Zemin Mekaniği ve Geoteknik Mühendisliği
20. Ulusal Konferansı

15-16 Ekim 2026
Sakarya Üniversitesi

ŞEKER PANCARI MELASI KULLANARAK ZAYIF ZEMİNİN PERFORMANSININ İYİLEŞTİRİLMESİ

IMPROVING THE PERFORMANCE OF WEAK SOIL USING SUGAR BEET MOLASSES

Kaan YÜNKÜL[1], Ferit YAKAR[2]

ÖZET

Geleneksel kimyasal katkı maddelerinin üretim maliyetlerinin yüksek olması ve çevreye verdiği olumsuz etkilerden dolayı, son yıllarda zemin stabilizasyonunda alternatif atık malzemeler tercih edilmektedir. Şeker üretimi sonucu ortaya çıkan bir atık malzeme olan şeker pancarı melası; gıda, hayvancılık, sağlık veya akaryakıt gibi çeşitli ticari sektörlerde kullanılmasına rağmen zemin stabilizasyonu ile ilgili çalışmalar oldukça sınırlıdır. Bu atık malzeme ile stabilize edilen zeminin donma-çözünme performansının incelendiği çalışmaya da literatürde rastlanmamıştır. Bu deneysel çalışma kapsamında, donma-çözünme döngüsüne maruz bırakılmamış ve 15 donma-çözünme (DÇ) döngüsüne maruz bırakılmış, %0 ile %14 arasında değişen melas oranları ile stabilize edilmiş yüksek plastisiteli killi zemin numuneleri üzerinde bir dizi serbest basınç dayanımı deneyleri gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar doğrultusunda; melas oranının artmasına bağlı olarak serbest basınç dayanımının %10 melas oranına kadar artış gösterdiği ve bu değerden sonra ise melas oranının artması ile azaldığı görülmüştür. Donma-çözünme döngüsü sonucu stabilize edilmemiş zeminde dayanım yaklaşık olarak %70 oranında azalırken, melas ile stabilizasyon sonucu bu oran %32'lere kadar gerilemiştir. Ayrıca, zeminlerin bu organik malzeme ise stabilizasyonu sonucu numunelerin yüzeyinde mikroorganizma aktivelerinin geliştiği gözlemlenmiştir
Anahtar Kelimeler: *melas, zemin stabilizasyonu, donma-çözünme, çevre dostu atık malzeme*

ABSTRACT

Alternative waste materials have been preferred in soil stabilization in recent years due to the high production costs and negative environmental impacts of conventional chemical additives. Sugar beet molasses, a byproduct of the sugar production process, is utilized in various commercial sectors such as food, livestock, medical, or fuel; however, the studies on its use in soil stabilization are quite limited. No studies investigating the freeze-thaw performance of soil stabilized with this waste material have been found in the literature. In this experimental study, a series of unconfined compressive strength tests were performed on molasses-stabilized high-plasticity clay specimens, ranging from 0% to 14%, that were not subjected to freeze-thaw cycles and were subjected to 15 freeze-thaw (FT) cycles. The results demonstrate that the unconfined compressive strength increases with an increase in the molasses ratio, up to a 10% molasses ratio; beyond this value, the values decrease with an increase in the molasses ratio. The shear strength of the unstabilized sample decreased by approximately 70% after the freeze and thaw, whereas this reduction decreased to below 48% for molasses-stabilized samples. Additionally, microorganism activity development on the surface of samples was observed as a result of stabilization of the soil with this organic material.
Keywords: *molasses, soil stabilization, freeze-thaw, environmentally friendly waste material*

[1] Dr, Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi, kaan.yunkul@gop.edu.tr (Sorumlu yazar)
[2] Doç. Dr, Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi, ferit.yakar@gop.edu.tr

