

*Araştırma Makalesi - Research Article*

## **Kil Zeminlerde Magnezyum Klorürün ( $MgCl_2$ ) Etkisi**

Nazile URAL\*

*Geliş / Received: 22/11/2019*

*Revize / Revised: 14/12/2019*

*Kabul / Accepted: 17/12/2019*

### **ÖZ**

Killi zeminlerin davranışı, birim hacim ağırlık, boşluk oranı, mikroyapı, dane çapı dağılımı, kil mineralojisi, plastiklik özelliği ve boşluklardaki suyun özelliklerine göre değişiklik göstermektedir. Boşluklardaki su bazı durumlarda kirlenmektedir. Özellikle, zeminde, mineral ayrışması, okyanusun geri çekilmesi, sulama işlemleri, katı atık depolarındaki sızıntı ve işletmelerden dolayı tuzlanma meydana gelmektedir. Bu sebeple çeşitli çalışmalar yapılmış ve literatürde konu hakkında birçok rapor bulunmaktadır. Bu çalışmada, öncelikle magnezyum klorür' ün ve diğer tuzların kil zemin ile etkileşime girmesi sonucu meydana gelen davranış değişiklikleri ile ilgili önceden yapılan çalışmaların sonuçları sunulmuştur.

**Anahtar Kelimeler-** *Kil,  $MgCl_2$ , Fiziksel özellikler, Dayanım, Mikroyapı*

\*Sorumlu yazar iletişim: nazile.ural@bilecik.edu.tr (<https://orcid.org/0000-0002-2268-842X>)  
İnşaat Mühendisliği Geoteknik Anabilim Dalı, Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Gölümbe Kampüsü 11230

## Effect of magnesium chloride ( $MgCl_2$ ) on clay soils

### ABSTRACT

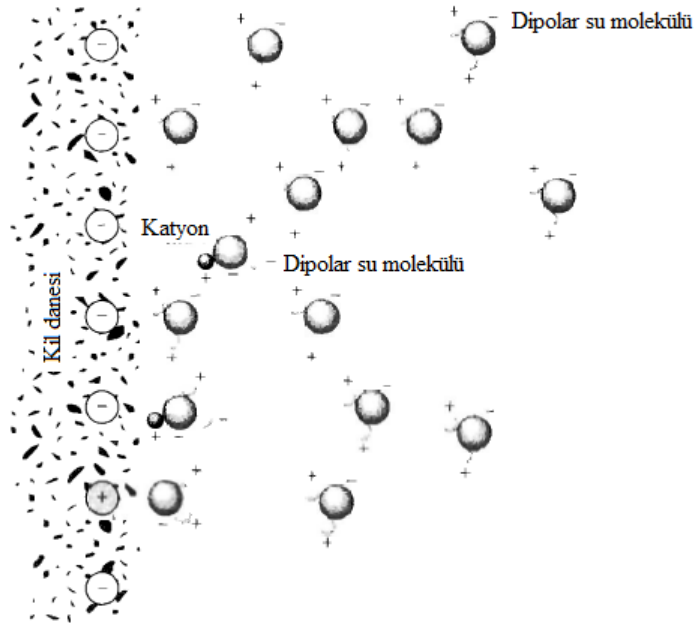
Behavior of clayey soil shows changes according to the unit volume weight, gap ratio, microstructure, grain diameter distribution, clay mineralogy, plasticity and the properties of the liquid in the gap. Water in the gap is polluted in sometimes. Specifically, salting occurs on the ground due to mineral decomposition, withdrawal of the ocean, irrigation processes, leaks in solid waste depots and operations. Various studies were carried out for this reason and reported in the literature. In this study, firstly, the results of previous studies about the behavior changes that occur as a result of the interaction of magnesium chloride and other salts with clay soil are presented.

**Keywords-** Clay,  $MgCl_2$ , Physical Properties, Strength, Microstructure

## I. GİRİŞ

Geoteknik özellikleri danelerin boşlukları ve içerisinde bulunan sıvının özelliklerinden etkilenmektedir. Özellikle killerin davranışları üzerinde önemli bir etkiye sahip oldukları birçok çalışmada görülmektedir. Genel olarak kimyasal malzemelerin sızıntı yoluyla zemin ve suyla bir araya gelmesi durumunda killerin özellikleri değişmektedir. Bu tip durumların başında katı atık depoları gelmektedir. Katı atık depolarındaki sızıntı suyu içerisinde farklı birçok tuz bulunmaktadır. Bunun dışında, zemindeki tuzlanma, mineral ayrışması, okyanusun geri çekilmesi, sulama işlemleri ve işletmelerden de kaynaklanmaktadır.

