


## DENİZ DİBİ TARAMA MALZEMELERİNİN YOL DOLGUSU OLARAK KULLANIMI

Ümit KARADOĞAN   
Gökhan ÇEVİKBİLEN   
Berrak TEYMÜR 

Alınma: 24.01.2020; düzeltme: 10.05.2020; kabul: 23.05.2020

**Öz:** Bu çalışmada, Türkiye’de gerçekleştirilen deniz tabanı tarama faaliyetlerinden elde edilen malzemelerin karayollarında dolgu malzemesi olarak kullanılabilmesi gösterilmektedir. Ülkemizi çevreleyen denizlerden seçilen 8 adet liman bölgesinden alınan deniz dibi tarama malzemelerinin (DTM) endeks ve mühendislik özellikleri bulunmuştur. Malzemelerin granülometri eğrileri ve Atterberg kıvam limitleri belirlenmiştir. Yol dolgu malzemesi olarak kullanımlarına yönelik olarak Standart Proktor deneyi ve aynı sıkıştırma enerjisi ile hazırlanan her numune üzerinde yaş CBR deneyi yapılmıştır. Bulunan parametreler ışığında, deniz dibi tarama malzemelerinin Karayolları Teknik Şartnamesinde verilen limit değerlere göre dolgu malzemesi olarak uygunlukları belirlenmiştir. Mukavemet deneyleri ile kayma mukavemet parametreleri de belirlenen sıkıştırılmış malzemelerin dolgu olarak inşa edilebilirlikleri Karayolu dolgularında genellikle uygulanan yüksekliğe bağlı şev eğimleri için PLAXIS ve Geostudio programı kullanılarak kontrol edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Deniz dibi tarama malzemesi, karayolu dolgusu, PLAXIS, Geostudio.

### Use of Dredge Materials as Road Embankment

**Abstract:** In this study, it has been shown that marine dredged materials (DM), obtained from sea floor screening activities in Turkey, can be used as fill materials on highways. Index and engineering properties of the bottom dredged materials were found. Grain size distribution and plasticity of the materials were determined. Standard Proctor tests were performed to determine the values of maximum dry unit weight and optimum water content to assess the usage of the material as a road fill. The results of the swelling potentials and CBR tests of the samples prepared by compaction in standard Proctor energy were found. In the light of this data, dredged materials are assessed according to the criteria given in Technical Specifications of Republic of Turkey General Directorate of Highways to determine their suitability as a road fill. The shear strength parameters of the materials determined by strength tests were used in PLAXIS and Geostudio programs to determine whether the slope of the fill was safe when the dredged materials were used.

**Keywords:** Marine dredged materials, Fill material on highways, PLAXIS, Geostudio.

## 1. GİRİŞ

Limanlar, üç tarafı denizlerle çevrili olan ve toplam kıyı şeridi uzunluğu yaklaşık 8300 km olan ülkemizde deniz ulaşımı ve ülke ekonomisi açısından önemli bir yere sahiptir. Son dönemlerde ortaya çıkan kapasite artış ihtiyaçları limanlarda gerçekleştirilen inşa, yenileme faaliyetleri sırasında deniz dibindeki zeminin taranması ihtiyacını da zorunlu kılmaktadır. Yapılan bu tarama faaliyetleri sonucunda tonlarca deniz dibi tarama malzemesi (DTM) ortaya çıkmaktadır. Ülkemizde tonlarca deniz dibi tarama malzemesi çevre sağlığı açısından kirliliğine bakılmaksızın tarama sahasına yakın bir bölgede yine denize boşaltılması günümüze kadar en çok tercih edilen metot olarak görülmüştür. Ancak, bu seçenek deniz ekosistemi üzerinde ciddi

zararlara yol açmaktadır (Sheehan ve diğ., 2012). Son yıllarda çevresel duyarlılığın artmasıyla birçok gelişmiş ülkede bu tarama malzemelerinin insan ve çevre sağlığı üzerindeki etkileri değerlendirilmekte, yüksek miktarda zararlı madde içerenler karada bertaraf edilmektedir.