1. GİRİŞ

Soğuk iklim koşulundaki bölgelerde bulunan kaplamalı veya kaplamasız karayolları ve demiryollarının kullanım ömrünü ve performansını belirleyen önemli unsurlardan birisi de taban zeminleri veya dolguların donma-çözünme (DÇ) çevrimleri sonrası mühendislik ve mukavemet parametrelerindeki değişimlerdir. Mevsimsel donmanın yaşandığı bölgelerde, zemindeki sıcaklığın 0°C'nin altına düşmesi sonucu, zemindeki gözeneklerde bulunan serbest su donarak buz kristallerine dönüşerek zeminin hacmini artırır. Zemin sıcaklığının 0°C üstüne çıkması yani çözünmesi durumunda, toprak matrisindeki buz kristalleri erir ve zemin büzülme davranışı sergileyerek zemin matrisinde oturmalar ve partiküller arası bağlarda zayıflamalar meydana getirir. Buz kristallerinin çözünmesi; zemin içerisinde boşluklar yaratarak bazı zemin partiküllerinin dışarı taşınmasına katkı sağlamaktadır (Zaimoğlu, 2010). Ayrıca, çözünme aşamasında kapiler yükselmeden kaynaklı zeminin doygunluk derecesi artış gösterir (Gürbüz, 2016). Tekrarlanan donma-çözünme çevrimleri, zemin matrisinde çatlakların ve ayrışmaların gelişmesine, mevcut gözeneklerin genişlemesine ve partiküller arası bağ kuvvetlerinin zayıflamasına neden olmakta; bunun sonucunda zeminin stabilitesi olumsuz yönde etkilenmektedir. Ek olarak DÇ çevrimleri zeminin sadece dayanımı, boşluk oranı ve su muhtevası üzerinde etkili değildir. Ayrıca, gerilme-birim şekil değiştirme davranışı, kıvam limitleri, sıkışabilirlik parametreleri, şişme basıncı ve esneklik modülü gibi parametreler üzerinde de etkilidir (Bozbey vd., 2018). Bu nedenle, DÇ çevrimine maruz kalan bölgelerdeki ulaşım yapıların imalat, bakım ve onarım maliyetlerinin, çevrime maruz kalmayan bölgelere göre daha yüksektir (Şengül vd., 2013).

DÇ çevrimine karşı zayıf zeminlerin taban zemini veya dolgu malzemesi olarak kullanılması durumunda; taşıma gücü yenilmesi, oturma, farklı oturma ve yanal yayılma gibi geoteknik problemlerin yanı sıra yol üst yapısında yapısal hasarların meydana gelmesi kaçınılmazdır. Bu durumda zayıf zemin kazılıp, yerine özellikleri uygun granüler dolgu malzemesinin mekanik olarak sıkıştırılması gerekmektedir. Fakat bu prosedür, yüksek taş ocağı, kazı ve nakliye maliyetleri ve yoğun iş gücü gereksinim gibi dezavantajlara sahiptir. Bu yüzden, günümüzde çeşitli katkı malzemelerinin mevcut zayıf zemin ile karıştırarak mukavemet ve mühendislik özelliklerinin iyileştirilmesi sıklık ile tercih edilen bir uygulamadır. Son doksan yıldır yapılan arazi ve laboratuvar çalışmaları kireç ve çimento gibi geleneksel kimyasal katkı malzemelerin zemin stabilizasyonunda yüksek performans gösterdiğini raporlamalarına rağmen (Kalkan, 2022); geleneksel katkı maddelerinin üretim süreçleri, doğal kaynakların sürdürülebilir olmayan bir hızla tüketilmesine, yüksek ekonomik maliyetlerin ortaya çıkmasına ve önemli düzeyde karbon emisyonlarının oluşmasına neden olmaktadır. Bu nedenle son yıllarda zemin stabilizasyonunda atık malzemelerin değerlendirilmesine yönelik çalışmalar önem kazanmıştır.

