



The potential reuse of Marmara Sea dredged material in road construction

Ece Bayram Coşkun*^{ID}, Berrak Teymür^{ID}

Department of Civil Engineering, Istanbul Technical University, Istanbul, 34469, Turkey

Highlights:

- Reuse of dredged material in road construction
- Effects of lime stabilization on strength
- Effect of cement stabilization strength

Keywords:

- Dredged material
- Lime
- Cement
- Subbase

Article Info:

Research Article
Received: 29.06.2020
Accepted: 22.05.2021

DOI:

10.17341/gazimmfd.760285

Correspondence:

Author: Ece Bayram Coşkun
e-mail: bayramec@itu.edu.tr
phone: +90 545 326 9242

Graphical/Tabular Abstract

Dredging is the removal of the sediments from the underwater for maintenance and construction purposes. The volume of dredging operations increase each year because of growing population and world trade and disposal of dredged material (marine sediment) becomes worldwide problem due to hazardous impacts of dredged material disposal at sea and land. The alternative usages of dredged material have gained importance and they have begun to be considered as a new resource for construction and environmental projects. The overall objective of this study is examining the potential usage of dredged material which is stabilized with lime/cement, for road construction. The unconfined compression tests were performed on the untreated and lime/cement treated samples, which were prepared at optimum moisture content. The effect of lime/cement stabilization on unconfined compression strength is shown in Figure A.

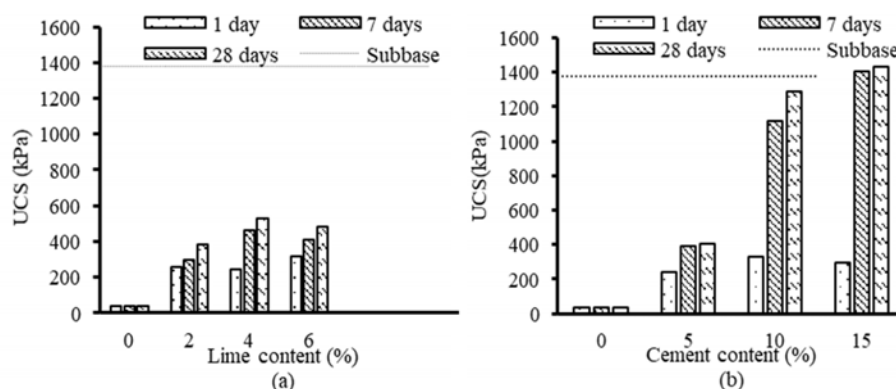


Figure A. The effect of lime stabilization on unconfined compression strength (a) Lime (b) Cement

Purpose: The main aim of this study is to investigate the potential reuse of dredged material for road construction purpose.

Theory and Methods:

In this study, the laboratory tests were performed on raw sediment and sediment mixed with different percentage of lime and cement content to assess the impact of lime/cement treatment on the engineering properties of dredged material and suitability of dredged material for road construction purposes. Atterberg limit tests, miniature compaction test and unconfined compression test was performed on raw and lime/cement treated dredged material. The samples were cured for 1 day, 7 and 28 days for unconfined compression test.

Results:

The test results show that the plastic limit of treated samples increases with addition lime/cement when their plasticity index decreased. The unconfined compressive strengths of the mixtures showed significant increases depending on the increasing additive content and curing time. The maximum 7-day unconfined compressive strength values were achieved by 4% lime 15% cement content.

Conclusion:

The optimum binder contents are 4% and 15% of the dry weight of dredged material for lime and cement, respectively. As shown in the experiments, the engineering properties of dredged material can be improved by using additives and reused as subbase layer of road.



Marmara Denizi dip tarama malzemesinin yol inşaatında yeniden kullanım potansiyeli

Ece Bayram Coşkun*^{ID}, Berrak Teymür^{ID}

İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 34469 Maslak İstanbul, Türkiye

Ö N E Ç İ K A N L A R

- Dip tarama malzemesinin yol inşaatında yeniden kullanımı
- Kireçle stabilizasyonun dayanım üzerindeki etkisi
- Çimento stabilizasyonun dayanım üzerindeki etkisi

Makale Bilgileri

Araştırma Makalesi

Geliş: 29.06.2020

Kabul: 22.05.2021

DOI:

10.17341/gazimmfd.760285

Anahtar Kelimeler:

Dip tarama malzemesi,
kireç,
çimento,
alttemel

ÖZ

farklı alanlarda yeniden kullanım potansiyelleri araştırılmaktadır. Bu çalışmada, denizlerde yürütülen tarama işlemleri sonucunda elde edilen malzemelerin çimento ve kireç katkısı ile iyileştirilerek, mühendislik özelliklerindeki değişimler incelenmiş ve bu iyileştirme sonucunda dip tarama malzemesinin yol altyapı tabakalarında yeniden kullanım potansiyeli irdelenmiştir. Saf halde bulunan ve hazırlanan karışımlar üzerinde kıvam limit deneyleri, minyatür kompaksiyon ve serbest basınç deneyleri uygulanmıştır. Serbest basınç deneyi 1,7 ve 28 gün kür koşulları için tekrarlanmıştır. Yapılan deneyler sonucunda, eklenen çimento ve kireç oranının artmasıyla numunelerin plastik limitlerinin arttığı ve buna bağlı olarak plastisite indislerinin azaldığı tespit edilmiştir. Tüm oranlardaki çimento ve kireç katkıları ve artan kür süresi, malzemenin serbest basınç dayanımını arttırmıştır. Yapılan çimento ve kireç katkısı ile zemin özelliklerinin iyileştiği ve yol altyapı tabakalarında kullanıma uygun olduğu tespit edilmiştir.

The potential reuse of Marmara Sea dredged material in road construction

H I G H L I G H T S

- Reuse of dredged material in road construction
- Effect of lime stabilization on strength
- Effect of cement stabilization on strength

Article Info

Research Article

Received: 29.06.2020

Accepted: 22.05.2021

DOI:

10.17341/gazimmfd.760285

Keywords:

Dredged material,
lime,
cement,
subbase

ABSTRACT

Nowadays, dredged materials, which are obtained from variable dredge operations, is no longer considered as waste, instead the potential reuse areas are studied by researchers. In this study, the impacts of cement or lime treatment on the engineering properties of dredged material, which is obtained by dredging operations into the sea, and the potential reuse of treated dredged materials for road construction were examined. Atterberg limit tests, miniature compaction test and unconfined compression test was performed on raw and cement/lime treated dredged materials. The samples were cured for 1 day,7 and 28 days for unconfined compression test. The test results show that the plastic limit of treated samples increases with addition additives when their plasticity index decreases. The unconfined compression strength of treated dredged material improved with increase in additive content and curing time. It has been determined that cement/lime treatment improves engineering properties of dredged material and it is suitable for different phase of road layers.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Tüm dünyada, yeni deniz yapılarının inşası, mevcut deniz yapılarının bakımı, arazi kazanımı, deniz dibindeki istilacı bitkilerin ve kirleticilerin temizlenmesi için iç ve dış sularda tarama işlemi gerçekleştirilir ve bu işlem sonucunda büyük miktarlarda dip tarama malzemesi çıkarılır. Dip tarama malzemeleri Avrupa Atık Kataloğu ve Tehlikeli Atık Listesi'nde 17. bölümün altında 17 05 05* (tehlikeli sedimentler) ve 17 05 06 (diğer sedimentler) kodları ile atık olarak sınıflandırılmaktadır [1]. Atık olarak sınıflandırılan dip tarama malzemelerin bertarafı denize boşaltım veya karada atık boşaltım tesislerinde depolanması şeklinde gerçekleştirilir. Türkiye'de yılda yaklaşık olarak 3 milyon m³ dip tarama malzemesi çıkarılmakta olup bu malzemelerin büyük bir çoğunluğu dökü gemileriyle açık denize boşaltılmaktadır [2]. Denizde bertaraf, uygulama kolaylığı açısından ve ekonomik olmasından dolayı en çok tercih edilen bertaraf yöntemidir [3]. Taranan malzemenin denize dökülmesi, su kalitesinin bozulmasına yol açan bulanıklığın artmasına neden olur. Kirletici maddelerin salınması, su florası ve fauna habitatları üzerinde olumsuz etkiye neden olabilir. Dip tarama malzemelerin açık denizlere dökülmesinin en önemli etkilerinden biri dökülen malzemenin deniz dibi habitatını örterek yok etmesidir [4]. Karada bertaraf işleminde, bu işlem için özel bir alan ayrılarak, malzemenin buraya boşaltılması gerektiğinden dolayı uygulaması zor bir yöntemdir ve ekonomik değildir. Atık depolama tesislerinde malzemenin depolanmasının çevreye fiziksel, kimyasal ve biyolojik olarak zararlı etkileri bulunmaktadır [5]. Geleneksel bertaraf yöntemlerin çevresel etkileri, çevre koruma düzenlemelerinin getirdiği sınırlamalar ve 2016 yılından beri Türkiye'nin taraf olmaya başladığı Londra Sözleşmesi gereğince dip tarama malzemesi atık olarak değil bir kaynak olarak görülmeye başlanmıştır [1, 6]. Dip tarama malzemeleri inşaat mühendisliğinde çimento üretimi [7-9], agrega üretimi [10-12], beton üretimi [13, 14], tuğla üretimi [15, 16], yol alt yapı tabakalarında kullanımı gibi faydalı kullanım alanları belirlenerek çalışmalar yapılmaktadır. Geçmişte Türkiye'nin Barselona (1976) ve Bükreş (1982) Sözleşmelerinin gerekliliklerini yerine getirmesi zorunlu olduğu halde mevcut ulusal yönetmelikler dip tarama malzemelerinin atık yönetimi kriterlerinin belirlenmesi açısından yetersiz kalmaktadır. Bu nedenle, "(111G036) Deniz Dip Tarama Uygulamaları ve Tarama Malzemesinin Çevresel Yönetimi (DİPTAR isimli 3-yıllık)" ulusal araştırma projesi dip tarama malzemelerin denize boşaltım, bertaraf ve faydalı kullanım kapsamında entegre çevresel yönetimine sürdürülebilir yaklaşım geliştirmek üzere 01.10.2013-01.10.2016 tarihleri arasında sürdürülmüştür [2]. Çalışmada, bu proje kapsamında toplanılan malzemelerin yol altyapı tabakalarında faydalı kullanım potansiyeli araştırılmıştır. Ancak, yüksek su muhtevalı dip tarama malzemeleri susuzlaştırma ön işlemine tabii tutularak faydalı kullanım için uygun hale getirilmelidir. Bu ön işlem pasif, mekanik, kimyasal ve termal susuzlaştırma teknikleri ile gerçekleştirilebilir. Yöntem seçiminde etkili olan

parametreler; malzeme karakteristikleri, istenen kek özellikleri ve mevcut saha büyüklüğüdür. Bu parametrelere bağlı olarak seçilen uygun yöntem ile susuzlaştırma maliyetleri azalmakta ve verim artmaktadır [17]. Bunun yanında, doğal haldeki dip tarama malzemeleri genelde yüksek likit limit değerlerine ve zayıf mühendislik özelliklerine sahiptir. Bu nedenle faydalı kullanım öncesi bu malzemelere genellikle kireç, çimento ve uçucu kül gibi katkı malzemeleri ile iyileştirme uygulanması gerekmektedir.

Çeşitli araştırmacılar dip tarama malzemesinin yol altyapı tabakalarında faydalı kullanımı için çalışmalarında çeşitli katkılar ile yapılan iyileştirmelerin malzemenin mühendislik özellikleri üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Wang vd. [18] kireç veya çimento ilavesi ile mühendislik özellikleri iyileştirilen Dunkirk bölgesinden taranan dip tarama malzemesinin yeniden kullanım fizibilite çalışmalarını yapmışlardır. Yapılan CBR deney sonuçlarına göre ince daneli dip tarama malzemeleri için yol inşaatında kullanım açısından istenilen sonuçları veren ve en ekonomik olan %6 oranında çimento katkısı içeren karışımdır. Banoune vd. [19] kuru ağırlıkça %2-15 oranında çimento veya kireç katkısı uyguladıkları nehir dip tarama malzemesinin yol inşaatında potansiyel kullanımı araştırmışlardır. Kireç katkılı karışımlarda kullanılan kireç oranını azaltmak için karışıma bir miktar taş ocaklarından çıkarılan kum ve ince daneli malzeme ilave etmişlerdir. 7 gün kürde bekleyen çimento katkılı karışımlar ve 28 gün kürde bekleyen düşük oranda kireç içeren karışımlar standartların belirlediği minimum dayanım kriterine ulaşmıştır. Ayrıca, yapılan kum ilavesinin kireç içeren karışımlarda dayanım artımına katkı sağladığı ve gerekli olan kireç oranını azalttığı tespit edilmiştir. Bu çalışmaya benzer olarak Achour vd. [20] 1/3 oranında ince daneli dip tarama malzemesi (çoğunlukla silt) ve 2/3 oranında tarama kumu içeren bir karışım oluşturulmuş ve bu karışıma kuru ağırlıkça %6 çimento ve %1 oranında kireç katkısı uygulanmıştır. Yapılan iyileştirmeler sonuç elde edilen CBR değerleri, karışımın yol altyapısı temel tabakasında kullanılabileceği gösterilmiştir. Ayrıca kireç ve çimento katkısı uygulandıktan sonra yapılan sızma deneylerinde ağır metal, klorür ve sülfat oranlarında düşüş tespit edilmiştir. Nyugen vd. [21] %12 sönmemiş kireç, %6 sönmüş kireç, %6 Portland çimentosu ve %7,5 oranında F sınıfı uçucu kül katkılarının her birinin yüksek plastisiteli Neches Irmağı kilinin mühendislik özellikleri üzerindeki etkilerini incelemişler ve oluşturulan bu karışımların yol dolgusunda kullanım potansiyelini irdelemişlerdir. Yapılan çalışmada, dip tarama malzemesinin %4 oranında kireç katkısı uygulandığında zemin sınıfının yüksek plastisiteli kilden (CH) yüksek plastisiteli silte (MH) geçtiğini tespit edilmiştir. Yapılan Proctor deneyleri sonucunda, kireç ve uçucu kül ilavesinin optimum su muhtevalı değerini arttırdığı ancak Portland çimento katkısının bu değerde önemli bir değişikliğe neden olmadığı görülmüştür. En çok serbest basınç dayanımı artışı Portland çimentosu katkılı karışımda görülmüştür. Ayrıca, yapılan tüm iyileştirmeler sonucunda tüm karışımların gerekli kriterleri sağlayarak yol