Pek çok uluslararası bilim insanı deniz/nehir sedimentlerini, sınırlı miktarda bulunan doğal kaynakların kullanılmasını azaltılması ve deniz ekosisteminin daha az zarar görmesi için zararsız olan tarama malzemelerin faydalı kullanım alanlarını araştırmaktadır. Bu kapsamda, sedimentlerin tek başına kullanılması (Tang ve diğ., 2001, Wang, 2009), cam tozu (Tang, 2014), deponi sahalar için günlük ara örtü ve geçirimsiz tabaka imalatlarında (Krause ve diğ., 2000, Riordan ve diğ., 2008), kıyı koruma gibi mühendislik yapılarında kullanımı (Cai ve diğ., 2017) ile ilgili çalışmalar mevcuttur. Japonya’da deniz içerisinde oluşturulan havalimanı inşaatlarında pist dolgusu olarak çimento ile iyileştirilen tarama malzemeleri kullanılmaktadır (DPC, 2009).

Yılda yaklaşık olarak 3 milyon m<sup>3</sup> dip tarama malzemesi taranan ülkemizde, malzemelerinin faydalı kullanımı için önemli çalışmalar bulunmaktadır. Bu çalışmaların başında TÜBİTAK-MAM bünyesinde deniz dibi tarama ve boşaltım faaliyetlerini ulusal ve bilimsel bazda yönetimi için 01.10.2013- 01.10.2016 tarihleri arasında tamamlanan “(T1007) (111G036) Deniz Dibi Tarama Uygulamaları ve Tarama Malzemesinin Çevresel Yönetimi (DİPTAR)” isimli proje sayılabilir. Proje çerçevesinde Akdeniz, Ege, Marmara ve Karadeniz’de başta limanlar olmak üzere farklı faaliyet ve kirletici etkisindeki toplam 16 pilot bölge için çalışmalar yürütülmüştür. (TÜBİTAK MAM, 2016). Proje çıktısı olarak üretilmiş yayınlardan tarama malzemelerinin faydalı kullanım alternatiflerinin değerlendirildiği çalışmalardan bazıları aşağıda sıralanmıştır. Başar ve diğ. (2017) tarama malzemelerinin çevresel etkilerini değerlendirdikleri çalışmalarında kullandıkları malzemelerin “Atık Yönetimi Yönetmeliği (AYY) (02.04.2015-R.G.29314)”ye göre “tehlikesiz atık (atık kodu 17 05 06)” sınıfında olduğunu göstermiştir. Katı atık depolama tesislerinde ara örtü ve taban geçirimsizlik tabakası olarak tarama malzemelerinin kullanımı konularında geoteknik açıdan değerlendirilmeler de bulunmaktadır (Cevikbilen ve diğ. 2015b). Ayrıca tarama malzemelerinin hazır beton imalatlarında ince agrega olarak (Özer- Erdoğan ve diğ., 2016) ve çevre düzenlemelerinde iyileştirilmiş yüzey toprağı olarak kullanımları (Güzel ve diğ. 2017) da araştırılmıştır. Cevikbilen ve diğ. (2015a) deniz dibi tarama malzemelerin Karayolları Teknik Şartnamesine (2013) göre malzeme olarak karayolu yol dolgusu için uygunluklarını değerlendirmiştir. Ancak, çalışmada tarama malzemeleri ile teşkil edilecek herhangi bir dolgu kesiti için stabilite tahkiklerine bakılmamıştır.