Melas, koyu kahverengi veya siyah renkli, şeker pancarı ya da şeker kamışından üretilen ham veya rafine şekerin kristalleşme süreci sonunda elde edilen yüksek viskoziteye sahip organik bir yan atık üründür. Melas kimyasal bileşeni olarak; sakaroz ($C_{12}H_{22}O_{11}$), fruktoz ve glikoz ($C_6H_{22}O_6$), su, kül, çeşitli mineraller ve eser miktarda protein ve vitaminler içerir. Melasın içerik oranları fabrikanın teknolojisine, bitkinin türüne ve yetiştiği bölgeye göre farklılık göstermektedir. Yaklaşık olarak, işlenen 100 kg şeker kamışı veya şeker pancarı bitkisinden 4-5 kg melas elde edilmektedir (Kartaloğlu ve Delibaş, 2025). Bu malzeme genellikle tarım, gıda, hayvancılık, tıp ve yakıt sektörlerinde biyoyakıtlar, biyoplastikler, ilaçlar, hayvan yemi, etanol, sitrik asit, alkol ve gübre üretiminde kullanılmaktadır. Son on yıldır bu atık malzemesinin çimento, yapı malzemeleri ve asfalt gibi inşaat mühendisliği

alanında katkı malzemesi olarak kullanımı ile ilgili çalışmalar yapılmasına rağmen zemin stabilizasyonunda kullanımı oldukça sınırlıdır. Son yıllarda gerçekleştirilen yaş CBR, serbest basınç dayanımı ve kesme kutusu testleri sonucunda melasının zeminin dayanımı artırdığı görülmüştür. Araştırmacılar (Bhardwaj ve Sharma, 2020, 2022; Karimi vd., 2022; Sharma vd., 2025; Yünkül ve Yakar, 2026) maksimum dayanım performansının kütlenin %8 ile %12 arasında değişen melas oranlarında görüldüğünü raporlamışlardır. Bhardwaj ve Sharma (2020) ve Karimi vd. (2022), Atterberg limitlerinin artan melas oranı ile azalan bir eğilim sergilediğini ve viskoz melas malzemesinin katyon değişimi ve bağlayıcı özellikleri sayesinde, daha düşük optimum su muhtevası değerlerinde daha yüksek maksimum kuru birim hacim ağırlık değerlerinin elde edilebildiğini gözlemlemiştir. Jimenez vd. (2022) zamana bağlı olarak serbest basınç numunelerinde mikroorganizma faaliyetlerinin oluştuğunu raporlamıştır. Sharma vd. (2025), melas ile mermer tozu atık malzemesinin birlikte kullanıldığı kombinasyonu incelemiştir. Melasın mermer tozunun stabilizasyon performansına katkı sağladığını gözlemlemiştir. Yapılan kapsamlı literatür çalışması sonucu melas ile stabilize edilmiş zeminlerin DÇ çevrimleri sonrası davranışını inceleyen bir araştırmaya rastlanmamıştır. Ayrıca literatürdeki deneysel çalışmaların çoğunluğu şeker kamışı melasını tercih etmiştir.

Yapılan çalışma kapsamında şeker üretiminin atık ürünü olan şeker pancarı melasının stabilizasyon malzemesi olarak kullanılabilirliği deneysel olarak araştırılmıştır. Bu kapsamda toplam kuru kütlenin %0, %4, %6, %8, %10, %12 ve %14 oranlarında melas ile stabilize edilmiş karışımlar oluşturulmuştur. 7 gün kür süresine tabi tutulan bu numunelerin 0 ve 15 DÇ çevrimi sonrası performansının incelenmesi amacı bir dizi serbest basınç dayanımı deneyi gerçekleştirilmiştir.

