

# ÇİMENTO İLE STABİLİZASYONDA OPTİMUM ÇİMENTO ORANININ BELİRLENMESİ

## DETERMINATION OF OPTIMUM CEMENT RATIO IN CEMENT STABILIZATION

Esra URAY<sup>1</sup> Sadrettin SANCIOĞLU\*<sup>2</sup>  
E.Aslı ÇUBUKÇU<sup>3</sup> M.Doğukan ERDEM<sup>4</sup>

### ABSTRACT

In this study, effect of different cement ratio and water content on strength of cement-stabilized soil have been investigated experimentally. Stabilization of weak soil and satisfying specific soil properties are an important topic in construction of highway. Granular cement base layer, which is employed in road construction, has been obtained by using gravel and ballast fill material. The base layer should be satisfy required strength and be durable against settlement in terms of cost of road and service life. In cement stabilization, has been filled voids between grains and has been increased strength of soil. Thus, stabilized fill material, which is durable has long service life and low cost maintenance, has been obtained. In stabilization, has been used the Portland cement which is supplied simply and is cheaper than chemical mixture. The most important factor to take into consideration in using of cement is ratio cement and water content. Durable and economic base layer has been obtained by determining of the optimum cement ratio and water content. Intended soil properties of fill material and unconfined compressive strength of cement-bound granular base has been expressed in the Highway Technical Specification. The optimum water content and cement ratio, which satisfy lower and upper limits of unconfined compressive strength given in the Highway Technical Specification, has been determined by performing many experiments. In this study, unconfined compressive strength of cylinder soil samples, which is compacted by using CBR mold in different the ratios of cement, have been determined. As a result, the optimum cement ratio and water content has been determined, which satisfies strength of limits given in the Highway Technical Specification.

**Keywords:** Cement Stabilization, Granular Base Layer, Optimum Cement Ratio

### ÖZET

Bu çalışmada, farklı çimento ve su oranlarının çimento stabilize zemin dayanımına etkisi deneysel olarak araştırılmıştır. Zayıf zeminin iyileştirilmesi ve belirli zemin özelliklerini sağlaması karayolu uygulamalarında önemli bir konudur. Yol yapımında kullanılan çimento bağlayıcılı granüler temel tabakası çakıl ve ya kırmataş dolgu malzemesi kullanılarak elde edilmektedir. Yol maliyeti ve hizmet ömrü açısından yol altı temel tabakası gerekli dayanımı sağlamalı ve oturmalara karşı dayanıklı olmalıdır. Çimento stabilizasyonunda, taneler arası boşluklar doldurulur ve zeminin mukavemeti arttırılır. Böylelikle, sağlam, hizmet ömrü uzun ve

<sup>1</sup> Araştırma Görevlisi, KTO Karatay Üniversitesi, esra.uray@karatay.edu.tr

<sup>2</sup> Lisans Öğrencisi, KTO Karatay Üniversitesi, sancioglusadrettin@gmail.com

<sup>3</sup> Lisans Öğrencisi, KTO Karatay Üniversitesi, asli279@hotmail.com

<sup>4</sup> Lisans Öğrencisi, KTO Karatay Üniversitesi, mdogukanerdem@gmail.com

bakım maliyeti düşük stabilize dolgu tabakası elde edilir. Stabilizasyonda yaygın olarak kolay elde edilen ve kimyasal karışımlardan ucuz olan Portland Çimentosu kullanılmaktadır. Çimento kullanılmasında dikkat edilmesi gereken en önemli faktör zemin cinsi, su içeriği ve çimento oranıdır. Optimum çimento oranı ve su içeriğinin belirlenmesi ile sağlam ve ekonomik temel tabakası elde edilmesi mümkün olacaktır. Çimento bağlayıcı granüler temele ait istenilen zemin özellikleri ve serbest basınç dayanımları Karayolları Teknik Şartnamesinde belirtilmiştir. Şartnamede belirtilen serbest basınç dayanımının alt ve üst sınırlarını sağlayan optimum su içeriğinin ve çimento miktarı bir çok deney yapılarak belirlenmektedir. Bu çalışmada, farklı çimento oranları kullanılarak CBR kalıbında sıkıştırılan silindirik zemin numunelerinin serbest basınç dayanımları bulunmuştur. Sonuç olarak, Karayolları Teknik Şartnamesinde belirtilen sınır dayanımlarını sağlayan optimum çimento oranı ve su içeriği belirlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Çimento ile Stabilizasyon, Granüler Temel Tabakası, Optimum Çimento Oranı

