



T.C.

**ÇANAKKALE ONSEKİZ MART ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**TUZLU TOPRAKLARIN ARITIMINDA ELEKTROKİNETİK
YÖNTEM YAKLAŞIMI
YÜKSEK LİSANS TEZİ**

BUSE ÖZENTÜRK

Tez Danışmanı

DOÇ. DR. ÖZNUR KARACA

ÇANAKKALE – 2022



T.C.

ÇANAKKALE ONSEKİZ MART ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
JEOLJİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**TUZLU TOPRAKLARIN ARITIMINDA ELEKTROKİNETİK YÖNTEM
YAKLAŞIMI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

BUSE ÖZENTÜRK

Tez Danışmanı

Doç. Dr. Öznur KARACA

Bu çalışma, Çanakkale Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Bilimsel Araştırma
Projeleri kurumu tarafından desteklenmiştir.

Proje No: FBA-2020-3307

ÇANAKKALE – 2022



T.C.
ÇANAKKALE ONSEKİZ MART ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ



Buse ÖZENTÜRK tarafından Doç. Dr. Öznur KARACA yönetiminde ve Prof. Dr. Emin Uğur ULUGERGERLİ'nin ikinci danışmanlığında hazırlanan ve **06/07/2022** tarihinde aşağıdaki jüri karşısında sunulan “**Tuzlu Toprakların Arıtımında Elektrokinetik Yöntem Yaklaşımı**” başlıklı çalışma, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Jeoloji Mühendisliği **Anabilim Dalı**'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak oy birliği ile kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmza

Doç. Dr. Öznur KARACA

(Danışman)

Prof. Dr. Çetin KANTAR

Prof. Dr. Yeliz YÜKSELEN AKSOY

.....

.....

.....

Tez No :

Tez Savunma Tarihi : 06/07/2022

.....
İSİM SOYİSMİ

Enstitü Müdürü

.././20..

ETİK BEYAN

Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Tez Yazım Kuralları'na uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada; tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi, tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu, tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi, kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı, bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu, bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi taahhüt ve beyan ederim.

Buse ÖZENTÜRK

06/07/2022

TEŞEKKÜR

Tez çalıőmam boyunca yardımını esirgemeyen danışman hocam Doç. Dr. Öznur KARACA'ya, Prof. Dr. Emin Uğur ULUGERGERLİ'ye ve Prof. Dr. Claudio CAMESELLE'ye (Vigo Üniversitesi) teőekkürlerimi sunarım. Çalıőmam boyunca destek olan kuzenim Çisem KIRBIYIK ve hayatımın her noktasında yanımda bulunan annem ve babama sevgilerimle.

Buse ÖZENTÜRK

anakkale, Temmuz 2022

ÖZET

TUZLU TOPRAKLARIN ARITIMINDA ELEKTROKİNETİK YÖNTEM YAKLAŞIMI

Buse ÖZENTÜRK

Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Doç. Dr. Öznur KARACA

İkinci Danışman: Prof. Dr. Emin Uğur ULUGERGERLİ

06/07/2022, 36

Bu tez kapsamında, Çanakkale ili sınırları içerisinde yer alan Kavak Deltası'ndan alınan tuzlu toprak numuneleri üzerinde elektrokinetik yöntem ile arıtım çalışması yapılmıştır.

Çalışma sahasından alınan toprak örneklerinin analiz sonuçlarında göre; tuzluluğa neden olan iyonlar arasında 13747 mg/kg kalsiyum ilk sıradadır. Bunu takiben diğer katyonlar sırasıyla magnezyum, sodyum, potasyum şeklindedir. Ek olarak pH ve elektriksel iletkenlik değerleri sırasıyla 6,84 ve 15,96 mS/cm'dir. % NaCl eşdeğeri olarak tuzluluk değeri ise 9,33 'tür.

Çalışmada, toprak örnekleri 40x58x15 cm ölçülerinde plastik bir kap içerisine doldurulmuştur. Elektrik iletimi için boyu 10 mm ve çapı Ø150 mm olan altı adet grafit elektrot kullanılmıştır. Elektrot dizilimi çift sıra halinde anot ortada olacak şekilde seçilmiştir ve elektrotlar arası mesafe göz önüne alınarak 17V sabit gerilim uygulanmıştır. Yaklaşık 35 gün süren deney esnasında elektrotların korozyona uğraması nedeniyle anot bölgesindeki elektrotlar yenilenmiştir.

Deney sonucunda ise anot bölgesindeki tuzluluk değeri (% NaCl eşdeğeri) ortalama 3,7 ve elektriksel iletkenliği 4,01 mS/cm değerlerine inmiştir. Katot bölgesindeki ortalama tuzluluk değeri (% NaCl eşdeğeri) 8,9 değerine ulaşırken elektriksel iletkenliği az bir değişimle 17,23 mS/cm olarak bulunmuştur. Birleşikler halinde bulunan tuzlar için ise taşınım değerlerinin kısmen daha düşük olduğu belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: anakkale, Tuzluluk, Elektrokinetik Arıtım, Grafit Elektrot, Toprak Kirliliği



ABSTRACT

ELECTROKINETIC APPROACH IN TREATMENT OF SALINE SOILS

Buse ÖZENTÜRK

Çanakkale Onsekiz Mart University

Master of Science Thesis in Geological Engineering

Advisor: Assoc. Prof. Öznur KARACA

Co-Advisor: Prof. Emin Uğur ULUGERGERLİ

06/07/2022, 36

Within the scope of this thesis, an electrokinetic treatment study was carried out on salty soil samples taken from the Kavak Delta located within the borders of Çanakkale province.

According to the analysis results of the soil samples taken from the study area; 13747 mg/kg calcium is in the first place among the ions that cause salinity. Following this, other cations are magnesium, sodium, potassium, respectively. In addition, the pH and electrical conductivity values are 6.84 and 15.96 mS/cm, respectively. The salinity value as % NaCl equivalent is 9.33.

In the study, soil samples were filled into a plastic container with dimensions of 40x58x15 cm. Six graphite electrodes with a length of 10 mm and a diameter of Ø150 mm were used for current injection. The electrode array was chosen in a double row with the anode in the middle and a constant voltage of 17V was applied considering the distance between the electrodes. During the experiment, which lasted about 35 days, the electrodes in the anode area were renewed due to heavy corrosion.

As a result of the experiment, the salinity value (% NaCl equivalent) in the anode region decreased to an average of 3.7 and electrical conductivity to 4.01 mS/cm. While the average salinity value (% NaCl equivalent) in the cathode region reached 8.9, the electrical conductivity was found to be 17.23 mS/cm with little change. It was determined that the transport values for the salts in the combined form were relatively lower.

Keywords: Çanakkale, Salinity, Electrokinetic Remediation, Graphite electrode, Soil Pollution

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

JÜRİ ONAY SAYFASI.....	i
ETİK BEYAN.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
ÖZET	iv
ABSTRACT	vi
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	ix
TABLolar DİZİNİ.....	x
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xi

BİRİNCİ BÖLÜM

GİRİŞ

1.1. Çalışma Amacı Ve Kapsamı	2
1.2. Tuzluluğun Kökeni	3
1.2.1. Doğal (Birincil) Kaynaklı Tuzluluk Oluşumları	4
1.2.2. Yapay (İkincil) Kaynaklı Tuzluluk Oluşumları	4
1.3. Tuzlu Toprakların Sınıflandırılması Ve Bitki Gelişimine Etkisi	5
1.3.1. Tuzluluğun Bitki Üzerindeki Etkileri	6
1.4. Tuzlu Toprakların Islahı	6
1.4.1. Derin Sürüm	6
1.4.2. Kimyasal Islah	7
1.4.3. Toprak Yıkama	7
1.4.4. Fitoremediasyon	7
1.4.5. Elektrokinetik Yöntem	7
1.5. Genel Jeoloji	10
1.5.1. Yeniköy Karmaşığı	12
1.5.2. Gaziköy Formasyonu	12
1.5.3. Keşan Grubu	12
1.5.4. Mezardere Formasyonu	12
1.5.5. Gazhanedere Formasyonu	13

1.5.6. Kirazlı Formasyonu	13
1.5.7. Conkbayırı Formasyonu	13

İKİNCİ BÖLÜM ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR	17
-----------------------------------	----

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM MATERYAL VE YÖNTEM	17
------------------------------------	----

3.1. Materyal	17
3.2. Yöntem	17
3.2.1. Elektrokinetik Deney Düzenine Kurulması	17

DÖRDÜNCÜ BÖLÜM ARAŞTIRMA BULGULARI	19
---------------------------------------	----

4.1. Elektrot Seçiminde Ön Çalışma	19
4.2. Kavak Deltası Toprak Örnekleme	22
4.3. Toprak Analizleri	24
4.4. Elektrokinetik Deney	26
4.4.1. Elektrik Akımı Yoğunluğunun Evrimi	28
4.4.2. Topraktaki pH Değişimleri ve Elektriksel İletkenlik (EC)	29
4.4.3. Elektrokinetik Arıtım ve Tuzluluğun Giderimi	30
4.4.4. Sodyum (Na ⁺) ve Potasyum (K ⁺) Dağılımları	31
4.4.5. Kalsiyum (Ca ²⁺) Ve Magnezyum (Mg ²⁺) Dağılımları	32
4.4.6. Alüminyum ve Demir Dağılımları	32
4.4.7. İnorganik Anyonlar: Nitrat (NO ₃ ⁻), Sülfat (SO ₄ ²⁻) ve Klorür (Cl ⁻)	32

BEŞİNCİ BÖLÜM SONUÇ VE ÖNERİLER	34
------------------------------------	----

KAYNAKÇA	36
----------------	----

ÖZGEÇMİŞ	xxxii
	v

SİMGELER VE KISALTMALAR

cm	Santimetre
EC	Elektriksel iletkenlik
g	Gram
kg	Kilogram
km	Kilometre
L	Litre
m	Metre
mm	Milimetre
mS	Milisiemens
pH	Potansiyel hidrojen
USCS	Birleşik zemin sınıflama sistemi
V	Volt
VDC	Volt sabit akım
%	Yüzde oranı
Ø	Çap

TABLULAR DİZİNİ

Tablo No	Tablo Adı	Sayfa No
Tablo 1	Tuzlu topraklara karşı bitkilerdeki yetişebilirlik	5
Tablo 2	Ön testlerde kullanılan toprak numunesinin deney öncesi fiziko-kimyasal parametreleri	20
Tablo 3	Ön testler sonrası toprağın fiziko-kimyasal parametreleri	22
Tablo 4	Toprak numunesinin deney öncesi fiziko-kimyasal parametreleri	24
Tablo 5	Toprak numunesinin kimyasal parametreleri	25
Tablo 6	Çözünen elementlerin kimyasal parametreleri	25
Tablo 7	Deney sonu saf suda çözündürülen elementlerin kimyasal parametreleri	27
Tablo 8	Elektrokinetik test sonrası fiziko-kimyasal parametreler	29
Tablo 9	Deney sonu katyonların elektrotlara dağılımı	31
Tablo 10	Deney sonu anyonların elektrotlara dağılımı	33

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil No	Şekil Adı	Sayfa No
Şekil 1	Çalışma alanının Google Earth görüntüsü	3
Şekil 2	Elektrotların dizlim çeşitleri	10
Şekil 3	Saros Körfezi çevresinin sadeleştirilmiş jeoloji haritası	11
Şekil 4	Elektrotların dizilimi ve şematik gösterimi	18
Şekil 5	Elektrokinetik deney düzeneği	18
Şekil 6	Ön testlerde kullanılan bakır tel, galvanizli çelik çivi ve alüminyum levhaların dizilimi	19
Şekil 7	Bakır tel ile yapılan çalışmada geçen süre ve akım değerlerinin ilişkisi	20
Şekil 8	Galvanizli çelik çivilerle yapılan çalışmada geçen süre ve akım değerlerinin ilişkisi	21
Şekil 9	Alüminyum levhalarla yapılan çalışmada geçen süre ve akım değerlerinin ilişkisi	22
Şekil 10	Anot bölgesinde kullanılan elektrotların oksidasyonu	22
Şekil 11	Örnekleme yapılan alanın yerbulduru haritası	23
Şekil 12	Toprak örneklerinin alınması ve muhafaza edilmesi	23
Şekil 13	Deney sonu toprak örneklerinin alınması ve isimlendirilmeleri	26
Şekil 14	Aritım çalışması esnasında deforme olan grafit elektrotlar	27
Şekil 15	Geçen süreyle akım değerlerinin ilişkisi	28
Şekil 16	Elektrokinetik test sırasında nem içeriğindeki farklılıklar sonucu oluşan çatlaklar	30

BİRİNCİ BÖLÜM

GİRİŞ

Son yıllarda, iklim değişikliği ve küresel ısınma, toprak tuzluluğu da dâhil olmak üzere birçok soruna yol açmaktadır. Özellikle kurak ve yarı kurak iklimin hâkim olduğu bölgelerde karşılaşılan bu durum, toprak yüzeyinde büyük miktarda zararlı tuzların birikmesine, biyolojik çeşitliliğe, insan sağlığına, ayrıca altyapılara ve kentsel tesislere zarar verebilen çevre sorunlarına neden olur (Doehne, 2014). Tarım alanında tuzluluk, yetiştirilen mahsullerdeki verimliliğin düşmesine, filizlenmelerin azalmasına, yapraklarda sararmaya devam eden süreçlerde ise bitki ölümlerine yol açmaktadır. Tuzlu suların veya tuzlu toprakların bulunduğu alanlarda tuza dayanımı yüksek olan bitkilerin yetiştirilmesiyle bu arazilerden yararlanılabilir (ÇEM, 2018).