2. MALZEME ÖZELLİKLERİ VE NUMULERİN HAZIRLANMASI

Bu çalışmada kullanılan zemin, Türkiye'de Tokat Valiliği Yeni Hizmet Binası İnşaatı'nın temel kazı alanından, yer yüzeyinden 1-1.5 metre derinlikten, örselenmiş şekilde alınmış ve laboratuvar ortamında 105°C etüve kurutulup öğütülmüştür. Gerçekleştirilen laboratuvar deneyleri sonucu likit limit (LL), plastik limit (PL) ve özgül ağırlık (G_s) değerleri sırası ile %60, %27 ve 2.82 olarak elde edilmiştir. Zemin sınıfının Birleşik Zemin Sınıflandırma Sistemi'ne (USCS) göre yüksek plastisiteli kil (CH) olduğu görülmüştür. Stabilizasyon malzemesi olarak kullanılan şeker pancarının atık malzemesi olan melasın özellikleri üretici firmadan temin edilmiştir. Koyu kahverengi renkte olan bu malzemenin %49.74'u sakaroz, %25.6'su su, %12'si kül, %5.31'i kalsiyum, %2.93'ü potasyum, %0.5 sodyum ve %0.34'ü invert şekerdir. Ayrıca eser miktarda protein ve vitaminde melasın içeriğinde bulunmaktadır.

Serbest basınç numunelerinin hazırlanması amacıyla; iç çapı 50 mm ve yüksekliği 100 mm olan iki parçadan oluşan silindirik kalıp ve kalıp içerisine yerleştirilen malzemenin sıkıştırılmasını sağlayan farklı yükseklikte 3 adet 49.7 mm çapında çelik tokmak kullanılmıştır (Şekil 1). Standart Proctor testinden elde edilen maksimum kuru birim hacim ağırlık (γ_{dry}) değerine karşılık gelen toplam kuru zemin ve %0 ile %14 oranında değişen melas mekanik bir karıştırıcı ile 120 s karıştırılarak homojen bir karışım elde edilmiştir. Ardından toplam karışıma Standart Proctor testlerinde elde edilen optimum su muhtevasını (w_{opt}) karşılayan damıtılmış su eklenerek; karıştırıcıda 360 s karıştırılmıştır. Hazırlanan karışım kalıbın 3 eşit tabaka halinde yerleştirilmiştir. Her bir tabakaya Standart Proctor testinden elde edilen birim hacim ağırlığı sağlayacak miktarda karışım malzemeleri doldurulmuş ve tokmaklar yardımı ile mekanik olarak sıkıştırılmıştır. Bu işlemden sonra,

numuneler mekanik kriko yardımı ile kalıptan çıkarılarak streç filme sarılarak kapalı kilitli bir poşete konulup 7 gün kür süresi boyunca kapalı bir kalıpta muhafaza edilmiştir. Bu sayede, hazırlanan numunelerdeki su muhtevası kayıpları minimize edilmiştir.



Şekil 1. Özel olarak imal edilen serbest basınç numune hazırlama kalıbı ve tokmakları

3. DONMA-ÇÖZÜNME SÜRECİ VE SERBEST BASINÇ DAYANIMI TESTİ

7 gün kür süresinin ardından DÇ çevrimine maruz bırakılacak olan numuneler donma-çözünme kabinine yerleştirilmiştir. Yapılan çalışmada bir DÇ çevrimi; numunenin donma çözünme kabininde -20°C sıcaklığa düşürülüp burada 12 saat bekledikten sonra + 20°C dereceye çıkarılıp bu sıcaklıkta da 12 saat bekletilmesinden oluşmaktadır (KTŞ, 2023). Bu işlem, 15 çevrim sayısına ulaşılana kadar tekrarlanmıştır. Donma-çözünme çevrimleri tamamlandıktan sonra numuneler streç filmlerden çıkarılmış ve tel bir fırça yardımı ile temizlenmiştir.

Kür süreleri ve uygulanan donma-çözünme çevrimleri tamamlandıktan sonra numuneler streç filmlerden çıkarılarak, ASTM standardına uygun dakikada 1 mm deplasman gerçekleştirecek bir biçimde serbest basınç dayanımı deneyine tabi tutulmuştur. Deney sistemi 1 adet 5kN kapasiteye sahip yük hücresi, 25 mm strok kapasitesi sahip deplasman ölçer ve veri toplayıcıdan meydana gelmektedir. Deney sonu numunelerin gerilme-birim şekil değiştirme eğrileri dijital olarak elde edilmiş ve bu eğrileri kullanarak serbest basınç dayanımları belirlenmiştir.