## 1. GİRİŞ

Geoteknik mühendisliğinde zemin, taşıyıcı bir ortam olarak kullanıldığı gibi malzeme olarak da kullanılmaktadır. Zeminin temelini yapı yüklerini güvenli bir şekilde zemine aktararak taşıyıcı bir ortam olarak kullanıldığı durumda zeminin belirli özelliklere sahip olması beklenir. Bu durumda, zeminin yük altındaki davranışı, taşıma gücü, oturma miktarı, kayma mukavemeti, şişme potansiyeli ve geçirgenlik gibi özellikler önemli olmaktadır. Üzerine herhangi bir yapı inşa edilecek olan zemin ortamında istenilen malzeme özelliklerini sağlamaması durumunda uzaklaştırılan kötü zemin yerine uygun zemin kullanılarak ya da yerinde zayıf zeminin iyileştirilmesi ile zemin özellikleri iyileştirilebilir. Yol kaplaması vasıtasıyla zemine aktarılan trafik yüklerinin zeminde herhangi bir deformasyon yapmaması ve zeminin bu yükleri güvenli bir şekilde taşıması gerekmektedir. Bu sebeple zeminin uygun olmayan özelliklerinin iyileştirilmesinde zemin stabilizasyon yöntemleri yaygın olarak kullanılmaktadır. Zayıf zemin özelliklerinin iyileştirilmesi ile yol kaplamasının performansı, hizmet ömrü, bakım masrafı ve maliyeti gibi hususlarda da iyileşme sağlanmaktadır.

Zemin stabilizasyonu, inşaat alanında istenilen zemin özelliklerini sağlamak amacıyla fiziksel ve kimyasal yöntemlerin uygulanması ile taşıyıcı sağlam zemin ortamının elde edilmesidir. Zemin stabilizasyonunda kimyasal yöntemlerden biri olan katkı maddesi kullanılarak zemin stabilizasyonu uygulanmaktadır. Zemin stabilizasyon katkı maddesi olarak kullanılan çimentonun iyileştirmeye etkisi ile ilgili bir çok çalışma yapılmıştır. Çimento stabilizasyonu farklı zemin çeşitlerinde uygulanmakta olup killi zeminlerin stabilizasyonu ile ilgili çalışmalar Bell (1995) ve Uddin vd. (1997) tarafından yapılmıştır. Currin (1976) tarafından yapılan çalışmada, siltli zeminlerde çimento stabilizasyonu ile elde edilen sonuçların iri taneli zeminlerde elde edilen sonuçlar kadar iyi olduğu görülmektedir. Çimento ile iyileştirilmiş zeminlerin özellikleri ve iyileştirmenin zemin özellikleri üzerine etkisi araştırılmıştır (Abboud, 1973), (Mitchell, 1976), (Lorenzo, 2004). Çimento ile iyileştirilmiş deniz killerinde kilin içi yapısı ve mühendislik özellikleri arasındaki davranış araştırılmıştır (Chew vd., 2004). Demiröz (2009) vd. tarafından yapılan çalışmada, arazide yapılan zemin iyileştirme metotları ayrıntılı bir biçimde incelenerek zayıf zeminlerde iyileştirme metotlarının bazı kriterlere göre çoğu durumda ekonomik olduğu ve yöntemlerin uygulanacağı zemin tipleri belirtilmiştir. Sariosseiri (2009) tarafından yapılan çalışmada, kuru zemin ağırlığının % 2.5, 5, 7.5 ve 10 oranlarında ilave edilen çimento ile hazırlanan zemin örneklerine laboratuvar deneyleri uygulanmıştır. Laboratuvar deneylerinde çimento stabilize numunelerin atterberg limitleri, kompaksiyon parametreleri, serbest basınç dayanımları ve konsolidasyonlu-drenajsız üç eksenli basınç dayanımları belirlenmiştir. Sonuçlar, zemin tipine bağlı olarak kuruma hızı, işlenebilirlik, serbest basınç dayanımı ve kayma mukavemetinde iyileşme olduğunu göstermiştir. Üç eksenli deney sonuçlarına göre çimento katkısız numunelerin kırılması sünek davranış gösterirken, çimento katkı oranı arttıkça numunelerin kırılmasının gevrek davranış göstermiştir. Kök vd. (2012)

