

Şişen Zeminlerin İsrırgan Otu ile İyileştirilmesi

İlyas ÖZKAN^{1*} 

¹ Necmettin Erbakan Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Konya, Türkiye

Makale Bilgisi

Geliş Tarihi: 02.12.2023
Kabul Tarihi: 03.04.2024
Yayın Tarihi: 31.08.2024

Anahtar Kelimeler:

Şişen zemin,
İsrırgan otu,
Kimyasal katkı,
Stabilizasyon.

ÖZET

Şişen zeminlerin, su içeriklerine göre hacimleri değişmektedir. Şişen zeminler, geoteknik mühendisliği açısından problemlerli zeminler olarak kabul edilmektedir. Bu zeminlerde meydana gelen hacim değişiklikleri; kanal, tek katlı ev, yol kaplaması gibi hafif yapılarda hasarlara neden olmaktadır. Bahsi geçen hasarlar, ekonomik açıdan çok ciddi sorun teşkil etmektedir. Şişen zeminlerin üzerine hafif yapılar yapılmadan önce zeminin iyileştirilmesi gerekmektedir. Literatürde bu tip zeminlerin iyileştirilmesi için kimyasal katkı, ön ıslatma, kaldırma-yer değiştirme gibi birçok metot geliştirilmiştir. Kimyasal katkı, bu metotlar içerisinde en çok kullanılan ve en etkili olan metottur. Bu çalışmada, şişen zemin, ısrırgan otu ile iyileştirilmiştir. Organik bir madde olan ısrırgan otu, zemine ilave edildiğinde zamanla numune içinde çürümekte ve akabinde numunenin küflenmesine neden olmaktadır. Bu problemin önüne geçmek için ısrırgan otu, suda kaynatılarak çürümeye neden olan posası ayrıştırılmıştır. Kaynatma işlemi sonucunda ısrırgan otu su elde edilmiştir. Bu karışım, şişen zemin numunelerine ilave edilmiştir. Katkılı numuneler üzerinde elek analizi, hidrometre, kıvam limitleri, serbest şişme deneyi ve tek eksenli basınç deneyi yapılmıştır. Ayrıca katkılı numunelerin katyon değiştirme kapasitesi ve spesifik yüzey alanı gibi parametreler, metilen mavisi deneyi yapılarak araştırılmıştır. Şişen zeminler ve katkılı zeminler üzerinde SEM ve XRD analizleri yapılarak mineralojik yapıdaki değişiklikler gözlemlenmiştir. Yapılan deneysel çalışma sonucunda ısrırgan otunun şişen zeminler üzerindeki etkisi detaylı bir şekilde araştırılmıştır. Sonuç olarak, ısrırgan otu su karışımı kil parçacıklarının yüzeyini kaplayarak su emme kapasitesini azalmıştır. Böylece şişen kilin serbest şişme potansiyeli, katyon değişim kapasitesi, spesifik yüzey alanı, kıvam limitleri gibi parametreleri düşürülmüştür. Ancak serbest basınç dayanımında çok ciddi bir artış olmamıştır.

Improvement of Expansive Soils with Stinging Nettle

Article Info

Received: 02.12.2023
Accepted: 03.04.2024
Published: 31.08.2024

Keywords:

Expansive soil,
Stringing nettle,
Chemical additive,
Stabilization.

ABSTRACT

The volume of expansive soils varies according to their water content. These soils are considered problematic in geotechnical engineering due to their volume changes, which can damage lightweight structures such as canals, single-story houses, and road pavements. Such damages pose a significant economic issue. Therefore, before constructing lightweight structures on these soils, improvement measures are necessary. Various methods, including chemical additives, pre-wetting, and removal-replacement, have been developed for soil improvement. Among these, chemical additives are the most preferred and effective method. In this study, expansive soil will be improved using stinging nettle. Adding stinging nettle, an organic material, to the soil initially causes it to rot and eventually become moldy within the specimen. To prevent this issue, the stinging nettle was boiled to decompose the pulp that leads to rot, resulting in a mixture of stinging nettle and water. This mixture will be added to the expansive soil specimen. Sieve analysis, hydrometer tests, consistency limits, free swelling tests, and unconfined compression tests were performed on the specimens with this additive. Additionally, soil parameters such as cation exchange capacity and specific surface area were examined through methylene blue tests. Mineralogical structure changes in the expansive soils were observed using SEM and XRD analyses. The experimental study detailed the effects of nettle on expansive soils. The stinging nettle-water mixture coated the clay particles, reducing their water absorption capacity and, consequently, decreasing parameters such as free swelling potential, cation exchange capacity, specific surface area, and consistency limits. However, there was no significant improvement in unconfined compressive strength.

Bu makaleye atıfta bulunmak için:

Özkan, İ. (2024). Şişen Zeminlerin İsrırgan Otu ile İyileştirilmesi. *Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 6(2), 211-224. <https://doi.org/10.47112/neufmbd.2024.44>

*Sorumlu Yazar (Corresponding Author): İlyas Özkan, ozkan.ilyas@hotmail.com



This article is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License (CC BY-NC 4.0)

GİRİŞ (INTRODUCTION)

Su içeriğine bağlı olarak değişen zeminler, genellikle şişen zeminler olarak adlandırılır. Bu tür zeminlerde su muhtevası arttıkça hacimleri de artar ancak su muhtevası azaldıkça büzülmeleri ve dolayısıyla hacim kayıpları meydana gelir. Bu değişen hacimler nedeniyle şişen zeminler problemliler olarak kabul edilmektedir. Özellikle yol kaplamaları, kanallar gibi hafif yapılarda şişen zeminlerdeki hacim değişikliklerinden kaynaklı hasarlarla karşılaşılabilir [1].

Şişen zeminler, dünya genelinde yaygın bir şekilde bulunmakta olup, özellikle yarı kurak veya kurak bölgelerde sıkça görülmektedir. Bu tip zeminler, İç Anadolu, Batı Anadolu, Doğu Anadolu ve Güneydoğu Anadolu'nun birçok bölgesinde yaygın bir şekilde bulunmaktadır [2-3].

Şişen zeminlerin sebep olduğu zararlar, deprem, sel, kasırga gibi diğer doğal afetlerin yol açtığı hasarlardan daha maliyetli olabilmektedir. Şişen zeminler üzerine inşa edilen yollar, boru hatları, tek katlı evler gibi hafif yapılar, genellikle çeşitli hasarlara maruz kalmaktadır. Bu hasarlar genellikle hayati tehlike oluşturmasa da, büyük ekonomik kayıplara sebep olmaktadır. Bu nedenle, şişen zeminler genellikle "gizli felaket" olarak adlandırılmaktadır. Ülkemizde de bu tür zeminlerden kaynaklanan hasarlar tespit edilmiş ve belgelenmiştir [4-6].