Tuzluluğun bitkiler üzerinde neden olduğu temel sorunlardan biri, tuzluluğa neden olan Cl^- , NO_3^- , ve SO_4^{2-} gibi anyonlar ve Ca^{2+} , K^+ , Na^+ ve Mg^{2+} katyonlar bitki için gerekli olan besin maddeleriyle rekabete girerek besin dengesizliğine yol açmasıdır. Bir diğer sorun ise birbirleriyle ilişkili olan ozmotik basınç ve beraberinde gelen fizyolojik kuraklık etkisidir. Yeterli miktarda suyun olmasına rağmen bitkinin bünyesine su alamaması fizyolojik kuraklık olarak adlandırılır. Bunun sonucunda bitkide solmalar meydana gelir. Bu durum toprakta yüksek tuz yoğunluğunun bir göstergesidir. Böyle durumlarda bitki daha çok enerji harcayarak bünyesine su almaya çalışır. Buna bağlı olarak bitkilerde büyüme ve verimlilikte azalmalar, ortam koşullarının devam etmesi durumunda ise bitki ölümleri gerçekleşebilir.

Tuzluluk; toprakta birim hacimde çözülebilir tuzların miktarını belirtmekle birlikte kökenine göre birincil ve ikincil oluşumlar olarak ayrılırlar. Birincil tuzluluk oluşumları doğal kaynaklıdır. Bunlar; deniz orijinli kayalar, gel-git olayları ve iklimsel etkilerin sonucunda oluşan tuzluluklardır. İkincil tuzluluk oluşumları; tarım alanlarında yapılan yoğun su ve pestisit kullanımları sonucunda ortaya çıkan insan etkisine dayanır. Aynı zamanda denize kıyısı olan bölgelerdeki kuyulardan yoğun su çekimi, deniz suyu girişimleri nedeniyle toprakta ve yeraltı sularında tuzluluğa neden olur.

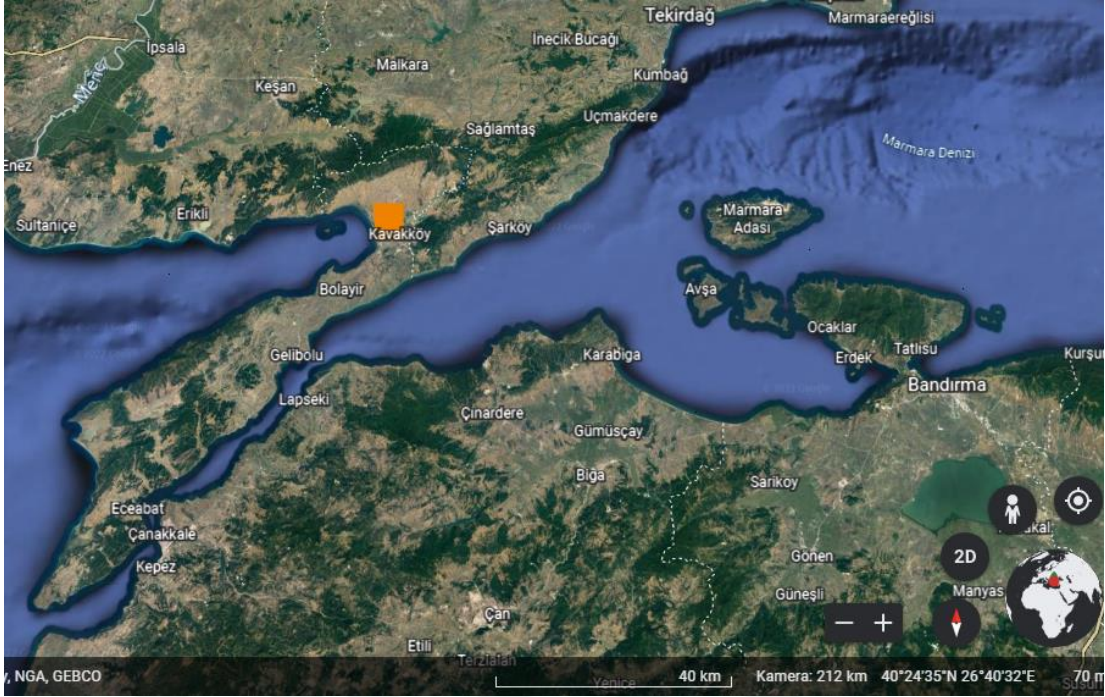
Bugün dünya üzerinde tuzluluktan etkilenmiş olan toprakların büyük bir çoğunluğu sodyum iyonu kökenli olan, Na_2SO_4 ve NaCl bileşimli tuzluluklardır (Pessaraki ve Szabolcs, 1999). Toprakları tuzluluktan etkilenen ülkeler arasında; Arjantin, Kanada, Hindistan, Güney Afrika, Türkiye ve ABD yer almaktadır bulunmaktadır (Kingwell vd., 2008; Pannel ve Ewing, 2006).

Toprak kirliliğinin giderimi üzerine pek çok yöntem bulunmaktadır. Bu yöntemler biyolojik, termal, fiziksel ve kimyasal yöntemleri içerir. Fiziksel ve kimyasal yöntemleri içeren elektrokinetik yaklaşım diğer yöntemlere göre daha hızlı arıtım sağlamaktadır. Su geçirgenliği düşük zeminlerde birden fazla kirleticinin aynı anda arıtılması ve toprak kirliliği üzerine iyonların elektriksel alan içindeki hareket hızlarını artırarak kirleticiyi ayırmada başarıyla uygulanmıştır.

1.1. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı

Bu tezin amacı, Çanakkale İli Kavak Deltası'ndan alınan tuzlu toprak örneği üzerinde elektrokinetik yöntem ile arıtımının sağlanmasıdır. Ayrıca bu tez kapsamında, korozyon nedeniyle tercih edilmesi zorunda kalınan ve maliyeti yüksek olan inert elektrotlar yerine laboratuvar ortamında farklı basit metal elektrotlar da denenmiştir.

Çalışma alanı olan Kavak Deltası Türkiye'nin kuzeybatısında, Çanakkale ili merkezinden yaklaşık 90 km. uzaklıktadır (Şekil 1). Bölgenin geçim kaynakları içerisinde buğday, çeltik ayçiçeği gibi tarım ürünlerinin yetiştirilmesi, hayvancılık ve balıkçılık yer almaktadır. Ulaşım Edirne-Çanakkale karayolu üzerinden sağlanmaktadır. Bölgenin çalışma alanı olarak belirlenmesindeki en önemli etmen tarım alanında yapılan faaliyetler ve Saros Körfezi'nin karaya ilerlemesiyle ilişki (Özcan vd., 2018) olarak topraktaki tuzlanmadır.



Şekil 1. Çalışma alanının Google Earth görüntüsü

1.2. Tuzluluğun Kökeni

Genel bir tanımlamayla toprak kirliliği: insan etkileri sonucunda fiziksel, kimyasal ve jeolojik özelliklerinin üstüne çıkarak toprağın özümleme kapasitesinin kaybetmesi sonucunu takiben toprakta yaşayan canlılar, yetişen ve yetiştirilen bitkilerin zarar görmesidir (Toprak Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği, 2005). Toprak kirliliği çeşitlerinden biri olan tuzlu topraklar bitkilerin gelişimlerini olumsuz yönde etkileyerek arazinin verimsizliğine ve yetiştirilebilecek ürün çeşitliliğini kısıtlanmasına neden olmaktadır.

Tuzluluk; toprakta çözülebilir tuzların miktarını belirtir. Oluşumlarına göre doğal (birincil) ve yapay (ikincil) olarak kökenlerine ayrılır. Doğal kökenli oluşumlar; kurak ve yarı kurak bölgelerde tipik olup topografya, iklim, bölgedeki ana kayalar ve yetersiz drenaj gibi faktörler sonucunda çözünen tuzlar yeraltı sularına karışırlar. Düşey yönde adezyon kuvvet ve kapilerite ile yüzeye doğru hareket eden su zerreciklerinin buharlaşmasıyla toprak içerisindeki tuz çökelişi gerçekleşmiş olur. Yapay olarak oluşan tuzluluk antropolojik faaliyetlerle ilişkilidir.

1.2.1. Doğal (Birincil) Kaynaklı Tuzluluk Oluşumları

- **Okyanuslar:** Gel-git olaylarının ilişkili olduğu okyanus ve sahil bölgeleri tuzlu suyun araziye nüfuzu ile toprakta tuzluluğa yol açmaktadır. Aynı zamanda iklimle de ilişkili olarak deniz serpintileri toprak yüzeyinde tuzların birikmesine neden olduğu bilinmektedir.
- **Ana Kayalar:** Bölgenin oluşumuyla ilişkili olarak tuzluluğa neden olabilecek mineralleri içeren veya deniz orijinli kayaların kimyasal veya fiziksel olarak ayrışması sonucu yeraltı suları ve topraklarda tuzluluk oluşumları mümkün olabilmektedir.
- **İklim:** Yağış oranının fazla olduğu bölgelerde yeraltı sularıyla akarsu veya denizlere ulaşabilirken kurak ve yarı kurak bölgelerde bu durum pek mümkün değildir. Yağışlar nedeniyle çözünen tuzlar yeraltı sularına karışan adezyon ve yüzey çekimi kuvvetlerinin etkisiyle su zerreleriyle toprak yüzeyine doğru hareket eder. Atmosferik koşullar nedeniyle suyun buharlaşarak beraberinde getirdiği tuzlar tuzluluk oluşumuna neden olmaktadır.
- **Topografya:** Geçirimsiz tabakaların neden olduğu yüksek taban suyu ve kapalı havzalar buharlaşmayla ilişkili olarak tuzluluk eğilimi gösteren alanlardır.

1.2.2. Yapay (İkincil) Kaynaklı Tuzluluk Oluşumları

- **Sulama Yöntemleri:** Sulama sularının kalitesi yalnızca tuz miktarının yanında çeşidi de önemlidir. Çözünen tuzların suyla birlikte kullanıldıkları bölgelere taşınırlar. Aynı zamanda aşırı sulamalar yeraltı su tablasını yükselerek yüzeyde göllenmelere ve tuzluluğa neden olmaktadır. Bir diğer neden oluşum faktörü ise sahil kıyılarındaki akiferlerden aşırı su çekimleri

tatlı su ve tuzlu su arasındaki dengeyi bozarak tuzlu suyun akiferlere girerek tuzlanmasına neden olmaktadır.

- **Tek Tip Tarım:** Mono kültürel tarım olarak da bilinen bu yöntem tek tip ürünlerin yetiştirilmesi sonucunda tuz yoğunluğunun artmasıyla tuzluluk oluşumlarına neden olabilmektedir.
- **Zirai Maddelerin Yanlış Kullanımı:** Tarımsal üretimde yüksek üretim elde etmek için toprağın kimyasal özelliklerine bakılmaksızın kullanılan pestisitler, içerikleriyle ilişkili olarak tuzluluğun yanında ağır metal birikimlerine de neden olabilmektedir.

1.3. Tuzlu Toprakların Sınıflandırılması ve Bitki Gelişimine Etkisi

Bitkinin yetişmesi için tuz yoğunluğunun fazla olduğu bölgelerde büyümesi bir hayli zordur. Bu ortamlarda yetişen bitkinin büyümesini engelleyen etmenlere örnek olarak kök bölgesindeki su stresi, kimyasal etki, besin alımı ve taşınması noktasındaki dengesizlikler gösterilebilir. Bitkiler tuza gösterdikleri tepkiler yönünden farklılık göstermekle birlikte ekonomik anlamda pek çok bitki tuzluluğa karşı duyarlıdır (Tablo 1).

