

DERİN KARIŞTIRMA YÖNTEMİ İLE ORGANİK ZEMİNİN İYİLEŞTİRİLMESİ: LABORATUVAR ÇALIŞMASI

IMPROVEMENT OF AN ORGANIC SOIL USING DEEP MIXING METHOD: LABORATORY STUDY

Fatma Tuğçe ÇINAR ÖZKAN¹, İlknur BOZBEY²

ÖZET

Derin karıştırma yöntemi (DSM), doğal zeminin bağlayıcı malzemeler ile karıştırılarak zeminin yerinde iyileştirilmesi işlemidir. İyileştirme seviyesi, zemin ve bağlayıcı özelliklerinin yanı sıra su-çimento oranına da bağlıdır. Organik içerik ise derin karıştırma iyileştirmesinden elde edilen faydayı azaltan önemli bir faktördür. Organik zeminlerin iyileştirilmesi zordur ve derin karıştırma projelerinde önemli sorunlar yaratabilmektedir. Bu çalışma kapsamında, bir turba zemin ile laboratuvar çalışmaları yapılmıştır. Araziden alınan organik zemin ile laboratuvarında derin karışım numuneleri hazırlanmıştır. Numune hazırlama yöntemi olarak Japon Geoteknik Topluluğu (Japanese Geotechnical Society, JGS) standartları kullanılmıştır. Bağlayıcı olarak farklı çimento türleri ve farklı su-çimento oranları kullanılarak derin karışım numuneleri hazırlanmıştır. Kullanılan çimento türleri CEM I, CEM II ve CEM III sınıfıdır. Farklı kür süreleri sonrasında bu numuneler üzerinde serbest basınç mukavemet deneyleri yapılmıştır. Deneyler sonucunda numunelerin serbest basınç mukavemetleri ve gerilme-şekil değiştirme eğrilerinden sekant elastisite modülleri, E_{50} belirlenmiştir ve karşılaştırılmıştır. Çimento türünün ve dozajının, su-çimento oranının ve kür gününün mukavemet ve modül üzerindeki etkisi değerlendirilmiştir. Derin karıştırma kolonları için önemli girdi parametreleri olan mukavemet ve modül değerleri arasında korelasyonlar elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Derin karıştırma yöntemi, organik zemin, su-çimento oranı, elastisite modülü, serbest basınç mukavemeti

ABSTRACT

Deep mixing method (DMM) is an in-situ improvement where natural soils are mixed with binder materials so that the properties of soils can be improved. The level of improvement depends on soil and binder properties as well as water to cement ratio. The organic content, on the other hand, is an important factor that reduces the benefit from deep

¹ Arş. Gör., İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa, fatmatugce.cinar@iuc.edu.tr (Sorumlu yazar)

² Prof. Dr., İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa, ibozbey@iuc.edu.tr

mixing improvement. The improvement for organic soils is challenging and may pose significant problems in deep mixing projects. Within the scope of this study, a peat soil subjected to laboratory testing. Samples were prepared in the laboratory with the organic soil taken from the field. The Japanese Geotechnical Society (JGS) standards were used as the sample preparation method. Deep mixing samples were prepared by using different cement types as binders and different water-cement ratios. The cement types used were CEM I, CEM II, CEM III class. Uniaxial compression tests were carried out on these samples different curing periods. As a result of these experiments, unconfined compressive strengths of the samples were determined. The stress-strain curves were evaluated and compared and the modulus of elasticity, E_{50} values were determined. The effects of cement type and cement dosage, water to cement ratio and curing on strength and modulus values were evaluated. Strength versus modulus correlations were obtained, which are important input parameters for deep mixing columns.

Keywords: *Deep mixing method, organic soil, water-cement ratio, modulus of elasticity, unconfined compressive strength*

1. GİRİŞ

Derin karıştırma yöntemi (DMM), doğal zeminin bağlayıcı malzemeler ile karıştırılarak zeminin yerinde iyileştirilmesi işlemidir. Derin karıştırma ile iyileştirilen zeminlerin özellikleri, doğal zeminin ve bağlayıcıların özelliklerine, yükleme durumuna ve kür süresine bağlıdır (Bruce ve diğ., 2013). İyileştirme seviyesini etkileyen önemli bir faktör de su-çimento oranıdır. Organik içerik ise derin karıştırma iyileştirmesinden elde edilen faydayı azaltan önemli bir faktördür. Derin karıştırma yönteminin organik zeminlerde iyileştirmesi zordur ve derin karıştırma projelerinde önemli sorunlar yaratabilmektedir.

Derin karıştırma yönteminde kullanılan bağlayıcılar genellikle çimento ve kireçtir. Bunların yanı sıra uçucu kül, öğütülmüş granüle yüksek fırın cürufu vb. gibi bağlayıcılar da kullanılmaktadır. Bağlayıcıların ana işlevi, daha yüksek kayma dayanımı ve direnci ile karakterize edilen ve zeminin deformasyon özelliklerini iyileştiren yeni malzemelerin oluşumuna neden olan kimyasal reaksiyonlar meydana getirmektir. Zemini karıştırma etkinliği birçok faktöre bağlıdır, ancak sonuçları en çok etkileyen şey, bağlayıcıların miktarıdır. Çimento reaktivitesini etkileyen en önemli faktörlerden biri de su-çimento oranıdır (w/c, burada w karışım suyunun ağırlığı ve c çimento ağırlığıdır). Yüksek su-çimento oranı, yüksek su içeriği, dolayısıyla yüksek porozite ve düşük mukavemeti ifade etmektedir (Ghirardini, 2016).