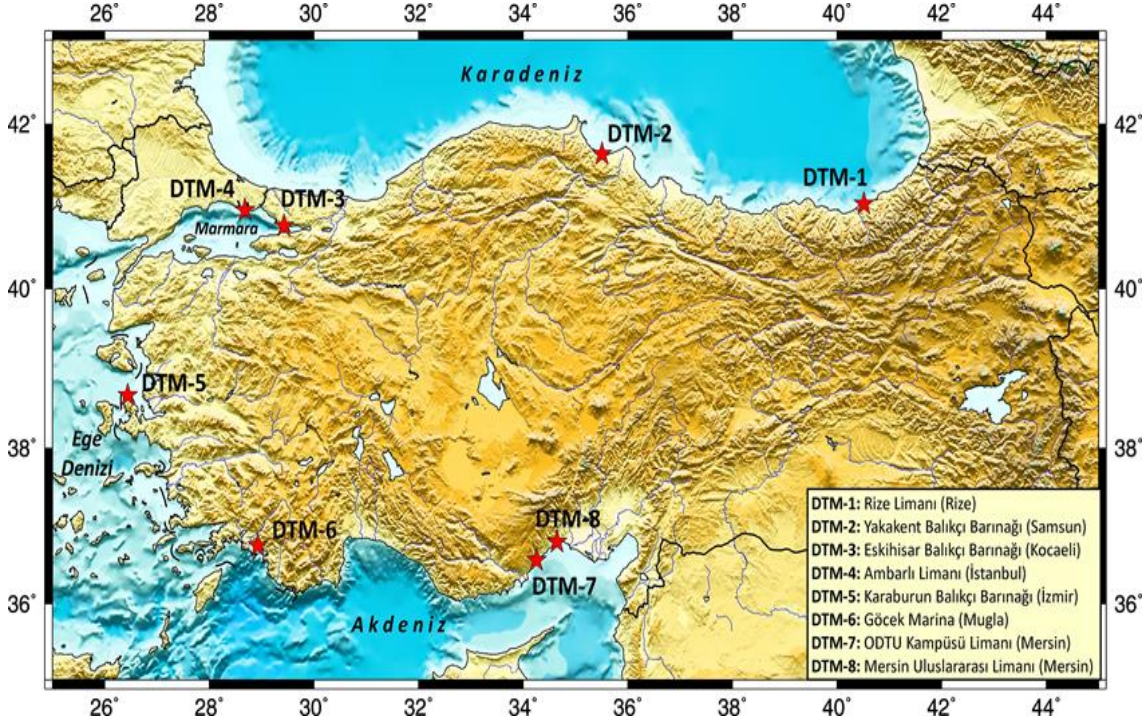
Bu çalışmadaki temel amaç, DİPTAR proje kapsamında temin edilen ve çevresel analizlerinde “II. Sınıf Tehlikesiz Atık” sınıfında yer aldıkları belirlenen (TÜBİTAK MAM, 2016) 8 farklı lokasyondan temin edilen malzemeler ile teşkil edilecek çeşitli karayolu dolgu tip kesitlerini modelleyerek gerekli stabilite analiz sonuçlarını değerlendirmektir. Bu amaçla, seçilen tarama malzemelerinin öncelikle endeks özellikleri ile zemin sınıfları belirlenmiştir. Standart Proktor deneyi ve yaş CBR deneyleri yapılmıştır. Elde edilen veriler ışığında Karayolları Teknik Şartnamesine göre dolgu malzemesi kullanılabilirliği değerlendirilmiştir. Daha sonra direk kesme deneyi yapılarak sıkıştırılmış tarama malzemelerinin kayma mukavemeti parametreleri belirlenmiştir. İlgili şartnameler uyarınca dolgu olarak uygunlukları belirlenen 2 adet tarama malzemesiyle oluşturulacak farklı dolgu yükseklik ve şev eğimleri için stabilite tahkikleri sonlu elemanlar bilgisayar yazılım programı olan iki boyutlu PLAXIS ve Geostudio programı kullanılarak yapılmıştır. Bu ve benzeri araştırmaların artmasıyla deniz dibi tarama malzemelerin faydalı kullanım alanlarının belirlenmesi, ülke ekonomisine büyük faydalar sağlayacaktır.

## 2. MALZEME ÖZELLİKLERİ VE METOT

Bu çalışmada, DİPTAR projesi kapsamında yer alan Rize Limanı, Samsun Alaçam Yakakent Balıkçı Barınağı, Eskihisar Balıkçı Barınağı, Ambarlı Limanı, İzmir Karaburun Balıkçı Barınağı, Mersin Erdemli ODTÜ Kampüsü Limanı, Mersin Uluslararası Limanı, Muğla Göcek Marina' pilot bölgelerinden tarama sonucu elde edilen deniz dibi tarama malzemeleri kullanılmıştır. Malzemelerin, geoteknik mühendisliği kapsamında değerlendirilmeleri yapılmıştır.

## 2.1. Malzeme Özellikleri

Çalışmada, DİPTAR projesi kapsamında yapılan tarama faaliyetleri sonucunda temin edilen deniz dibi tarama malzemeleri (DTM) kullanılmıştır. Bu tarama malzemeleri ülkemizi çevreleyen 4 denizde bulunan 3 adet liman, 4 adet balıkçı barınağı ve 1 adet marınadan alınmıştır. Tarama malzemelerin temin edildiği bölgelerin yerleri Şekil 1’de gösterilmiş, konum bilgileri ise Tablo 1’de verilmiştir. Tarama faaliyetleri kovalı ve kepçeli tarak gemileriyle gerçekleştirilmiştir. Alınan tarama malzemeleri havada kurutulduktan sonra İstanbul Teknik Üniversitesi Geoteknik Laboratuvarları’nda uygun şartlarda korunmuştur.