Zeminlerin mühendislik özellikleri, birim hacim ağırlık, boşluk oranı, mikroyapı, dane çapı dağılımı, kil mineralojisi, plastiklik özelliği ve boşluklardaki sıvının özelliklerine göre değişiklik göstermektedir. Bu özelliklerdeki değişikliklere bağlı olarak, zeminin fiziksel ve mekanik özellikleri etkilenmektedir. Özellikle kil veya killi zeminlerin fiziksel ve mekanik özelliklerini, kilin mikroyapısındaki değişiklikler doğrudan etki etmektedir. Kil, hidratlı alüminyum ve magnezyum silikatlardan oluşan doğal bir ikincil mineral olarak tanımlanabilir. Kilin dane boyutu 2 m veya daha küçüktür. Kili aynı boyutta diğer partiküllerden ayıran özellik ise su ile karıştırıldığında çamur oluşturmasıdır. Zeminlerin mineral içeriği çakıl, kum, silt ve kildir. Killer dolgu barajlarda ve atık depolarında geçirimsizliğin sağlanması, göletlerde su tutması ve kazılarda bulamaç halinde destek sağlaması için kullanılır. Kil mineralleri iki, üç veya dört tabakalı kristallerden oluşmaktadır. Bu tabakalar arasındaki zayıf bağların varlığı su ve diğer iyonların buralara yerleşmesine izin verebilir (Önalp, 2006). Böylelikle killerin yüzey özellikleri, mevcut olan değişebilir katyonların başka katyonlarla yer değiştirmesi ile modifiye edilebilir. Kil minerali yüzeyi negatif (-) yüke, kenarları ise pozitif (+) yüke sahiptirler. Bu (-) yükün büyüklüğü kilin tipine zeminde bulunan minerallere ve organik maddeye bağlıdır. Kil daneleri su veya başka kimyasallarla etkileşime girdiğinde elektriksel olarak yüzeylerin nötralizasyonu sağlanır. Bu katyonlar adsorbe edilerek dağınık çift tabaka (Şekil 1) kalınlığını artırabilir veya karşılıklı olarak yer değiştirebilirler. Dağınık çift tabaka, danelerin yüzeyinde adsorbe edilen katyonların çekimi ile elektriksel nötrlüğü korumak için kil danelerinin negatif yükü dengelemesidir.



Şekil 1. Dağınık çift tabakada dipolar su moleküllerinin etkileşimi [2]

Kilin türüne göre adsorbe edilen katyonların miktarı değişmekte ve bu durumda zeminin fiziksel ve mekanik özelliklerini değiştirmektedir. Katyon değişim kapasitesini (CEC) zemin kütlesi başına toplam negatif

elektrik yükü olarak tanımlayabiliriz. Aynı kil minerali için yüksek kil içeriğine sahip bir zemin, düşük kil içeriğine sahip bir zemine göre daha yüksek bir CEC'ye sahip olur. Kil yüksek bir CEC' ye sahip olduğunda, yani, yüzeyleri yoğun bir şekilde adsorbe edilmiş katyonlar olduğunda, daneleri çevreleyen dağınık çift tabakada daha fazla katyon olacaktır.

## II. MAGNEZYUM KLORÜR ( $MgCl_2$ )

Kimyasal formülü  $MgCl_2$  olan magnezyum klorür inorganik ve düzensiz bir bileşiktir. Alkolde ve suda çözülebilen ve ısıtıldığında tamamen olmasa da kısmen hidrolize olan magnezyum klorür birçok bilim dalında kullanılmaktadır. Genellikle, sıvı haldeki magnezyum klorür donma noktasından dolayı yollardaki buzlanma problemlerinde kullanılmaktadır. Sulama suyunda ve yeraltı suyunda bulunan tuzları, sülfatlar, karbonatlar, kalsiyum, magnezyum, sodyum ve potasyumun olarak sıralayabiliriz.

Bu tuzların, suyun içinden geçtiği mineral malzemenin bileşimi ile birlikte suda bulunan tuzları belirleyen çözünürlüğe sahiptirler. Bu durumda, iyonize olurlar, katyonlara ve anyonlara ayrılırlar. En yaygın katyonlar ise kalsiyum, magnezyum ve sodyumdur. Toprak çözeltisindeki OH konsantrasyonunun artmasına ve  $H^+$  konsantrasyonunun azalmasına sebep olurlar (Buckman ve Brady, 1967; Miller ve Donahue, 1995). Kalsiyum ve magnezyum iyonları genellikle zemini topaklanmış tutarlar (Hanson ve arkadaşları, 1999; Miller ve Donahue, 1995). Ortamda artan kalsiyum ve magnezyum konsantrasyonları, toprak parçacıklarına bağlanarak topaklanmayı sağlar (Hanson ve diğ., 1999). Kalsiyum ve magnezyum negatif yüklü kil parçacıklarını, topaklamak için bir araya getirir. Kil mineralojisi, dokusu, sulama uygulamaları ve yağışların hepsi topaklanma ve dağılma üzerinde etkilidir (Miller ve Donahue, 1995; Levy ve diğerleri, 1999; van de Graaff ve Patterson, 2001). Buna ilave olarak da zeminde çözünür tuzlar bulunması, katyon değişimi ve topaklanma ile geoteknik özellikleri etkileyebilmektedir (Sparks 2003; Mitchell ve Soga 2005).

