voltaj ile akım arasındaki ilişki	65
Şekil 4.35 C-konfigürasyonu voltaj ile sıcaklık arasındaki ilişki	66
Şekil 4.36 C-konfigürasyonu voltaj ile porozite arasındaki ilişki	67
Şekil 4.37 C-konfigürasyonu voltaj ile su muhtevası arasındaki ilişki.....	67
Şekil 4.38 C-konfigürasyonu elektro-ozmotik su boşalımı ile tüketilen enerji arasındaki ilişki	68



ÇİZELGELER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 2.1 Susuzlandırma teknikleri (Hausmann 1990, Somerville 1986)	9
Çizelge 2.2 Bazı zemin malzemelerinin hidrolik ve elektroosmotik iletkenlik katsayıları ile su muhtevası değerleri (Mitchell 1993)	15
Çizelge 2.3 Electro-osmozda etkili zemin parametreleri (Holtz ve diğ. 2008).	20
Çizelge 2.4 Zeminlerin tane özellikleri (Jones ve diğ., 2001)	20
Çizelge 2.5 Elektro Kinetik Geosentetik uygulamaları (Jones ve diğ., 2011).	22
Çizelge 3.1 Gıda tabakalarının zemin mekaniği özellikleri	31
Çizelge 3.2 A-konfigürasyonu 15volt elektro-osmoz deney sonuçları	37
Çizelge 3.3 A-konfigürasyonu 30volt elektro-osmoz deney sonuçları	37
Çizelge 3.4 A-konfigürasyonu 45volt elektro-osmoz deney sonuçları	38
Çizelge 3.5 A-konfigürasyonu 60volt elektro-osmoz deney sonuçları	38
Çizelge 3.6 A-konfigürasyonu 75volt elektro-osmoz deney sonuçları	39
Çizelge 3.7 B-konfigürasyonu 15volt elektro-osmoz deney sonuçları	40
Çizelge 3.8 B-konfigürasyonu 30volt elektro-osmoz deney sonuçları	41
Çizelge 3.9 B-konfigürasyonu 45volt elektro-osmoz deney sonuçları	41
Çizelge 3.10 B-konfigürasyonu 60volt elektro-osmoz deney sonuçları	42
Çizelge 3.11 B-konfigürasyonu 75volt elektro-osmoz deney sonuçları	42
Çizelge 3.12 C-konfigürasyonu 15volt elektro-osmoz deney sonuçları	44
Çizelge 3.13 C-konfigürasyonu 30volt elektro-osmoz deney sonuçları	44
Çizelge 3.14 C-konfigürasyonu 45volt elektro-osmoz deney sonuçları	45
Çizelge 3.15 C-konfigürasyonu 60volt elektro-osmoz deney sonuçları	45
Çizelge 3.16 C-konfigürasyonu 75volt elektro-osmoz deney sonuçları	46
Çizelge 4.1 Elektro-osmoz deneyi A-Konfigürasyonu değişik voltajlar için ölçülen ve hesaplanan parametreler	49
Çizelge 4.2 Elektro-osmoz deneyi B-Konfigürasyonu değişik voltajlar için ölçülen ve hesaplanan parametreler	56
Çizelge 4.3 Elektro-osmoz deneyi C-Konfigürasyonu değişik voltajlar için ölçülen ve hesaplanan parametreler	63

SİMGELER DİZİNİ

K_e	: Elektoro-ozmotik permeabilite (m ² /sV)
K_h	: Hidrolik iletkenlik (m/s)
V	: Potansiyel fark, (Volt)
I	: Akım (amper)
R	: Direnç (ohm)
W	: Güç (Watt)
Q	: Debi (cm ³ /s Litre/s)
ζ	: Zeta Potansiyeli
n	: Porozite (%)
η	: Viskozite
γ	: Birim hacim ağırlık (gr/cm ³)
ω	: Su muhtevası (%)
φ	: içsel sürtünme açısı (°)



KISALTMALAR DİZİNİ

EÜAŞ	: Elektrik Üretim Anonim Şirketi
MTA	: Maden Tetkik Arama
SCÜ	: Sivas Cumhuriyet Üniversitesi
İTÜ	: İstanbul Teknik Üniversitesi
İ.Ü.	: İstanbul Üniversitesi
ODTÜ	: Orta Doğu Teknik Üniversitesi
Ç.Ü.	: Çukurova Üniversitesi



1. GİRİŞ

Yerüstü ve Yeraltı maden işletmelerinde su drenajı önemli ve önceliklidir. Bilindiği üzere su bulunduğu kaya veya zemin ortamının duraylılığına-stabilitesine olumsuz etki yapar. Ayrıca su drenajı maden üretim maliyetlerini de arttırmakta hatta işletmelerin belli bir süre çalışmasını durdurmaktadır. Maden işletmelerinde suyun maden ocağına doğrudan veya dolaylı olumsuz etkileri olmaktadır (Greenslade 1975). Bu durumun üstesinden gelmek için maden işletmeye alınmadan önce veya işletme esnasında yeraltı ve yerüstü drenajı planlanır ve projelendirilir. Yaygın olarak yeraltı su seviyesi cevherli bölgenin veya kömür işletmelerinde kömürlü seviyenin alt seviyelerine indirmek için veya suyu işletme sahasından uzaklaştırmak için bir dizi su pompaj kuyuları açılır. Ancak konvensiyonel yöntem olarak bilinen su pompaları ile killi ve siltli veya düşük hidrolik permeabiliteli ($k_h: 1 \times 10^{-5}$ ila 1×10^{-8} m/s) ve düşük özgül verimli ortamlardan drenaj bazen yapılamamaktadır. Özellikle kömür işletmelerinde kömürün içerisinde veya üzerindeki kil ve marn tabakaları bulunduğundan bu tür ortamlarda açılan kuyulara su gelimi yok denecek kadar az olmaktadır.

Geleneksel yöntemlere alternatif olarak maden ve fabrika atıklarının arıtılması, zeminlerin mukavemetinin artırılması ve drenajı gibi birçok mühendislik uygulamalarında 0.02mm den küçük taneli ortamlarda "Elektro-Osmoz" yöntemleri geliştirilmekte ve uygulanmaktadır (Milligan 1995, Casagrande 1983, Burnotte 2004, Powers 1981, Bjerrum ve ark.1967, Yoshid ve ark. 2007, Asadi 2013). Elektro-osmoz veya elektrokinetik teknolojisi olarak adlandırılan teknik yere doğru akım verildiğinde zemindeki suyun anottan katoda doğru hareket ettiğini ilk defa 1930 larda Dr. Leo Casagrande uygulamış ve kazı yüzeyine doğru olan akışı bu methodla kazı içine doğru yönlendirmiştir. Elektro-osmoz tekniği jeoteknik uygulamalardan başka gıda, ilaç, ziraat ve çevre gibi birçok sektörde başarılı bir şekilde uygulanmaktadır (Hansen ve ark. 2003,, El-Asheh ve ark. 2011, Bayat 2005, Url-1).

Bu tez çalışmasında, Afşin-Elbistan kömür havzası içinde ve üzerinde bulunan killi siltli malzemelerden oluşan ve gıda adı verilen düşük geçirimli tabakaların laboratuvarında bir dizi sistematik deneyler yapılarak elektro-osmos yöntemi ile susuzlandırılması araştırılmıştır.

1.1 Problemin Tanımı

Günümüzde maden işletmelerinde birincil amaç, teknolojik gelişmelerden yararlanılarak emniyetli ve ekonomik bir üretim gerçekleştirmektedir. Yerüstü ve yeraltısuyu maden işletme öncesinde ve esnasında çoğu kez beklenmedik bir zamanda ve yerde karşımıza çıkan şevlerde duraysızlık ve kazı alanına su basması gibi sorunlara neden olabilmektedir. Loofbourow (1973), yeraltı suyunun maden işletmeciliğine etkilerini başlıca iki kısımda ele almıştır. Bunlar; pompaj ve su atım masrafları, su baskınları sonucu oluşabilecek personel ve ekipman kaybı, İşletmenin geçişi veya sürekli kapatılması ve işletme yönteminin değiştirilmesi gibi doğrudan etkileri ile, çalışma koşullarının güçleşmesi, ekipman bakım-onarım masrafının artması, gevşek kayaçların çalışma

alanına sürüklenmesi, kayaçlarda çözünmenin artması ve göçmelere sebep olması ve patlayıcı maddelerin randımanını etkilenmesi gibi dolaylı etkilerdir.

Maden ocaklarında yeraltı suyu; ani su baskınları ve sızıntı suları olmak üzere başlıca iki şekilde görülmektedir. Ani su baskınları, genellikle karstik sahalarda oluşan doygun erime boşluklarında, eklem ve çatlaklarla katetmiş magmatik kayaçlarda veya, gerilme (çekme) kuvvetleri ile oluşan fay zonlarında görülmektedir. İşletmecilikte son derece önemli olan su baskınları büyük maddi kayıplara ve bazen personel kayıplarına yol açmaktadır. Sızıntı şeklinde gelen yeraltı suları ise, genellikle kayaçların birincil gözeneklerinde depolanan suyun, kayaçların geçirimsizlik veya iletkenlik özelliklerine bağlı olarak boşalmasıdır. Sızıntı suları, maden işletmeciliği sırasında çoğu kez önemli sorunlar yaratmadan kolaylıkla drene edilebilmektedir (Doyuran 1976). Bununla birlikte sızıntı şeklinde olmayan ve çok ince taneli gıyda, kil, marn gibi formasyonların bünyesinde su bulunurken bunların drenajı oldukça zor olmaktadır.

Ülkemizin en büyük linyit yatağının bulunduğu Afşin-Elbistan kömür havzasında 1981 yılından beri yoğun bir şekilde kuyulardan su çekilerek havza susuzlaştırılmaya çalışılmaktadır. Havzada tüm kuyulardan 1981-2013 arasında toplam 1 151 968 582 m³ su drene edilmiştir (Gökmenoğlu ve ark. 2014). Bu kadar çok miktarda su çekilmesine rağmen kömürün arasında veya üzerinde bulunan ve gıyda adı verilen tabakalar efektif şekilde susuzlaştırılmamaktadır. Bu nedenle susuzlaştırmada yeni yöntemlerden biri olan elektro-osmos yönteminin uygulanabilirliğinin araştırılmasına ihtiyaç duyulmuştur.

1.2 Tez Konusu ve Kapsamı

Bu tezin amacı, halen pompa yöntemiyle drene edilmeye çalışılan ve efektif şekilde susuzlandırılmayan Afşin-Elbistan kömür sahasındaki Gıyda tabakalarının elektro-osmos yöntemi ile susuzlandırılmasını laboratuvar ortamında araştırmaktır. Bu amaçla uygun boyutlarda deney düzeneği oluşturularak ayarlanabilir güç kaynağından değişik voltajlar verilerek su içerisindeki iyonları hareket ettirerek suyun anotta (+), katoda (-) hareket etmesini sağlamak ve zaman içerisindeki pompaj kuyusuna (katot) gelen suyun miktarını belirlemektir. Ayrıca anot-katot mesafesinin değişik konfigürasyonları ile toplam deşarja etkisini belirlenmeye çalışılmaktadır.

Bu çalışma için öncelikle geniş bir literatür araştırması yapılmış mevcut su atım yöntemleri derlenmiş ve daha sonra elektro-osmos yöntemi ikinci bölümde açıklanmıştır. Elde edilen literatür bilgileri ışığında optimal deney düzeneği oluşturulmuştur. Kurulan deney düzeneğinde, ayarlanabilir güç kaynağından verilen voltaj, elektrotlar arası mesafe gibi parametreler değiştirilerek çeşitli konfigürasyonlar belirlenmiştir. Çeşitli voltajlar verilerek alınan su miktarı, harcanan güç, ortamın sıcaklığı, ortamın direnci ve iletkenliği hakkında veriler elde edilmiş ve üçüncü bölümde anlatılmıştır. Dördüncü bölümde elde edilen veriler bulgular ve tartışmalar yapılmış tablo ve grafikler şeklinde sunularak yorumlanmış ve karşılaştırılmıştır. Çalışmadan elde edilen sonuçlar, sonraki yapılacak araştırmalar hakkındaki bilgiler beşinci bölümde özetlenmiştir.

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

2.1 Madenlerde Su Atımı

Bu bölümde lisans eğitiminde verilen ders notları ve kitaplardan faydalanılarak madenlerde su atımı konusu derlenmiştir.

Drenaj, yeraltı ve yerüstü sularının toplanarak işletme sahasından uzaklaştırılması işlemidir. Açık işletmelerde üretimin sürekliliği açısından drenaj yapma zorunluluğu vardır. Yeraltı madenciliğinde ise, çalışma ilerledikçe açılan boşluğa sızan suların dışarı atımı önemli bir sorun haline alır. Gelen suyun miktarı, niteliği, ocak ısı ve kayaçların cinsine bağlı olarak madencilik yöntemine göre sulu madencilik hem daha tehlikeli hem de maliyeti daha yüksek olmaktadır.

2.1.1 Açık İşletme Madenciliğinde Su Atımı

Açık işletmelerde yeraltı suyu sorunları yeraltı işletmelerde görüldüğü kadar önemli olmayabilir. Ancak açık işletmelerde şevlere etkisi nedeni ile önemini korumaktadır. Akiferden işletme alanına olan sızıntılar, işletmenin gelişmesine bağlı olarak artar. Derinlik arttıkça akiferin daha geniş kesimleri açığa çıkar ve işletme alanına doğru sızıntılar artar. Açık maden işletmelerinde su atımı, kaba hatlarıyla doğal ve suni su atımı (drenaj) olarak incelenebilir. Doğal su atımı, kanallar yardımıyla sulara doğal akıntı verilerek yapılan işlemdir. Doğal akıntıyı sağlamak için, eğimin en az %1 olması gerekir. Yapay drenaj ise drenaj galerileri veya yüksek kapasiteli özel pompalarla yapılır.

Açık işletme madenciliğinde suyun kontrolü drenaj kanalları, drenaj havuzları, drenaj galerileri ve drenaj kuyuları şeklinde olup aşağıda kısaca açıklanmıştır (Tatar ve ark. 2013).

Drenaj Kanalları ve Drenaj Havuzları

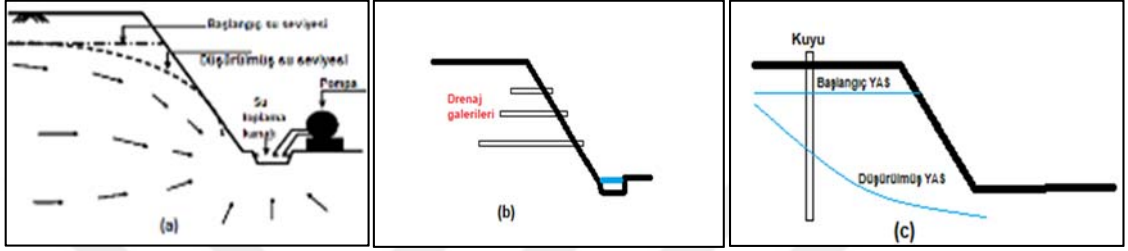
Açık işletme çevresindeki suların daha işletmeye girmeden bir kanalda toplanarak ocak dışına çıkmasını sağlamak için, işletmenin çevresine drenaj kanalları açılır. Suların bu şekilde işletmeden uzaklaştırılması, suyun işletmeye girdikten sonra atılmasından daha ekonomiktir. Bir açık işletmenin drenaj sorununu yüzey suları oluşturuyorsa, ocak ve basamak eğimi, çalışma aynasından arkaya doğru azalacak şekilde düzenlenmelidir. Açık işletmenin en alt kotunda açılan havuz, bir vardiyada üst kotlardan gelebilecek suları alacak kapasitede olmalıdır. Burada biriken su pompa ile işletme dışına atılır (Şekil 2.1a).

Drenaj Galerileri

Drenaj galerileri, su miktarının az olduğu yerlerde formasyon içerisinde galeriler sürülür. Örtü tabakası geçirgen ise bu galerilerden iyi sonuç alınabilir. Açılan galeriler içerisinden drenaj delikleri açılarak suyun kolaylıkla galeride toplanması sağlanabilir. Dikey ve yatay süzgeçlerden geçen örtü tabakasından süzülen sular galeri içerisinde toplanır. Bu sular açık işletmenin en alt kotunda hazırlanan havuzlarda biriktirilir, durultulur, temizlenir ve pompalar yardımıyla ana drenaj kanalına aktarılır (Şekil 2.1b).

Drenaj Kuyuları

Açık işletmelerde üretim ve örtü kazının sürekliliği için yeraltı su seviyesini düşürmek gerekir. Bu amaçla drenaj kuyularından da yararlanır. Drenaj kuyuları sürekli olarak çalışır ve çıkarılan su ile orantılı olarak su seviyesi düşer. Drenaj kuyularını kullanılan pompa cinsine göre ikiye ayırmak mümkündür. Birincisinde kuyu içinde biriken su üst tarafa konulan pompalar yardımıyla emilir. İkinci türde ise pompa suyun içine daldırılarak drenaj yapılır (Şekil 2.1c).



Şekil 2.1 Açık işletme madenciliğinde drenaj (a: kanal drenajı b: galeri ve c: kuyu drenajı)

2.1.2 Yeraltı Madenciliğinde Suyun Kontrolü

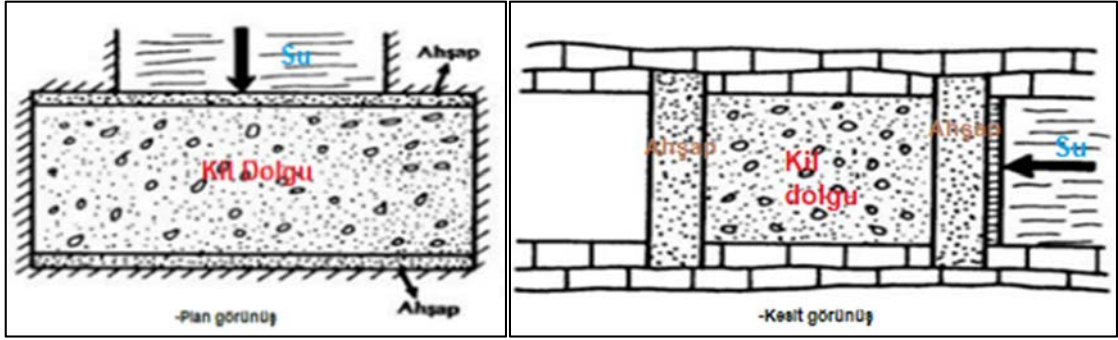
Yeraltı madenciliğinde meydana gelen veya gelebilecek olan ani su baskınları, büyük maddi kayıplara ve bazen personel kayıplarına yol açmaktadır. Sızıntı şeklinde gelen yeraltı suları ise maden işletmeciliği sırasında çoğu kez önemli sorunlar yaratmadan drene edilebilmekte ancak bu sular kayanın dayanımını azalttığı için dikkat edilmek zorundadır. Yeraltı madenciliğinde suyun kontrolü; set ve barajlar, topuk bırakarak, dolgu ile, yeraltında sondajı ve sementasyon-çimentolama gibi yöntemler uygulayarak sağlanmaktadır. Bu yöntemler aşağıda kısaca açıklanmıştır

Set ve Barajlar

Yeraltı ocaklarında çok su geliri olan eski çalışma yerleri ile yeni çalışma yerlerini birbirinden ayırmak gerekir. Genellikle ayak galerilerinde yapılan barajların yerlerinin seçimi de önemlidir. Baraj yapılan yerde arazinin sağlam, çatlaksız ve az geçirgen olması gerekir. Kumtaşı ve konglomera akifer özelliği gösterdikleri için geçirimsizlikleri yüksektir buna karşın şistli killer ise az geçirgendir ancak çatlaklı ve kırıklı olmalarında dayanıksız olduklarından uygun değildirler. En iyi baraj yeri olarak kil içeren ve sağlam tabakalı ortamlar uygundur. Baraj yerinin hazırlanması sırasında hiçbir şekilde patlayıcı madde kullanılmaz aksi durumda sağlam arazide çatlaklar oluşarak tehlikeli hale gelebilir.

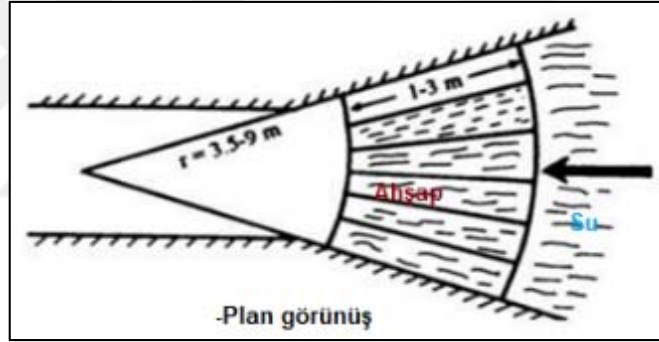
Kil ve Ahşap barajlar

Su gelirinin az olduğu bölgelerde çoğu zaman küçük bir baraj ihtiyacı karşılayabilir. Bu tür barajlar genellikle kalıcı bir barajın yapımı sırasında arka tarafı tutmak amacıyla kullanılır. Şekil 2.2 'de görüldüğü gibi plakalar arasına kil doldurmak suretiyle inşa edilirler. Kil su ile temas edince şişmekte ve iyi bir sızdırmazlık temin edilmektedir.



Şekil 2.2 Kil Barajı (Köse ve Gürgen 1989' dan düzenlenmiştir).

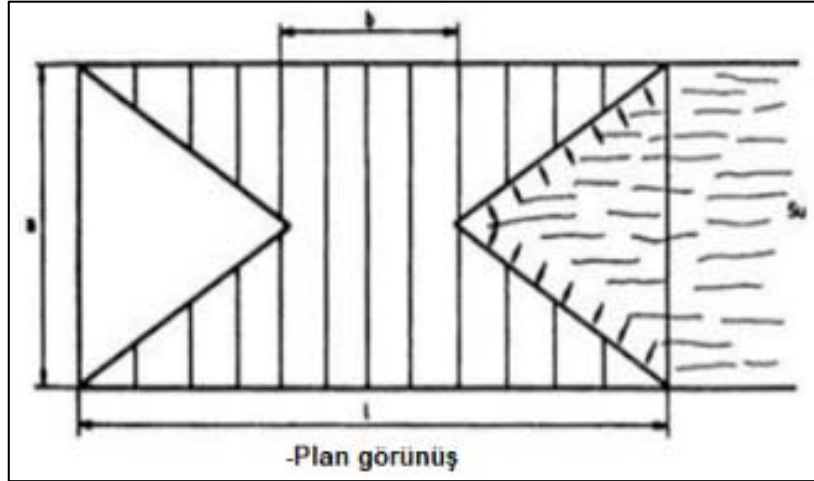
Ağaçtan yapılan barajlar, beton barajlardan daha az rijittir. Su alınca şişip iyi bir sızdırmazlık kazanırlar. Çimentonun hemen bulunamaması veya diğer acil durumlarda yapım yoluna gidilir. Basınç altında çalışabilmeleri için konik şekilde yapılırlar (Şekil 2.3). Baraj, yerinde monte edilerek kamalanıp sıkıştırılır. Konikliğin yarıçapı genellikle 3.5-9m arasında olup, uzunlukları da 1-3 m arasında değişir. Barajın yüzü suya dayanıklı çimento ile sıvanır. Yüzeyi 0.5 m² olan, 2.5 m uzunluğundaki bir baraj iyi yapılmışsa 18 kgf/cm² basınca kadar dayanıklı olabilir.



Şekil 2.3 Ahşap Baraj

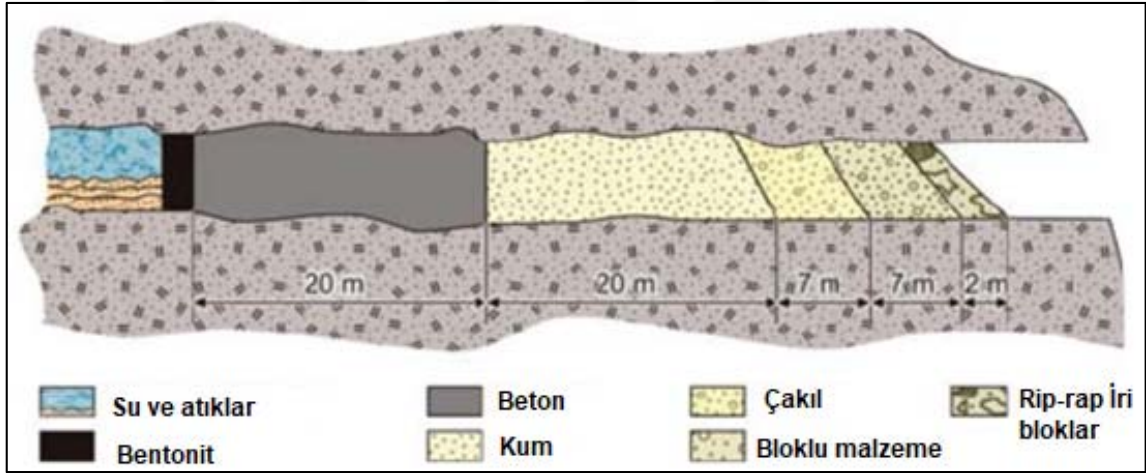
Beton Barajlar

Bu barajlar bazen tamamen beton olarak, bazen de iki duvar arasında beton dökülerek yapılır. Tuğla duvarlar tavan, taban ve galerilerin yan duvarlarına açılan oyuklara oturtulur. Tuğla duvarlar arasında kuru ve kırılmış tuğla parçaları veya molozlar konulur. Sonra borulardan pompalanan çimento enjeksiyonu ile betonlaşır. Enjeksiyon basıncı, beklenen su basıncının iki katıdır. Baraj yapılırken yapım sahasının kuru olması için küçük bir barajcık inşa edilir. Bu sırada gelen sular, su borusu vasıtasıyla taşınır. Baraj tamamen su ile dolu olunca bu boru ya kapatılır ya da bir vana ve manometre ile donatılır. Önceleri beton barajlar yalnızca küresel şekilde iken, daha sonraları yüksek su basıncının (100 atmosfere kadar) barajın kavisli kısmında enlemesine gerilmeler dışında arazide makaslama ve adhezyon etkileri de meydana getirdiği tespit edilmiş ve uygulamada Şekil 2.4' de görüldüğü gibi, barajda enlemesine gerilmeleri arttırmak sureti ile baraja etki eden su basıncının büyük kısmının daha başlangıçta kayaca taşıtılması sağlanmış olur. Böylece araziye yapılan basıncın yüksek olması nedeniyle kayma ve sürtünme dirençleri de büyümüş olmaktadır.



Şekil 2.4 Beton Baraj

Maden kapatmada, yeraltı madenlerinde özellikle maden giriş galerilerine gelen hidrolik yük yüksek olduğunda Şekil 2.5'te gösterildiği gibi kompleks beton barajlar imal edilir.



Şekil 2.5 Beton, bentonit, kum, çakıl ve rip-rap malzemeli yeraltı Barajı (Lang, 1999).

Topuk Bırakma

Yeraltında su içeren tabaka ile çalışılan seviye arasında en az 20 m lik topuk bırakmak ve bu tabakayı yalnız sondaj deliği ve kuyularla geçip başka şekilde etki altına almamak gerekir. Aksi halde meydana gelebilecek bir su patlaması çok büyük sorunlar yaratabilir.

Dolgulu Yöntemle Çalışmak

Üretim yapılan bölgenin tavanını oluşturan tabakaların kırılıp çatlamaması isteniyorsa dolgulu yöntemle çalışma zorunluluğu ortaya çıkar.

Yeraltı Sondajları

Daha önce açılmış olan boşluklarda birikmiş suların mevcudiyetini bilmek gerekir. Böyle yerlerde özel tedbirler alınmalı, yukardan müdahale edilerek sondaj yapılmalı ve su drene edilmelidir. Alttan ve yandan müdahale zorunluluğu varsa basıncın artacağına dikkat edilmelidir. Özellikle eski imalata yaklaşırken su tehlikesini dikkate alarak yapılacak sondajlarda yönetmeliklerdeki hususlara uyulması gerekir.

Sementasyon

Yeraltında fay hatları boyunca gelen suyu kesmek için betonlama yapılır. Bu işleme sementasyon adı verilir. Çatlak veya faylı bölgelere basınçlı pompa ile çabuk donabilen çimento şerbeti enjekte edilir.

2.1.3 Yeraltı Madenciliğinde Su Atımı

Yeraltı madenciliğinde suyun deşarjı; nakliye sistemiyle, sifon yöntemiyle ve su toplama havuzlarından pompalarla yapılmaktadır. Bu yöntemler aşağıda kısaca özetlenmiştir.

Nakliye Sistemi Yardımıyla Su Atımı

Bu yöntemle az miktardaki su ucuz ve az sermaye yatırımı kullanılarak dışarıya atılabilir. Başlıca olumsuz yönü nakliye sistemini yıpratması ve kuyu dibinde oluşan çamur birikintileridir. Bu yöntemle kafesin altına takılan bir su tankı, kafesin her hareketinde hacmi kadar suyu dışarıya taşımaktadır.

Sifon Yöntemiyle Su Atımı

Bu yöntemi her zaman ve her koşulda kullanmak mümkün değildir. Yöntemin temel prensibi atmosfer basıncıdır. Sifon yüksekliği 8 m yi geçmemelidir. Atmosfer basıncı da en fazla 10.35 m olmalıdır.

Pompalarla Su Atımı

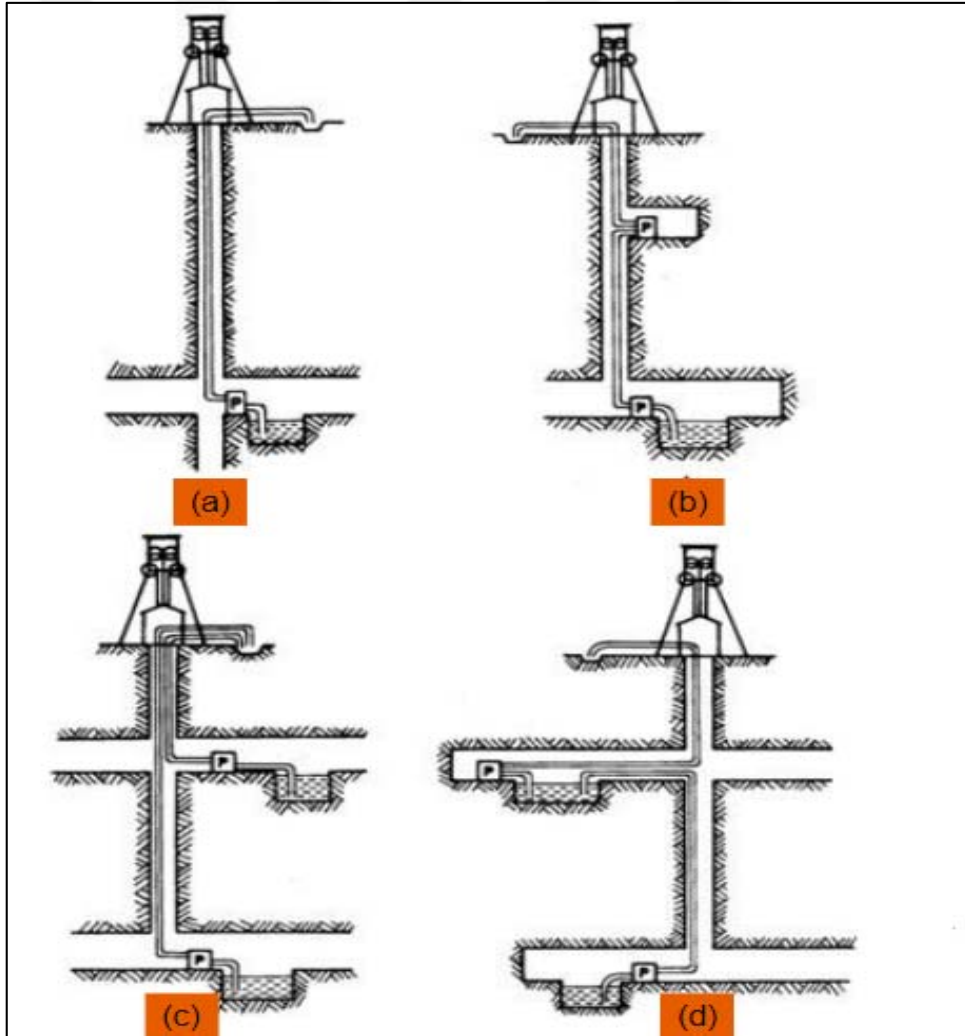
Pompaların madencilikte en fazla kullanılan türleri santrifüj pompalar olmaktadır. Pistonlu pompalar daha yüksek verime sahip olmalarına rağmen yaygın olarak kullanılmazlar. Pistonlu pompalarda sürtünme dolayısıyla aşınma söz konusudur. Pompalarla su atımında önemli unsur, boruların akışa göstereceği dirençtir.

Su Toplama Havuzları

Su toplama havuzları genellikle kuyuya yakın yerlere inşa edilir. Su geliri az ve düzgün ise, kuyuyu 15-20 m daha derinleştirilmesi ile bu derinleştirilen bu kısım toplama havuzu gibi kullanmak mümkündür. Su gelimi düzensiz ve fazla ise havuz yapma zorunluluğu ortaya çıkar. Yapılacak havuzun büyüklüğü ve sayısı su debisine bağlıdır. Havuz büyüklüğünü belirleyen diğer bir faktör ise pompa kapasiteleri ve sayılarıdır. Tesisatın 24 saat devamlı çalıştırılmasından kaçınılmalı, ayrıca aynı güç ve kapasitede bir de yedek tesis bulundurmaya dikkat edilmelidir. Su geliri fazla ve düzensiz ise devamlı pompaj gerekebilir. Havuzlar mümkün olduğunca az geçirgen ve sağlam arazide yapılır.

Pompalarla Su Atım Kombinasyonları

Yeraltında bulunan su ya doğrudan doğruya ya da kademeli olarak yeryüzüne pompalanır. Doğrudan doğruya yapılan pompalamada Su en derin kotta bulunan bir havuzdan pompalanır. Şekil 2.6 'da su atım kombinasyonları şematik olarak gösterilmiştir. Şekil 2.6' da görüldüğü gibi, (a)' da su kuyusunun en derin kısmında yapılan havuzda toplanıp oradan yeryüzüne pompalanır. Pompalar birbirine (b)' deki gibi seri bağlanıyorsa güç ve kapasitelerinin aynı olması gerekir. Bu yöntem derinliği 700 m' den fazla olan kuyularda uygulanır. Su gelirinin fazla olduğu ocaklarda, üst katlara gelen suyu alt katta toplayıp yeniden yukarı pompalamak her zaman ekonomik olmayabilir. Bu durumda (c)' deki gibi, alt ve üst katların suyu ayrı ayrı yeryüzüne pompalanır. Bu yöntemde, kuyu içinde, büyük bir mesafe boyunca çift boru bulunmakta, üstelik her hatta güçlü pompa tesisi nedeniyle hem ilk yatırım maliyeti hemde işletme maliyeti yüksek olmaktadır. (d)' de üst katta toplanan suyun çok daha fazla olması durumunda, ana pompa tesisini bu kata kurmak ve alt katın az olan suyunu daha küçük tesisle bu kata pompalama yoluna gidilir.