dolgununda kullanılabileceği kanıtlanmıştır. Dermatas vd. [22] yaptıkları çalışmada diğer araştırmacılardan farklı olarak çimento ilavesinin etkileri yanında su muhtevası oranının etkilerini de incelemişlerdir. Araştırmalarında Hudson nehrinden taranan yüksek plastisiteli organik kil ile çalışmış, bu malzemeyi üç farklı su muhtevasında (%90, %130 ve %170) üç farklı oranda Tip I Portland çimentosu (%9, %11 ve %13) ile iyileştirmişlerdir. Yapılan serbest basınç dayanım testlerinde en büyük değerleri %90 su muhtevasına sahip %11 oranında çimento içeren karışımda tespit etmişlerdir. Gerçekleşen dayanım artışları sonucunda dip tarama malzemesinin yol dolgununda kullanımı uygun görülmüştür.

Bu çalışmada, önceki araştırmalar dikkate alınarak (I11G036) Deniz Dip Tarama Uygulamaları ve Tarama Malzemesinin Çevresel Yönetimi (DİPTAR isimli 3-yıllık) projesi kapsamında Marmara bölgesi liman alanlarından taranan dip tarama malzemesinin yol inşaatında faydalı kullanım potansiyeli araştırmıştır. Bu kapsamda, kuru halde bulunan tarama malzemesini iyileştirmek amacıyla kireç veya çimento katkısı uygulanarak, mühendis özellikleri üzerindeki etkisi incelenmiş ve iyileştirme uygulanan karışımların belirli yönetmeliklere uygun olarak yol altyapı tabakalarının hangisinde kullanılacağı tespit edilmiştir.

2. DENEYSEL ÇALIŞMA (EXPERIMENTAL STUDY)

2.1. Malzeme Özellikleri (Material Properties)

Bu çalışmada kullanılan zemin örneği Tuzla Marina bölgesinde kovalı tarak gemisi ile yapılan tarama çalışmaları sonucu elde edilmiştir. Numuneler kıyıda 800-900 m uzaklıkta 6,5 m su derinliğinden taranmıştır [2]. Tablo 1’de deniz tarama malzemesine (DTM) ait bazı özellikler özetlenmiştir. Zemin numunesi %87 oranında ince malzeme

içermektedir (Şekil 1). Malzemenin likit limiti %44 ve plastik limiti %20’dir. Plastisite indisi %24’e eşittir. Doğal haldeki numune üzerinde ASTM D1140 [23] ve ASTM D422’e [24] uygun olarak elek ve hidrometre analizi yapılmıştır. İnce daneli malzeme, Birleştirilmiş Zemin Sınıflandırma Sistemine ’ne göre CL (düşük plastisiteli kil) ve Karayolları Zemin Sınıflandırma (AASHTO) sistemine göre A-7 olarak sınıflandırılmıştır. Standart Proctor deneyi sonucunda, zemin numunesinin kuru birim hacim ağırlığı 17 kN/m³ ve optimum su muhtevası %20 olarak tespit edilmiştir.

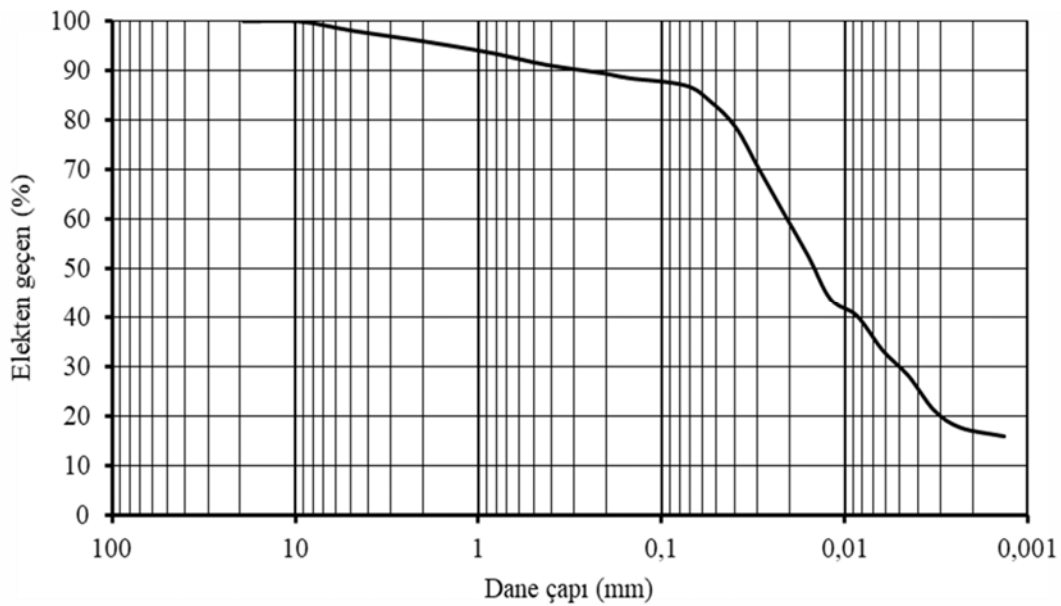
Tablo 1. Dip tarama malzemesine ait özellikler
(Properties of dredged material)

Parametre	Değer
Likit Limit (%)	44
Plastik Limit (%)	20
Plastisite İndisi (%)	24
200 No.lu elekten geçen (%)	87
Optimum su muhtevası (%)	20
Kuru Birim Hacim Ağırlığı (kN/m ³)	1

Yapılan kimyasal analizler sonucunda II. Sınıf Tehlikesiz Atık olarak sınıflandırılmıştır. Ayrıca Tablo 2’de malzemenin kimyasal analizi, SETRA yönergesinde yol inşasında kullanılacak tarama malzemeleri için belirlenen limit değerler göz önüne alınarak değerlendirilmiş, değerlerin limitlerin altında kaldığı ve çevresel bir sorun teşkil etmeyeceği tespit edilmiştir [2, 25].