tarafından yapılabildiği çalışmada, çimento stabilizasyonunun esnek üstyapı maliyetine etkisinin araştırılmış, %4-%16 aralığında çimento oranı ile stabilize edilen düşük taşıma güçlü zeminin Kaliforniya Taşıma Oranları bulunmuş ve çimento stabilizasyonu uygulanmış esnek üst yapı maliyeti ile stabilizasyon maliyeti arasındaki ilişki sunulmuştur. Gürsoy vd. (2015) tarafından yapılan çalışmada, İzmir Körfez'indeki sediment zeminlerin kireç ve çimento ile iyileştirilmesi deneysel olarak araştırılmış ve zeminin kompaksiyon ve kıvam özelliklerinde iyileşmeler elde edilmiştir. Sülfat etkisine maruz kalmış stabilizasyon yapılan zeminde kullanılan Portland çimentosunun etkisi deneysel olarak araştırılmıştır (Kalıpcılar vd., 2015).

Uzaklaştırılan zayıf zemin yerine yerleştirilecek olan çimento bağlayıcı granüler tabakada uygun su içeriği ve çimento oranlarının belirlenmesi önemlidir. Yol yapımında temel olarak işlev görecektir olan çimento bağlayıcı granüler temele (çimento stabilize zemin) ait uygulama detayları Karayolları Teknik Şartnamesinde verilmiştir. Bu çalışmada şartnamede belirtilen uygulama detayları göz önünde bulundurularak farklı su içeriği ve çimento oranlarında ekonomik karışım tasarımı için deneyler yapılmıştır. Deneylerde kullanılan stabilize dolgu malzemesi şartnamede belirtilen malzeme özelliklerini genel olarak sağlamaktadır. Şartnamede çimento bağlayıcı granüler temel alt ve üst serbest basınç dayanımı sağlayan en ekonomik çimento oranı araştırılmıştır.

## 2. DENEYSEL ÇALIŞMA

Deneyde ocaktan temin edilmiş kırmataş dolgu malzemesi kullanılmış olup bu malzemeye ait zemin özelliklerini belirlemek için birim hacim ağırlık, elek analizi, kompaksiyon, atterberg ve los angeles deneyleri yapılmış ve sonuçları Tablo 1'de verilmiştir. Kullanılan malzemeye ait granülometri dağılımları Şekil 1'de ve kompaksiyon deney sonuçları Şekil 2'de verilmiştir. Stabilize dolguya ait malzeme özelliklerini belirlemek için yapılan deney sonuçları Karayolları Teknik Şartnamesinde Kısım 402'de belirtilen sınır değerleri genel olarak sağlamaktadır. Deneylerde CEM I 32,5 portland çimentosu kullanılmıştır. Şekil 2'de verilen stabilize malzemeye ait kompaksiyon eğrisi incelendiğinde  $w=6,4$  için  $\gamma_{kmax}=22,7$  kN/m<sup>3</sup> bulunmuştur.

Karayolları Teknik Şartnamesinde yol yapımında kullanılacak olan çimento bağlayıcı granüler temel tabakasının serbest basınç dayanımı 3,43 N/mm<sup>2</sup> den az 5,39 N/mm<sup>2</sup> den fazla olmaması istenmektedir. Bu yüzden belirtilen dayanım sınırlarını sağlayan optimum su içeriği ve uygun çimento oranı karışım tasarımı ile bulunmalıdır. Çimento stabilize zemin ile hazırlanan silindir numunelere ait laboratuvarında yapılan uygulamalar Şekil 3'te verilmiştir.

