

Kireç ve Sodyum Aljinat Biyopolimeri ile İyileştirilen Yüksek Plastisiteli Kil Zeminin Donma-Çözülme Özelliklerinin Araştırılması

Dilber TEBER¹ , Harun AKOĞUZ^{2*} 

Öz

Bu çalışmada yüksek plastisiteli bir kil zeminin iyileştirilmesinde sodyum aljinat biyopolimerinin ve kireçle birlikte sodyum aljinat biyopolimerinin etkinliğinin iyileştirmeye etkisi araştırılmıştır. Bu amaçla kil zemine %0, %0,5, %1 ve %1,5 oranlarında biyopolimer ve %0, %2, %4 ve %6 oranlarında kireç ilave edilmiştir. 7 ve 28 günlük kür süresi sonunda mukavemet sonuçları serbest basınç mukavemeti deneyleri ile değerlendirilmiştir. Çevresel etkilerin etkisinin incelenmesi amacıyla da iyileştirilen zemin örnekleri 5 ve 10 döngü olarak donma-çözülme maruz bırakılmıştır. Sonuç olarak kür süreleri sonunda sodyum aljinat biyopolimerinin katkısız numunelere kıyasla daha yüksek serbest basınç mukavemetlerine sahip olduğu görülmüştür. Donma çözülme döngüleri sonucunda da biyopolimer katkısının mukavemet sonuçlarını iyileştirdiği belirlenmiştir. Kireçle birlikte biyopolimer kullanımında ise biyopolimerin zemin iyileştirmede kirecin etkinliğini artırdığı mukavemet deneyleri ve donma çözülme döngüleri sonucunda belirlenebilmiştir. Sonuç olarak çevre dostu bir biyopolimer olan sodyum aljinatın kil zeminlerin iyileştirilmesindeki mühendislik uygulamalarına olumlu katkılarının olabileceği değerlendirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Yüksek plastisiteli kil, Sodyum aljinat, Biyopolimer, Kireç, Donma çözülme.

Investigation of Freeze-Thaw Properties of High Plasticity Clay Soil Improved with Lime and Sodium Alginate Biopolymer

Abstract

In this study, the effect of sodium alginate biopolymer and the effectiveness of sodium alginate biopolymer combined with lime in improving a high-plasticity clay soil were investigated. For this purpose, 0%, 0.5%, 1%, and 1.5% biopolymers and 0%, 2%, 4%, and 6% lime were added to the clay soil. At the end of the 7 and 28 day curing period, the strength results were evaluated with unconfined compressive strength tests. In order to examine the effects of environmental factors, the improved soil samples were exposed to freeze-thaw cycles for 5 and 10 cycles. As a result, it was observed that sodium alginate biopolymers had higher unconfined compressive strengths compared to pure samples at the end of the curing periods. As a result of freeze-thaw cycles, it was determined that the biopolymer additive improved the strength results. When using biopolymer with lime, it was determined as a result of strength tests and freeze-thaw cycles that biopolymer increased the effectiveness of lime in soil improvement. As a result, it has been evaluated that sodium alginate, an environmentally friendly biopolymer, may have positive contributions to engineering applications in the improvement of clay soils.

Keywords: High plasticity clay, Sodium alginate, Biopolymer, Lime, Freeze-thaw.

¹Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Erzincan, Türkiye, dilberteber2525@gmail.com

²Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Erzincan, Türkiye, hakoguz@erzincan.edu.tr

*Sorumlu Yazar/Corresponding Author

Geliş/Received: 01.04.2024

Kabul/Accepted: 26.06.2024

Yayın/Published: 15.09.2024

1. Giriş

Günümüzde zeminlerin iyileştirilmesinde birçok farklı metot kullanılmaktadır. Bu metotlar ile taşıma gücü düşük veya problemlili zeminlerin mühendislik özellikleri iyileştirilmeye çalışılmaktadır. Dünya çapında yaygın olarak bulunan yüksek plastisiteli kil zeminler neme maruz kaldıklarında nispeten hassas olduklarından sorunlu zeminler olarak bilinmektedir (Ghorbani ve ark., 2019). Uzun bir süredir Portland çimentosu ve kireç, kil zeminlerin stabilizasyonunda başarıyla kullanılmaktadır (Prusinski ve Bhattacharja, 1999). Ancak Portland çimentosu kullanımının bazı dezavantajlarının olduğu bilinmektedir. Portland çimentosunun artan kullanımı karbondioksit (CO₂) salınımına bu durumda küresel ısınmaya sebep olabilmektedir (Pavithra ve ark., 2016). Zeminlerin mukavemet özellikleri mühendislik yapılarının ihtiyaçlarını karşılayacak şekilde kireç kullanımı ile iyileştirilebildiğinden çok sayıda bilim adamı kireçle iyileştirilmiş zeminlerin mekanik özellikleri üzerine araştırmalar yapmışlardır (Jiang ve ark., 2022). Kil zeminlerin iyileştirilmesinde, sıklıkla kullanılan kireç ile birlikte doğal veya çevreci polimerlerin kullanımının, zeminin dayanımına ve diğer mühendislik özelliklerine olumlu katkısının olabileceğini gösteren birçok çalışma bulunmaktadır (Onah ve ark. 2022; Yuliia ve ark. 2023). Bu kapsamda araştırmacılar son yıllarda özellikle bu yapı malzemelerinin zemin iyileştirmedeki avantajları üzerine çalışmalar yapmaktadırlar (Tunç ve ark. 2022; Fatehi ve ark. 2024; Chen ve ark. 2024).