## III. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

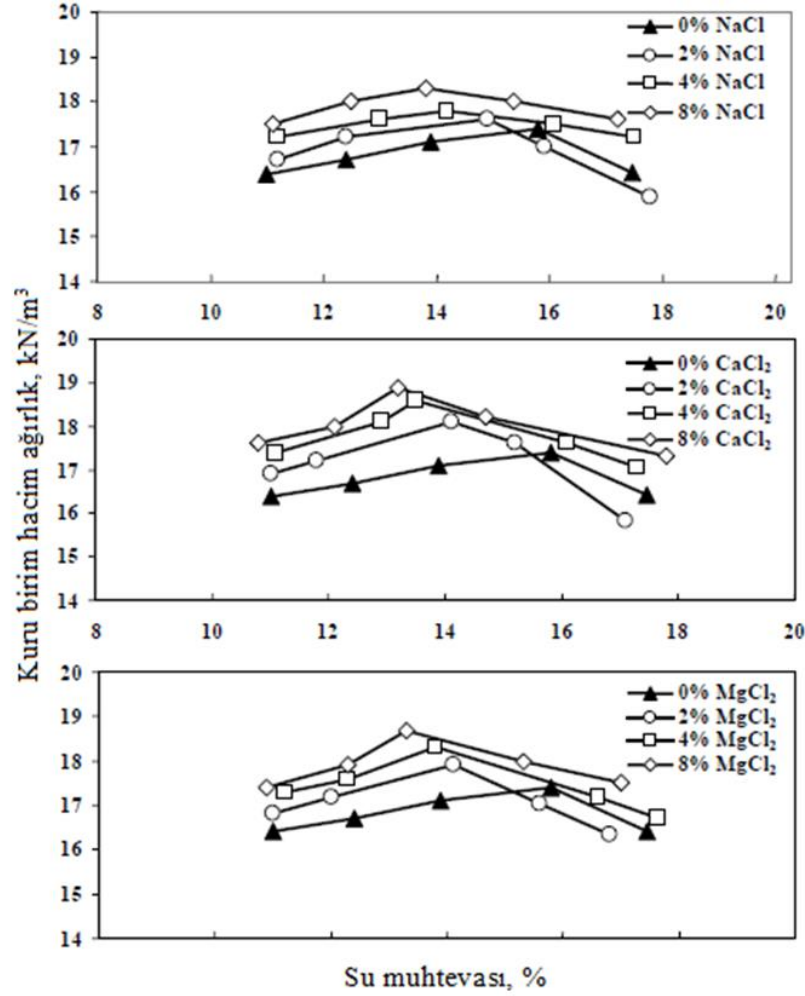
Tuzlar zeminle etkileşime girerek sonucu zeminleri fiziksel, mekanik ve mikroyapısal olarak etkilemektedir. Abood ve ark. 2007 çalışmasında  $NaCl$ ,  $MgCl_2$ ,  $CaCl_2$  gibi farklı klorür bileşikleriyle ilgili siltli kilin mühendislik özellikleri üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Bu amaçla siltli kile % 2, % 4 ve %8 yüzdelerinde tuzlar eklenmiş ve bu tuzların sıkıştırma özellikleri, kıvam limitleri ve serbest basınç dayanımı üzerindeki etkisi gözlemlenmiştir. Sonuç olarak araştırmacılar, her bir tuzun yüzdesinin artmasıyla maksimum kuru birim hacim ağırlığının arttığını ve optimum su muhtevasının azaldığını söylemişlerdir (Şekil 2). Ayrıca, likit limit, plastik limit ve plastisite indeksi, tuz içeriğindeki artış ile azalmıştır. Serbest basınç değeri tuz yüzdesinin artmasıyla artmıştır.

Avustralya' da sodyum tuzları zemin ve yeraltı sularına hâkim olma durumundadır. Bunun nedenini ise doğal olarak ve Avustralya' da geri dönüştürülmüş su ile sulamanın artmasını göstermektedirler (Marchuk ve Rengasamy 2010). Marchuk ve Rengasamy 2010 çalışmalarında  $Ca$ ,  $Mg$ ,  $K$  ve  $Na$  katyonlarını farklı oranlardaki hazırlanmış su kullanılarak, on zemin numunesi üzerinde hidrolik iletkenlik deneyleri yapmışlar ve fardır. Araştırmacılar sonuç olarak, bu zeminlerin hidrolik iletkenliğindeki değişimlerin katyonlardaki topaklanma gücünü yansıttığını söylemişlerdir.