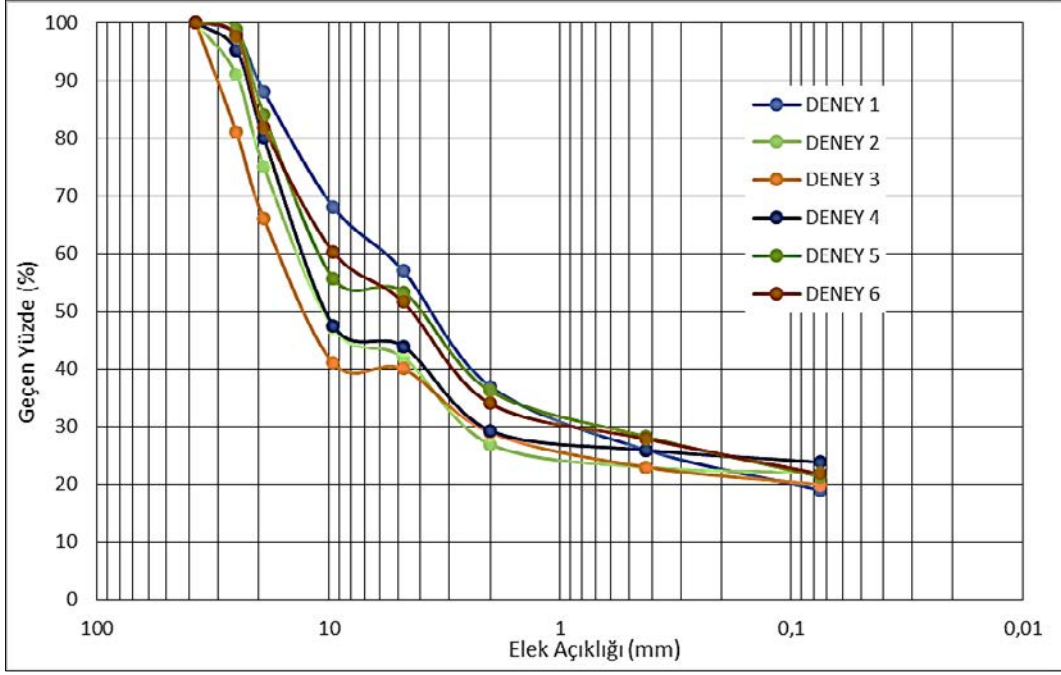
Modifiye proctor deneyi ile bulunan optimum su içeriğinde 4 farklı çimento oranı için serbest basınç dayanımı bulunmuştur. Çimento stabilize zemin 15.24 cm çapında ve 17.78 cm yüksekliğindeki CBR kalıbı içerisine modifiye proctor tokmağı ile 7 tabaka 62 vuruş olacak şekilde sıkıştırılmıştır.

Tablo 1. Stabilize dolgu malzeme özellikleri

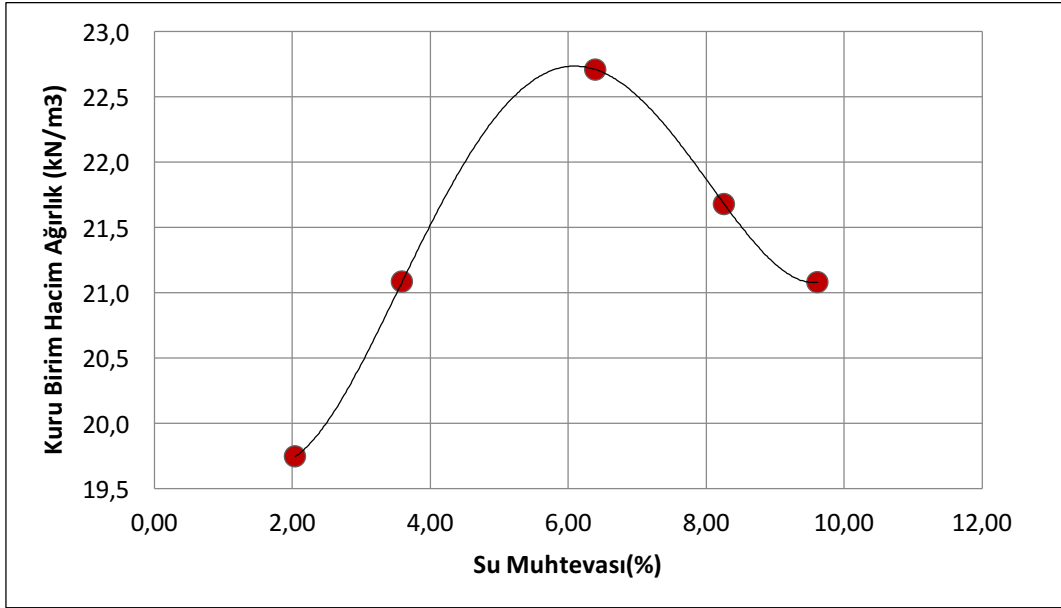
Özgül Ağırlık	2,6
Minimum Birim Hacim Ağırlık (kN/m <sup>3</sup> )	16,7
Maksimum. Kuru Birim Hacim Ağırlık (kN/m <sup>3</sup> )	22,8
Optimum Su Muhtevası (%)	6,4
Likit Limit (%)	NP
Plastisite İndisi (%)	NP
Çakıl (%)	48
Kum (%)	31
Kil+Silt (%)	21
Zemin Sınıfı	GM
Parçalanma Direnci (Los Angeles) (%)	18