Keskin ve ark. (2017) çalışmalarında katkı malzemelerinin (%5 ve %10 oranlarında mermer tozu, ponza tozu ve kireç tozu) kil zeminler üzerindeki etkilerini incelemiş, iyileştirilen ve iyileştirilmeyen numunelerin donma-çözülme etkisi altındaki serbest basınç mukavemetlerini karşılaştırmışlardır. Çalışmada donma-çözülme maruz kalan zemin örneklerinin serbest basınç dayanımında azalma olduğunu, kireç tozunun %5 ve %10 oranında eklenmesi ile serbest basınç mukavemetinde 5 kata varan artış gözlemlediklerini ifade etmişlerdir. Taşçı (2011) çalışmasında yüksek plastisiteli kil zemini kireç ve silis dumanı katkılarıyla iyileştirmeyi amaçlamıştır. Çalışmada kireç oranını %3'te sabit tutup silis dumanı oranını değiştirerek uygulama yapmış ve %3 kireç + %10 silis dumanı oranlarının şişme basıncı ve üç eksenli basınç deneyleri için optimum olduğunu belirtmiştir. Ok ve Bağrıaçık (2022) çalışmalarında guar gum biyopolimeri (%1, %2, %3) ile kil zeminleri iyileştirmiş, %1 guar gum oranına sahip zemin numunelerinin en yüksek serbest basınç mukavemetine sahip olduğunu belirtmişlerdir. 56 günden sonra dayanımda çok fazla bir artış olmadığını ifade etmişlerdir. Donma çözülmenin etkisini belirleyebilmek için 1, 3, 5 ve 10 donma-çözülme çevrimi uygulamışlar ve çevrim sayısı arttıkça dayanımda azalmalar olduğunu belirtmişlerdir. Ayrıca kil zeminin şişme parametrelerini incelemiş ve şişme parametreleri üzerinde guar gum biyopolimer kullanımının olumlu etkilerinin olduğunu ifade etmişlerdir. Kurt Albayrak ve Altun (2021) çalışmalarında kil zemini mermer tozu ve biyopolimer kullanarak iyileştirmeyi

amaçlamışlardır. Yüksek plastisiteli kil zemine ağırlıkça %5, %15 ve %25 oranlarında mermer tozu ve su miktarının yüzdesi şeklinde %0,5, %1,0 ve %1,5 oranlarında keçiyoynuzu gamı eklemiştirler. Genel olarak tüm mermer tozu oranlarında biyopolimer oranı arttıkça serbest basınç dayanımının da arttığını belirtmişlerdir. Literatürde yapılmış çalışmalardan özetle kil zeminlerde biyopolimer kullanımı ile zeminin mühendislik özelliklerinin iyileştirilebileceği anlaşılmaktadır.

Yapılan bu çalışmanın amacı, literatürde kil zeminlerin iyileştirilmesinde sıklıkla kullanılan kireç ile birlikte sodyum aljinat biyopolimerinin yüksek plastisiteli kil zeminin mukavemet özellikleri üzerindeki etkisini araştırmaktır. Bu amaçla iyileştirilen ve iyileştirilmeyen kil zeminlerin mukavemet özellikleri serbest basınç deneyleri ile araştırılmış ve çevresel etkilerin değerlendirilmesi amacıyla da donma çözülme çevrimleri uygulanmıştır. Çalışmadan elde edilen bulguların, zeminlerin iyileştirilmesinde çevre dostu biyopolimerlerin kullanımına dair mühendislik uygulamalarına katkıda bulunabileceği değerlendirilmektedir.

2. Materyal ve Metot

2.1. Zemin Özellikleri

Çalışmada kullanılan zemin Erzurum Horasan yöresinden temin edilmiştir (Şekil 1-a). Araziden getirilen zemin öğütücü ile öğütüldükten sonra 0,075 μm elekten elenerek deneylere hazır hale getirilmiştir (Şekil 1-b). Sonrasında zeminin kompaksiyon parametrelerinin belirlenmesi amacıyla standart proktor kompaksiyon deneyi yapılmıştır (ASTM D698). Bu deney sonucunda zeminin maksimum kuru birim hacim ağırlığı (γ_{kmax}) 12,4 kN/m^3 ve optimum su muhtevası (w) %30,00 olarak belirlenmiştir. Farklı kireç oranları için kompaksiyon parametreleri yeniden belirlenmiş ve deney sonuçları dikkate alınarak numuneler sıkıştırılmıştır. Kil zemin üzerinde yapılan kıvam limitleri deneyleri (ASTM D2487) zeminin yüksek plastisiteli kil zemin olduğunu göstermiştir.



Şekil 1. (a) Araziden alınan kil zemin, (b) öğütme ve eleme sonrası elde edilen kil zemin

2.2. Sodyum Aljinat ve Kireç

Çalışmamızda zeminlerin iyileştirmesinde ticari olarak elde edilebilen sodyum aljinat biyopolimeri ve kireç kullanılmıştır (Şekil 2).



Şekil 2. (a) Sodyum aljinat, (b) kireç

2.3. Deney Metodu ve Analizler

Çalışmada kil zeminin iyileştirilmesinde kireç, sodyum aljinat ve kireç ile birlikte sodyum aljinat farklı oranlarda kullanılmıştır. Zemin iyileştirmede kullanılan oranlara ait detaylar Tablo 1’de verilmiştir. Deney sonuçlarının sunumunda numunelerin adlandırılmasında ilk yazılan değer kil yüzdesini, ikinci değer kireç yüzdesini son değer ise sodyum aljinat biyopolimerin yüzdesini belirtmektedir.

Tablo 1. Kil zeminin iyileştirilmesinde ağırlıkça kil zemin, kireç ve sodyum aljinat oranları

Numune	Kil (%)	Kireç (%)	Sodyum Aljinat (%)	Optimum Su Muhtevası (%)
100-0-0	100	0	0.00%	30.00%
100-0-0.5	100	0	0.50%	30.00%
100-0-1.0	100	0	1.00%	30.00%
100-0-1.5	100	0	1.50%	30.00%
98-2-0	98	2	0.00%	30.90%
98-2-0.5	98	2	0.50%	30.90%
98-2-1	98	2	1.00%	30.90%
98-2-1.5	98	2	1.50%	30.90%
96-4-0	96	4	0.00%	31.95%
96-4-0.5	96	4	0.50%	31.95%
96-4-1	96	4	1.00%	31.95%
96-4-1.5	96	4	1.50%	31.95%

