

Guar Gum ile İyileştirilen Kil Zeminlerin Donma Çözülme Etkisinde Mukavemet ve Şişme Basınçlarının Araştırılması

Bahadır OK¹ ORCID 0000-0002-1860-2881

Baki BAĞRIAÇIK^{*2} ORCID 0000-0001-8333-5671

¹Alparslan Türkeş Bilim ve Teknoloji Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Adana

²Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Adana

Geliş tarihi: 25.03.2022

Kabul tarihi: 23.09.2022

Atıf şekli/How to cite: BAĞRIAÇIK, B., OK, B., (2022). Guar Gum ile İyileştirilen Kil Zeminlerin Donma Çözülme Etkisinde Mukavemet ve Şişme Basınçlarının Araştırılması. Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Dergisi, 37(3), 589-600.

Öz

Son yıllarda çevresel kaygılardan dolayı biyopolimerler gibi organik ve çevre dostu malzemelerin kullanım alanları hızla artmaktadır. Bu çalışmada bir biopolimer olan Guar Gum kullanılarak kohezyonlu bir zeminin iyileştirilmesi araştırılmıştır. Bu amaçla kohezyonlu bir zemine belli oranlarda (%1, %2 ve %3) guar gum karıştırılarak numuneler hazırlanmıştır. Numuneler farklı sürelerde kür edilmiş ve farklı sayılarda (1, 3, 5, 10) donma çözülme tabii tutulmuştur. Çalışmada Guar Gum'un karışım oranı ile kür süresi ve donma çözülmenin serbest basınç mukavemeti ve şişme basıncı üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Sonuç olarak, biyopolimer katkı malzemesinin kohezyonlu bir zeminin serbest basınç mukavemeti ve şişme basıncı üzerinde olumlu etkileri olduğu belirlenmiştir. Ayrıca bu etkilerin kür süresi ve donma çözülme ile önemli ölçüde değiştiği elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Guar gum, Zemin iyileştirmesi, Biyopolimer, Donma-çözülme, Şişme basıncı

Investigation of Strengths and Swelling Pressures in Freeze-Thaw Effect of Clay Soils Improved by Guar Gum

Abstract

Nowadays, the areas of use of organic and environmentally friendly materials such as biopolymers have been increasing rapidly due to environmental concerns. The improvement of a cohesive soil using Guar Gum (GG) was investigated in this research. For this purpose, samples were prepared by adding GG to cohesive soil in some proportions (1%, 2%, and 3%). Specimens exposed to different numbers of freeze-thaw cycles (1, 3, 5, and 10) were cured for different times. Unconfined compression strength (UCS) and swelling pressure tests were carried out on the prepared samples. As a result, it was seen that the addition of biopolymer to the clay soils has a positive effect on strength values and swelling pressures. In addition, curing time and freeze-thaw conditions were thought to play an important role in soil improvement with the use of biopolymer.

Keywords: Guar gum, Soil improvement, Biopolymer, Freeze-thaw, Swelling pressure

*Sorumlu yazar (Corresponding author): Baki BAĞRIAÇIK, bbagriacik@cu.edu.tr

1. GİRİŞ

Zeminlerin kayma mukavemeti ve oturma gibi geoteknik özelliklerinin yapının güvenliği açısından yetersiz olduğu durumlarda genellikle ya zemin iyileştirilmesi yapılmakta ya da temel sistemi değiştirilmektedir. Temel sistemini değiştirmenin ekonomik olmadığı veya yeterli arazi bulunmadığı birçok durumda da zemin için uygun bir iyileştirme yöntemi arayışı ön plana çıkmaktadır. Bu bağlamda özellikle yumuşak zeminler için katkı maddeleri ile zeminlerin iyileştirilmesi oldukça sık kullanılan bir zemin iyileştirme türüdür [1]. Bu yöntemde zemini iyileştirmek için çimento, kireç, uçucu kül ve cüruf gibi kimyasal tabanlı katkı maddeleri sıkça tercih edilmektedir. Önceki çalışmalarda bu katkı maddelerinin dışında polimerler, cam su, asit ve epoksi gibi birçok farklı kimyasal katkı maddesi kullanılarak zeminlerin iyileştirilmeye çalışıldığı görülmüştür [2-12]. Bu çalışmaların sonucunda zeminin taşıma gücü ve oturma davranışı adına olumlu sonuçlar elde edildiği ifade edilmiştir. Zemin iyileştirmede kullanılan bu kimyasal katkı maddeleri genellikle yüksek enerji tüketimi ile üretim sürecinde yoğun şekilde kömür tüketen, çevreye CO₂, SO₂ ve NO_x gibi zararlı gazlar salgılayan katkılardır. Bu katkıların zemin iyileştirmede kullanılması sonrasında zararlı salınım yapan gazların yanı sıra zemin içinde toksik içeren ve yanıcı bir özelliğe dönüşebilmektedir. Ayrıca, bu toksik içeren maddeler zeminde yeraltı suyu, yağmur vb. sular ile karışması ile su yollarının kirlenmesine de neden olabilmektedir [13-15]. Bu nedenle, artan dünya nüfusuna paralel olarak birçok sektörde hızla yaygınlaşan kimyasal maddelerin kullanımı sonucunda ortaya çıkan çevresel sorunlar sektörlerin üzerinde kimyasal katkılardan ziyade çevre dostu organik katkı maddelerinin kullanılması yönünde baskı kurmaktadır [16-19]. Günümüzde artan çevre kirliliği birçok ülkenin sıkı çevre güvenliği yasaları getirmelerine sebep olmakta dolaylı olarak kimyasal ürünlerin kullanımı için ek vergiler koyulmakta ve sayısız iş kolu için doğal ürünlerin kullanılması teşvik edilmektedir. Sonuç olarak hem çevre sürdürülebilirliği açısından hem de maliyet bakımından çevreyi kirletmeyecek ürünlere yönelmek gittikçe daha çok zorunluluk haline gelmektedir.

Organik ve çevre dostu bir malzeme olan biyopolimer malzemeler günümüzde birçok sektörde kullanılan çeşitli kimyasal katkı maddelerine alternatif olarak değerlendirilebilmektedirler. Biyopolimerler; mantarlar, algler ve bakteriler gibi biyolojik tepkimeler sonucunda biyolojik organizmalardan üretilen monosakkarit ve polisakkarit tabanlı polimerlerdir. Bu polimerler sahip oldukları yapıları nedeniyle toksik değildir ve biyolojik olarak parçalanabilir. Bu sebeple de çevre dostu katkı maddeleri olarak kabul edilebilirler [20-22].