Şişen zeminlerin stabilize edilmesi için hem iyileştirilmesi hem de nem düzeninin sağlanması gerekmektedir. Bu stabilizasyon işlemleri için birçok farklı metot kullanılmaktadır [3]. Örnek olarak şişen zemini kaldırma ve sağlam zeminle yer değiştirme, ön ıslatma, su içeriği kontrolü ve kimyasal katkı ilavesi ve benzeri metotlar bulunmaktadır. Goud ve ark. (2017) [7], taşıma kapasitesi düşük ve şişme potansiyeli yüksek olan bazı zeminlerin, üst yapı yapımına geçilmeden önce düzeltilmesi gerektiğine dikkat çekmiştir. Kaldırma-değiştirme, mekanik modifikasyon, kimyasal katkılar ve geotekstil kullanımı gibi birçok farklı teknik, alanda başarıyla uygulanmaktadır. Ancak dünya genelinde en çok tercih edilen yöntem, özellikle kireç kullanımını içeren kimyasal katkılar tekniğidir.

Isırgan otu, sapsız, karşılıklı yerleşmiş yaprakları olan, koyu yeşil renkte ve alt kısmında yakıcı tüyler bulunan bir bitkidir. Bu otun ülkemizde yaygın olarak bulunabilmesi ve düşük maliyeti nedeniyle birçok endüstride kullanılmaktadır. Bitkinin boyu 100 cm'yi aşarken, yaprakları genellikle 10 cm civarındadır. Isırgan otu, yapısında bir dizi kimyasal madde barındırmaktadır. Bunlar arasında yağ asitleri, lektinler, steroller, aminler, asitler ve poliholozitler bulunmaktadır. Bu kimyasal maddeler, bitkinin hem toprak altında hem de toprak üstünde bulunan kısımlarında yer almaktadır. Isırgan otu, içerdiği kimyasal maddeler sayesinde insan vücudu için çeşitli faydalar sunmaktadır. Antiseptik, bakterisid, kan dolaşımını düzenleyici, diüretik, hemostatik ve kas hareketini düzenleyici gibi özelliklere sahip olması, bitkinin sağlık alanında kullanılmasını desteklemektedir. Bu faydalı özellikleri nedeniyle, ısırgan otu kozmetik sektöründe ve fitoterapik uygulamalarda yaygın olarak kullanılmaktadır [8].

Isırgan otu lifleri, etkileyici bir gerilme özelliğine sahip oldukları için takviye bileşenleri olarak kompozit malzemelerde kullanılabilirler [9]. Kompozit malzemeler, havacılık, askeri, inşaat, otomotiv ve nano-kompozitler gibi birçok sektörde geniş bir uygulama yelpazesine sahiptir, bu da onları çok yönlü ve tercih edilen malzemeler haline getirmektedir [10-11-12].

Isırgan otu, kolay bulunabilir olması ve maliyet açısından uygun olması nedeniyle farklı sektörlerde kullanılabilir. Bu bitki, ilaç sanayisi, organik kimya sektörü ve tekstil gibi çeşitli alanlarda kullanılan bir malzemedir. Giyim, gıda, orman, tarım ve hayvancılık gibi sektörlerde de tarih boyunca kullanılmıştır [13-14]. Karadeniz bölgesinde ise ısırgan otu, erozyonun önlenmesi ve verimsiz arazilerin değerlendirilmesi için kullanılmaktadır. Bu şekilde ısırgan otundan hem lif hem de hayvan yemi elde edilmektedir [15].

Isırgan otu geniş bir coğrafi dağılıma sahiptir. Bu bitki dünya çapında birçok geleneksel ve tarihi ilaçlarda kullanılmıştır. Bu bitkinin çeşitli kısımları, birçok kültürde geleneksel tedavilerde veya tarihi tıbbi metinlerde, cilt hastalıklarının tedavisi, idrar yolu bozuklukları, solunum hastalıkları, kemik ve eklem ağrısı, anemi ve diğer dolaşım problemleri yanı sıra cilt ve saç bakımı için kozmetik preparatlarda yer almaktadır. Ayrıca tekstil sanayinde boya hammaddesi ve sektörün yan dallarında ilave madde olarak kullanıldığı bilinmektedir [16-17].

Ülkemizde doğal olarak yetişen ve bol miktarda bulunan ısırgan otu, birçok farklı sektörde geniş bir kullanım alanına sahiptir. Bu çalışmada, ısırgan otunun şişen zeminler üzerindeki etkileri incelenmiştir. Isırgan otu eklenmiş şişen zemin numunelerinin özelliklerindeki değişiklikler, zemin mekaniği laboratuvar deneyleri ile SEM ve XRD gibi analiz yöntemleri kullanılarak detaylı bir şekilde araştırılmıştır.

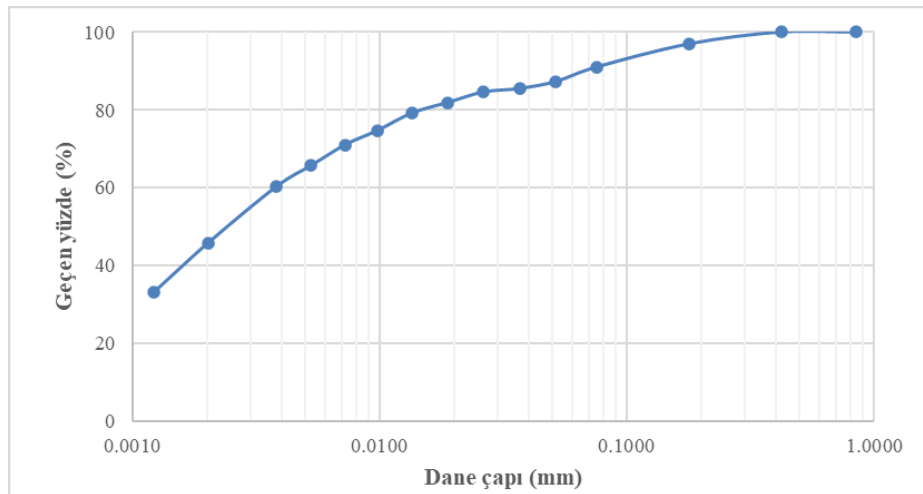
MATERYAL VE METOT (MATERIALS AND METHODS)

Malzemeler (Materials)

Çalışma kapsamında kullanılan şişen zemin numunesi doğal bir zemin numunesi olmayıp laboratuvar ortamında hazırlanmıştır. Numunenin laboratuvar ortamında hazırlanmasının nedeni, deneyi yapılacak tüm saf şişen zemin numunelerinin aynı özelliklerde olmasını sağlamaktır. Böylece iyileştirme işleminin etkisinin daha net olarak görülmesini sağlamaktır.

Şişen zemin numunesi laboratuvar ortamında, kuru ağırlıkça %85 kaolin ve %15 bentonit oranında karıştırılarak oluşturulmuştur. Numune hazırlama süreci şu adımları içermiştir: İlk olarak kaolin ve bentonit, 40 numaralı elekten elenmiştir. Ardından elemenden geçirilen malzemeler 105°C sıcaklığındaki etüvde bir gün boyunca kurutulmuştur. Kurutulan malzemeler, bir kap içinde spatula ile karıştırılmıştır. Karıştırma işleminden sonra homojen bir karışım elde edebilmek için numune, kap içinde 30 numaralı elekten iki kez geçirilmiştir. Bu adımlar izlenerek laboratuvar koşullarında standart bir numune elde edilmiş ve böylelikle deney sonuçlarının tutarlı olması sağlanmıştır.