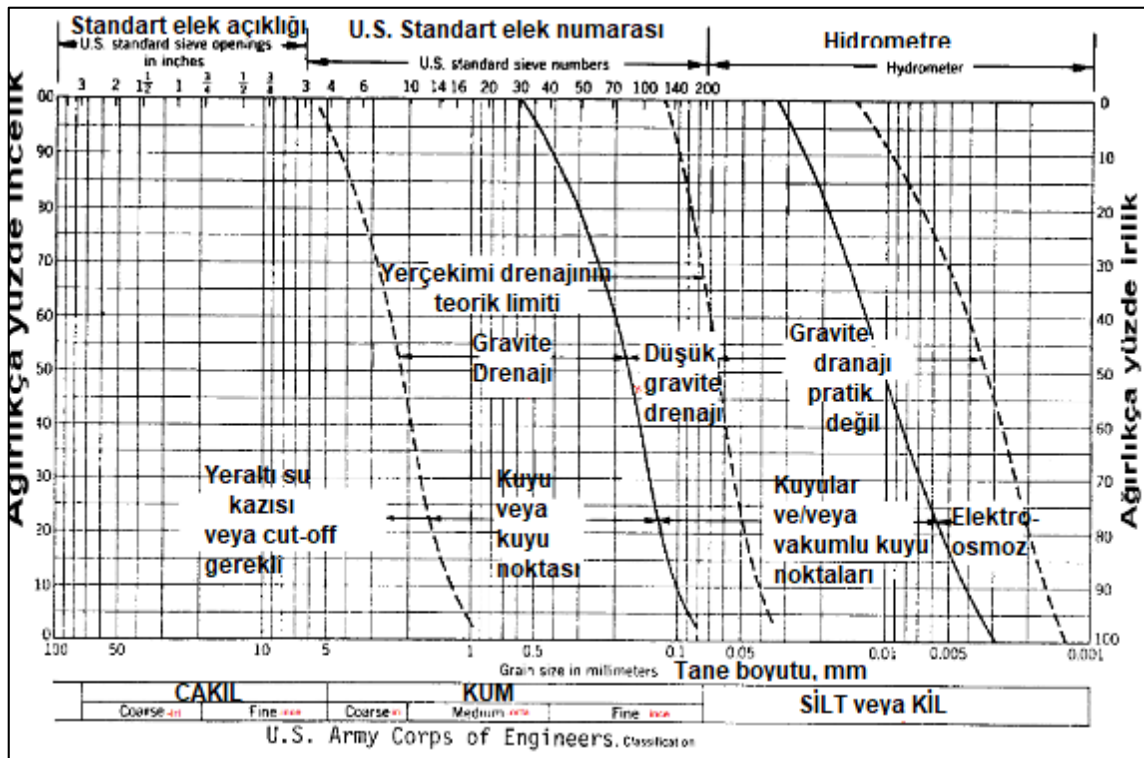


Şekil 2.6 Pompa Kombinasyonları (Tatar ve ark., 2013)

2.2 Elektro-osmoz Yöntemi

2.2.1 Susuzlandırmada Tane Boyutunun Etkisi ve Zeminde Suyun Bulunma Halleri

Yerçekimi yöntemleri ile drenajı yapılamayan killi siltli ortamlar için elektro-osmoz yöntemleri gündeme gelmiştir. Elektro-osmoz kavramı ilk kez Casagrande (1949) tarafından kullanılmıştır. Zeminlerin tane büyüklüğü ile ilgili bir susuzlaştırma sisteminin seçimi için U.S. Army Corps of Engineers (1983) tarafından geliştirilen kılavuz bir sınıflandırma Şekil 2.7' de ve yine zemin hâkim tane boyutuna göre susuzlandırma teknikleri Çizelge 2.1'de verilmiştir. Şekil ve çizelgeden görüldüğü üzere elektro-osmoz yöntemi kil-0.002 mm ile silt-0.06 mm aralığında tane boyutuna sahip zeminlerde çalışmaktadır.



Şekil 2.7 Farklı boyuttaki zeminlere uygulanan susuzlandırma sistemleri (U.S. Army Corps of engineers 1983).

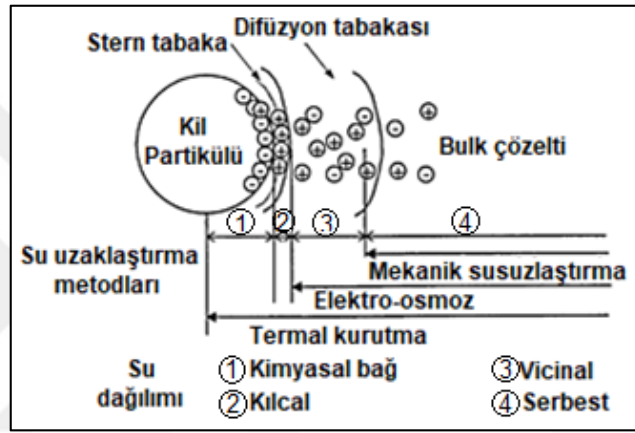
Çizelge 2.1 Susuzlandırma teknikleri (Hausmann 1990, Somerville 1986)

Zemin tipi	KİL	SİLT	KUM	ÇAKIL	BLOK
Dane boyutu (mm)	<0.002	0.06	2	60	>60
Susuzlandırma metodu	<i>Elektro-osmoz</i>	Kuyu ve/veya vakumlu kuyu	Gravite drenajı	Sulu kazı veya perde beton gerekebilir. Ağır çelik levha duvar veya diğer bariyerler ve pompalama	
Drenaj Kullanışsız ←		Gravite drenajı çok yavaş	Havuzdan pompalama	Çakıl filtreli büyük çukurlar kullanılarak aralık genişletilebilir.	

Suyun ortamlarda bulunma halleri: Zemin içerisinde su dört farklı şekilde bulunmaktadır. Bunlar;

1. *Serbest su:* katı parçacıklarla ilişkilendirilmez.
2. *Çatlak, kılcal su:* mekanik olarak tutulan su, flojlarda-boşluklarda tutulur.
3. *Vicinal/komşu su:* Fiziksel olarak çok sayıda kat bağlanmış, hidrojen bağları ile parçacık yüzeyine sıkıca tutturulmuş
4. *Kimyasal olarak bağlı su:* hidrasyon bünye suyu (yüksek sıcaklıklarda uzaklaştırılabilen su).

Elektro-kinetik esaslı elektro ozmotik susuzlaştırma, serbest(4), bağlı(3) ve kılcal(2) suyu gidermek için uygulanabilir (Şekil 2.8).

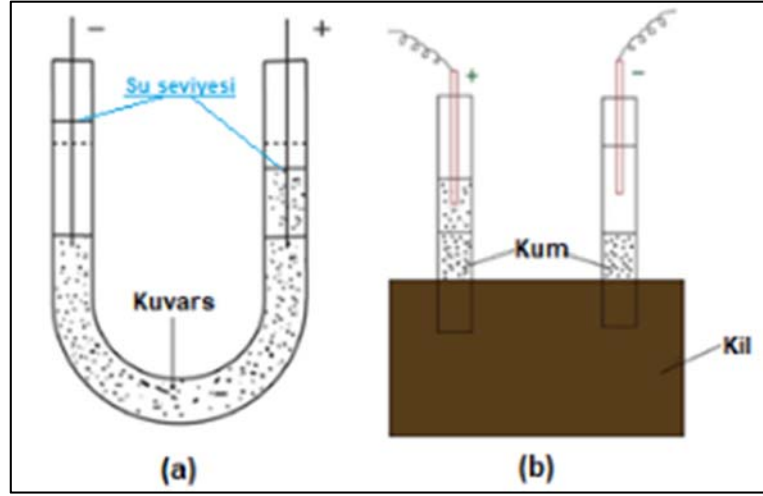


Şekil 2.8. Tamamen doymun ortamdaki su dağılımı ile ilgili susuzlaştırma yöntemleri (Mok 2006, Zhou ve diğ. 'den sonra, 2001)

2.2.2 Elektro-kinetik Mekanizmalar

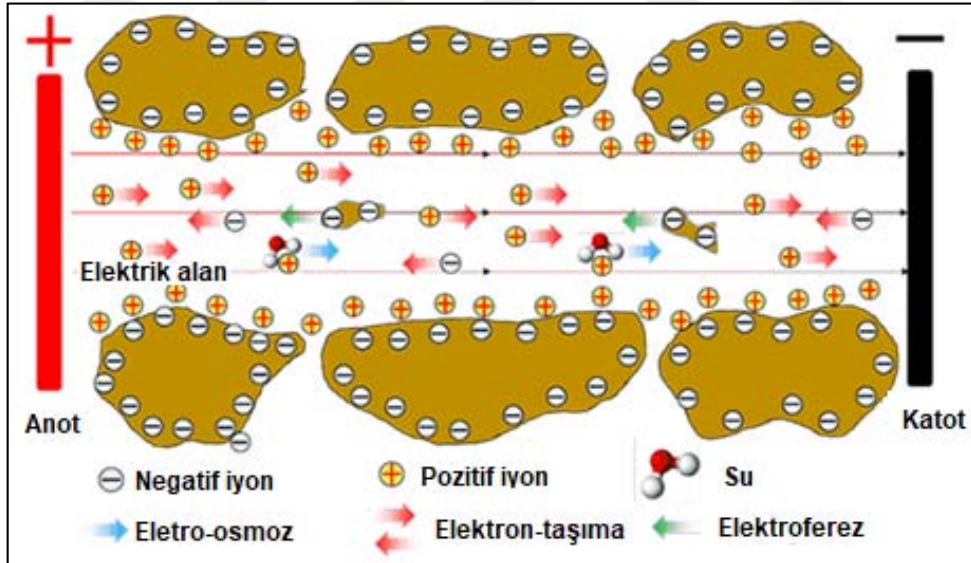
Elektrokinetik olayları ile başta zeminin susuzlaştırması yapılarak, zeminlerin pekişmesinin (konsolidasyon) hızlandırılması, zeminin dayanımını artırmak ve zeminin boşluk suyu basıncının kontrol altına alınması gibi iyileştirmeler sağlanmaktadır. Elektro-kinetik olaylarının süreçleri aşağıdaki paragraflarda anlatılmıştır.

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 2.9a), suyun kapiler zondan ilerleyerek sol tüpte katot bölmesi yönünde 2.5 cm yükseldiğini sağ tüpte aynı miktarda azaldığını gözlemlemiş ve bu olay elektro-osmoz olarak adlandırılmıştır. Şekil 2.9b' 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 gözlemlemiş. Dağılmış kil parçacıklarının elektrik alanı altında göç etmesi olayına da elektroforez denilmektedir.



Şekil 2.9. Reuss tarafından yapılan ilk elektro-osmoz(a) ve elektroforez(b) deneyinin şematik görünümü (Yuan, 2015).

Zemine, 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 2.10 'da gösterilmiştir.



Şekil 2.10 Elektrokinetik mekanizmalar: Elektro-osmoz, elektromigrasyon ve elektroforez (Url-2)

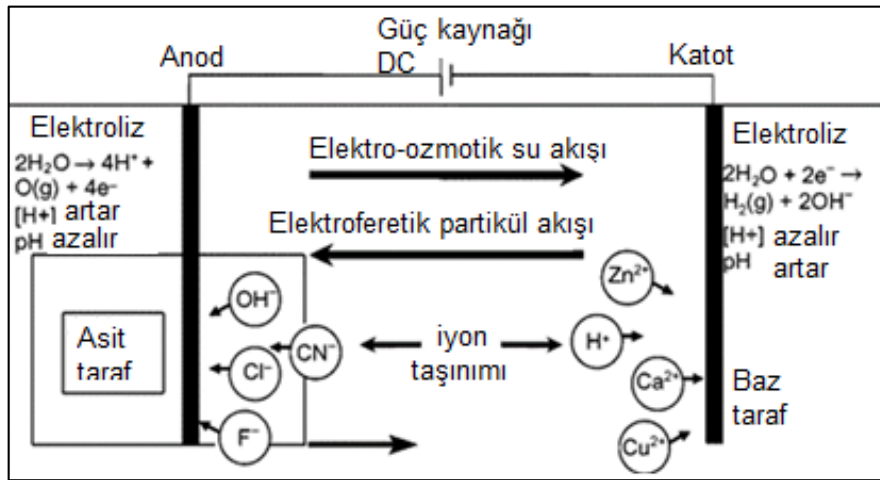
Elektrokinetik olaylar iki ana gruba ayrılabilir. Birinci grup; Elektro-osmoz ve elektroforez aynı anda meydana gelir ve elektro-kinetik olayların birinci grubunu oluşturur. İkinci grup, sıvı veya katı fazın hidrolik veya yerçekimi kuvveti etkisi altında diğerine göre hareket ettiği ve böylece bir elektrik potansiyelini indüklediği akış potansiyeli ve göçme veya tortulaşma potansiyelinden oluşur. Bu dört elektrokinetik olay Şekil 2.11'de gösterilmiştir (Lee 2000).



Şekil 2.11 Doğru akım verilen zeminde gelişen elektro-kinetik olaylar (Lee 2000, Mitchel 1993'den).

Doğru akım gözenekli ince taneli bir zeminden 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, çökelme ve doku değişimleri gibi olaylar görülebilmektedir (Mitchel 1993).

Elektroferez: Uygulanan elektrikselsel potansiyel farkı, askıya alınmış kolloidal 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 anoda doğru elektrostatik olarak çekilir veya itilirler (Şekil 2.12). Tek bir kil parçası üzerindeki elektroferetik kuvvet, partikülün zeta potansiyeli bilinerek kantitatif olarak hesaplanabilir (Lee 2000). Elektroferetik hareketlilik genellikle 1×10^{-4} ila 3×10^{-4} $cm^2/V \cdot sn$ aralığındadır (Van Olphen, 1977).



Şekil 2.12 Temel elektro-kinetik süreçler (Nicholson 2015).

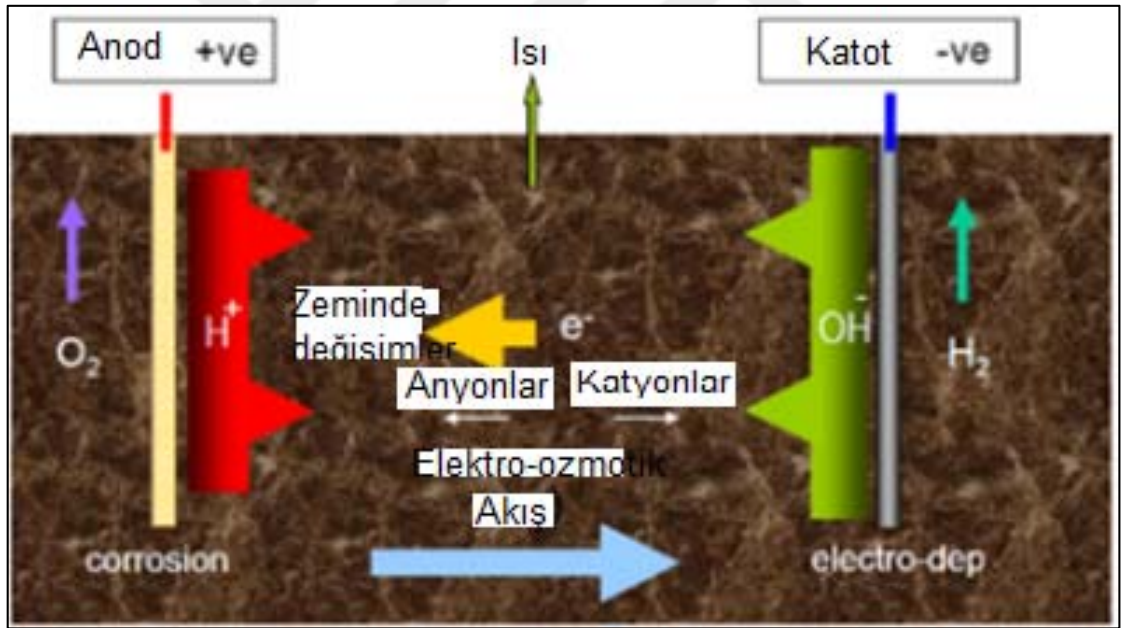
Elektromigrasyon veya iyon göçü: Uygulanan elektriksel potansiyel farkı, yüklü bir parçacık matrisinin sıvı fazında iyon göçünü sağlar. Negatif yüklü OH⁻ iyonları anoda, pozitif yüklü H⁺ iyonları katoda doğru göç ederler (Şekil 2.13).

Suyun elektrolizi: Uygulanan elektrik alanla orantılı olarak pozitif elektrod olan anod 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⁻ iyonu artmakta, ortamdan hidrojen gazı çıkar ve pH yükselmeye başlayarak bazik bir yüzey oluşmaktadır (Şekil 2.13). Elektrolarda meydana gelen elektroliz işlevinin basitleştirilmiş mekanizması şu şekilde olmaktadır:

Pozitif elektrod (Anod) : $2\text{H}_2\text{O} - 4\text{e}^- \rightarrow \text{O}_2\uparrow + 4\text{H}^+$ (oksidasyon) pH↓

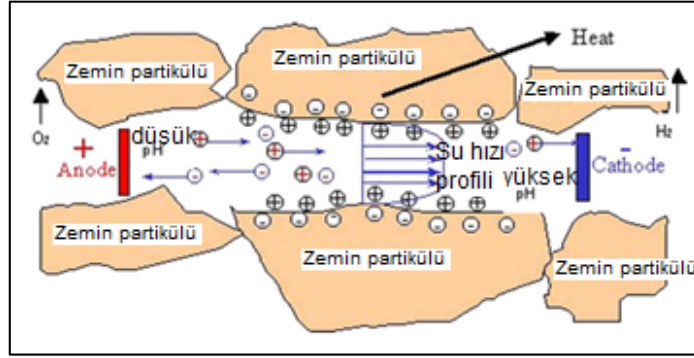
Negatif elektrod (Katod): $4\text{H}_2\text{O} + 4\text{e}^- \rightarrow 2\text{H}_2\uparrow + 4\text{OH}^-$ (oksidasyon) pH↑

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

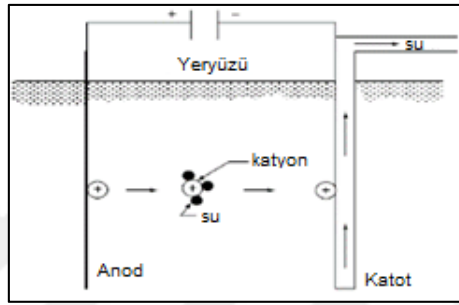


Şekil 2.13 Elektro-kinetik olaylarında iyon göçü (<http://www.electrokinetic.co.uk>).

Electro-osmoz: 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 katod borusu veya kuyusuna doğru beraberinde sürükleyerek bir akış oluşur. (Şekil 2.14 ve Şekil 2.15).



Şekil 2.14 Zeminde elektro-osmos olayının kavramsal temsili şekli (Jones ve diğ. 2011).



Şekil 2.15. Elektro-osmoz basit şematik gösterimi (Das 2008'den Ashadi ve diğ. 2013).

Daneli zeminlerde hidrolik akış Darcy (1856) tarafından aşağıdaki şekilde ifade edilmiştir [3]:

$$q_h = k_h \cdot i_h \cdot A \quad [3]$$

q_h : hidrolik akış (cm^3/s)
 k_h : hidrolik iletkenlik-permeabilite katsayısı (cm/s)
 i_h : hidrolik gradyan (eğim)
 A : kesit alanı (cm^2)

Killi ince taneli zeminler için $k_h=0$ olduğunda en yaygın kullanılan elektro-ozmotik akış denklemi Casagrande (1949) tarafından önerilmektedir [4]:

$$q_e = k_e \cdot i_e \cdot A \quad [4]$$

q_e : akış, (cm^3/s)
 k_e : elektro-ozmotik iletkenlik katsayısı, (cm/s V.cm^{-1})
 i_e : hidrolik gradyan, ($\Delta E/\Delta L$)
 A : kesit alanı (cm^2)

Elektro-ozmotik iletkenlik, k_e tane boyuttan bağımsız olup ortamın zeta potansiyeli ve boşluk oranı ile doğrudan ilişkilidir ve aşağıdaki gibi ifade edilmektedir [5]:

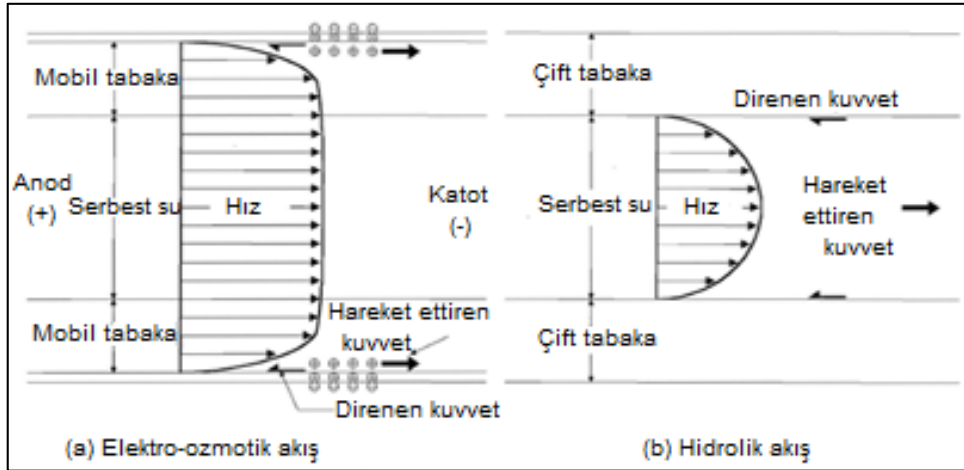
$$k_e = \frac{\zeta D}{\eta} n \quad [5]$$

D : boşluk suyunun dielektrik sabiti
 η : 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 2.16' da hidrolik akış ile elektroozmotik akış arasındaki farklı durum şematik olarak görülmektedir. Yine bazı malzemelere ait hidrolik iletkenlik k_h , elektro-ozmotik iletkenlik k_e ve su içerik değerleri Çizelge 2.2'de verilmiştir. Deneyimlerden k_e 'nin genellikle 1×10^{-9} ila $1 \times 10^{-8} \text{ m}^2 / \text{s V}$ (V / m başına m / s) aralığında olduğu ve çoğu zemin için aynı büyüklükte olduğu bilinmektedir (Mitchell 1993).

Çizelge 2.2 Bazı zemin malzemelerinin hidrolik ve elektroozmotik iletkenlik katsayıları ile su muhtevası değerleri (Mitchell 1993)

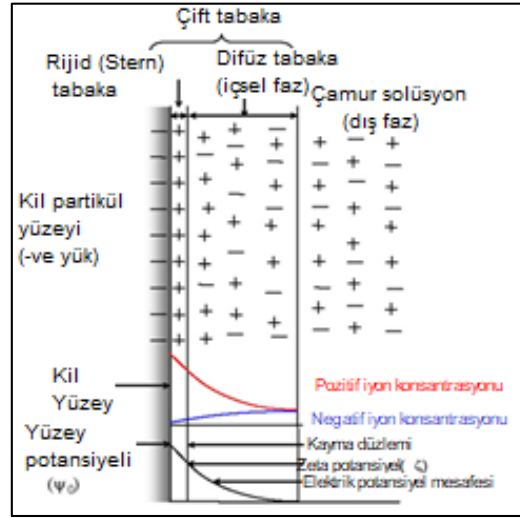
No	Malzeme	Su muhtevası (%)	Elektro-ozmotik permeabilite $k_e \times 10^{-5} (\text{cm}^2/\text{s-V})$	Yaklaşık hidrolik permeabilite $k_h (\text{cm/s})$
1	Londra Kili	52.3	5.8	10^{-8}
2	Boston mavi Kili	50.8	5.1	10^{-8}
3	Kaolen	67.7	5.7	10^{-7}
4	Killi Silt	31.7	5	10^{-6}
5	Kaya unu	27.2	4.5	10^{-7}
6	Na-montmorolonit	170	2	10^{-9}
7	Na-montmorolonit	2000	12	10^{-8}
8	Mika tozu	49.7	6.9	10^{-5}
9	İnce kum	26	4.1	10^{-4}
10	Kuvars tozu	23.5	4.3	10^{-4}
11	Seramik kili	31	20-2.5	2×10^{-8}
12	Bootlegger koyu kili	30	2.4-5	2×10^{-8}
13	Siltli kil	32	3-6	$1.2 \times 10^{-8} - 6.5 \times 10^{-8}$
14	Killi Silt	26	1.5	2×10^{-5}



Şekil 2.16 Elektro-ozmotik akış (a) ve Hidrolik akış (b) karşılaştırması şematik gösterimi (Casagrande, 1952).

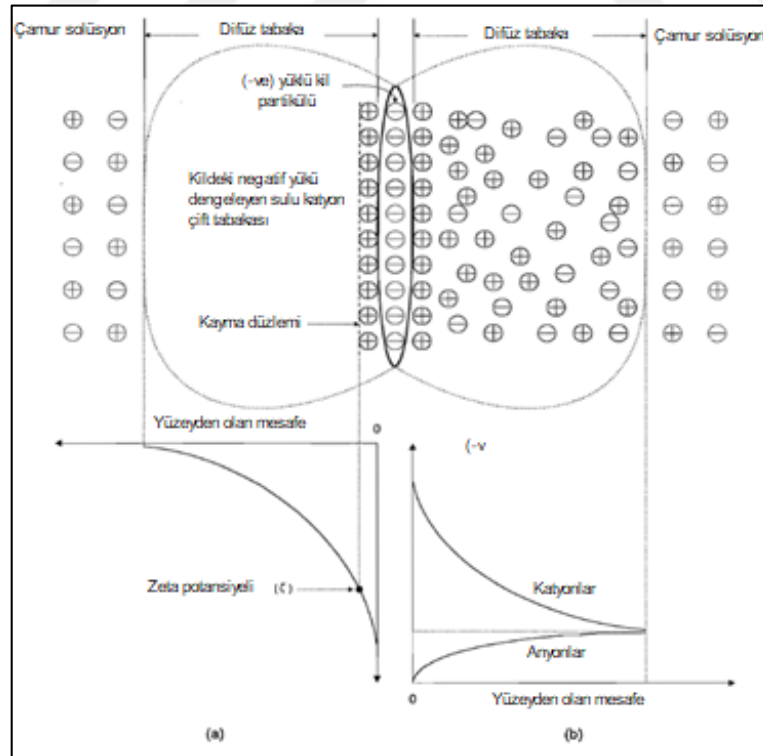
Elektrik çift katman:

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 2.17).



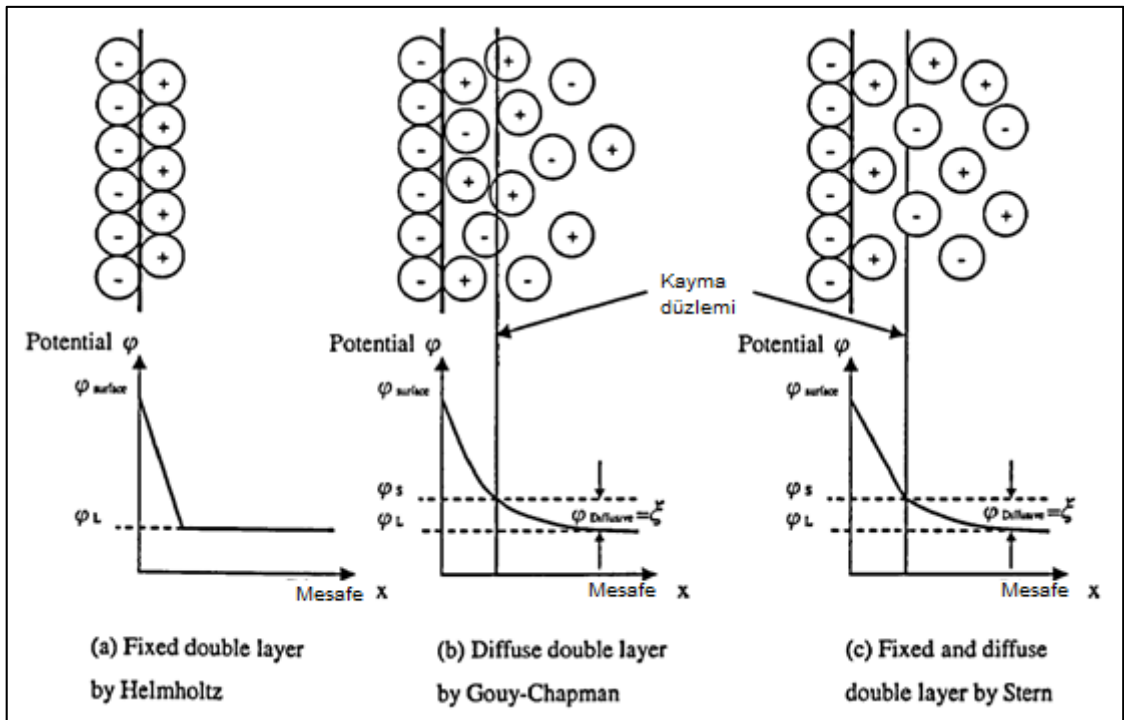
Şekil 2.17 Katı/su arayüzündeki çift tabaka yapısının kavramsal görünümü (Jones ve diğ. 2011).

Kil partikülleri genellikle yüzlerinde negatif yükler ve kenarlarında pozitif yükler olarak dağıtılmış net negatif yük taşır. Böylece, ters yük iyonları, Şekil 2.18'de gösterildiği gibi elektriksel nötrülüğü korumak için negatif yüklü kil yüzeyler 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 2.18 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).

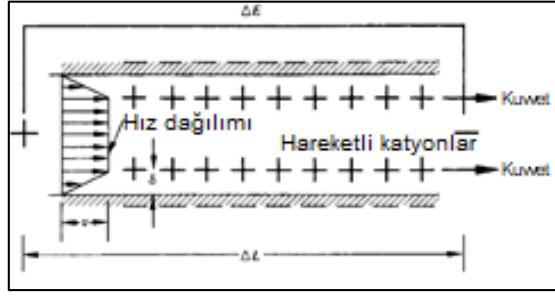
Elektro-osmozun açıklanması için Helmholtz-Smoluchowski teorisi, Schmid teorisi, Spiegler sürtünme modeli, Buckingham π teorisi ve iyon hidrasyon teorisi gibi birkaç teori vardır (Şekil 2.19). Bunlardan en yaygın olan Helmholtz-Smoluchowski teorisi olan çift katmanlı model ilk kez 1850'lerde Helmholtz (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 ($<1\text{nm}$) 'den küçüktür, çok seyreltilmiş çözeltilerde ise dağıntık, çift tabakalı daha büyük bir değer alabilir ($\sim 10^2 - 10^3\text{nm}$) (Vijh, 1999).



Şekil 2.19 Çift tabaka modelleri (Mok 2006, Weber&Stahl 2002 'den sonra).

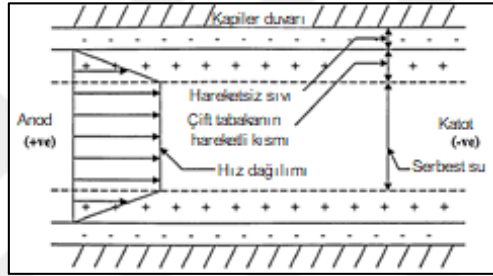
Helmholtz-Smoluchowski teorisi:

Helmholtz (1879) tarafından tanıtılan ve Smoluchowski (1914) tarafından geliştirilen bir modele dayanan bu teori, elektroosmoz süreçleri tanımlamak için kullanılan en eski ve en yaygın teorilerden biridir. Sıvı dolgulu bir kılcal, duvar yüzeyi üzerinde veya yakınında bir işaret yükü ve sıvı içinde bir kat içinde konsantre edilmiş karşı yükler, Şekil 2.20'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 2.21'de de gösterildiği gibi kondanserin iki plakası arasında yüksek hızlı bir gradyan vardır.



Şekil 2.20 Elektro-kinetik olay 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 2.21).



Şekil 2.21 Sıvı hız akış vektörleri ve çift tabakada hareketsiz sıvı ve hareketli sıvı şematik gösterimi (Casagrande, 1952).

Helmholtz-Smoluchowski'ye dayanarak, zeta potansiyeli (ζ) ve toprak yüzeyine bitişik akışkandaki yük dağılımı, elektro-ozmotik akışın belirlenmesinde önemli rol oynar. Zeta (ζ), koloidal parçacıkların hareketine cevap olarak katı-sıvı arayüzünde geliştirilen elektrik potansiyelidir; yani, ζ elektriksel çift tabakanın sabit ve hareketli parçaları arasındaki birleşme noktasındaki elektriksel potansiyeldir. Zeta (ζ), 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-ozmotik akışı (q_e) [1] ve elektro-ozmotik hız (v_e) [2] aşağıdaki gibi ifade edilebilir:

$$q_e = \frac{E D r^2 \zeta}{4 \eta} \quad [1]$$

$$v_e = \frac{E D \zeta}{4 \pi \eta} \quad [2]$$

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

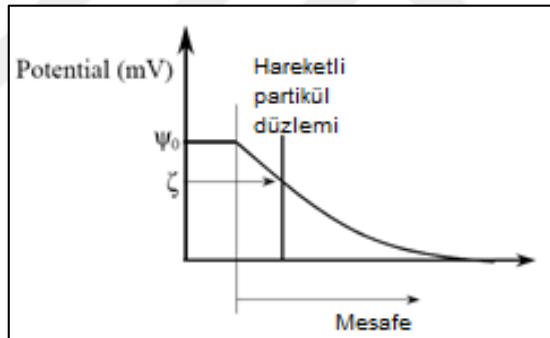
Zeta (ζ) Potansiyeli:

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

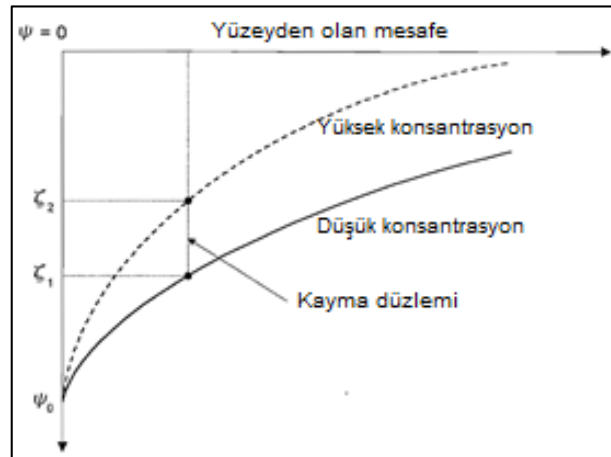
elektriksel potansiyel farkına zeta potansiyeli (ζ) denir (Şekil 2.19 ve Şekil 2.22). Zeta potansiyeli denklem [2] den çekildiğinde aşağıdaki ifade elde edilir [3]:

$$\zeta = \frac{V_e 4\pi\eta}{E D} \quad [3]$$

Hidrolik iletkenlik, k_h , ortamdaki gözenek ebadı ve dağılımından önemli ölçüde etkilenir, ancak Helmholtz-Smoluchowski teorisine dayanan elektro-ozmotik iletkenlik k_e , ise esasen zeta (ζ) ve boşluk oranına (n)'ye bağlıdır. Helmholtz-Smoluchowski teorisine göre elektro-ozmotik 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 ζ potansiyelini farklı çözeltilerdeki değişimlerini araştırmışlar (Yukselen&Erzin, 2008, Hamed ve diğ. 1991, West ve diğ. 1995). Sonuçlar, elektrolit konsantrasyonunun, elektrolit tipinin, iyonların dengesinin ve pH'ın önemli faktörler olduğunu ve ζ değerlerini etkileyebileceğini göstermiştir. Şekil 2.23 iyon konsantrasyonlarındaki değişime göre zeta potansiyelinin büyüklüğündeki değişimin bir örneğini sunmaktadır. Artan iyon konsantrasyonu ile birlikte zeta potansiyelinin büyük ölçüde azalması beklenmektedir.