Biyopolimerlerin diğer sektörlerde kullanımının yanında, birçok araştırmacı çeşitli kimyasalların kullanıldığı katkı ile zemin ıslah gibi geoteknik uygulamalarında kimyasal katkıların yerine organik biyopolimerlerin kullanılabilmesi yönünde araştırmalar yapmışlardır. Bu çalışmalarda daha çok kumlu kohezyonsuz zeminlerin permeabilitesi, serbest basınç mukavemeti, birim hacim ağırlığı gibi fiziksel/geoteknik özelliklerinin farklı biyopolimer katkıları ile iyileştirilmesi üzerine çalışmalar yürütülmüştür. Ayrıca bu çalışmalarda kür süresi de bir parametre olarak değerlendirilmiştir. Bu çalışmaların sonucunda genel olarak biyopolimer katkıların özellikle kumlu zeminlerin ıslahı için bir alternatif olarak düşünülebileceği ifade edilmiştir [18,23-30]. Yumuşak kohezyonlu zeminlerin kimyasal katkı ile iyileştirilmesi çok yaygın olmasına rağmen literatürde bu tip zeminlerde kimyasal katkı yerine biyopolimerlerin kullanımı ile ilgili çok az sayıda yayın mevcuttur. Konu ile ilgili Soldo ve arkadaşları [31] yaptıkları çalışmada ince danelere sahip düşük plastisiteli bir siltli kum zeminin biyopolimerlerle iyileştirilmesini araştırmışlar ve çalışmalarının sonucunda biyopolimerlerin ince daneli zemin barındıran kumlarda da mukavemeti önemli ölçüde artırabileceğini belirtmişlerdir. Bu çalışmada kullanılan zemin ince dane içerse de kum oranı daha fazla olan düşük plastisiteli bir zemindir. Bunun dışında Sujatha ve Saisree [32] killi zeminlerin biopolimer ile ıslahı üzerine bir çalışma yürütmüştür. Çalışmalarında Guar Gum biyopolimerin zeminin permeabilitesine, sıkışabilirliğine ve basınç dayanımına etkisini araştırmışlardır. Çalışmaları sonucunda Guar Gum'un zemin ıslahındaki olumlu etkileri ifade

edilmekle birlikte konu ile ilgili daha detaylı çalışmalara ihtiyaç duyulduğu belirtilmiştir. Bağriacik ve arkadaşları [33] çalışmalarında Guar Gum ile ıslah edilen kohezyonlu bir zeminlerin serbest basınç mukavemeti araştırmışlar ve Guar Gum'un serbest basınç mukavemetini önemli ölçüde arttırabileceğini ifade etmişlerdir. Guar Gum katkının zemin üzerindeki etkilerini inceleyen yukarıda ifade edilen çalışmalar Guar Gum'un çok yaygın bulunan ve diğer biyopolimerlere kıyasla ucuz bir biyopolimer olduğunu ifade ederek zemin ıslahında bir alternatif olabileceğini belirtmişlerdir.

Ayrıca, bir zeminin donma-çözülme etkisi altındaki davranışının bilinmesi özellikle gündüz ve gece arasındaki sıcaklık farklarının çok yüksek olduğu çöl iklimi etkisindeki alanlarda çok önemlidir. Bu alanlarda, sıcaklık değişimlerine bağlı olarak zemin ortamında, düşük derecelerde donma sonrasında sıcaklığın artmasıyla çözülme meydana gelmektedir. Bu durumda, temel zemininde istenmeyen oturma ve/veya şişme durumları söz konusu olabilmektedir. Temel zemininde meydana gelen bu durumların, üst yapıda olumsuz etkiler yaratmaması için gerekli iyileştirmelerin yapılması gerekmektedir. Guar Gum kullanımının bu olumsuzlukları önlemede alternatif bir yöntem olduğu düşünülmektedir. Ancak, Guar Gum katkılı kohezyonlu zeminlerin donma-çözülme etkisi altındaki performansını ve bu biyopolimerin şişme basıncına etkilerinin araştırıldığı kayda değer bir çalışmaya rastlanmamıştır. Bu durum da, Guar Gum'un donma-çözülme döngüleri etkisinde kaldığında killi bir zemini iyileştirme düzeyi ve özellikle fazla su emebildiği için bu killi zeminin şişme basıncına etkileri hala belirginleşmemiştir.

Bu nedenle çalışma kapsamında, bir biyopolimer türü olan ve katkı maddesi olarak kullanılabilen Guar Gum (GG) ile kohezyonlu bir zeminin iyileştirilmesi durumu araştırılmıştır. Çalışmada zemin %1, %2 ve %3 oranlarında GG ile karıştırılarak serbest basınç ve konsolidasyon deney numuneleri hazırlanmış sonrasında bu numuneler 1, 7, 14, 21, 28, 56 gün küre tabi tutulmuştur. Ayrıca katkı malzemesinin uzun dönem etkisini incelemek için bazı numuneler 196

gün küre tabi tutulmuştur. Kür işlemi sonrasında katkı malzemesinin donma çözülme sonrasında iyileştirme düzeyini incelemek için bazı numuneler 10 defaya kadar donma çözülmeye tabi tutulmuştur. Bu işlemler sonrasında elde edilen deney numunelerine serbest basınç deneyine ve konsolidasyon deney aletinde şişme deneyine tabi tutulmuştur. Sonuç olarak, GG ile iyileştirilmiş kohezyonlu bir zeminde katkı maddesi yüzdesi, uzun dönem de içeren kür süresi ve donma çözülme döngülerinin serbest basınç mukavemeti ve şişme basıncına etkileri araştırılarak GG katkının iyileştirme etkisi tartışılmıştır.