4. DENEY PROGRAMI

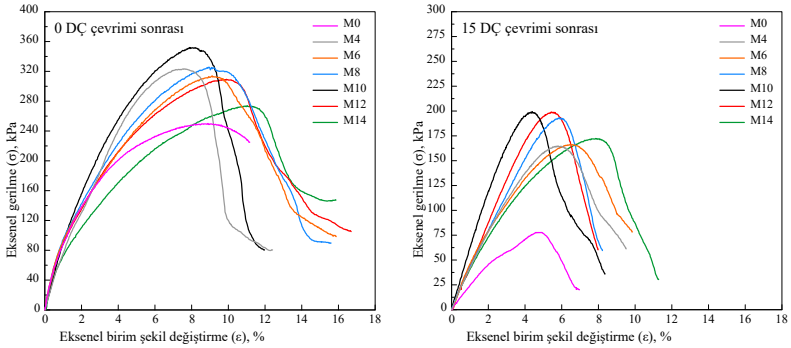
7 gün kür süresi sonrası 0 ve 15 DÇ çevrimine maruz kalan stabilize edilmemiş ve melas ile stabilize edilmiş serbest basınç numunelerin deney programı Tablo 1'da sunulmuştur.

Tablo 1. Deney programı

Test Adı	Melas oran (%)	Kuru zemin oranı (%)	DÇ çevrim sayısı
M0	0	100	0, 15
M4	4	96	0, 15
M6	6	94	0, 15
M8	8	92	0, 15
M10	10	90	0, 15
M12	12	88	0, 15
M14	14	86	0, 15

5. BULGULAR VE TARTIŞMA

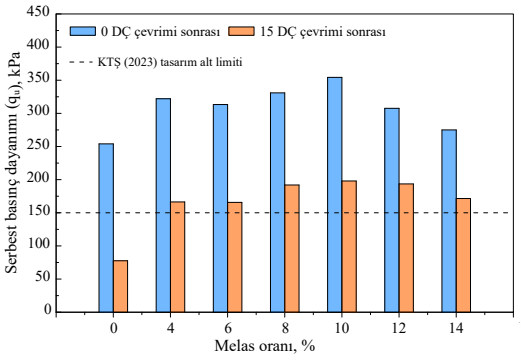
7 gün kür süresi sonrası 0 ve 15 DÇ çevrimine maruz kalan stabilize edilmemiş ve %4 ile %14 arasında melas oranları ile stabilize edilmiş serbest basınç numunelerinin gerilme-birim şekil değiştirme eğrileri Şekil 2'de sunulmuştur. Şekil 2'de görüldüğü gibi 15 DÇ çevrimi sonrasında gerilme-birim şekil değiştirme eğrilerinin rijitlikleri, serbest basınç dayanımları ve yenilmenin görüldüğü birim şekil değiştirme değerleri ani düşümler yaşamıştır. Ayrıca, DÇ çevrimi sonrası gerilme-birim şekil değiştirme eğrilerinin yarı elastik bölgelerinin sınırları artış gösterirken, plastik bölgenin sınırları oldukça daralmıştır. Ek olarak, 15 DÇ çevrimine maruz kalan numunelerde DÇ çevrimine maruz kalmayan numunelerden farklı olarak; serbest basınç dayanımına (pik gerilme) ulaşıldıktan sonra ani, keskin ve doğrusal karaktere yakın bir yumuşama davranışı gözlemlenmiştir.