Tablo 1. Tuzlu topraklara karşı bitkilerdeki yetişebilirlik (Miyamoto vd., 2004)

Toprak Tuzluluk Sınıfı	Elektriksel İletkenlik (EC dS/m)	Bitki Verimi
Çok az tuzlu	0 - 2	İhmal edilebilir tuzluluk
Hafif tuzlu	2 - 4	Hassas bitkilerin büyüme ve gelişimi kısıtlanabilir
Orta derece tuzlu	4 - 8	Birçok bitkinin büyüme ve gelişimi kısıtlanabilir
Yüksek tuzlu	8 - 16	Sadece tuza toleranslı bitkiler ürün verebilir

Çok yüksek tuzlu	>16	Tuza çok toleranslı bitkiler yetişebilir
------------------	-----	--

1.3.1. Tuzluluğun Bitkiler Üzerindeki Etkileri

Çözülebilir tuzların miktarı bitkinin tolere edeceği miktarın üzerine çıktığında bitkiye zararlı olmaktadır. Aynı zamanda toprağın yapısının bozulmalara neden olan tuz, toprak içerisinde yeteri kadar suyun olmasına rağmen bitkinin bünyesine su alımı kısıtlanır, gelişmesi yavaşlar ve koşulların devam etmesi durumunda gelişim durur.

Fizyolojik kuraklık olarak isimlendirilen yeterli suyun bulunmasına karşılık bitkinin susuzluk çekmesi karşısında bitki yapraklarını dökerek su kaybını önlemeye çalışır. Na^+ ve Cl^- iyonları ise bitkinin hücre gelişimine ve döngüsüne doğrudan etkide bulunur. Farklı oranlarda olsa da bitkiler benzer tuzluluk belirtileri gösterirler. Bu belirtiler içerisinde büyümede yavaşlama, yapraktaki yanıklar, turgor kaybı, yaprakların dökülmesi ve bitki ölümüdür.

Na^+ , Cl^- ve SO_4^{2-} gibi iyon ve bileşiklerin varlığı besin iyonları içerisinde yer alan K^+ ve Ca^{2+} iyonlarıyla yarışa girer. Bitkide iyon dengesizliğiyle beraber büyüme, gelişme, çimlenme ve fotosentez gibi biyolojik olumsuzluklara neden olur.

1.4. Tuzlu Toprakların Islahı

Günümüzde tuzlu toprakların ıslahına yönelik pek çok yöntem geliştirilmiştir. Bu yöntemler; derin sürüm, fitoremediasyon, kimyasal ıslah ve yıkamadır. Son zamanlarda çeşitli alanlarda kullanılmasıyla ilişkili olarak elektrokinetik arıtım metodu da bu yöntemler içerisinde yer almaktadır.

1.4.1. Derin Sürüm

Tuzluluk etkisinde kalmış toprakların yüzeyleri sıkı, sert ve geçirimsizliği düşüktür. Derinliği >40 cm olarak isimlendirilen derin sürüm ile toprak yüzeyi gevşetilerek jips içerikli uygulamalarla sodyum içerikli yüzeyin kırılması mümkündür.

1.4.2. Kimyasal Islah

Bu yöntemde amaç toprağı nötrale etmek ve sodyum karbonatı reaksiyona sokarak kalsiyumla yer değıştirilmesidir. Bunun için kullanılabilcek ıslah maddeleri arasında jips, kalsiyum klorür, sülfürik asit ve alüminyum sülfat yer almaktadır (Temel ve Şimşek, 2011).

1.4.3. Toprak Yıkama

Tuzlu topraklarda istenilen düzeyde bitkilerin yetiştirilebilmesi için vadoz zondaki tuzların uzaklaştırılmasıdır. Topraktaki tuzun uzaklaştırılmasında kullanılacak olan su miktarı istenilen tuz seviyesiyle ilişkilidir (Temel ve Şimşek, 2011). Bu yöntemde uzaklaştırılması gereken tuz miktarı ve derinliğı arttıkça su miktarı da artmaktadır. Aynı zamanda yıkama işleminin uygulanması noktasında iyi bir drenaj sistemi gerekmektedir. Yıkama yönteminin uygulanmasında toprak yüzeyini belirli aralıklarla göllendirme, devamlı göllendirme ve suyu toprağı salarak şekilde olabilmektedir (Temel ve Şimşek, 2011).

1.4.4. Fitoremediasyon

Doğada tuza toleransı bakımından halofitler ve glikofitler olarak iki grupta sınıflandırılır. Kültür bitkisi içeren glikofitler 100-200 mM NaCl yoğunluğundaki büyümeleri kısmen durmakta halofitler ise 300-500 mM NaCl varlığında yaşamlarını sürdürebilmektedirler (Flowers ve Colmer, 2015). Bitkiyle ıslah olarak da tanımlanan fitoremediasyon yöntemi tuzluluğı dayanımı olan bitki türlerinin yetiştirilerek bitkinin çeşitli bölgelerinde tuzun depolanarak uzaklaştırılması hedeflenir.

1.4.5. Elektrokinetik Yöntem

Son yıllarda topraktaki kirleticilerin arıtımı üzerine pek çok yöntem geliştirilmiştir. Bunlardan biri olan elektrokinetik iyileştirme yapılan arazi ve laboratuvar ölçeğindeki çalışmalar yöntemin uygulanabilirliğini gösterilmiştir. Aynı zamanda tek bir kirletici türüyle ilişkili olmayıp organik ve inorganik kirleticiler üzerinde de etkili olduğu bilinmektedir. Aynı zamanda Elektrokinetik yöntemin uygulanmasında toprak içerisine

yerleştirilen bir dizi elektrotta düşük voltajda doğru akım verilir. Bu sayede toprak içerisinde elektrik alanı oluşturulur ve kirleticiler iyon yuklerine gore anoda veya katoda doğru hareket ederler. Elektrotlar etrafında toplanan kirleticiler çeşitli yontemlerle toprak içerisinden çıkarılırlar.

Arıtım esnasında ortama elektrokimyasal ve elektrokinetik sureler hakimdir. Bu surelerden biri olan elektro-ozmoz, kirleticilerin elektrotlara yuksz halde suyun hareketiyle taşınmasını ifade eder. Suyun hareketi anottan katoda doğrudur ve elektro-ozmotik akış hızı öncelikle uygulanan voltajın bir fonksiyonudur. Hidrolik gradyanlar altındaki sıvı akışı poroziteden ve zeta potansiyelinden önemli ölçüde etkilenmektedir (Acar ve Alshwabkeh, 1993). Elektro-ozmoz ve elektro-gn (elektromigrasyon) toplam ktle taşımına katkısı, toprak türü, suyun kimyası ve gözenek suyu yoğunluğundan etkilenebilmektedir. Bu nedenle elektro-ozmoz, ince daneli tortullarda özellikle siltlerde yuksek su içeriğindeki düşük aktiviteli birimlerde oldukça etkilidir. İyon ve iyonik trlerin zıt yüklü elektrotlara taşınması elektro-g (elektromigrasyon) olarak ifade edilir. Yüklü parçalar halinde taşınması ise elektroforez olarak isimlendirilir. Arıtım esnasında karşımıza çıkan bir diğer reaksiyon suyun elektrolizidir. Bununla ilişkili olarak, anotta suyun oksidasyon, H^+ iyonu retimi (Reaksiyon 3.3) sonucunda asidik, katotta indirgenme OH^- retimiyle (Reaksiyon 3.4) ilişkili olarak bazik bir ortamı oluşturur.



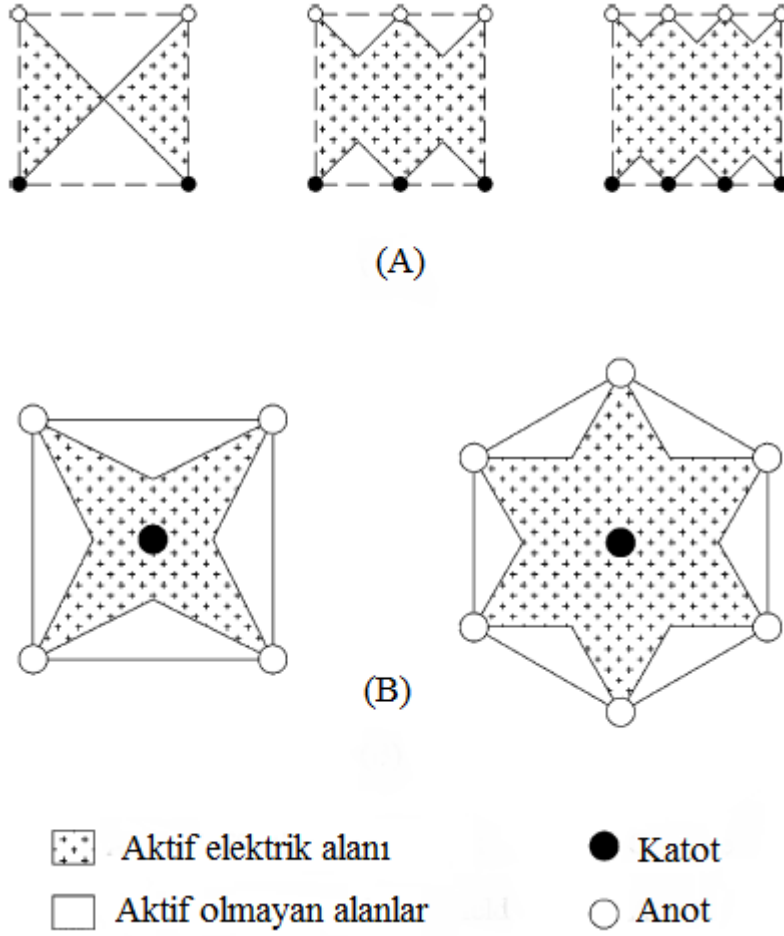
Bu nedenle elektrokinetik yontemle yapılan arıtım çalışmalarında, katot çevresindeki pH değeri 12'ye yukselirken anot bölgesinde ise 2'ye düşmesi olağan bir durumdur. Elektrotlarda devam eden elektroliz reaksiyonların tipi, kimyasal trlerin varlığına ve elektrokimyasal potansiyelleriyle ilişkilidir. Elektrokinetik stabilizasyonun etkinliği elektrot malzemesi ve konfigürasyona dayanır.

- **Elektrot Çeşitleri**

Elektrokinetik arıtım metoduyla ilgili yapılan arıtım çalışmalarında karşılaşılan problemlerden biri korozyondur. Elektrotlar ile gözenek suyu arasında meydana gelen reaksiyonlar, elektrot ve gözenek suyunun özellikleriyle ilişkilidir. İşlem sırasında elektrot bölgelerinde oluşan asidik ve bazik koşullara karşı direnci yüksek olan elektrotlar tercih edilmelidir. Elektrotlarda korozyonun meydana gelmesi iletkenliği ve elektrot hacminin azalmasına neden olmaktadır. Maliyeti diğer elektrotlara göre düşük olan yumuşak çelik elektrotlar ise daha düşük dayanım göstermektedir. Buna karşılık altın, platin, gümüş ve grafit gibi çözünürlüğü düşük olan elektrotları kullanmak mümkündür. Aynı özellikteki elektrot kullanımının yanı sıra yüzeyi titanyum, altın veya seramik kaplı elektrotlarda kullanılmaktadır.

- **Elektrotların Dizilim Çeşitleri**

Elektrotların dizilimleri toprak içerisinde oluşturulacak elektrik alanı için temel belirleyicidir. Yöntemin uygulanması noktasında elektrotların dizilimdeki seçim; uygulama alanının büyüklüğü, birim alana düşen elektrot sayısı, bunların maliyeti ve arıtım sürecinin uzunluğuyla ilgilidir. Elektrotlar arası mesafenin belirlenmesinde maliyet ve işlem süresi göz önünde bulundurulur. Aralığın fazla olması kurulum maliyetini azaltırken kirleticilerin taşınma oranındaki azalma işlem süresini ve işletme maliyetini artırır. Elektrot dizilimleri sıralı (1B), merkezci (2B) ve karmaşık biçimde yapılabilmektedir. Alshawabkeh vd. (1999) kuramsal olarak yaptığı hesaplamalara dayanarak merkezci dizilimin sıralı dizilime göre (Şekil 2) daha az aktif olmayan alanın daha az kaldığını belirledi.



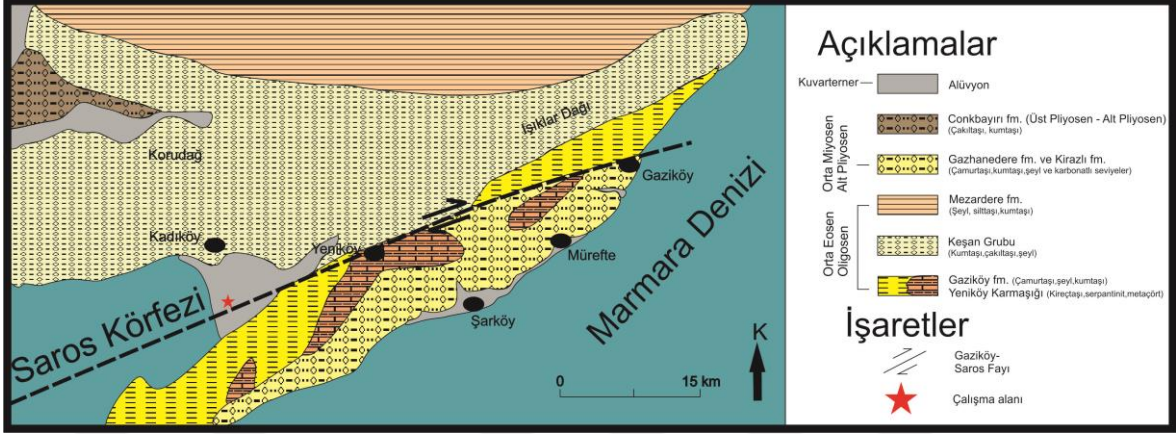
Şekil 2. Elektrotların dizilim çeşitleri a) sıralı dizilim (1B) b) merkezci dizilim (2B)
(Hamdan vd., 2014; Alshwabkeh vd., 1999)

Çoğu uygulama anodun katoda paralel olarak kurulduğu uygulamalarıdır ve az sayıda araştırmacı dikdörtgen veya altıgen uygulamalar kullanmıştır (Kim vd., 2012).