2. MATERYAL VE METOT

2.1. Materyal

2.1.1. İnce Daneli Zemin

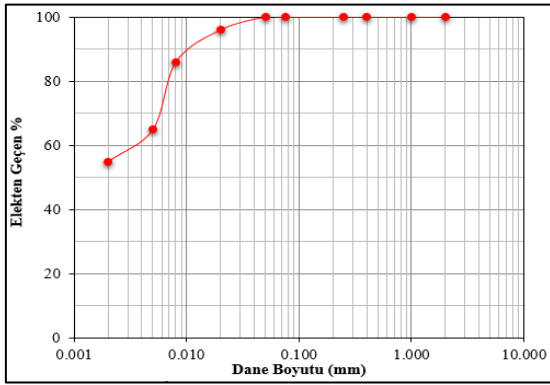
Deneyisel çalışmalarda, kullanılan ince daneli zemin numunesi Adana'dan elde edilmiştir. Numunenin alındığı yerin Google Earth görüntüsü Şekil 1'de gösterilmektedir. Laboratuvara getirilen ince daneli zemin öncelikle bir hafta oda sıcaklığında bekletilmiş sonrasında, 24 saat 105 derecede (C°) etüvde kurutulmuştur. Daha sonra, ince daneli zemin numunesi bir öğütücü yardımıyla daha küçük parçacıklara ayrılmıştır. Elde edilen zemin numunesine hidrometre deneyi yapılarak zeminin granülometre eğrisi belirlenmiştir [34]. İnce daneli zeminin granülometre eğrisi Şekil 2'de gösterilmiştir.



Şekil 1. İnce daneli zeminin temin edildiği konum

İnce daneli zemin üzerinde bir seri laboratuvar deneyi gerçekleştirilerek, dane birim hacim ağırlığı, kıvam limitleri belirlenmiştir. Deneyler sonucunda zeminin dane birim hacim ağırlığı

27 kN/m³ [35], likit limiti %42, plastik limiti %24 ve plastisite indisi %18 olarak belirlenmiştir [36]. Ayrıca zemin birleştirilmiş zemin sınıflandırma sistemine göre düşük plastisiteli kil (CL) olarak sınıflandırılmıştır [37]. Diğer yandan kil zemin üzerinde yapılan kompaksiyon deney sonuçlarına göre, zeminin optimum su muhtevası %18,10 ve maksimum kuru birim hacim ağırlığı ise 17,40 kN/m³ olarak bulunmuştur [38]. Kil zemin üzerinde yapılan XRF analizleri sonucunda [39], zeminin kuvars, kalsit ve kil grubu mineraller (kaolinit, simektit ve vermikülit) içerdiği görülmüştür.



Şekil 2. İnce daneli zeminin dane çapı dağılımı

2.1.2. Guar Gum (GG)

Çalışmada katkı malzemesi olarak kullanılan GG, İstanbul'da bir firmadan temin edilmiştir. GG guaran olarak kabul edilmektedir (Şekil 3). Mannoz ve galaktozdan oluşan doğal, iyonik olmayan bir polisakkarittir. Bu polisakkarit, (1-6) glikosidik bağlar içindeki mannoz omurgasına birleştirilmiş 3-D-galaktopiranoz birimleriyle (1-4) bağlı 3-D-mannopiranoz birimlerinden oluşan bir dizidir. Poli-mannoz dizisi 1,8-1,0 mannoz-galaktoz oranında rastgele galaktoz birimleriyle değiştirilerek GG elde edilmektedir [40]. GG, temel yapısal özelliği nedeniyle, endüstrinin çeşitli alanlarında kullanılmaktadır ve düşük konsantrasyonlarda son derece viskoz çözümler sağlayan bir biyopolimerdir. Toksik olmayan ve biyolojik olarak parçalanabilen bu biyopolimer, ekonomik olarak kolayca temin edilebilir veya laboratuvarlarda üretilebilir [41,42].



Şekil 3. GG'nin saf ve işlenmemiş hali [43]

2.2. Metot

2.2.1. Karıştırma Yöntemi

Biyopolimerlerin kil zeminle karıştırılmasında, ıslak karıştırma yöntemi kullanılmıştır. Islak karıştırma yönteminde, her GG oranı için optimum oranda su ilave edilmiş ve bir karıştırıcı yardımıyla GG su içinde çözülene kadar karıştırılmıştır. Bu işlem toz GG'un hidrojel oluşturmasını sağlamıştır. Bu oluşum benzer karıştırma yöntemi kullanılan önceki çalışmalarda rapor edilmiştir. Daha sonra, karışıma kil zemine ilave edilmiş ve uniform bir karıştırma oluşana dek karıştırılmıştır [18,30,32,33,44,45]. Sujatha ve Saisree [32] %0,5, %1,0, %1,5 ve %2,0 oranlarında GG ile karıştırılmış kohezyonlu zeminlerin dayanımlarını incelemiş ve %0,5 karıştırma oranında dayanımda azalma elde ederken %1,0 karıştırma oranında optimum serbest basınç mukavemeti elde etmişlerdir. Diğer bir yandan Lee ve arkadaşları [28] çalışmalarında %0,5, %1,0 ve %2,0 oranlarında bir çeşit biyopolimer olan xanthan gum ile karıştırılmış kum zeminlerin dayanımlarını araştırmış ve %1,0 oranında en yüksek dayanımı elde etmiştir. Ayrıca Khatami ve O'Kelly [25] çalışmalarında %1 ile %4 arasında, Fatehi ve arkadaşları [30] ise çalışmalarında %0,5 ile %5 arasında biyopolimer karıştırılmış kum zeminleri araştırmışlar ve çalışmaları sonucunda biyopolimer oranı arttıkça dayanım arttığını ifade etmiştir. Literatürde araştırılan karıştırma oranlar göz önünde bulundurularak ve karıştırma oranının etkisini

incelemek amacı ile %1, %2 ve %3 olmak üzere üç farklı oranda GG içeren zemin numuneleri hazırlanmıştır. Karışıma ilave edilen GG miktarı kuru zemin ağırlığına göre hesaplanmıştır.

2.2.2. Kür İşlemi

GG ilave edilen kil zeminde kür süresinin etkisinin belirlenebilmesi için, uygun yöntemle karıştırılan numuneler, önce optimum su içeriği ve maksimum kuru birim hacim ağırlığı sağlanarak yapılacak deney ile ilgili kalıplara yerleştirilmiştir. Daha sonra, bu numuneler streç filmlerle sarılarak 1, 7, 14, 21, 28, 56 ve 196 gün olmak üzere 7 farklı kür süresi için desikatörde bekletilmiştir [33]. Sujatha ve Saisree [32] çalışmalarında GG'un su ile karıştırılması sonrasında hidrojenler oluştuğunu ve zemin ile karıştırılması sonrasında da bu hidrojenlerin zemin danelerini sararak hidrojen bağları oluşturduklarını ifade etmişlerdir. Ayrıca hidrojen bağları oluştuktan sonra susuz kaldıklarında bağların kuvvetlendiğini havasız ortamda da GG'nin oksidasyonunu azaldığını belirtmişlerdir. Bu nedenle GG ile iyileştirme için oda sıcaklığında kuru kürlenmeyi önermişlerdir. Benzer şekilde, çeşitli biyopolimerlerin güçlendirme etkilerini araştıran bazı araştırmacılar da çalışmalarında kuru kürlenmenin daha etkili olduğunu belirtmişlerdir [18,28]. Bu durum göz önünde bulundurularak bu çalışmada zemin numunelerine benzer bir kürlenme yapılmıştır.