Şekil 2. Deneysel çalışmadan elde edilen gerilme-birim şekil değiştirme eğrileri: (a) 0 DÇ çevrimi sonrası, (b) 15 DÇ çevrimi sonrası

0 ve 15 DÇ çevrimi sonrası stabilize edilmemiş ve melas ile stabilize edilen numunelerin serbest basınç dayanımı (q_u) değerleri Şekil 3'te verilmiştir. Melas ile stabilizasyon sonucu stabilize edilmemiş zemin ile kıyasla dayanım 1.08 ile 2.55 kat aralığında artış göstermiştir. Hem DÇ çevrimine maruz kalmayan hem de 15 donma-çözünme çevrimine maruz kalan deneylerde melas oranı %0'dan %10'kadar numunelerin serbest basınç dayanımları artış eğiliminde iken, bu kritik optimum değerden sonra ise dayanım melas oranının artması ile düşmektedir. Ayrıca Şekil 2'de görüleceği gibi, melas oranın optimum değere yaklaşması ile gerilme-birim şekil değiştirme eğrileri daha gevrek bir davranış göstermişlerdir. Literatürde çeşitli araştırmacılar (Bhardwaj ve Sharma 2020; Sharma vd., 2025) da şeker kamışı melası ile stabilize edilmiş zeminlerde yapmış oldukları serbest basınç dayanımı testlerinde benzer optimum melas oranı değerlerini raporlamışlardır. Melas ile stabilizasyonda dayanım artışımın nedeni; melas malzemesinin zemin partiküllerinin kaplayarak organik bir jel benzeri yapı oluşturarak kil partiküller arasında bağlayıcı olarak davranmasından kaynaklanmaktadır (Sharma vd., 2025). Ayrıca zeminin melas ile stabilizasyonu sonucu melas zemin matrisindeki gözenekleri doldurarak daha homojen bir yapı oluşmasına katkıda bulunur. Melas ile kil mineralleri arasındaki etkileşim sonucunda meydana gelen katyon değişimi ve adsorpsiyon süreçleri, zemin partiküllerinin floküle (topaklanmış) bir yapı kazanmasını ve difüz çift tabaka (DDL) kalınlığının azalmasını sağlamaktadır. Bu durum, zemin yapısının daha yoğun ve kompakt hale gelmesine, boşluk oranının azalmasına ve sonuç olarak dayanım özelliklerinin iyileşmesine katkıda bulunmaktadır (Yünkül ve Yakar, 2026). Bununla birlikte, optimum melas içeriğinin aşılması durumunda, melasın yağlayıcı etkisi nedeniyle kil partikülleri arasındaki sürtünme

kuvvetleri azalabilmektedir. Bunun sonucunda, floküle yapıdaki zemin partikülleri arasındaki boşluk oranı artmakta ve zeminin iç yapısındaki bağ kuvvetlerinin zayıflamasıyla birlikte dayanım ve rijitlik değerlerinde düşüş meydana gelmektedir (Karimi vd., 2022).



Şekil 3. Deneysel çalışmadan elde edilen serbest basınç dayanımları

Şekil 3'de görüldüğü gibi stabilize edilmeyen numuneler (M0), dayanımlarının %69.6'sını 15 DÇ çözünme çevrimi sonrasında kaybetmişlerdir. 15 DÇ çevrimi sonucu stabilize edilmemiş ve edilmiş numunelerde oluşan dayanım kayıpları Tablo 2'de verilmiştir. 15 DÇ çevrimi sonrası, stabilize edilmemiş numunelerin dayanım değerlerinin, KTŞ (2023)'te don etkisine maruz kalan bölgelerde kullanılacak kireçle stabilize edilmiş taban zeminleri için önerilen minimum 150 kPa serbest basınç dayanımı değerinin altında kaldığı gözlemlenmiştir. Bu durum, stabilize edilmeyen zeminlerin soğuk bölgelerde yol taban zemini olarak kullanılmasının uygun olmadığını göstermektedir. Fakat melas ile stabilize edilmiş zeminlerin serbest basınç dayanımı, KTŞ (2023) tarafından önerilen minimum tasarım değerinden yüksektir. Bu durumun nedeni; katyon değişim ve absorpsiyondan kaynaklı difüze çift tabaka kalınlığının azalması (DDL), buna bağlı olarak zemin partiküllerin floküle olarak zemin matrisindeki boşluk oranlarının azaltarak kompakt bir yapı halini almasından kaynaklanmaktadır. Bu özellikler, buz merceği oluşumunun ve çatlak yayılımının gelişimini kısıtlayarak; zeminin yapısal bütünlüğündeki bozulma miktarını azaltır. Ayrıca, şeker pancarı melasının zemin partiküllerini birbirine bağlayan bir köprü görevi görmesi; suyun kapiler yükselmesini ve numunelerin hacimsel genişlemesini sınırlandırması, ani dayanım düşümlerinin önüne geçmektedir.