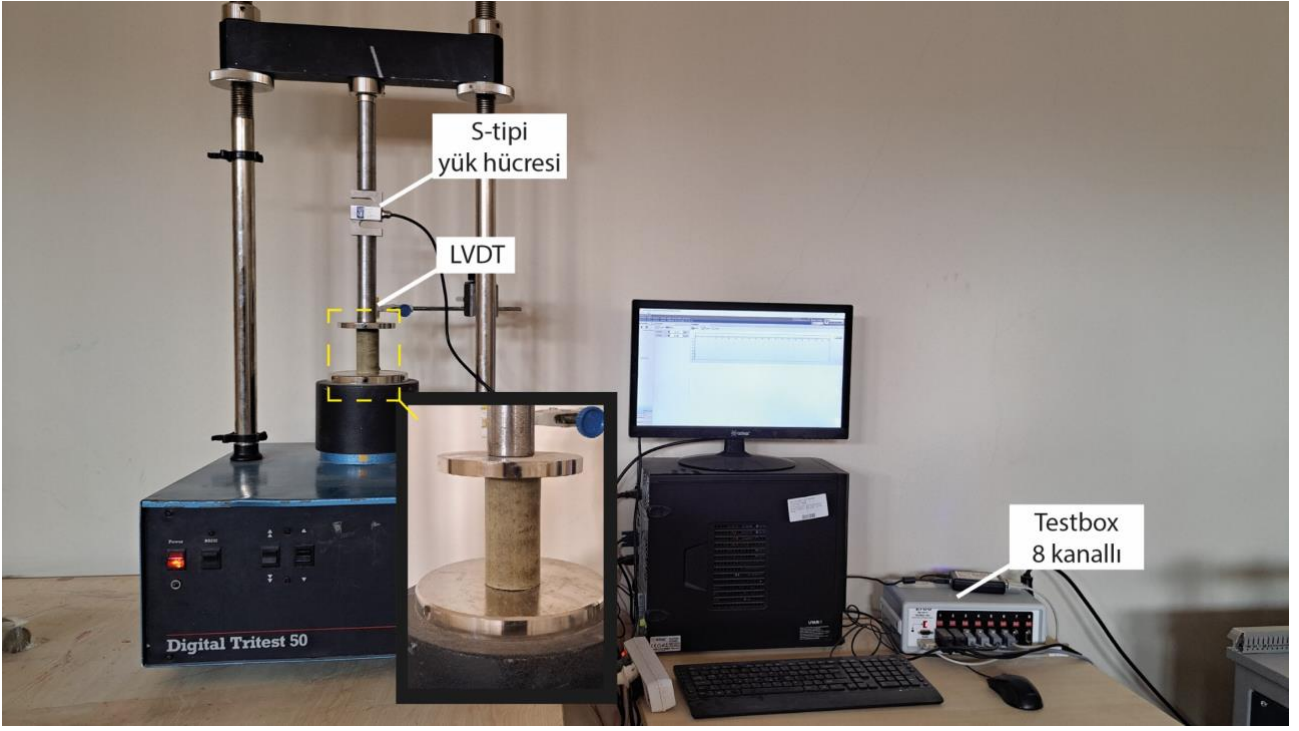
94-6-0	94	6	0.00%	33.00%
94-6-0.5	94	6	0.50%	33.00%
94-6-1	94	6	1.00%	33.00%
94-6-1.5	94	6	1.50%	33.00%

Kireç ve biyopolimerin zemine uygulama aşamasına ait görsel Şekil 3'te verilmiştir. Kireç zemine belirtilen oranda toz halinde eklendikten sonra karıştırıcı ile en az 5 dakika boyunca karıştırılmıştır. Kompaksiyon deney sonuçlarına göre belirlenen optimum su muhtevası kadar su mezür ile ölçülmüş ve içerisine biyopolimer suyun yüzdesi olarak Tablo 1'de belirtilen oranlarda katılarak manyetik karıştırıcıda en az 10 dakika boyunca karıştırılmıştır. Bu karışım mikser içerisine sabit sıvı akışı sağlayan dozaj pompası vasıtası ile verilmiştir. Biyopolimer-su ve kil-kireç karışımları karıştırıcı içerisinde en az 10 dakika karıştırılmıştır.



Şekil 3. (a) Karışımların zemine uygulanması, (b) uygulamada kullanılan malzemeler.

Elde edilen katkılı zemin 38 mm çapında, 76 mm yüksekliğindeki kalıplar içerisinde optimum su muhtevasında sıkıştırılarak yerleştirilmiştir. Kalıplardan çıkarılan zeminler hava almayacak şekilde oda sıcaklığında muhafaza edilmiştir (Şekil 5). 7 gün ve 28 gün süresince kürede bekletilen zeminler üzerinde ASTM D 2166 standardına uygun olarak serbest basınç deneyleri yapılmıştır (Şekil 4).



Şekil 4. Serbest basınç deney düzeneği

Çevresel etkilerin zeminlerin mukavemeti üzerindeki etkilerini belirlemek amacıyla numunelere donma-çözülme çevrimleri uygulanmıştır. 28 gün kürde bekletilen zemin örneklerine Şekil 5'te gösterildiği gibi alüminyum folyo sarılarak donma çözülme 5 ve 10 çevrim olacak şekilde uygulanmıştır. Donma çözülme aşamaları her bir çevrim için $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'de 6 saat dondurucuda bekletilerek dondurma, ardından $+25\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'de 6 saat çözülme şeklindedir (Ghazavi ve Roustaie, 2010). Donma-çözülme çevrimleri sonrası numunelerin serbest basınç mukavemetleri belirlenmiştir.