Tablo 2. Farklı Çimento Oranları ve Optimum Su İçeriğinde Çimento Stabilize Serbest Basınç Dayanımları

Çimento Oranı (%)	Serbest Basınç Dayanımı (N/mm <sup>2</sup> )	Kuru Birim Hacim Ağırlık(kN/m <sup>3</sup> )
2	1.12	22.46
3	2.74	22.86
4	3.90	22.25
5	5.04	23.74



Şekil 1. Stabilize malzeme granülometri dağılımı



Şekil 2. Stabilize malzeme kompaksiyon eğrisi

Laboratuvarda hazırlanmış çimento stabilize silindirlerin serbest basınç dayanımları Karayolları Teknik Şartnamesine uygun olarak belirlenmiştir. 4 farklı çimento oranında ve optimum su içeriğinde (%6.4) şartnamede belirtilen serbest basınç dayanım alt ve üst sınırlarını sağlayan optimum çimento oranının bulunması için denemeler yapılmıştır (Tablo 2). Tablo 2 incelendiğinde %4 ve %5 çimento oranına sahip karışımların şartname de belirtilen dayanım alt ve üst sınırlarının sağladığı görülmüştür (3.43-5.39 N/mm<sup>2</sup>).

Daha ekonomik karışım elde edebilmek için % 4 çimento oranı için faklı su içeriğinde çimento stabilize silindirler hazırlanmıştır. %4 çimento oranında farklı su içeriğinde çimento stabilize silindir numunelerde su içeriği değişiminin numunelerin serbest basınç dayanımına etkisi Şekil 4'te ve kuru birim hacim ağırlığına etkisi Şekil 5'te verilmiştir.