1.5. Genel Jeoloji

Türkiye'nin kuzeybatısında Çanakkale ili sınırları içerisinde, Saros Körfezi'nin doğu ucunda çalışma alanı olan Kavak Deltası bulunmaktadır. Kıyısını oluşturduğu Saros Körfezi Ege Denizi'nin kuzeyinde bulunup güneyinde bulunan Gelibolu yarımadasına ve kuzeyindeki Trakya kıyılarına yaklaşık 60 km sokulum yapmış bir körfezdır. Kavak deltasının oluşumu, çevredeki derelerin getirdiği sedimentler ile ilişkili olup, tuzluluğu Saros Körfezinin karaya ilerlemesiyle bağlantılıdır. Aynı zamanda aşırı sulamaya bağlı olarak yükselen tuzlu yeraltı su tablasıyla da tuzlanma söz konusudur. Kavak Deltası hem tuzluluğun kökeni bakımından çeşitlilik sunması hem de tarım alanları, altyapılar,

otoyollar, köprüler ve şehircilik çalışmaları bakımından aktif bölge içerisinde yer alması bölgenin çalışma alanı olarak belirlenmesinde önemli rol oynamıştır.



Şekil 3. Saros Körfezi çevresinin sadeleştirilmiş jeoloji haritası (MTA (1998) Türkiye Jeoloji Haritalarından değiştirilerek alınmıştır)

Alt ve Orta Eosen birimleri Gelibolu Yarımadası'nda Karaağaç ve Fıçitepe Formasyonlarıyla temsil edilir (Perinçek vd., 2015). Bunların üzerine transgresif olarak gelişen Orta Oligosen-Alt Miyosen'in ilk çökelleri olan Koyunbaba ve Soğucak kireçtaşları gelir. Havzanın derinleşmesiyle Ceylan Formasyonu çökeler. Yenimuhacir Grubu adı altında delta ortamında çökelen Mezardere, Osmancık ve Danişment Formasyonları bulunur. Bölgedeki birimler Miyosen çökellerinin tabanındaki açıl uyumsuzluk ile ikiye bölünür. Erken-Orta Miyosen döneminde Hisardağ ve Ayvacık volkanitleri hüküm sürmüştür. Erken Miyosen sonunda depolanma sonucu karasallaşmış ve aşınma süreci geçiren bölgeye Geç Miyosen-Pliyosen yaşlı genç sedimentler gelir. Bunlar graben sistemi içerisinde sahil çevresinde çökelmiş Çanakkale Grubu içerisinde yer alan Gazhanedere, Kirazlı, Çamrakdere ve Alçıtepe Formasyonlarıdır. Çanakkale Grubu, Ergene Formasyonun farklı ortamda çökelmiş yanıl karşıtıdır (Perinçek vd., 2015). Bunların üzerinde uyumsuz olarak bulunan ve hemen hemen bütün yaşlı birimleri örten Kırcasalih Formasyonu yer alır. Alçıtepe Formasyonu üzerinde bulunan Conkbayırı Formasyonu ise Üst Pliyosen yaşlı olup çamurtaşı ve çakıltaş aralanmalarından oluşur. Bütün bu birimler Kuvaterner alüvyon oluşukları tarafından uyumsuz olarak örtülmektedir.

1.5.1. Gaziköy Formasyonu

Alt-Orta Eosen yaşlı Gaziköy Formasyonu şeyller ve kumtaşlarından oluşup içerisinde ince tabakalar halinde Orta-Üst Eosen yaşlı silisli tuf düzeyleri bulunmaktadır (Ercan vd., 1995).

1.5.2. Yeniköy Karmaşığı

Yeniköy karmaşığı türbiditik akıntılı etkili olduğu, gri beyaz renkli rekrystalize kireçtaşları, serpantin, dolerit ve diyorit birimlerden oluşmaktadır. Kuzey Anadolu Fay zonu etkisiyle bugünkü görünümünü almıştır.

1.5.3. Keşan Grubu

Alt seviyeleri kumtaşı ve silttaşı ardalanmasıyla başlayan birim üst seviyeleri doğru kumtaşı, şeyl ardalanmaları olarak devam eder. Üst Eosen yaşlı olan grubun ilk formasyonu killi kireçtaşları ve şeyller ardalanmalarından oluşmaktadır. Soğucak Formasyonu ile yanal ve düşey geçişli olup üzerinde yer alan Mezardere Formasyonu ile uyumludur. İlerleyen transgresyon ile sığ deniz ortamını yansıtan Soğucak Formasyonu ise fosilli resifal kireçtaşlarında oluşmaktadır. Altında yer alan Koyunbaba Formasyonu ile dereceli geçişli olup bu formasyonun olmadığı yerlerde daha yaşlı birim üzerine uyumsuz olarak gelmektedir. Blok boyutunda kumtaşı ve çakıltaşlarından oluşan Koyunbaba Formasyonu Orta-Üst Eosen yaşlı olup Soğucak Formasyonu altında yer almaktadır.

1.5.4. Mezardere Formasyonu

Keşan Grubu üzerinde bulunan Mezardere Formasyonu Geç-Alt Oligosen yaşlı olup yaklaşık 600-700 m kalınlığındadır (Perinçek, 2018). Koyu kahverengi şeyller, ince taneli kumtaşı, masif çamurtaşları ve yer yer mikritik kireçtaşlarında oluşmaktadır.

1.5.5. Gazhanedere Formasyonu

Gazhanedere Formasyonu, egemen olarak çakıltası, kumtaşı, marn aralanmasından oluşur. Aynı zamanda kumtaşı, siltaşı ve çamurtaşı arabantları da vardır, nadiren 3-5 cm kalınlığında kömür bantları içerir (Perinçek, 2018).

1.5.6. Kirazlı Formasyonu

Gazhandere Formasyonu'nun yanal ve düşey dereceli geçişle Kirazlı Formasyonu kıyı ve kıyı yakını bölgelerde çökelmiştir (Yiğitbaş, 2016). Formasyon az miktarda ise çakıltası, siltaşı ve çamurtaşları ile temsil edilmekle birlikte yer yer sarımsı ve gri renkli olan kumtaşları baskın birimdir.

1.5.7. Conkbayırı Formasyonu

Alt Pliyosen-Alt Pleistosen yaşlı Conkbayırı Formasyonu çakıltası, kumtaşı ve çamurtaşlarından oluşan alüvyal yalpaze çökelleriyle temsil edilir ve kendisinden yaşlı olan birimleri uyumsuzlukla örter.

1.5.8. Alüvyon

Tüm bu birimler Kuvaterner yaşlı yamaç molozları ve alüvyonlarla örtülmüştür.

İKİNCİ BÖLÜM

ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Elektrokinetik yöntem ile yapılan ilk deney 1809 yılında Reuss tarafından gerçekleştirilmiştir. Gözenekli bir malzemeye uyguladığı düşük voltajda doğru akım altında suyun gözenekler boyunca taşındığını gözlemlemiştir (Reuss,1809). Elektrokinetik arıtımda kirleticilerin elektrotlara doğru taşınmasındaki temel hareketlerinden birini açıklayan bu durum elektro-ozmoz olarak adlandırılır. Bu tanım elektrik alanı içerisinde suyun hareketine bağlı olarak yüklenmemiş olan kirleticilerin taşınmasını ifade eder. Reuss'un buluşundan sonra William Wollaston, Robert Porrett, John Napier, ve Michael Faraday gibi pek çok bilim insanı elektro-ozmoz üzerine kalitatif deneyler yapmışlardır (Wall, 2010).

Casagrande 1949 yılında yayınladığı makalede elektrokinetik metodu yumuşak killerin susuzlaştırılmasında kullanarak dayanımın arttırdığını göstermiştir (Casagrande, 1949). Sonraki yıllarda doğru akım altındaki bu transfer, çeşitli sorunların çözülebilirliği üzerine denendi. Yapılan çalışmalar sırasında elektrik alanı içerisindeki küçük partiküllerin hareket ettiği bulundu. Doğru akım altında oluşturulan elektrik alanındaki partiküllerin bu hareketine elektroforez olarak isimlendirilmiştir. Buradaki 'partikül' terimi gözenek sıvısında asılı olan kolloidal, kil ve organik madde gibi yüklü olan tüm parçacıkları temsil eder. Bu partiküller tıpkı iyonlar gibi hareket ederek elektro-ozmotik akışı etkiler.

1980 yılından sonra yapılan çalışmalar daha çok toprak kirliliği, arıtım çamurlarından ağır metallerin giderilmesi üzerinedir (Hansen vd., 2016). Yapılan çalışmalarda toprakta iyon halinde bulunan metallerin arıtımı sağlanmıştır. Fakat burada elektro-ozmoz ve elektroforezden farklı olarak elektrik alanı içerisinde iyonların göçü keşfedilmiştir. Elektrokinetik yöntem esnasında iyonların elektrotlara doğru göçüne elektro-göç (elektromigrasyon) olarak tanımlanmıştır. Aynı dönem içerisinde Amerika ve Avrupa'da kontamine olmuş toprakları temizlemek üzere ticari amaçlı uzmanlaşmış şirketler kurulmuştur. Bunlardan önde gelen şirketler; Environmental & Technology Services Company, DuPont and General Electric, Pearl Geokinetics International Inc., Harbor Company'dir.

Geokinetics International şirketi 1995'te yayınlamış olduğu rapora göre ağırlıklı olarak kadmiyum, bakır, nikel, kurşun ve çinko ile kontamine olmuş alanın iyileştirildiğini bildirmiştir (Herrada vd., 2014). Yine aynı şirket tarafından yapılan kurşunla kontamine olmuş toprakta 30 hafta boyunca uygulanan elektrokinetik çalışma sonucunda 4.500 mg/kg^{-1} kontaminasyon seviyesinden 300 mg/kg^{-1} 'den daha az kurşun olduğu görülmüştür. Aynı dönem içerisinde akademik alanda toprak ve yeraltı sularında meydana gelen ağır metal, organik bileşikler ve radyonüklid gibi kirleticilerle yapılan elektrokinetik çalışmalar olumlu sonuçlar vermiştir.

Jayasekera ve Hall (2004) laboratuvar ölçeğinde tuzluluk arıtımı üzerine yaptıkları çalışmada çelik elektrotlarda korozyon meydana geldiğini belirtmişlerdir. Geleneksel elektrokinetik arıtım çalışmalarında doğru akım uygulanmaktadır. Kim vd. (2013), laboratuvar ölçeğinde yaptığı çalışmada tarım alanındaki faaliyetler sonucunda meydana gelen tuzluluğun arıtımında geleneksel yöntemden farklı olarak darbeli akım uygulamıştır. Darbeli akım; toprağa uygulanan elektrik akımının belirli sürelerde açılıp kapatılması şeklinde uygulanmaktadır. Kim vd. (2013), yapmış olduğu bu çalışmanın sonucunda çelik elektrotlardaki korozyonun azaldığını, enerji tüketimini %64'e düşürdüğünü ve tuzluluk arıtımının büyük ölçüde sağlandığını belirtmiştir.

Hızla gelişen nüfus artışının beraberinde getirdiği gıda ihtiyacının karşılanması noktasında tarım arazilerinde kullanılan yoğun su ve pestisit kullanımlarının neden olduğu kirliliğin arıtımında kullanılan elektrokinetik yöntemle olumlu sonuçlar elde edilmiştir. Laboratuvar ortamında yapılan bu deneyler kapalı tip hücreler kullanılarak yapılmıştır. Cho vd. (2009, 2011), sera alanlarındaki tuzluluğun giderilmesi üzerine yapılan laboratuvar ölçeğindeki çalışmalarında anyonların büyük bir kısmının çıkarıldığını katyonların bu yöntemle uzaklaştırılmasının ihmal edilebilir düzeyde olduğunu belirtmiştir. Sülfat kaynaklı tuzlu topraklar üzerine 1 V/cm voltaj gradyanında tuzluluğun göstergesi olan elektriksel iletkenlik (EC), 5.3 dS/m başlangıç değerinden 1.93 dS/m 'ye düştüğü ve sülfat arıtım değerlerinin de paralel oranda azaldığını belirtmiştir.