Organik zeminin çimento ile stabilizasyonu etkinlik bakımından ciddi riskler getirir. Organik zeminlerin iyileştirilmesi, doğal değişkenlikleri ve hümik asitlerin stabilizasyonu takiben mukavemet artışı için gerekli olan hidrasyon süreçlerini ve ilgili reaksiyonları engelleme eğilimi göz önüne alındığında, inorganik zeminlerden daha zordur (Axelsson ve diğ, 2002). Turba zeminler düşük dayanımları, yüksek sıkışabilirlikleri ve yüksek nem ve organik içerikleri açısından sorunludur.

Bu çalışma kapsamında, derin karıştırma iyileştirme projesinde karşılaşılan bir turba zemin ile laboratuvar çalışmaları yapılmıştır. Araziden alınan organik zemin ile laboratuvar da derin

karışım numuneleri hazırlanmıştır. Numune hazırlama yöntemi olarak Japon Geoteknik Topluluğu (Japanese Geotechnical Society, JGS) standartları kullanılmıştır. Bağlayıcı olarak farklı çimento türleri ve farklı su-çimento oranları kullanılarak derin karışım numuneleri hazırlanmıştır. Kullanılan çimento türleri CEM I, CEM II ve CEM III sınıfıdır. 7, 14, 28 ve 120 günlük kür süreleri sonrasında bu numuneler üzerinde serbest basınç mukavemet deneyleri yapılmıştır. Deneyler sonucunda numunelerin serbest basınç mukavemetleri ve gerilme-şekil değiştirme eğrilerinden sekant elastisite modülleri, E_{50} belirlenmiştir ve karşılaştırılmıştır. Çimento türünün ve dozajının, su-çimento oranının ve kür gününün mukavemet ve modül üzerindeki etkisi değerlendirilmiştir. Derin karıştırma kolonları için önemli girdi parametreleri olan mukavemet ve modül değerleri arasında korelasyonlar elde edilmiştir.

2. LABORATUVAR ÇALIŞMALARI

Araziden yüksek organik madde ve su muhtevası içeriğine sahip olan turba zemin laboratuvara getirilmiştir (Şekil 1). Turba zeminin birim hacim ağırlığı, γ_n , 11.4 kN/m^3 , doğal su muhtevası ise %250 civarındadır. Zemin, yüksek dereceli etüvde, 700°C 'de altı saat boyunca yakılmıştır. Deney sonucunda zeminin organik içeriği %40 olarak bulunmuştur. Laboratuvarda bu zemin ile farklı çimento türleri ve su-çimento oranları kullanılarak derin karışım numuneleri hazırlanmıştır.



Şekil 1. Araziden alınan turba zemin

2.1. Numune Hazırlama Yöntemi

Numune hazırlama prosedürünün belirlenmesi için farklı şartnameler ve standartlar incelenmiş ve numune hazırlama yöntemleri karşılaştırılmıştır. Genel olarak tüm şartnamelerde ve standartlarda bağlayıcı tipleri, karıştırıcılar ve kalıplama zamanlarında benzerlik görülmekte, ancak kalıp boyutları, karıştırma süreleri ve kalıplama yöntemleri farklılık göstermektedir. Bu yöntemler değerlendirilmiş ve numune hazırlama yöntemi Japon Geoteknik Topluluğu (Japanese Geotechnical Society (JGS), 2000) standartlarına göre yapılmıştır. Bu standarda göre zemin dane boyutu 9.5 mm 'den küçük, kalıp boyutu ise $5 \text{ cm} \times 10 \text{ cm}$ veya L/D oranı 2-2.5 arasında olmalıdır. Zemine bağlayıcı ekledikten sonra yeterince homojenleştirilmeli ve karıştırıcı makine ile karıştırılmalıdır. Zemin üç tabaka halinde kalıba yerleştirilmeli ve hava kabarcıkları yere doğru hafifçe vurarak, tokmaklayarak, sarsarak vb.

her tabakadan uzaklaştırılmalıdır. Kalıplama işlemi olabildiğince çabuk olmalı ve kalıplama sonrasında numune küre bırakılmalıdır.

Turba zemin ile numune hazırlarken, zeminin organik içeriği ve su muhtevası çok fazla olduğundan, ayrıca lifli malzeme içerdiğinden dolayı numune etüvde kurutulmamıştır. Zemin laboratuvarında açık havada kurutulmuştur. Türkiye’de şu anda mevcut DSM uygulamalarında sadece çimento kullanıldığı için, katkı maddesi olarak sadece çimento kullanılmıştır. Bu çalışma kapsamında kullanılan çimentolar CEM I 42.5 sınıfı Portland çimentosu, CEM II ve CEM III sınıfı çimentolardır. EXCEL ortamında bir hesaplama yapılarak, farklı su/çimento oranları, zemin birim hacim ağırlık sonuçları kullanılarak kullanılması gereken zemin, çimento ve su miktarı hesaplanmıştır. Numuneler hazırlarken, ilk olarak karıştırıcı makine ile belirlenen çimento ve su miktarı karıştırılarak sulu harç oluşturulmuştur. Daha sonra bu harç zemine eklenerek karıştırma makinesi ile 2 dk boyunca karıştırılmıştır. Turba zeminin karıştırma süresine Puppala ve diğ. (2008) tarafından hazırlanan teknik rapor incelenerek karar verilmiştir. Karışım malzemesi kalıplara 3 tabaka halinde yerleştirilmiş ve şişlenerek kalıplanmıştır. Daha sonra numuneler hava almayacak şekilde kaplanmış ve küre bırakılmıştır. Literatürde de belirtildiği gibi numune hazırlama ve kalıplama işlemleri 30 dakikayı aşmamıştır.