Şekil 2.22. Elektrik potansiyel dağılımı ve zeta-kayma düzlemi potansiyeli (Asadi 2013, Mitchel&Soga 2005'den uyarlanmış)



Şekil 2.23 Tuz konsantrasyonu ile zeta potansiyeli değişimi (Lee, 2000; Tan, 1993'den)

2.2.3 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 2.3’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 yaklaşıyor, 1 µm'den büyük partiküller ağırlıklı olarak kütle kuvvetlerinden etkilenir. Kolloidal davranış için alt limit olarak 25 m²/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 2.4 ‘de genellikle zeminlerde karşılaşılan partikül büyüklüğü aralığı için tipik toprak partikül özelliklerini göstermektedir (Jones ve diğ. 2011).

Çizelge 2.3 Electro-osmozda etkili zemin parametreler (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 ² /sV	$\sim 10^{-9}$
K , elektriksel iletkenlik	S/m	0.01-0.5
E , elektri alan şiddeti	V/m	20-100
c_v , konsolidasyon katsayısı	m ² /s	0.01-1.0

Çizelge 2.4 Zeminlerin tane özellikleri (Jones ve diğ., 2011)

Partikül	Çap (mm)	1 gramdaki partikül sayısı	1 gramdaki yüzey alanı (cm ²)
Çok iri kum	-	90	11
İri kum	2.00 - 0.02	720	23
Orta kum	-	5,700	45
İnce kum	0.20 - 0.02	46,000	91
Çok ince kum	-	722,000	227
Silt	0.02-0.002	5,776,000	454
Kil	Below 0.002	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.

Elektro-osmotik yöntem, 1939'da Almanya demiryolunda Casagrande tarafından susuzlaştırma aracı olarak başarılı bir şekilde kullanılmış (Şekil 2.24). Burada anod ile katod arası mesafe 30 foot (~9m) ve derinliği 22.5 feet (~7m) olan çelik elektrodlar yerleştirilmiş ve başlangıçta 180 volt uygulanmış. Birkaç hafta sonra 90 volta düşürülmüş ve stabilite sağlanmış.



Şekil 2.24 Almanya demiryollarında susuzlaştırma amaçlı Elektro-osmoz arazi uygulaması (Kravath, 1954).

Yine Norveçte bir inşaatta siltli kil zemininde elektro-osmoz uygulanarak ortamın nem içeriği düşürülmüş (Şekil 2.25). Burada da elektrotlar arası mesafe 30 ft (~9m) ve sabit 30 volt elektrik potansiyeli uygulanmış ve yordaküp malzeme başına 0.4 kWh enerji tükettiği belirlenmiş.



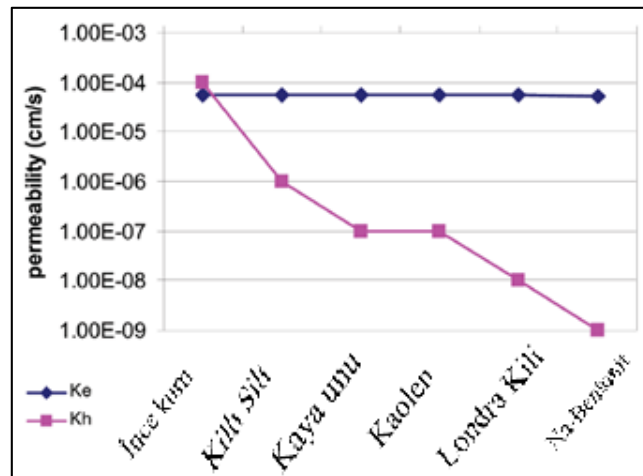
Şekil 2.25 Norveçte bir inşaatta (U-boat) siltli kil zeminde Elektro-osmoz arazi uygulaması (Kravath, 1954).

Bu ilk uygulamalardan sonra elektro-osmoz yöntemi ile zeminlerin susuzlaştırması ve stabilizasyonu, Kuzey Amerika, Avrupa ve Çin'deki birçok projede kullanılmaya başlamıştır. Son yıllarda elktrokinetik konusunda arazi uygulamaları araştırma ve projeleri yapılmakla birlikte daha çok laboratuvar boyutunda çok sayıda araştırmacı çalışmaktadır. Arazi araştırma ve proje çalışmalarında Elektro Kinetik Geosentetik-EKG teknolojisi geliştirilmiş ve su, gıda, madencilik, inşaat mühendisliği, spor tesisleri ve çevresel jeoloji mühendisliği alanlarında elektrokinetik uygulamalar yapılmaktadır (Çizelge 2.5).

Çizelge 2.5 Elektro Kinetik Geosentetik uygulamaları (Jones ve diğ., 2011).

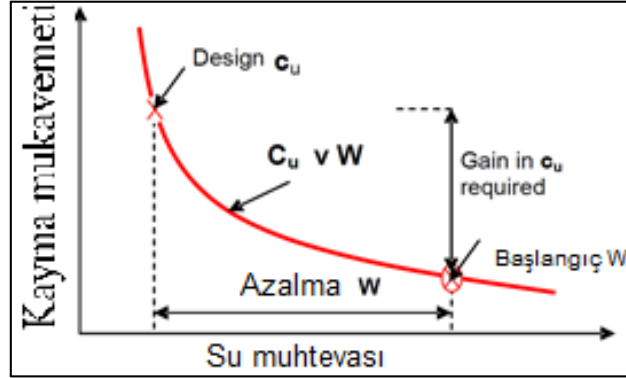
Endüstri	Pazar/market	Market sektör	EKG-şekli
Su	Kanalizasyon arıtma Su arıtma	Susuzlaştırma makineleri Kompostlama Susuzlandırma Susuzlandırma Konsolidasyon	EKG bant pres EKG plaka pres ePD sistemleri EKG filtre çantaları EKG plaka pres ePVD sistemleri
Gıda Madencilik	İşlenmiş gıdalar ve içecekler Bakır Elmas Demir cevheri Seramik kili Kömür&kömür atığı Atık havuzu stabilizasyonu Sıvı ile mücadele	Susuzlandırma Stabilizasyon Susuzlandırma Susuzlandırma Ürün susuzlandırma Susuzlandırma Susuzlandırma Stabilizasyon	EKG bant pres ve EKG çantaları ePVDs EKG kuşak pres ePVDs EKG bant pres ve vakum bant ePVDs EKG levha pres ePVDs ve/veya elektrokinetik
İnşaat mühendisliği	Zemin mühendisliği Su kanalı mühendisliği Demir ve karayolu bakımı Genel ve karayolu inşaatı Kahverengi alan gelişimi/reklamasyon Karayolu bakımı/dere atığı susuzlaştırma Nükleer atık	Susuzlandırma Susuzlaştırma dip tarama Şev ve dolgu stabilizasyonu Zemin güçlendirme Zemin konsolidasyonu Zemin konsolidasyonu Atık katılaştırma Atık katılaştırma Atık katılaştırma	EKG filtre çantaları EKG kuşak pres EKG filtrasyon çantaları ePVDs elektrokinetik Zemin kazığı ePVDs elektrokinetik Zemin kazığı REKG ePVD ePVDs EKG filtre drenaj perdesi EKG filtre çantası EKG filtre çantası
Spor	İnşaat	Futbol Kriket Golf	ePD hasır sistemi eMat ikizi hasır sistemi eMat&ePD sistemi
(Bahçecilik) Çevresel jeoloji müh.	Bakım Arındırma/kahverengi alan gelişimi	Futbol Çevre	eRibbon ve ePD sistemi ePD sistemi

Yapılan bir çalışmada ince taneli killi-siltli zeminlerde, elektro-ozmotik konsolidasyonun, konvansiyonel hidrolik konsolidasyona kıyasla etkinliği ve çeşitli zeminlerin elektro-ozmotik (k_e) ve hidrolik (k_h) geçirgenlikleri karşılaştırılmıştır (Şekil 2.26).



Şekil 2.26. Hidrolik iletkenliğe karşı elektro-ozmotik iletkenlik (Jones ve diğ. 2006)

Yine aynı araştırmacılar bir çalışmada elektrokinetik ynmetle zemin su muhtevasını azaltarak zemin kayma mukavemetinin arttırdığını belirlemişlerdir (şekil 2.27).

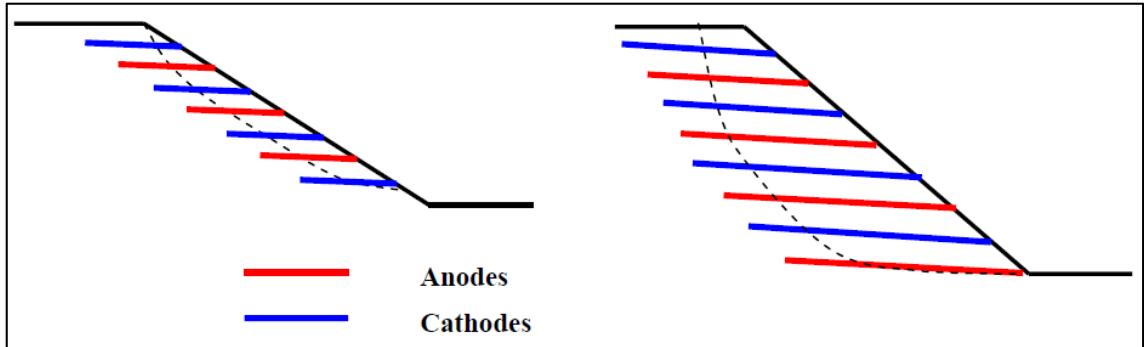


şekil 2.27 Zemin su içeriği ile kayma mukavemeti arasındaki ilişki (Jones ve diğ. 2006).

EKG teknolojisinde kullanılan ekipmanlar ve saha uygulamaları şekil 2.28' de şev yenilme yüzeyinin sığ ve derinde olmasına göre elektrotların dizilimi şekil 2.29.'da gösterilmiştir.



şekil 2.28 EKG teknolojisinde kullanılan ekipmanlar, elektrotlar (a, b, c) ve elektrot dizaynı ve saha uygulaması (Url-3)



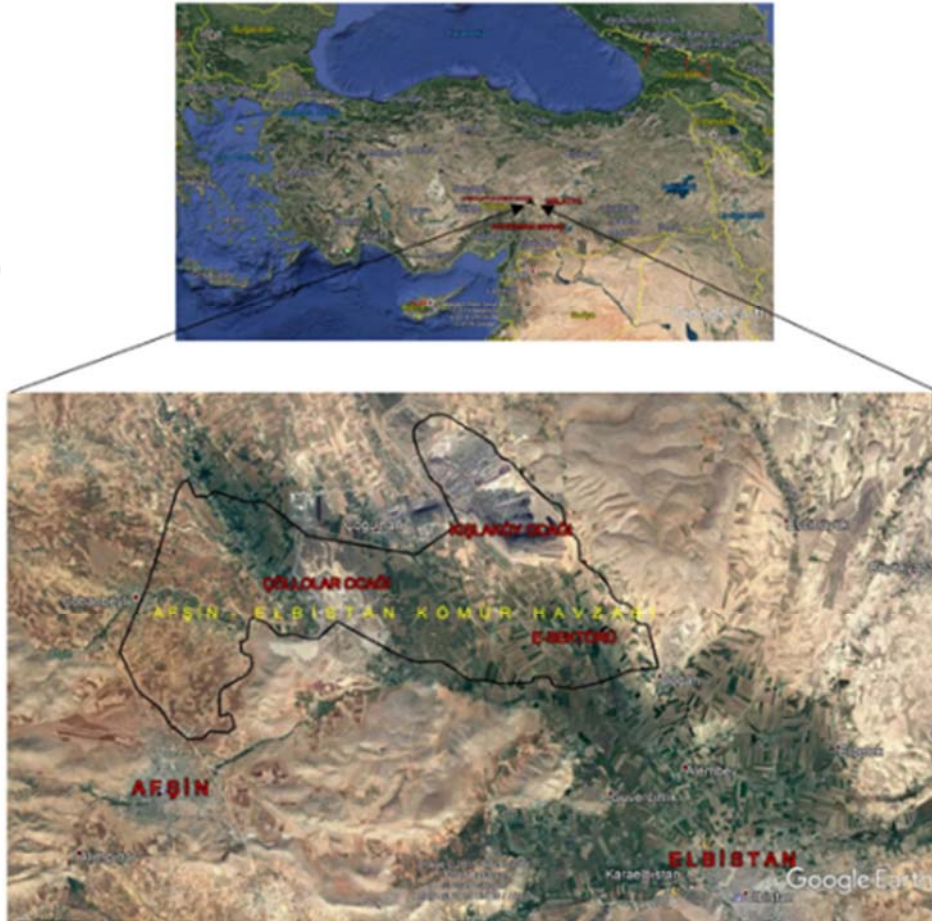
şekil 2.29 Elektro-ozmotik susuzlandırmada elektrot dizaynı. Solda: sığ yenilme yüzeyi sağda: daha derin yenilme yüzeyi (Url-3).

3. MATERYAL VE METOD

Bu bölümde Afşin-Elbistan kömür havzası hakkında yapılan çalışmaların özet derlemesi, bölgede yapılan susuzlaştırma hakkında bilgiler ile çalışmada kullanılan gidya malzemesi ve kömür horizonu hakkında bilgiler derlenmiştir. Daha sonra bölgede halen kömür çıkarma faaliyetleri devam eden Kışlaköy ocağından alınan gidya malzemesinin daha önce yapılan çalışmalardan zemin mekaniği özellikleri derlenmiştir.

3.1 Afşin-Elbistan Kömür Havzası

Ülkemizin en büyük (120 km² alanda) kömür kaynağının/rezervinin bulunduğu Afşin-Elbistan havzası Kahraman Maraş ilinin Afşin, Elbistan ilçeleri sınırları içerisinde yer almaktadır (Şekil 3.1). Enerji ve Doğal Kaynaklar Bakanlığının verilerine göre 5 milyar tondan fazla olan ve ülkemiz linyit rezervinin yaklaşık %46'sı bu havzada bulunmaktadır (Url-4).



Şekil 3.1 Afşin-Elbistan kömür havzası sınırları, Çöllolar, Kışlaköy ve E-Sektörü

Bölgede çok sayıda yerli ve yabancı kurum, kuruluş ve kişi etüd ve araştırmalar yapmışlardır. Bölgede ilk çalışmalar Almanlar tarafından yapılmıştır.

Daha sonra MTA, ODTÜ, İTÜ, İÜ, ÇÜ ve SCÜ gibi kurumlarda oluşturulan ekipler tarafından rezerv, şev stabilitesi, susuzlandırma, obruk ve heyelanlara yönelik jeolojik, jeofizik, jeoteknik, hidrolojik/hidrojeolojik ve işletme tasarımına yönelik birçok etüd ve araştırma çalışmaları yapılmıştır (Akbulut vd., 2007, Besbelli vd., 2009, Gökmenoğlu&Aslan, 2013, Ural vd., 2014, Karpuz vd., 2008, 2010).

3.2 Afşin – Elbistan Havzasının Jeolojisi

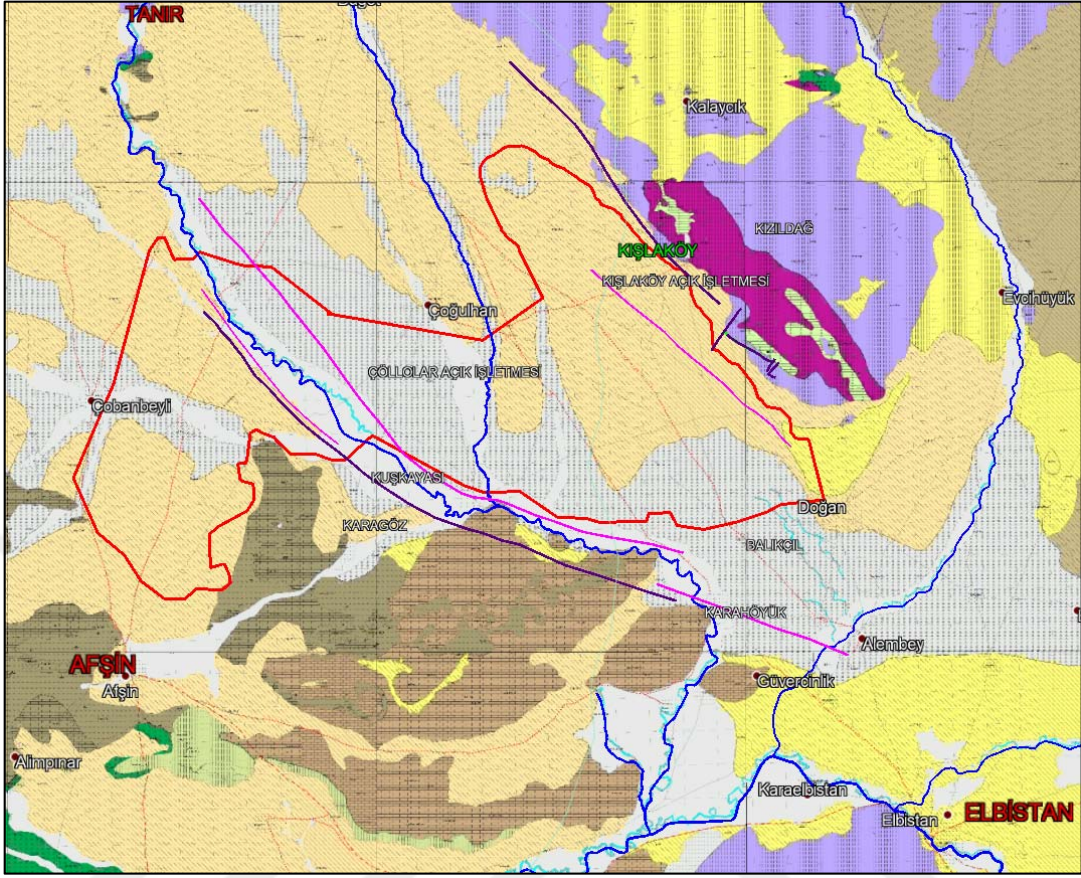
3.2.1 Genel Jeoloji

Afşin - Elbistan havzasında 1967 yılından günümüze kadar değişik dönemlerde bölgenin jeolojisini açıklamak için etüdlere yapılmıştır. Bu çalışmalardan en detaylı olanları MTA tarafından yapılan çalışmalar olup bunlar; Yusufoğlu vd (2005), Bedi vd. (2009), Besbelli vd. (2009) ve Gökmenoğlu vd. (2014) tarafından yapılan araştırmalardır. Çalışmalarda bölgenin genel jeolojisi detaylı anlatılmıştır. Bu çalışmalardan edinilen bilgiler aşağıda kısaca özetlenmiştir.

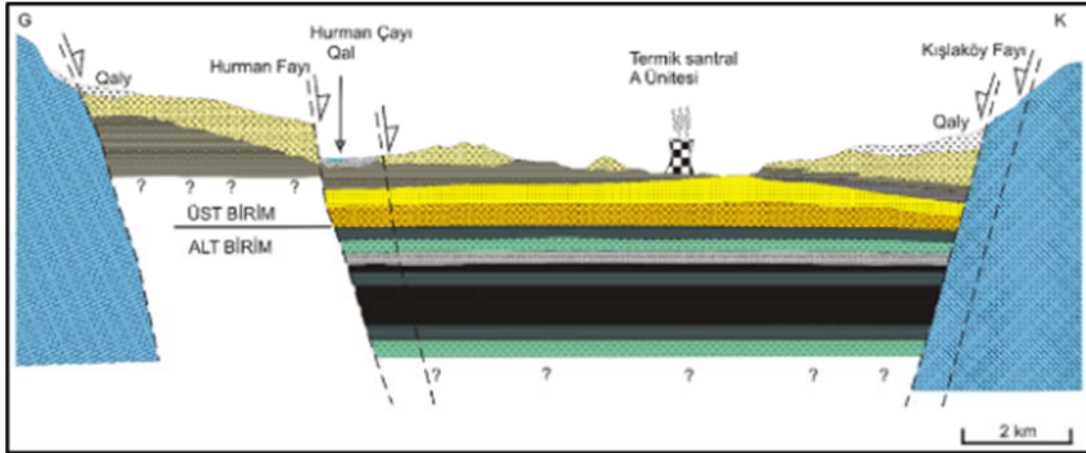
Havza Doğu Torosların uzantısı üzerinde Pliyosen jeolojik zamanında biçimlenmeye başlamış tektonik çöküntü havzasıdır. Havzada bulunan litolojik birimler Temel kayalar ve kömürlü seriler olarak iki sınıfta toplanmıştır. Temel kayaları Karbonifer-Permian yaşlı Çayderesi ve Karaböğürtlen formasyonları ve Jura-Kretes yaşlı Köse Yahya napından oluşmaktadır. Temel kayaları şist, kalk şist, kuvars şist, konglomera arakatkılı dolomit, kireçtaşı ve mermer birimleri ile Jura-Kretes döneminde oluşmuş ve allokon olarak bulunan ve Köseyahya napı adı verilen karstik özellikli kireçtaşlarından oluşmaktadır. Temel kayalarının üzerine uyumsuz olarak gelen ve Kemaliye formasyonu olarak adlandırılan Miyosen yaşlı filiş özelliğindeki birimler en altta sıg denizel kumtaşı, kiltası, marn ve kireçtaşı ile başlayan çakıltası, kumtaşı, marn, kalker, silttaşı, kumtaşı gölsel serileri ve bunların üzerine uyumsuz olarak gelen Pliyosen yaşlı ve Ahmetçik formasyonu adı verilen gölsel ortamda çökelmiş altta kiltası ile başlayan kömür horizonu adı verilen kömür, gıda, kiltası marn aralanması oluşmuştur. Tüm bu birimlerin üzerine killi kumlu kireçtaşı, çakıltası, silttaşı çamurtaşı aralanmasından oluşan akarsu çökelleri ve kuvaterner yaşlı alüvyon yelpazeleri en üstte oluşmuştur. Ahmetcik formasyonu adı verilen kömür tabakalarının içinde olduğu birimler havzanın ova kesimdeki alanları kaplamaktadır (Bedi vd., 2009). MTA(2009) tarafından yapılmış olan 1/25000 ölçekli haritaların birleştirilmesinden oluşturulmuş genel jeoloji haritası ve kırmızı ile gösterilen kömür sınırları Şekil 3.2' de verilmiştir.

3.2.2 Faylar

Afşin-Elbistan havzasında KB-GD doğrultulu normal faylar sağ yanal atım bileşenli, KD-GB doğrultulu olanlar ise sol yanal atım bileşenli olup bunların büyük çoğunluğu, havzanın açılmasında etkin olmuş ve Neotektonik birim olan Pliyo-Kuvaterner yaşlı Ahmetçik formasyonunun çökelişini sağlamıştır (Bedi vd., 2009). Havzanın doğusunda Pliyosen ve sonrasında KB - GD doğrultulu Kışlaköy fayı ile havzanın güney batısında BKB - DGD doğrultulu Hurman fayı gelişmiştir (Şekil 3.3).



Şekil 3.2 Afşin-Elbistan havzası genel jeoloji haritası (MTA, 1990).



Şekil 3.3 Hurman ve Kışlaköy fayları ile Ahmetçik formasyonunu şematik gösteren havzanın enine kesiti (Bedi vd., 2009).

3.2.3 Havzada yapılmış sondajlar

Afşin-Elbistan havzasında kaynak/rezerv tespite yönelik HB ve HD kodlu 1218'den fazla değişik derinliklerde maden arama sondajı, yine havzada hidrojeolojik etüd amaçlı 75'den fazla sondaj, jeoteknik amaçlı JS ve EJS kodlu 60 'dan fazla sondaj yapılmış olup toplam sondaj uzuluğu 200 km den fazladır. MTA dökümanlarından derlenen sondaj loglarına göre havzadaki birimlerin

ortalama kalınlıkları Şu Şekildedir. Kömür üstündeki arazide yüzlek veren alüvyon, lehim, glssel kireçtaşı ve yeşil kil olarak adlandırılan üst örtü serisinin kalınlığı 30m. dir. Üst kısımları bej renkli aŐaĐı inildikçe grileŐen ince kömür damarlı ve gidya adı verilen kömür damarların üzerinde yeralan gastropod fosilli organik çamur olarak adlandırılan tabakaların kalınlığı ortalama 100m ve içinde yer yer ince gidya seviyelerinin olduğu kömür damarı 50m kalınlıkta olduğu belirtilmektedir. Kömür damarının altında yer yer kil tabakaları ile çakıllı kumlu kemaliye formasyonu birimleri ile bazı yerlerde ayderesi, Karaböğürtlen ve Köseyahya nabı adı verilen formasyonların kireçtaşları sondajlarla kesilmiŐtir. Kömür altındaki bu birimlerin kalınlıkları deĐiŐken olup sondajlar taban kilinde sonlandırıldığı incelenen loglardan görülmektedir. AfŐın-Elbistan havzasında söz konusu yukarıda yaklaşık ortalama kalınlıkları verilen birimler Şekil 3.4' de ki gibi Őematize edilebilir.



Şekil 3.4 AfŐın-Elbistan havzası birimlerinin basitleştirilmiş log Şeması.

3.3 AfŐın – Elbistan Havzasında Susuzlaştırma Faaliyetleri

3.3.1 Hidroloji

İklim-Akarsu ve Kaynaklar

AfŐın-Elbistan havzası Doğu Anadolu, Güney Doğu Anadolu ve Akdeniz bölgesinin keŐiŐiminde yukarı Fırat bölümünün en batı kesiminde bulunmaktadır. Kömür yatağı ova kesiminde yeralırken havzanın etrafı yüksek dağlarla çevrilidir ve yörede karasal iklim sürmekte olup yazları sıcak ve kurak kışları kar yaĐıŐlı ve soğuktur. Yıllık ortalama sıcaklık 6 °C ve yıllık yağış ortalaması 419,18 mm civarındadır. Tüm sahanın hidrolojik havza alanı 2000 km² olarak hesaplanmıŐ ve bu yağış besleme havzası ortalama yağış ile iliŐkilendirildiĐinde havza alanına yılda toplam 839,97 x 10⁶

m³/yıl yağış düştüğü hesaplanmıştır. Bilindiği üzere yağışın bir kısmı akışa, bir kısmı buharlaşmaya bir kısımda yeraltına süzülmemektedir. Besbelli vd. (2009) çalışmasına göre havzanın jeolojik yapısı ve birimlerin hidrojeolojik özellikleri baz alınarak yapılan hesaplama göre toplam 845,43 x 10⁶ m³/yıl suyun kaynak, ırmak, buharlaşma ve su kuyularından boşaltıldığı ve 227,04 x 10⁶ m³/yıl su yer altına süzülmediği ve bu suyun büyük bir miktarının kireçtaşı rezervuarlarında biriktiği tahmin edilmektedir. Yani yıl içerisinde havzadan boşalan su beslenen sudan fazla olmaktadır. Kömür havzasının en önemli ve en büyük akarsuyu havzanın ortasından geçen Hurman çayıdır. Bu akarsudan havza dışına 8376,84 l/s miktarda su boşalmaktadır. Havzada sürekli ve mevsimsel akış gösteren çok sayıda kaynak bulunmaktadır. Pınarbaşı, Kaynarca, Izgın, Mağraözü, Tanır, Kömürgözü, Çobanpınarı ve Üçpınar gibi kaynaklar en önemli ve yüksek debili kaynaklar olup bunların suları Hurman çayına boşalmaktadır (Besbelli vd. 2009).

3.3.2 Hidrojeoloji

Afşin-Elbistan havzasında emniyetli açık işletme yöntemiyle kömür çıkarmak ve şevlerin stabilitesini sağlamak için kömür üzerindeki ve altındaki tabakaların susuzlandırılması için birçok hidrojeolojik araştırmalar yapılmıştır. Havzada hidrojeolojik etüd amaçlı 100 den fazla ve drenaj amaçlı 500 den fazla su sondaj kuyusu açılmıştır. Havzada hidrojeolojik açıdan su geçirme özelliklerine göre; geçirimli, yarı geçirimli ve geçirimsiz birimler olmak üzere üç ana grupta toplanmış (Besbelli vd, 2009).

Geçirimli Birimler:

Havzada bulunan önemeli bir hacim kapalayan Çayderesi, Karaböğürtlen ve Köseyahya napı adı verilen formasyonlarda bulunan çatlaklı, kırıklı karstik boşluklu permo-karbonifer ve jura-kretesa yaşlı kireçtaşları sahanın en önemli geçirimli birimlerini oluşturur. Havza kenarlarında oluşmuş bloklu, çakıllı kumlu alüvyon yelpazeleri ile Kemaliye formasyonun çakıllı kumlu seviyeleri de geçirimli birimlerdir.

Az Geçirimli Birimler:

Çoğu sondaj loglarında en üstte yer alan lehim adı verilen kumlu, siltli kil malzemesi yarı geçirimlidir. Kömür horizonunun altında yayılım gösteren Miyosen yaşlı birimler içerisinde bulunan ince taneli kırıntılardan oluşan birimleri ile bol fosilli bölgelerdeki gidya tabakaları da yarı geçirimli özelliktedir.

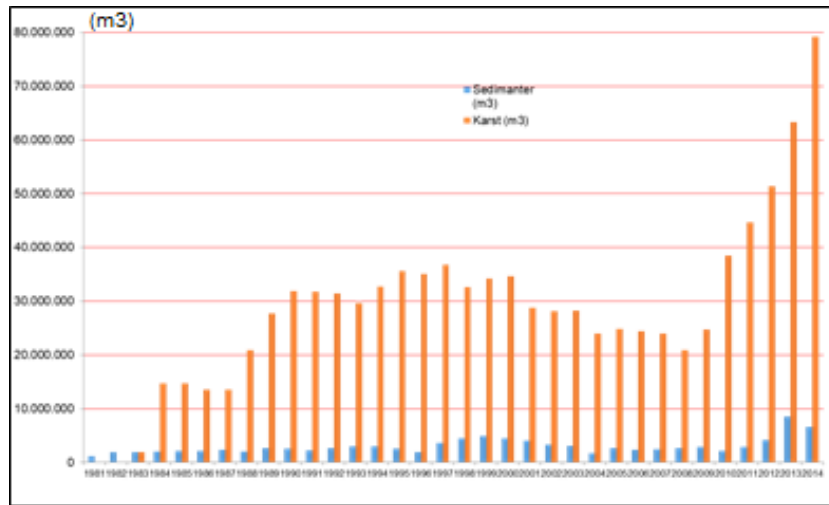
Geçirimsiz Birimler:

Kömür seviyesinin üstünde yer alan, Pliyosen yaşlı yeşil kil, marn düzeyleri, gidya tabakaları, kömür tabakaları, kömür tabakalarının altındaki miyosen yaşlı taban kili ile Permilen yaşlı şistler geçirimsiz olarak belirtilmiştir. Bu tabakaların yapılan kuyu testleri sonucu hidrolik iletkenlikleri sırasıyla şu şekildedir: k_{gidya} : 1×10^{-5} m/s ila 1×10^{-9} m/s, $k_{kömür}$: 1×10^{-7} m/s ila 1×10^{-10} m/s, $k_{taban\ kili}$: 1×10^{-11} m/s.

3.3.3 Su Atımı/Drenajı

Afşin-Elbistan havzasında Çöllolar ve Kışlaköy açık işletmelerinde kömür çıkarılmaya başladığından günümüze kadar yüzey drenajı ve sondajlı drenaj yapılmaktadır. Çöllolar açık işletmesinde ocak içerisinde bulunan kuyulardan çekilen ve mevsimsel yağış sularından oluşan yüzey sularının drene edilebilmesi için, ocak içerisinde 3 farklı noktadan çıkarak Hurman nehrine ulaşan drenaj sistemi kurulmuş olup; bu sistem dahilinde 16 adet 37 kW kapasitede flygt, 2 adet 10 kW flygt, 1 adet 5 kW, 1 adet 11 kW çamur pompası olmak üzere toplam 22 havuzda yüzey drenajı faaliyetleri aralıksız devam ettirilmektedir (Park Teknik, 2014). Benzer şekilde Kışlaköy işletmesi ocak tabanında açılan havuzlarda mevsimsel yağış ve ocak içi şev diplerindeki kanallardan gelen sular biriktirilerek pompalarla direne edilerek Hurman çayına boşatılmaktadır (Şekil 3.5).

Yeraltısu drenajı ise havzada açılan çok sayıda karst ve sedimater kuyuları adı verilen sondajlardan yapılmaktadır. Tüm havzadan sondajlarla 1981 - 2013 yıllarında toplam 1.151.968.582 m³ su drene edilmiştir. Drene edilen suyun çok büyük miktarı (% 92) karst kuyularından yapılmış diğer kısmı ise sedimanter araziden yapılmıştır. Drene edilen sular havza ortasından geçen kanalla hurman çayına boşatılmaktadır. 1981-2014 arası yıllar itibariyle çekilen suyun miktarları Şekil 3.5'te görülmektedir. Şekilden de görüldüğü üzere 2009 yılından sonra drene edilen su miktarı giderek artmıştır. Kışlaköy ve Çöllolar Kömür İşletmeleri tarafından drene edilen su miktarı günde ortalama 321.235.200 lt'dir. 2013 yılından sonra Kışlaköy işletmesinde basamaklarda ve kazı önünde kömür ve üstündeki birimlerde 1348, sedimanter kuyuları ile ve Kızıldağ kireçtaşlarında 97 karst kuyusu olmak üzere toplam 1445 kuyudan aylık 7.176.880 m³/ay ve toplam 109.729.455 m³/yıl su drene edilmiştir. Havzadan bugüne kadar 375 milyon ton kömür üretilmiş olup, su/kömür oranı 2.85 m³ / 1 ton kömür olarak gerçekleştiği hesaplanmıştır (Taştekin vd., 2015). Havzadan bu kadar yüksek drenaj miktarlarına ulaşılmasına rağmen yeraltı su seviyesinde istenilen düşüm elde edilememiştir.