2.2. Yöntem (Method)

Bu çalışmada, doğal haldeki deniz tarama malzemesinin mühendislik özelliklerini iyileştirmek amacıyla söndürülmüş kalker kireci ve Portland çimentosu kullanılmıştır. Bu



Şekil 1. Doğal durumdaki deniz tarama malzemesine ait dane boyutu dağılım eğrisi
(Grain size distribution curve of raw dredged material)

çalışmada, kireç ve Portland çimentosu ile iyileştirme ayrı şekilde uygulanmıştır. Stabilizasyon işleminde kullanılacak yaklaşık katkı yüzdesi, katkılı karışımın bir saat bekletilmesinden sonra yapılan Likit limit ve Plastik limit deneyleri ile değişik kireç oranlarında Plastisite indeksi (PI) değerlerinin bulunmasıyla elde edilebilir [26]. Kirecin ve çimentonun karışımlardaki kuru ağırlıkça oranları daha önceki çalışmalar ve mevcut yönetmelikler göz önüne alınarak, optimum oranını belirlemek için üç farklı katkı yüzdesi olarak belirlenmiştir ve deneyler bu karışımlar üzerinde gerçekleştirilmiştir.

Tablo 2. Dip tarama malzemesinin sızma değerleri ve SETRA limit değerleri [2, 25]
(Leaching potential of dredged material and SETRA limit values [2, 25])

Parametre	SETRA Limit Değer (mg/kg)	Numune Değer (mg/kg)
Arsenik (As)	2	0,052
Baryum (Ba)	100	0,489
Kadmiyum (Cd)	1	0,0012
Krom (Cr)	10	0,0952
Bakır (Cu)	50	0,119
Civa (Hg)	0,2	<0,0013
Molibden (Mo)	10	0,49
Nikel (Ni)	10	0,0569
Kurşun (Pb)	10	0,047
Antimon (Sb)	0,7	0,0709
Selenyum (Se)	0,5	0,0178
Çinko (Zn)	150	0,182
Klorür (Cl ⁻)	15000	671,4
Florür (F ⁻)	150	10,5
Sülfat (SO ₄ ⁻)	20000	985
BTEX	6	<0,5
PCBler	1	<0,1

Bell'e [27] göre optimum dayanım kazanımı %4-6 kireç katkısı ile gerçekleşmektedir. Bunun yanında NLA [28], yol alt temel ve temeli için yapılan iyileştirme çalışmaları için kireç katkı oranının %2 ile %6 arasında olması gerektiğini ifade etmiştir. Çimento ile iyileştirmede ise, A7 zemin sınıfı için gerekli olan çimento oranının kuru ağırlıkça %10-15 arasında olmalıdır [29]. Bunun yanında, Okonkwo vd. [30] %5 ile %6 oranındaki çimento katkısının temel ve alttemel için gerekli dayanımı sağladığını göstermişlerdir. Tüm bu bilgileri göz önüne alınarak belirlenen kireç ve çimento katkı oranları Tablo 3'te verilmiştir.

Tablo 3. Deneyde kullanılacak karışımların kireç ve çimento için kuru ağırlıkça katkı oranları
(Determined lime and cement contents for treatment)

Zemin Numunesi	Kuru Ağırlıkça Kireç Oranı (%)			Kuru Ağırlıkça Çimento Oranı (%)		
DTM	2	4	6	5	10	15

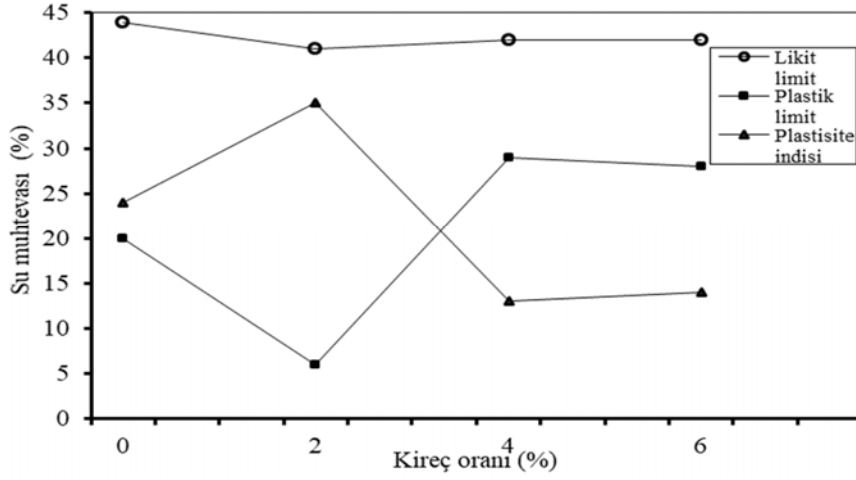
Karayolları Teknik Şartnamesi [26] ve USACE (TM 5-822-14/AFJMAN 32-1019) [31] yönetmeliğine göre dolgularda, üst yapı tabanında ve alt temelde kullanılacak malzemeler için doğal halde bulunan zemin ve karışım numuneleri

üzerinde kıvam limit deneyleri, standart Proctor deneyi ve serbest basınç deneyleri uygulanması gerekmektedir. Bu nedenle, yapılan çalışmada hazırlanan tüm karışımlar ve doğal haldeki numune üzerinde likit ve plastik limit deneyleri (ASTM D4318) [32], Harvard minyatür kompaksiyon deneyi, serbest basınç deneyi (ASTM D2166) [33] gerçekleştirilmiştir. Çalışmada, zemin numunesin miktarı göz önüne alınarak daha az zaman ve malzeme gerektirdiği için Harvard minyatür kompaksiyon deneyi yapılmıştır. Bu deneyde, Harvard minyatür kompaksiyon kalıp hacmi 196,25 cm³, tokmak ağırlığı 1095,9 gr ve tokmak düşüş yüksekliği 20 cm'dir. İstenilen özellikte numunenin hazırlanması için gerekli olan vuruş sayısı standart kompaksiyon enerjisi göz önüne alınarak çeşitli vuruş sayıları deneme yöntemiyle 18 vuruş olarak belirlenmiştir. Serbest basınç deneyi için numuneler optimum su muhtevasında hazırlanmıştır. Deneylerden önce, 50 mm çapında ve 100 mm boyundaki numuneler 1, 7 ve 28 gün kür süresi için kapalı kaplarda, streç filmle sarılı şekilde nemli bir ortamda muhafaza edilmiştir.