Kim vd. (2012), hegzagonal elektrot dizilimiyle seradan alınan tuzlu toprak örnekleri üzerinde yaptığı arıtım çalışmasında yaklaşık %30 oranında K^+ ve Ca^{2+} 'nın uzaklaştırılmasıyla sonuçlandı. Tek boyutlu olan dikdörtgen elektrot diziliminde ise arıtım

oranında daha düşük değerlerin elde edildiği, bunun nedeninin ise diğer elektrot dizilimine göre daha az alana etki etmesine ve arıtım sresinin kısıtlı olmasına bağlanmıştır.

Lee vd. (2012), yaptığı çalışmada arıtımında doğru akım ve darbeli akım arıtım değerlerini karşılaştırmıştır. Başlangıctaki sera toprağının zellikli; EC değerinin 6-21 dS/m ve Ca^{2+} , Cl^- , SO_4^{2-} ve Na^+ iyonları içerdiği belirtilmiştir. Bir aylık arıtım işlemi sonucunda doğru akımda %56, darbeli akımda %55 giderim elde edilmiştir. Bunu sonucunda ise kullanılan elektrik akımının darbeli yöntemde daha az olduğu ve tuz giderim değerlerinin birbirlerine yakın olduğu vurgulanmıştır.

Tuzlu toprakların arıtımı üzerine pek çok araştırmacı laboratuvar leğinde 1B, pilot ölçeklerde ise dikdörtgen dizilim uygulamıştır. Kim vd. (2012), tuzlu toprakların arıtımı üzerine yaptığı pilot çalışmada elik elektrotlarla hegzagonal dizilim uygulamıştır ve 1B dizilimlerde daha fazla aktif alanın bulunduğu vurgulanmıştır.

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

MATERYAL VE YÖNTEM

Bu bölümde tez çalışmasında tuzlu toprakların arıtımında kullanılan materyallerden ve uygulanan arıtım yönteminden bahsedilmektedir.

3.1. Materyal

Bu tez çalışmasında Kavak Deltasından alınan örnekler üzerinde elektrokinetik arıtım çalışması yapılmıştır. Yaklaşık 20 cm derinliğinden alınan örnekler plastik torbalar içerisinde muhafaza edildi. Plastik kutu içerisinde gerçekleştirilen çalışmada yaklaşık 19 kg toprak örneği ve toplamda 6 elektrot kullanılarak arıtım çalışması gerçekleştirilmiştir. Deney esnasında anottaki korozyon nedeniyle iki kez elektrot değiştirilmiştir.

3.2. Yöntem

Kavak Deltasından alınan örnekler üzerinde elektrokinetik arıtım yöntemi uygulanmıştır.

3.2.1. Elektrokinetik Deney Düzeneginin Kurulması

Deney 40x58x15 cm ölçülerinde plastik bir kap içerisinde, 15 mm Ø150 mm boyutlarında grafit çubuklar kullanılarak yapılmıştır. Elektrotların dizilimi çift sıra halinde katot-anot-katot şeklinde yerleştirilmiştir. Anot-anot ve katot-katot arasındaki mesafe 23 cm'dir. Anot-katot arası mesafe 17 cm'dir. Anot ve katot arasındaki mesafe dikkate alınarak 1 VDC/cm olacak şekilde akım uygulanmıştır. Bu nedenle deney süresince 17 V sabit akım uygulandı ve akım değerleri Data Logger cihazıyla kayıt altına alındı. Elektrotların dizilimi ve şematik gösterimi Şekil 4'te, elektrokinetik deney düzeneği Şekil 5'te verilmiştir.



Şekil 4. Elektrotların dizilimi ve şematik gösterimi



Şekil 5. Elektrokinetik deney düzeneği

DÖRDÜNCÜ BÖLÜM

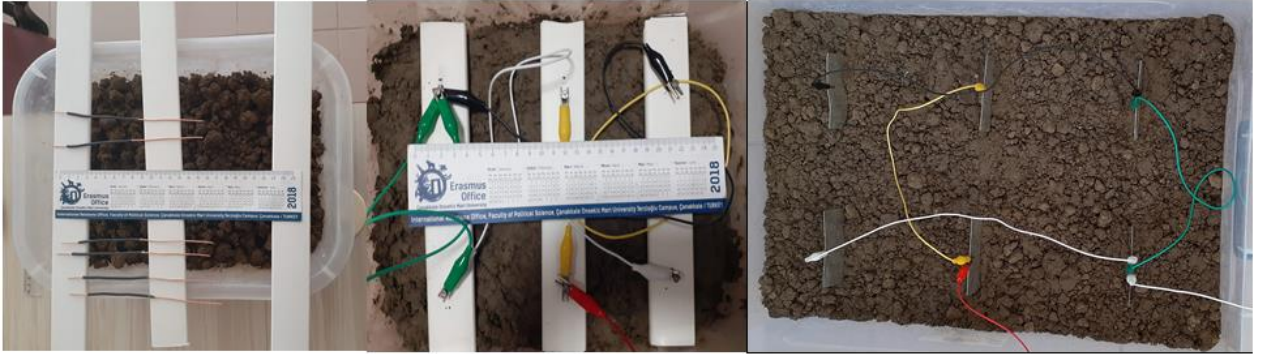
ARAŞTIRMA BULGULARI

Elektrokinetik arıtım çalışması sonucunda elde edilen veriler bu bölümde yer almaktadır.

4.1. Elektrot Seçimi için Ön Çalışma

Elektrokinetik arıtım yönteminde kullanılacak elektrotların uygunluğunu araştırmak için Çanakkale Dardanos Mevkii'nden alınan tuzlu toprak örneklerinde bakır tel, alüminyum levha ve galvaniz kaplı çelik çivi ile ön test çalışmaları yapılmıştır. Deneysel sonuçlarda anot bölgesinde kullanılan bu metal elektrotlarda oksidasyon meydana gelmiş ve toprakta ikincil kirlilik oluşmuştur. Bu nedenle tez çalışmasında grafit elektrot tercih edilmiştir.

Yapılan ön testlerde deney hücresi olarak 40x58x15 cm ölçülerinde plastik bir kap kullanılmıştır (Şekil 6).



Şekil 6. Ön testlerde kullanılan bakır tel, galvanizli çelik çivi ve alüminyum levhaların dizilimleri

Çalışmada kullanılan bakır elektrot 160 mm Ø0,5 mm, galvanizli çelik elektrot 58 mm Ø1,5 mm ve alüminyum levhaların boyutları 92x65x1 mm idi. Elektrotlar tez çalışmasında kullanılan dizilimle aynı olacak şekilde yerleştirilmiştir. Bakır elektrotlar ile yapılan çalışmada anot-katot arası mesafe 11,6 cm olduğu için 11,6 V, galvanizli çelik elektrot ile yapılan deneyde 10 V, alüminyum levha ile 19 V sabit akım uygulanmıştır.

Elektrotun belirlenmesine yönelik yapılan bir çalışma olduğu için toprak örnekleri üzerinde sadece fiziko-kimyasal parametreler belirlenmiştir (Tablo 2).

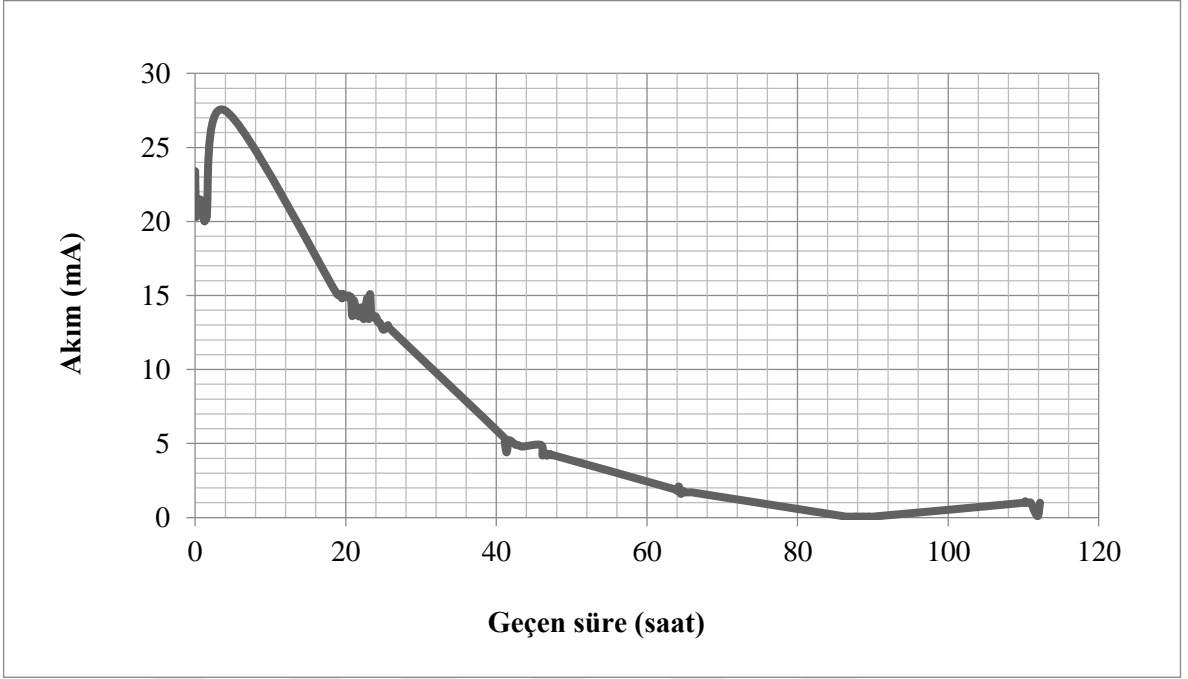
Tablo 2. Ön testlerde kullanılan toprak numunesinin deney öncesi fiziko-kimyasal parametreleri

Zemin Sınıfı (USCS)	Su içeriği %	pH	Elektrik iletkenliği (EC) $\mu\text{s}/\text{cm}$	Tuzluluk (NaCl eşdeğeri) %
CL	19.28	8.33	1282	0.45

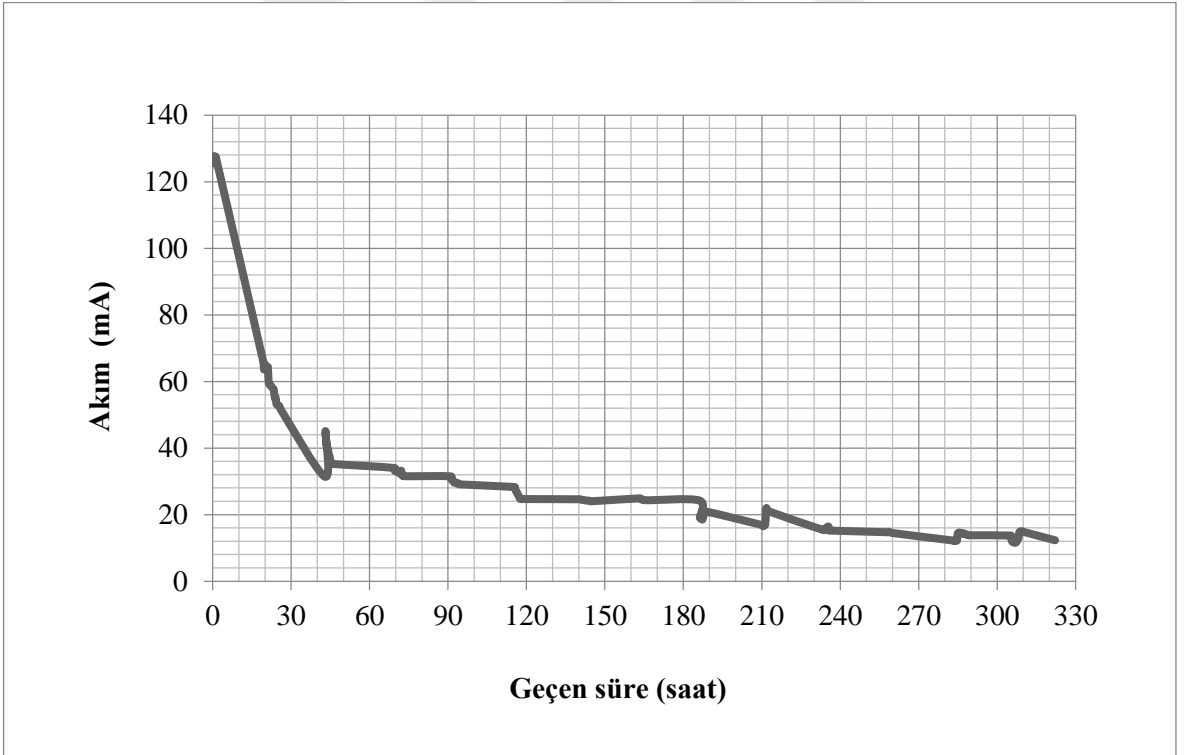
Bakır tel, galvanizli çelik çivi ve alüminyum levhalarla yapılan çalışmalarda deney süresi boyunca ölçülen akım değerleri zamanla azalmıştır. Bakır elektrotlarla yapılan deneyde 6. gün sonunda deney tamamlanmıştır (Şekil 7). Galvanizli çelik elektrot kullanılan deney 8. gün (Şekil 8), alüminyum levha ile yapılan deney 15. günde sonlandırılmıştır (Şekil). Ön testler sonrasında anotlarda korozyon meydana geldiği görülmüştür (Şekil 10).