Şekil 3.5 Afşin-elbistan havzasından 1981-2014 yılları arasında sondajlarla drene edilen su miktarları (Taştekin vd., 2015).

3.4 Gıdya Tabakaları ve Özellikleri

Gıdya veya ilk alman araştırmacılar tarafından söylendiği şekliyle "gyttja"; karasal çökellerin ve gösel kalker, marn ve yeşil kil tabakaların altında başlayan üst katmanları bej renkli kireçli alta doğru indikçe bitki atıkları içeren organik malzemeler ve yer yer gastropod fosilleri de içeren tamamen katılaşmamış birimdir. Yapılan jeoteknik sondajlarda bej gıdya ve gri gıdya olarak ayırtlanan gıdya tabakaları Afşin-Elbistan havzasında kömür damarının üzerinde ve arasında yer almakta ve havzanın kuzeyinde 50m güneyinde 100m ye varan kalınlıkta tabakalanmışlardır. (Akbulut vd., 2008). Kömür damarlarının üzerindeki Alüvyon, Lehim, Gıdya ve Kömür tabakaları şekil 3.6'da görölmektedir.



Şekil 3.6 Kışlaköy işletmesi bager ile kazı ve alüvyon, lehim, bej gıdya, gri gıdya ve kömür damarları (Resimler EÜAŞ tanıtım filminden kırılmıştır).



Şekil 3.7 Kışlaköy işletmesi gıdya tabakaları (Akbulut vd., 2007).

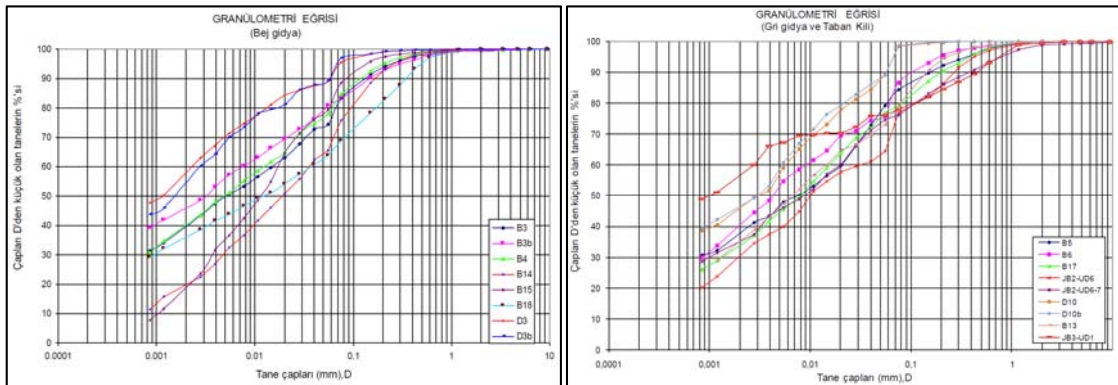
3.4.1 Gıyda Tabakalarının Zemin Mekaniği Özellikleri

Afşin-elbistan kömür havzasında kömür damarının üzerinde yer alan gıyda tabakalarının zemin mekaniği özelliklerini belirlemek üzere şev stabilitesi ve heyelanlar için değişik çalışma grupları tarafından jeoteknik çalışmalar yapılmıştır. Yapılan bu çalışmalardan elde edilen bilgilerden derlenen doğal gıyda malzemesinin özellikleri Çizelge 3.1’de özetlenmiştir.

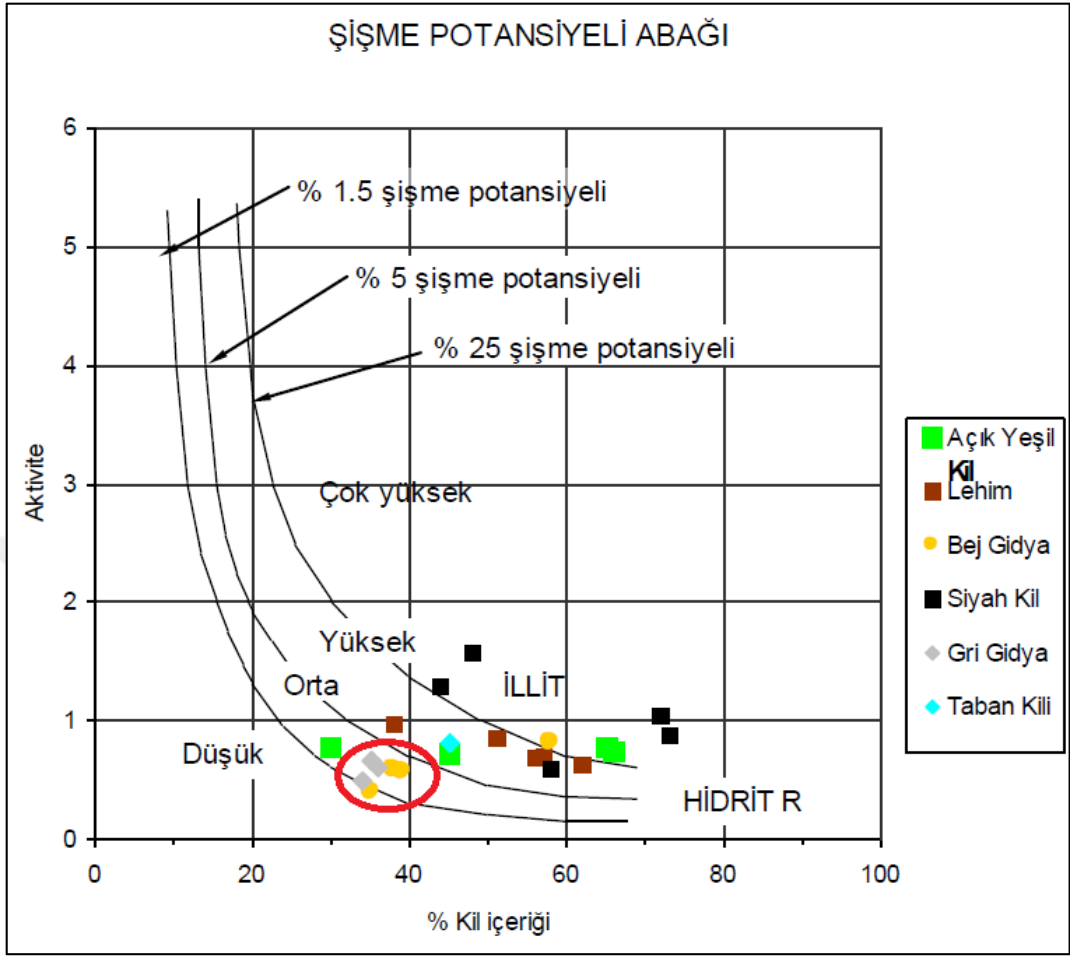
Çizelge 3.1 Gıyda tabakalarının zemin mekaniği özellikleri

Zemin mekaniği özelliği	Değişim aralığı	Ortalama Değer
Birim hacim ağırlık, γ g/cm ³	148-1.63	15
Su içeriği (muhtevası), ω (%)	51-78	65
Likit limit, LL, (%)	50-70	60
Pilastisite indeksi, PI (%)	19-29	25
Kohezyon-doruk c, (kPa)	10.38-23.02	16
Kohezyon-artık c, (kPa)	3.37-22.69	12
İçsel sürtünme açısı-doruk, ϕ (°)	35.14-36.10	35
İçsel sürtünme açısı-artık, ϕ (°)	34.41-35.79	34

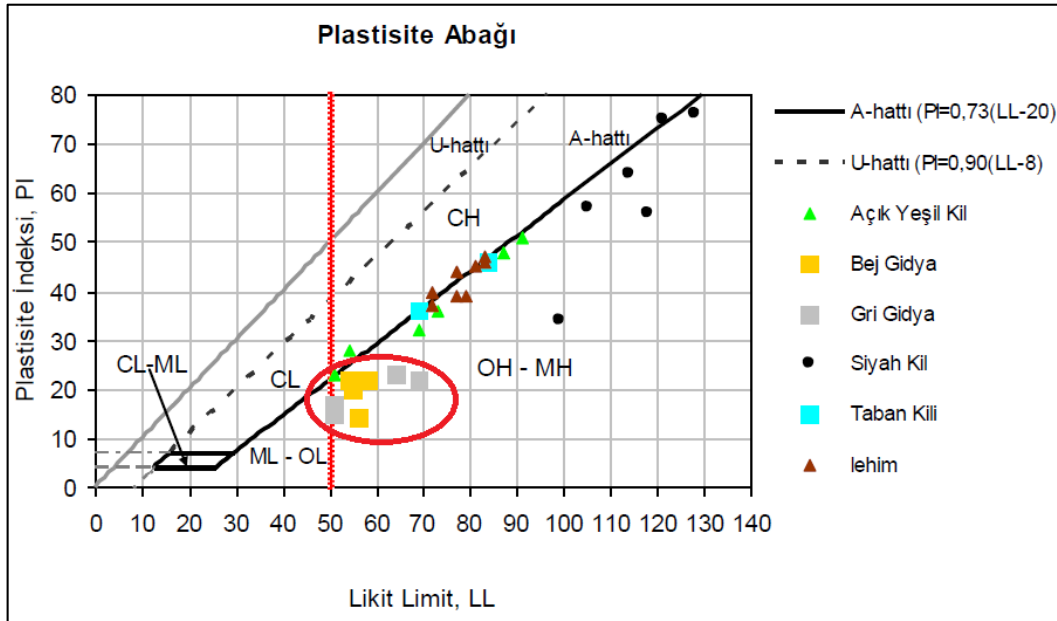
Likit limitin %50’den fazla olması killi zeminin muhtemelen simektit grubunda bulunduğuna, %50’den düşük olması ise kilin kaolinit grubu minerallerden oluştuğuna işaret etmektedir (Means ve Parcher,1963). Bej gıyda ve gri gıyda biriminin PI değeri % 19–29 arasında olup Burmister, (1951)’e göre orta–yüksek plastisiteli kil sınıfındadır. Bej ve gri gıyda malzemesinin granülometrik eğrileri Şekil 3.8’ de ve havzadaki ince taneli malzemelerin şişme potansiyelleri Şekil 3.9’de görülmektedir. Buna göre %35-40 kil içeren gıyda malzemesi düşük şişme kapasitesine sahiptir. Bej gıyda ve gri gıyda MH–OH bölgesine düşmekte olup, yüksek plastisiteli killi silt (MH) grubundadır (Şekil 3.10). Arazi gözlemleri ve tane boyu dağılımları da dikkate alınarak değerlendirildiğinde gri gıydanın, bej gıydaya göre daha killi olduğu görülmektedir (Akbulut vd., 2017).



Şekil 3.8 Bej ve Gri Gıyda malzemesinin granülometri eğrisi (Akbulut vd., 2007).



Şekil 3.9 Kışlaköy işletmesinde kil ve gıdya malzemelerinin şişme potansiyeli abağı (Akbulut vd., 2007'den düzenlenmiştir).



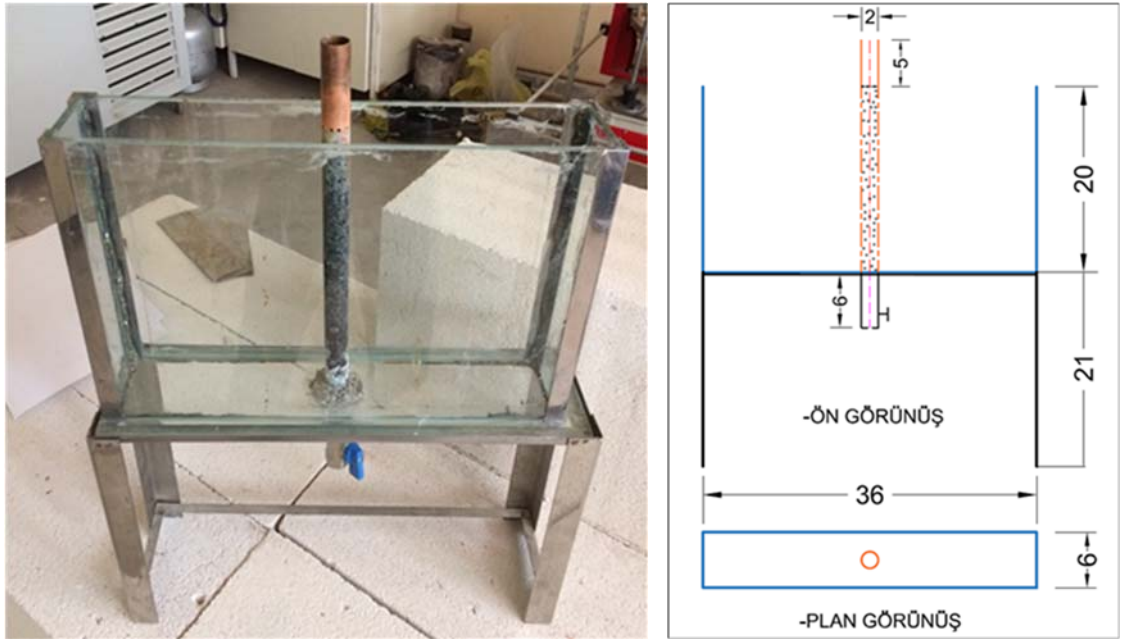
Şekil 3.10 Kışlaköy ocağında yer alan ince taneli birimlerin Plastisite abağı üzerindeki dağılımları (Akbulut vd., 2007'den düzenlenmiştir).

3.5 Elektro-Osmoz Deney Çalışmaları

Bu bölümde Afşin-Elbistan havzası Kışlaköy işletmesinden alınan gıdya numuneleri için laboratuvarda yapılan elektro-osmoz düzeneği ve yapılan deneyler anlatılmıştır.

3.5.1 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 akvaryumdur. Cam düzenek su direnajını alttan almak için 21 cm yüksekliğinde çelikten yapılmış dört ayaklı bir sehpa üzerine oturtulmuştur. Drenaj kuyusu olarak kullanılacak olan katod (-) çubuğu 1.2 mm et kalınlığında 18 mm çapında 25 cm yüksekliğinde bakırdan imal edilmiş ve akvaryumun tam ortasına silikonlu sızdırmaz contalarla monte edilmiştir. Su deşarjını sağlamak için katod bakır borunun ucuna da küresel vana bağlanmıştır. Silindir boru şeklinde imal edilen katod borusu perfore boru gibi çalışacak şekilde akvaryum boyunca ortalama 5 mm aralıklı ve 1.2mm çaplı delikler açılmıştır. Deney düzeneğinin resmi ve boyutlandırılmış çizimi Şekil 3.11’ de verilmiştir. Anot (+) çubuğu olarak kullanılacak çelik levha 21 cm x 6 cm boyutlarında 2mm et kalınlığında düz ve delikli dikdörtgen şeklinde imal edilmiştir. Delikli olan çelik levhalarda delik çapları 6 ila 8mm ve deliklerarası 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 katod borusu ile anot çelik levhaların resmi Şekil 3.12’ de görülmektedir. Ayrıca elektro-osmoz deneylerinde değişik boyutta beherler, mezürler, şırınga, erlen, termometre ve kaşık gibi gereçler de kullanılmıştır (Şekil 3.13).



Şekil 3.11 Elektro-osmoz deney düzeneği resmi ve şematik çizimi.



Şekil 3.12 Elektro-osmoz deneyi için kullanılan elektrotlar. (a) Bakır katod borusu, (b) düz ve delikli anod levhalar.



Şekil 3.13 Elektro-osmoz deneyinde kullanılan araç ve gereçler.



Şekil 3.14 Elektro-osmoz deneyinde kullanılan Güç kaynağı ve dijital mültimetre ve çoklu kablolar.

3.5.2 Elektro-Osmoz DeneYlerinin Yapılışı

Afşin-Elbistan hafzasındaki gıdya malzemesinin susuzlaştırması için laboratuvarında anodların A, B ve C olmak üzere üç farklı konfigürasyon için farklı voltajlarda sırasıyla 15V, 30V, 45V, 60V ve 75V volt uygulanarak elektro-osmoz deneyleri yürütülmüştür.

Deneye başlamadan önce filtre amacıyla drenaj kuyusu olarak kullanılacak katod borusunun etrafı 60mm çaplı plastik boru kullanılarak 1-3 mm çaplı yıkanmış iri dere kumu ile doldurulmuştur. Daha sonra doğal gıdya malzemesi dikkatli bir şekilde deney düzeneğinin içerisine küçük kürekle boşaltılmıştır. Hazne gıdya malzemesi ile doldurulduktan sonra üzerine mezür ile çeşme suyu dökülmüştür. Gıdya malzemesi 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 3.15). Ara sıra su seviyesi kontrol edilerek 5cm'lik seviye sabit kalacak şekilde su ilavesi yapılmıştır. Bu durum başlangıç saatlerinde olurken ilerleyen saatlerde pek fazla seviye düşümü olmadığı gözlemlenmiştir. Ertesi gün su seviyesi 5cm sabit kaldığı gözlemlendikten yani gıdya malzemesi tamamen suya doymun hale geldikten sonra anot çelik çubuklar deney haznesine yerleştirilerek güç kaynağından gelen pozitif kabloların kırmızı renkli timsah uçları ile tutturulmuştur. Benzer şekilde cam akvaryumun tam ortasındaki drenaj kuyusu olarak kullanılacak bakır boruya da güç kaynağından gelen negatif kablonun siyah renkli timsah ucu tutturulmuştur. Bütün konfigürasyonlarda elektro-osmoz deneyine başlamadan önce vana açılarak yerçekimi ile su deşarjı başlatılmıştır. Zamanla su boşalımı bilgileri ölçülmüş ve deney formuna işlenmiştir.

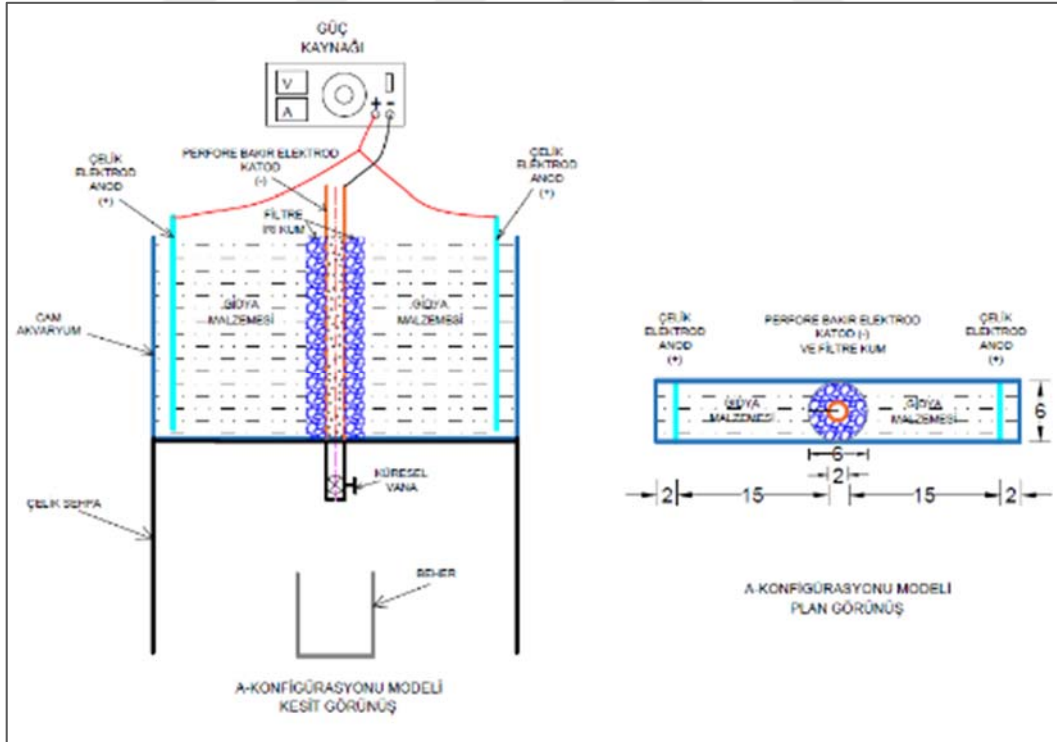


Şekil 3.15 Elektro-osmoz deneyinde gıdya malzemesinin suya doymun hale getirilmesi.

3.5.2.1 A-Konfigürasyonu Elektro-Osmoz Deneyi

Bu modelde tamamen suya doymun hale getirilen malzeme içerisinde katodun sağ ve soluna 15 cm mesafede düz olan çelik elektrotlar batırılmış olup bu modelin şematik çizimi Şekil 3.16'de gösterilmiştir. Gerekli bağlantılar yapıldıktan sonra başlangıç ortam sıcaklığı, elektrik iletkenliği hazırlanan forma işlenmiştir. Cazibesıyla su boşalımı bittikten sonra güç kaynağının açma kapama düğmesi "on" durumuna getirilerek 15 volta ayarlanmıştır. Belli bir süre sonra katod çubuğunun ucundaki musluktan su damlamaya başlamıştır. Daha sonra her 30 dakikada bir su boşalımı, sıcaklık ve akım değerleri ölçülmüş ve kümülatif boşalım, harcanan güç, direnç ve iletkenlik değerleri hesaplanarak Çizelge 3.2'de kayıt formu kâğıdına işlenmiştir.

Bundan sonra gıda malzemesine tekrar su ile ilavesi yapılarak doymun hale gelmesi için 24 saat beklenilmiştir. Yukarıda anlatıldığı gibi benzer şekilde düzenekteki vana açılarak sistemden yerçekimi ile su boşalması sağlanmıştır. Sistemden su boşalımı durdurduktan sonra 1 saat beklenilmiş ve sonra güç kaynağından 30 volt seviyesi ayarlanarak deneye tekrar başlanmıştır. Aynı işlemler 30 volt, 45volt, 60volt ve 75 volt için yapılmış ve ölçülen değerler ve hesaplanan veriler sırasıyla Çizelge 3.3, Çizelge 3.4, Çizelge 3.5 ve Çizelge 3.6'da verilmiştir. Toplam elektro-osmoz süresi 15 volt için 240dk, 30volt için 300dk, 45volt için 420dk, 60volt için 480dk ve 75volt 240 dakikada tamamlanmıştır.



Şekil 3.16 Elektro-osmoz deneyi A-Konfigürasyonu kavramsal modeli kesit ve plan görünüşü.

Çizelge 3.2 A-konfigürasyonu 15volt elektro-osmoz deney sonuçları

Konfigürasyon Modeli		A					
Elektrotlar Arası Mesafe		15 cm					
Verilen Sabit Gerilim		15 V					
Başlangıç Sıcaklığı		17 °C					
Ölçüm Yapan							
Deney Tarihi							
Süre (dk)	Boşalım (cm ³)	Kümülatif Boşalım (cm ³)	Sıcaklık °C	Akım i, (Amper)	Güç (W)	Direnç, R (ohm)	İletkenlik (1/R)
30	6	6	18	0.082	1.23	182.93	0.0055
30	5	11	19	0.082	1.23	182.93	0.0055
30	5	16	19	0.062	0.93	241.94	0.0041
30	4	20	20	0.062	0.93	241.94	0.0041
30	2	22	19	0.064	0.96	234.38	0.0043
30	2	24	19	0.063	0.95	238.10	0.0042
30	1	25	20	0.062	0.93	241.94	0.0041
30	1	26	20	0.061	0.92	245.90	0.0041

Çizelge 3.3 A-konfigürasyonu 30volt elektro-osmoz deney sonuçları

Konfigürasyon Modeli		A					
Elektrotlar Arası Mesafe		15 cm					
Verilen Sabit Gerilim		30 V					
Başlangıç Sıcaklığı		17 °C					
Ölçüm Yapan							
Deney Tarihi							
Süre (dk)	Boşalım (cm ³)	Kümülatif Boşalım (cm ³)	Sıcaklık °C	Akım i, (Amper)	Güç (W)	Direnç, R (ohm)	İletkenlik (1/R)
30	16	16	18	0.181	5.43	165.75	0.0060
30	15	31	18	0.187	5.61	160.43	0.0062
30	12	43	19	0.200	6.00	150.00	0.0067
30	9	52	20	0.190	5.70	157.89	0.0063
30	6	58	20	0.190	5.70	157.89	0.0063
30	5	63	21	0.178	5.34	168.54	0.0059
30	4	67	21	0.180	5.40	166.67	0.0060
30	2	69	21	0.182	5.46	164.84	0.0061
30	2	71	22	0.181	5.43	165.75	0.0060
30	1	72	22	0.190	5.70	157.89	0.0063

Çizelge 3.4 A-konfigürasyonu 45volt elektro-osmoz deney sonuçları

Konfigürasyon Modeli			A				
Elektrotlar Arası Mesafe			15 cm				
Verilen Sabit Gerilim			45 V				
Başlangıç Sıcaklığı			17 °C				
Ölçüm Yapan							
Deney Tarihi							
Süre (dk)	Boşalım (cm ³)	Kümülatif Boşalım (cm ³)	Sıcaklık °C	Akım i, (Amper)	Güç (W)	Direnç, R (ohm)	İletkenlik (1/R)
30	29	29	20	0.390	17.55	115.38	0.0087
30	23	52	23	0.410	18.45	109.76	0.0091
30	20	72	25	0.410	18.45	109.76	0.0091
30	19	91	25	0.420	18.90	107.14	0.0093
30	16	107	26	0.430	19.35	104.65	0.0096
30	13	120	33	0.400	18.00	112.50	0.0089
30	11	131	35	0.400	18.00	112.50	0.0089
30	13	144	35	0.420	18.90	107.14	0.0093
30	10	154	35	0.430	19.35	104.65	0.0096
30	9	163	35	0.400	18.00	112.50	0.0089
30	7	170	36	0.410	18.45	109.76	0.0091
30	6	176	36	0.390	17.55	115.38	0.0087
30	3	179	37	0.380	17.10	118.42	0.0084
30	1	180	37	0.380	17.10	118.42	0.0084

Çizelge 3.5 A-konfigürasyonu 60volt elektro-osmoz deney sonuçları

Konfigürasyon Modeli			A				
Elektrotlar Arası Mesafe			15 cm				
Verilen Sabit Gerilim			60 V				
Başlangıç Sıcaklığı			17 °C				
Ölçüm Yapan							
Deney Tarihi							
Süre (dk)	Boşalım (cm ³)	Kümülatif Boşalım (cm ³)	Sıcaklık °C	Akım i, (Amper)	Güç (W)	Direnç, R (ohm)	İletkenlik (1/R)
30	28	28	21	0.630	37.80	95.24	0.0105
30	27	55	24	0.670	40.20	89.55	0.0112
30	27	82	24	0.720	43.20	83.33	0.0120
30	26	108	27	0.820	49.20	73.17	0.0137
30	28	136	29	0.870	52.20	68.97	0.0145
30	28	164	34	0.800	48.00	75.00	0.0133
30	18	182	40	0.780	46.80	76.92	0.0130
30	16	198	42	0.760	45.60	78.95	0.0127
30	15	213	43	0.740	44.40	81.08	0.0123
30	11	224	45	0.680	40.80	88.24	0.0113
30	12	236	47	0.640	38.40	93.75	0.0107
30	7	243	49	0.600	36.00	100.00	0.0100
30	9	252	52	0.600	36.00	100.00	0.0100
30	7	259	48	0.580	34.80	103.45	0.0097
30	5	264	48	0.570	34.20	105.26	0.0095
30	3	267	48	0.560	33.60	107.14	0.0093

Çizelge 3.6 A-konfigürasyonu 75volt elektro-osmoz deney sonuçları

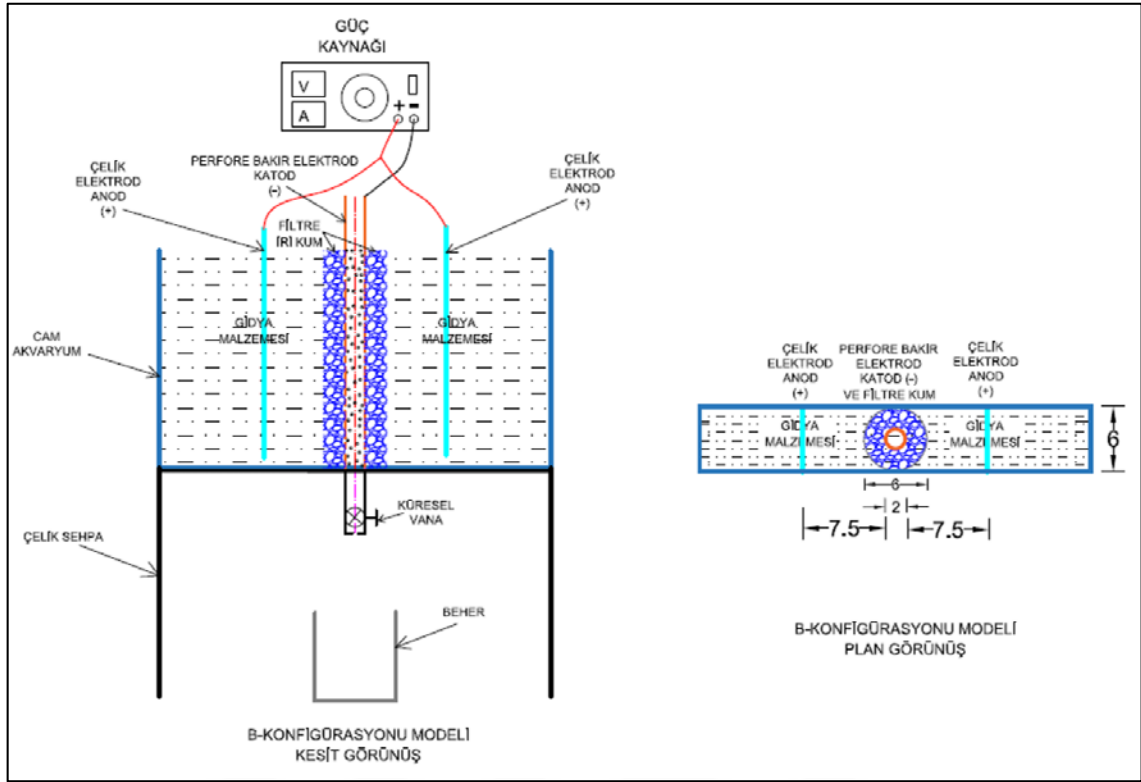
Konfigürasyon Modeli			A				
Elektrotlar Arası Mesafe			15 cm				
Verilen Sabit Gerilim			75 V				
Başlangıç Sıcaklığı			17 °C				
Ölçüm Yapan							
Deney Tarihi							
Süre (dk)	Boşalım (cm ³)	Kümülatif Boşalım (cm ³)	Sıcaklık °C	Akım i, (Amper)	Güç (W)	Direnç, R (ohm)	İletkenlik (1/R)
30	22	22	37	0.735	55.13	102.04	0.0098
30	20	42	40	0.755	56.63	99.34	0.0101
30	16	58	44	0.810	60.75	92.59	0.0108
30	14	72	47	0.790	59.25	94.94	0.0105
30	10	82	51	0.740	55.50	101.35	0.0099
30	6	88	51	0.680	51.00	110.29	0.0091
30	2	90	53	0.630	47.25	119.05	0.0084
30	1	91	54	0.620	46.50	120.97	0.0083

3.5.2.2 B-Konfigürasyonu Elektro-Osmoz Deneyi

Bu konfigürasyon modelinde tamamen suya doymun hale getirilen malzeme içerisine katodun sağ ve soluna 7.5cm mesafede düz olan çelik elektrotlar batırılmıştır. Bu modelin resmi Şekil 3.17'de ve şematik gösterimi Şekil 3.18'da gösterilmiştir. Gerekli bağlantılar yapıldıktan sonra başlangıç ortam sıcaklığı, elektrik iletkenliği hazırlanan forma işlenmiştir. Cazibesıyla su boşalımı bittikten sonra güç kaynağının açma kapama düğmesi "on" durumuna getirilerek A konfigürasyonunda yapılan iş ve işlemler yapılmıştır. Burada da elektro-osmoz deneyleri 15volt, 30volt, 45volt, 60volt ve 75 volt için yapılmış ve ölçülen değerler ve hesaplanan veriler sırasıyla Çizelge 3.7, Çizelge 3.8, Çizelge 3.9, Çizelge 3.10 ve Çizelge 3.11'de verilmiştir. Bu modelde de toplam elektro-osmoz süresi 15 volt için 240dk, 30volt için 300dk, 45volt için 330dk, 60volt için 300dk ve 75volt 180 dakika olarak tamamlanmıştır.



Şekil 3.17 Elektro-osmoz deneyi B-Konfigürasyonu resmi.



Şekil 3.18 Elektro-osmoz deneyi B-Konfigürasyonu kavramsal modeli kesit ve plan görünüşü.