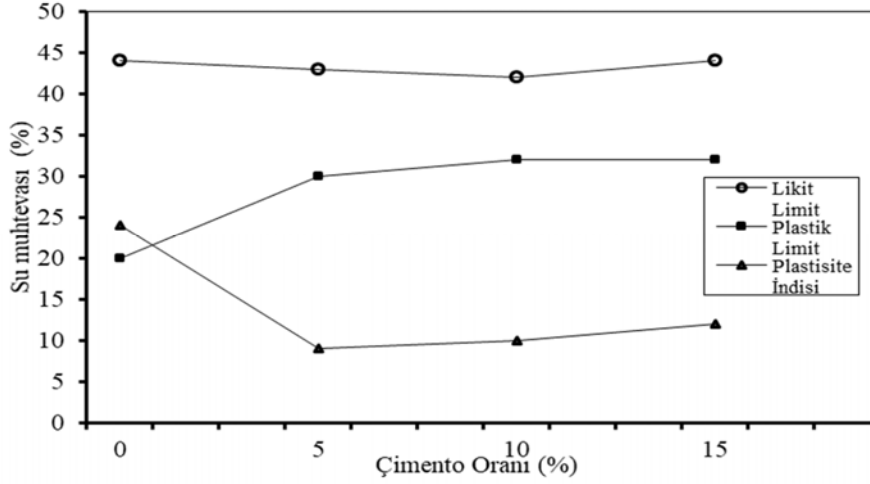
3. SONUÇLAR VE TARTIŞMALAR (RESULTS AND DISCUSSIONS)

Karayolu dolgularında, üst yapı tabanında ve alttemelde kullanılacak katkı karışımli deniz tarama malzemesi için katkı malzemesinin optimum oranını bulmak amacıyla doğal haldeki deniz tarama malzemesi numunesi, 3 farklı oranda kireç veya çimento katkısı içeren karışımlar üzerinde likit ve plastik limit deneyleri, minyatür kompaksiyon deneyi ve serbest basınç deneyi uygulanmıştır.

Şekil 2 ve Şekil 3'te sırasıyla kireç ve çimento katkısının, zemin numunesinin kıvam limitleri ile plastisite indisi üzerindeki etkileri sunulmuştur. İlk olarak kuru ağırlıkça %2 oranında kireç eklenmesi ile likit limitte azalma görülmekte, daha sonra artan kireç katkısı ile belirli bir değişim tespit edilememiştir. Osula'ya [34] göre artan kireç katkısı ile likit limitte görülen düşüş, kil parçacıkları ve kireç arasındaki katyon değişimi ve topaklanma sonucunda kil yüzdesinin ve dane yüzey alanın azalmasının sonucudur. %2 oranında kireç katkısı, zeminin plastik limitinde ani bir düşüşe neden olmuştur. Deney sonucunun doğruluğundan emin olmak için tekrarlanmış ve hepsinde benzer sonuçlar elde edilmiştir. Çimento katkısı uygulandığında, düşük çimento oranlarında likit limit azalmakta; yüksek çimento ilavesinde likit limit başlangıç değerine ulaşmaktadır. Çimento katkısının plastik limit üzerindeki etkisi, kireç ile iyileştirme ile benzer olarak plastik limiti artırma yönündedir. Artan plastik limit zeminin plastik özelliklerinde bir azalmaya neden olur ve bu özellik değişiminin temel olarak kil mineralini çevreleyen su filminin değişmesinden kaynaklandığı düşünülmektedir [35]. Plastik limitte artış düşük çimento oranlarında daha belirginken, daha yüksek çimento oranlarında bu artış düşmektedir. Bu sonuçlar, Drujif'in [36] sonuçlarıyla paralellik göstermektedir. Plastik limit, belirli bir noktada durmadan önce çimento içeriği ile artar. Bu nokta, kil-çimento topaklarının yüzeyinde oluşan çimento birleşimlerinin birikmeye başlamasıyla ilişkilidir. Her iki



Şekil 2. Kireç katkısının deniz tarama malzemesinin kıvam limitleri üzerindeki etkisi
(The effect of lime stabilization on consistency limits of dredged material)



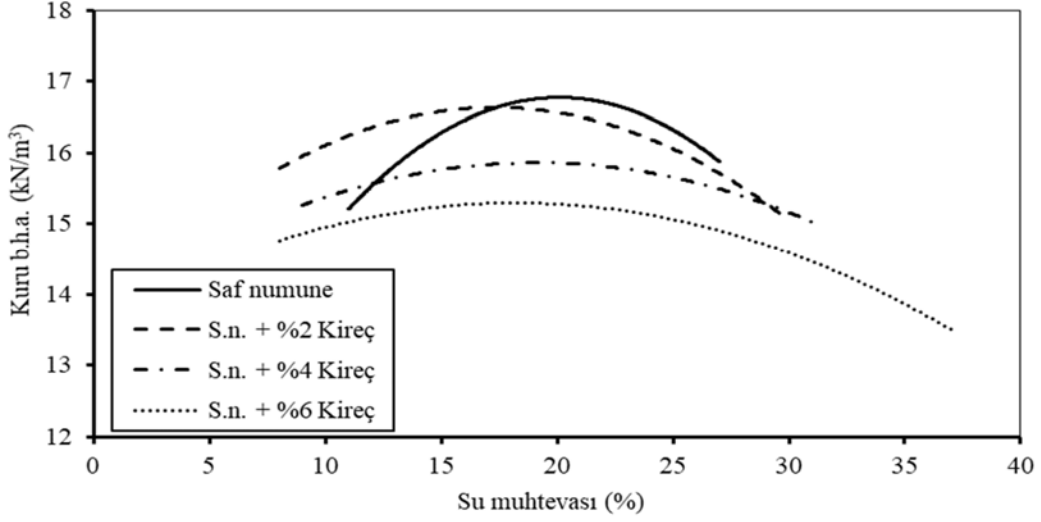
Şekil 3. Çimento katkısının deniz tarama malzemesinin kıvam limitleri üzerindeki etkisi
(The effect of cement stabilization on consistency limits of dredged material)

katkı uygulamasında likit limitteki azalış ve plastik limit artışa bağlı olarak, artan katkı oranıyla plastisite indisi azalmıştır. Plastisite indisi, en düşük değerine uygulanan karışımlarda %4 kireç katkısı ve %5 çimento katkısı ile ulaştığı tespit edilmiştir.