Hazırlanan şişen zemin numunesi, çalışma kapsamında ŞZN kısa adı ile adlandırılmıştır. ŞZN numunesi üzerinde elek analizi ve hidrometre deneyleri gerçekleştirilmiştir. Bu deneyler, ASTM D6913 ve ASTM D422 [18] standartlarına uygun olarak yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar, numunenin kil yüzdesi hakkında bilgi sağlamak amacıyla önemlidir. Yapılan deneylerin sonuçlarına göre, ŞZN numunesine ait dane dağılım eğrisi Şekil 1'de gösterilmiştir.



Şekil 1
ŞZN numunesine ait granulometre eğrisi

ŞZN numunesi içindeki kil yüzdesi oranı yaklaşık %46 olarak belirlenmiştir. Ayrıca, ince dane oranı %91 olarak tespit edilmiştir. Numunenin plastiklik özelliğinin belirlenmesi amacıyla kıvam limitleri deneyleri gerçekleştirilmiştir. ŞZN numunesine ait diğer parametreler Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1
ŞZN Numunesine Ait Parametreler

Parametre	Değer	Parametre	Değer
Rötre limit (%)	33.5	Plastisite indisi (%)	74.5
Plastik limit (%)	40.2	Maksimum kuru yoğunluk (g/cm ³)	1.50
Likit Limit (%)	114.7	Optimum su muhtevası (%)	26.3
Kil oranı (%)	46	Aktivite	1.62

ŞZN numunesini iyileştirmek amacı ile çalışmada ısırgan otu kullanılmıştır. Bu malzeme, doğal olarak yetişen ısırgan otlarından elde edilmiştir. ısırgan otları organik bir malzeme olduğundan zemin içinde zamanla çürüme eğilimindedir. Bu otun çürümesi zemin içerisinde küflenmelere neden olabilmektedir. Bu nedenle özünü elde etmek için öncelikle ısırgan otları suda kaynatılmıştır. Kaynatma işleminden sonra çürümeye neden olabilecek ısırgan otu posaları ayrılmıştır.

Çalışma kapsamında üç farklı ısırgan otu özlü su karışımı hazırlanmıştır. Hazırlanan bu ısırgan otu özlü su karışımlarının hazırlanması sırasında kullanılan ağırlıkça oranlar Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2
Isırgan Otlı Su Karışım Oranları

Sulu karışımlar	Isırgan otu	Su
%10 ısırgan otlu su	1 birim	10 birim
%20 ısırgan otlu su	2 birim	10 birim
%30 ısırgan otlu su	3 birim	10 birim

Çalışma kapsamında katkılı numunelere, ısırgan otu özlü sulu karışımlar ilave edilmiştir. Katkılı numunelere verilen kısa adlandırmalar, Tablo 3'te gösterilmiştir.

Tablo 2
Katkılı Numuneler

Saf numune	Sulu Karışımlar	Numune adı
CH	%10 ısırgan otlu su	ŞZN-%10
CH	%20 ısırgan otlu su	ŞZN-%20
CH	%30 ısırgan otlu su	ŞZN-%30

Deneysel Çalışmalar (Experimental Works)

Deneysel çalışma kapsamında şişen zemin numunesine ait parametrelerde meydana gelen değişimleri gözlemek için kıvam limitleri deneyi, standart proktor deneyi, serbest şişme deneyi ve tek eksenli basınç deneyleri yapılmıştır.

Şişen zeminlerin en büyük özelliği su muhtevasına göre hacimlerinin değişmesidir. Bu tip zeminlerde hacim değişikliği kapasitesini belirleyen en önemli zemin özelliklerinden bir tanesi plastisite indisidir. Bu yüzden şişen zeminlere ait plastisite indisi değerlerini tespit etmek gerekmektedir. Çalışma kapsamında kıvam limitleri deneyleri ASTM D4318 [19] standardına göre yapılmıştır.

Sahada yapılan iyileştirme çalışmalarında zeminler, maksimum kuru yoğunluk ve optimum su muhtevası değerlerinde yapılmaktadır. Bu iki zemin parametresini bulabilmek için standart proktor deneyi ise ASTM D698 [20] standardı dikkate alınarak yapılmıştır.

Şişen zeminlerde yapılan iyileştirme işlemlerinde öncelikle su muhtevasına göre hacim değişikliği kapasitesinin düşürülmesi gerekmektedir. Bu durumu gözlemek için serbest şişme deneyi ise ASTM 4546 [21] standardına göre yapılmıştır.

Zeminlerin dayanımı inşaat mühendisliği yapılarını tasarlarken önemli bir parametredir. Bu yüzden yapılan iyileştirme işleminde zemin dayanımında meydana gelen değişimler tek eksenli basınç deneyi ile ölçülmüştür. Bu deney ASTM D 2166 [22] standardına göre yapılmıştır.

Killi zeminlerin davranışını belirlemede önemli olan iki fiziksel özellik, iyon değişim kapasitesi ve özgül yüzey alanıdır. Bu özellikleri değerlendirmek için Metilen Mavis Testi yapılmıştır. Bu test, NF P 94-068 [23] standardına göre gerçekleştirilmiştir.

Analizler (Analyses)

Taramalı elektron mikroskopları (SEM), yüksek çözünürlükleri ve büyük büyütme yetenekleri nedeniyle çok küçük ölçekteki nesnelere inceleme için yaygın olarak kullanılmaktadır. Böylece numune yüzeyindeki topografi ve kompozisyonu hakkında bilgisayar ekranına yansıyan görüntüler üzerinden yorum yapılabilir. Bu analiz yardımı ile katkısız ve katkılı numunelerin mikroskobik ölçekteki farkları araştırılmıştır.