Çizelge 3.7 B-konfigürasyonu 15volt elektro-osmoz deney sonuçları

Konfigürasyon Modeli		B					
Elektrotlar Arası Mesafe		7.5 cm					
Verilen Sabit Gerilim		15 V					
Başlangıç Sıcaklığı		17 °C					
Ölçüm Yapan							
Deney Tarihi							
Süre (dk)	Boşalım (cm ³)	Kümülatif Boşalım (cm ³)	Sıcaklık °C	Akım i, (Amper)	Güç (W)	Direnç, R (ohm)	İletkenlik (1/R)
30	8	8	17	0.101	1.52	148.51	0.0067
30	7	15	18	0.101	1.52	148.51	0.0067
30	7	22	19	0.106	1.59	141.51	0.0071
30	5	27	18	0.106	1.59	141.51	0.0071
30	3	30	19	0.108	1.62	138.89	0.0072
30	2	32	19	0.107	1.61	140.19	0.0071
30	1	33	19	0.105	1.58	142.86	0.0070
30	1	34	20	0.104	1.56	144.23	0.0069

Çizelge 3.8 B-konfigürasyonu 30volt elektro-osmoz deney sonuçları

Konfigürasyon Modeli			B				
Elektrotlar Arası Mesafe			7.5 cm				
Verilen Sabit Gerilim			30 V				
Başlangıç Sıcaklığı			17 °C				
Ölçüm Yapan							
Deney Tarihi							
Süre (dk)	Boşalım (cm ³)	Kümülatif Boşalım (cm ³)	Sıcaklık °C	Akım i, (Amper)	Güç (W)	Direnç, R (ohm)	İletkenlik (1/R)
30	11	11	18	0.186	5.58	161.29	0.0062
30	10	21	19	0.188	5.64	159.57	0.0063
30	9	30	20	0.190	5.70	157.89	0.0063
30	8	38	21	0.205	6.15	146.34	0.0068
30	8	46	21	0.203	6.09	147.78	0.0068
30	6	52	22	0.202	6.06	148.51	0.0067
30	5	57	23	0.204	6.12	147.06	0.0068
30	4	61	25	0.206	6.18	145.63	0.0069
30	2	63	24	0.208	6.24	144.23	0.0069
30	1	64	25	0.204	6.12	147.06	0.0068

Çizelge 3.9 B-konfigürasyonu 45volt elektro-osmoz deney sonuçları

Konfigürasyon Modeli			B				
Elektrotlar Arası Mesafe			7.5 cm				
Verilen Sabit Gerilim			45 V				
Başlangıç Sıcaklığı			17 °C				
Ölçüm Yapan							
Deney Tarihi							
Süre (dk)	Boşalım (cm ³)	Kümülatif Boşalım (cm ³)	Sıcaklık °C	Akım i, (Amper)	Güç (W)	Direnç, R (ohm)	İletkenlik (1/R)
30	18	18	19	0.328	14.76	137.20	0.0073
30	17	35	22	0.335	15.08	134.33	0.0074
30	14	49	24	0.365	16.43	123.29	0.0081
30	11	60	26	0.371	16.70	121.29	0.0082
30	11	71	28	0.379	17.06	118.73	0.0084
30	9	80	31	0.387	17.42	116.28	0.0086
30	7	87	33	0.401	18.05	112.22	0.0089
30	5	92	34	0.396	17.82	113.64	0.0088
30	3	95	35	0.405	18.23	111.11	0.0090
30	2	97	35	0.401	18.05	112.22	0.0089
30	1	98	36	0.399	17.96	112.78	0.0089

Çizelge 3.10 B-konfigürasyonu 60volt elektro-osmoz deney sonuçları

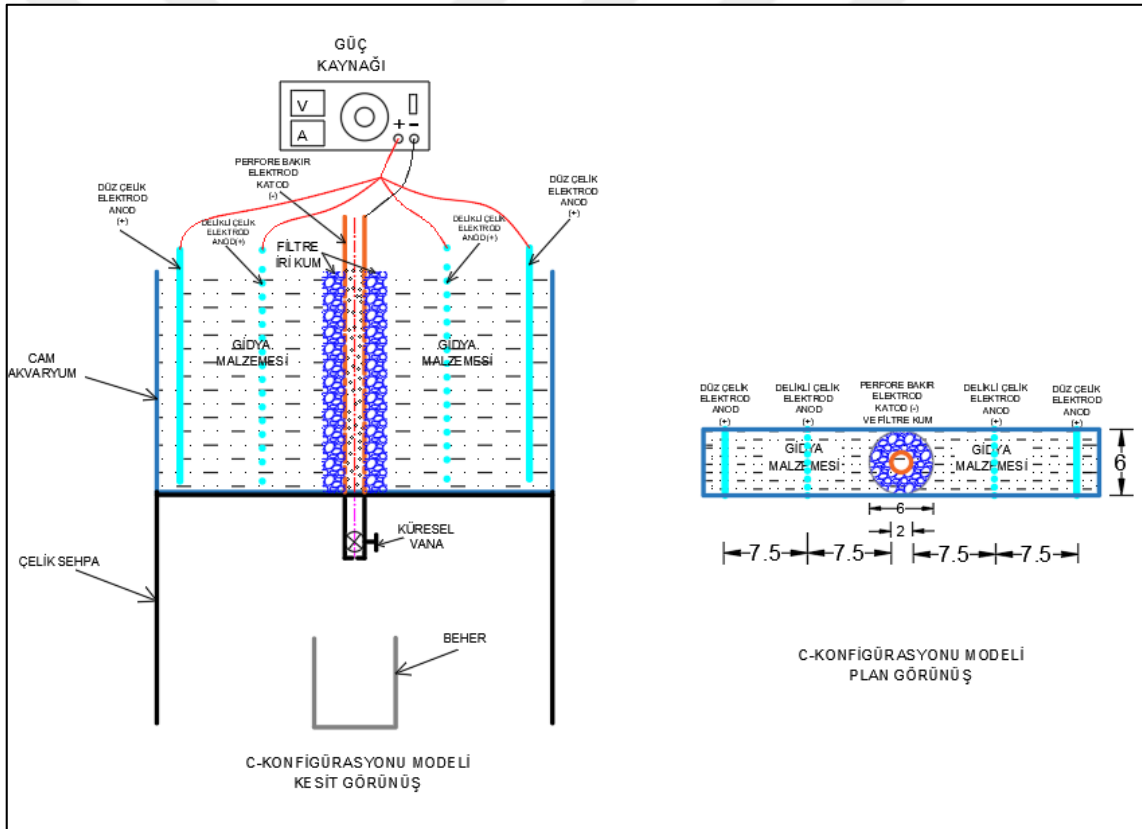
Konfigürasyon Modeli			B				
Elektrotlar Arası Mesafe			7.5 cm				
Verilen Sabit Gerilim			60 V				
Başlangıç Sıcaklığı			17 °C				
Ölçüm Yapan							
Deney Tarihi							
Süre (dk)	Boşalım (cm ³)	Kümülatif Boşalım (cm ³)	Sıcaklık °C	Akım i, (Amper)	Güç (W)	Direnç, R (ohm)	İletkenlik (1/R)
30	22	22	23	0.521	31.26	115.16	0.0087
30	20	42	28	0.541	32.46	110.91	0.0090
30	15	57	34	0.545	32.70	110.09	0.0091
30	10	67	37	0.572	34.32	104.90	0.0095
30	8	75	40	0.580	34.80	103.45	0.0097
30	7	82	42	0.588	35.28	102.04	0.0098
30	4	86	45	0.601	36.06	99.83	0.0100
30	3	89	46	0.598	35.88	100.33	0.0100
30	1	90	49	0.560	33.60	107.14	0.0093
30	1	91	49	0.560	33.60	107.14	0.0093

Çizelge 3.11 B-konfigürasyonu 75volt elektro-osmoz deney sonuçları

Konfigürasyon Modeli			B				
Elektrotlar Arası Mesafe			7.5 cm				
Verilen Sabit Gerilim			75 V				
Başlangıç Sıcaklığı			17 °C				
Ölçüm Yapan							
Deney Tarihi							
Süre (dk)	Boşalım (cm ³)	Kümülatif Boşalım (cm ³)	Sıcaklık °C	Akım i, (Amper)	Güç (W)	Direnç, R (ohm)	İletkenlik (1/R)
30	25	25	24	0.612	36.72	98.04	0.0102
30	21	46	33	0.772	46.32	77.72	0.0129
30	16	62	37	0.790	47.40	75.95	0.0132
30	7	69	44	0.782	46.92	76.73	0.0130
30	2	71	49	0.751	45.06	79.89	0.0125
30	1	72	55	0.726	43.56	82.64	0.0121

3.5.2.3 C-Konfigürasyonu Elektro-Osmoz Deneyi

C konfigürasyon modelinde tamamen suya doymun hale getirilen malzeme içerisinde katodun sağ ve soluna 7.5cm mesafede delikli çelik elektrotlar 15cm mesafeye de düz çelik elektrotlar batırılmıştır. Bu modelin elektrod konumları ve bağlantılarının şeması Şekil 3.19'de gösterilmiştir. Gerekli bağlantılar yapıldıktan sonra başlangıç ortam sıcaklığı, elektrik iletkenliği hazırlanan forma işlenmiştir. Cazibesıyla su boşalımı bittikten sonra güç kaynağının açma kapama düğmesi "on" durumuna getirilerek A ve B konfigürasyonlarında yapılan iş ve işlemler yapılmıştır. Burada da elektro-osmoz deneyleri 15volt, 30volt, 45volt, 60volt ve 75 volt için yapılmış ve ölçülen değerler ve hesaplanan veriler sırasıyla Çizelge 3.12, Çizelge 3.13, Çizelge 3.14, Çizelge 3.15 ve Çizelge 3.16'da verilmiştir. Bu modelde de toplam elektro-osmoz süresi 15 volt için 270dk, 30volt için 360dk, 45volt için 330dk, 60volt için 360dk ve 75volt 180 dakika olarak tamamlanmıştır.



Şekil 3.19 Elektro-osmoz deneyi C-Konfigürasyonu kavramsal modeli kesit ve plan görünüşü.

Çizelge 3.12 C-konfigürasyonu 15volt elektro-osmoz deney sonuçları

Konfigürasyon Modeli			C				
Elektrotlar Arası Mesafe			7.5 cm				
Verilen Sabit Gerilim			15 V				
Başlangıç Sıcaklığı			17 °C				
Ölçüm Yapan							
Deney Tarihi							
Süre (dk)	Boşalım (cm ³)	Kümülatif Boşalım (cm ³)	Sıcaklık °C	Akım i, (Amper)	Güç (W)	Direnç, R (ohm)	İletkenlik (1/R)
30	10	10	17	0.103	1.55	145.63	0.0069
30	9	19	18	0.105	1.58	142.86	0.0070
30	7	26	19	0.108	1.62	138.89	0.0072
30	6	32	19	0.109	1.64	137.61	0.0073
30	5	37	19	0.107	1.61	140.19	0.0071
30	4	41	20	0.104	1.56	144.23	0.0069
30	3	44	20	0.102	1.53	147.06	0.0068
30	3	47	21	0.101	1.52	148.51	0.0067
30	1	48	21	0.098	1.47	153.06	0.0065

Çizelge 3.13 C-konfigürasyonu 30volt elektro-osmoz deney sonuçları

Konfigürasyon Modeli			C				
Elektrotlar Arası Mesafe			7.5 cm				
Verilen Sabit Gerilim			30 V				
Başlangıç Sıcaklığı			17 °C				
Ölçüm Yapan							
Deney Tarihi							
Süre (dk)	Boşalım (cm ³)	Kümülatif Boşalım (cm ³)	Sıcaklık °C	Akım i, (Amper)	Güç (W)	Direnç, R (ohm)	İletkenlik (1/R)
30	12	12	18	0.203	6.09	147.78	0.0068
30	9	21	19	0.205	6.15	146.34	0.0068
30	7	28	20	0.208	6.24	144.23	0.0069
30	7	35	22	0.210	6.30	142.86	0.0070
30	6	41	23	0.212	6.36	141.51	0.0071
30	5	46	23	0.225	6.75	133.33	0.0075
30	5	51	25	0.215	6.45	139.53	0.0072
30	4	55	25	0.214	6.42	140.19	0.0071
30	4	59	26	0.215	6.45	139.53	0.0072
30	3	62	26	0.217	6.51	138.25	0.0072
30	1	63	27	0.223	6.69	134.5	0.0074
30	1	64	28	0.210	6.30	142.9	0.0070

Çizelge 3.14 C-konfigürasyonu 45volt elektro-osmoz deney sonuçları

Konfigürasyon Modeli			C				
Elektrotlar Arası Mesafe			7.5 cm				
Verilen Sabit Gerilim			45 V				
Başlangıç Sıcaklığı			17 °C				
Ölçüm Yapan							
Deney Tarihi							
Süre (dk)	Boşalım (cm ³)	Kümülatif Boşalım (cm ³)	Sıcaklık °C	Akım i, (Amper)	Güç (W)	Direnç, R (ohm)	İletkenlik (1/R)
30	19	19	19	0.312	14.04	144.23	0.0069
30	18	37	22	0.326	14.67	138.04	0.0072
30	15	52	25	0.354	15.93	127.12	0.0079
30	14	66	28	0.371	16.70	121.29	0.0082
30	11	77	30	0.389	17.51	115.68	0.0086
30	10	87	32	0.397	17.87	113.35	0.0088
30	8	95	33	0.401	18.05	112.22	0.0089
30	6	101	36	0.396	17.82	113.64	0.0088
30	4	105	38	0.405	18.23	111.11	0.0090
30	2	107	39	0.401	18.05	112.22	0.0089
30	1	108	40	0.399	17.96	112.78	0.0089

Çizelge 3.15 C-konfigürasyonu 60volt elektro-osmoz deney sonuçları

Konfigürasyon Modeli			C				
Elektrotlar Arası Mesafe			7.5 cm				
Verilen Sabit Gerilim			60 V				
Başlangıç Sıcaklığı			17 °C				
Ölçüm Yapan							
Deney Tarihi							
Süre (dk)	Boşalım (cm ³)	Kümülatif Boşalım (cm ³)	Sıcaklık °C	Akım i, (Amper)	Güç (W)	Direnç, R (ohm)	İletkenlik (1/R)
30	27	27	24	0.527	31.62	113.85	0.0088
30	26	53	27	0.545	32.70	110.09	0.0091
30	23	76	35	0.560	33.60	107.14	0.0093
30	19	95	38	0.572	34.32	104.90	0.0095
30	17	112	41	0.582	34.92	103.09	0.0097
30	16	128	45	0.589	35.34	101.87	0.0098
30	12	140	48	0.605	36.30	99.17	0.0101
30	9	149	51	0.612	36.72	98.04	0.0102
30	7	156	53	0.605	36.30	99.17	0.0101
30	4	160	55	0.597	35.82	100.50	0.0100
30	2	162	56	0.581	34.86	103.27	0.0097
30	1	163	56	0.574	34.44	104.53	0.0096

Çizelge 3.16 C-konfigürasyonu 75volt elektro-osmoz deney sonuçları

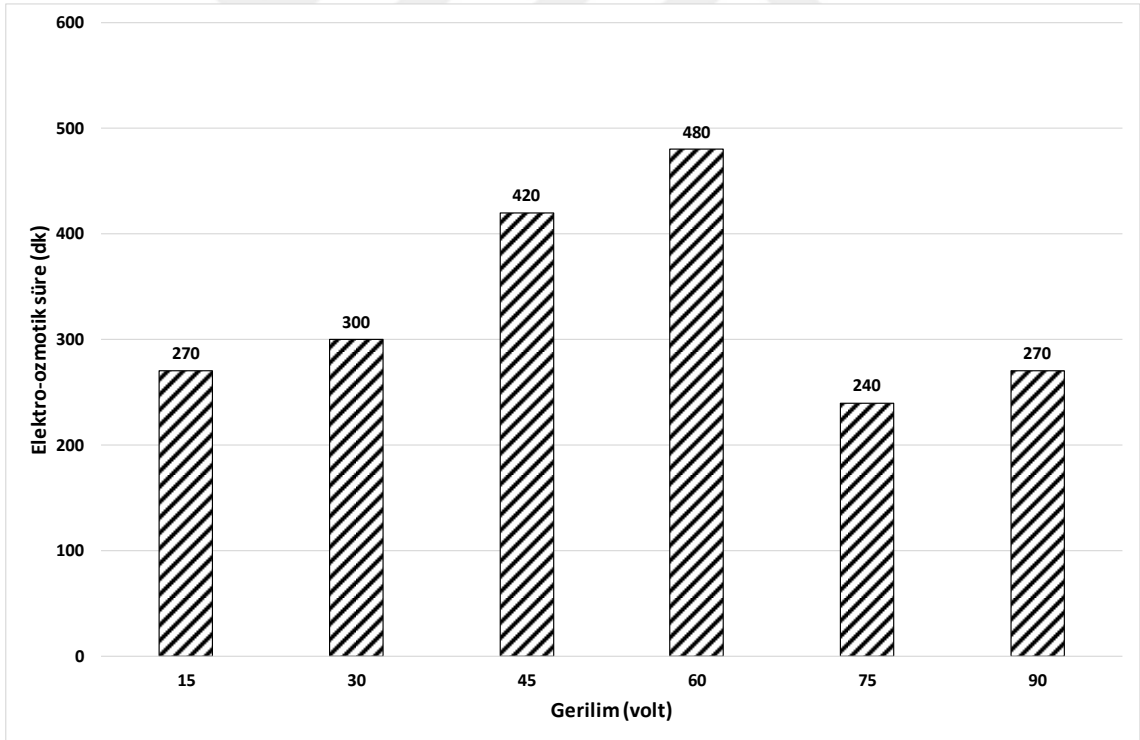
Konfigürasyon Modeli		C					
Elektrotlar Arası Mesafe		7.5 cm					
Verilen Sabit Gerilim		75 V					
Başlangıç Sıcaklığı		17 °C					
Ölçüm Yapan							
Deney Tarihi							
Süre (dk)	Boşalım (cm ³)	Kümülatif Boşalım (cm ³)	Sıcaklık °C	Akım i, (Amper)	Güç (W)	Direnç, R (ohm)	İletkenlik (1/R)
30	27	27	24	0.527	31.62	113.85	0.0088
30	26	53	27	0.545	32.70	110.09	0.0091
30	23	76	35	0.560	33.60	107.14	0.0093
30	19	95	38	0.572	34.32	104.90	0.0095
30	17	112	41	0.582	34.92	103.09	0.0097
30	16	128	45	0.589	35.34	101.87	0.0098
30	12	140	48	0.605	36.30	99.17	0.0101
30	9	149	51	0.612	36.72	98.04	0.0102
30	7	156	53	0.605	36.30	99.17	0.0101
30	4	160	55	0.597	35.82	100.50	0.0100
30	2	162	56	0.581	34.86	103.27	0.0097
30	1	163	56	0.574	34.44	104.53	0.0096

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

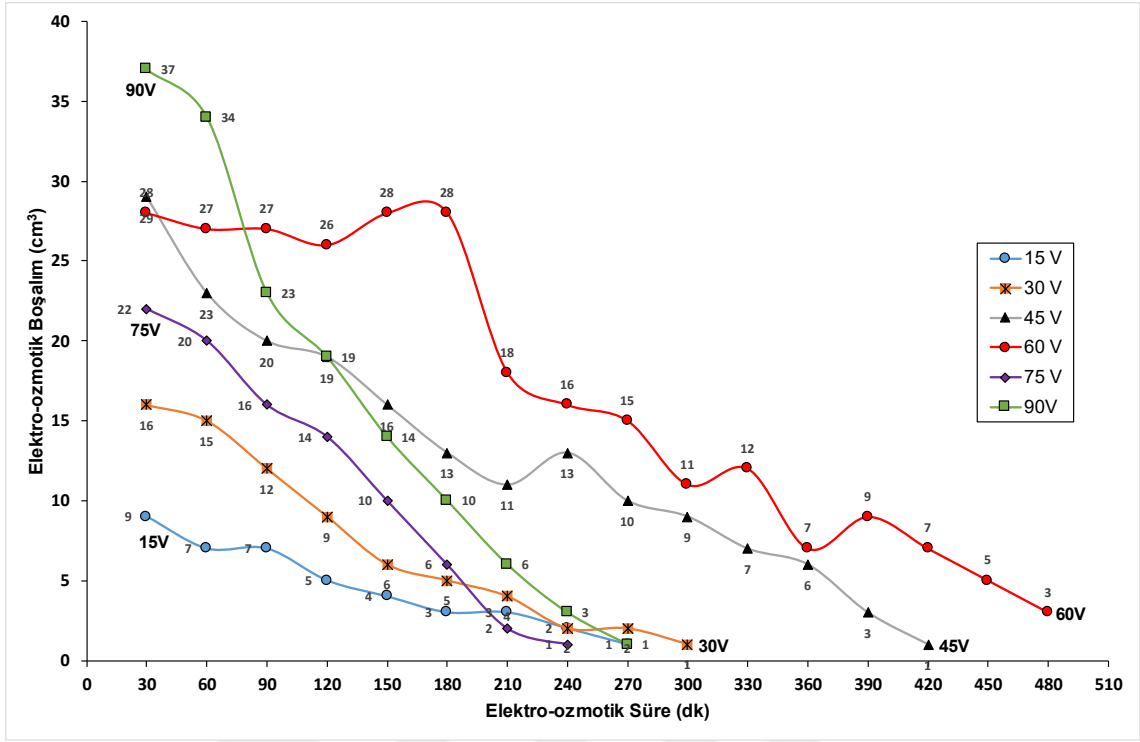
Bu bölümde farklı konfigürasyonda yapılan deney sonuçları ile elektro-ozmotik süre, voltaj, su boşalımı, akım, harcanan enerji, gıda malzemesinin kuru ve doymun birim hacim ağırlığı, porozite, su muhtevası gibi değişkenler arasındaki ilişkiler geliştirilmiştir.

4.1 Elektro-Osmoz Deneyleri A-konfirasyonu Sonuçları ve Değerlendirmesi

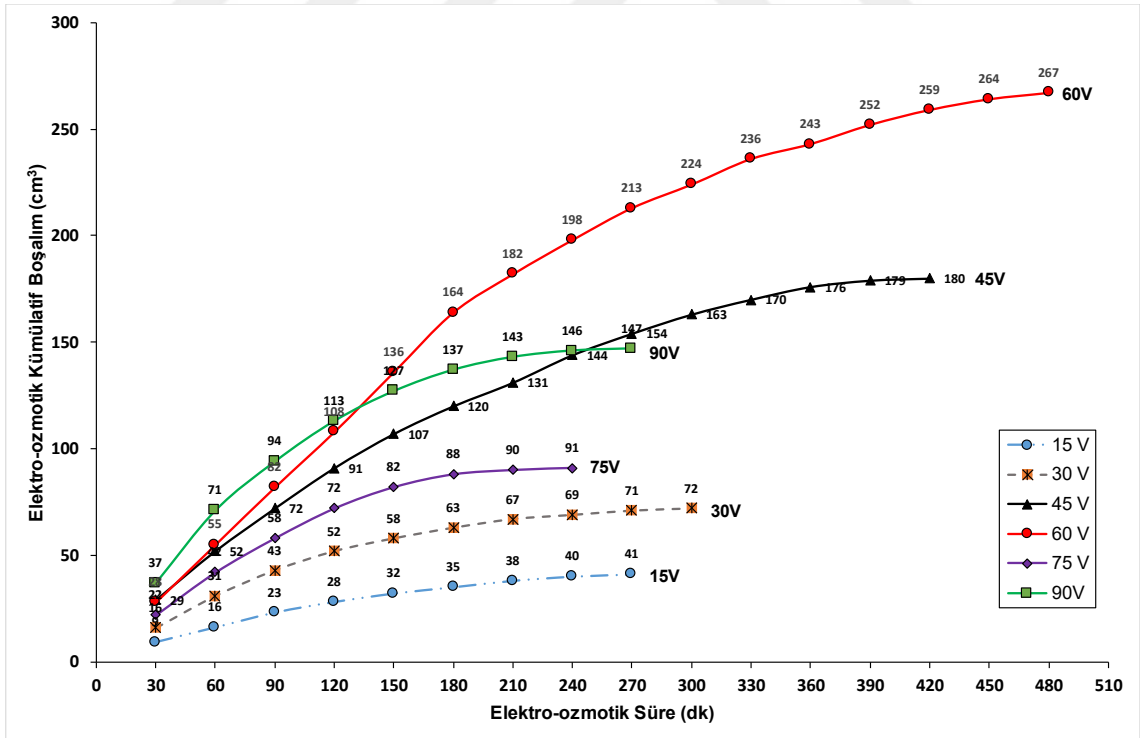
Elektro-osmoz deneyleri A-konfigürasyonunda düz çelik anot çubukları katod borusunun sağında ve solunda 15cm mesafede olacak şekilde 15, 30, 45, 60 ve 75 gibi 5 farklı voltaj aralıklarında deneyler yürütülmüştür. Uygulanan voltajla elektro-ozmotik süre artmıştır ve en yüksek elektro-ozmotik süre 480dk ile 60 volt uygulandığında olmuştur. 60 volttan sonra ise elektro-ozmotik süre azalmıştır (Şekil 4.1). A-konfigürasyonunda 6 farklı voltaj durumu için boşalım grafikleri çizilmiş ve her 30 dakidaki su deşarji-boşalımı Şekil 4.2’de ve her bir voltaj aralıkları için kümülatif-birikimli su deşarji-boşalımı ilişkisi Şekil 4.3’de gösterilmiştir. Sözkonusu bu şekiller incelendiğinde tüm voltajlarda zamanla elektro-ozmotik boşalımın giderek azaldığı ve en yüksek boşalım ve kümülatif boşalımın 60 volt elektrik verildiğinde olduğu görülmüştür.



Şekil 4.1 A-konfigürasyonu farklı voltajlar için elektro-ozmotik süreler



Şekil 4.2 A-konfigürasyonu için farklı voltajlar için elektro-ozmotik süre ile boşalım arasındaki ilişki



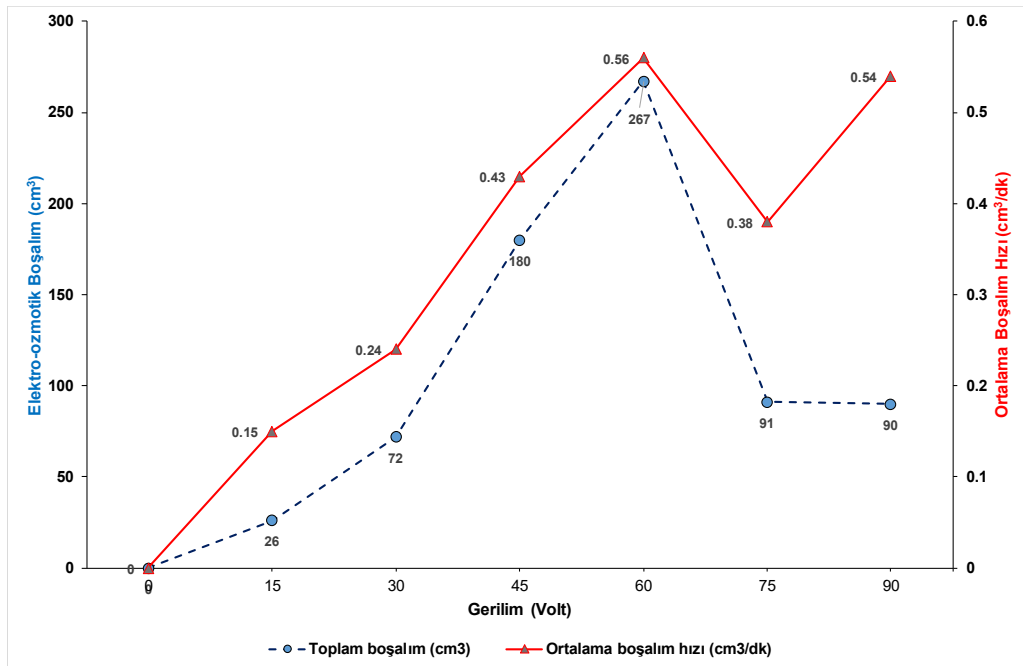
Şekil 4.3 A-konfigürasyonu için farklı voltajlar için elektro-ozmotik süre ile kümülatif boşalım ilişkisi

Elektro-osmoz deneylerinde ölçülen ve hesaplanan değerler bölüm 3.5 'te verilmişti. A-konfigürasyonunda elektro-osmoz yönteminde başlangıç ve 15volt, 30volt, 45volt, 60volt, 75volt ve 90 volt için uzaklaştırılan su miktarları, ortalama sıcaklık, elektrik akımı, elektrik direnci, elektrik

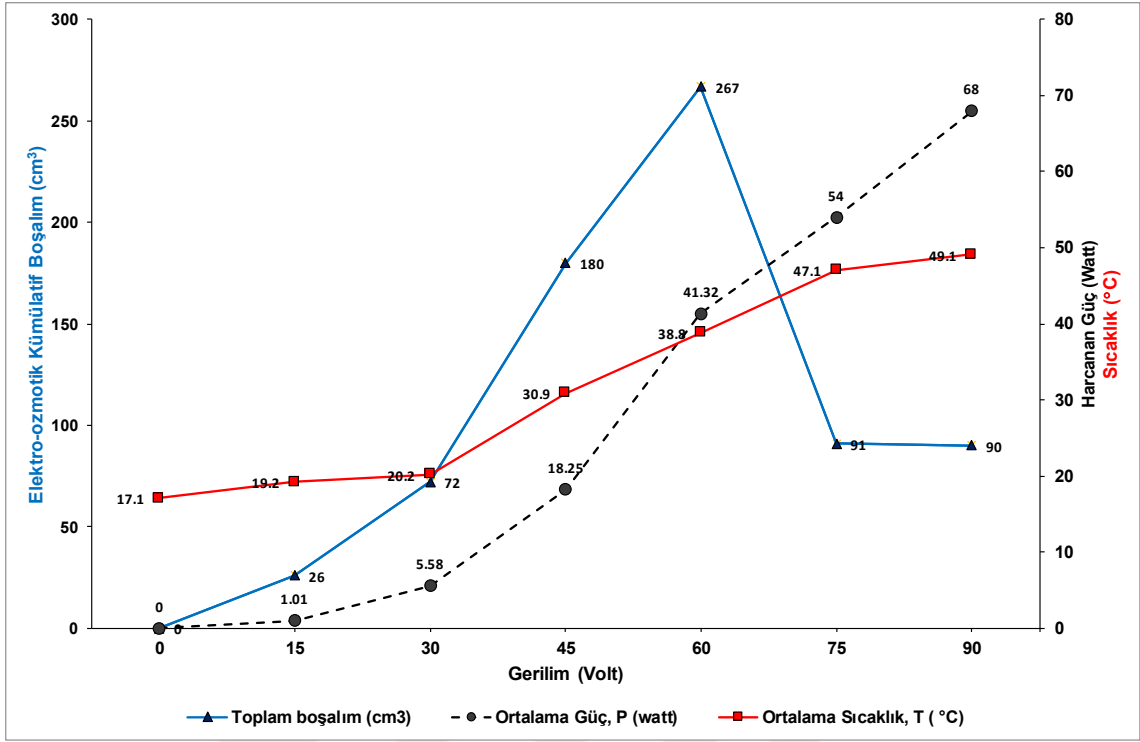
iletkenliği, harcanan enerji ile gıdya malzemesinin kuru ve doymun birim hacim ağırlıkları, porozite, boşluk oranı ve su muhtevası gibi bazı zemin mekaniği özellikleri de belirlenmiş ve Çizelge 4.1’ de özetlenmiştir. Çizelgedeki veriler kullanılarak Elektro-ozmotik parametreler arasında ilişkiler geliştirilmiştir. 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 sıcaklığında artmış 90volt’ta 49 °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 gerçekleşmiştir.

Çizelge 4.1 Elektro-osmoz deneyi A-Konfigürasyonu değişik voltajlar için ölçülen ve hesaplanan parametreler

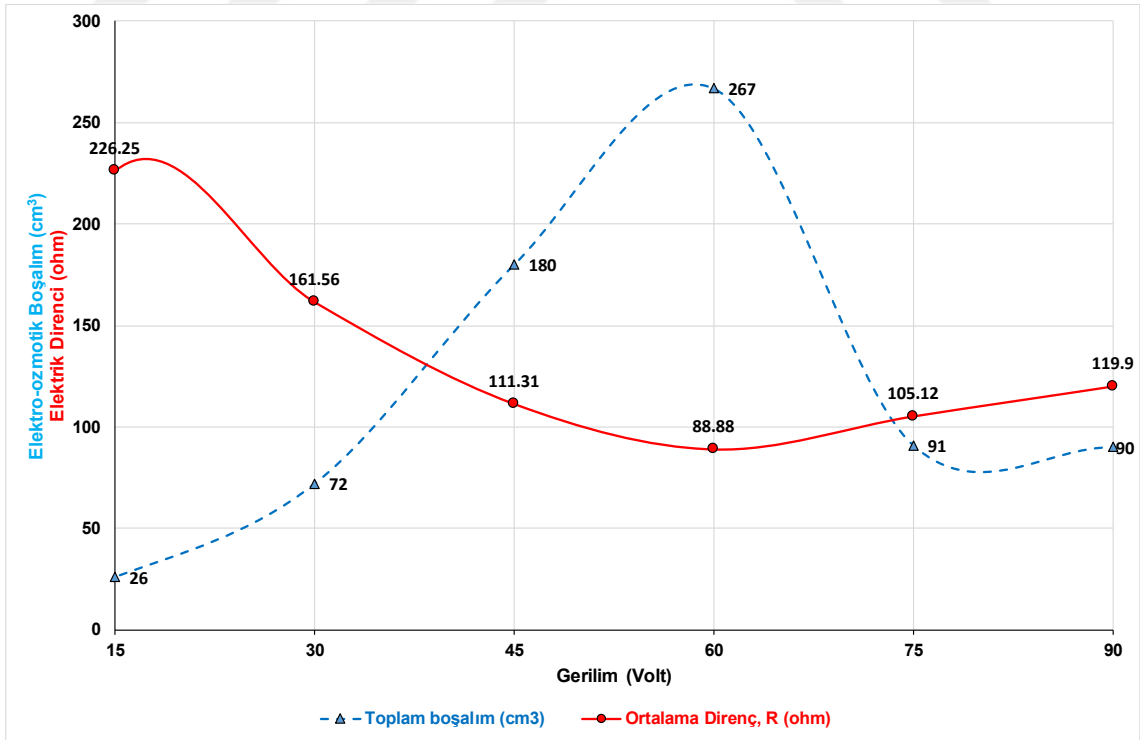
Gerilim (Volt)	Kuru birim hacim ağırlık (gr/cm ³)	Suya Doymun birim hacim ağırlık (gr/cm ³)	Porozite, n (V _{boşluk} /V _{toplam}) (%)	Boşluk oranı, e (n/1-n) (%)	Su muhtevası ω (W _{su} /W _{kati}) (%)	Toplam boşalım (cm ³)	Toplam boşalım süresi (dk)	Ortalama boşalım hızı (cm ³ /dk)	Ortalama Sıcaklık, T (°C)	Ortalama akım, i (amper)	Ortalama Direnc, R (ohm)	Ortalama İletkenlik (ohm ⁻¹)	Ortalama Güç, P (watt)
0	1.06	1.79	72	2.6	68	0	0	0	17.1	0	0	0	0
15	0.76	1.26	49	0.96	62	26	270	0.15	19.2	0.07	226.25	0.0045	1.01
30	0.71	1.21	42	0.72	59	72	300	0.24	20.2	0.19	161.56	0.0062	5.58
45	0.72	1.13	40	0.66	56	180	420	0.43	30.9	0.41	111.31	0.009	18.25
60	0.84	1.25	41	0.69	49	267	480	0.56	38.8	0.69	88.88	0.0115	41.32
75	1.23	1.79	56	1.27	45	91	240	0.38	47.1	0.72	105.12	0.0096	54
90	1.29	1.79	48	0.92	38	90	270	0.54	49.1	0.75	119.9	0.0084	68



Şekil 4.4 A-konfigürasyonu farklı voltajlar için elektro-ozmotik boşalım ve ortalama boşalım hızı ilişkisi

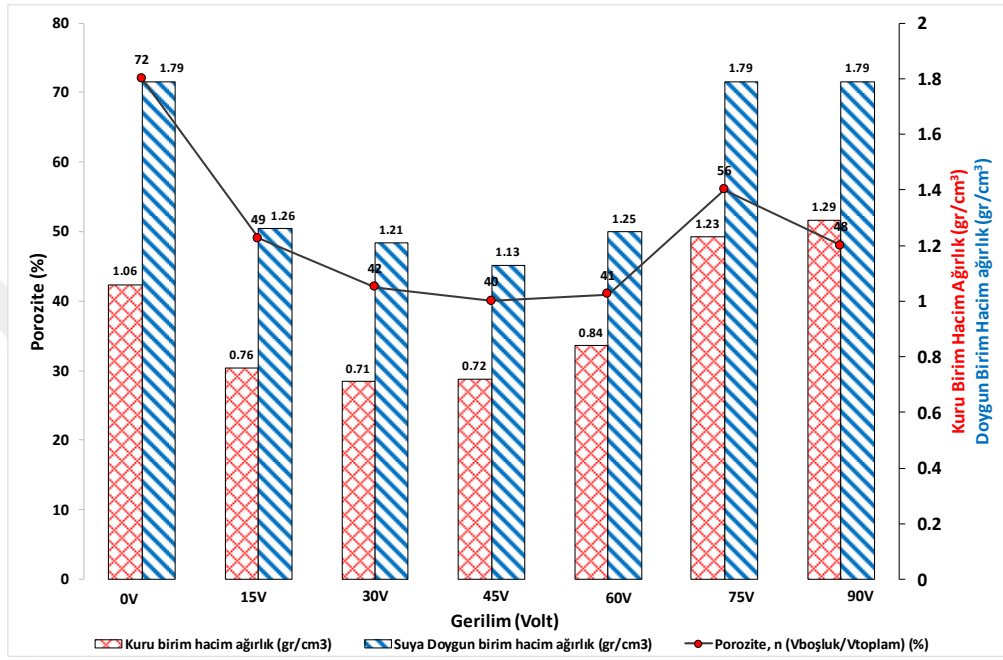


Şekil 4.5 A-konfigürasyonu için farklı voltajlar için elektro-ozmotik boşalım, harcanan enerji ve sıcaklık ilişkisi

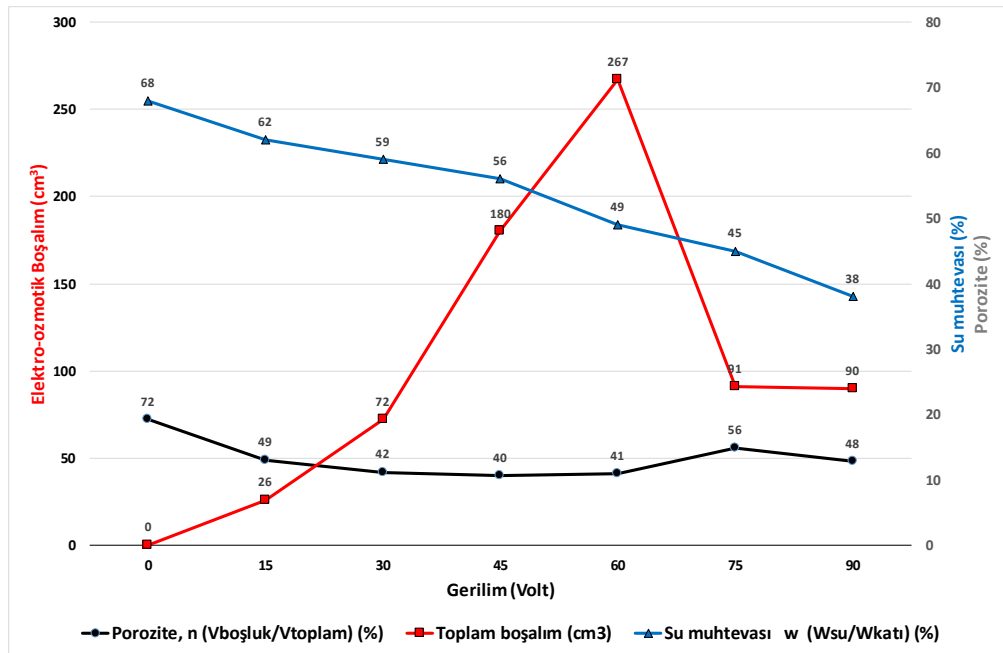


Şekil 4.6 A-konfigürasyonu için farklı voltajlar için elektro-ozmotik boşalım ve elektrik direnci arasındaki ilişki

Yukarıda voltajla diğer elektro-ozmotik parametreler arasındaki ilişkilerden başka gıda malzemesinin zemin mekaniği özelliklerindeki değişimler arasında da karşılaştırmalar yapılmıştır. Buna göre voltajla birim hacim ağırlık ve porozite arasındaki ilişki Şekil 4.7'de ve voltajla porozite, su muhtevası ve su boşalımı arasındaki ilişki Şekil 4.8'de gösterilmiştir.