Şekil 1:  
Deniz dibi malzemelerinin temin edildiği bölgelerin yerleri

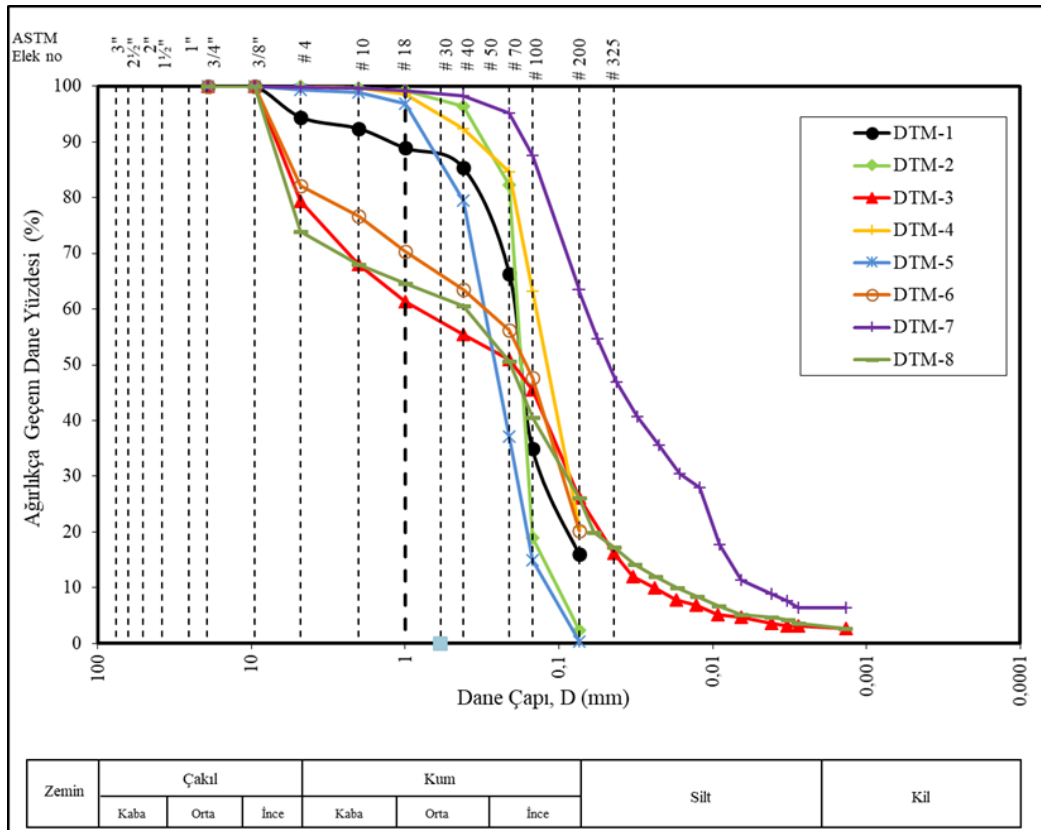
Tablo 1. Deniz dibi tarama çalışmasının gerçekleştirildiği lokasyonlar

Malzeme No	Tarama Bölgesi	Şehir	Deniz	Numunelerin Alındığı Derinlik (m)	Kıyıya Olan Mesafesi (m)
DTM-1	Rize Limanı	Rize	Karadeniz	8	5-10
DTM-2	Yakakent Balıkçı Barınağı	Samsun	Karadeniz	3-10	10-100
DTM-3	Eskihisar Balıkçı Barınağı	Kocaeli	Marmara	4	10
DTM-4	Ambarlı Limanı	İstanbul	Marmara	16	400-450
DTM-5	Karaburun Balıkçı Barınağı	İzmir	Ege	4-6	10-20
DTM-6	Göcek Marina	Muğla	Akdeniz	4-7	10-20
DTM-7	Mersin Erdemli ODTÜ Kampüsü Limanı	Mersin	Akdeniz	8	35
DTM-8	Mersin Uluslararası Limanı	Mersin	Akdeniz	4	6