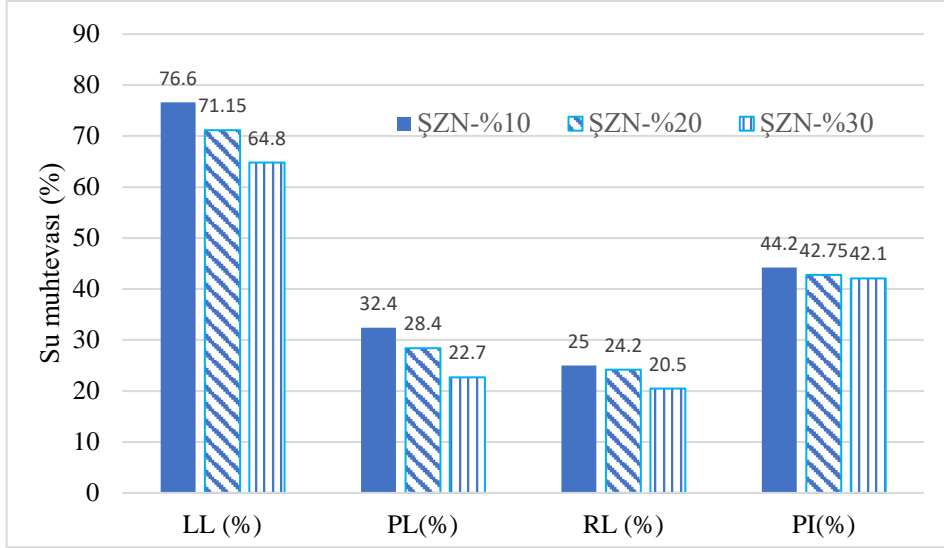
Numunelerin içindeki elementler hakkında bilgi almak için Enerji Dağılımlı X-ışını (EDX) analizleri yapılmıştır. Ayrıca numunelerin içerdiği minerallerin tespit edilmesi için X-ışını Difraktometresi (XRD) analizleri yapılmıştır.

BULGULAR (RESULTS)

Yapılan deneysel çalışma ve analizler sonucunda elde edilen veriler ilgili başlıklar altında yorumlanarak verilmiştir.

Kıvam Limitleri Deneyleri (Consistency Limits Tests)

Çalışma kapsamında yapılan kıvam limitlerine ait deney Şekil 2’de verilmiştir.

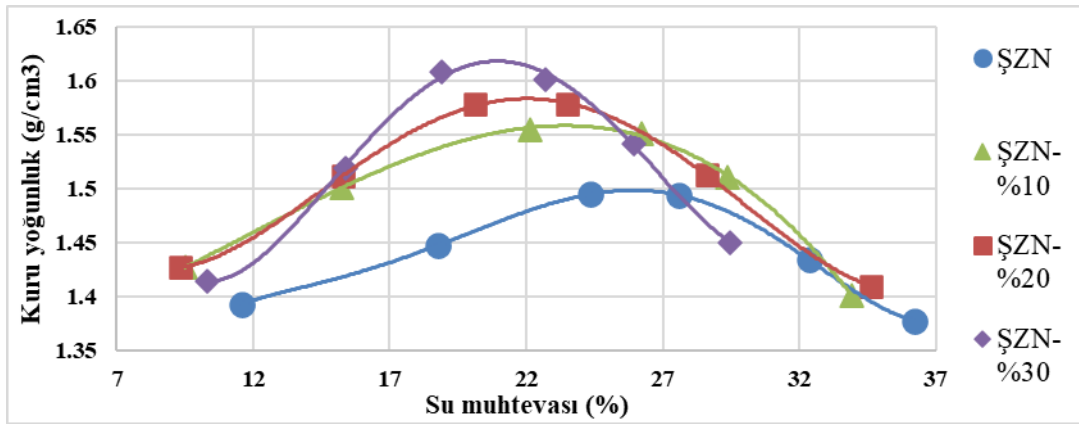


Şekil 2
Kıvam Limitleri

Isırgan otu özlü su karışımı içeren katkılı numuneler, ŞZN numunesine göre daha düşük kıvam limitleri değerlerine sahiptir. Ayrıca ısırgan otu özlü su karışımlarındaki ısırgan otu miktarı arttıkça limit değerlerindeki düşüş giderek artmaktadır. Deney sonuçlarına göre ısırgan otu özlü su karışımları ŞZN numunesinin plastisite indisini azalttığı için plastiklik özelliğini azaltmaktadır. Kıvam limitlerindeki düşüş, özellikle serbest şişme deneyinden elde edilecek olan şişme potansiyeli değerinin azalacağı yönünde ön bir kabul yapılabilir.

Standart Proktor Deneyi (Standard Proctor Test)

Standart proktor deneylerinin sonucunda elde edilen kuru yoğunluk-su muhtevası eğrileri Şekil 3'te gösterilmiştir.



Şekil 3
Kompaksiyon Eğrileri

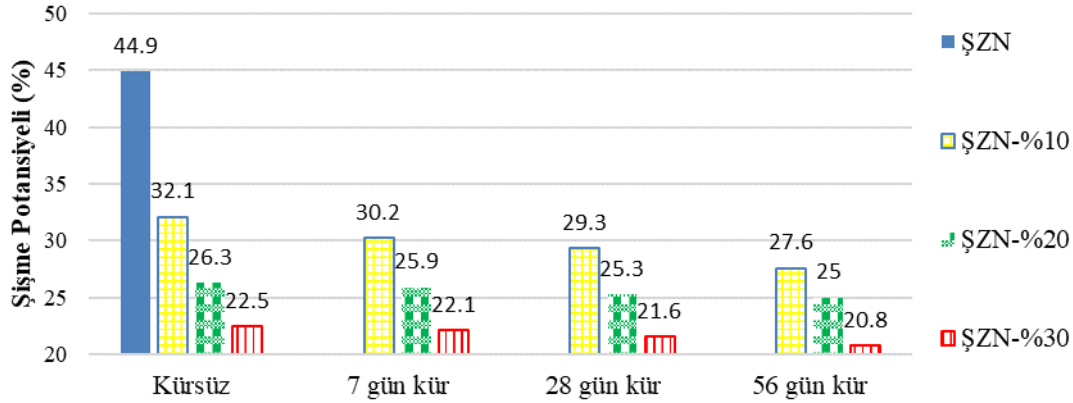
Kompaksiyon eğrilerindeki tepe noktası, ısırgan otu özlü sulu karışım miktarı arttıkça artmaktadır. Şişen zemin numunesi içerisinde bulunan kil parçacıkları, su bileşiklerini absorbe ederek optimum su muhtevası değerini artırmaktadır. Bu çalışmada, hazırlanan katkılı numunelerde kil parçacıkları tarafından absorbe edilen su, saf su yerine ısırgan otu özlü su karışımıdır. Isırgan otu özlü su karışımları, saf suya göre daha yoğun olduğundan kil mineralleri tarafından absorbe edilen su miktarını azaltmaktadır. Katkılı numunelerdeki absorbe edilen su miktarının azalması nedeniyle zemin

tanelerinin miktarı artmıştır. Genel olarak katkılı numunelerin sulu karışımlarındaki ısırgan otu miktarının artmasıyla birlikte maksimum kuru yoğunluk değeri giderek artmakta, optimum su muhtevası değeri ise giderek azalmaktadır.

Serbest basınç ve serbest şişme deneyleri için numuneler, kompaksiyon deneylerinin sonucunda elde edilen maksimum kuru yoğunluk ve optimum su muhtevası değerlerine göre hazırlanmıştır.

Serbest Şişme Deneyi (Free Swell Test)

Serbest şişme deneyi sonucunda şişme potansiyeli değerleri hesaplanmıştır. Şişme potansiyeli, kimyasal katkılı stabilizasyon işlemlerinde kür süresinden etkilenmektedir. Bu yüzden katkılı numuneler 7, 28 ve 56 gün kürde bekletilmiştir. Serbest şişme deneyinde sürşarj basınç olarak 1 kPa uygulanmıştır. Serbest şişme deneyleri sonucunda elde edilen şişme potansiyeli değerleri Şekil 4'te verilmiştir.