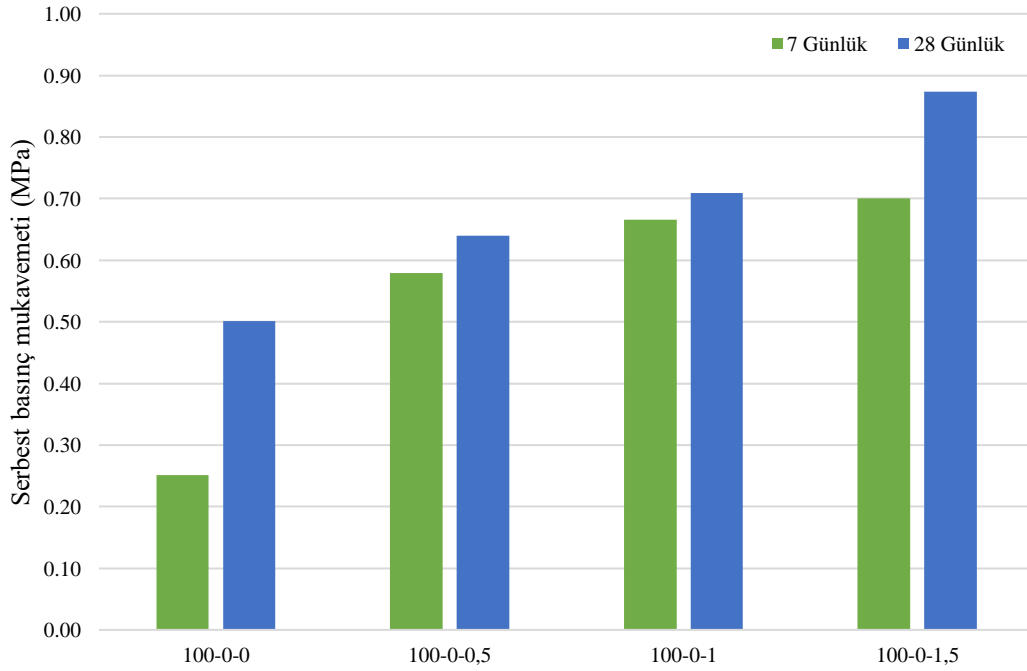


Şekil 5. (a) 7 ve 28 gün bekletilen iyileştirilen zemin örnekleri, (b) donma-çözülme deneyi için hazırlanan zemin örnekleri.

3. Bulgular ve Tartışma

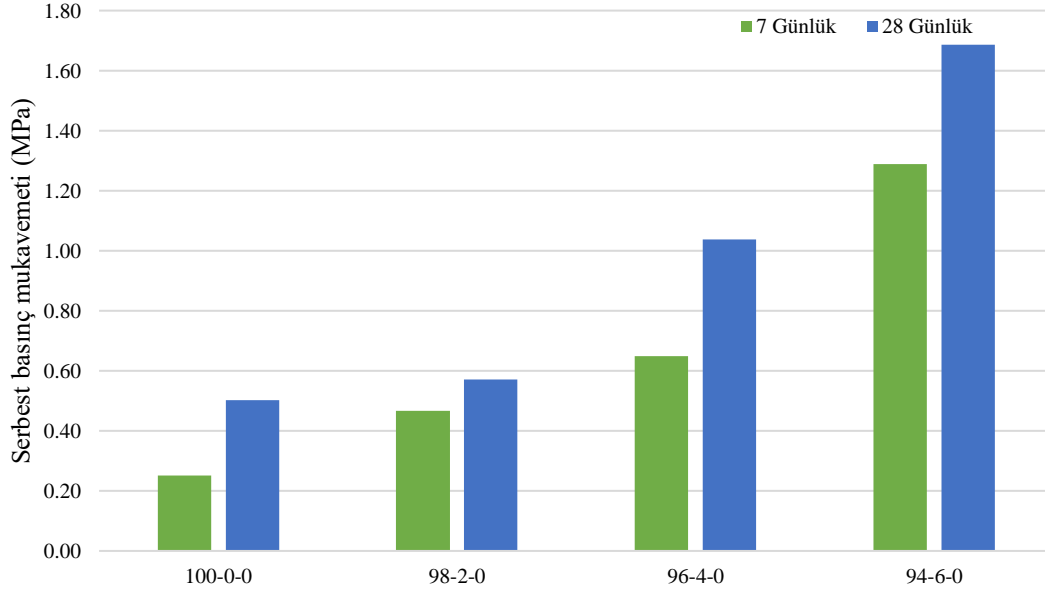
3.1. Serbest Basınç Deney Sonuçları

Çalışmada kil zeminin iyileştirilmesinde sadece biyopolimer, sadece kireç ve biyopolimerle birlikte kireç kullanılarak bunların mukavemet sonuçlarına etkisi araştırılmıştır. Sadece biyopolimer ile iyileştirilen 7 ve 28 gün kür süresine sahip kil zeminlerin mukavemet sonuçları Şekil 6'da sunulmuştur. Şekil 6'da sunulan sonuçlar incelendiğinde, biyopolimer katkılı tüm örneklerde katkı uygulanmayan örneğe göre mukavemet sonuçları artmıştır. Bu artış 28 günlük örnekler için %0,5, %1 ve %1,5 biyopolimer uygulamasıyla, uygulanmayan örneklere kıyasla sırasıyla %28, %42 ve %75 olarak gerçekleşmiştir. Biyopolimer katkısı arttıkça mukavemette arttığından biyopolimer katkısının kil zeminin iyileştirilmesinde oldukça etkili olduğu anlaşılmaktadır. Cheng ve Geng, (2023) çalışmalarında farklı biyopolimerler ile kil zeminlerin iyileştirmesini araştırmışlardır. Kürlenme süresinin 28 ile 42 gün arasında olduğu durumlarda optimum biyopolimer konsantrasyonunun %1-2 arasında olduğunu belirtmişlerdir.



Şekil 6. Biyopolimer ile iyileştirilen zeminlerin 7 ve 28 günlük serbest basınç deney sonuçları

Sadece kireç kullanılarak iyileştirilen kil zeminin mukavemet sonuçları Şekil 7'de sunulmuştur. Sadece kireç uygulanan zemin örneklerinde hiç uygulama yapılmayan zemin örneklerine göre tüm oranlarda mukavemet artışı elde edilmiştir.