Deniz dibi tarama malzemelerinin endeks özelliklerini belirleyebilmek için ilk olarak elek analizi ve hidrometre deneyleri (ASTM D422-63(2007)e2) yapılmıştır. Atterberg kıvam limit deneyleri yapılarak tarama malzemelerinin Birleştirilmiş Zemin Sınıflandırma Sistemi (ASTM D2487-11) ve Amerikan Karayolları Sınıflandırma Sistemlerine (AASHTO Designation M145-91) göre zemin sınıfları bulunmuştur. Yapılan sınıflandırma deneyleriyle dane çapı dağılımları belirlenmiş olup Şekil 2’ de granülometri eğrileri ağırlıkça yüzde olarak verilmiştir. Numunelerde çoğunlukla kum boyutunda dane içeriklerinin fazla olduğu görülmüştür. Atterberg kıvam limit deneyleri ile tarama malzemelerinin plastik özellik taşımadıkları anlaşılmıştır. Buna göre, malzemelerin endeks özellikleri ve zemin sınıfları Tablo 2’deki gibidir.

**Tablo 2. Deniz dibi tarama malzemelerinin endeks özellikleri**

Malzeme No	Zemin Cinsi	Dane Çapı Dağılımı				Atterberg Limitleri			Zeminin Sınıfı	
		Çakıl (%)	Kum (%)	Silt (%)	Kil (%)	w <sub>L</sub> (%)	w <sub>P</sub> (%)	I <sub>P</sub> (%)	USCS	AASHTO
DTM- 1	Siltli kum	6	78	16		Plastik değil			SM	A-2-4
DTM- 2	Kötü derecelendirilmiş kum	0	97	3		Plastik değil			SP	A-3
DTM- 3	Siltli kum çakıllı	21	53	22	4	Plastik değil			SM	A-2-4
DTM- 4	Siltli kum	0	78	22		Plastik değil			SM	A-2-4
DTM- 5	Kötü derecelendirilmiş kum	1	99	0		Plastik değil			SP	A-3
DTM- 6	Siltli kum çakıllı	16	64	20		Plastik değil			SM	A-2-4
DTM- 7	Siltli kum	0	36	63		Plastik değil			ML	A-4
DTM- 8	Siltli kum çakıllı	25	47	22	4	Plastik değil			SM	A-2-4



**Şekil. 2:**  
Deniz dibi tarama malzemelerinin dane çapı dağılım eğrileri

## 2.2. Metot

Karayolları Teknik Şartnamesi' nde yer alan dolgu malzemesi olarak kullanıma uygun nitelikli kazı malzemesi seçim kriterlerine göre zeminin zemin sınıfının belirlenmesi, Standart Proktor (ASTM D698-12e1), ıslak Kaliforniya Taşıma Oranı deneylerinin (ASTM D1883-14) yapılması beklenmektedir. Bu amaçla tarama malzemeleri üzerinde söz konusu deneyler gerçekleştirilmiştir. Standart Proktor deneyi ile numunelerin maksimum kuru birim hacim ağırlığı ve optimum su muhtevaları öğrenilmiştir. CBR kalıplarında standart Proktor sonuçları göz önüne alınarak hazırlanan sıkıştırılmış zemin numuneleri 2,6 kPa sürşarj yükü altında 3 gün süre ile su içerisinde bekletilmiştir. Bu süre zarfında zemin numunelerinin şişme miktarları kayıt altına alınmıştır. Daha sonra su içerisinden çıkarılan zemin numuneleri CBR deneyleri yapılmıştır.