Tablo 2. 15 DÇ çevrimi sonrası numunelerdeki dayanım kayıpları

Melas oranı (%)	Dayanım kaybı (%)
0	69.6
4	48.3
6	47.1
8	42.0
10	61.3
12	37.1
14	37.6

6. SONUÇLAR

Yapılan çalışma kapsamında, soğuk iklim koşullarının olduğu bölgelerde şeker pancarının atık yan ürünü olan melasın zayıf yol taban zemini veya dolgularda stabilizasyon malzemesi olarak kullanılabilirliği araştırılmıştır. Bu amaçla; %0 ile %14 arasında değişen melas oranları ile stabilize edilmiş yüksek plastisiteli killi zemin numuneleri üzerinde bir dizi serbest basınç dayanımı deneyleri gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir.

- Melas ise stabilizasyon sonucu zeminin serbest basınç dayanımları 1.08 ile 2.55 arasında artış göstermiştir. Dayanım artışının neden; melasta bulunan çift değerlikli katyonların kil zemindeki tek değerlikli katyonlar ile yer değiştirmesi ve absorpsiyon sonucu, zemin partikülleri floküle olması ve DDL kalınlığının azalmasından kaynaklanmaktadır. Ayrıca melasın viskoz ve adeziv özelliğinden kaynaklı olarak; zemin matrisindeki boşlukları doldurması ve partiküller arası bağlayıcı görevi görmesi de dayanımı artırmaktadır.

- Hem DÇ çevrimine maruz kalmamış hem de 15 DÇ çevrimine maruz kalmış numunelerde dayanım, gerilme birim şekil değiştirme eğrisinin rijitliği ve yenilmenin görüldüğü birim şekil değiştirme değeri %0 ‘dan %10 melas oranına kadar artış gösterirken, bu optimum değerden sonra melas oranın artışına bağlı olarak azalım trendindedir. Optimum melas oranından daha yüksek melas oranlarında melas, zemin partikülleri arasında yağlayıcı etki yaparak partiküller arası sürtünme kuvvetini azaltarak zemin matrisinin homojen ve kompakt zemin yapısını bozmaktadır.

- 15 DÇ çevrimi sonrası stabilize edilmemiş zemini dayanımı yaklaşık %69 oranında düşerek KTŞ (2023) tarafından soğuk iklim koşullarında bölgeler için önerilen minimum 150 kPa’nın altına düşer. Bu karşılık stabilize edilen zemin örneklerinin donma-çözünme çevrimleri sonucunda serbest basınç dayanımları 166.38 ile 197.99 kPa arasında değişim göstermektedir.

TEŞEKKÜR

Yapılan bu çalışma, Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK) tarafından desteklenen “Şeker Pancarı ile Stabilize Edilen Zayıf Yol Taban Zeminlerinin Mukavemet ve Şişme Performansının İncelenmesi” isimli 125M120 numaralı proje kapsamında gerçekleştirilmiştir. Yazarlar destekleri için TÜBİTAK’a teşekkürlerini sunarlar.