Shariatmadari ve ark. 2011 yılında,  $NaCl$ ,  $CaCl_2$  ve  $MgCl_2$ ' nin, Tahran Metropolitan' in ana atık imha merkezinde, geçirimsiz taban bariyerinde yaygın olarak kullanılan kilin geoteknik özellikleri üzerindeki etkisi üzerine çalışmışlardır. Çalışma kapsamında likit limiti, sıkıştırma, konsolidasyon ve serbest şişme testleri yapmışlardır. Araştırmacılar sonuçta, bu tuzların kilin geoteknik özellikleri üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğunu ve bu değişikliklerin sebebi olarak kilin çift tabakasını göstermişlerdir.

Türköz ve ark. 2011 çalışmasında, magnezyum klorür solüsyonunun kil zeminlerin şişme potansiyeli ve dispersibilite karakteristikleri üzerindeki etkisini incelemiştir. Çalışma kapsamında, magnezyum klorür % 0, %1, %3, %5, %7 ve %10 katkı oranlarında üç farklı zemin numunesine katılmıştır. Kompaksiyon deneyi sonrasında şişme yüzdesi deneyleri, iğne deliği deneyi, dağılma deneyi, hidrometre deneyi ve kimyasal deneyler yapılmıştır. Araştırmacılar, sonuçta, magnezyum klorür solüsyonunun problemlili kil zeminlerin iyileştirilmesinde kullanılabileceğini ve özellikle %7 katkı oranından sonra etkin bir iyileştirme sağlandığı söylemişlerdir.

Ajam ve ark. 2014' de İran' ın Huzistan eyaletindeki Karun Nehri' nde bulunan Gotvand barajının kil çekirdeğinde ince daneli zeminlerin mühendislik özellikleri üzerindeki tuzluluk etkisini incelemişlerdir. Sodyum klorür, magnezyum klorür ve kalsiyum sülfat kullanılarak, Atterberg limitleri, içsel sürtünme açısı, kohezyon parametrelerini incelemişlerdir. Çalışma sonunda araştırmacılar, tuzluluğun zeminin mekanik özelliklerini etkilediğini göstermektedir. Tuzun kısa vadede baraj gövdesi üzerinde zararlı bir etkisi olmadığı, ancak, nihai sonuçlara ulaşmak için daha fazla çalışma yapılması ihtiyacı olduğunu söylemişlerdir.



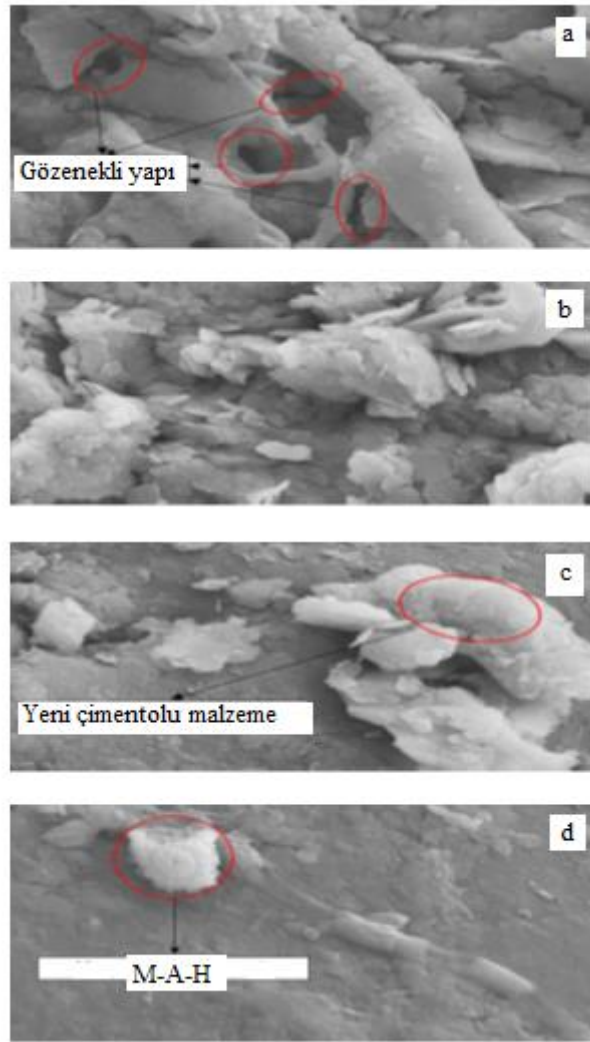
Şekil 2. Farklı tuzların kuru birim hacim ağırlığı ve su muhtevası ilişkisi [10]

Sasikumar 2016 çalışmasında tuz çözeltilerinin geoteknik özellikleri üzerindeki etkisini iki farklı kil üzerinde incelemiştir. Tuz çözeltisi olarak, sodyum klorür, magnezyum klorür ve kalsiyum klorür, kil olarak da CL ve CH killeri kullanılmıştır. Bu kapsamda likit limit, plastik limit ve serbest şişme özellikleri belirlenmiştir. Çalışma sonunda araştırmacılar, zemin özelliklerinde önemli değişiklikler olduğunu söylemişlerdir.