Şekil 4

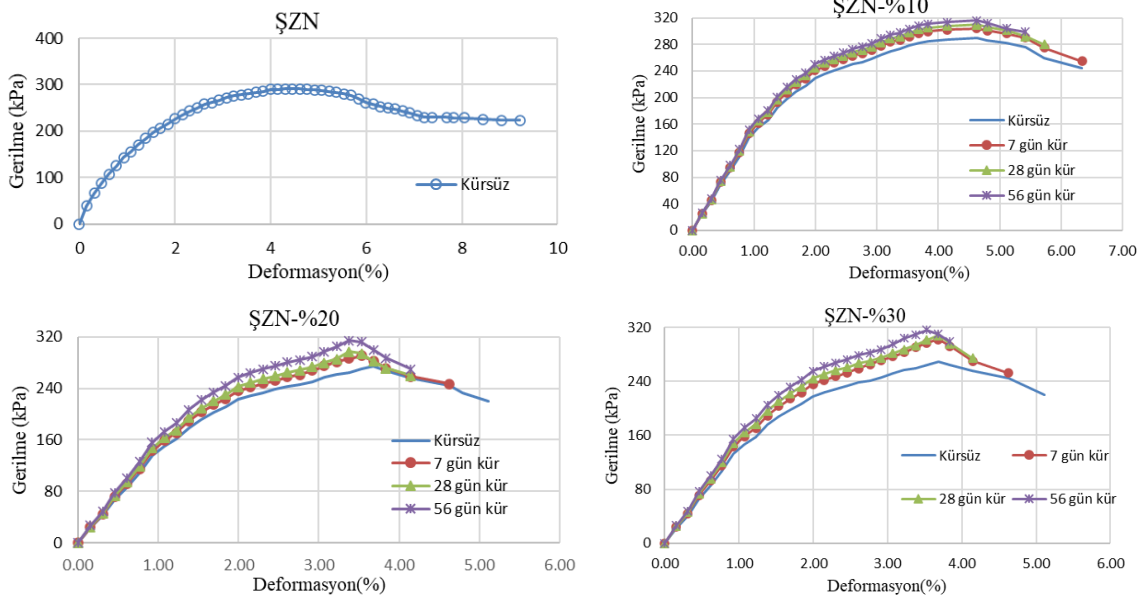
Şişme Potansiyeli Değerleri

Katkılı numunelere ait şişme potansiyeli değerleri, sulu karışımlardaki ısırgan otu oranının ve kür süresinin artmasıyla azalmaktadır. Özellikle ısırgan otu özlü su karışımındaki ısırgan otu miktarının serbest şişme potansiyelini önemli ölçüde azalttığı gözlemlenmiştir, ancak kür süresinin bu azalmaya çok az katkı sağladığı belirlenmiştir.

Şişme potansiyeli ile killi zeminlerin plastisite indisleri arasında doğrusal bir ilişki tespit edilmiştir. Kıvam limitleri sonuçları incelendiğinde, katkılı numunelerin plastisite indisinde önemli bir azalma olduğu gözlemlenmiştir. Bu azalmaların sonucunda şişme potansiyellerinde düşüşler meydana gelmiştir. Örneğin, 56 gün kür süresi bekletilen ŞZN-%30 numunesine ait şişme potansiyeli %20,8 olarak ölçülmüştür. Bu, ŞZN numunesinin şişme potansiyelini %44,9'dan %20,8'e düşüren bu iyileştirme metodunun etkili olduğunu göstermektedir.

Tek Eksenli Basınç Deneyi (Unconfined Compression Test)

Çalışma kapsamında gerçekleştirilen tek eksenli basınç deneylerinin sonuçlarına göre gerilme-deformasyon grafikleri çizilmiştir (Şekil 7). ŞZN numunesinin 291 kPa serbest basınç mukavemetine sahip olduğu belirlenmiştir. Ayrıca, ŞZN numunesinin yüksek plastiklik özelliği sayesinde sünek deformasyon sergilediği gözlemlenmiştir (Şekil 5).



Şekil 5
Gerilme-Deformasyon Eğrileri

Katkılı numuneler üzerinde gerçekleştirilen tek eksenli basınç deneylerinden elde edilen gerilme-deformasyon grafikleri, farklı kür sürelerine göre ayrı ayrı sunulmuştur. Bu numuneler üzerindeki sonuçlar incelendiğinde, tek eksenli basınç mukavemetinde önemli bir değişiklik olmadığı gözlemlenmiştir. Katkılı numunelerdeki deformasyon kapasitesi, CH numunesinin deformasyon kapasitesine göre düşüş göstermiştir. Ayrıca, kür süresi ile deformasyon özelliklerindeki değişimler belirlenmiştir.

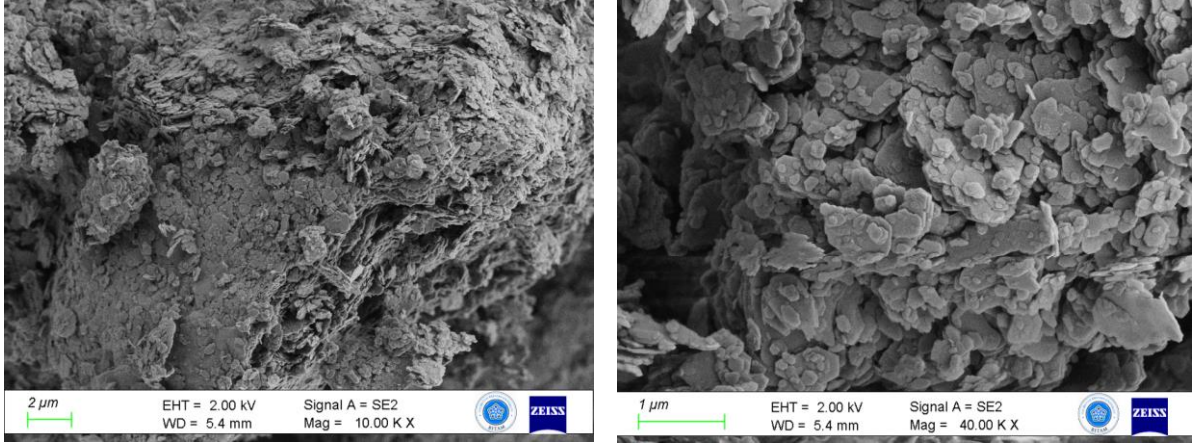
Su emme kapasitesindeki azalma, kil parçacıkları arasındaki kohezyon kuvvetini azaltmıştır. Kohezyon kuvvetindeki bu azalma, serbest basınç mukavemetinde bir düşüşe neden olmuştur. Ayrıca, katkılı numunelerdeki plastisite indisi değerindeki azalma, kıvam limitleri deneyinde doğrudan görülebilmektedir. Kil parçacıklarındaki su emme kapasitesi arttıkça, malzemenin plastisite indisi değeri de artmaktadır. Plastisite indisi yüksek olan killerde, sünek davranış özelliği ve deformasyon kapasitesi artmaktadır. Ancak, su emme kapasitesindeki düşüş, hem sünek davranış özelliğinden uzaklaşılacağı hem de deformasyon kapasitesinin düştüğünü açıkça göstermektedir.