2.2. CEM I Sınıfı Çimento Kullanılarak Hazırlanan Numuneler

Turba zemin ile katkı maddesi olarak CEM I 42.5 Portland çimentosu kullanılarak farklı dozaj ve su-çimento oranları ile derin karışım numuneleri hazırlanmıştır. Hazırlanan numuneler aşağıda verilmektedir:

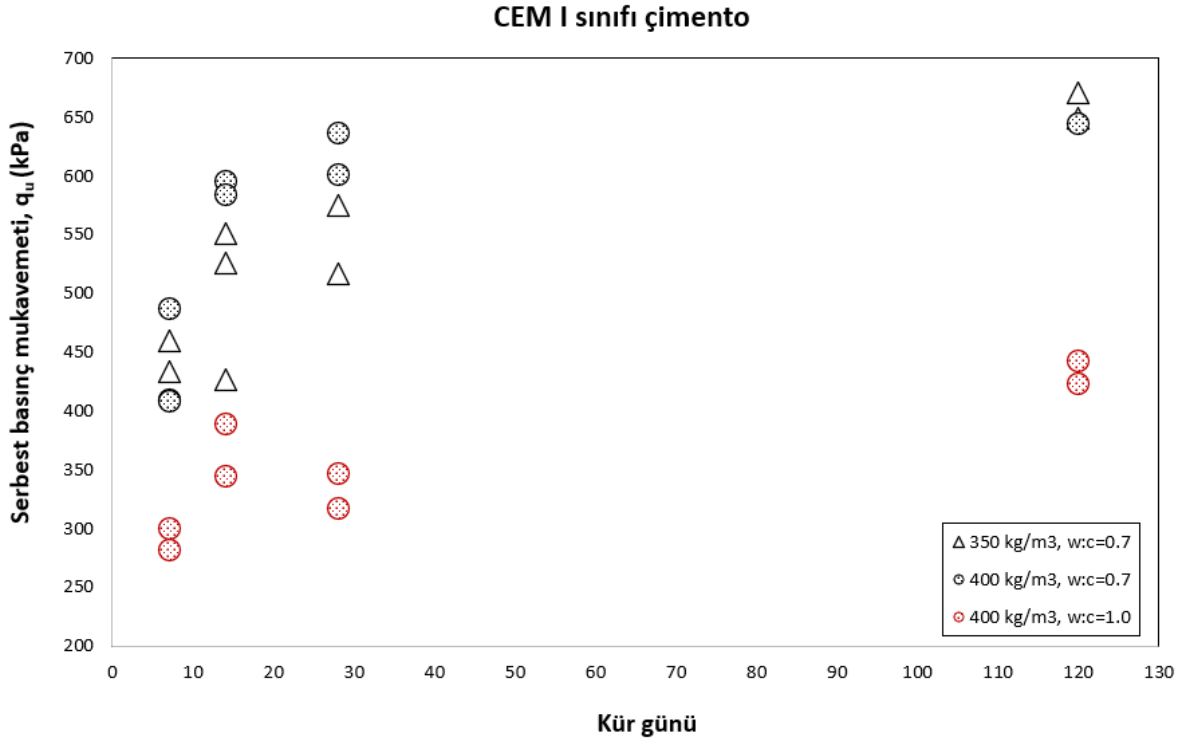
- 350 kg/m³ çimento dozajı ve su-çimento oranı, w:c = 0.7
- 400 kg/m³ çimento dozajı ve su-çimento oranı, w:c = 0.7
- 400 kg/m³ çimento dozajı ve su-çimento oranı, w:c = 1.0

Hazırlanan numuneler üzerinde farklı kür günlerinde tek eksenli basınç deneyleri yapılmıştır. Deneyler sonucunda numunelerin serbest basınç mukavemetleri bulunmuş, gerilme-şekil değiştirme eğrileri elde edilmiş ve elastisite modülü, E₅₀ değerleri hesaplanmıştır.