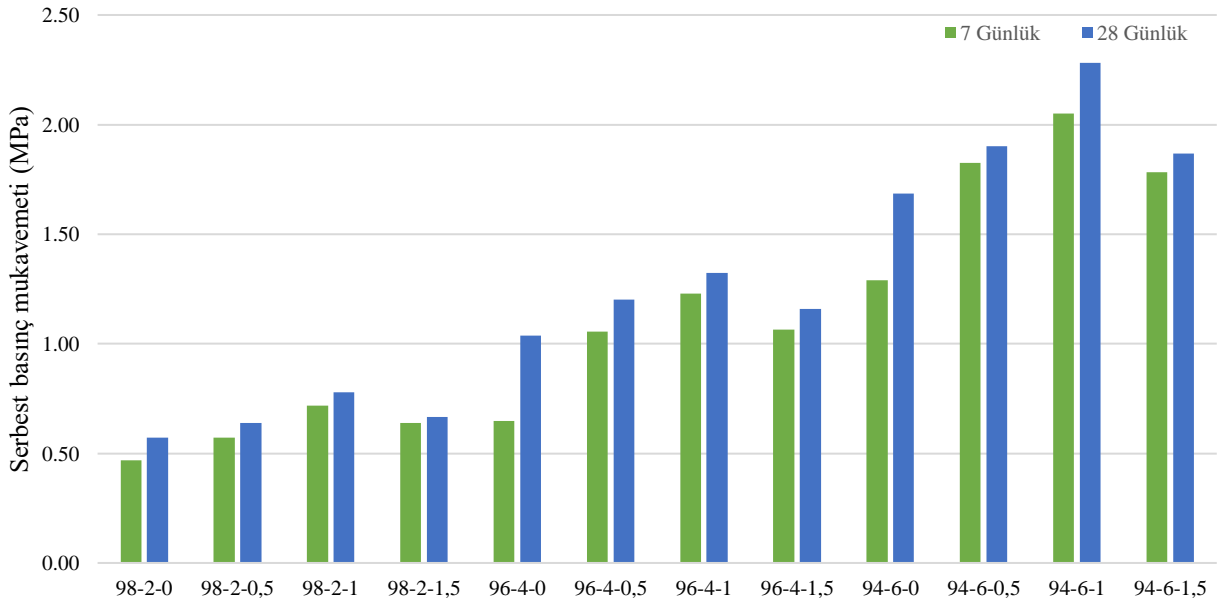


Şekil 7. Kireç ile iyileştirilen zeminlerin 7 ve 28 günlük serbest basınç deney sonuçları

Kireç ile birlikte biyopolimer uygulanan zemin örneklerinin mukavemet sonuçları Şekil 8’de sunulmuştur. Şekil 8’de verilen sonuçlar incelendiğinde sadece biyopolimer veya sadece kireç uygulanan zemin örneklerinin mukavemet sonuçlarından farklı olarak %1 biyopolimer katkısından sonra mukavemet değerlerinde azalma meydana geldiği gözlemlenmiştir. Chang ve ark. (2015) çalışmalarında farklı tür zeminlerin biyopolimer (xanthan gum) ile iyileştirilmesi üzerine araştırma yapmışlardır. Biyopolimer konsantrasyonunun artmasıyla mukavemetin de arttığını, ancak belirli bir düzeyden sonra azalma veya düzleşme eğilimi başladığını belirtmişlerdir. Ayrıca biyopolimer konsantrasyonunun artmasıyla daha fazla suyun biyopolimerler tarafından adsorbe edilebileceğini ve oldukça viskoz bir süspansiyon oluşarak zemin içerisindeki boş alanların küresel hacminin artabileceğini vurgulamışlardır. Sonuç olarak %1-1,5 arasında biyopolimer kullanımının hem daha etkili hem de ekonomik olabileceğini belirtmişlerdir. Bakhshizadeh ve ark. (2022) sodyum aljinat biyopolimeri ile kil zeminlerin iyileştirilmesinde hem daldırma hem de püskürtme yöntemlerini kullanmış ve optimum sodyum aljinat konsantrasyonunu %1,25 olarak bulmuşlardır. Bagherinia (2024) kil zeminin iyileştirilmesi üzerine yaptığı çalışmada optimum sodyum aljinat yüzdesini %1 olarak belirtmiştir. Çalışmamızda da benzer şekilde belirli bir biyopolimer konsantrasyonundan sonra mukavemet azalma eğilimi göstermiş ve optimum sodyum aljinat yüzdesi %1 olarak belirlenmiştir. Biyopolimer ve kirecin ortak etkisi incelendiğinde biyopolimer katkısı tüm farklı kireç oranlarında mukavemet sonuçlarını olumlu etkilemiştir. Örneğin sadece %2 kireç uygulanan zemin örneğine %0,5 biyopolimer katkısı 28 günlük mukavemetini %12 artırırken biyopolimer oranı %1 olduğunda bu artış %36 olarak gerçekleşmiştir. Bu artış sadece kireç olarak %4 ve %6 uygulanan zemin

örneklerinde ise %1 biyopolimer uygulamasıyla sırasıyla %27 ve %35 olarak meydana gelmiştir. Biyopolimer kullanımının %1 oranından fazla olması durumunda mukavemet azaldığından kireçle birlikte sodyum aljinat biyopolimer kullanımında aljinat yüzdesinin %1 olarak seçilmesinin faydalı olabileceği değerlendirilmiştir.

Elde edilen sonuçlardan anlaşılacağı üzere kil zeminlerin iyileştirilmesinde sodyum aljinat biyopolimer kullanımı hem kil zeminin mukavemetini artırmış hem de kireç katkısının daha iyi mukavemet sonuçları vermesine katkı sağlamıştır.



Şekil 8. Kireç ile birlikte biyopolimer uygulanarak iyileştirilen zeminlerin 7 ve 28 günlük serbest basınç deney sonuçları

3.2. Donma-Çözülme Deney Sonuçları

Çevresel etkilerin mukavemet sonuçlarına etkisini değerlendirebilmek amacıyla iyileştirilen kil zeminlerde uygulanan donma çözülme çevrimleri sonrası yapılan serbest basınç mukavemeti deney sonuçları Şekil 9’da sunulmuştur. Şekil 9 incelendiğinde, biyopolimer veya kireç katkısının uygulama yapılmayan kil zeminlere kıyasla donma çözülme sonuçlarında iyileştirici etkilerinin olduğu anlaşılmaktadır.