KAYNAKLAR

Bhardwaj, A. ve Sharma, R.K. (2020), “Effect of Industrial Wastes and Lime on Strength Characteristics of Clayey Soil”, Journal of Engineering, Design and Technology, Vol 18(6), 1749-1772.

Bhardwaj, A. ve Sharma, R.K. (2022), “Designing Thickness of Subgrade for Flexible Pavements Incorporating Waste Foundry Sand, Molasses, and Lime”, Innovative Infrastructure Solutions, Vol 7(1), 132.

Bozbey, I., Keleşoglu, M. K., Demir, B., Komut, M., Çömez, S., Öztürk, T., Mert, A., Öcal, K. ve Öztoprak, S. (2018), "Effects of Soil Pulverization Level on Resilient Modulus and Freeze and Thaw Resistance of a Lime Stabilized Clay", Cold Regions Science and Technology, Vol 151, 323-334.

Gürbüz, A. (2015), "Marble Powder to Stabilise Clayey Soils in Sub-Bases for Road Construction", Road Materials and Pavement Design, Vol 16(2), 481-492.

Jimenez, J.E., Fontes Vieira, C.M. ve Colorado, H.A. (2022), "Composite Soil Made of Rubber Fibers from Waste Tires, Blended Sugar Cane Molasses, and Kaolin Clay", Sustainability, Vol 14(4), 2239.

Kalkan H. (2022), "Makro lif takviyeli zeminsel betonun fiziksel ve mekanik özelliklerinin belirlenmesi", Doktora Tezi, KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü.

Karimi, S., Lashkar-Ara, B. ve Najafi, L. (2022), "Influence of Sugarcane Molasses Addition on The Shear Strength Properties of Slightly Plastic Loamy Soils", Arabian Journal of Geosciences, Vol 15(9), 903.

Kartaloğlu, N. ve Delibaş, A. (2025), "Utilization of Molasses as a Renewable Resource: Development of Hybrid Acrylic Latexes for Sustainable Building Materials", Journal of Coatings Technology and Research, Vol 22, 1713-1724.

KTŞ, 2023, Karayolları Teknik Şartnamesi, T.C. Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı, Ankara, Türkiye.

Sharma, A., Kour, J., Senagah, A., Tiwary, A. K., Singh, K., Juneja, G., Verma, K., Gupta, R. ve Kumar, N. (2025), "Eco-Friendly Stabilization of High Plasticity Soils Using Marble Industry Waste and Molasses", Discover Materials, Vol 5(1), 222.

Şengül, T., Akray, N. ve Vitoşoğlu, Y. (2023). "Investigating the Effects of Stabilization Carried Out Using Fly Ash and Polypropylene Fiber on the Properties of Highway Clay Soils", Construction and Building Materials, Vol 400, 132590.

Yünkül, K., Yakar, F. (2026), "Investigation of the Soaked CBR and CBR Swelling Performance of Sugar Beet Molasses-Stabilized Subgrade Soils", 7th International Thales Congress on Life, Engineering, Architecture and Mathematics Congress, Kahire, 203-214.

Zaimoğlu, A.S. (2010), "Freezing–Thawing Behavior of Fine-Grained Soils Reinforced with Polypropylene Fibers", Cold Regions Science and Technology, Vol 60(1), 63-65, 2010.

SEMBOL LİSTESİ

Bildiride kullanılan semboller iki sütunlu tablo halinde 10 punto kullanılarak listelenmelidir.

Sembol	**Açıklama**	**Sembol**	**Açıklama**
CBR	Kaliforniya Taşıma Oranı	**s**	Saniye
DÇ	Donma-çözünme	**q_u**	Serbest basınç dayanımı
G_s	Özgül ağırlık	**USCS**	Birleşik Zemin Sınıflandırma Sistemi
LL	Likit limit	**w_{opt}**	Optimum su muhtevası
PL	Plastic limit	**γ_{dry}**	Maksimum kuru birim hacim ağırlık