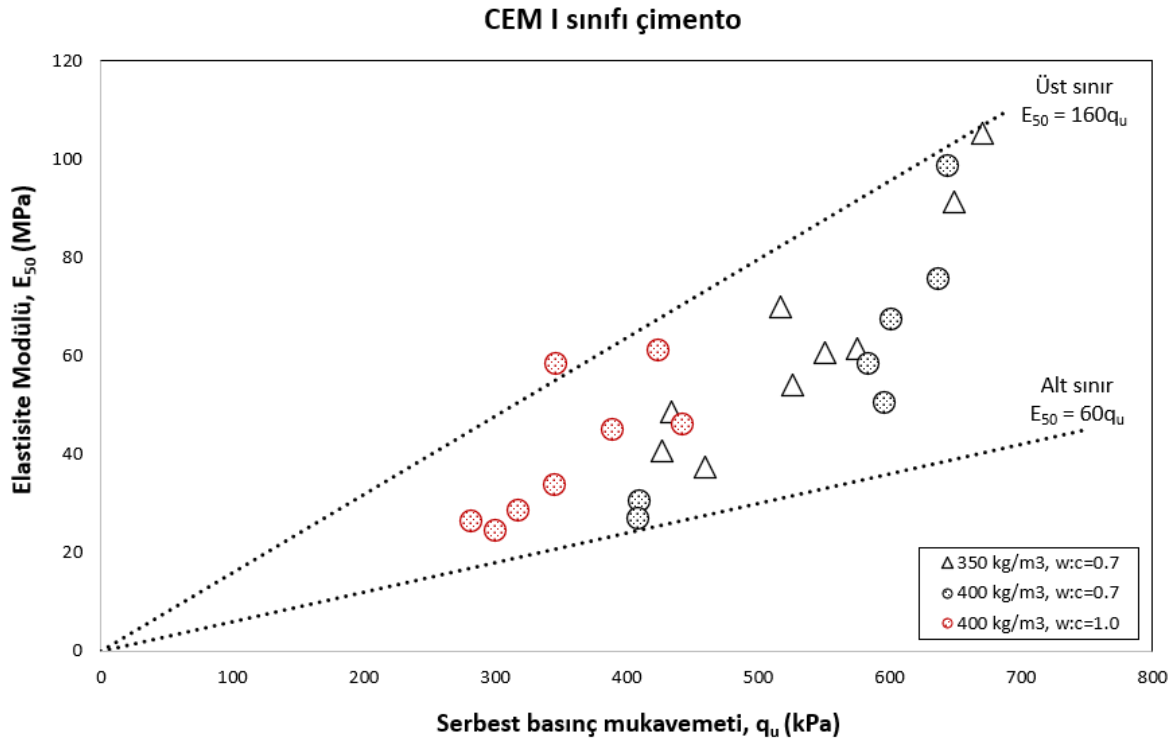
Şekil 2’de bu numunelerin serbest basınç mukavemetlerinin kür gününe bağlı değişimleri verilmektedir. Şekilde görüldüğü üzere bu zemin için aynı su-çimento oranında, farklı çimento dozajlarının mukavemet artışı üzerinde büyük bir etkisi olamamıştır. Mukavemet değerleri 700 kN/m² değerinin altında kalmıştır. Ancak aynı çimento dozajına sahip olan numunelerin su-çimento oranı (w:c) azaldıkça mukavemetlerinde artış olduğu görülmüştür. Bu durum literatür ile uyumludur. Deney sonuçlarından elde edilen sekant elastisite modülü, E₅₀ ile serbest basınç mukavemeti, q_u arasındaki ilişki değerlendirilerek alt ve üst sınırlar verilmiştir.

Şekil 3’te elastisite modüllerinin serbest basınç mukavemetine bağlı değişimi verilmektedir. Bu tür korelasyonlara derin karıştırma kolonlarının tasarımında ihtiyaç duyulmaktadır. Bu grup numune ile yapılan deney sonuçlarına göre E₅₀ değerlerinin, q_u değerinin 60 ile 160 katı arasında değişiklik gösterdiği görülmektedir. Şekil 3’te görüldüğü üzere su-çimento

oranı ($w:c$) azaldıkça modül değerlerinde de azalma olmaktadır. Daha büyük ($w:c$) değerlerinde modül değerleri 50-60 Mpa seviyesinde kalmaktadır.



Şekil 2. Serbest basınç mukavemetinin kür süresine bağlı değişimi
(CEM I, 350 kg/m³ - 400 kg/m³ çimento dozajı ve su-çimento oranı, $w:c=0.7 - 1.0$)



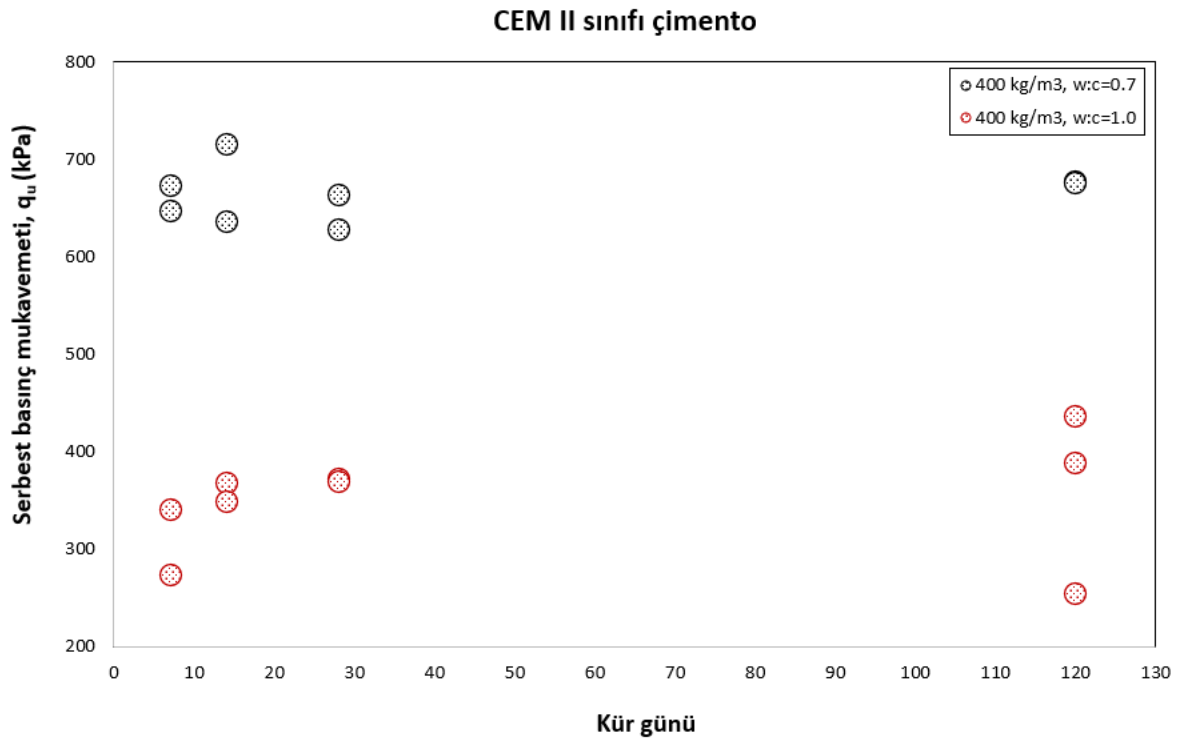
Şekil 3. Elastisite modüllerinin serbest basınç mukavemetine bağlı değişimi
(CEM I, 350 kg/m³ - 400 kg/m³ çimento dozajı ve su-çimento oranı, $w:c=0.7 - 1.0$)