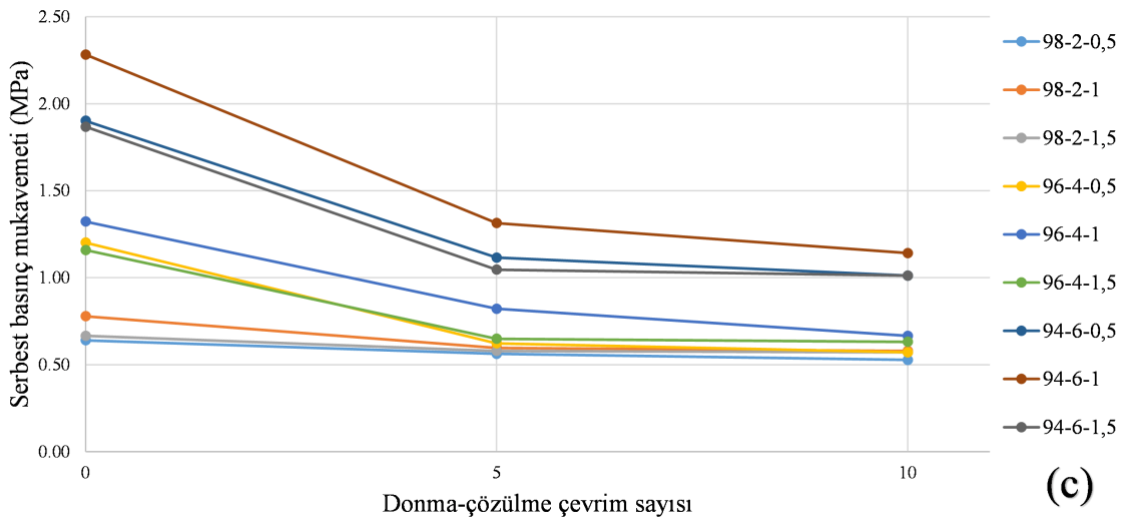
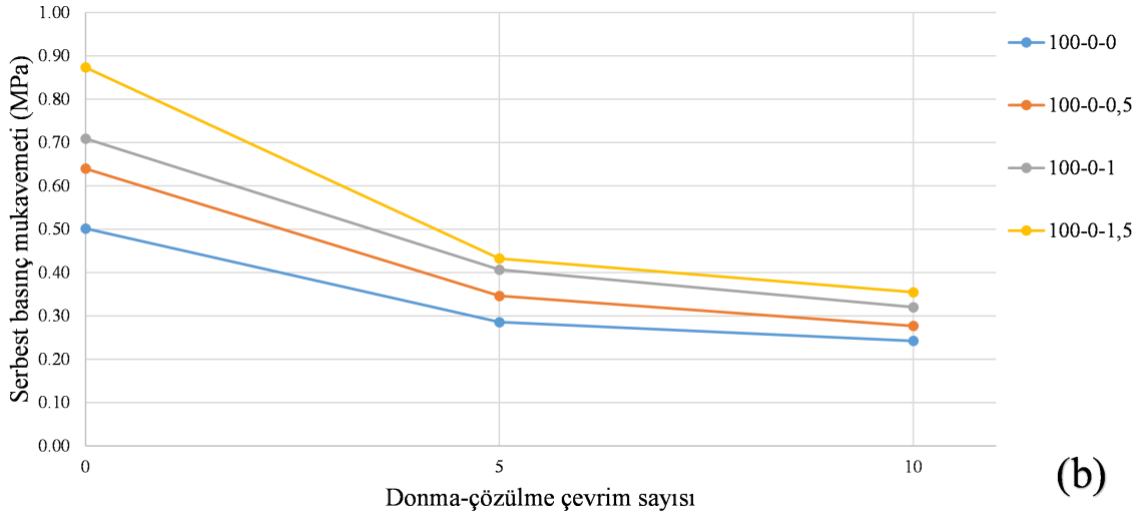
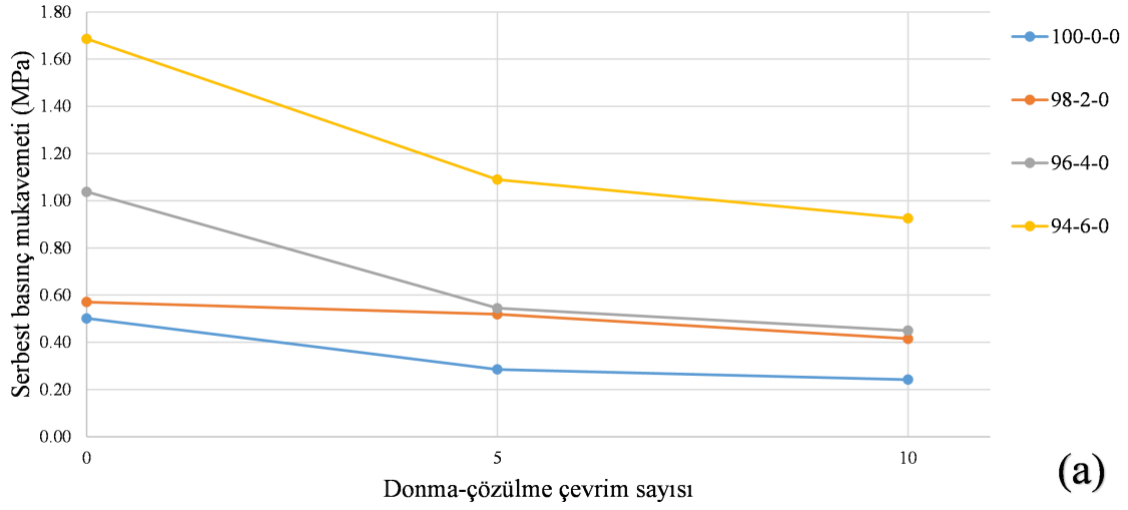
Şekil 9’da sadece kireç uygulanan zemin örnekleri sonuçları incelendiğinde 5 donma çözülme çevriminin 10 donma çözülme çevrimine göre daha etkili olduğu görülmektedir. 5 donma çözülme sonrası sadece kireç uygulanan zemin örneklerinde ortalama mukavemet %31 azalırken 10 çevrim uygulama sonrasında bu değer %43 olarak gerçekleşmiştir. 5 çevrim ile 10 çevrim arasındaki farkın 5 çevrimdeki mukavemet düşüşünden oldukça az olduğu anlaşılmaktadır. Ayrıca, donma çözülme çevrimleri sonucunda elde edilen mukavemet değerlerinin 28 günlük mukavemet sonuçları ile paralel

olduğu görülmektedir. Bu sonuçlardan donma çözülme çevriminin etkisinde donma çözülme uygulanmayan örneklere benzer şekilde optimum kireç yüzdesinin %6 olduğu anlaşılmaktadır.