2.2.3. Serbest Basınç Deneyi

Çalışmada kil zemine farklı oranlarda GG eklenerek serbest basınç deney numuneleri hazırlanmıştır [46]. Serbest basınç deney numuneleri, her karışım oranı için, optimum su muhtevasında, 50 mm çapında, 100 mm boyunda ve kılcal çatlak içermeyecek şekilde hazırlanmıştır. Zemin numunesi, yağlanmış iki parçalı çelik tüpe (kalıp) yerleştirilmiştir. Kalıbın iki ağzından taşan zemin numunesi, kil testereyle kesilip atılmıştır. Hazırlanan zemin numunesi, presin alt platformuna merkezlenerek oturtulduktan sonra, üst başlık numune üst yüzeyine rahatça ve tam degecek şekilde indirilmiş ve numunede dakikada %0,5-%2

arası birim boy kısalması oluşturacak şekilde yükleme yapılmıştır. Deney sırasında numunenin boy değişimi komparatör saati ile ölçülmüştür. Deney sonucunda yük-deplasman eğrisinin pik yaptığı değer serbest basınç mukavemeti olarak belirlenmiştir [46].

2.2.4. Şişme Basıncı Deneyi

Çalışmada kil zemine farklı oranlarda GG eklenerek konsolidasyon deney numuneleri hazırlanmıştır. Deney numuneleri üzerinde konsolidasyon deney aletinde şişme basıncı deneyi yapılmıştır. Deneylerde iç çapı 50 mm, yüksekliği 20 mm olan ringler kullanılmış ve numuneler 100 kPa ön-konsolidasyon basıncına tabi tutulmuştur [47]. Konsolidasyon hücresi içerisine doldurulan sıvı, ön-konsolide edilen zemindeki karışım sıvısı ile aynı olacak şekilde hazırlanmıştır. Hücre içerisindeki sıvının buharlaşmasını önlemek için, hücrenin üst yüzeyi lastik bir kılıf ile kapatılmıştır. Hücre sıvısı içerisinde 1 gün süreyle bekletilerek doymuş hale getirilen numunelerin şişme basınçları belirlenmiştir.

2.2.5. Donma Çözülme Davranışı

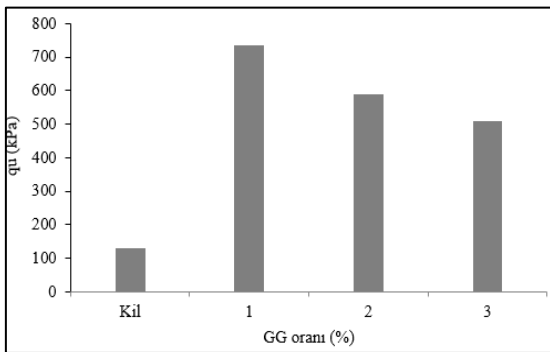
Çalışmada kullanılan deney numuneleri optimum su muhtevasında ve belirlenen karışım oranlarında hazırlanmış ve numuneler donma-çözülme etkilerine maruz bırakılmıştır. Numuneler, su muhtevasında değişim olmaması için desikatörlerde bekletilmiştir. Çalışmada, donma-çözülme çevrim sayısı 1, 3, 5 ve 10, sıcaklık değerleri donma için -20 °C ve çözülme için +25 °C, her bir sıcaklıkta bekleme süresi ise 6 saat olarak alınmıştır. Numuneler, folyo ile sarılarak donma-çözülme kabinine yerleştirilmiş ve deney süresince donma-çözülme kabininden çıkarılmamıştır. Numuneler, donma-çözülme kabinine konulduktan sonra, ilk olarak -20 °C'ye getirilerek 6 saat beklenmiş ve sonrasında +25 °C'ye getirilerek 6 saat daha beklenmiştir. 12 saatin sonunda tamamlanan bu işlem ise 1 çevrim olarak kabul edilmiştir [48-51]. Çevrimler sonunda, ilgili numuneler ile serbest

basınç ve şişme basıncı deneylerine tabi tutulmuştur.

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

3.1. GG İlavesinin Serbest Basınç Mukavemetine Etkisi

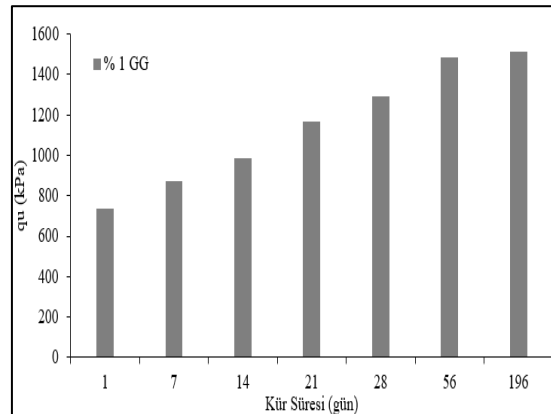
Kil zemin ve kil zemine %1, %2 ve %3 oranında GG ilave edilerek yapılan serbest basınç deneyi sonucunda elde edilen serbest basınç mukavemetleri Şekil 4'te gösterilmiştir. Deney sonuçlarına bakıldığında, kil zemin ve %1, %2 ve %3 oranlarında GG ilavesi oluşan numunelerin serbest basınç mukavemetleri yaklaşık olarak sırasıyla 129 kPa, 735 kPa, 588 kPa ve 508 kPa a kadar ulaşmıştır. Kil zemine, %1, %2 ve %3 oranlarında GG ilavesi ile serbest basınç mukavemetlerinde sırasıyla 5,7, 4,6 ve 3,9 kata varan artışlar olmuştur. Bu durum Bagriacik arkadaşları [33] tarafından da rapor edilmiştir. GG ilavesi ile dayanım artışının GG'un su ile karıştırılmasından sonra oluşan hidrojenlerin zemin danelerini kaplaması ve daha sonra hidrojen bağları oluşturmasından dayandığı tahmin edilmektedir. Ayrıca GG oranı arttıkça iyileştirme miktarının azalması da hidrojenlerin fazla olmasının boşlukları doldurarak daneleri birbirinden uzaklaştırmasından kaynaklandığı tahmin edilmektedir. Benzer duruma bir duruma Sujatha ve Saisree [32] GG üzerine yaptığı çalışmalarında da rastlanmış ve en yüksek serbest basınç mukavemet değeri buradaki gibi %1 karışım oranında elde edilmiştir.