Şekil 7. Bakır tel ile yapılan çalışmada geçen süre ve akım değerlerinin ilişkisi



Şekil 8. Galvanizli çelik çivilerle yapılan çalışmada geçen süre ve akım değerlerinin ilişkisi



Şekil 9. Alüminyum levhalarla yapılan çalışmada geçen süre ve akım değerlerinin ilişkisi



Şekil 10. Anot bölgesinde kullanılan elektrotların oksidasyonu

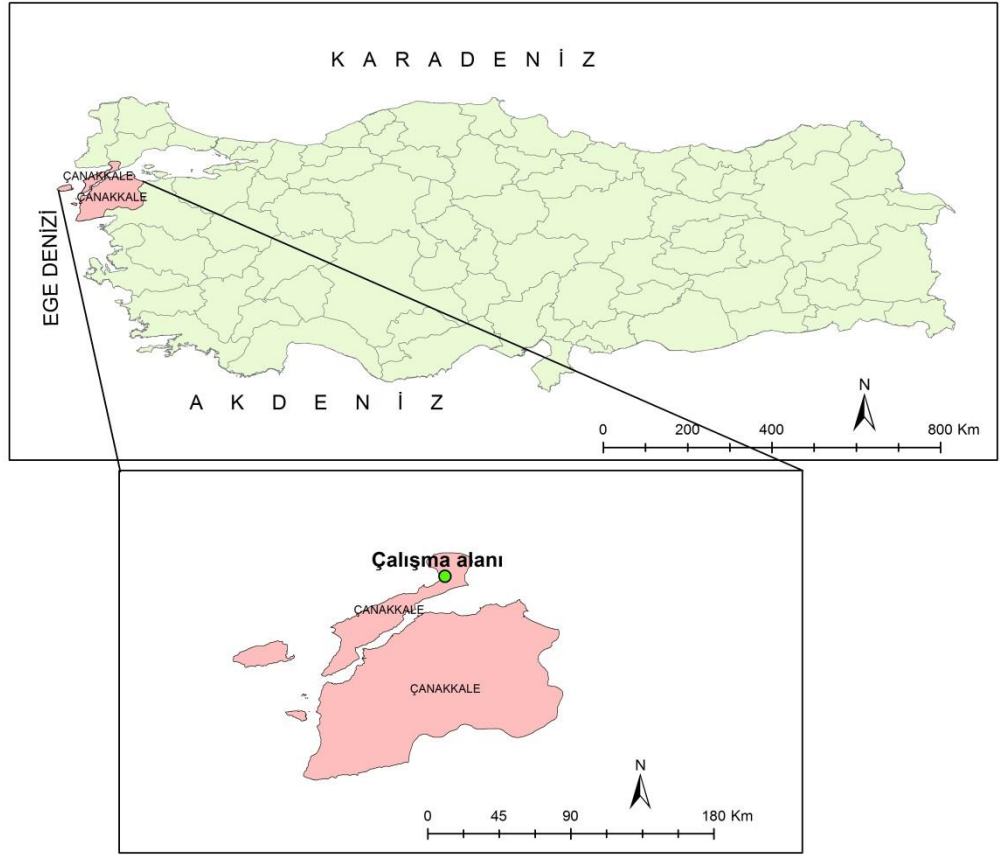
Test sonunda yapılan laboratuvar çalışmalarında elde edilen fiziko-kimyasal parametreler Tablo 3'te verilmiştir.

Tablo 3. Ön testler sonrası toprağın fiziko-kimyasal parametreleri

Parametreler	Bakır elektrot		Galvanize çelik elektrot		Alüminyum levha	
	Anot	Katot	Anot	Katot	Anot	Katot
Su içeriği (%)	13,62	17,21	14,28	16,69	12,97	24,58
pH	6,21	9,50	6,53	8,59	6,40	9,78
Elektriksel iletkenlik (EC) (mS/cm)	328	146	320	178	4050	540
Tuzluluk (NaCl eşdeğeri %)	0,5	0,2	0,5	0,3	2,8	0,1

4.2. Kavak Deltası Toprak Örnekleme

Çalışmada kullanılan toprak örneği Çanakkale ili sınırları içerisinde yer alan Kavak Deltası'ndan alınmıştır (Şekil 11). Yaklaşık 20 cm derinlikten alınan numuneler plastik torbalar içerisinde muhafaza edilmiştir (Şekil 12).



Şekil 11. Örnekleme yapılan alanın yerbulduru haritası



Şekil 12. Toprak örneklerinin alınması ve muhafaza edilmesi

Tuzluluk analizi için alınan örneklerden üç adet 10 gr olacak şekilde kaplara ayrılarak üzerlerine 50 ml saf su ilave edildi. Çalkalama (Shaker) cihazında 180 devirde 6 saat boyunca karıştırılan numuneler 24 saat sonra Wtv multi 340i cihazı ile pH, EC ve tuzluluk (NaCl eşdeğeri) değerleri ölçümü yapıldı. Toprak örneğinin ayrıca su içeriği (ASTM D2216), dane boyu dağılımı (ASTM D422), Atterberg limitleri (ASTM D4318) ve özgül ağırlığı (ASTM D854) belirlenmiştir.

4.3. Toprak Analizleri

Araziden alınan örnekleri üzerinde yapılan deneylerde elde edilen fiziko-kimyasal sonuçlar Tablo 4'te verilmiştir. Yapılan ıslak elek analizi sonucunda toprak Birleşik Zemin Sınıflama Sistemi (USCS)'ne göre düşük plastisiteli kumlu kil (CL) sınıfına karşılık gelmiştir. 105°C de etüvde 24 saat boyunca bekletilen örneklerin %19,95 su içeriğine sahip olduğu, piknometre deneyi ile de özgül ağırlığın 2,66 olduğu belirlenmiştir. İnce daneli zeminlerin değişen su oranına göre zemin durumunun tanımlanmasında kullanılan Atterberg Limitleri için yapılan deneyler sonucunda likit limit değeri %37,45, plastik limiti 34,52 ve bu değerlerin birbirinden çıkarılmasıyla elde edilen plastisite indisi ise 3 olarak bulunmuştur. 10 gr toprak örneğine 50 gr saf su eklenerek 180 devirdeki çalkalayıcıdan 6 saatin sonunda alınan numunelerde Wtv multi 340i cihazıyla oda sıcaklığında ölçümler yapılarak pH değerinin 6,84, elektriksel iletkenliğinin (EC) 15,96 mS/cm ve tuzluluk değerinin (NaCl eş değeri) %9,33 olduğu belirlenmiştir.

Tablo 4. Toprak numunesinin deney öncesi fiziko-kimyasal parametreleri

Parametreler	Değerler
Atterberg Limitleri (%)	
Likit limit (LL)	37,45
Plastik limit (PL)	34,52
Plastisite indisi (PI)	3
Renk	Koyu kahverengi

Zemin sınıfı (USCS)	CL
Su içeriği (%)	19,95
Özgül ağırlık	2,66
pH	6,84
Elektriksel iletkenlik (EC) (mS/cm)	15,96
Tuzluluk (NaCl eşdeğeri %)	9,33

Toprağın kimyasal parametreleri (Tablo 5) ise İndüktif Eşleşmiş Plazma Atomik Emisyon Spektrometresi (ICP-AES) analiziyle belirlenmiştir.

Tablo 5. Toprak numunesinin kimyasal parametreleri

Parametreler	Konsantrasyonlar (mg/kg)
Ca ²⁺	13747
Mg ²⁺	12192
K ⁺	3145
Na ⁺	12164
Fe	23551
Al	18997
	Konsantrasyonlar (mg/l)
Cl ⁻	0,1
NO ₃ ⁻	1
SO ₄ ²⁻	99

Toprağa saf su eklenmesiyle çözünen kalsiyum, magnezyum, potasyum, sodyum, demir ve alüminyum elementlerin sonuçları Tablo 6’da verilmiştir.

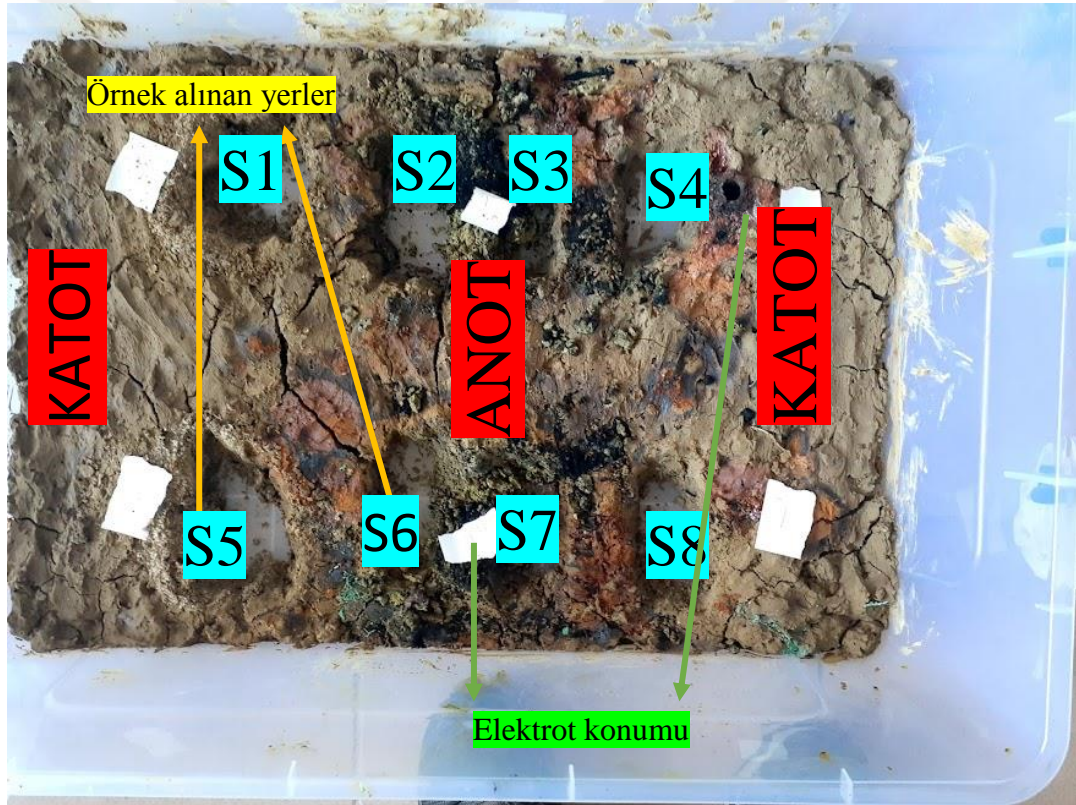
Tablo 6. Çözünen elementlerin kimyasal parametreleri

Parametreler	Konsantrasyonlar (mg/l)
--------------	----------------------------

Ca ²⁺	63
Mg ²⁺	63
K ⁺	8
Na ⁺	621
Fe	0,5
Al	0,4

4.4. Elektrokinetik Deneý

Deneý sonunda elektrotların yaklaşık 1 cm önünden alınan toprak örnekleri S1'den S5'e kadar isimlendirilmiştir (Şekil 13).



Şekil 13. Deneý sonu toprak örneklerinin alınması ve isimlendirilmeleri

Fiziko-kimyasal parametrelerin belirlenebilmesi için su muhtevası, pH ve EC değerlerinin belirlenebilmesi için 1:5 (Toprak: Saf su) oranı kullanılmıştır. Saf su eklenerek çözündürülen kalsiyum, magnezyum, potasyum, sodyum, demir ve alüminyum değerleri Tablo 7'de verilmiştir.