Latifi ve ark. 2016a magnezyum klorür ( $MgCl_2$ ) çözeltisi ile stabilize edilmiş tropik artık zeminin mukavemet ve mikro yapı değişikliğini incelemiştir. Serbest basma dayanımı ve standart doğrudan kesme deneyleri yapılarak, zeminin dayanım ve kayma özellikleri belirlenmiştir. Ayrıca, X-ışını Difraktometresi (XRD), enerji dağıtıcı X-ışını spektrometresi (EDAX), alan emisyon taramalı elektron mikroskobu (FESEM), Fourier dönüşümü kızılötesi spektroskopisi (FTIR) ve Brunauer, Emmett ve Teller (BET) yüzey alanı analizleri

yapılmıştır. Sonuçta, araştırmacılar  $MgCl_2$ ' un zemin dayanımını belirgin şekilde arttırdığını ve 7 günlük kür sonrası dayanımın yaklaşık iki kat daha fazla çıktığını söylemişlerdir.

Latifi ve ark. 2016b  $MgCl_2$ ' nin tropik turbanın fiziko-kimyasal özellikleri üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Serbest basınç deneyleri, mikro yapısal özelliklerini belirlemek için X ışını difraktometrisi, enerji dağıtıcı X-ışını spektrometresi, alan emisyonu taramalı elektron mikroskobu, Fourier dönüşümü kızılötesi spektroskopisi ve Brunauer, Emmett ve Teller yüzey alanı analiz leri yapılmıştır. Araştırmacılar sonuçta,  $MgCl_2$  ile dayanımın 7 günlük kür sonrasında altı kat arttığını söylemişlerdir. Bununla birlikte, zeminin mikro yapısındaki gözenekli dağılımın değiştiği görülmüştür (Şekil 3). İlk FESEM görüntüsünde boşluk ve gözeneklerin olduğu, dağılmış ve süreksiz bir yapı görülürken, daha sonra yeni kristal beyaz topraklar oluşumu ve en son zeminlerin, gözeneklerinin, magnezyum alüminat hidrat (M-A-H) olarak bilinen yeni oluşturulmuş kristalimsi bileşiklerle dolduğu görülmektedir.



**Şekil 3.** FESEM sonuçları a. doğal turba, % 6  $MgCl_2$  ile muamele edilmiş turba, b. 3 günlük kuruma süresinden sonra, c. 7 günlük kuruma süresinden sonra d. 28 günlük sertleşme süresinden sonra [17]

Das ve Sudha 2016 çalışmasında organik ve inorganik kimyasalların, bentonit ve bentonit-kum karışımlarının geoteknik özelliklerindeki etkisini incelemiştir. Organik bileşenler asetik asit ve seçilen

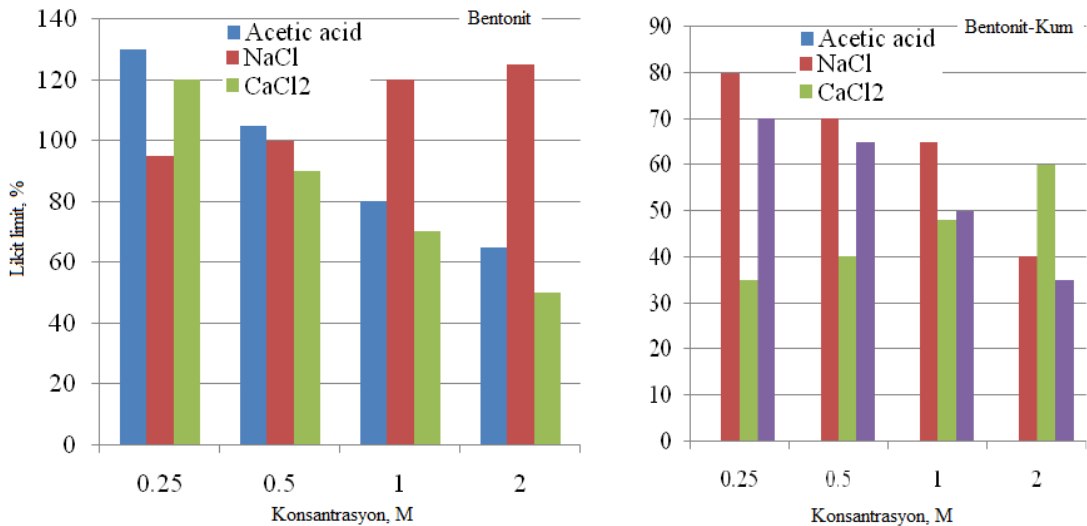
inorganik bileşenler ise sodyum klorür ve kalsiyum klorürdür. Bentonit, bentonit-kum ve kimyasal eklenen karışımların kıvam limitleri, hidrolik deneyleri yapılmıştır. Asetik asit ve  $\text{CaCl}_2$  konsantrasyonunun artmasıyla, likit limit azalır,  $\text{NaCl}$  ilavesiyle, önce likit limit düşer, konsantrasyonunun artmasıyla, likit limit artar (Şekil 4.). Bentonitin dayanımı, asetik asit ve  $\text{NaCl}$  artışıyla azalırken,  $\text{CaCl}_2$  artışıyla farklı artmaktadır. Bentonit-kum karışımının dayanımı, asetik asit  $\text{NaCl}$  ve  $\text{CaCl}_2$  artışıyla azalmaktadır. Sonuçta, kimyasal etkileşim nedeniyle bentonit ve bentonit-kum karışımının geoteknik özelliklerini etkileyen bir değişikliğe uğradığını söylemişlerdir.