SEM, EDX ve XRD Analizleri (Analyses of SEM, EDX and XRD)

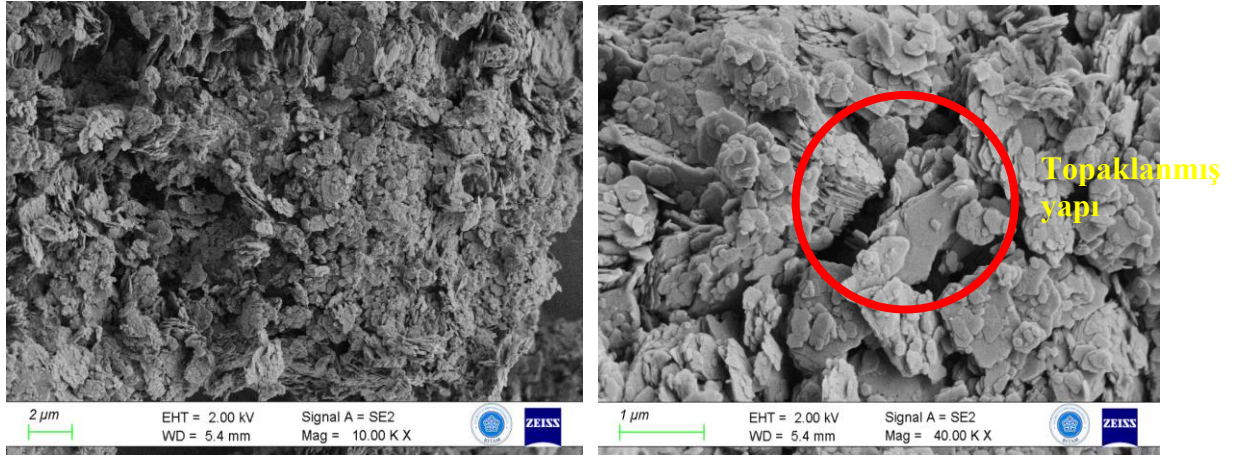
SEM, EDX ve XRD analizleri, tüm numuneler üzerinde yapılmamıştır. Bunun nedeni, serbest şişme ve serbest basınç deneyleri sonuçlarına bağlı olarak kür süresine bağlı ciddi bir artış olmamasıdır. Bu sebeple, bu analizler sadece iki numune üzerinde gerçekleştirilmiştir:

1. ŞZN numunesi
2. Hem serbest şişme hem de serbest basınç deneyleri sonuçlarına göre en iyi sonuçları gösteren, 56 gün kürde bekletilmiş ŞZN-%30 katkılı numune

SEM numuneleri, içerdikleri suyun elektron mikroskopa zarar vermemesi için analizden önce kurutulmuştur. Bu işlemin ardından numuneler altın ve paladyum ile kaplanmıştır. SEM analizlerinden elde edilen görüntüler Şekil 6'da sunulmuştur.



ŞZN numunesi

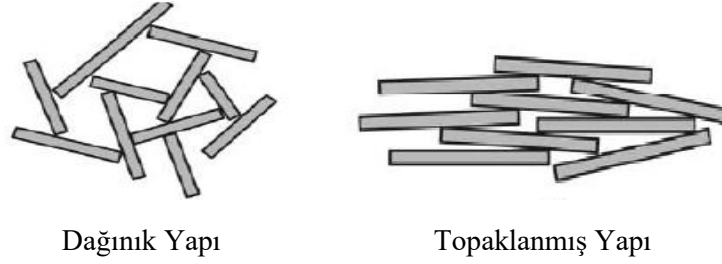


56 gün kürdeki ŞZN-%30 numunesi

Şekil 6 SEM Görüntüleri

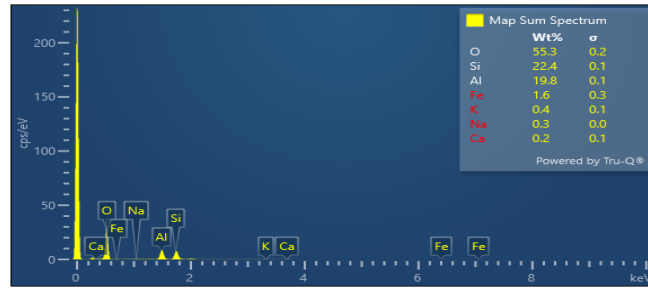
ŞZN numunesini oluşturan iki ana kil minerali kaolin ve bentonittir. Kaolin, dönüşümlü olarak silika ve alümina plakalardan meydana gelir ve bu plakalar çok güçlü bir şekilde bağlıdır. Diğer yandan, bentonit, iki silika plaka ve bir alümina plaka gibi katmanlara sahiptir. Bu katmanlar arasındaki bağlar oldukça zayıf olduğundan, büyük miktarlarda su kolaylıkla yapıya girebilir ve katmanları ayırabilir. ŞZN numunesi ağırlıkça %85 kaolin mineralinden oluştuğu için, SEM görüntülerinde bu plakalı yapı belirgin bir şekilde gözlemlenmektedir.

Kil parçacıklarının numune kütledeki yönelimi, parçacıklar arasındaki mesafe ve parçacıkların etkileşim biçimini etkileyebilir. Kil parçacıkları, net parçacık kuvveti itici olduğunda oluşan dağınık yapı ve net parçacık kuvveti çekici olduğunda oluşan topaklanmış yapı olmak üzere iki gruba ayrılır (Şekil 7). Dağınık yapıdaki parçacıklar arasındaki boşluk, topaklanmış yapıya göre daha büyük olduğundan, dağınık yapıya sahip kil numuneleri, topaklanmış yapıya sahip kile göre daha fazla şişme kapasitesine sahiptir. Bu durum, dağınık yapıdaki kilin su emme potansiyelinin daha yüksek olduğunu gösterir.