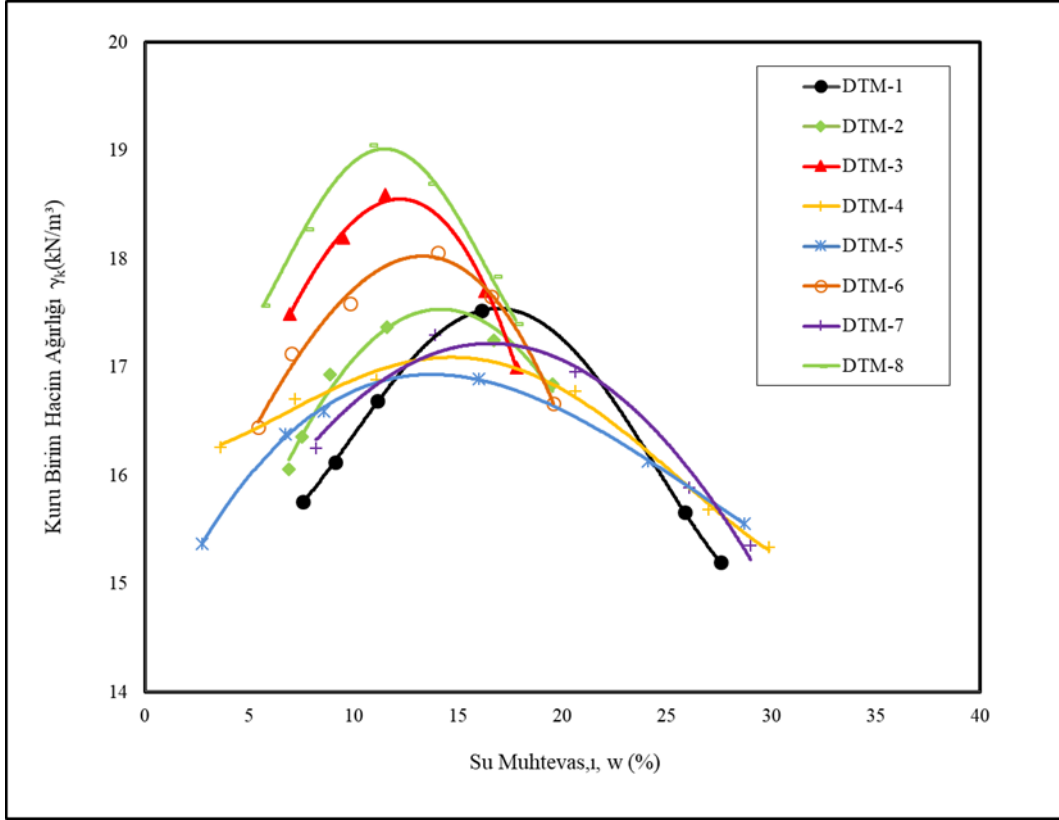
Ayrıca, standart Proktor sıklığında optimum su muhtevasında hazırlanan DTM numuneleri üzerinde 100 kPa, 200 kPa ve 300 kPa düşey gerilmeleri altında gerçekleştirilen direk kesme deneyleri (ASTM D6528-07) ile kayma mukavemeti parametreleri belirlenmiştir. İncelenen tarama malzemesinin içerisinde kayma mukavemeti en düşük olarak seçilen DTM-4 numunesi için 2 boyutlu sonlu elemanlar yazılımı olan PLAXIS ve Geostudio Slope/W programları kullanılarak şev stabilite kontrolleri yapılmıştır.

## 3. SONUÇLAR ve TARTIŞMA

### 3.1. Karayolları Teknik Şartname Göre Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Kazı malzemelerinin faydalı kullanım için Karayolları Teknik Şartnamesi' ne göre malzemelerin dolgu işlerinde kullanılacak uygun nitelikli kazı malzemesinin endeks özellikleri  $w_L \leq \%60$ ,  $I_{pmax} \leq \%35$  olarak belirtilmektedir. Tüm tarama malzemelerinin plastik özellik göstermediği ve istenilen özellikleri taşıdığı anlaşılmaktadır.