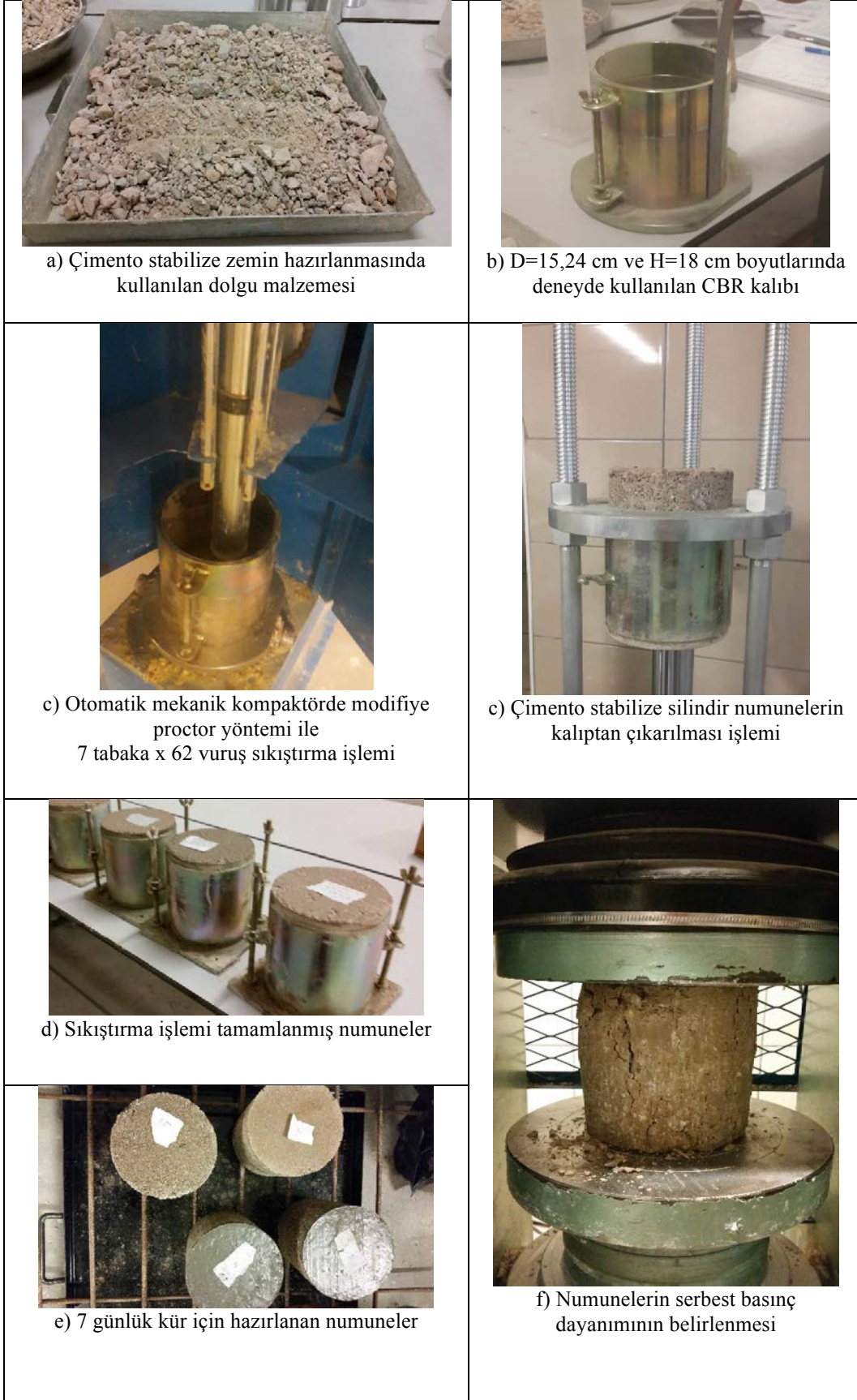
Şekil 4'te verilen grafik incelendiğinde su içeriği ve serbest basınç dayanım arasındaki ilişkinin kompaksiyon eğrisine benzer davranış gösterdiği görülmüştür. Çimento stabilize numunelerinin düşük ve yüksek su içeriği değerlerinde düşük serbest basınç dayanım değerlerine sahip olduğu ve ayrıca şartnamede belirtilen alt ve üst sınırları sağlamadığı görülmüştür. Şekil 5'te %4 çimento katkılı çimento stabilize silindir numunelerin kuru birim hacim  $w_{opt}=\% 6,4$   $\gamma_{kmax}=23.44$  kN/m<sup>3</sup> olduğu görülmüştür.

Deneyleri yapılan farklı çimento oranlarından %2 çimento oranı için farklı su içeriğinde serbest basınç dayanım deneyleri yapılmıştır. En düşük çimento oranında ve farklı su içerikleri için hazırlanan çimento stabilize silindir numunelerin serbest basınç dayanımları bulunmuştur (Şekil 6). Grafik incelendiğinde çimento stabilize numunelerde çimento oranı düşük olduğu için su içeriğinin artmasıyla serbest basınç dayanımının azaldığı görülmüştür. Şekil 7 ile verilen kuru birim hacim ağırlık ve su içeriği arasındaki ilişki de su içeriğinin artması ile kuru birim hacim ağırlık değeri artmıştır.