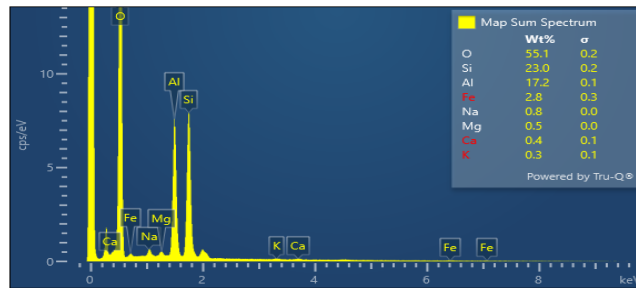


Şekil 7
Kil Parçacıklarının Yapıları

Öte yandan, 56 gün kürde bekletilen ŞZN-%30 numunesinde topaklanmış yapı gözlemlenmiştir. Bu tip yapıya sahip killerin, şişme potansiyellerinin dağınık yapıdaki kilere göre daha düşük olduğu bilinmektedir. Topaklanmış yapıdaki kil, daha sıkı bir şekilde olduğundan, suyun nüfuz etme kapasitesi azalmaktadır. Bu durum şişme potansiyelini düşürür. Bu durum, ŞZN-%30 numunesinin 56 gün boyunca bekletilmesiyle birlikte kilin topaklanmış bir yapı oluşturduğunu ve bu süreçte şişme potansiyelinin azaldığını göstermektedir.



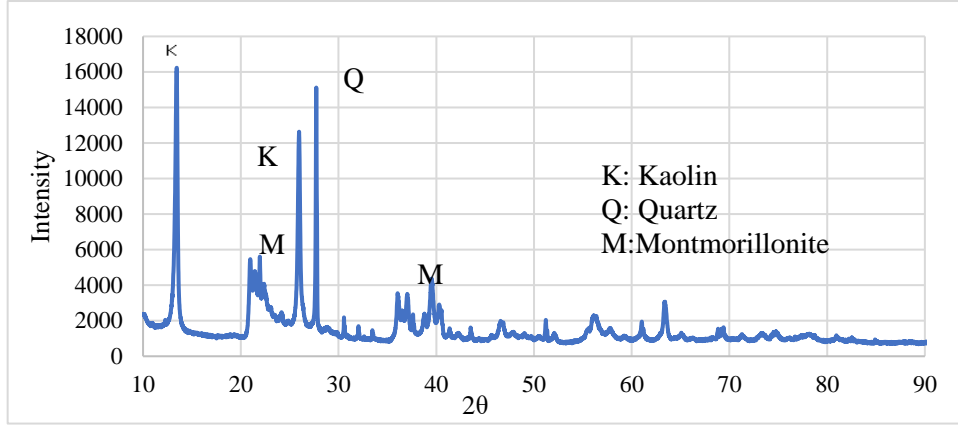
ŞZN numunesi



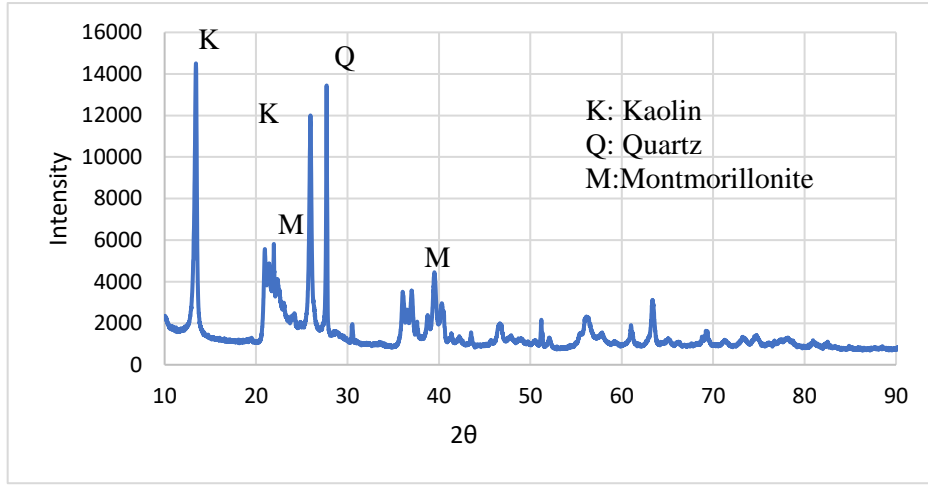
56 gün kürdeki ŞZN-%30 numunesi

Şekil 8
EDX Diyagramları

SEM analizi sırasında elde edilen EDX analizi, numunelerin kimyasal karakterizasyonunu anlamak için kullanılmıştır. Kil mineralleri genellikle tetrahedral (SiO_4) ve oktahedral (Al_2O_3) tabakalardan oluşan iki boyutlu yapılarla karakterizedir. Kaolinit gibi kil mineralleri, tetrahedral ve oktahedral tabakalardan 1:1 oranında oluşan yapılar içerebilirken simektit grubu gibi diğer kil mineralleri, tetrahedral ve oktahedral tabakalardan 2:1 oranında yapılar içerebilir. EDX diyagramları Şekil 8'de verilmiştir.



ŞZN numunesi



56 gün ŞZN-%30

Şekil 8
XRD Diyagramları

EDX diyagramları incelendiğinde;

1. Alüminyum (Al), Silisyum (Si) ve Oksijen (O) gibi temel kil elementlerinin değerlerinde düşüşler meydana gelmiştir.
2. Sodyum (Na), Demir (Fe), Magnezyum (Mg) ve Kalsiyum (Ca) gibi elementlerde artışlar meydana gelmiştir.

Bu sonuçlara göre killerin stabilizasyonu sırasında meydana gelen katyon değişimi işleminin gerçekleştiği görülmektedir. Ayrıca killerdeki katyon değişimi çok kısa sürede gerçekleşmektedir. Böylece kür süresinin etkisiz olması puzolanik reaksiyonların olmadığını da göstermiştir.

XRD, zemin ile ilgili tüm malzemelerin tanımlanmasında kullanılan bir yöntemdir. Bu yöntemde killerin mineralojik tanımlanması açısından kullanılmaktadır. Bu çalışma kapsamında yapılan XRD analizleri sonucu elde edilen diyagramlar Şekil 9'de gösterilmiştir. XRD diyagramları incelendiğinde, ŞZN numunesini oluşturan iki ana kil minerali olan kaolin ve bentonit belirgin bir şekilde gözlemlenir. Katkılı numune de bu iki ana mineral görülmekle birlikte, yoğunluklarının düştüğü tespit edilmiştir. Bu durum, iyileştirme işleminin etkisini göstermektedir.

TARTIŞMA VE SONUÇLAR (DISCUSSION AND CONCLUSIONS)

Şişen zeminlerin ısırgan otu özlü su karışımları ile iyileştirilmesine dair yapılan çalışma şu sonuçlara ulaşmıştır:

- Isırgan otu özlü su karışımı ile hazırlanan numuneler, ŞZN numunesine göre daha düşük plastik özelliklere sahiptir.
- Katkılı numuneler, daha büyük maksimum kuru yoğunluğa sahip olmasına rağmen, daha düşük su içeriğine sahiptir.
- Serbest basınç mukavemeti değerleri, kürsüz katkılı numunelerde daha düşük çıkarken, kür etkisi ile bu değer giderek artmıştır. Ancak artış miktarı çok küçük boyutlarda kalmıştır, bu da dayanım açısından bu metodun yetersiz olduğunu göstermektedir.
- Serbest şişme potansiyelleri incelendiğinde, kür etkisi ve katkı miktarı arttıkça iyileşme gözlenmiştir. 56 gün sonunda ŞZN-%30 numunesinde iyileştirme oranı yaklaşık olarak %54 seviyelerindedir.
- Katkılı numuneler, kür etkisi ile dağınık yapıdan topaklanmış yapıya doğru bir geçiş gösterir. Bu süreç sonunda serbest şişme potansiyelleri düşmüştür.
- XRD analizlerinde kil minerallerinin yoğunluklarının azaldığı gözlemlenmiştir.