Tablo 7. Deney sonu saf suda çözüldürülen elementlerin kimyasal parametreleri

Parametreler	Konsantrasyonlar (mg/l)							
	Katot		Anot				Katot	
	S1	S5	S2	S3	S6	S7	S4	S8
Ca ²⁺	3	6	42	18	20	54	5	5
Mg ²⁺	4	7	208	148	167	226	4	11
K ⁺	21	18	31	26	23	41	19	25
Na ⁺	5105	2448	118	137	116	184	3828	7594
Fe	22	16	2138	2120	2275	4057	10	33
Al	24	34	977	1033	936	1170	14	36

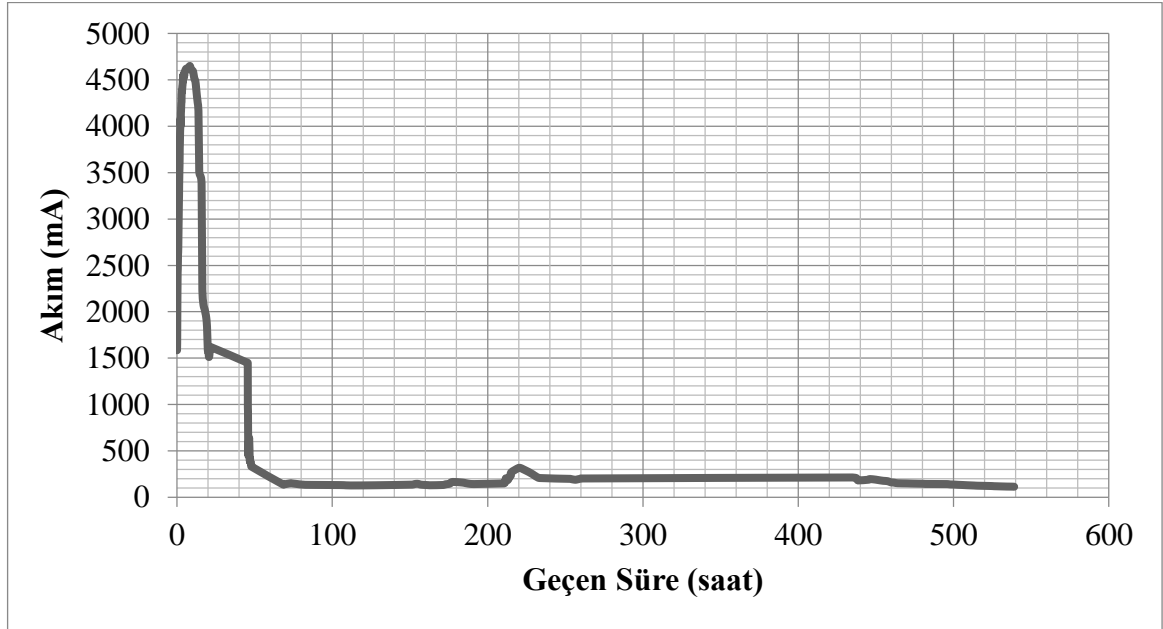
Elektrokinetik arıtım çalışmalarında karşılaşılan problemlerden biri elektrot korozyonudur. Elektrotlar ile gözenek suyu arasında meydana gelen reaksiyonlar ve elektrot bölgelerinde oluşan asidik ve bazik koşullara karşı kullanılan elektrotların malzemesiyle de ilişkili olan bu durum arıtım çalışmalarında aksamalara neden olabilmektedir. Yapılan bu çalışmada da anotlarda korozyon meydana gelmiştir (Şekil 14)



Şekil 14. Arıtım çalışması esnasında deforma olan grafit elektrotlar

4.4.1. Elektrik Akım Yoğunluğunun Evrimi

Tez çalışmasında yapılan elektrokinetik arıtım çalışmasında plastik bir kutu içerisinde yer alan merkezi anotların sağ ve sol taraflarına 2 katot olacak şekilde elektrotlar dizilmiştir. Çalışma 23 gün boyunca sabit elektrik potansiyelinde (17 V) yürütüldü. Şekil 4'te görüldüğü gibi elektrik akımı yoğunluğu deney başladıktan 8 saat sonra 4600 mA'da en üst seviyesine ulaşmış ve ardından 70. saatten itibaren deneyin sonuna kadar 120-160 mA'ya keskin bir düşüş olmuştur (Şekil 15).



Şekil 15. Geçen süreyle akım değerlerinin ilişkisi

Elektrik akım yoğunluğu, toprağın elektriksel iletkenliğinin doğrudan bir ölçümüdür. Testin başlangıcında, topraktaki mevcut ve hareketli iyonlar elektrik akımını anottan katoda taşır ve 10 saatte büyük bir akım yoğunluğu zirvesine neden olur. Daha sonra ise katot üzerindeki katyonların ve anottaki anyonların taşınması ve birikmesi, gözenek sıvısındaki mevcut iyonların daha düşük konsantrasyonu nedeniyle akım yoğunluğu azalmıştır. Ayrıca anot ve katottaki suyun elektrolizi, toprakta önemli pH değişikliklerine neden olmuş ve bu durum sonrasında iyonların türleşmesini etkilemiştir. Böylece, katottaki yüksek pH iyonların çökmesine ve katot üzerinde iletken olmayan bir hidroksit tabakasının oluşmasına neden olmuştur. Bu tür çökeltiler, elektrik akımı yoğunluğunun azalmasına neden olan elektrik direncini artırır.

4.4.2. Topraktaki pH Değişimleri ve Elektriksel İletkenlik (EC)

Nemli toprak örneğine doğrudan elektrik akımı uygulanması, elektrotlar üzerinde suyun elektrolizi ile sonuçlanır. Bu reaksiyon anotta O_2 ve H^+ iyonları, katotta ise H_2 ve OH^- iyonları verir. Sonuç olarak anot yakınındaki toprağın pH'ı düşer ve katotların çevresindeki pH yükselir. Bu nedenle anotta asidik katotta ise alkali pH ölçümleri tipiktir.

Deneyin başlangıcında toprağın pH değeri 6,84 idi. Deney sonunda suyun elektrolizinden dolayı, anotların etrafındaki ortalama pH 2,3 ve katotların etrafındaki pH 10,59 olmuştur (Tablo 8). Anotta H^+ iyonlarının üretimi, karbonatları ve diğer bazik tuzları çözen toprak bileşenleri ile reaksiyona girerek, katoda doğru elektro-göçle taşınabilen katyonlar olarak metalleri serbest bırakır. Katot tarafında yüksek pH ile ilişkili olan hidroksit iyonik metallerin sabitlenmesi için ortam hazırlar. Anot ve katodun pH evrimindeki asimetri, toprağın elektriksel iletkenliğini, deney sırasında elektrik akımı yoğunluğunun gelişimini ve elektrokinetik işlemde sonra topraktaki iyonik türlerin dağılımını etkilemiştir.

Tablo 8. Elektrokinetik test sonrası fiziko-kimyasal parametreler

Parametreler	Katot		Anot				Katot	
	S1	S5	S2	S3	S6	S7	S4	S8
Su içeriği (%)	24,55	22,89	17,48	17,09	17,69	17,55	23,97	23,13
pH	10,80	10,70	2,5	2,3	2,3	2,2	10,70	10,18
Elektriksel iletkenlik (EC) (mS/cm)	17,87	17,25	4,52	3,72	3,10	4,72	17,22	16,60
Tuzluluk (NaCl eşdeğeri %)	9,5	8,8	3,5	4,3	3,8	3,3	8,8	8,5

Elektrokinetik arıtım sonrasında nem, katotlarda ortalama %19,95'ten %23,63'e yükseldi ve anotlarda %17,45'e düştü (Tablo 8). Elektrik iletkenliği düşük olan yerler,

düşük su içeriği (anot çevresi) ile sonuçlanırken, elektrik iletkenliği yüksek olan topraklar daha yüksek nem içeriği (katot çevresi) göstermiştir. Deney sırasında, nem içeriğindeki bu değişikliklerden dolayı kuru ve ıslak bölgeler arasında önemli çatlaklar meydana gelmiştir (Şekil 16).



Şekil 16. Elektrokinetik test sırasında nem içeriğindeki farklılıklar sonucu oluşan çatlaklar

4.4.3. Elektrokinetik Arıtım ve Tuzluluğun Giderimi

Tuzlu topraklar çeşitli iyonik tuzlar içerir. Tuzlu toprakta en yaygın katyonik elementler şunlardır; Sodyum (Na^+), potasyum (K^+), kalsiyum (Ca^{2+}), magnezyum (Mg^{2+}), demir ve alüminyum gibi topraktaki diğer yaygın metallere. Tuzlu topraktaki en yaygın anyonlar sülfat (SO_4^{2-}), nitrat (NO_3^-) ve klorür (Cl^-) içerir. Toprağın tuzluluğu, genel olarak toplam çözünür tuzlara karşılık gelen eşdeğer NaCl (sodyum klorür) miktarı olarak ifade edilir. Topraktaki tuz konsantrasyonu ne kadar yüksek olursa, elektrokinetik testte o kadar yüksek elektrik akımı yoğunluğu kaydedilebilir. Elektriksel iletkenlik (EC), toprak tuzluluğunu karakterize etmek için kullanılan yaygın parametredir.

Elektrokinetik arıtımda, katyonik metaller olan sodyum, potasyum, kalsiyum ve magnezyum anottan katoda doğru elektro-göç ile taşınır. Tipik elektronegatif topraktaki elektro-ozmotik akış, anottan katoda geçerek katyonik metallerin taşınmasına yardımcı olur. Bununla birlikte, bu elektrokinetik testte hücrenin konfigürasyonu, anottan katoda doğru sürekli bir elektro-ozmotik akışa izin vermez. Anot ve katot arasında nem içeriği farklılıklarına neden olan sadece elektro-ozmotik akış vardır. Bu nedenle, elektro-ozmoz burada önemli bir taşıma olgusu olarak kabul edilemez. Bu tez kapsamında yapılan elektrokinetik testte iyonların taşınması esas olarak elektro-göçten kaynaklanmıştır.

4.4.4. Sodyum (Na⁺) ve Potasyum (K⁺) Dağılımları

Tablo 9'daki analiz sonuçları, tek değerli potasyum (K⁺) ve sodyum iyonlarının (Na⁺) anottan katoda doğru kolayca taşındığını gösterir. Topraktaki sodyumun (Na⁺) başlangıç konsantrasyonu 12164 mg/kg, potasyumun (K⁺) başlangıç konsantrasyonu 3145'tir. Elektrokinetik testten sonra, sodyumun (Na⁺) konsantrasyonu anotlarda ortalama 745 mg/kg katotlarda ise 23877 mg/kg'dır. Anotlarda ortalama potasyum (K⁺) konsantrasyonu 1978 mg/kg iken katottaki değer 5150 mg/kg'dır. Potasyum (K⁺) ve sodyum (Na⁺) sistemdeki anyonların çoğu ile geniş bir pH aralığında (asitten alkaliye kadar) çözünür türler oluşturur. Çözeltideki bu türler stabilite, elektrokinetik test sırasında katoda doğru elektro-göç yoluyla taşınmayı kolaylaştırır. Elektrokinetik test süresi uzatılırsa sodyumun (Na⁺) ve potasyum (K⁺) konsantrasyonunun katotta artmaya ve anotta azalmaya devam etmesi beklenir.

Tablo 9. Deney sonu katyonların elektrotlara dağılımı

Parametreler	Konsantrasyonlar (mg/kg)							
	Katot		Anot				Katot	
	S1	S5	S2	S3	S6	S7	S4	S8
Ca ²⁺	11138	12727	2440	2677	563	988	13593	10334
Mg ²⁺	17646	18580	4894	4380	2383	3669	9545	9742
K ⁺	6081	5675	3173	2801	2456	2342	4761	4086
Na ⁺	30221	39495	1241	849	386	505	37070	22086
Fe	40730	34326	33688	42182	31900	33019	35050	32190

Al	24299	23370	21076	19811	13369	15715	23814	20185
----	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------

4.4.5. Kalsiyum (Ca²⁺) ve Magnezyum (Mg²⁺) Dağılımları

Toprak numunesindeki başlangıçtaki kalsiyum (Ca²⁺) ve magnezyum (Mg²⁺) konsantrasyonu sırasıyla 13747 mg/kg ve 12192 mg/kg'dır. Bu iki metal, elektrokinetik test sonrasında kalsiyum 9084 mg/kg ve magnezyum 13878 mg/kg ortalama konsantrasyonları göstererek katotların çevresinde birikmiştir. Bu iyonların katoda doğru taşınması elektro-göç ve elektro-ozmoz yoluyla gerçekleşir. Anot çevresindeki birikim ise, temel olarak kalsiyum ve magnezyum ile negatif yüklü türler oluşturan çeşitli inorganik anyonlar ve/veya organik maddelerle kompleksleşmeden kaynaklanır. Bu negatif türler anoda doğru taşınır. Ayrıca kalsiyum ve magnezyumun anot tarafında taşınması ve birikmesi topraktaki inorganik anyonlarla kimyasal etkileşimden etkilenmiştir. Kalsiyum ve magnezyum, klorür ve nitrat ile çözünür tuzlar oluşturur, kalsiyum sülfat magnezyum sülfata göre çok daha az çözünürdür. Sülfat iyonları anoda doğru elektro-göç olduğunda kalsiyum ile çözünmeyen çökeltiler oluşturarak anotların etrafındaki alanda birikmesini kolaylaştırırlar. Sülfat tuzlarının sınırlı çözünürlüğü, anottaki kalsiyum ve magnezyum birikimini açıklamaktadır.

4.4.6. Alüminyum ve Demir Dağılımları

Bu tez kapsamında yapılan deney sonucunda benzer şekilde Al ve Fe de anot tarafında birikmiştir (Tablo 7). Elektrokinetik işlem, topraktaki çeşitli minerallerden Al ve Fe iyonlarını harekete geçirir. Anotta Al ve Fe birikimi, bu iki türün topraktaki organik madde ile negatif kompleksler oluşturduğunu düşündürür. Bu tür negatif türler, anot tarafına taşınmış ve burada birikmiştir.