Şekil 4. Farklı GG oranları için serbest basınç mukavemeti değerleri

3.2. Kür Süresinin Serbest Basınç Mukavemetine Etkisi

GG ilave edilmiş kil zeminde kür süresinin mukavemet üzerindeki etkilerini belirleyebilmek amacıyla, optimum GG oranında hazırlanan numuneler 1, 7, 14, 21, 28, 56 ve 196 günün kür edildikten sonra serbest basınç deneyine tabi tutulmuştur. Deneyler sonucunda elde edilen serbest basınç mukavemetleri Şekil 5'te karşılaştırmalı olarak sunulmuştur. Numunelerden 7, 14, 21, 28, 56 ve 196 gün sonunda elde edilen serbest basınç mukavemetlerinde, ilk günün sonundaki mukavemet değerine göre sırasıyla, 1,18, 1,34, 1,59, 1,76, 2,02 ve 2,06 kata varan artışlar gözlenmiştir. Sujatha ve Saisree [32] çalışmalarında GG su ile karıştırıldığında hidrasyona bağlı olarak hidrojenler oluşmaya başladığını ve daha sonra zeminle karıştığında zemindeki suyun emilmesi ile hidrojel oluşumunun devam ettiği bildirilmiştir. Ayrıca çalışmalarında bu hidrojenlerin zemin danelerini sardığını, hidrojen bağları oluşturduğunu ve bu bağların susuz ortamda kuvvetlendiğini ifade etmişlerdir. Artan kür süresi ile dayanım artışının buna dayandığı düşünülmektedir. Ancak 56. günden sonra mukavemet değerinde kayda değer oranda bir artışın olmamıştır. Yani kür sebebi ile oluşan bağların kuvvetlenmesinin de bir sınırı vardır. Bu durum için 56 gün optimum kür süresi olarak düşünülebilir [33].

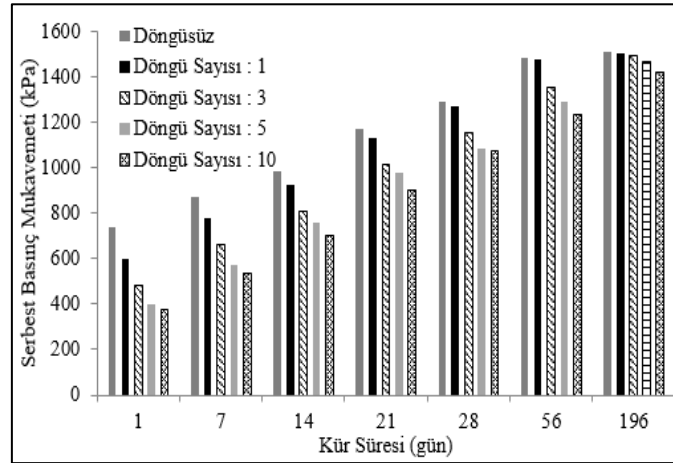


Şekil 5. Farklı kür süreleri için serbest basınç mukavemeti değerleri

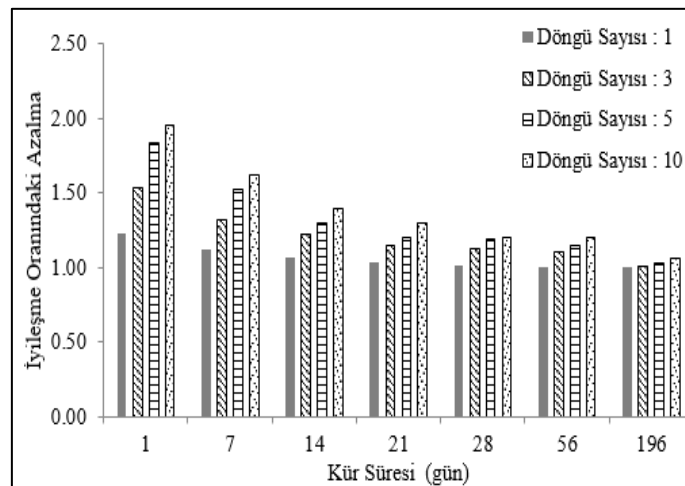
3.3. Donma Çözülme Döngüsünün Serbest Basınç Mukavemetine Etkisi

GG ilavesinin kil zeminin donma çözülme davranışına etkisini belirleyebilmek amacıyla, 7 farklı kür süresi sonunda elde edilen optimum GG (%1) oranına sahip numuneler farklı sayıda donma çözülme etkisine maruz bırakıldıktan sonra serbest basınç deneyine tabi tutulmuştur. Deneylerin sonucunda numunelerin serbest basınç mukavemetleri kür süresi ve donma çözülme döngü sayısına bağlı karşılaştırmalı olarak Şekil 6'da, iyileşme oranındaki azalma miktarları Şekil 7'de sunulmuştur. Yapılan bu deneyler

sonucunda, döngü sayısı arttıkça GG ile iyileştirilen kil zeminin mukavemet değerlerinin düştüğü gözlenmiştir. 1, 7, 14, 21, 28, 56 ve 196 günlerin sonunda, 1-3-5-10 döngüler sonrasında mukavemet değerlerinde 1,96, 1,62, 1,40, 1,30, 1,21, 1,20 ve 1,06 kata varan azalmalar meydana gelmiştir. Kür süresi arttıkça donma çözülme döngüleri sonrasındaki dayanım kayıplarının azaldığı görülmüştür. Burada dayanım kayıplarının hidrojen bağlarındaki tahribattan ziyade donma çözülme sırasındaki hacim değişimleri ile ilişkili olduğu düşünülmektedir. Aksi takdirde daha dramatik ve kür süresiyle artan dayanım kayıpları beklenebilirdi.