2.3. CEM II Sınıfı Çimento Kullanılarak Hazırlanan Numuneler

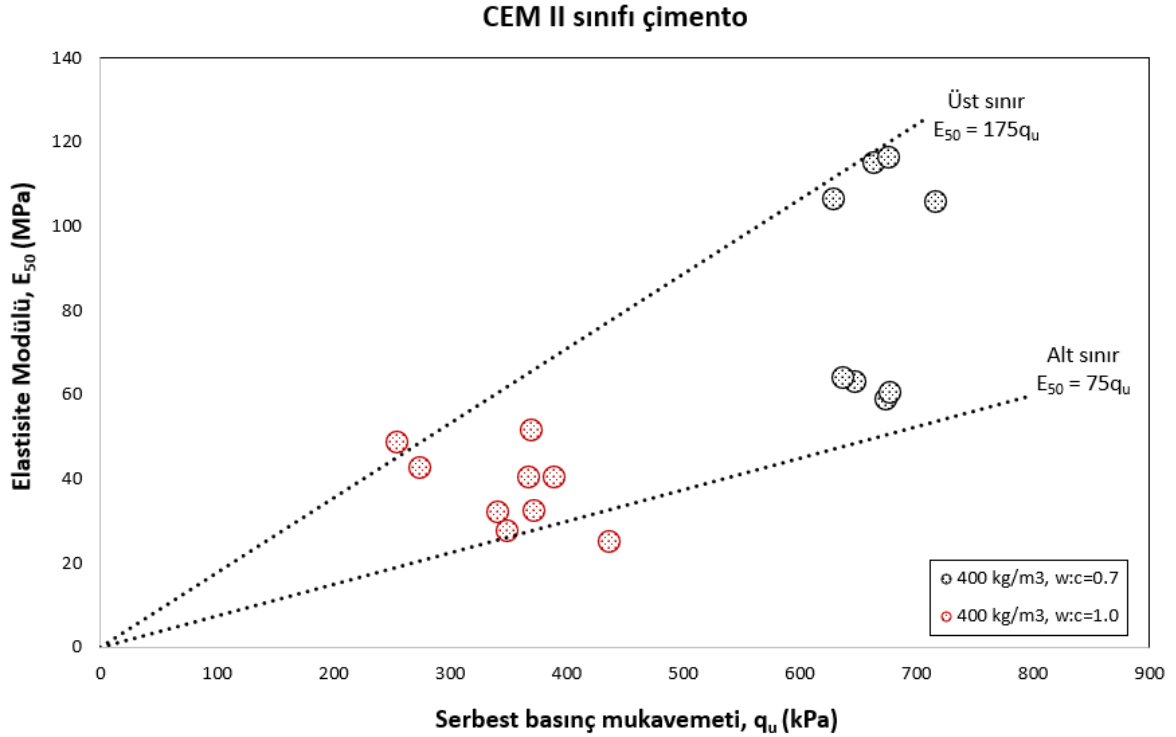
Turba zemin ile katkı maddesi olarak CEM II sınıfından çimento kullanılarak farklı su-çimento oranları ile derin karışım numuneleri hazırlanmıştır. Hazırlanan numuneler aşağıda verilmektedir:

- 400 kg/m³ çimento dozajı ve su-çimento oranı, w:c = 0.7
- 400 kg/m³ çimento dozajı ve su-çimento oranı, w:c = 1.0

Bu numuneler üzerinde yapılan deney sonuçlarından elde edilen serbest basınç mukavemet değerlerinin kür gününe bağlı değişimi Şekil 4'te verilmektedir. Burada da aynı çimento dozajına sahip olan numunelerin su-çimento oranı (w:c) azaldıkça mukavemetlerinde artış olduğu görülmüştür. Bu çimento türü ile hazırlanan turba zeminin kür gününe bağlı mukavemet artışı görülememiştir. Şekil 5'te elastisite modüllerinin serbest basınç mukavemetine bağlı değişimi verilmektedir. Bu grup numune ile yapılan deney sonuçlarına göre E₅₀ değerlerinin, q_u değerinin 75 ile 175 katı arasında değişiklik gösterdiği görülmektedir.