Helle ve ark. 2016 hassas killerin davranışlarında potasyum klorür' ün etkisini incelemişlerdir. Özellikle Ulvensplitten, Oslo, Norveç' te 1972 yılında kurulan tuz kuyularından potasyum klorür ( $\text{KCl}$ ) difüzyonuna maruz kalan hassas kil üzerindeki uzun vadeli etkileri araştırılmıştır. Kayma mukavemeti 10' dan 25-30 kPa' a düşerken, likit limit değeri, doğal su içeriğinden fazla bir değere çıkmıştır. Sonuçta, araştırmacılar arazi araştırmaları sonunda, tuzların zeminlerin mühendislik özelliklerinde kalıcı bir etki bıraktığını söylemişlerdir.

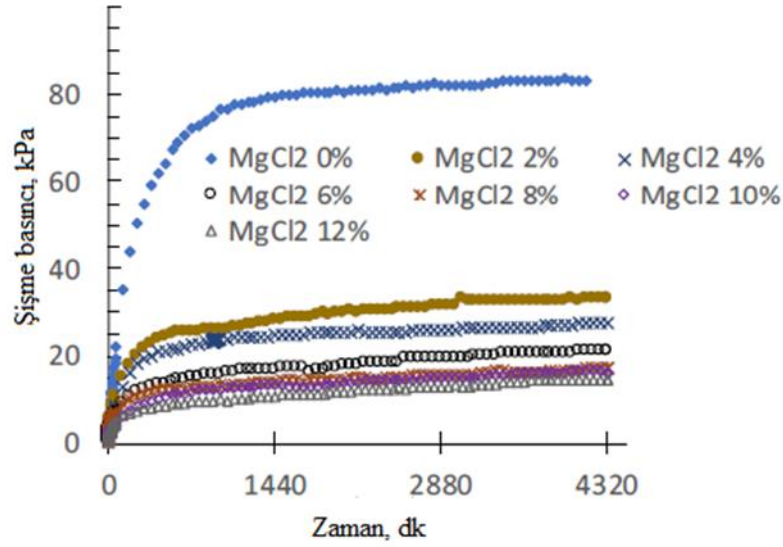
Gorakhki ve Bareither 2016 tuzluluğun ince taneli toprakların ve maden atıklarının geoteknik karakterizasyonu üzerindeki etkilerini incelemiştir. Bu amaçla kül madeni atıkları, kaolin kili ve bentonit kili üzerinde fiziksel deneyler (hidrometre deneyi, kıvam limiti, plastik limit ve dane özgül ağırlığı deneyi) yapılmıştır. Deney sonuçlarından her üç malzeme için de likit limit (LL), plastik limit ve kil içeriği düşmüştür.

Afrin 2017 çalışmasında,  $\text{NaCl}$ ,  $\text{CaCl}_2$  ve  $\text{MgCl}_2$  tuzları kimyasal katkı maddesi olarak kullanarak kilin fiziksel ve kimyasal özelliklerindeki değişiklikleri incelemiştir. Farklı oranlarda  $\text{NaCl}$ ,  $\text{CaCl}_2$  ve  $\text{MgCl}_2$  kullanılarak kilin özgül ağırlık, likit limiti, sıkıştırma özellikleri ve konsolidasyon parametrelerindeki değişiklikler belirlenmiştir. Çalışma sonunda, kilin % 4, % 8 ve % 12 oranlarında tuz bileşiklerinin eklenmesiyle maksimum kuru birim hacim ağırlığının arttığı ve optimum su içeriğinin azaldığı gözlenmiştir. Ayrıca, likit limit, plastik limit ve plastisite endeksi kimyasal artışla azalmış, sıkıştırma indeksi ve şişme indeksi, klorür yüzdesinin artışı ile azalmıştır.

Habibbeygi ve Nikraz 2018 şişen zeminlerde magnezyum klorür ile zemin iyileştirilmesi üzerine çalışmışlardır. Çalışma kapsamında,  $\text{MgCl}_2$ ' nin killi zeminlerin kıvam limitleri, şişme basıncı ve serbest şişme (Şekil 5) özelliklerine etkisi gözlenmiştir. Araştırmacılar, sonuç olarak, az miktarda  $\text{MgCl}_2$  dozunun bile, geoteknik özellikleri önemli ölçüde iyileştirdiğini ve şişme potansiyeli bulunan zeminlerde dengeleyici olarak kullanılabileceğini belirtmişlerdir.