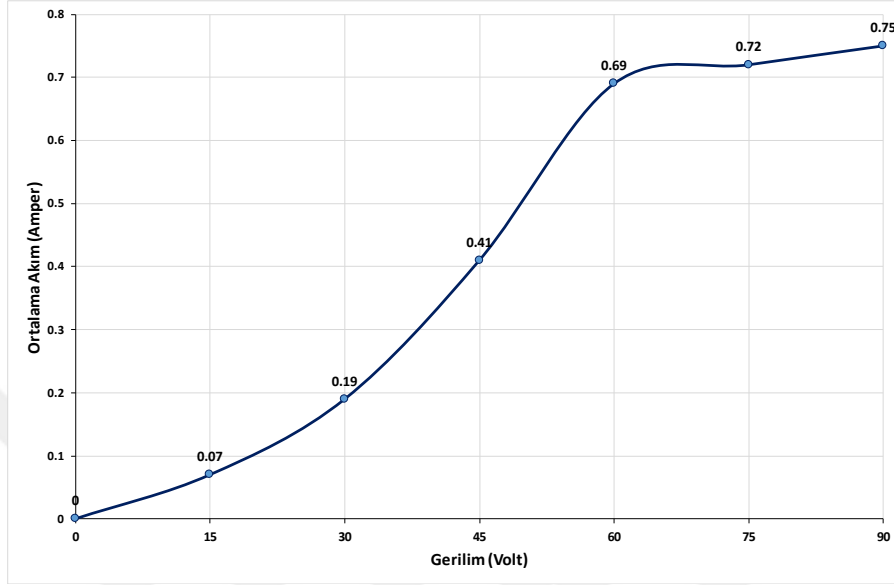


Şekil 4.7 A-konfigürasyonu farklı voltajlar için kuru ve doymuş birim hacim ağırlık ve porozite ilişkisi

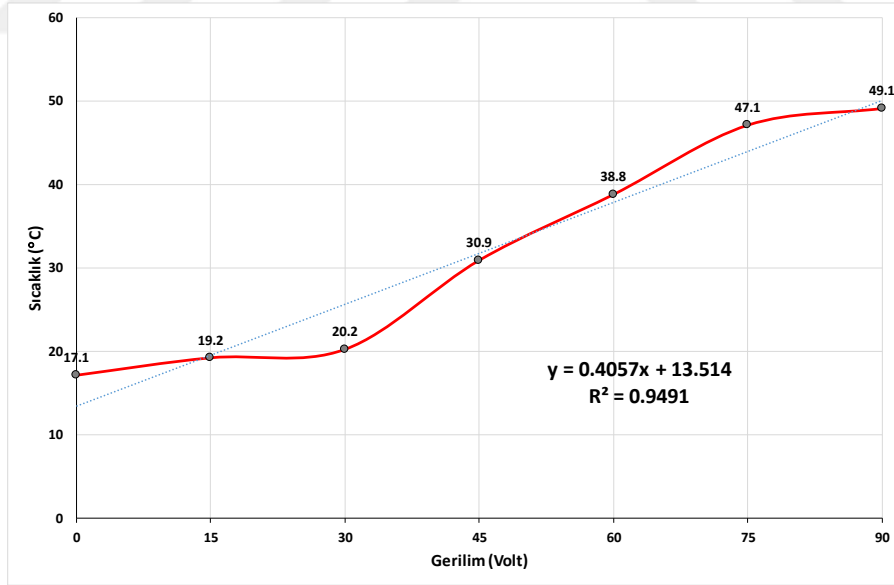


Şekil 4.8 A-konfigürasyonu farklı voltajlar için boşalım, su muhtevası ve porozite ilişkisi

A konfigürasyonu elektro-osmoz parametrelerinden voltaj ile gıda ortamından geçen elektrik akımı arasında 60 volt'a kadar yaklaşık kadar lineer bir ilişki olurken voltajın 60 volttan sonra akım değişimi fazla olmamıştır (Şekil 4.9). Benzer şekilde voltaj ile ortamın sıcaklığı arasında da yüksek korelasyon katsayılı lineer bir ilişki olduğu Şekil 4.10'da görülmektedir.

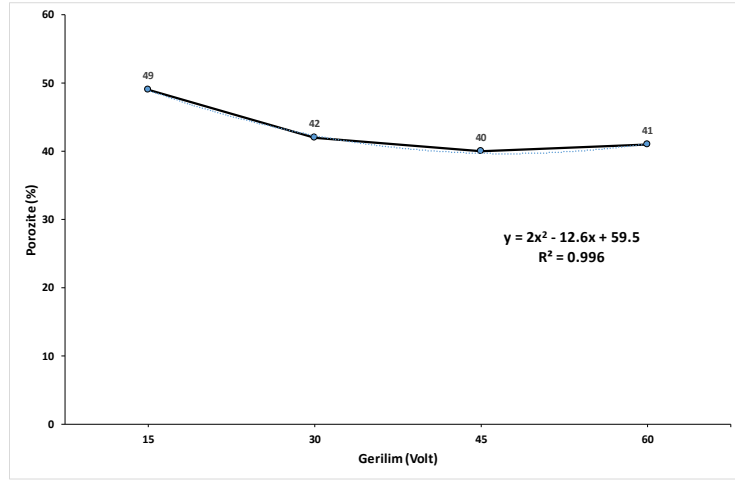


Şekil 4.9 A-konfigürasyonu voltaj ile akım arasındaki ilişki

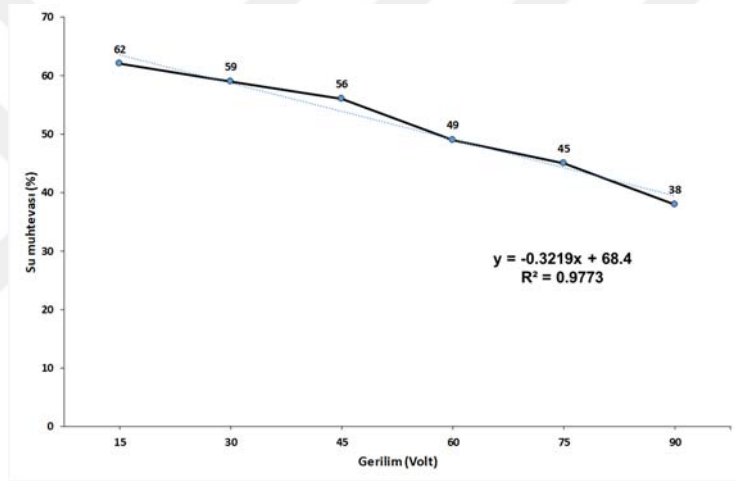


Şekil 4.10 A-konfigürasyonu voltaj ile sıcaklık arasındaki ilişki

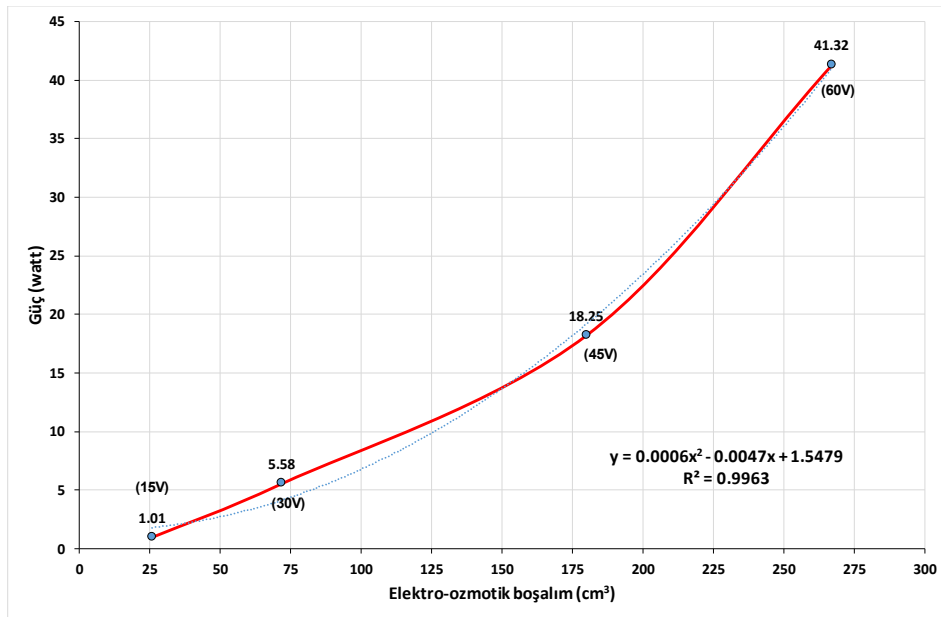
A konfigürasyonu elektro-osmotik parametrelerden voltaj ile gıda malzemesinin porozitesi arasında yüksek korelasyon katsayılı polinom ilişki Şekil 4.11 ve yine voltaj ile su muhtevası arasında yüksek korelasyon katsayılı lineer bir ilişki olduğu Şekil 4.12 'de görülmektedir. Elektro-osmotik Boşalım ile 60 volt'a kadar harcanan enerji arasındaki ilişki Şekil 4.13'de verilmiştir.



Şekil 4.11 A-konfigürasyonu voltaj ile porozite arasındaki ilişki



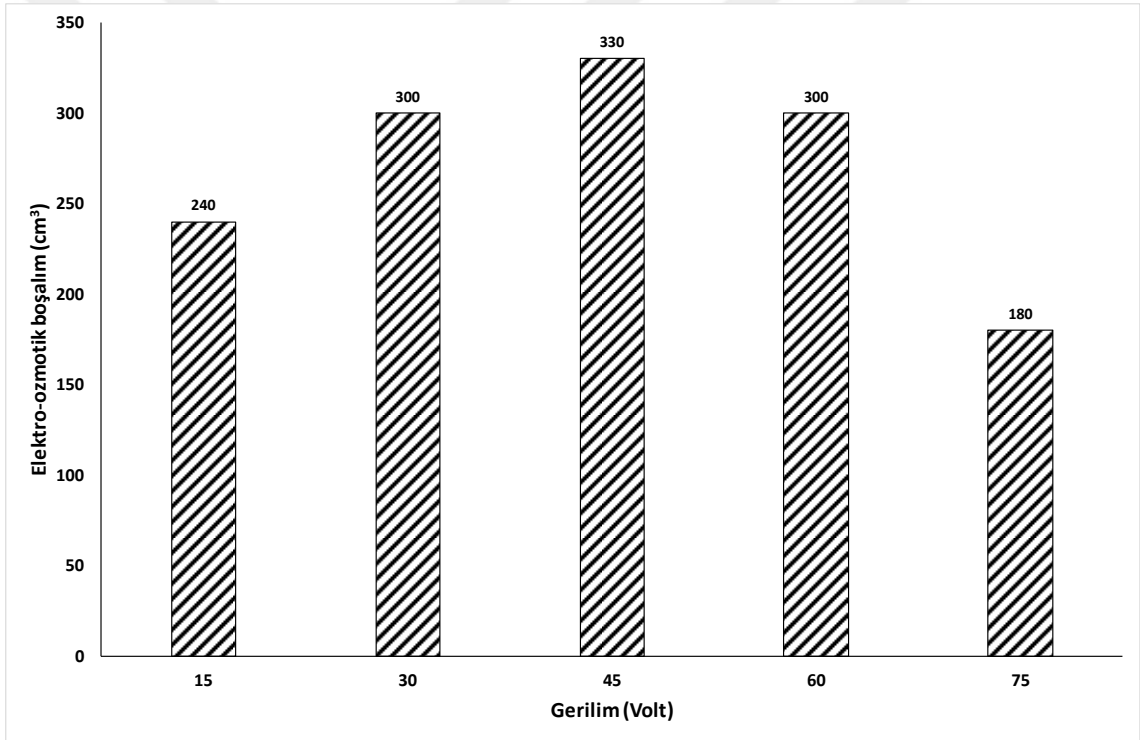
Şekil 4.12 A-konfigürasyonu voltaj ile su muhtevası arasındaki ilişki



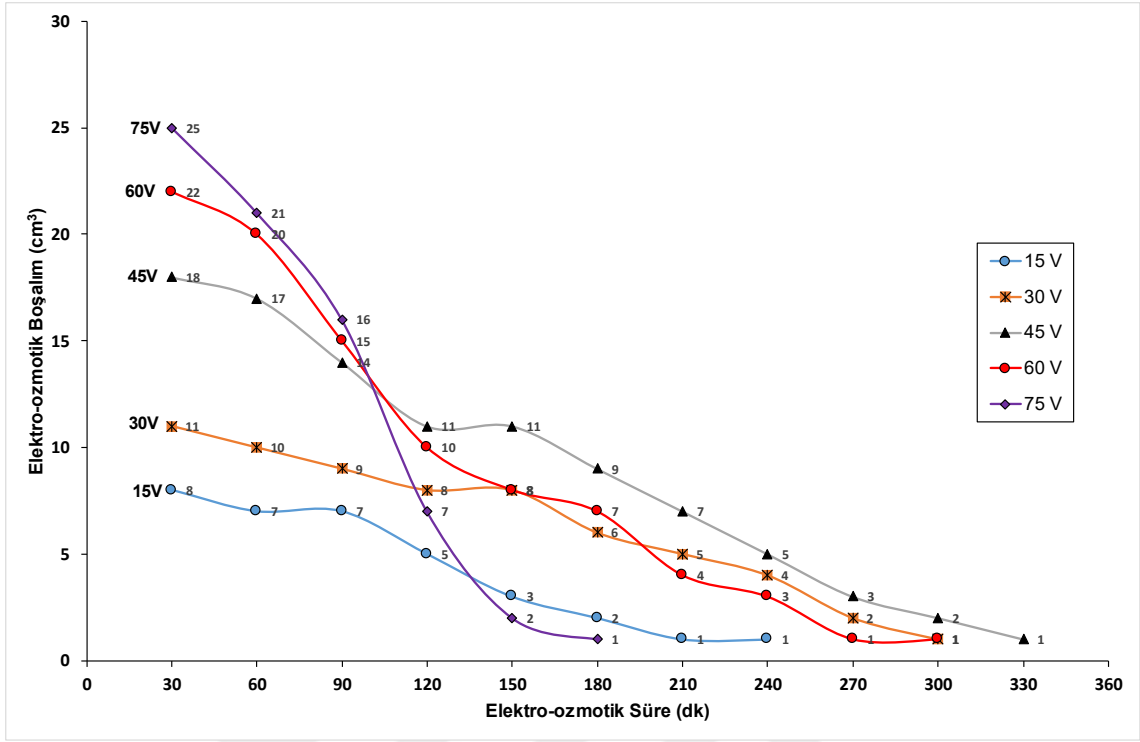
Şekil 4.13 A-konfigürasyonu elektro-ozmotik boşalım ile harcanan enerji arasındaki ilişki

4.2 Elektro-Osmoz Deneyleri B-konfigürasyonu Sonuçları ve Değerlendirmesi

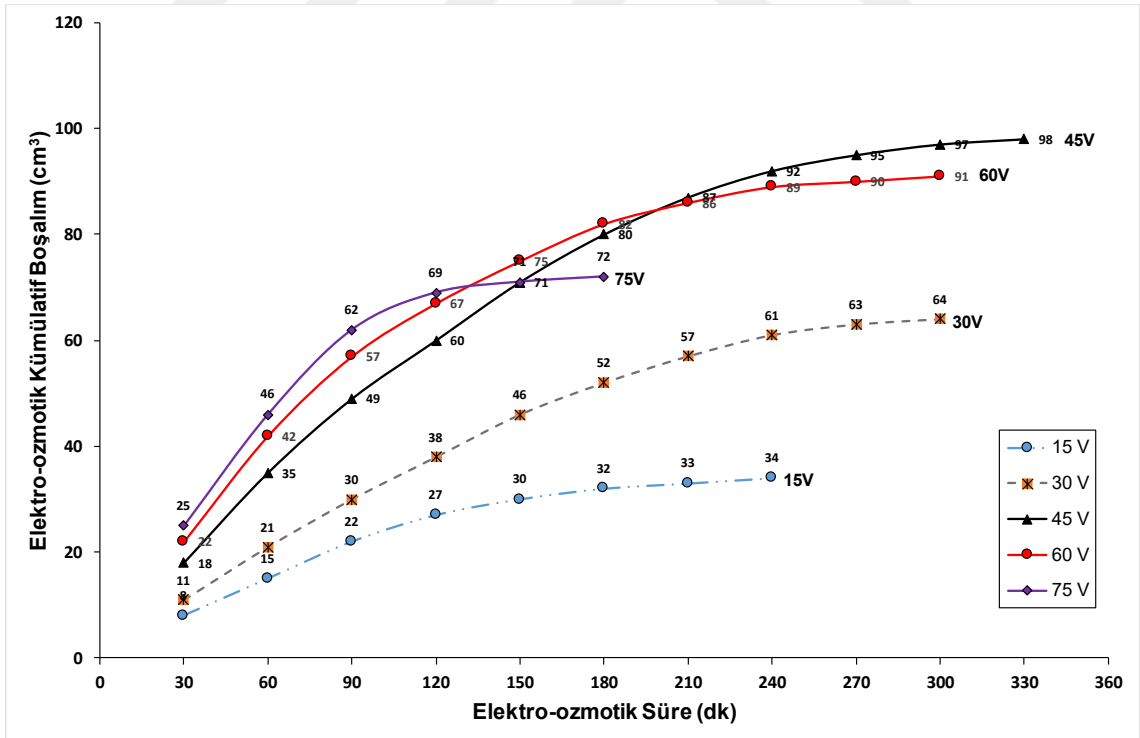
Elektro-osmoz deneyleri B-konfigürasyonunda düz çelik anot çubukları katod borusunun sağında ve solunda 7.5cm mesafede olacak şekilde 15, 30, 45, 60 ve 75 gibi 5 farklı voltaj aralıklarında deneyler yürütülmüştür. Uygulanan voltajla elektro-ozmotik süre artmıştır ve en yüksek elektro-ozmotik süre 330dk ile 45 volt uygulandığında olmuştur. 45 volttan sonra ise elektro-ozmotik süre azalmıştır (Şekil 4.14). B-konfigürasyonunda 5 farklı voltaj durumu için boşalım grafikleri çizilmiş ve her 30 dakidaki su deşarjı-boşalımı Şekil 4.15'de ve her bir voltaj aralıkları için kümülatif-birikimli su deşarjı-boşalımı ilişkisi Şekil 4.16'da gösterilmiştir. Sözkonusu bu şekiller incelendiğinde tüm voltajlarda zamanla elektro-ozmotik boşalmanın giderek azaldığı ve en yüksek boşalım ve kümülatif boşalmanın 45 volt elektrik verildiğinde olduğu görülmüştür.



Şekil 4.14 B-konfigürasyonu farklı voltajlar ile elektro-ozmotik süreler



Şekil 4.15 B-konfigurasyonu farklı voltajlar için elektro-ozmotik süre ile boşalım arasındaki ilişki



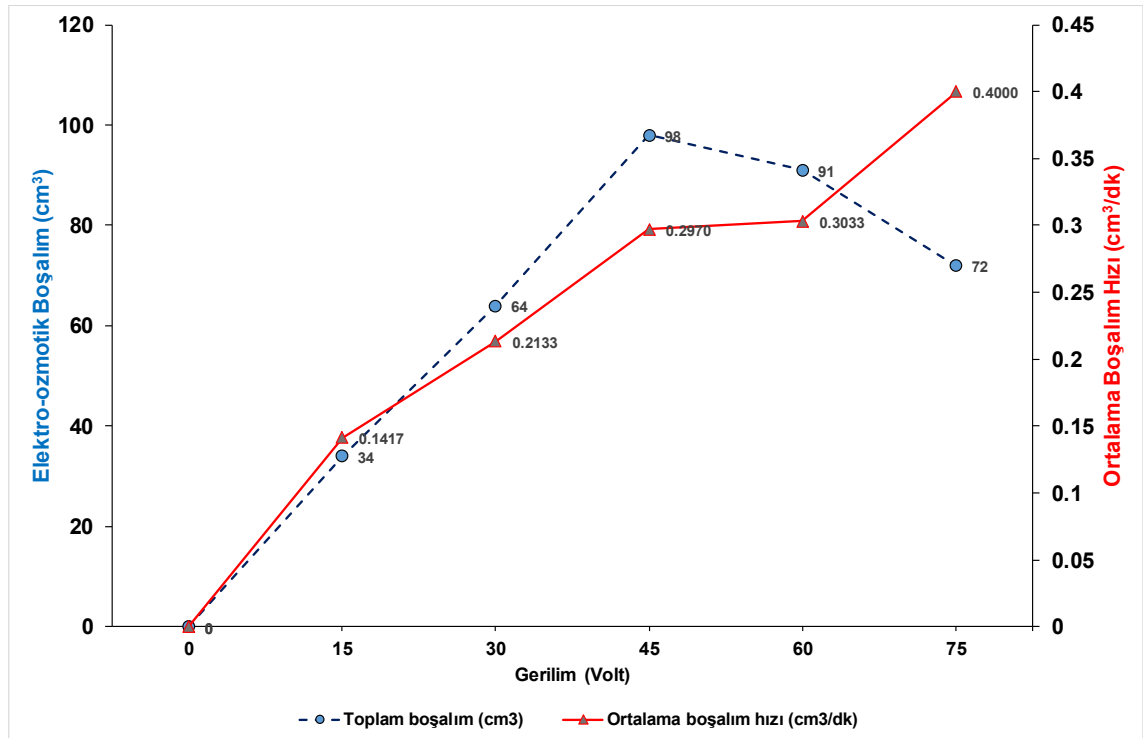
Şekil 4.16 B-konfigurasyonu farklı voltajlar için elektro-ozmotik süre ile kümülatif boşalım ilişkisi

B-konfigurasyonunda elektro-osmoz yönteminde başlangıç ve 15volt, 30volt, 45volt, 60volt, ve 75volt volt için uzaklaştırılan su miktarları, ortalama sıcaklık, elektrik akımı, elektrik direnci, elektrik iletkenliği, harcanan enerji ile gıda malzemesinin kuru ve doymun birim hacim ağırlıkları, porozite,

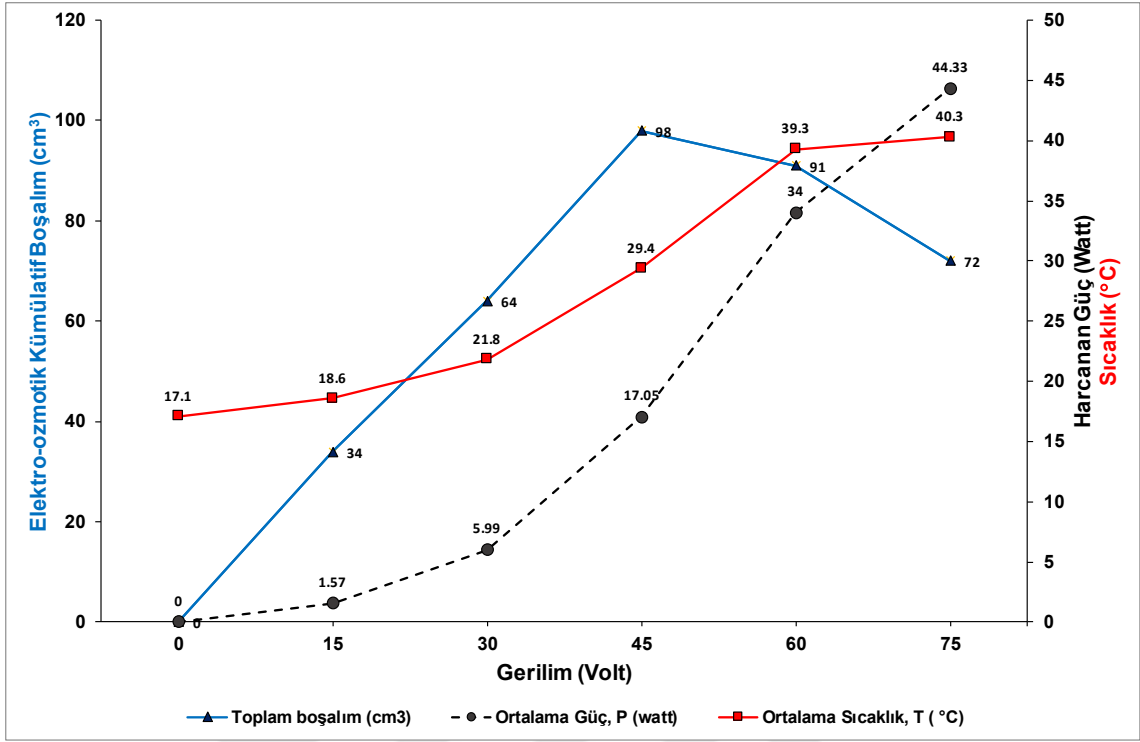
boşluk oranı ve su muhtevası gibi bazı zemin mekaniği özellikleri de belirlenmiş ve Çizelge 4.2' de özetlenmiştir. Çizelgedeki veriler kullanılarak Elektro-ozmotik parametreler arasında ilişkiler geliştirilmiştir. Şekil 4.17'de voltaj ile kümülatif boşalım ve boşalım hızı arasındaki ilişki görülmektedir. Şekildende görüldüğü gibi voltaj arttıkça kümülatif boşalım ve boşalım hızı artmakta 45 volt'tan sonra boşalım hızı artarken boşalım miktarı azalmaya başlamıştır. Yani 45 volt'a kadar elektro-ozmotik susuzlandırma verimli olduğu görülmektedir. Yine voltajla kümülatif boşalım, harcanan enerji ve sıcaklık değişimi Şekil 4.18' de verilmiştir. Voltaj arttıkça enerji tüketimi ve ortamın sıcaklığıda artmış 75volt'ta 40.3 °C' ye kadar yükselmiştir. Benzer şekilde voltajla elektro-ozmotik su boşalımı ve ortamın elektrik direnci arasındaki ilişki Şekil 4.19'da gösterilmiştir. Ortamın elektrik direnci düştükçe su boşalımı artmış ve 45 volt'ta en düşük dirençte en yüksek su boşalımı gerçekleşmiştir.

Çizelge 4.2 Elektro-osmoz deneyi B-Konfigürasyonu değişik voltajlar için ölçülen ve hesaplanan parametreler

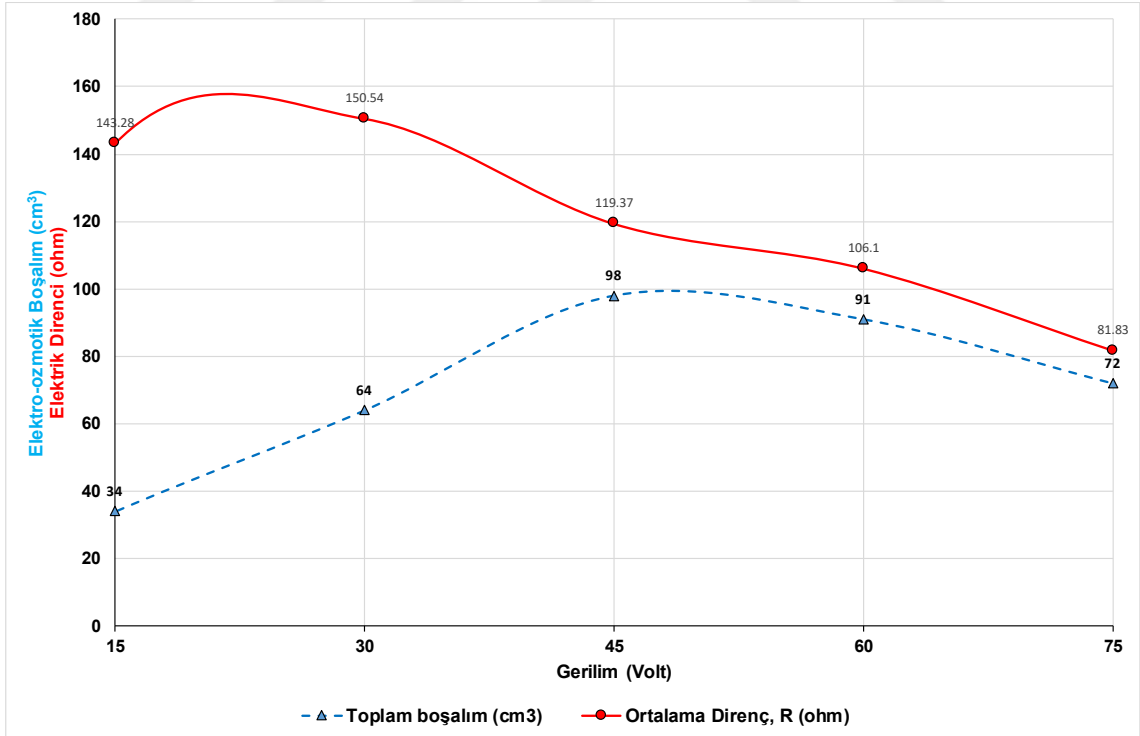
Gerilim (Volt)	Kuru birim hacim ağırlık (gr/cm ³)	Suya Doğun birim hacim ağırlık (gr/cm ³)	Porozite, n (V _{boşluk} /V _{toplam}) (%)	Boşluk oranı, e (n/1-n) (%)	Su muhtevası $\bar{\omega}$ (W _{su} /W _{katı}) (%)	Toplam boşalım (cm ³)	Toplam boşalım süresi (dk)	Ortalama boşalım hızı (cm ³ /dk)	Ortalama Sıcaklık, T (°C)	Ortalama akım, i (amper)	Ortalama Direnç, R (ohm)	Ortalama İletkenlik (ohm ⁻¹)	Ortalama Güç, P (watt)
0	1.06	1.79	72	2.6	68	0	0	0	17.1	0	0	0	0
15	1.18	1.85	67	2.03	56	34	240	0.1417	18.6	0.104	143.28	0.007	1.57
30	1.25	1.81	55	1.22	44	64	300	0.2133	21.8	0.2	150.54	0.0067	5.99
45	1.27	1.86	49	0.96	36	98	330	0.2970	29.4	0.379	119.37	0.0084	17.05
60	1.41	1.85	44	0.78	31	91	300	0.3033	39.3	0.567	106.1	0.0094	34
75	1.44	1.85	40	0.66	28	72	180	0.4000	40.3	0.739	81.83	0.0123	44.33



Şekil 4.17 B-konfigürasyonu farklı voltajlar için elektro-ozmotik boşalım ve ortalama boşalım hızı ilişkisi

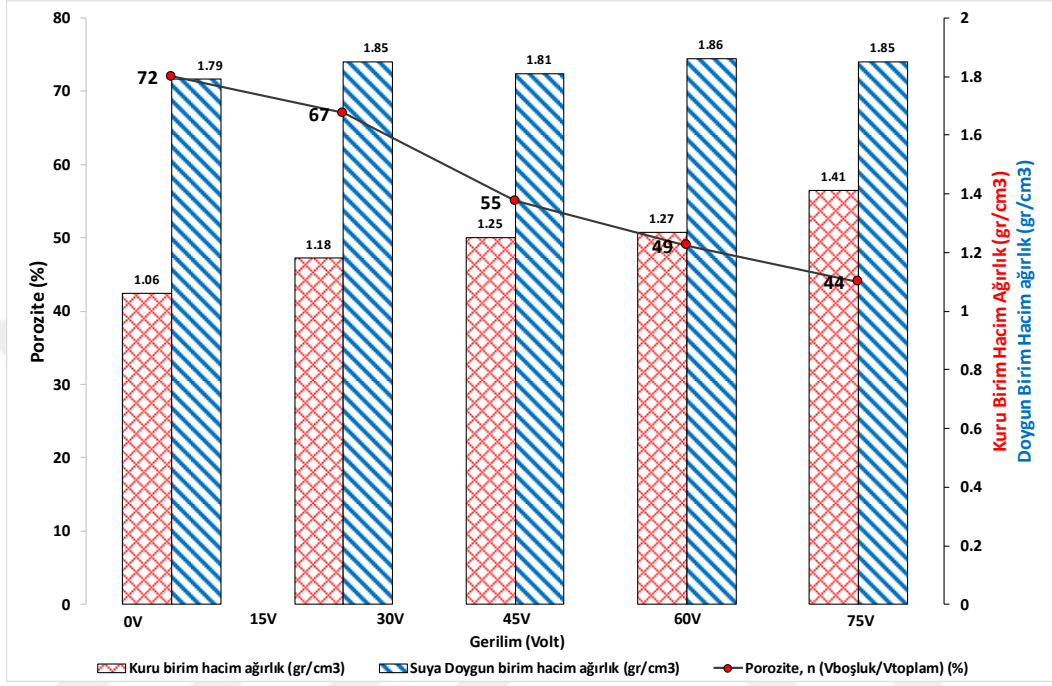


Şekil 4.18 B-konfigürasyonu farklı voltajlar için elektro-ozmotik boşalım, harcanan enerji ve sıcaklık ilişkisi

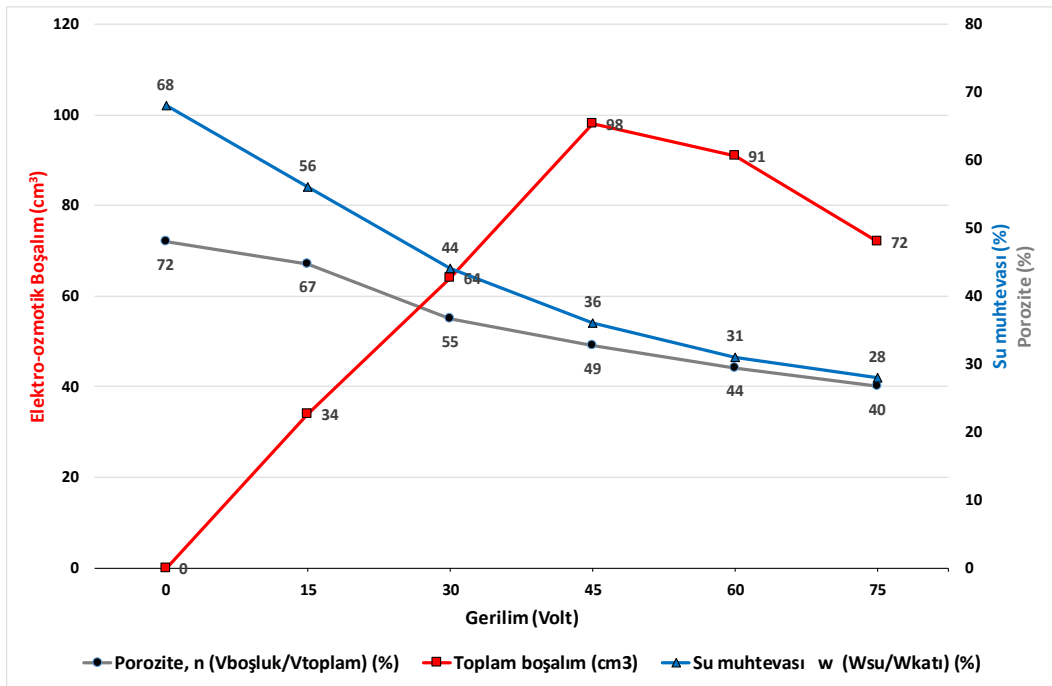


Şekil 4.19 B-konfigürasyonu farklı voltajlar için elektro-ozmotik boşalım ve elektrik direnci arasındaki ilişki

Yukarıda voltajla diğer elektro-ozmotik parametreler arasındaki ilişkilerden başka gıda malzemesinin zemin mekaniği özelliklerindeki değişimler arasında da karşılaştırmalar da yapılmıştır. Buna göre voltajla birim hacim ağırlık ve porozite arasındaki ilişki Şekil 4.20'de ve voltajla porozite, su muhtevası ve su boşalımı arasındaki ilişki Şekil 4.21'de gösterilmiştir.