Şekil 6. Farklı donma çözülme döngüleri için serbest basınç mukavemeti değerleri

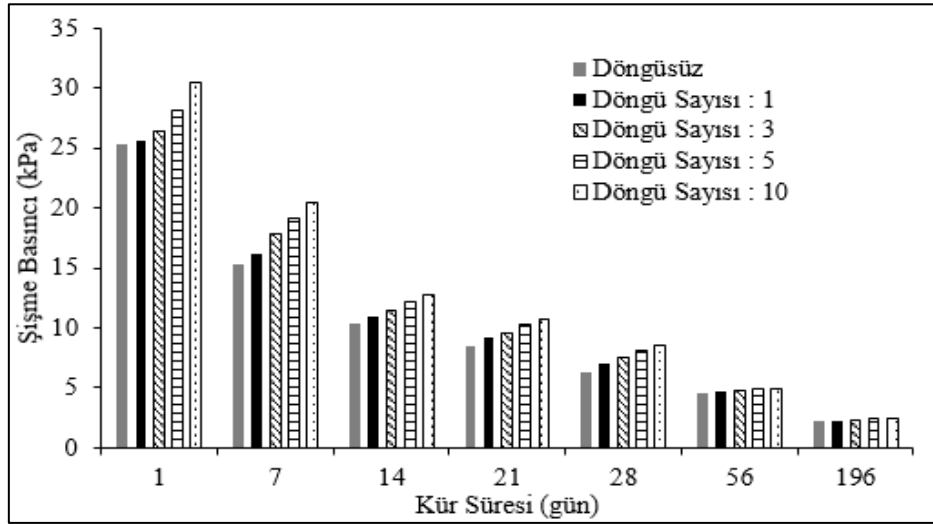


Şekil 7. Farklı donma çözülme döngüleri için iyileşme oranındaki değişimler

3.4. Kür Süresi ve Donma Çözülme Döngülerinin Şişme Basıncına Etkisi

Farklı kür süresi sonucunda elde edilen (1, 7, 14, 28, 56, 196 gün) ve farklı sayıda donma çözülme etkisine maruz bırakılan (1, 3, 5, 10 tekrar) optimum oranda GG ile karıştırılmış kil zemin numuneleri üzerinde yapılan şişme basıncı deney sonuçları Şekil 8'de görülmektedir. Sonuçlara göre, 1-3-5-10 döngü sayıları için 1, 7, 14, 21, 28, 56 ve 196 günün sonunda sırasıyla şişme basınçlarında 1,65 kattan 11,75 kata, 1,58 kattan 11,34 kata, 1,49 kattan 11,43 kata, 1,46 kattan 11,64 kata, 1,02 kattan 1,48 kata ve 1,01 kattan

12,32 kata azalmalar meydana gelmiştir. Buradan, her bir kür süresi için döngü sayısının artmasına bağlı olarak kil zeminin şişme basıncı değerlerinde artış görünse de kür süresi arttıkça şişme basıncı değerlerinde kayda değer oranlarda azalmalar meydana gelmiştir. Kür süresi arttıkça artan hidrojellerin bir ölçüde boşlukları doldurduğu ve bunun sonucunda şişme basıncını azalttığı tahmin edilmektedir. GG ilavesi ile kil zeminin şişme basıncının azaltılmasında, kürlemenin önemli bir etki yarattığı düşünülmektedir. Bununla birlikte donma çözülme etkisinde şişme basınçları bir miktar artsa da bu artış sınırlı kalmıştır.



Şekil 8. Farklı donma çözülme döngüleri için şişme basınçları değişimi

4. SONUÇLAR

Bu çalışmada, GG ile iyileştirilen bir kil zeminin donma çözülme etkisi altında, mukavemet ve şişme davranışlarının kür süresine bağlı değişimleri serbest basınç ve şişme basıncı deneyleri ile araştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar aşağıda sunulmuştur.

GG ilaveli numunelerde kür süresi arttıkça serbest basınç mukavemetlerinde 56 güne kadar önemli artışlar elde edilebilirken, numuneler donma çözülmeye tabi tutulduktan sonra serbest basınç mukavemetleri biraz düşmüştür. Ayrıca bu düşüş donma çözülme tekrar sayısının artması ile

artmıştır. Numuneler üzerinde donma çözülme tekrar sayısı arttıkça serbest basınç mukavemetinde iki kata varan düşüşler elde edilmiştir. Ancak bu düşüş kür süresi fazla olan numunelerde az olan numunelere göre nispeten az olmuştur. 196 gün kür edilen numunelerde serbest basınç mukavemetindeki düşüş 1,06 katı olarak elde edilmiştir.

Her bir kür süresi için döngü sayısının artmasına bağlı olarak kil zeminin şişme basıncı değerlerinde artış görülse de kür süresi arttıkça şişme basıncı değerlerinde kayda değer oranlarda azalmalar meydana gelmiştir. Bu durumda GG'un su ile karıştırdığı ve kür süresi ile artan

hidrojellerin boşlukları doldurmasının etkili olduğu düşünülmektedir. Bununla birlikte donma çözülme etkisinde şişme basınçları bir miktar artsa da bu artış sınırlı kalmıştır.

GG ile karıştırılan kil zeminde hem kür hem de donma çözülmeye göre serbest basınç mukavemeti ve şişme basıncı açısından çaba ve elde edilecek kazanç düşünüldüğünde optimum kür süresi yazarlar tarafından 56 gün olarak önerilmektedir.

GG ilavesinin, çalışmada araştırılan kil zeminin donma çözülme davranışı altında mukavemet ve şişme parametrelerine olumlu yönde katkısının olduğu belirlenmiştir. Bu durumda çevre dostu bir malzeme olan GG'un farklı kil zeminlerde yapılacak çalışmalar ve arazi çalışmaları ile desteklenmek sureti ile zemin iyileştirmede katkı maddesi olarak iyi bir alternatif olabileceği öngörülmektedir.

GG kullanımı zemin mühendislik özelliklerindeki iyileşmelerin sınırlı mertebelerde olduğu gözlenmiştir. Bu nedenle, üst yapıdan temel zeminine gelecek düşey yükün dikkatlice hesaplanarak, GG kullanımı ile zemin iyileştirilmesinin yeterliliğinin kontrol edilmesi önerilmektedir. Ayrıca, GG ile yapılan zemin iyileştirmenin, karayolu temel dolguları gibi hafif yüke maruz yapı zeminlerinde uygun olduğu düşünülmektedir.