Finansal destek (Funding)

Bu çalışma, Necmettin Erbakan Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü tarafından 221219022 numaralı BAP Projesi ile desteklenmiştir.

Teşekkür (Acknowledgements)

Bu çalışmanın yapılmasında katkılarından dolayı Necmettin Erbakan Üniversitesi Bilimsel Araştırma Koordinatörlüğüne ve Bilim ve Teknoloji Araştırma ve Uygulama Merkezine teşekkür ederim.

Çıkar Çatışması (Conflict of Interest)

Yazarın bu çalışma için beyan ettikleri herhangi bir çıkar çatışması yoktur. (The author has no conflicts of interest to disclose for this study.).

Sürdürülebilir Kalkınma Amaçları (SDG)

Sürdürülebilir Kalkınma Amaçları: 15 Karasal Yaşam

KAYNAKÇA (REFERENCES)

- [1] M. J. Masia, Y. Z. Totoev, P. W. Kleeman, Modeling expansive soil movements beneath structures. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*. 130(6) (2004), 572–579. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)1090-0241\(2004\)130:6\(572\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)1090-0241(2004)130:6(572))
- [2] E. Cokca, Swelling potential of expansive soils with a critical appraisal of the identification of swelling of Ankara soils by methylene blue tests, PhD Thesis, *Department of Civil Engineering, Middle East Technical University, Ankara*, 1991.
- [3] J.D.Nelson, K.C. Chao, D.D. Overton, E.J. Nelson, *Foundation Engineering for Expansive Soils*, Wiley, New Jersey, 2015.
- [4] Jr, D. E. Jones., W. G. Holtz, Expansive soils-the hidden disaster. *Civil engineering*, 43(8) (1973).
- [5] Z.A. Erguler, R. Ulusay, Engineering characteristics and environmental impacts of the expansive Ankara clay, and swelling maps for central and SW parts of the Ankara (Turkey) metropolitan area, *Environmental Geology*. 44 (2003), 979-992. <https://doi.org/10.1007/s00254-003-0841>
- [6] P.S. Parhi, L. Garanayak, M. Mahamaya, S.K. Das, Stabilization of an expansive soil using alkali activated fly ash based geopolymer. *In Advances in Characterization and Analysis of Expansive Soils and Rocks*. (2017), 36–50. https://doi.org/10.1007/978-3-319-61931-6_4
- [7] G.N. Goud, A. Hyma, V.S.Chandra, R.S.Rani, Expansive soil stabilization with coir waste and lime for flexible pavement subgrade, *In Proceedings of the International Conference on Recent Advances in Materials, Mechanical and Civil Engineering*, Volume 330 (2018), 012130. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/330/1/012130>
- [8] S. Karakaş, Isırgan Otu Toprak Altı Ve Toprak Üstü Kısımlarından Isırgan Otu Ekstraktının Eldesi ve Özelliklerinin İncelenmesi, Doktora Tezi, *İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 2003.
- [9] E. Bodros, C. Baley, Study of the tensile properties of stinging nettle fibres (*Urtica dioica*). *Materials Letters*. 62(14) (2008), 2143-2145. <https://doi.org/10.1016/j.matlet.2007.11.034>
- [10] E. Madenci, Fonksiyonel derecelendirilmiş malzeme plakların statik analizinde mikro-mekanik modellerin katkısı, *Necmettin Erbakan University Journal of Science and Engineering*. 5(1) (2023), 23-37.
- [11] İ. Akın, E. Zor, H. Bingöl, GO@Fe₃O₄ katkılı polimerik kompozit membranların hazırlanması ve karakterizasyonu, *Necmettin Erbakan University Journal of Science and Engineering*. 5(2), (2023), 38-52. <https://doi.org/10.47112/neufmbd.2023.8>
- [12] M. Uyaner, A. Yar, Nano elyaf takviyeli nanokompozit üretimi ve karakterizasyonu, *Necmettin Erbakan University Journal of Science and Engineering*. 1(1) (2019), 10-19.
- [13] C. Çırak, K. Kevseroğlu, Kantaron bitkisinin eski çağlardan günümüze kullanım şekilleri ile modern tıptaki yeri ve önemi, *OMÜ Ziraat Fakültesi Dergisi*. 19 (2004), 74-84.
- [14] A. Ayan, Ö. Çalışkan, ve C. Çırak, Isırganotu (*Urtica Spp.*)'nun ekonomik önemi ve tarımı, *ANAJAS*. 21(3), (2006), 357–363. <https://doi.org/10.7161/anajas.2006.21.3.357-363>.
- [15] M. L. Leporatti, L. Corradi, Ethnopharmacobotanical remarks on the province of Chieti town (Abruzzo, Central Italy), *Journal of Ethnopharmacology*. 74(1) (2001), 17-40. [https://doi.org/10.1016/s0378-8741\(00\)00325-1](https://doi.org/10.1016/s0378-8741(00)00325-1)
- [16] Y. Özbey, Isırgan otu lifiyle elde edilmiş tekstillerde görsellik, Doktora Tezi, *Marmara Üniversitesi Güzel Sanatlar Enstitüsü*, İstanbul. 2013.
- [17] F. Harrison, J. Furner-Pardoe, E.Connelly, An assessment of the evidence for antibacterial activity of stinging nettle (*Urtica dioica*) extracts, *Access Microbiology*. 4(3) (2022), 000336. <https://doi.org/10.1099/acmi.0.000336>

- [18] ASTM Standard, D422, Standard Test Method for Particle-Size Analysis of Soils. *ASTM International*, (2007), West Conshohocken, PA.
- [19] ASTM Standard, D4318, Standard Test Method for Liquid Limit, Plastic Limit and Plasticity Index of Soils. *ASTM International*, (2017), West Conshohocken, PA.
- [20] ASTM, D 698, Standard Test Methods for Laboratory Compaction Characteristics of Soil Using Standard Effort. Annual Book of ASTM Standards, *American Society for Testing and Materials*, (2006), West Conshohocken, PA.
- [21] ASTM Standard, D4546, Standard Test Methods for One- Dimensional Swell or Collapse of Soils. *ASTM International*, (2014). West Conshohocken, PA.
- [22] ASTM, D2166, Standard Test Method for Unconfined Compressive Strength of Cohesive Soil, *ASTM International*, (2016), West Conshohocken, PA.
- [23] NF, P. 94–068, Soils: Investigation and testing–measuring of the methylene blue adsorption capacity of a rock soil–determination of the methylene blue of a soil by means of the stain test, *Association Française de Normalisation*. (1998).