4.4.7. İnorganik Anyonlar: Nitrat (NO₃⁻), Sülfat (SO₄²⁻) ve Klorür (Cl⁻)

Nitrat, klorür ve sülfat gibi anyonlar genellikle tuzlu topraklarda bulunurlar. Bu anyonlar toprağın elektriksel iletkenliğine katkıda bulunur. Topraktaki varlıkları, pestisitlerin sürekli kullanımı ile ilgili olabilir (Cho vd., 2012). Elektrokinetik işlem sırasında inorganik anyonlar katot tarafında daha düşüktür (Tablo 10). Klorür ve nitrat anoda doğru kolayca taşınır. Anottaki ortalama klorür konsantrasyonu katottaki

konsantrasyonun 5 katıdır. Nitrat için anottaki konsantrasyonlar, katottaki konsantrasyonların iki katıdır. Tersine anottaki ortalama sülfat konsantrasyonu katottaki değerden biraz daha yüksektir. Sülfatın kalsiyumla etkileşimiyle oluşan kalsiyum sülfat bileşiği, düşük çözünürlüğü nedeniyle sülfatın taşınmasında engel oluşturur. Ayrıca sülfatın topraktaki organik maddelerle bileşik oluşturmaya yatkınlığı sülfatın taşınma oranını azaltabilir (Cho vd., 2011). Bu çalışmada nitrat ve klorür toprakta en bol bulunan katyonlarla (Na^+ , K^+ , Ca^{2+} ve Mg^{2+}) çözünür tuzlar oluşturur. Nitrat ve klorürün anoda doğru daha verimli taşınmasının nedeni budur.

Tablo 10. Deney sonunda anyonların elektrotlara dağılımı

Parametreler	Konsantrasyonlar (mg/l)							
	Katot		Anot				Katot	
	S1	S5	S2	S3	S6	S7	S4	S8
SO_4^{2-}	61	65	73	70	68	71	69	65
NO_3^-	1	1	2	2	2	2	1	1
Cl^-	815	744	4538	5176	6311	5672	856	843

BEŞİNCİ BÖLÜM

SONUÇ VE ÖNERİLER

Tez kapsamında Çanakkale ili Kavak Deltasından alınan tuzlu toprak örnekleri üzerinde elektrokinetik yöntemle tuzluluğun arıtımı üzerine çalışılmıştır. Deneye başlamadan önce elektrokinetik testler için en kararlı ve en uygun elektrot malzemesinin seçilmesi amacıyla alüminyum, bakır ve galvanizli çelik elektrotlar kullanılmış ve deney öncesi ve sonrası toprağın fiziko-kimyasal parametreleri dikkate alınarak değerlendirme yapılmıştır. Bu testlerde metalik elektrotlar elektrokinetik testler sırasında esas olarak anotlarda korozyona uğramıştır. Elektrotların korozyonu metal kirleticilerin konsantrasyonu artırarak toprağa girebilen metalleri serbest bırakır. Ayrıca korozyon elektrokinetik testlerin ömrünü kısaltmakta ve malzeme maliyetlerini artırmaktadır. Bu nedenle çalışmanın diğer aşamasında, düşük fiyatı ve toprak kalitesini etkileyebilecek kirletici salınımı olmaması nedeniyle tercih edilen elektrot malzemesi olan grafit elektrot seçilmiştir. Kavak Deltasından alınan tuzlu toprak örneklerinde su muhtevası, zemin sınıfı, pH, tuzluluk ve elektriksel iletkenlik özellikleri karakterize edildi. Toprağın kimyasal parametrelerinin ortaya koyulmasından sonra elektrokinetik arıtım çalışmasına geçildi ve 23 gün sonra sonlandırıldı. Elektrokinetik arıtım çalışması esnasında, anot çevresindeki pH değişiklikleri, asidik bölgenin oluşumu ve elektrokimyasal oksidasyon/redüksiyon reaksiyonları ile ilişkili anotlarda meydana gelen korozyon nedeniyle elektrot ve elektrot maşaları iki kez değiştirildi. Çalışma esnasında bu gibi durumlarda elektrik akımının kesilmesi arıtımda aksamalara neden olabilir. Elektrot maşalarının ortamla ilişkisinin kesilmesinde malzemelerin streçlenmesi korozyonun önlenmesinde yararlı olabilir. Elektrot korozyonlarının önlenmesinde ise elektrik akımını belirli aralıklarla keserek yapılan elektrokinetik arıtım çalışmaları: topraktaki yüksek sıcaklık ve korozyon yoğunluğunu azaltmak için kullanılan yöntemlerden biridir. Diğer bir çözüm ise uygun çeşitli kimyasal solüsyonlar kullanılarak kısmen de olsa pH dengesinin sağlanmasıdır.

Başlangıç değerleri dikkate alındığında en yüksek sodyum konsantrasyonunu sırasıyla kalsiyum, magnezyum ve potasyum takip etmektedir. Deney sonrasında elektrotların çevresinde biriken kirleticilerin çeşitli yöntemlerle saflaştırma çalışmaları sonucu ortamdan uzaklaştırılması mümkün olmakla birlikte, kalsiyum hidroksit ve

magnezyum hidroksit gibi iyon oluşturan bileşiklerin hareketini güçleştirmektedir. Karbonat bileşimi formunda tuz iyonlarını (rneğin sodyum karbonat) serbest bırakabilen maddelerin eklenmesi saflaştırmanın etkinliğini artırabilir. Tuzluluğa neden olan diğer bileşik de sülfürik asit tuzlarıdır. Bu da kalsiyum sülfat, magnezyum sülfat, sodyum sülfat ve potasyum sülfat gibi bu tuzların sülfat iyonlarında düşük çözünürlüğe sahip düşük taşıma değerini açıklar.



KAYNAKÇA

- Acar, Y.B. Alshawabkeh, A. (1993). Principles of electrokinetic remediation. *Environ. Sci. Technol.* 27: 2638-2647.
- Alshawabkeh, A.N. Yeung, A.T. and Bricka M.R. (1999). Practical aspects of in-situ electrokinetic extraction. *J. Environ. Eng.*, 125: 27–35.
- Alshawabkeh, A.N. Gale, R.J. Ozsu-Acar, E. Bricka, R.M. (1999). Optimization of 2-D electrode configuration for electrokinetic remediation. *Journal of Soil Contamination*, 8:6: 617 635.
- Boer, N.P. (1954). Report on a geological reconnaissance in Turkish Thrace, September, December G.A. 25373.
- Casagrande, L. (1949). Electro-osmosis in soil. *Geotechnique*, 1:1959.
- Cho, J.M. Kim K.J. Chung K.Y. Hyun, S. ve Baek, K. (2009). Restoration of saline soil in cultivated land using electrokinetic process. *Sep. Sci. Technol.* 2009, 44, 2371.
- Cho, J.M. Kim K.J. Chung K.Y. Hyun, S. ve Baek, K. (2011). Electrokinetic restoration of sulfate-accumulated saline greenhouse soil. *Clean – Soil, Air, Water*, 39 (12): 1036–1040.
- ÇEM (Tarım ve Orman Bakanlığı Çölleşme ve Erozyonla Mücadele Genel Müdürlüğü), (2018). Tuzlu ve alkali alanlarda kullanılabilir bazı bitki türlerinin tespiti ve adaptasyonu projesi, 2014-2018. Kırşehir.
- Ercan, T. Satır, M. Steinitz, G. Dora, A. Sarıfakıoğlu, E. Adis, C. Walter, H.J. ve Yıldırım, T. (1995). Biga Yarımadası ile Gökçeada, Bozcaada ve Tavşan Adalarındaki (KB Anadolu) Tersiyer Volkanizmasının Özellikleri. *MTA Dergisi*, 117:55-86.
- Flowers, T. J. Colmer, T. D. (2008). Salinitytolerance in halophytes. *The New Phytologist*, 179:945–963.
- Hansen, H.K. Ottosen, L.M. ve Ribeiro, A.B. (2016). Electrokinetic soil remediation:An overview. *Springer International Publishing Switzerland*.3-18.
- Herrada, R. A. Pérez – Corona, M. Shrestha, R. A. Pamukcu, S. ve Bustos, E. (2014). Electrokinetic remediation of polluted soil using nano-materials: Nano-iron case. *Research Signpost: Trivandrum*.41-57.
- Jayasekera S. Mewett J. ve Hall S. (2004). Effects of electrokinetic treatments on the properties of a salt affected soil. *Australian Geomechanics*, 39(4):33–46.
- Kim, D.H. Jo, S.U. Choi, J.H. ve Beak, K. (2012). Hexagonal two dimensional

- electrokinetic systems for restoration of saline agricultural lands: A pilot study. *Chemical Engineering Journal*, 110–121.
- Kim, D.H. Jo, S.U. Yoo, J.C. ve Beak, K. (2013). Ex situ pilot scale electrokinetic restoration of saline soil using. *Separation and Purification Technology*, 120: 282–288.
- Kingwell, R. John, M. Robertson, M. (2008). A review of a community-based approach to combating land degradation: dryland salinity management in Australia. *Environment, Development and Sustainability*. 10: 899-912.
- Lee, K.Y. Kim, H.A. Lee, W.C. Kim, S.O., Lee, L.U. Kwon, Y.H. ve Kim, K.W. (2012). Ex-situ field application of electrokinetics for remediation of shooting-range soil. *Environ Geochem Health* 34:151–159.
- Lee, Y.J. Choi, J.H. Lee, H.G. ve Ha, T.H. (2013). In situ electrokinetic removal of salts from greenhouse soil using iron electrode. *Separation Science and Technology* 48:5, 749-756.
- MTA, (1998). *Türkiye Jeoloji Haritaları*, Maden Tetkik ve Arama Enstitüsü, ölçek 1:100 000, pafta D3 Ankara.
- Miyamoto, S., Martinez, I., Padilla, M., Portillo A., ve Ornelas, D., (2004). Photo guide: Landscape plant response to soil salinity, *Texas A&M Univ. Research Center and El Paso Water Utilities*.
- Özcan, H. Çullu, M. A. Günal, H. Ekinçi, H. Budak, M. Sungur, A. ve Everest, T. (2018). Solonchaks and Solonchak-Like Soils. *The Soils of Turkey*. 267-283.
- Pannel, D.J. Ewing, M.A. (2006). Managing secondary dryland salinity: option and challenges. *Agricultural Water Management*. 80: 41-56.
- Perinçek, D. Ataş, N. Karatut, Ş. ve Erensoy, E. (2015). Danişmen Formasyonu Stratigrafisi ve birim içindeki linyit düzeylerinin havzadaki dağılımı, Trakya Havzası, *Türkiye. Türkiye Jeoloji Bülteni* 1:20-62.
- Perinçek, D. (2018). Çanakkale Yöresi (KB Türkiye) Erenköy ve Güzelyalı fosil heyelanlarının jeolojik ve jeomorfolojik analizi. *Geological Bulletin of Turkey* 61: 241-268.
- Pessarakli, M. ve Szabolcs, I. (1999). Soil Salinity and sodicity as particular plant/crop stress factors, *Handbook of Plant Crop Stress*, ISBN 0-8247-1948-4, New York, 1198.
- Reuss, F.F. (1809). Sur un nouve leffet de l'e'lectricite' galvanique. *Mem. Soc. Imp.*

Naturalists Moscow, 2: 327–336.

Siyako, M. (2006a). Trakya Havzası' nın linyitli kumtaşları, *MTA Dergisi*, 132, 63 - 73.

Siyako, M. (2006b). Trakya Bölgesi litostratigrafi birimleri (Tersiyer Bölümü). Stratigrafi Komitesi, Litostratigrafi Birimleri Serisi-2. *MTA Genel Müdürlüğü Yayını*. 70.

Sümengen, M. Terlemez, İ. Şentürk, K. Karaköse, C. Erkan, N.E. Gürbüz, M. ve Atalay, Z. (1987). Gelibolu Yarımadası ve Güneybatı Trakya tersiyer havzasının stratigrafisi, sedimentolojisi ve tektoniği, *MTA Genel Müdürlüğü, Jeoloji Etütler Dairesi, yayımlanmamış teknik rapor 8218*: 337.

Temel, S. ve Şimşek, U. (2011). Iğdır Ovası toprakların çoraklaşma süreci ve çözüm önerileri. *Alinteri Journal of Agriculture Science* 21:53-59

Toprak Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği, 08.06.2010 Tarih ve 27605 Sayılı Resmi Gazete.

Yiğitbaş, E. (2016). Jeolojik – Antropojenik Sebep – Sonuç İlişkileri Açısından Çanakkale Heyelanlarına Toplu Bakış. *Researchgate* 1-12.

Wall, S. (2010). The history of electrokinetic phenomena. *Current Opinion in Colloid & Interface Science*, 15: 119–124.