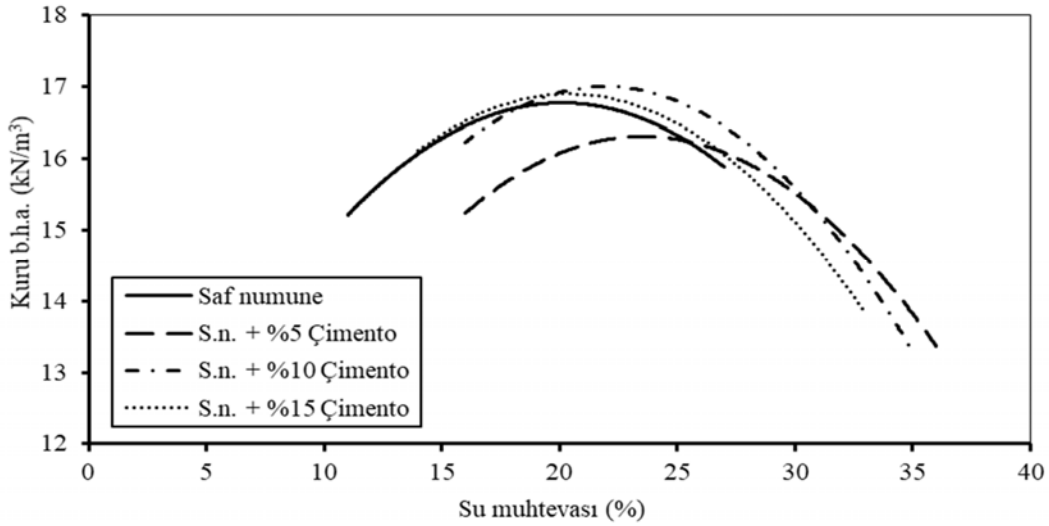
Doğal haldeki ve belirli oranlarda kireç katkısı uygulanmış zemin numunelerinin kompaksiyon eğrileri Şekil 4'te verilmiştir. Artan kireç oranı ile kompaksiyon eğrisi düzleşmiş ve böylece uygulanan kireç katkısı sayesinde, hedeflenen maksimum kuru birim hacim ağırlığının çok daha geniş bir su muhtevası aralığında elde edilebilir hale gelmiştir [37]. Artan kireç oranı ile maksimum kuru birim hacim ağırlık ve optimum su muhtevası değerleri azalmıştır. Kuru birim hacim ağırlığındaki azalmanın nedeni, kireç ve kil girdiği kimyasal tepkimeler sonucu kil parçacıklarının topaklanması nedeniyle topaklaşmış ve çimentolaşmış parçacıkların daha çok hacim kaplamasıdır [38]. Çimento katkısının deniz tarama malzemesinin kompaksiyon karakteristikleri üzerindeki etkisi Şekil 5'de sunulmuştur.

Çimento oranı %0'dan %5'e çıktığında, maksimum kuru birim hacim ağırlığı 17 kN/m³'ten 16,3 kN/m³'e düşmüştür. Ancak çimento oranı %10 veya %15'e çıktığında, maksimum kuru birim hacim ağırlığı artarak başlangıç değerine ulaşmıştır.

Serbest basınç deneyi hem iyileştirme uygulanmamış deniz tarama malzemesine hem de farklı oranlarda kireç veya çimento katkısı uygulanmış numuneler üzerinde 1,7 ve 28 günlük kür sürelerinden sonra uygulanmıştır. Şekil 6'da görüldüğü üzere tüm numunelerin serbest basınç dayanımı artan kür süresi ile artmıştır. En fazla dayanım artışı 7 gün kürde bekleyen numunelerde görülmüştür. Kireç ile yapılan iyileştirme sonucunda, 1 günlük kür koşullarında maksimum serbest basınç dayanımı (317 kPa) %6 oranında kireç katkısı ile ulaşırken; 7 günlük ve 28 günlük kür koşullarında maksimum değerine (459 kPa ve 527 kPa) %4 oranında ulaşmıştır. Çimento katkısı ile yapılan uygulamada ise 1 günlük kür koşullarında maksimum serbest basınç değeri 328 kPa olarak %5 çimento katkısı ile, 7 ve 28 günlük



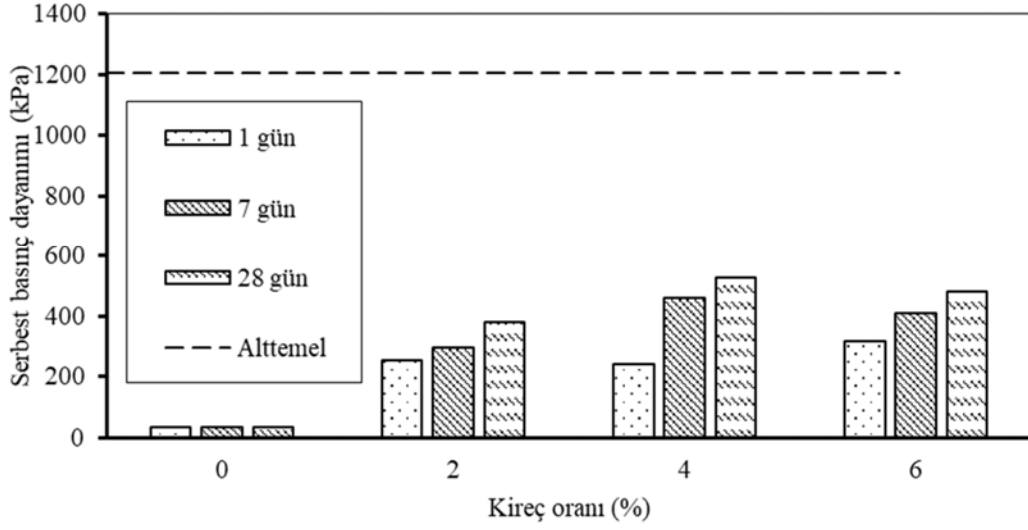
Şekil 4. Farklı oranlarda kireç katkısının kompaksiyon eğrisi üzerindeki etkisi
(The effect of lime stabilization on the compaction curves)



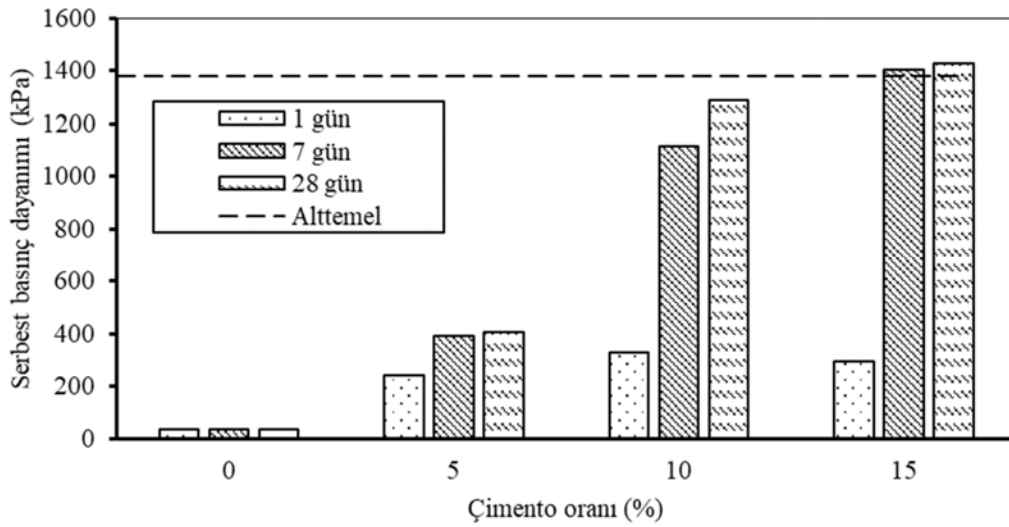
Şekil 5. Farklı oranlarda çimento katkısının kompaksiyon eğrisi üzerindeki etkisi
(The effect of cement stabilization on the compaction curves)