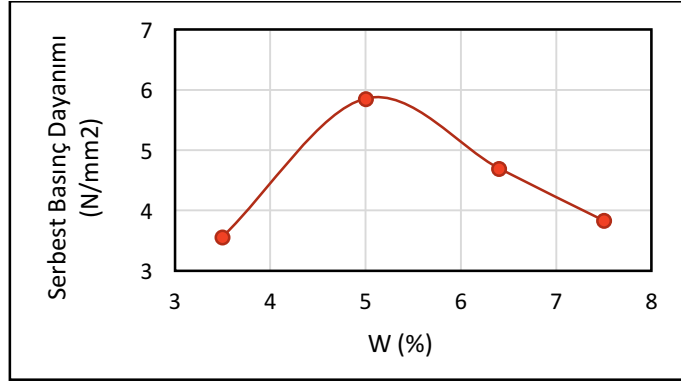
### 3. SONUÇLAR

Bu çalışmada, çimento ile stabilize edilmiş dolgu stabilize malzemenin % 2, 3, 4 ve 5 çimento ve farklı su içeriği oranlarının serbest basınç dayanımına etkisi araştırılmıştır. Deneylerde kullanılan stabilize dolgu malzemesinin ve elde edilen serbest basınç dayanım değerlerinin kontrolü Karayolları Teknik Şartnamesi nde çimento bağlayıcı granüler temel için belirtilen detaylara göre yapılmıştır. Şartname alt ve üst sınır serbest basınç dayanım değerlerini sağlayan optimum çimento oranı bulunmuştur.

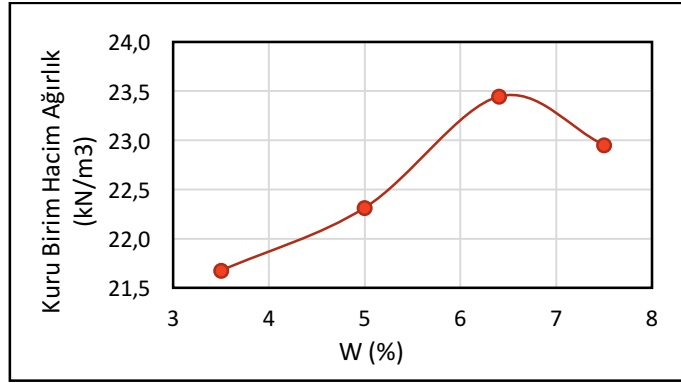
Yapılan deneyler sonucu optimum su içeriği %6.4 ve çimento oranı %4 ve 5 olduğu çimento stabilize silindir numunelerde şartname sınırları sağlanmış ve %4 çimento oranı ekonomik karışım alınmış ve farklı su içeriği değerlerinde deneyler yapılmıştır. %6.4 su içeriğinde, artan çimento yüzdesi ile birlikte serbest basınç dayanımı ve kuru birim hacim ağırlık değerlerinin artışı doğru orantılıdır. %4 çimento oranında %3.5, 5 ve 7.5 su içeriğinde hazırlanan çimento stabilize silindirlerin serbest basınç dayanım değerleri elde edilmiştir. Bu çimento oranında serbest basınç dayanım ve su içeriği arasındaki ilişki katkısız stabilize dolgu malzemesinin kompaksiyon davranışına benzer olup her iki durumda da elde edilen  $\gamma_{kmax}$  değerleri birbirine yakındır. Bu çalışma ile yol yapılması planlanan zayıf zeminin uzaklaştırılarak yerine istenilen zemin özelliklerine sahip çimento stabilize temel tabakasının uygulanmasının mümkün olduğu gösterilmiştir. Daha ekonomik, bakım masrafları düşük ve hizmet ömrü uzun yol yapımında kullanılacak temel tasarımı için yapılan deneylerin kapsamı genişletilmelidir.



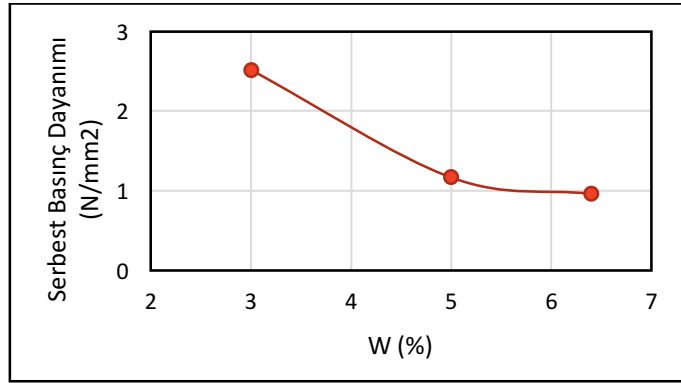
Şekil 3. Çimento stabilize zemin numunelerin laboratuvar deneyleri