Şekil 9’da verilen sonuçlar incelendiğinde sadece biyopolimer uygulanan zemin örneklerinde de sadece kireç uygulanan zemin örneklerinde olduğu gibi 5 donma çözülme çevriminin (%46) 10 çevrime (%57) oranla daha etkili olduğu görülmektedir. Ayrıca sadece kireç uygulanan zemin örneklerine kıyasla sadece biyopolimer uygulanan zemin örneklerinde donma çözülmede daha fazla düşüş görülmüştür. Biyopolimerler ortam sıcaklığına göre değişebilen polisakkaritlerden oluşmaktadır ve donma çözülmeye bağlı olarak polimerlerin yapısının bozulmasıyla mukavemette azalabilmektedir (Bozyigit ve ark. 2023). Buradan donma çözülmenin sadece biyopolimer uygulanan zemin örnekleri üzerinde daha etkili olduğu anlaşılmaktadır. Optimum biyopolimer oranının donma çözülme çevrime sahip zemin örneklerinde %1,5 olduğu ve katkı kullanılmayan kil zemin örneğine kıyasla biyopolimer kullanımının donma çözülme çevrimlerinde olumlu etkilerinin olabileceği görülmektedir.

Şekil 9’da verilen iyileştirilen zemin örneklerinde biyopolimer ve kirecin donma çözülme çevrimlerindeki ortak etkisi değerlendirildiğinde 28 günlük mukavemet sonuçlarına benzer şekilde optimum kireç yüzdesinin %6 ve optimum biyopolimer yüzdesinin %1 olduğu görülmektedir. Sadece biyopolimer veya sadece kireç uygulanan zemin örneklerinin donma çözülme döngüleri sonuçlarına benzer şekilde kil ve kirecin birlikte uygulandığı örneklerin ortalaması dikkate alındığında mukavemetin azalmasında 5 çevrimin etkisinin (%34) 10 çevrim etkisine (%39) kıyasla daha fazla olduğu belirlenmiştir. Bu etki mukavemet sonuçlarının daha yüksek olduğu %4 ve %6 oranlarında kireç ile birlikte biyopolimer uygulanan örneklerde daha fazla görülmüştür. Sadece kireç uygulanan zemin örneklerine kıyasla biyopolimer katkısı donma çözülme çevrimi sonucunda elde edilen mukavemet sonuçlarına büyük oranda olumlu katkıda bulunmuştur. Örneğin %2 ve %4 kireç uygulanan zemin örneklerinde 10 donma çözülme döngüsü sonucunda mukavemet sırasıyla %27 ve %57 oranlarında azalırken bu örneklere %1 biyopolimer uygulandıktan sonra mukavemet değerlerinde meydana gelen azalma sırasıyla %26 ve %50 olarak gerçekleşmiştir. Liu ve ark. (2023) çalışmalarında kil zemini kalsiyum klorür ve sodyum aljinat içeren bir solüsyonla iyileştirmiş ve 12 donma çözülme çevrimi sonucunda serbest basınç mukavemetinin sadece %20 oranında azaldığını belirtmiştir. Çalışmamızda zeminlerin donma çözülme çevrimlerinden daha fazla etkilenmesinde hem farklı bir zeminin hem de sadece sodyum aljinat kullanımının etkili olabileceği düşünülmektedir. İleride yapılacak çalışmalarda kireç, sodyum aljinat ile birlikte kalsiyum klorürle uygulama yapılmasının donma çözülme çevrimleri sonucunda daha iyi sonuçlar verebileceği değerlendirilmektedir. Sonuç olarak, literatürde yapılan çalışmalarda biyopolimer kullanımı ile zeminlerin donma çözülme davranışlarının iyileştirilebileceği (Güven ve ark., 2023; Hamza ve ark., 2023) ve biyopolimerin kireç ile birlikte kullanımının hem mukavemetlerin artmasına hem de donma

çözülme sonucunda oluşabilecek olumsuz etkilerin azalmasına katkıda bulunabileceği anlaşılmaktadır.



Şekil 9. İyileştirilen kil zeminlerin 28 günlük, 5 ve 10 çevrim donma çözülme döngüleri sonrasında elde edilen mukavemet sonuçları. (a) kireç uygulanan zemin örnekleri, (b) biyopolimer uygulanan zemin örnekleri, (c) kireçle birlikte biyopolimer uygulanan zemin örnekleri.

4. Sonuçlar ve neriler

Bu çalışmada yüksek plastisiteli kil zeminin iyileştirilmesinde biyopolimer, kireç ve biyopolimer ile birlikte kireç katkılarının iyileştirmeye etkisi araştırılmıştır. Çevresel etkilerin değerlendirilebilmesi amacıyla katkılı numunelere donma özölme döngüleri uygulanmıştır. Elde edilen sonuçlar sodyum aljinat biyopolimerinin hem zemin iyileştirmede hem de iyileştirilen zeminin donma özölme döngüleri sonucunda elde edilen mukavemetlerinde olumlu etkilerinin olabileceğini göstermiştir. Ayrıca kireçle iyileştirilen örneklerde biyopolimer katkısının mukavemet sonuçlarını artırdığı belirlenmiştir. Sodyum aljinat ve kireç birlikte uygulandığında optimum kireç ve biyopolimer oranlarının sırasıyla %6 ve %1 olduğu görülmüştür. Çalışma sonucunda, sodyum aljinat biyopolimerinin kil zeminin donma özölme davranışını iyileştirebileceği ve kirecin iyileştirmedeki etkinliğini artırabileceği sonucuna varılmıştır.

Yazarların Katkısı

Bu alışma Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Dilber TEBER'in Dr. Öğr. Üyesi Harun Akoğuz danışmanlığında yürüttüğü yüksek lisans tez çalışması kapsamında üretilmiştir.

ıkar atışması Beyanı

Yazarlar arasında herhangi bir çıkar atışması bulunmamaktadır.

Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Yapılan çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

Kaynaklar

- Bagherinia, M. (2024). Mechanical, durability, and microstructure of soft clay stabilised with anionic biopolymer. *Construction and Building Materials*, 417, 135343.
- Bozyigit, I., Zingil, H. O., & Altun, S. (2023). Performance of eco-friendly polymers for soil stabilization and their resistance to freeze–thaw action. *Construction and Building Materials*, 379, 131133.
- Bakhshizadeh, A., Khayat, N., & Horpibulsuk, S. (2022). Surface stabilization of clay using sodium alginate. *Case Studies in Construction Materials*, 16, e01006.
- Chang, I., Im, J., Prasadhi, A. K., & Cho, G. C. (2015). Effects of Xanthan gum biopolymer on soil strengthening. *Construction and Building Materials*, 74, 65-72.
- Chen, Z., Liu, J., Wang, Y., Qi, C., Ma, X., Che, W., & Ma, K. (2024). Wetting–drying effects on the mechanical performance of xanthan gum biopolymer-stabilized soil. *Environmental Earth Sciences*, 83(7), 197.

- Cheng, Z., Geng, X., 2023. Investigation of unconfined compressive strength for biopolymer treated clay. *Constr Build Mater* 385, 131458. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2023.131458>
- Fatehi, H., Ong, D. E., Yu, J., & Chang, I. (2024). Sustainable soil treatment: Investigating the efficacy of carrageenan biopolymer on the geotechnical properties of soil. *Construction and Building Materials*, 411, 134627.
- Ghazavi, M., Roustaei, M., 2010. The influence of freeze–thaw cycles on the unconfined compressive strength of fiber-reinforced clay. *Cold Reg Sci Technol* 61, 125–131. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.coldregions.2009.12.005>
- Ghorbani, A., Hasanzadehshooili, H., Mohammadi, M., Sianati, F., Salimi, M., Sadowski, L., Szymanowski, J., 2019. Effect of Selected Nanospheres on the Mechanical Strength of Lime-Stabilized High-Plasticity Clay Soils. *Advances in Civil Engineering* 2019, 4257530. <https://doi.org/10.1155/2019/4257530>
- Günek, Ş., 2024. LİF İLE GÜÇLENDİRİLMİŞ BİYOPOLİMER KATKILI YÜKSEK PLASTİSİTELİ BİR KİLİN DONMA-ÇÖZÜLME ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI (Yüksek Lisans Tezi). Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.
- Güven, B., Günek, Ş., & Kurt Albayrak, Z. N. (2023). KİLİN MUKAVEMETİ VE DONMA-ÇÖZÜLME SONRASI MUKAVEMETİ ÜZERİNDE BİYOPOLİMER VE LİF KATKISININ ORTAK ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 26(4), 951-961.
- Hamza, M., Nie, Z., Aziz, M., Ijaz, N., Akram, O., Fang, C., Ghani, M.U., Ijaz, Z., Noshin, S., Madni, M.F., 2023. Geotechnical behavior of high-plastic clays treated with biopolymer: macro–micro-study. *Environ Earth Sci* 82, 91. <https://doi.org/10.1007/s12665-023-10760-2>
- Jiang, P., Zhou, L., Zhang, W., Wang, W., Li, N., 2022. Unconfined compressive strength and splitting tensile strength of lime soil modified by nano clay and polypropylene fiber. *Crystals (Basel)* 12, 285. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/cryst12020285>
- Keskin, S.N., SUNGUR, A., Recep, A., UZUNDURUKAN, S., 2017. İnce Daneli Zeminlerde Katkı Maddelerinin ve Donma-Çözülme Çevriminin Serbest Basınç Dayanımına Etkisi. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi* 5, 473–478. <https://doi.org/https://doi.org/10.21923/jesd.321924>
- Kurt Albayrak, Z.N., Altun, B., 2021. Strength properties of biopolymer treated clay/marble powder mixtures. *Challenge Journal Of Concrete Research Letters* 12, 131–137. <https://doi.org/https://doi.org/10.20528/cjcr1.2021.04.003>
- Liu, S., Du, K., Wen, K., Armwood-Gordon, C., Li, Y., Navarro, I., & Li, L. (2023). Stabilization of Expansive Clayey Soil Through Hydrogel for Mechanical Improvements. *Int J Civ Eng* 21, 1423–1431 (2023). <https://doi.org/10.1007/s40999-023-00835-3>
- Ok, B., Bağrıaçık, B., 2022. Guar Gum ile İyileştirilen Kil Zeminlerin Donma Çözülme Etkisinde Mukavemet ve Şişme Basınçlarının Araştırılması. *Çukurova Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi* 37, 589–600. <https://doi.org/https://doi.org/10.21605/cukurovaumfd.1189181>
- Onah, H.N., Nwonu, D.C. & Ikeagwuani, C.C. Feasibility of lime and biopolymer treatment for soft clay improvement: a comparative and complementary approach. *Arab J Geosci* 15, 337 (2022). <https://doi.org/10.1007/s12517-022-09552-y>
- Pavithra, P., Srinivasula Reddy, M., Dinakar, P., Hanumantha Rao, B., Satpathy, B.K., Mohanty, A.N., 2016. Effect of the Na₂SiO₃/NaOH ratio and NaOH molarity on the synthesis of fly ash-based geopolymer mortar, in: *Geo-Chicago 2016*. pp. 336–344. <https://doi.org/https://doi.org/10.1061/9780784480151.034>
- Prusinski, J.R., Bhattacharja, S., 1999. Effectiveness of Portland Cement and Lime in Stabilizing Clay Soils. *Transp Res Rec* 1652, 215–227. <https://doi.org/10.3141/1652-28>
- Taşçı, G., 2011. Problemlili Kil Zeminin Geoteknik Özelliklerine Silis Dumanı ve Kireç Katkısının Etkisi (Yüksek Lisans Tezi). *Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği*. Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.
- Tunç, U., Bağrıaçık, B., Aslan, H., Altay, G., et al. (2022). Arabik Gam Katkılı Doğal Kil Zeminin Konsolidasyon Sonuçlarının Değerlendirilmesi. *Çukurova Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 37(3), 731-740. <https://doi.org/10.21605/cukurovaumfd.1190348>.
- Yuliia, B., Viktor, D., Pavlo, T. and Andrii, B. (2023). ANALYSIS OF THE EFFICIENCY OF LIME AND XANTHAN GUM USE IN THE SOFT SOIL FOUNDATION OF TRANSPORTATION STRUCTURES. *Proceedings of I International Scientific and Practical Conference* (pp. 62-66). Chicago, USA.