Şekil 4. Bentonit ve Bentonit-Kum karışımlarının likit limitinin farklı konsantrasyonlardaki değişimi [18]



Şekil 5. Şişme basıncının farklı tuzlarla zamana göre değişimi [22]

Ramya ve ark. 2018 sodyum klorür' ün (NaCl) siyah pamuklu zemin üzerindeki etkisini incelemiştir. 0.1N, 0.5N, 1.0N, 2.0N ve 4.0N konsantrasyonlarında ve farklı yüzdelerde NaCl eklenerek zeminin indeks ve mühendislik özellikleri karşılaştırılmıştır. Likit limit, plastik limit ve plastisite indeks değerlerinin, NaCl konsantrasyonundaki artışla azaldığı, maksimum kuru birim hacim ağırlık değerlerinin arttığı gözlenmiştir. Bununla birlikte, NaCl konsantrasyonundaki artışla zemin dayanımının arttığı ve geçirgenliğin arttığı görülmüştür.

Mohankumar ve Rakaraddy 2018 Magnezyum klorür' ün siyah pamuklu zeminlerin plastisitesine etkisi incelenmiştir. Siyah pamuklu zeminler yüksek nem değişimlerinden dolayı şişme ve büzülme özellikleri göstermektedirler. Zemine 0.5N, 1.0N, 2.0N ve 4N konsantrasyonlarında magnezyum klorür ilavesi ile siyah pamuklu zeminlerin kıvam limitleri, sıkıştırma ve dayanım deneyleri yapılmıştır. Araştırmacılar sonuçta, konsantrasyonun artmasıyla likit limitin azaldığını, plastik limitin arttığını, maksimum kuru birim hacim ağırlığının arttığını ve optimum su muhtevasının azaldığını, dayanımın ise arttığını söylemişlerdir.

Rahil ve ark. 2019, sodyum kloritin killi toprakların mühendislik özelliklerine etkisi incelenmiştir. Bu kapsamda ağırlıkça % 0, % 5, % 10 ve % 15 sodyum klorit ile üç farklı kil zemin üzerinde deneyler yapılmıştır. Atterberg kıvam limitleri, özgül ağırlık, sıkıştırma ve konsolidasyon deneyleri yapılmıştır. Çalışma sonunda, artan tuz içeriği ile plastisite indeksinin, optimum su muhtevasının azaldığı, maksimum kuru birim ağırlığın ise arttığı söylenmiştir.

Geçmiş çalışmalar baktığımızda ister kirlilikle ister zemin iyileştirme amaçlı tuzların zeminle etkileşime girmesi durumunda, özellikle killi zeminlerin fiziksel, mekanik ve mikro yapısında değişiklikler olmaktadır. Bu değişikliğin en büyük sebebi killerin elektron yüklü olması ve farklı katyonlarla etkileşime girmesidir.

#### IV. SONUÇLAR VE SONRAKİ ÇALIŞMALAR İÇİN ÖNERİLER

Kentleşme ve endüstriyellemenin hızla yol aldığı dünyada kirlilik kaçınılmaz bir hal almıştır. Kirlilik ile bazı tuzların yeraltı suyuna ve toprağa karışması sebebiyle dünyada bu konu ile ilgili birçok çalışma yapılmış ve yapılmaktadır. Bununla birlikte, bazı tuzlar zemin iyileştirme çalışmalarında da kullanılmaktadır. Özellikle killerin özel bir malzeme olmasından dolayı tuzlarla etkileşime girdiklerinde zeminlerin fiziksel, mekanik ve mikroyapılarında değişiklikler meydana gelmektedir. Bu çalışma ile geoteknik mühendisliği uygulamalarında, magnezyum klorür ile işleme yönteminin bilime ve uygulamaya katkısı irdelenmiştir. Günümüzde, temel zeminin geoteknik özelliklerini iyileştirmek için zemin ile etkileşime geçtiği düşünülen kimyasallar üzerinde çalışma yapılması gerekliliği kaçınılmaz olmuştur