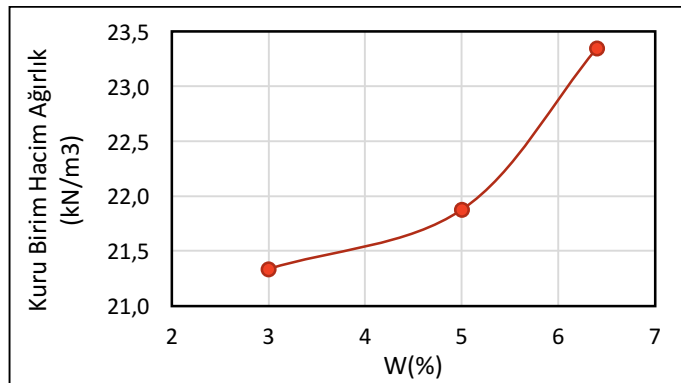
Şekil 4. Serbest Basınç Dayanımı ve su içeriği ilişkisi (%4 Çimento oranı)



Şekil 5. Kuru birim hacim ağırlık ve su içeriği ilişkisi (%4 Çimento oranı)



Şekil 6. Serbest Basınç Dayanımı ve su içeriği ilişkisi (%2 Çimento oranı)



Şekil 7. Kuru birim hacim ağırlık ve su içeriği ilişkisi (%2 Çimento oranı)

#### 4. KAYNAKLAR

- Abboud, M. M. (1973), "Mechanical properties of cement-treated soils in relation to their use in embankment construction", University of California, Berkeley.
- Bell, F. G. (1995), "Cement stabilization and clay soils, with examples", Environmental & Engineering Geoscience, 1(2), 139-151.
- Chew, S. H., Kamruzzaman, A. H. M. ve Lee, F. H. (2004), "Physicochemical and engineering behavior of cement treated clays", Journal of geotechnical and geoenvironmental engineering, 130(7), 696-706.
- Curran, D. D., Allen, J. J. ve Little, D. N. (1976), "Validation of soil stabilization index system with manual development", (No. FJSRL-TR-76-0006). Frank J. Seiler Research Lab United States Air Force Academy Colo.
- Demiröz A. ve Karaduman M., "Zemin iyileştirme metotları", Selçuk Üniversitesi Teknik Online Dergi, Cilt 8 (3), s. 176-192, 2009.
- Gürsoy Z., Başarı E. ve Durukan S.(2015), "Körfez bölgesi çökelmiş zeminlerin kireç ve çimento ile ıslahı", 6.Geoteknik Sempozyumu 26-27 Kasım Çukurova Üniversitesi.
- Kök, B. V., Yılmaz, M. ve Geçkil, A. (2012), "Çimento stabilizasyonlu zeminin esnek üstyapı maliyetine etkisi", Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 18(3), 165-172.
- Lorenzo, G. A. ve Bergado, D. T. (2004), "Fundamental parameters of cement-admixed clay-new approach", Journal of geotechnical and geoenvironmental engineering, 130(10), 1042-1050.
- Mitchell, J. K. (1976), "The properties of cement-stabilized soils", In Proceeding of Residential Workshop on Materials and Methods For Low Cost Road, Rail, and Reclamation Works (Vol. 365404).
- Sariosseiri, F., & Muhunthan, B. (2009), "Effect of cement treatment on geotechnical properties of some Washington State soils", Engineering Geology, 104(1), 119-125.
- Uddin, K., Balasubramaniam, A. S. ve Bergado, D. T. (1997), "Engineering behavior of cement-treated Bangkok soft clay", Geotechnical Engineering, 28, 89-119.
- Kalıpcılar İ., Mardani-Aghabaglou A., İnan-Sezer G., Sezer A. ve Altun S. (2015), "Çimento stabilize kilin sülfat etkisi altında dayanım ve geçirimsizlik özellikleri", 6.Geoteknik Sempozyumu 26-27 Kasım Çukurova Üniversitesi.
- Kılıç, G., (2008), "Çimento ile zemin stabilizasyonu", Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Uzuner, B.A. (2007), "Çözümlü problemlerle temel zemin mekaniği", Derya Kitabevi.

#### TEŞEKKÜR

*Bu çalışmada sonuçları verilen deneyler KTO Karatay Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü laboratuvarında yapılmış olup çalışma boyunca her türlü tecrübesini ve bilgisini esirgemeyen Prof.Dr.Özcan Tan'a ve destekleri ile her zaman yanımızda olan KTO Karatay Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Öğretim Elemanları na teşekkür ederiz.*