Şekil 4. Serbest basınç mukavemetinin kür süresine bağlı değişimi
(CEM II, 400 kg/m³ çimento dozajı ve su-çimento oranı, w:c=0.7 - 1.0)



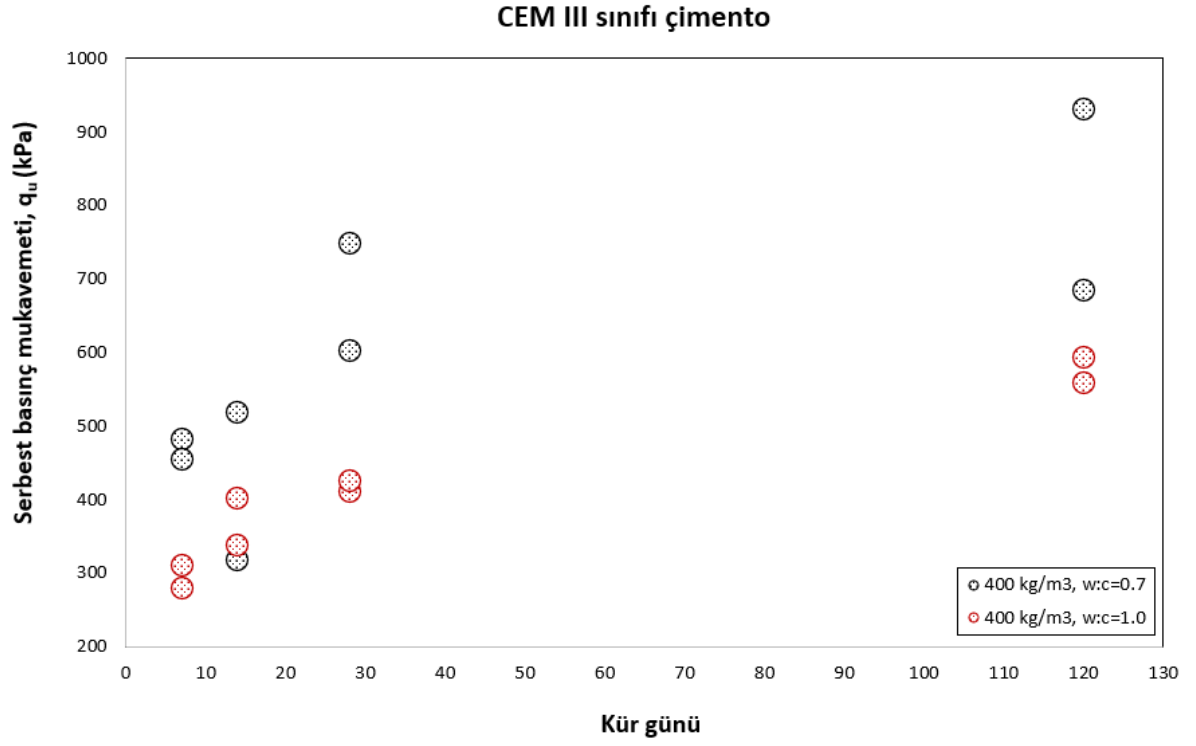
Şekil 5. Elastisite modüllerinin serbest basınç mukavemetine bağlı değişimi
(CEM II, 400 kg/m³ çimento dozajı ve su-çimento oranı, w:c=0.7 - 1.0)

2.4. CEM III Sınıfı Çimento Kullanılarak Hazırlanan Numuneler

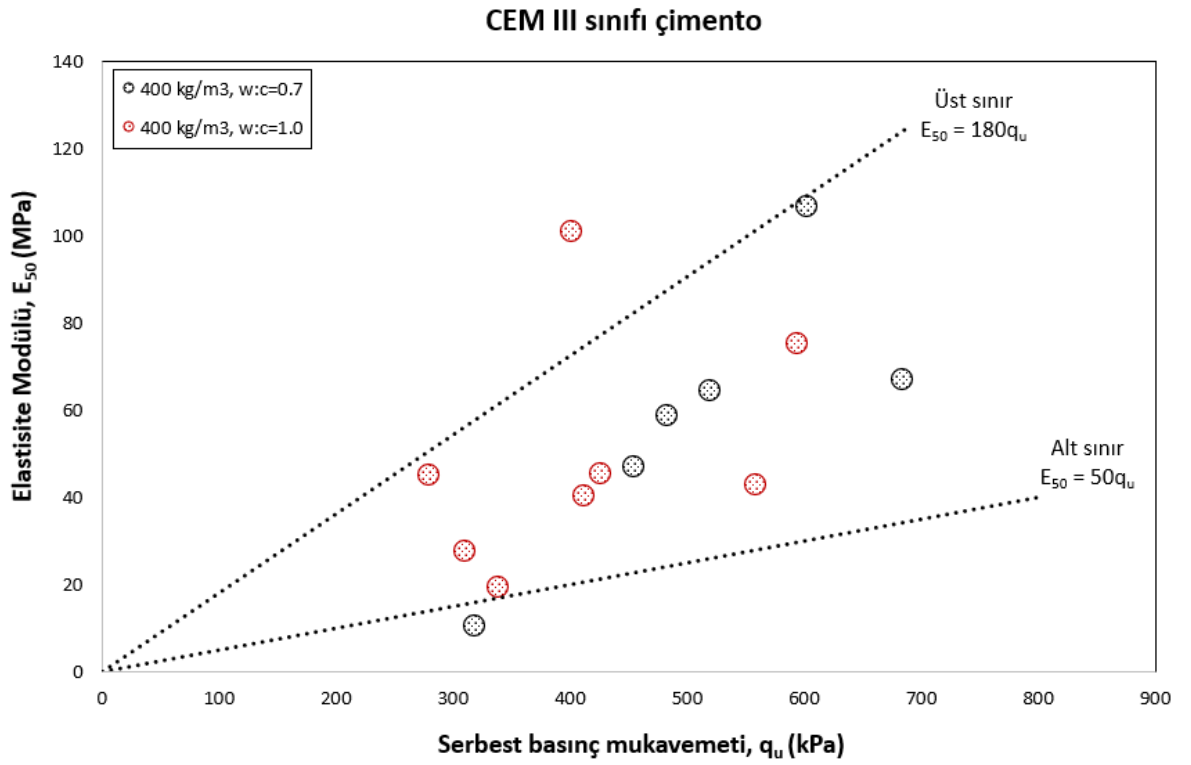
Turba zemin ile katkı maddesi olarak CEM III sınıfından çimento kullanılarak farklı su-çimento oranları ile derin karışım numuneleri hazırlanmıştır. Hazırlanan numuneler aşağıda verilmektedir:

- 400 kg/m³ çimento dozajı ve su-çimento oranı, w:c = 0.7
- 400 kg/m³ çimento dozajı ve su-çimento oranı, w:c = 1.0

Bu numuneler üzerinde yapılan deney sonuçlarından elde edilen serbest basınç mukavemet değerlerinin kür gününe bağlı değişimi Şekil 6'da verilmektedir. Aynı çimento dozajına sahip olan numunelerin su-çimento oranı (w:c) azaldıkça mukavemetlerinde artış olduğu görülmüştür. Bu çimento türü ile hazırlanan turba zeminin kür gününe bağlı mukavemet artışı olmuştur. Şekil 7'de elastisite modüllerinin serbest basınç mukavemetine bağlı değişimi verilmektedir. Bu grup numune ile yapılan deney sonuçlarına göre E_{50} değerlerinin, q_u değerinin 50 ile 180 katı arasında değişiklik gösterdiği görülmektedir.



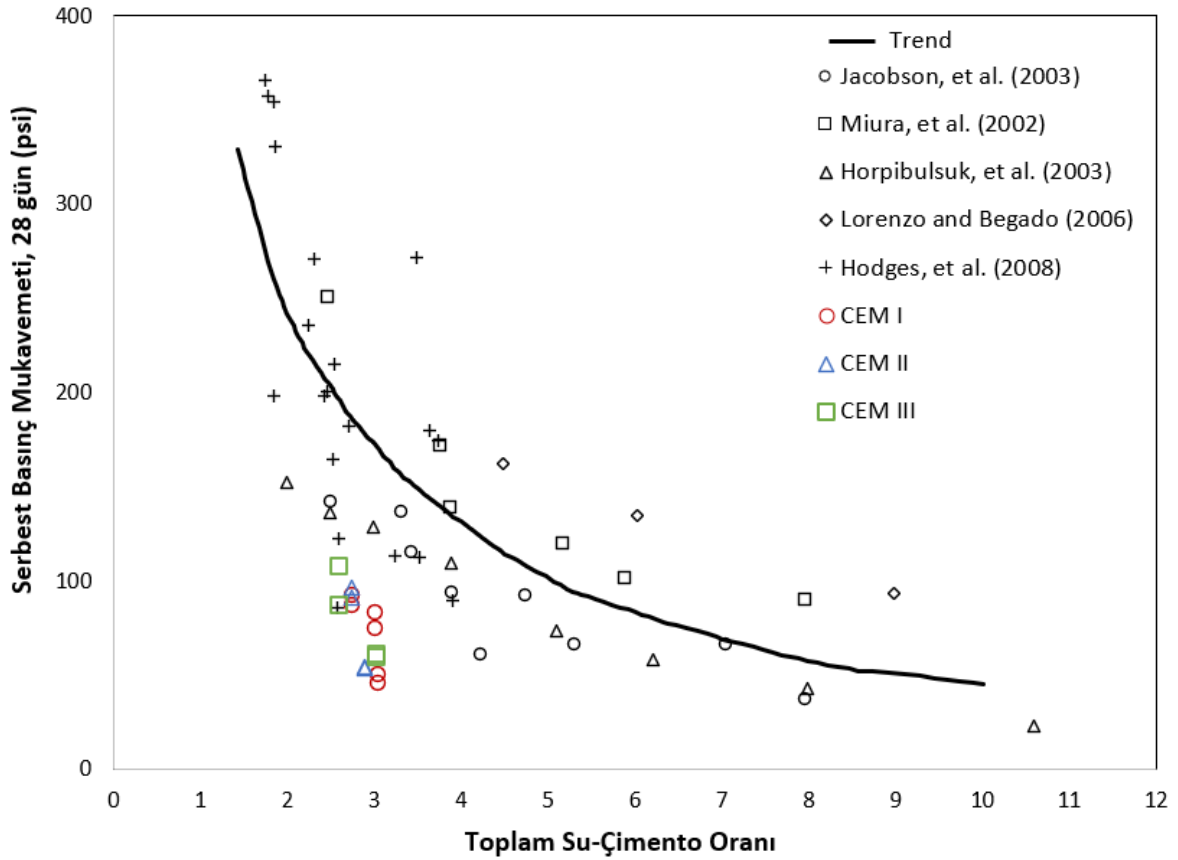
Şekil 6. Serbest basınç mukavemetinin kür süresine bağlı değişimi
(CEM III, 400 kg/m³ çimento dozajı ve su-çimento oranı, w:c=0.7 - 1.0)