#### KAYNAKLAR

- [1] Önalp, A. (2006). Geoteknik Bilgisi 1 Çözümlü Problemlerle Zeminler ve Mekaniği. 3. baskı, Birsen yayınevi, İstanbul Türkiye, 442sayfa.
- [2] Das, B. M. (2006). Principles of Geotechnical Engineering. 5. baskı, Thomson, New York, USA, 686 sayfa.
- [3] Buckman, H.O. and Brady, N.C. (1967). The nature and properties of soils. The MacMillan Company, New York, USA, 1082pages .
- [4] Miller, R.W. and Donahue, R.L. (1995). Soils in Our Environment. Seventh Edition, Prentice Hall, NJ. 649pages.
- [5] Hanson, B, Grattan, S.R. and Fulton, A. (1999). Agricultural Salinity and Drainage. University of California Irrigation Program, University of California, Davis, 160 pages.
- [6] Levy, G.J., Rosenthal, A., Torchitzky, J., Shainberg, I. ve Cehn, Y. (1999). Soil hydraulic conductivity changes caused by irrigation with reclaimed waste waters. Journal of Environmental Quality, 28:1658-1664.
- [7] Van de Graaff, R. and Patterson, R (2001). Explaining the Mysteries of Salinity, SAR, and ESP in on-site practice. Conference On-site '01. Advancing On-site Wastewater Systems 25-27th September 2001 Held at University of New England, Armidale. Coordinated by Lanfax Labs Armidale
- [8] Sparks, D. L. (2003). Environmental Soil Chemistry. Academic Press, San Diego, 352 pages.
- [9] Mitchell, J. and Soga, K. (2005). Fundamentals of Soil Behavior. 2nd ed., Wiley, New York, 592 pages.
- [10] Abood, T.T, Kasa, A.B, Chik, Z.B. (2007). Stabilisation of Silty Clay Soil Using Chloride Compounds. Journal of Engineering Science and Technology, Vol. 2 (1), 102-110.
- [11] Marchuk A. G. and Rengasamy, P. (2010). Cation ratio of soil structural stability (CROSS), 19th World Congress of Soil Science, Soil Solutions for a Changing World 1 – 6 August 2010, Brisbane, Australia.
- [12] Shariatmadari, N., Salami, M., Fard, M.K. (2011). Effect of inorganic salt solutions on some geotechnical properties of soil-bentonite mixtures as barriers. International Journal of Civil Engineering, Vol. 9(2).
- [13] Türköz, M., Savaş, H. ve Tosun, H. (2011). Problemlı Kil Zeminlerin Magnezyum Klorür Solüsyonu ile İyileştirmesi. Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der. J. Fac. Eng. Arch. Gazi Univ. Cilt 26 (1), 233-242.
- [14] Ajam, M., Sabour, M.R, Dezvareh, G.A. (2014). Study of water salinity effect on geotechnical behavior of soil structure using response surface method (RSM), (Case study: Gotvand Dam). Ciência eNatura, Santa Maria, v. 37 Part 1 2014, 350–359.
- [15] Sasikumar, J. (2016). A Study on the Effect of Salt Solutions on Certain Geotechnical Properties of Two Clays. IJSRSET | Volume 2(5), Print ISSN: 2395-1990.
- [16] Latifi, N., Rashid, A.S.A, Ecemis, N., Tahir, M.M., Marto, A. (2016a). Time-dependent physicochemical characteristics of Malaysian residual soil stabilized with magnesium chloride solution. Arab J Geosci, 9(58).
- [17] Latifi, N., Rashid, A.S.A., Marto, A., Tahir, M.M. (2016b). Effect of magnesium chloride solution on the physico-chemical characteristics of tropical peat. Environ Earth Sci, 75:220.
- [18] Das, S.M. and Sudha, A.R. (2016). A Study on the Effect of Chemicals on the Geotechnical Properties of Bentonite and Bentonite-Sand Mixtures as Clay Liners. International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT), Vol. 5(9), September-2016.

- [19] Helle, T.E., Nordal, S., Aagaard, P. and Lied, O.K. (2016). Long-term effect of potassium chloride treatment on improving the soil behavior of highly sensitive clay—Ulvensplitten, Norway. *Can. Geotech. J.* 53: 410–422.
- [20] Gorakhki, M.R.H. and Bareither, C.A. (2016). Effects of Salinity on the Geotechnical Characterization of Fine-Grained Soils and Mine Tailings. *Geotechnical Testing Journal*, Vol. 39(1), pp. 1–14.
- [21] Afrin, H. (2017). Stabilization of Clayey Soils Using Chloride Components. *American Journal of Civil Engineering*, 5(6): 365-370.
- [22] Habibbeygi, F. and Nikraz, H. (2018). Compression Behaviour of Highly Expansive Clays Stabilised with a Green Stabiliser of Mahnesium Chloride. *International Journal of Geomate*, May, Vol.14(45), pp.144-150.
- [23] Ramya, H.N., Umesha, T.S. and Lalithamba, H.S. (2018). Effect of Sodium Chloride on Geotechnical Properties of Black Cotton Soil. *Journal of Materials Science & Nanotechnology*, Volume 6(3).
- [24] Mohankumar, S.R. ve Rakaraddy, P.G. (2018). Influence of Magnesium Chloride on Plasticity Characteristics and Engineering Properties of Black Cotton Soil. *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*, Volume: 05(06).
- [25] Rahil, F.H., Al-Soudany, K.Y.H., Abbas, N.S., Hussein, L.Y. (2019). Geotechnical Properties of Clayey Soils Induced by the Presence of Sodium Chloride. *2nd International Conference on Sustainable Engineering Techniques (ICSET 2019)*.