kür koşullarında ise maksimum serbest basınç değeri sırasıyla 1407 ve 1430 kPa olarak %15 çimento katkısının uygulanması ile elde edilmiştir. Karayolu teknik şartnamesinde [26], kireç ile iyileştirme uygulanan malzemelerin dolgularda, üst yapı tabanında ve alttemelde kullanımında aranılacak kriterler Tablo 4'te sunulmuştur. Karayolları teknik şartnamesinde [26] alttemel ve dolgu tabakaları için serbest basınç dayanım kriteri belirtilmemiş sadece likit limit ve plastisite indisi değerleri belirtilmiştir. Kireç iyileştirilmesi uygulanmış zeminlerin sağlaması gereken minimum serbest basınç dayanım değerleri için USACE'nin hazırladığı "Soil Stabilization for Pavements" yönetmeliğinden (TM 5-822-14/AFJMAN 32-1019) [31] yararlanılmıştır. Bu iki yönetmeliğe göre belirtilen kriterleri sağlayan minimum kireç oranı optimum kireç oranı seçilmiştir. Karayolları teknik şartnamesine göre likit limit ve plastisite indisi değerleri değişimi göz önüne alındığında,

iyileştirme uygulanan malzeme sadece yol altyapı tabakalarında dolgu için uygun olabileceği gözlemlenmiş ama elde edilen likit limit değerinin belirlenen maksimum değerden %2 daha büyük olduğu belirtilmelidir. USACE yönetmeliğine göre kireç katkılı karışımlarından hiçbiri yeterli serbest basınç dayanım değerini sağlayamamıştır. Çimento ile stabilizasyonda Karayolları teknik şartnamesinde [26] çimento ile stabilizasyon için herhangi bir uygunluk şartı belirlenmemiş, bu nedenle optimum çimento oranının bulunmasında sadece USACE' hazırladığı yönetmelikten (TM 5-822-14/AFJMAN 32-1019) [31] yararlanılmıştır. Burada rijit yolların alttemel tabakasında kullanılacak çimento ile iyileştirilmiş malzemelerden istenen minimum serbest basınç dayanımı (7 günlük) 1379 kPa'dır. Şekil 7'de görüldüğü üzere, bu kriteri sağlayan 7 günlük serbest basınç dayanımı 1407 kPa olan kuru ağırlıkça %15 oranında çimento içeren karışımdır.



Şekil 6. Kireç katkısının serbest basınç dayanımı üzerindeki etkisi (The effect of lime stabilization on unconfined compression strength)



Şekil 7. Çimento katkısının serbest basınç dayanımı üzerindeki etkisi
(The effect of cement stabilization on unconfined compression strength)

Tablo 4. Kireç stabilizasyonunda dolgu, üst yapı tabanı ve alttemel uygulama kriterleri [26]
(Filling, superstructure base and subbase application criteria in lime stabilization)

Yol Altyapı Tabakaları	Likit Limit (%)	Plastisite İndisi (%)	Serbest Basınç Dayanımı (kPa)
Üstyapı Tabanı	<30	<10	500
Alttemel	<25	<6	-
Dolgular	<40	<20	-

4. SİMGELER (SYMBOLS)

Kısaltmalar (Abbreviations)

ASTM : American Society for Testing and Materials
DTM : Dip tarama malzemesi

NLA : National Lime Association
SETRA : Service d'études sur les transports, les routes et leurs aménagements
S.n. : Saf Numune
UCS : Unconfined compression strength
USACE : United States Army Corps of Engineers

5. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Her yıl çeşitli amaçlarla yapılan tarama çalışmaları sonucunda denizlerden, nehirlerden büyük miktarlarda malzeme çıkarılmakta ve bu malzemelerinin karada ve denizlerde bertaraf edilmesi farklı sorunlara neden olmaktadır. Bu nedenle bu çalışmada, zayıf mühendislik özelliklerine sahip deniz tarama malzemelerinin kireç veya çimento iyileştirmesi uygulanarak yol altyapı tabakalarında potansiyel yeniden kullanımı araştırılmıştır. Numune ile 3 farklı katkı oranında ayrı ayrı kireç ve çimento ilavesi ile farklı karışımlar oluşturulmuş, farklı katkı oranlarının numunenin mühendislik özellikleri üzerindeki etkisi incelenmiş ve yol altyapısının hangi tabakalarında hangi optimum katkı oranı ile kullanılabilceği araştırılmıştır. Bu çalışmada aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

Uygulanan kireç ve çimento katkısı ile plastik limit değerleri artmıştır ve buna bağlı olarak plastisite indisleri artarak plastik davranış azalmaktadır. Artan kireç oranı ile kompaksiyon eğrisi düzleşmiş ve böylece uygulanan kireç katkısı sayesinde, hedeflenen maksimum kuru birim hacim ağırlığının çok daha geniş bir su muhtevası aralığında elde edilebilir olmuştur. Karışımların serbest basınç dayanımları artan katkı oranına ve kür süresine bağlı olarak önemli artışlar göstermiştir. En büyük 7 günlük serbest basınç dayanım değerlerine kireç ile stabilizasyonda %4 oranında ve çimento ile stabilizasyonda %15 oranında ulaşılmıştır. Mevcut yönetmelikler ve yönergelerin iyileştirme uygulanan malzemelerin yol altyapısı tabakalarında kullanılmasını için belirlediği minimum kriterler göz önüne alınarak optimum katkı oranları belirlenmiştir. Çalışmada kullanılan dip tarama malzemesinin, yol altyapısında alttemel tabakasında faydalı kullanımı için hazırlanan karışımlarda optimum kireç oranı %4 (Karayolu teknik şartnamesi) ve optimum çimento oranı %15 (USACE yönetmelik) olarak belirlenmiştir. Yapılan deneyler sonucunda deniz tarama malzemesinin, kireç ve çimento katkısı ile mühendislik özelliklerinin iyileştirilebileceği ve yol altyapısı alttemel tabakasında yeniden kullanılabilceği gösterilmiştir.

TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGMENT)