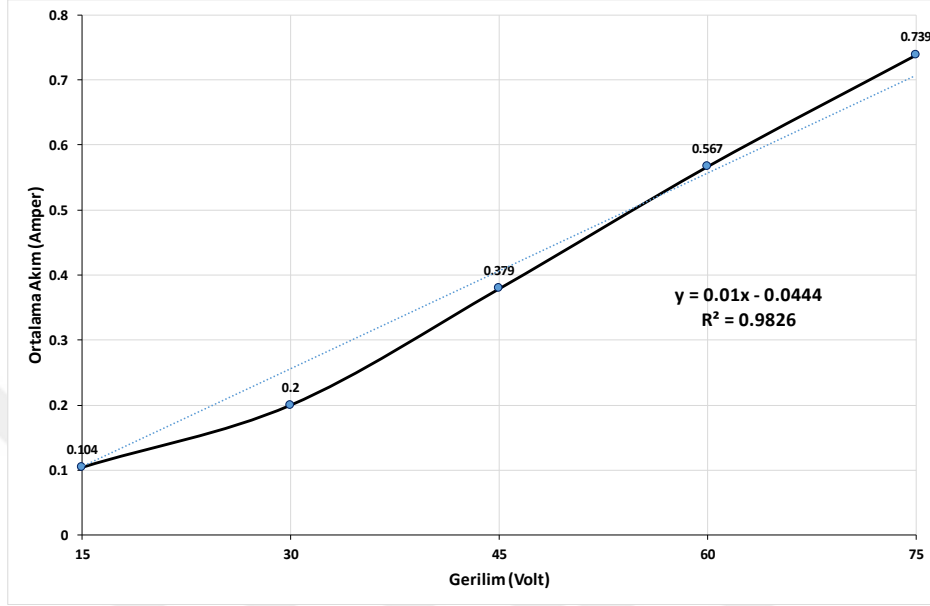


Şekil 4.20 B-konfigürasyonu farklı voltajlar için kuru ve doymuş birim hacim ağırlık ve porozite ilişkisi

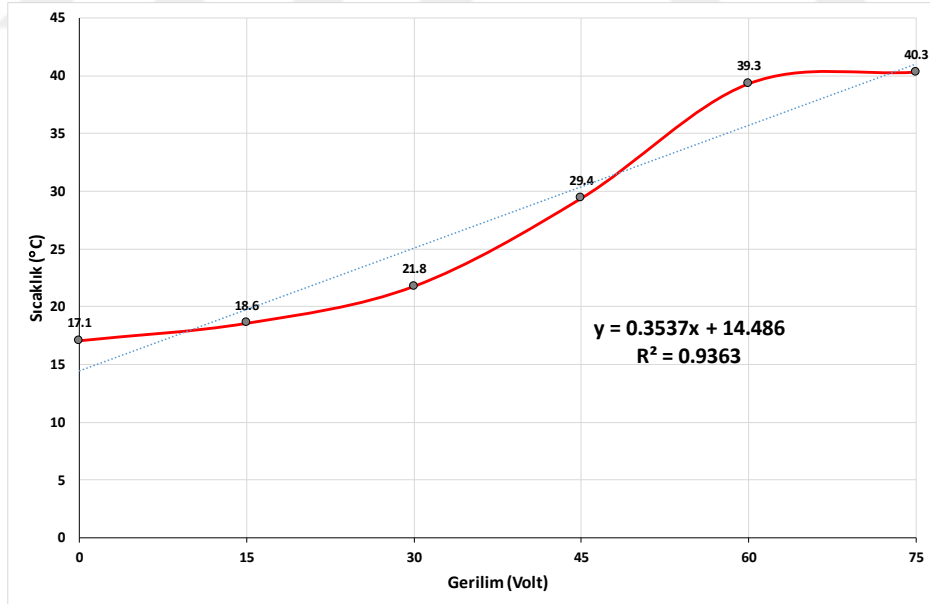


Şekil 4.21 B-konfigürasyonu farklı voltajlar için kuru ve doymuş birim hacim ağırlık ve porozite ilişkisi

B konfigürasyonu elektro-osmoz parametrelerinden voltaj ile gıda ortamından geçen elektrik akımı arasında yüksek korelasyonlu lineer bir ilişki olduğu görülmüştür (Şekil 4.22). Benzer şekilde voltaj ile ortamın sıcaklığı arasında da yüksek korelasyon katsayılı lineer bir ilişki olduğu Şekil 4.23'de görülmektedir.

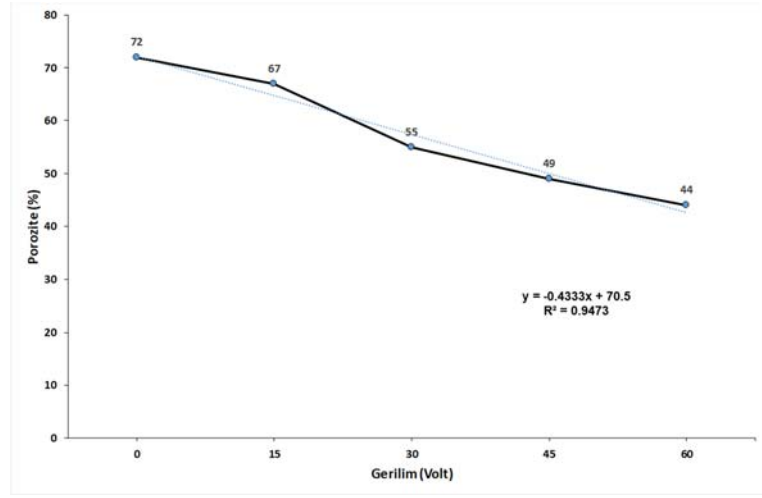


Şekil 4.22 B-konfigürasyonu voltaj ile akım arasındaki ilişki

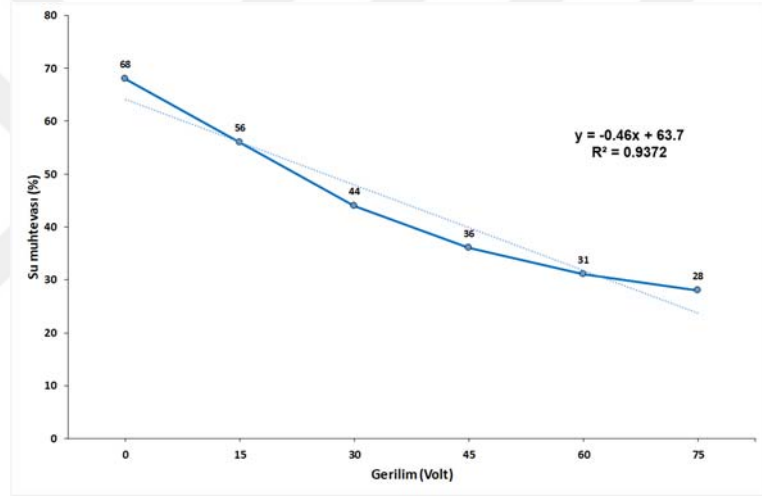


Şekil 4.23 B-konfigürasyonu voltaj ile sıcaklık arasındaki ilişki

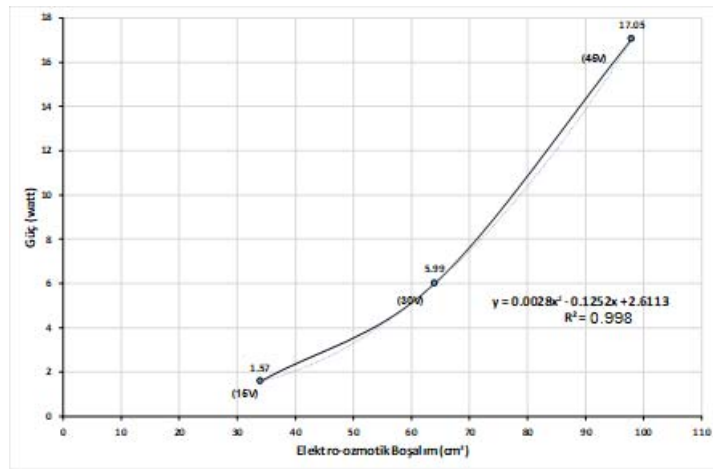
B konfigürasyonu elektro-ozmotik parametrelerden voltaj ile gıda malzemesinin porozitesi ve su muhtevası arasında yüksek korelasyon katsayılı lineer bir ilişki olduğu ve sırasıyla Şekil 4.24 ve Şekil 4.25 'de görülmektedir. 45 Volta kadar elektro-ozmotik boşalımla tüketilen enerji arasındaki yüksek korelasyonlu polinomsal ilişki Şekil 4.26'da verilmiştir.



Şekil 4.24 B-konfigürasyonu voltaj ile porozite arasındaki ilişki



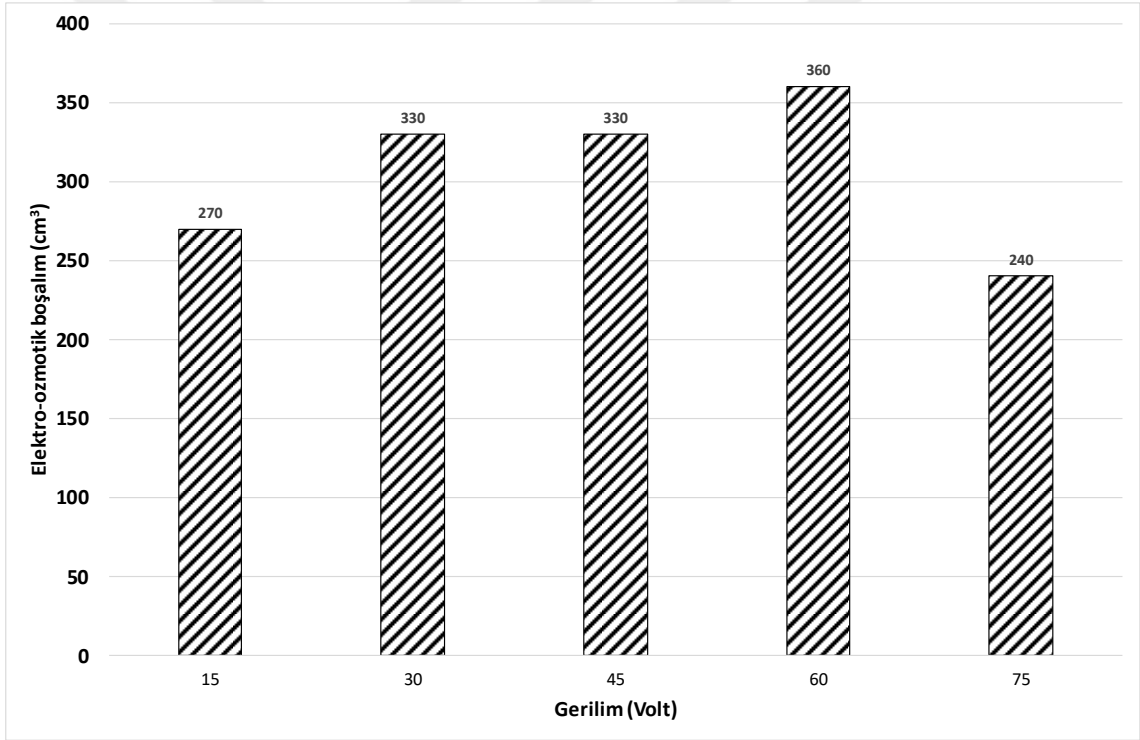
Şekil 4.25 B-konfigürasyonu voltaj ile su muhtevası arasındaki ilişki



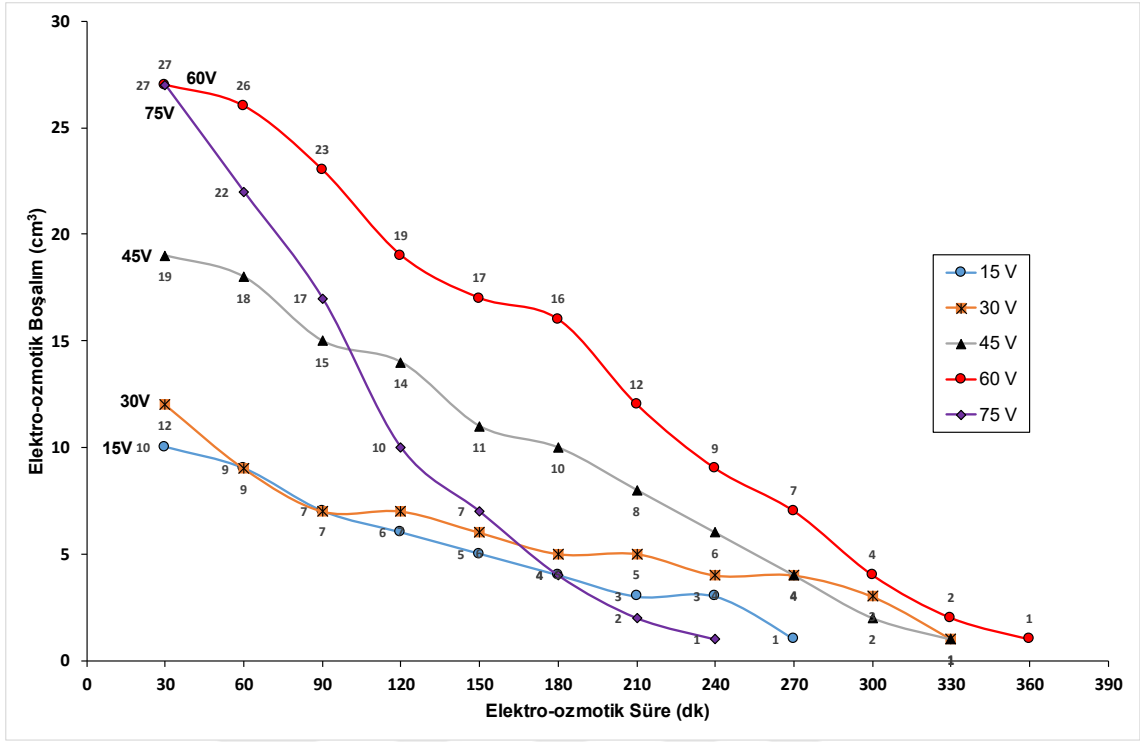
Şekil 4.26 B-konfigürasyonu elektro-ozmotik boşalım ile tüketilen enerji arasındaki ilişki

4.3 Elektro-Osmoz Deneyleri C-konfigürasyonu Sonuçları ve Değerlendirmesi

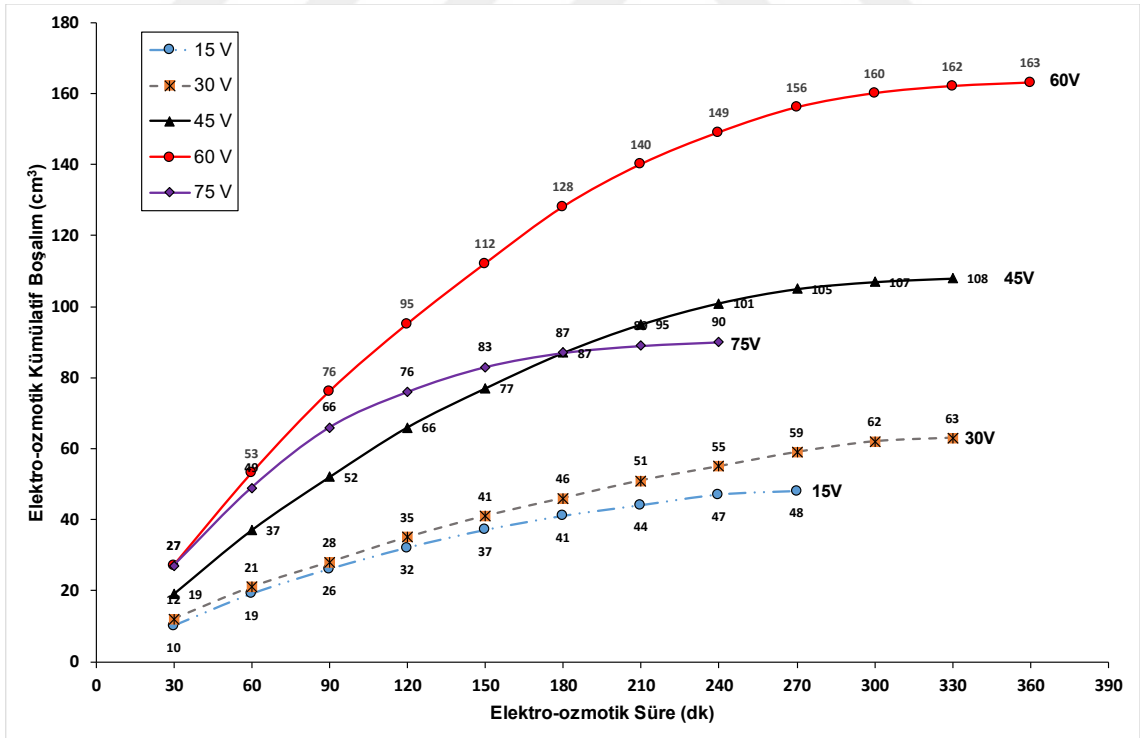
Elektro-osmoz deneyleri C-konfigürasyonunda düz çelik anot çubukları katod borusunun sağında ve solunda 15cm mesafede ve yine delikli çelik anot çubukları bakır katod borusundan 7.5cm uzaklıkta olacak şekilde yerleştirilerek 15, 30, 45, 60 ve 75 gibi 5 farklı voltaj aralıklarında deneyler yürütülmüştür. Uygulanan voltajla elektro-ozmotik boşalım süresi belli bir voltaja kadar artmıştır ve en yüksek elektro-ozmotik süre 480dk ile 60 volt uygulandığında olmuştur. 60 volttan sonra ise elektro-ozmotik süre azalmıştır (Şekil 4.27). C-konfigürasyonunda 5 farklı voltaj durumu için boşalım grafikleri çizilmiş ve her 30 dakidaki su deşarjı-boşalım Şekil 4.28'de ve her bir voltaj aralıkları için kümülatif-birikimli su deşarjı-boşalım ilişkisi Şekil 4.29'da gösterilmiştir. Söz konusu bu şekiller incelendiğinde tüm voltajlarda zamanla elektro-ozmotik boşalımın giderek azaldığı ve en yüksek boşalım ve kümülatif boşalımın 60 volt elektrik verildiğinde 360 cm³ olduğu görülmüştür.



Şekil 4.27 C-konfigürasyonu farklı voltajlar ile elektro-ozmotik süreler



Şekil 4.28 C-konfigürasyonu farklı voltajlar için elektro-ozmotik süre ile boşalım arasındaki ilişki



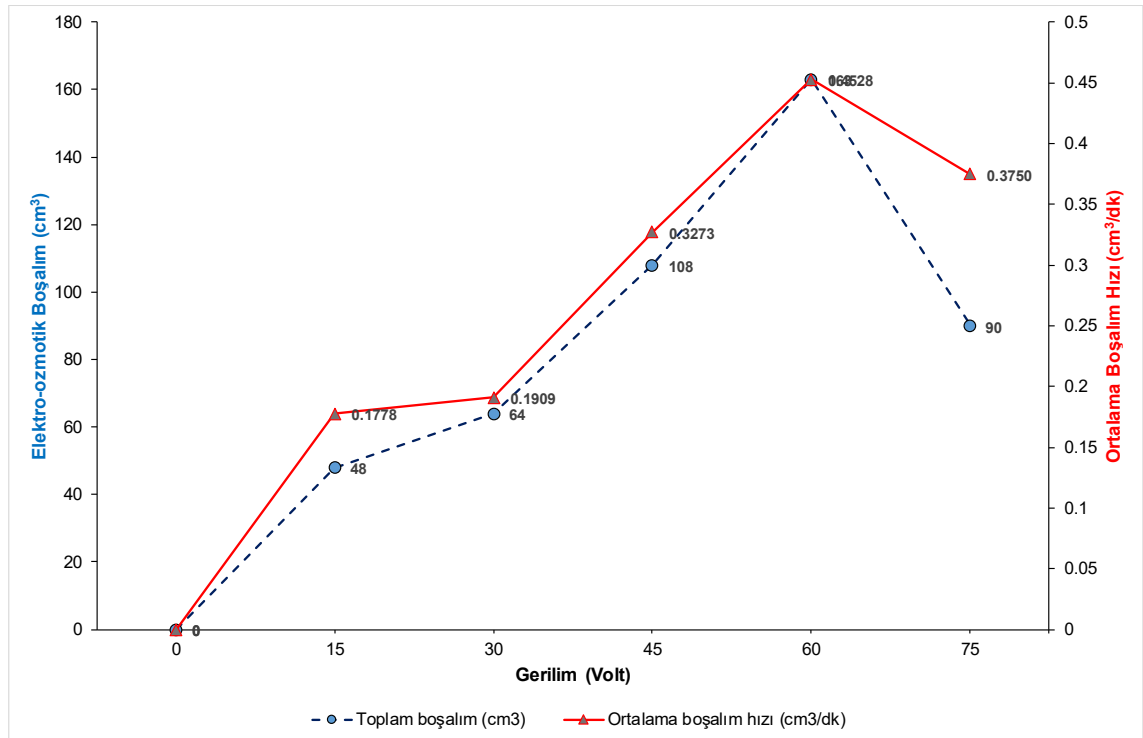
Şekil 4.29 C-konfigürasyonu farklı voltajlar için elektro-ozmotik süre ile kümülatif boşalım ilişkisi

C-konfigürasyonunda elektro-osmoz yönteminde başlangıç ve 15volt, 30volt, 45volt, 60volt, ve 75volt volt için uzaklaştırılan su miktarları, ortalama sıcaklık, elektrik akımı, elektrik direnci, elektrik iletkenliği, harcanan enerji ile gıda malzemesinin kuru ve doymun birim hacim ağırlıkları, porozite,

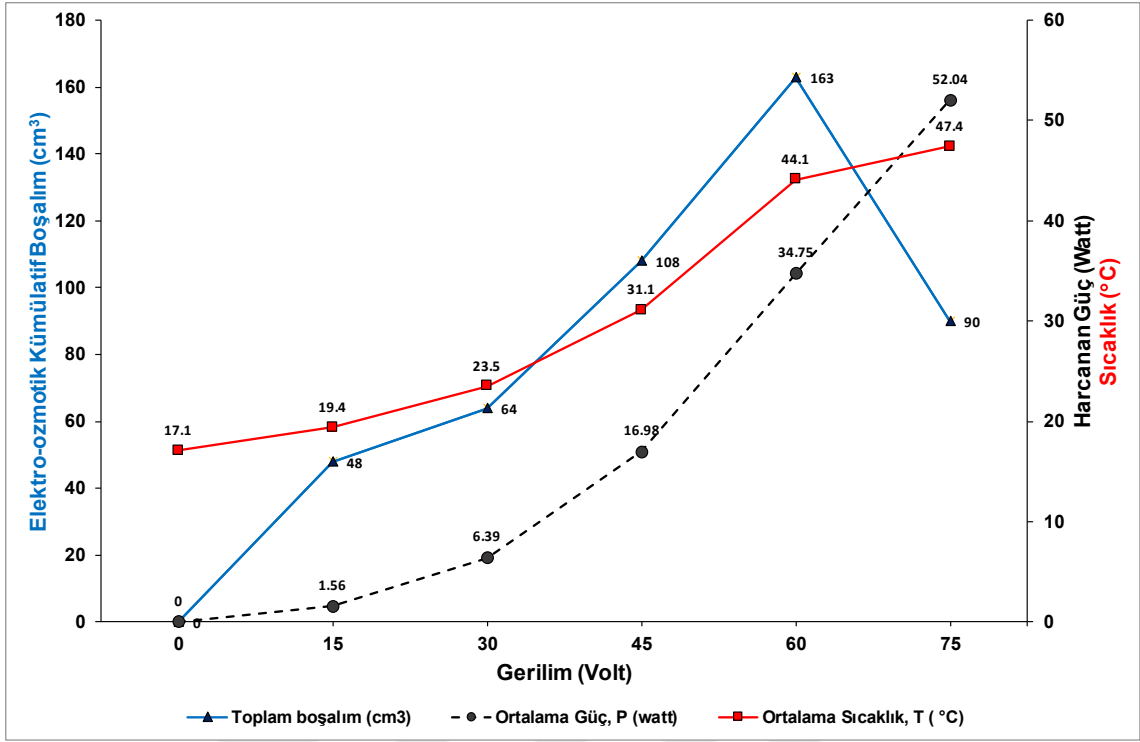
boşluk oranı ve su muhtevası gibi bazı zemin mekaniği özellikleri de belirlenmiş ve Çizelge 4.3' de özetlenmiştir. Çizelgedeki veriler kullanılarak Elektro-ozmotik parametreler arasında ilişkiler geliştirilmiştir. Şekil 4.30'da voltaj ile kümülatif boşalım ve boşalım hızı arasındaki ilişki görülmektedir. Şekildende görüldüğü gibi voltaj arttıkça kümülatif boşalım ve boşalım hızı artmakta 60 volt'tan sonra boşalım hızı artarken 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 4.31' de verilmiştir. Voltaj arttıkça enerji tüketimi ve ortamın sıcaklığında artmış 75volt'ta 47.4 °C' ye kadar yükselmiştir. Benzer şekilde voltajla elektro-ozmotik su boşalımını ve ortamın elektrik direnci arasındaki ilişki Şekil 4.32'de gösterilmiştir. Ortamın elektrik direnci düştükçe su boşalımını artmış ve 60 volt'ta en düşük dirençte en yüksek su boşalımını, 163ml olarak gerçekleştirmiştir.