6. KAYNAKLAR

1. Kumar, J.K., Kumar, V.P., 2020. Soil Stabilization Using E-waste: A Retrospective Analysis. *Materials Today: Proceedings*, 223, 691–693. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2019.09.145>.
2. Marto, A., Latifi, N., Eisazadeh, A., 2014. Effect of Non-traditional Additives on Engineering and Microstructural Characteristics of Laterite Soil. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 3910, 6949–6958. <https://doi.org/10.1007/s13369-014-1286-1>.
3. Kampala, A., Horpibulsuk, S., Prongmanee, N., Chinkulkijniwat A., 2014. Influence of Wet-dry Cycles on Compressive Strength of Calcium Carbide Residue-fly Ash Stabilized Clay, *Journal of Materials in Civil Engineering*, 264, 633–643. <https://doi.org/10.1061/ASCEMT.1943-5533.0000853>.
4. Arulrajah, A., Mohammadinia, A., Phummiphan, I., Horpibulsuk, S., Samingthong, W., 2016. Stabilization of Recycled Demolition Aggregates by Geopolymers Comprising Calcium Carbide, Fly Ash and Slag Precursors. *Construction and Building Materials*, 114, 864–873. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.03.150>.
5. Dash, S.K., Hussain, M., 2012. Lime Stabilization of Soils: Reappraisal. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 246, 707-714. <https://doi.org/10.1061/ASCEMT.1943-5533.0000431>.
6. Cristelo, N., Glendinning, S., Fernandes, L., Pinto, A.T., 2013. Effects of Alkaline-Activated Fly Ash and Portland Cement on Soft Soil Stabilization. *Acta Geotechnica*, 84, 395–405. <https://doi.org/10.1007/s11440-012-0200-9>.
7. Du, Y.J., Horpibulsuk, S., Wei, M.L., Suksiripattanapong, C., Liu, M.D., 2014. Modeling Compression Behavior of Cement-treated Zinc-contaminated Clayey Soils. *Soils and Foundations*, 545, 1018–1026. <https://doi.org/10.1016/j.sandf.2014.09.007>.
8. Tingle, J.S., Santoni, R.L., 2003. Stabilization of Clay Soils with Nontraditional Additives. *Journal of the Transportation Research Board*, 18191, 72–84. <https://doi.org/10.3141/1819b-10>.
9. Sarici, T., 2019. Evaluation of Usability of Pozzolan Reinforced Construction and Demolition Wastes as a Granular Fill, [Doctoral thesis]. Inonu University Graduate School of Natural and Applied Sciences, 310. <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/tezSorguSonucYeni.jsp>.
10. Najah, L., Ahmed, F.B., Said, M.A.M., 2013. Influence of Polymer on Properties of Soils. *Electronic Journal of Geotechnical Engineering*, 18, 1909-1915. <http://www.ejge.com/2013/Abs2013.183.htm>.
11. Junior, A.L.O., Juca, J.F.T., Ferreira, J.A., Guliharme, L.C., 2019. Geotechnical Behavior

- and Soil-fiber Interaction of Clayey Soil Mixed with Randomly Dispersed Coconut Fibers. *Soils and Rocks*, 422, 127-138. <https://doi.org/10.28927/SR.422127>.
12. Menezes, L.C.P., Sousa, D.P., Fucale, S., Ferreira S.R.M., 2019. Analysis of the Physical-mechanical Behavior of Clayey Sand Soil Improved with Coir Fiber. *Soils and Rocks*, 421, 31-42. <https://doi.org/10.28927/SR.421031>.
 13. Vik, E.A., Sverdrup, L., Kelley, A., Storhaug, R., Beitnes, A., Boge, K., Grepstad, G.K., Tveiten, V., 2000. Experiences from Environmental Risk Management of Chemical Grouting Agents Used During Construction of the Romeriksporten Tunnel. *Tunn Undergr Space Technol* 154, 369–378.
 14. Oss, H.G., Padovani, A.C., 2003. Cement Manufacture and the Environment, Part II: Environmental Challenges and Opportunities. *J Ind Ecol* 71, 93–126.
 15. Shafiqh, P., Bin Mahmud, H., Jumaat, M.Z., Zargar, M., 2014. Agricultural Wastes as Aggregate in Concrete Mixtures: a Review. *Constr Build Mater* 53, 110–117.
 16. Worrell, E., Price, L., Martin, N., Hendriks, C., Meida L.O., 2001. Carbon Dioxide Emissions from the Global Cement Industry. *Annual Review of Energy and the Environment*, 26, 303-329. <https://doi.org/10.1146/annurev.energy.26.1.303>.
 17. Afolabi, A., Francis, F.A., Adejomo, F. 2012. Assessment of Health and Environmental Challenges of Cement Factory on Ewekoro Community Residents, Ogun State Nigeria. *American Journal of Human Ecology*, 12, 51-57. <https://doi.org/10.11634/21679622150479>.
 18. Chang, I., Prasadhi, A.K., Im, J., Cho, G., 2015. Soil Strengthening Using Thermo-gelation Biopolymers. *Construction and Building Materials*, 77, 430–438. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.12.116>.
 19. Mascarenha, M.M.A., Neto, M.P.C., Matos T.H.C., Chagas, J.V.R., Rezende, L.R., 2018. Effects of the Addition of Dihydrate Phosphogypsum on the Characterization and Mechanical Behavior of Lateritic Clay. *Soils and Rocks*, 412, 157-170. <https://doi.org/10.28927/SR.412157>.
 20. Cole, D.M., Ringelberg, D.B., Reynolds, C.M., 2012. Small-scale Mechanical Properties of Biopolymers. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 1389, 1063–1074. <https://doi.org/10.1061/ASCEGT.1943-5606.0000680>.
 21. Ivanov, V., Chu, J., 2008. Applications of Microorganisms to Geotechnical Engineering for Biologging and Biocementation of Soil in situ. *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology*, 72, 139–153. <https://doi.org/10.1007/S11157-007-9126-3>.
 22. Mitchell, J.K., Santamarina, J.C., 2005. Biological Considerations in Geotechnical Engineering. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 13110, 1222–1233. <https://doi.org/10.1061/ASCE1090-02412005131:101222>.
 23. Chang, I., Cho, G., 2011. Strengthening of Korean Residual Soil with b-1,3/1,6-glucan Biopolymer. *Construction and Building Materials*, 30, 30–35. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2011.11.030>.
 24. Chang, I., Im, J., Cho, G., 2016. Introduction of Microbial Biopolymers in Soil Treatment for Future Environmentally-friendly and Sustainable Geotechnical Engineering. *Sustainability*, 83, 1-23. <https://doi.org/10.3390/su8030251>.
 25. Khatami, H.R., O'Kelly B.C., 2013. Improving Mechanical Properties of Sand Using Biopolymers. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 1398, 1402–1406. <https://doi.org/10.1061/ASCEGT.1943-5606.0000861>.
 26. Ayeldeen, M.K., Negm, A.M., El Sawwaf, M.A., 2016. Evaluating the Physical Characteristics of Biopolymer/soil Mixtures. *Arabian Journal of Geosciences*, 9, 1-13. <https://doi.org/10.1007/s12517-016-2366-1>.
 27. Im, J., Tran, T.P.A., Chang, I., Cho G., 2017. Dynamic Properties of Gel-type Biopolymer-Treated Sands Evaluated by Resonant Column (RC) Tests. *Geomechanics and Engineering*, 12(5), 815-830. <https://doi.org/10.12989/gae.2017.12.5.815>.
 28. Lee, S., Im, J., Cho, G., Chang I., 2019. Laboratory Triaxial Test Behavior of Xanthan gum Biopolymer Treated Sands.