Şekil 7. Elastisite modüllerinin serbest basınç mukavemetine bağlı değişimi
(CEM III, 400 kg/m³ çimento dozajı ve su-çimento oranı, w:c=0.7 - 1.0)

2.5. FHWA (2013) ile Karşılaştırma

FHWA (2013) dokümanında yer alan ve inorganik zeminler için 28 günlük serbest basınç mukavemetinin toplam su-çimento oranına bağlı olarak değişimini gösteren grafik Şekil 8’de görülmektedir. Bu grafik toplam su-çimento oranı için derin karıştırma karışımlarının mukavemet değerleri için yol gösterici olarak kullanılmaktadır. Şekil 8’de bu çalışmada hazırlanmış olan numuneler için 28 gün kür süresi sonunda elde edilen mukavemet değerleri de işaretlenmiştir. Görüldüğü gibi organik zemin ile hazırlanan numunelerde elde edilen değerler inorganik zeminlere göre daha düşüktür. FHWA (2013)’in önerdiği grafiğin organik zeminler için kullanılması sakıncalı olabilir.



Şekil 8. Serbest basınç mukavemetinin toplam su-çimento oranına bağlı olarak değişimi

3. SONUÇLAR

İyileştirilecek doğal zeminde organik içerik olması derin karıştırma iyileştirmesinden elde edilen faydayı azaltan önemli bir faktördür. Organik zeminlerin iyileştirilmesi inorganik zeminlere kıyasla daha zordur ve derin karıştırma projelerinde önemli sorunlar yaratabilmektedir. Organik zeminlerin iyileştirilmesinde bağlayıcı türünün seçimi önemli bir rol oynamaktadır.

Çalışma kapsamında yapılan deneyler, çimento türünün farklılaşmasının küre bağlı dayanım artışında farklılık oluşturduğunu göstermektedir. Bu nedenle arazide kullanılacak çimento türü yapılacak kalite kontrol deney günlerini değiştirebilir.

Su-çimento oranının (w:c) artması ile farklı çimento türleri ile hazırlanan bütün numunelerde mukavemette azalım gerçekleşmiştir. Bu durum literatür ile uyumludur.

Deneyler sonucunda tüm çimento türleri ile hazırlanan numunelerin serbest basınç mukavemetleri ve gerilme-şekil değiştirme eğrilerinden elde edilen sekant elastisite modülleri, E_{50} arasındaki ilişki geniş bir aralığa yayılmaktadır. Bu korelasyonlarda çimento türüne bağlı bir değişiklik görülmemiştir. Bu korelasyonlar 1000 kN/m^2 'den daha küçük mukavemet değerleri için kullanılabilir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma; İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa'nın Karayolları Genel Müdürlüğü, Ar-Ge Daire Başkanlığı ile yürüttüğü KGM-ARGE/2019-8 proje numaralı, "Derin Karıştırma Yönteminde Elde Edilen İyileştirilmiş Zemin Özelliklerinin Laboratuvar ve Arazi Şartlarında Tayini ve Derin Karıştırma Şartnamesi Hazırlanması" başlıklı proje kapsamında yapılmıştır. Tüm destekleri için Karayolları Genel Müdürlüğü, Ar-Ge Daire Başkanlığı'na teşekkür ederiz. Bu çalışma kapsamında elde edilen veriler Karayolları Genel Müdürlüğü, Ar-Ge Daire Başkanlığı'nın resmi görüşü değildir.

KAYNAKLAR

- Axelsson K., Johansson S.E. ve Andersson R. (2002), "Stabilization of Organic Soils by Cement and Pozzolanic Reactions—Feasibility Study", Linköping, Swedish Deep Stabilization Research Centre c/o Swedish Geotechnical Institute. Linköping, Report 3, 44.
- Bruce, M.E.C., Berg, R.R., Collin, J.G., Filz, G.M., Terashi, M. ve Yang, D.S. (2013), "Federal Highway Administration Design Manual: Deep Mixing for Embankment and Foundation Support", (No. FHWA-HRT-13-046).
- Ghirardini, C. (2016), "A case study of soil reinforcement with the lime-cement columns method: Dalvagen road", Stockholm, Tesi Di Laurea Magistrale In Geologia E Geologia Tecnica, Università Degli Studi Di Padova, 345 p.
- JGS (Japanese Geotechnical Society) (2000), "Practice for Making and Curing Stabilized Soil Specimens without Compaction", JGS, Tokyo, Japan, JGS T 0821-2000, in Japanese.
- Puppala A.J., Madhyannapu R.S., Nazarian S., Yuan D. ve Hoyos L. (2007), "Deep Soil Mixing Technology for Mitigation of Pavement Roughness", Texas Department of Transportation Research and Technology, (No. FHWA/TX-08/0-5179-1).