Çizelge 4.3 Elektro-osmoz deneyi C-Konfigürasyonu değişik voltajlar için ölçülen ve hesaplanan parametreler

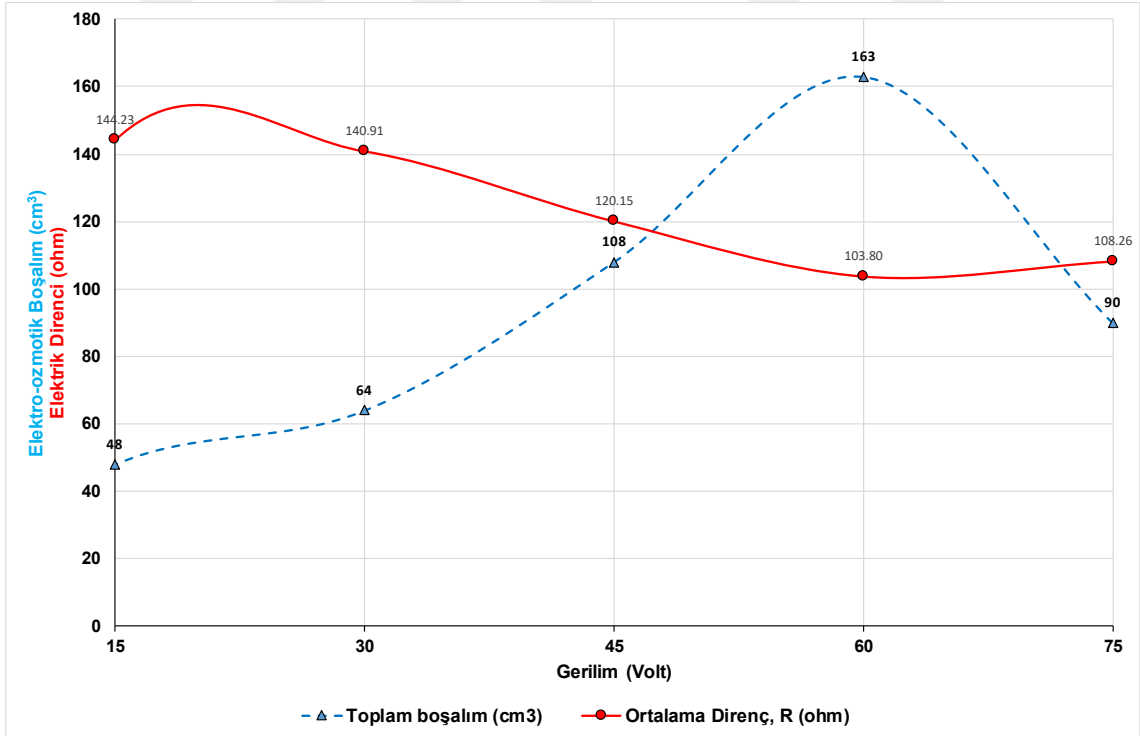
Gerilim (Volt)	Kuru birim hacim ağırlık (gr/cm ³)	Suya Doymun birim hacim ağırlık (gr/cm ³)	Porozite, n (V _{boşluk} /V _{toplam}) (%)	Boşluk oranı, e (n/1-n) (%)	Su muhtevası \bar{w} (W _{su} /W _{kati}) (%)	Toplam boşalım (cm ³)	Toplam boşalım süresi (dk)	Ortalama boşalım hızı (cm ³ /dk)	Ortalama Sıcaklık, T (°C)	Ortalama akım, i (amper)	Ortalama Direnç, R (ohm)	Ortalama İletkenlik (ohm ⁻¹)	Ortalama Güç, P (watt)
0	1.06	1.79	72	2.6	68	0	0	0	17.1	0	0	0	0
15	1.26	1.88	0.64	1.77	51	48	270	0.1778	19.4	0.104	144.23	0.0069	1.56
30	1.25	1.85	0.59	1.43	47	64	330	0.1909	23.5	0.213	140.91	0.0071	6.39
45	1.37	1.90	0.54	1.17	39	108	330	0.3273	31.1	0.378	120.15	0.0084	16.98
60	1.34	1.76	0.41	0.69	31	163	360	0.4528	44.1	0.579	103.80	0.0097	34.75
75	1.38	1.71	0.33	0.43	24	90	240	0.3750	47.4	0.694	108.26	0.0093	52.04



Şekil 4.30 C-konfigürasyonu farklı voltajlar için elektro-ozmotik boşalım ve ortalama boşalım hızı ilişkisi

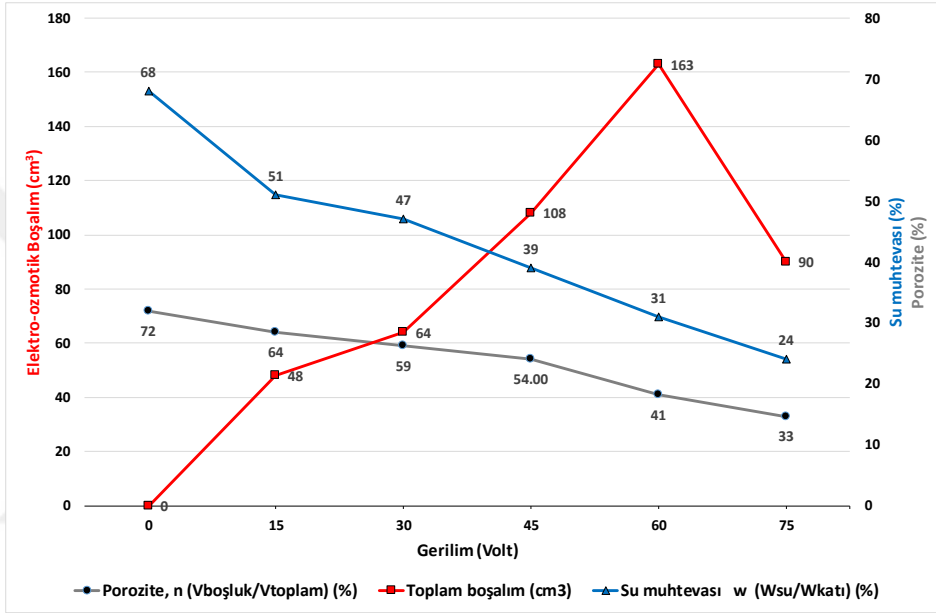


Şekil 4.31 C-konfigürasyonu farklı voltajlar için elektro-ozmotik boşalım, harcanan enerji ve sıcaklık ilişkisi

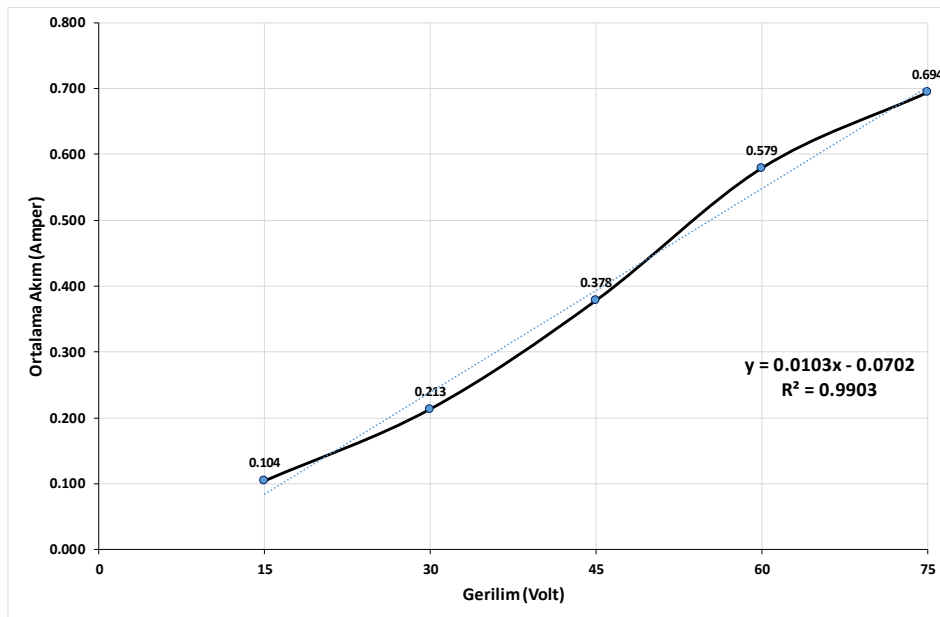


Şekil 4.32 C-konfigürasyonu farklı voltajlar için elektro-ozmotik boşalım ve elektrik direnci arasındaki ilişki

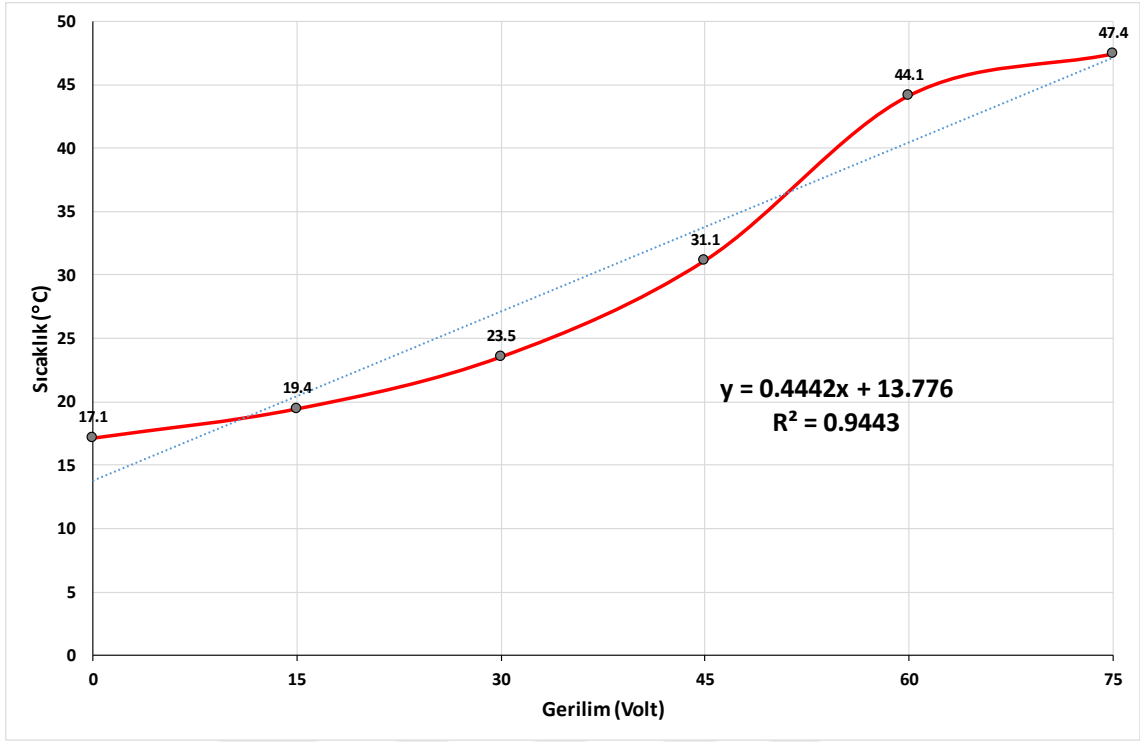
Yukarıda C konfigürasyonu için voltajla diğer elektro-ozmotik parametreler arasındaki ilişkilerden başka gıdya malzemesinin zemin mekaniği özelliklerindeki değişimler arasında da karşılaştırmalar da yapılmıştır. Artan voltajla su boşalımı artarken gıdya malzemesinin porozitesi ve su muhtevasının azaldığı Şekil 4.33'de gösterilmiştir. Elektro-osmoz parametrelerinden voltaj ile gıdya ortamından geçen elektrik akımı arasında ve ortam sıcaklığı arasında yüksek korelasyonlu lineer bir ilişki olduğu Şekil 4.34 ve Şekil 4.35'de gösterilmiştir.



Şekil 4.33 C-konfigürasyonu farklı voltajlar için elektro-ozmotik boşalım, porozite ve su muhtevası ilişkisi

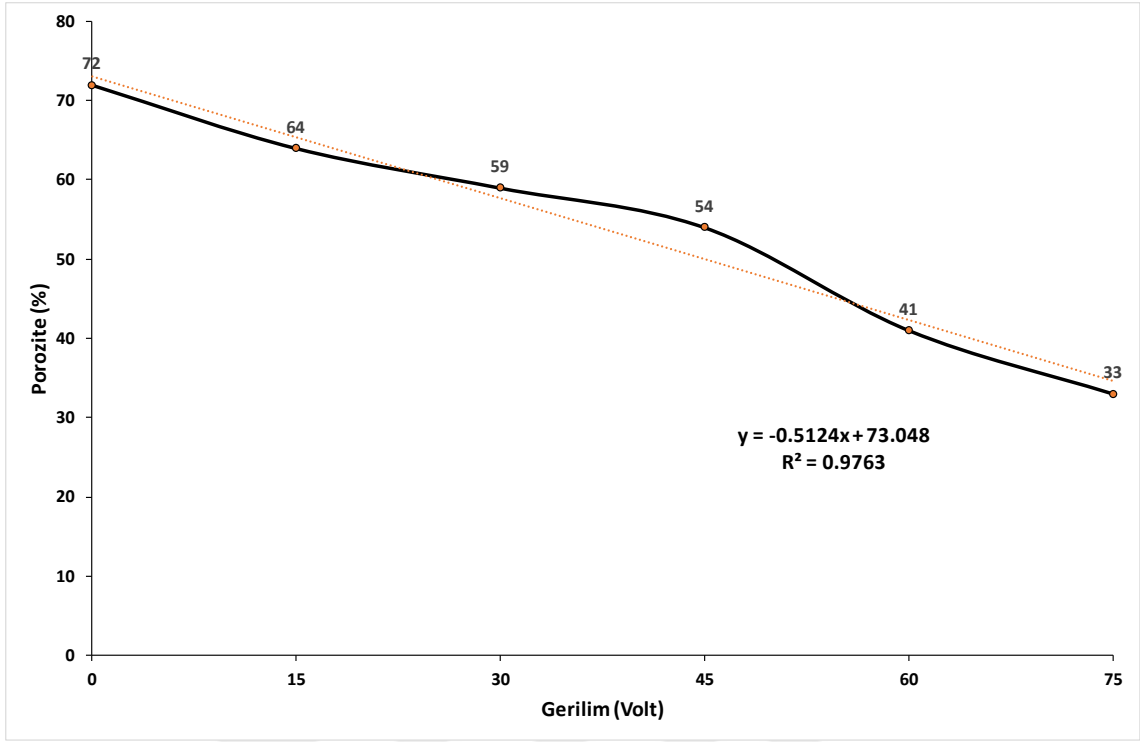


Şekil 4.34 C-konfigürasyonu voltaj ile akım arasındaki ilişki

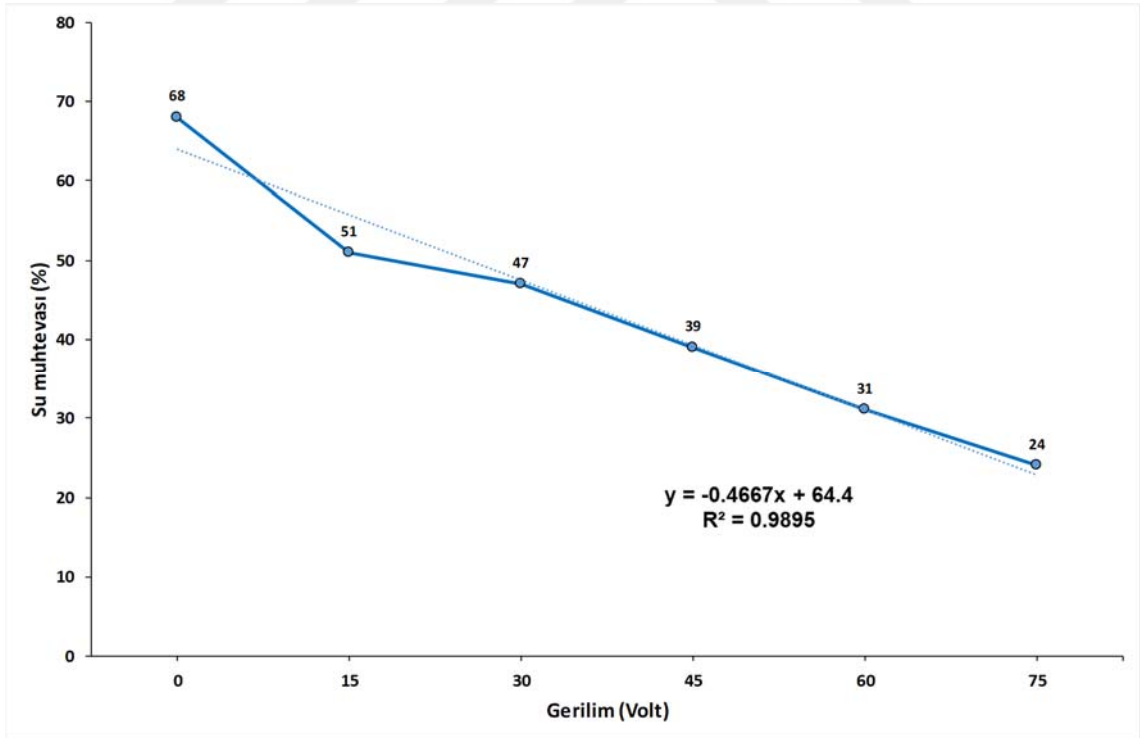


Şekil 4.35 C-konfigürasyonu voltaj ile sıcaklık arasındaki ilişki

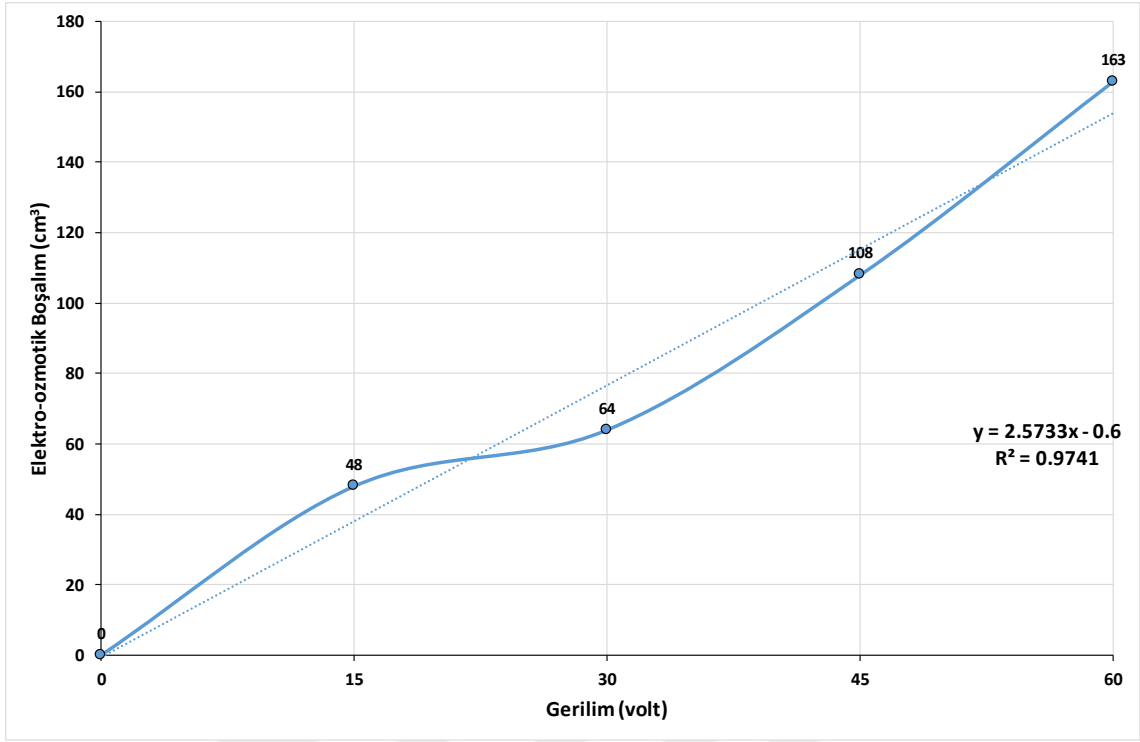
C konfigürasyonu elektro-ozmotik parametrelerden voltaj ile gıda malzemesinin porozitesi ve su muhtevası arasında yüksek korelasyon katsayılı lineer bir ilişki olduğu ve sırasıyla Şekil 4.36 ve Şekil 4.37 'de görülmektedir. Ortama verilen elektrik ile elektro-ozmotik boşalım arasındaki yüksek korelasyonlu ilişki Şekil 4.38'de yine boşalım ile harcanan enerji arasındaki ilişki ise Şekil 4.39'da verilmiştir.



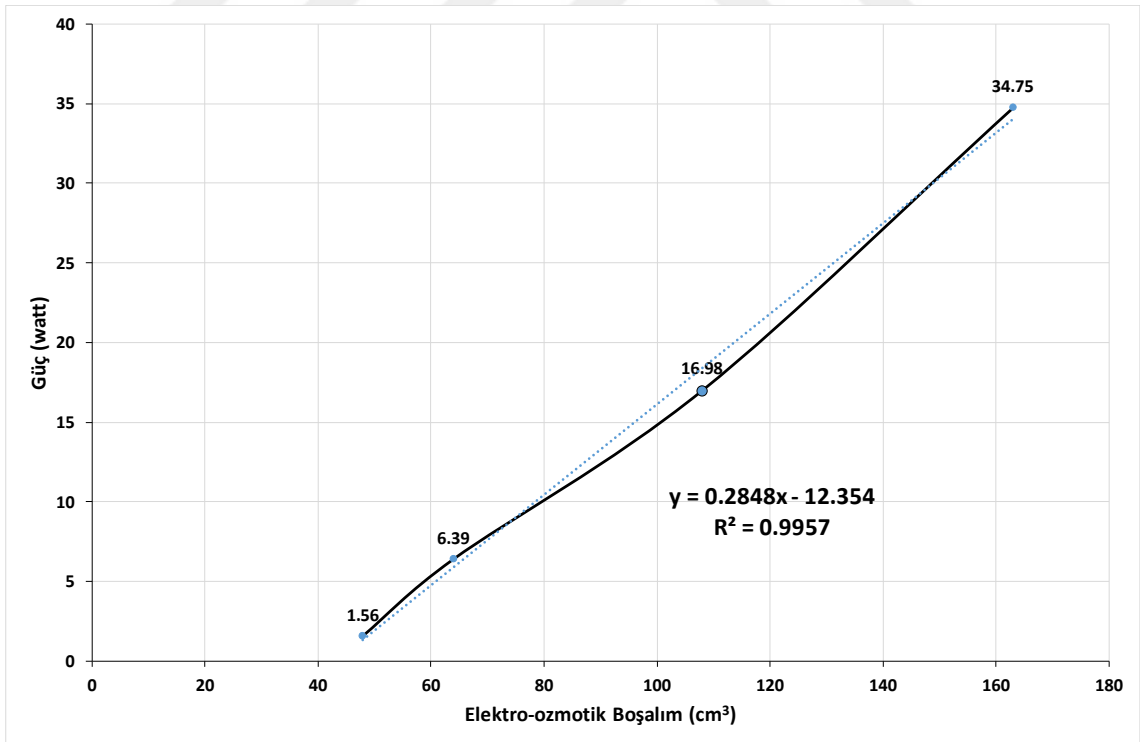
Şekil 4.36 C-konfigürasyonu voltaj ile porozite arasındaki ilişki



Şekil 4.37 C-konfigürasyonu voltaj ile su muhtevası arasındaki ilişki



Şekil 4.38 C-konfigürasyonu voltaj ile elektro-ozmotik su boşalım arasındaki ilişki



Şekil 4.38 C-konfigürasyonu elektro-ozmotik su boşalım ile tüketilen enerji arasındaki ilişki

5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

5.1 Sonuçlar

Bu tez çalışmasında Afşin-Elbistan kömür havzasında kömür tabakalarının üzerinde bulunan silt ve kil içeren gıda adı verilen malzemenin laboratuvar ortamında elektro-osmoz deneyleri ile susuzlaştırması araştırılmıştır. Deneylerde anod çubuklarının A-(katoddan 15cm uzaklıkta), B-(katoddan 7.5cm uzaklıkta) ve C-(katoddan 7.5cm uzaklıkta delikli anod ve katoddan 15cm uzaklıkta düz çelik anod) olmak üzere üç farklı konumda elektrodulara 15 volt, 30 volt, 45 volt, 60 volt, 75 volt ve 90 volt elektrik verilmiştir. Her bir voltaj için katod 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 Microsoft excell programı kullanılarak tablo ve grafikler çizilerek elektro-ozmotik parametreler arasında ilişkiler geliştirilmiştir. Verilerin değerlendirilmesiyle aşağıdaki sonuçlar ortaya çıkarılmıştır.

- a) Tüm deneylerde gıda malzemesinden yerçekimi ile alınamayan su elektro-osmoz yöntemi ile alınabildiği görülmüştür. Her bir anod konfigürasyonları için değişik voltajlarda ölçülen elektro-ozmotik su boşalımını, elektro-ozmotik süre ve harcanan enerji miktarları aşağıda özetlenmiştir. En yüksek su boşalımının ve elektro-ozmotik sürenin 60 volt'ta A-konfigürasyonunda gerçekleştiği görülmüştür.

	Elektro-ozmotik su boşalım (cm ³)					Elektro-ozmotik süre (dk)					Harcanan enerji (Watt)				
	15 Volt	30 Volt	45 Volt	60 Volt	75 Volt	15 Volt	30 Volt	45 Volt	60 Volt	75 Volt	15 Volt	30 Volt	45 Volt	60 Volt	75 Volt
A-Konfigürasyonu	26	72	180	267	91	270	300	420	480	240	1.01	5.58	18.25	41.32	54
B-Konfigürasyonu	34	64	98	91	72	240	300	330	300	180	1.57	5.99	17.05	34	44.33
C-Konfigürasyonu	48	64	108	163	90	270	330	330	360	240	1.56	6.39	16.98	34.75	52.04

- b) Her bir anod konfigürasyonları için değişik voltajlarda gıda malzemesinin bazı zemin mekaniği özelliklerindeki değişimler aşağıdaki tabloda özetlenmiştir. Elektro-osmoz deneyleri sonucu gıda malzemesinin bütün konfigürasyonlarda kuru birim hacim ağırlığının arttığı, porozitesinin azaldığı ve su muhtevasının da azaldığı görülmüştür. Kuru birim hacim ağırlığı başlangıçta 1.06 gr/cm³ ten B konfigürasyonunda 1.44 gr/cm³ seviyesine, başlangıçta porozitenin %72 'den C konfigürasyonunda %33'e ve başlangıçtaki su muhtevasının %68'den C konfigürasyonunda % 24 seviyesine düştüğü görülmüştür.

	Kuru birim hacim ağırlık (gr/cm ³)						Porozite (%)						Su muhtevası (%)					
	0 Volt	15 Volt	30 Volt	45 Volt	60 Volt	75 Volt	0 Volt	15 Volt	30 Volt	45 Volt	60 Volt	75 Volt	0 Volt	15 Volt	30 Volt	45 Volt	60 Volt	75 Volt
A-Konfigürasyonu	1.06	0.76	0.71	0.72	0.84	1.23	72	49	42	40	41	56	68	62	59	56	49	45
B-Konfigürasyonu	1.06	1.18	1.25	1.27	1.41	1.44	72	67	55	49	44	40	68	56	44	36	31	28
C-Konfigürasyonu	1.06	1.26	1.25	1.37	1.34	1.38	72	64	59	54	41	33	68	51	47	39	31	24

- c) Elektro-ozmotik parametrelerden voltaj ile gıda malzemesinin porozitesi, su muhtevası ve ortam sıcaklıkları arasında yüksek korelasyon katsayılı bağıntılar geliştirilmiş ve aşağıdaki tabloda gösterilmiştir. Voltaj ile porozite arasındaki en yüksek korelasyon katsayısına sahip ilişki A-konfigürasyonunda, voltaj ile su muhtevásındaki en iyi ilişki C-konfigürasyonunda ve voltaj ile sıcaklık arasındaki en yüksek ilişki ise yine A-konfigürasyonunda olduğu görülmüştür.

	Voltaj-Porozite Bağıntısı	Voltaj-Su muhtevası bağıntısı	Voltaj-Sıcaklık Bağıntısı
A-Konfigürasyonu	$y = 2x^2 - 12.6x + 59.5, R^2 = 0.9960$	$y = -0.3219x + 68.4, R^2 = 0.9773$	$y = 0.4057x + 13.514, R^2 = 0.9491$
B-Konfigürasyonu	$y = -0.4333x + 70.5, R^2 = 0.9473$	$y = -0.46x + 63.7, R^2 = 0.9372$	$y = 0.3537x + 14.486, R^2 = 0.9363$
C-Konfigürasyonu	$y = -0.5124x + 73.048, R^2 = 0.9763$	$y = -0.4667x + 64.4, R^2 = 0.9895$	$y = 0.4442x + 13.776, R^2 = 0.9443$

5.2 Öneriler

Afşin-Elbistan kömür havzasında gıda tabakalarının susuzlaştırma işlemi hâlihazırda sondajlarla yapılmaktadır. Yetkililerin belirttiğine göre gıda kuyuları adı verilen kuyularda çok beklenmesine rağmen su seviyesinin artmadığı veya kuyudan pompa ile su çekilmesine rağmen su seviyesinin yükselmediği belirtilmektedir. Yapılan bu yüksek lisans çalışması bu tabakalardan suyun deşarjı için elektro-osmoz yönteminin kullanılabileceği ortaya konmuştur. Bu yöntemin havzada seçilecek pilot bölge için denemelerin yapılması önerilir. Havzadaki diğer ince malzeme içeren tabakalar için de bu yöntemin uygulanması bölgedeki susuzlaştırma faaliyetlerine yenilikçi bir yaklaşım getireceği düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

- Akbulut, İ., Aksoy, T., Çağlan, D., Ölmez, T.** (2007). *Afşin - Elbistan Kışlaköy Açık Kömür İşletmesi Şev Stabilitesi Çalışması (1. Kısım)*. MTA Genel Müdürlüğü, Fizibilite Etütleri Dairesi Başkanlığı, Kaya ve Zemin Mekaniği Birimi, Ankara, 228 s.
- Akbulut, İ., Aksoy, T., Ölmez, T., Çağlan, D., vd.** (2008). *Afşin – Elbistan Kışlaköy Açık Kömür İşletmesi 2. Kısım 1. Bölüm Şev Stabilitesi Çalışması*. MTA Genel Müdürlüğü, Fizibilite Etütleri Dairesi Başkanlığı, Jeoteknik Araştırmalar Koordinatörlüğü, Ankara, 310 s.
- 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
- 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
- Bedi, Y., Yusufoglu, H., Usta, D., Özkan, M.K., Beyazpirinç, M., Yıldız, H.,** (2009). *Doğu Torosların jeodinamik Evrimi (Afşin-Elbistan-Göksun-Sarız dolayı)*. MTA Genel Müdürlüğü Rapor No: 11150, Ankara, 388 s.
- Besbelli, B., Karaca, K., Gökmenoğlu, O.** (2009). *Afşin-Elbistan Kömür Havzası HB ve HD Sektörlerinin Jeoloji, Rezerv ve Hidrojeoloji Raporu*. MTA Genel Müdürlüğü, Enerji Hammadde Etüt ve Arama Dairesi Başkanlığı, Ankara, 262 s.
- 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.
- Burmister, D.M.** (1951). Identification And Classification Of Soils-An Appraisal And Statement Of Principles. ASTM Stp 113, Amer. Soc. For Test And Mat., Philadelphia, Pa, 3-24, 85-91
- 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., Loughney, R. W., and Matich, M. A. J. (1961)**. Electro-osmotic stabilization of a high slope in loose saturated silt, *Proceedings of the Fifth International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering*, Paris, Vol. II, pp. 555–558.

- 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.
- D.H., Gray,** (1970). *Geotechnique*, 2081-93.
- D.H., Gray,** and H.K., Mitchell, (1967). *Journal of the Soil Mechanics and Foundations*, ASCE 93 209-236.
- Darcy, A.** (1856). *Les Fontaines Publiques de la Ville de Dijon*, Dalmont, Paris.
- Das, M.B.** (2008). *Advanced Soil Mechanics*. Taylor and Francis, New York, 594p.
- Doyuran, V.** (1976). Maden işletmeciliğinde yeraltısuyu sorunları ve hidrojeolojik yaklaşım, Madencilik Dergisi, Sayı: 5 Cilt: 15, 22-30s.
- Fetzer, C. A.** (1967). Electro-osmotic stabilization of West Branch Dam, *Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division*, ASCE, Vol. 93, No. SM 4, pp. 85–106.
- Gökmenoğlu, O., Aslan, M.** (2013). *Afşin-Elbistan Kömür Havzası Hidrojeoloji İncelemesi Projesi Hurman Çayı Doğu Bölgesi Drenaj Raporu*. MTA Genel Müdürlüğü, Enerji Hammadde Etüt ve Arama Dairesi Başkanlığı, Ankara, 236 s.
- Greenslade, M.W.** (1975). Yeraltı Madenciliğinde Su Atım Sorunları, Mining Congress Nov. *Madencilik Dergisi* Cilt XV sayı 3 44-47s.
- 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.
- Hausmann M.R.** (1990), "Engineering Principles of Ground Modification" McGraw-Hill Ryerson, Limited, 632p.
- Helmholtz, H.** (1879). Studien u"ber elektrische Grenzschiehten, *Wiedemanns Annalen d. Physik*, Vol. 7, p. 137.
- Helmholz, 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.
- 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.geotexmem.2010.11.011
- 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 Elecetro-Kinetic Geosynthetics, *EuroGeo4 Keynote Paper*.
- Karpuz, C., Tutluoğlu, Öge, F., (2010).** *Elbistan-Çöllolar Açık Ocak İşletmesi Heyelan Analizleri ve Çözüm Önerileri*. Teknokent Projesi, Ortadoğu Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Ankara, 117 s.
- Karpuz, C., Tutluoğlu, L., Bakır, S., Koçal, A., Öge, F., (2008).** *Elbistan-Çöllolar Sektörü, Linyit Sahası Sev Duraylılığı Çalışması ve Laboratuar Deneyleri*. Ortadoğu Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Maden-İnşaat Mühendisliği Bölümleri, Ankara, 59 s.
- Köse, H., Gürgen, S.** (1989). Madenlerde Su Atımı, D.E.Ü. Müh. Fak. MMF/MAD-89 EY 159, İzmir, 102s.
- Kravath, F. F.** (1954). Soil Stabilization by Elektro-Osmosis, *The Military Engineer* Vol. 46, No. 312, pp. 273-275 (3 pages) Published by: Society of American Military Engineers, <https://www.jstor.org/stable/44570171>
- Lambe, T.W. and Whitman, R.W.** (1969). Soil Mechanics, MIT, John Wiley&Sons, 547p.
- Lang, B.** (1999). Permanent Sealing of Tunnels to retain Tailings or Acid Rock Drainage. – In: Fernández Rubio, R.: Mine, Water & Environment II. – p. 647–655, 6 fig., 3 tab.; Sevilla (International Mine Water Association).
- Lee, M.** (2000). An Experimental and Analytical Study of Electrokinetic Consolidation, *PhD thesis*, Univ. of Oxford, 245p.
- Long, E., and George, W.** (1967). Turnagain slide stabilization, Anchorage, Alaska, *Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division*, ASCE, Vol. 93, No. SM 4, pp. 611-627.
- Loofbourow, R.L.** (1973). Ground water and ground - water control: SME Mining Engineering Handbook, Vol. 2, s. 26. 2 - 26. 55, New York.
- Means, R.E. ve Parcher, J.W.,** (1963). Physical Properties Of Soils. Charles E. Merril Comp.
- 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.
- MTA (1990).** Afşin-Elbistan havzası 1/25000 ölçekli haritalar.
- Nicholson, P., G.** (2015). Soil Improvement and Ground Modification Methods. 455p.
- Park Teknik A.Ş.** (2014). Çöllolar Açık İşletmesi Faaliyet Raporu, 29s.

- Peter G. Nicholson, P. G.** (2011). Soil Improvement and Ground Modification Methods, ISBN 978-0-12-408076-8 Butterworth-Heinemann No. of pages 472.
- 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 Société Imperiale de Naturalistes de Moscou*, Vol. 2, 327-337.
- Rittirong, A., Shang, J.** (2015). Electro-Osmotic Stabilization, Chapter 14. Ground improvement. Case Histories, Chemical, Elektrokinetic, 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.
- Somerville S.H.** (1986), "Control of Groundwater for temporary works" CIRIA Report 113.
- Tan, K.H.** (1993). Principles of soil chemistry. 2nd ed. Marcel Dkker, Inc.
- Tatar, Ç., Köse, H., Gürgen, S.** (2013). Madenlerde Su Atımı ve Pompalar, Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yayınları No:258. İzmir, 125s.
- Taştekin, C., Ata, E., Erkasap, M., Demir, H.** (2015). Afşin – Elbistan Kömür Havzası Yeraltısuyu Yönetimi ve Susuzlaştırma Projeksiyonu, 68. Türkiye Jeoloji Kurultayı 06-10 Nisan/April 2015 68th Geological Congress of Turkey
- Thomas T. J. and Lentz R. W.** (1990). Changes in soil plasticity and swell caused by electro-osmosis, PhysicoChemical Aspects of Soil and Related Material, ASTM STP 1095 (Edited by Hoddinott K. B. and Lamb R. O.), pp. 108-117. Am. Soc. Test. Mater. Philadelphia, Pa.
- Ural, S., Çetin, M., Çan, T., Baysal, C.V.** (2014). *Çöllolar Kömür Sahası Entegre Susuzlaştırma Projesi*. Çukurova Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Adana, 69 s.
- U.S. Army Corps of engineers** (1983).
- 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.
- Ying Li, Y., Xiaonan Gong, X., Mengmeng Lu, M. and Tao Y.** (2012). Non-mechanical behaviors of soft clay in two-dimensional electro-osmotic consolidation, *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*. 2012, 4 (3): 282–288
- 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.
- Yoshid, 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.

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.

Yükselen, Y. and Erzin, Y. (2008). Artificial neural networks approach for zeta potential of Montmorillonite in the presence of different cations, *Environmental Geology*, 54 1059-1066.

Zhou, J., Liu, Z., She, P. and Ding, F. (2001). Water removal from sludge in a horizontal electricfield. *Drying Technology* 19 (3&4), 627-63 S.

Url-1: <http://www.terrancorp.com/content/case-electroosmosis-remediation>

Url-2 : <https://www.multiphysics.us/electrokinetics.html>

Url-3: www.electrokinetic.co.uk

Url-4: <https://www.enerji.gov.tr/tr-TR/Sayfalar/Komur>



ÖZGEÇMİŞ

Kişisel bilgiler

Adı Soyadı	Kaan Volkan ÖZDEMİR
Doğum Yeri ve Tarihi	Malatya, 1989
Medeni Hali	Evli
Yabancı Dil	İngilizce
İletişim Adresi	Paşaköşkü Mah. İsmetpaşa Cad. Emanet Apt. No: 9/8 MALATYA / Battalgazi
E-posta Adresi	kaannvolkann @ gmal.com
Telefon	0(506) 497 71 45

Eğitim ve Akademik Durumu

Lise	Cumhuriyet Lisesi, 2005
Lisans	Cumhuriyet Üniversitesi, 2010
Yüksek Lisans	Cumhuriyet Üniversitesi, 2014

İş Tecrübesi

Kardeşmer Mermer Nak. Ltd. Şti	Vardiye Sorumlusu, 2014-2015
8. Karayolları Genel Müdürlüğü	Vardiya Sorumlusu, 2015-2017

Yayınlar

Kongreler ve Bildiriler

Yüksek, S., Özdemir K.V. (2018). Heyelanlarda Suyun Rolü ve Susuzlaştırmada Yeni bir Yöntemin Uygulanabilirliği, HEYSEMP, 2. Ulusal Heyelan Sempozyumu AFAD, 11-12 Ekim 2018, Ankara.

Ödüller, Teşvikler ve Üyelikler

MADEN MÜHENDİSLERİ ODASI