- Geomechanics and Engineering, 175 445-452. <https://doi.org/10.12989/gae.2019.17.5.445>.
29. Cabalar, A.F., Wiszniewski, M., Stunik, Z., 2017. Effects of Xanthan Gum Biopolymer on the Permeability, Odometer, Unconfined Compressive and Triaxial Shear Behavior of a Sand. *Soil Mechanics and Foundation Engineering*, 546, 356–361. <https://doi.org/10.1007/s11204-017-9481-1>.
 30. Fatehi, H., Abtahi, S.M., Hashemolhosseini, H., Hejazi S.M., 2018. A Novel Study on Using Protein Based Biopolymers in Soil Strengthening. *Construction and Building Materials*, 167, 813–821. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.02.028>.
 31. Soldo, A., Miletic, M., Auad, M.L., 2020. Biopolymers as a Sustainable Solution for the Enhancement of Soil Mechanical Properties. *Scientific Reports*, 10, 267. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-57135-x>.
 32. Sujatha, E.R., Saisree S., 2019. Geotechnical Behaviour of Guar Gum-treated Soil. *Soils and Foundations*, 596, 2155-2166. <https://doi.org/10.1016/j.sandf.2019.11.012>.
 33. Bağriacik, B., Ok, B., Kahiyah, M. T. M. A., 2021. An Experimental Study on Improvement of Cohesive Soil with Eco-friendly Guar Gum. *Soils and Rocks*, 44(2), 1-9.
 34. ASTM D6913-04. 2004. Standard Test Methods for Particle-Size Distribution Gradation of Soils Using Sieve Analysis, ASTM International, West Conshohocken, PA www.astm.org.
 35. ASTM D854-14. 2014. Standard Test Methods For Specific Gravity of Soil Solids by Water Pycnometer, ASTM International, West Conshohocken, PA, www.astm.org.
 36. ASTM D4318-17e1. 2017. Standard Test Methods for Liquid Limit, Plastic Limit, and Plasticity Index of Soils, ASTM International, West Conshohocken, PA, www.astm.org.
 37. ASTM D2487-17e1. 2017. Standard Practice for Classification of Soils For Engineering Purposes Unified Soil Classification System, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2017, www.astm.org.
 38. ASTM D698-12e2. 2012. Standard Test Methods for Laboratory Compaction Characteristics of Soil Using Standard Effort 12 400 ft-lbf/ft³ 600 kN-m/m³, ASTM International, West Conshohocken, PA, www.astm.org
 39. ASTM E 2809. 2013. Standard Guide for Using Scanning Electron Microscopy/X-Ray Spectrometry in Forensic Paint Examinations. ASTM International, West Conshohocken, PA. <https://www.astm.org>.
 40. Whistler, R.L., Hymowitz, T., 1980. Guar: Agronomy, Production, Industrial Use, And Nutrition. Purdue University Press. <https://doi.org/10.2307/2806779>.
 41. Risica, D., Barbeta, A., Vischetti, L., Cametti, C., Dentini, M., 2010. Rheological Properties of Guar And Its Methyl, Hydroxypropyl And Hydroxypropyl-Methyl Derivatives in Semi Dilute And Concentrated Aqueous Solutions. *Polymer*, 519, 1972–1982. <https://doi.org/10.1016/j.polymer.2010.02.041>.
 42. Sharma, R., Kaith, B.S., Kalia, S., Pathania, D., Kumar, A., Sharma, N., Street, R.M., Schauer, C., 2015. Biodegradable and Conducting Hydrogels Based on Guar Gum Polysaccharide for Antibacterial and Dye Removal Applications. *Journal of Environmental Management*. 162, 37–45. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2015.07.044>.
 43. What is in Your Food? Guar Gum. [<https://www.chroniclesinhealth.com/?s=guar+gum>].
 44. Bağriacık, B., Mahmutluoğlu B., 2021. Model Experiments on Coarse-Grained Soils Treated with Xanthan Gum Biopolymer. *Arabian Journal of Geosciences*, 14(1621), 1-14., Doi: 10.1007/s12517-021-08134-8
 45. Kahiyah, M.T.M.A. 2020. Investigation of Engineering Properties of Clayey Soils Improved with Biopolymers [MSc Thesis]. Cukurova University Institute of Natural and Applied Sciences. <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/tezSorguSonucYeni.jsp>.
 46. ASTM D2166 / D2166M-16. 2016. Standard Test Method for Unconfined Compressive Strength of Cohesive Soil, ASTM International, West Conshohocken, PA, www.astm.org.
 47. Mahmutluoğlu, B., Bağriacık, B., 2020. Atık Lastik Parçalarıyla Güçlendirilmiş Killi Zeminlerin Donma Çözülme Davranışı.

- Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Dergisi, 35(3), 783-795.
48. Ghazavi M., Roustae M., 2010. The Influence of Freeze-thaw Cycles on The Unconfined Compressive Strength of Fiber-reinforced Clay. *Cold Regions Science and Technology*, 61, 125-131.
49. Hazirbaba, K., Zhang, Y., Hulse, J.L., 2011. Evaluation of Temperature and Freeze-thaw Effects on Excess Pore Pressure Generation of Fine-grained Soils. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 31, 372-384.
50. Zaimoğlu, A.Ş., Hattatoğlu, F., Akbulut, R.K., 2013. Yüke Maruz İnce Taneli Zeminlerin Donma-Çözülme Davranışı. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 19(3), 117-121.
51. Liu, Y., Chang, C.W., Namdar, A., She, Y., Lin, C.H., Yuan, X., Yang, Q., 2019. Stabilization of Expansive Soil Using Cementing Material From Rice Husk Ash and Calcium Carbide Residue. *Construction and Building Materials*, 221, 1-11.