Deneylerde kullanılan numunelerin temin edilmesini sağladıkları için Tübitak DİPTAR projesi üyelerine teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Environmental Protection Agency (EPA), European Waste Catalogue and Hazardous Waste List, County Wexford, Ireland, 2002.
2. Başar H.M., Güzel B., Erdoğan P.Ö., Tolun L., Determination of the environmental effects of Turkey's marine dredged materials prior to beneficial use: Commercial ports & fishery harbours, Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University, 32 (4), 1063-1076, 2017.
3. OSPAR Commission, OSPAR annual report on dumping and placement of wastes or other matter at sea in 2015, Environmental Impacts of Human Activities Series, 8, 2017.
4. Bray R.N., Bates A.D. ve Land J.M., Dredging a Handbook for Engineers, Butterworth-Heinemann, Oxford, BK, 1996.
5. U.S. Army Corps of Engineers ve Environmental Protection Agency (EPA), Evaluating Environmental Effects of Dredged Material Management Alternatives - A Technical Framework, Washington, DC, A.B.D., 2004.
6. International Maritime Organization (IMO), The Convention on the Prevention of Marine Pollution by Dumping of Wastes and Other Matter, London Convention, London, United Kingdom, 1972.
7. Aouad G., Laboudigue A., Gineys N., Abriak N. E., Dredged sediments used as novel supply of raw material to produce Portland cement clinker, Cement & Concrete Composites, 34 (6), 788-793, 2012.
8. Chikouche M. A., Ghorbel E., Bibi M., The possibility of using dredging sludge in manufacturing cements: Optimization of heat treatment cycle and ratio replacement, Constr. Build. Mater., 106, 330-341, 2016.
9. Benzerzour M., Amar M., Abriak N.E., New experimental approach of the reuse of dredged sediments in a cement matrix by physical and heat treatment, Constr. Build. Mater., 140, 432-444, 2017.
10. Peng X., Zhou Y., Jia R., Wang W., Wu Y., Preparation of non-sintered lightweight aggregates from dredged sediments and modification of their properties, Constr. Build. Mater., 132, 9–20, 2017.
11. Lim Y.C., Lin S.K., Ju Y.R., Wu C.H., Lin Y.L., Chen C.W., Dong C.D., Reutilization of dredged harbor sediment and steel slag by sintering as lightweight aggregate, Process Safety and Environmental Protection, 126, 287-296, 2019.
12. Peng Y., Peng X., Yang M., Shi H., Wang W., Tang X., Wu Y., The performances of the baking-free bricks of non-sintered wrap-shell lightweight aggregates from dredged sediments, Constr. Build. Mater., 238, 117587, 2020.
13. Manap N., Polis S., Sandirasegaran K., Masrom M.A.N., Chen G.K., Yahya M.Y., Strength of concrete made from dredged sediments, Jurnal Teknologi (Sciences & Engineering), 78 (7–3), 111–116, 2016.
14. Safer O., Belas N., Belaribi O., Belguesmia K., Bouhamou N.E., Mebrouki A., Valorization of Dredged Sediments as a Component of Vibrated Concrete: Durability of These Concretes Against Sulfuric Acid Attack, Int. J. Concr. Struct. Mater., 12, 44, 2018.
15. Yeboah N.N., Mezencevova A., Phillips J.S., Burns S.E., Kurtis K.E., Investigating the Potential for Producing Fired Bricks from Savannah Harbor Dredged Sediment, Geo-Frontiers 2011, 1245-1254, 2011.
16. Slimanou H., Quesada D.E., Kherbache S., Bouzidi N., Tahakourt A.K., Harbor Dredged Sediment as raw material in fired clay brick production: Characterization

- and properties, *Journal of Building Engineering*, 28, 101085, 2020.
17. Pelitli, V., Başar, M., Deniz dip tarama malzemelerinin susuzlaştırma tekniklerinin incelenmesi, *Çevre Bilim ve Teknoloji*, 1 (2), 63-88, 2016.
 18. Wang D.X., Abriak N.E., Zentar R., Xu W., Solidification/stabilization of dredged marine sediments for road construction, *Environ. Technol.*, 33 (1), 95-101, 2012.
 19. Banoune B., Melbouci B., Rosquoët F., Langlet T., Treatment of river sediments by hydraulic binders for valorization in road construction, *Bull. Eng. Geol. Environ.*, 75 (4), 1505-1517, 2016.
 20. Achour R., Abriak N., Zentar R., Rivard P., Gregoire P., Valorization of unauthorized sea disposal dredged sediments as a road foundation material, *Environ. Technol.*, 35 (16), 1997-2007, 2014.
 21. Nguyen T.T. M., Rabbanifar S., Brake N.A., Qian Q., Kibodeaux K., Crochet H.E., ... Jao M., Stabilization of Silty Clayey Dredged Material, *J. Mater. Civ. Eng.*, 30 (9), 04018199, 2018.
 22. Dermatas D., Dutko P., Balorda-Barone J., Moon D.H., Geotechnical Properties of Cement Treated Dredged Sediment to be Used as Transportation Fill, Third Specialty Conference on Dredging and Dredged Material Disposal, Florida-A.B.D., 5-8 Mayıs, 2002.
 23. 23.ASTM D1140 – 17, Standard Test Methods for Determining the Amount of Material Finer than 75-µm (No. 200) Sieve in Soils by Washing, West Conshohocken, PA, A.B.D., 2017.
 24. ASTM D422 – 63, Standard Test Method for Particle-Size Analysis of Soils, West Conshohocken, PA, A.B.D., 2014.
 25. Sednet, Beneficial use of dredged sediments in road engineering-Methodological guide, EU, 2019.
 26. Karayolu Teknik Şartnamesi (KTŞ), Kireç ile Zemin Stabilizasyonu, Karayolları Genel Müdürlüğü, Ankara, Türkiye, 2013.
 27. Bell F.G., Lime stabilization of clay minerals and soils, *Eng. Geol.*, 42, 223-237, 1996.
 28. National Lime Association. Lime Treated Soil Construction Manual | Lime Stabilization and Modification. http://www.graymont.com/sites/default/files/pdf/tech_paper/lime_treated_soil_construction_manual.pdf. Yayın tarihi Ocak, 2004. Erişim tarihi Aralık 1, 2019.
 29. National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine, Recommended Practice for Stabilization of Subgrade Soils and Base Materials, The National Academies Press, Washington, DC, A.B.D., 2009.
 30. Okonkwo V.O., Nwokike V.M., Soil-cement stabilization for road pavement using soils obtained from Agu-Awka in Anambra State, *Journal of Multidisciplinary Engineering Science and Technology*, 2 (10), 2668-2670, 2015.
 31. U.S. Army Corps of Engineers, Departments of the Army, Navy, and Air Force, TM 5-822-14/AFJMAN 32-1019, Soil Stabilization for Pavements, Washington, DC, A.B.D., 1994.
 32. ASTM D4318, Standard Test Methods for Liquid Limit, Plastic Limit, and Plasticity Index of Soils, ASTM, Pennsylvania, 2010.
 33. ASTM D2166/D2166M-16, Standard Test Method for Unconfined Compressive Strength of Cohesive Soil, West Conshohocken, PA, A.B.D.
 34. Osula, D.O.A, Lime modification of problem laterite, *Eng. Geol.*, 30, 141 – 154, 1991.
 35. Wang D.X., Abriak N.E., Zentar R., XU W., Solidification/stabilization of dredged marine sediments for road construction, *Environ. Technol.*, 33 (1), 95-101, 2012.
 36. Druif B., The use of additives to stabilise dredged material, Master Tezi, Delft University of Technology, Delft, 2016.
 37. Mir B.A., Some studies on geotechnical characterization of dredged soil for sustainable development of Dal Lake and environmental restoration, *International Journal of Technical Research and Applications*, 12, 04-09, 2015.
 38. Mohammad S., Akram W., Mirza S. A., Geotechnical Characterization of Dredged Material and Effect of Lime Stabilisation on its Strength Characteristics, *Applied Mechanics and Materials*, 877, 289–293, 2018.