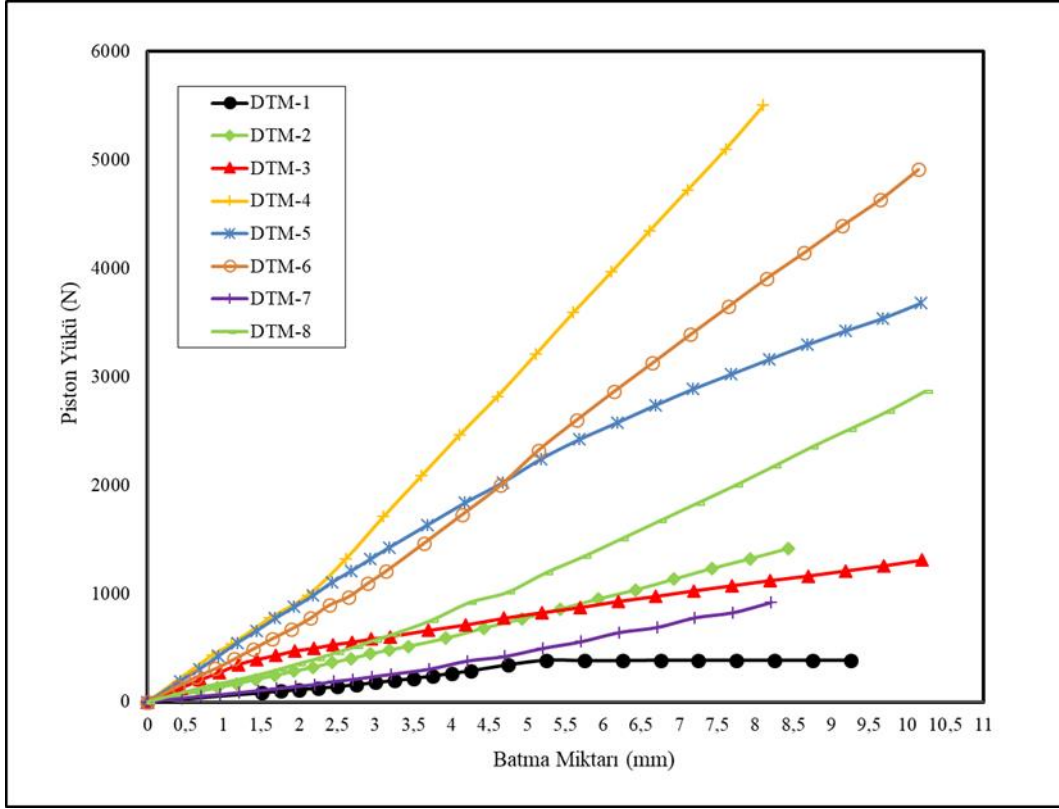
Karayolları dolgu imalatları için belirli bir sıkıştırma enerjisi altında en büyük kuru birim hacim ağırlığının sağlandığı optimum su muhtevası değerinin bilinmesi gerekmektedir. Bu bakımdan Şekil 3'te Standart Proktor sıkıştırma enerjisi altında farklı su muhtevası değerlerinde sıkıştırılan tarama malzemeleri için elde edilen kuru birim hacim ağırlıklarını gösteren proktor eğrileri çizilmiştir. Tarama malzemelerinin maksimum kuru birim hacim ağırlıklarının  $\gamma_{k maks} = 16,5 \text{ kN/m}^3 \sim 19,5 \text{ kN/m}^3$  aralığında, optimum su muhtevası değerlerinin ise  $w_{opt} = \%10 \sim 17$  aralığında değiştiği görülmektedir. Buna göre, ilgili şartname gereği minimum  $\gamma_{k maks} = 14,5 \text{ kN/m}^3$  koşulunun tüm tarama malzemeleri için sağlandığı anlaşılmaktadır. Ayrıca beklendiği üzere çakıl oranının fazla olduğu numunelerde maksimum kuru birim hacim ağırlığı değerinin de arttığı, çakıl boyutunda danelerin en fazla olan DTM-8 numunesinde bu değer en büyük olduğu gözlenmiştir.



**Şekil 3:**

*Deniz dibi tarama malzemelerinin kuru birim hacim ağırlığı - su muhtevası ilişkileri*

Karayolları Teknik Şartnamesi uyarınca sıkıştırma ile oluşturulan dolgu zeminlerin şişme potansiyelleri ve dayanımları Yaş Kaliforniya Taşıma Oranı (CBR) deneyi ile denetlenmektedir. Buna göre yaş CBR şişme yüzdesinin %3'ten az olması gerekmektedir. Çalışma kapsamında değerlendirilen tüm deniz dibi tarama malzemelerinin belirtilen şartlar altında şişmedikleri belirlenmiştir. Yaş CBR deneyinde sıkıştırılmış zemin numunesinin şişme davranışı sonrasında zeminin dayanımı yapılan CBR deneyi ile belirlenmektedir. Şekil 4'te her tarama malzemesi için deney sırasında elde edilen şaftın batma miktarına karşı gözlenen piston yük değerleri çizilmiştir. 2,5 cm ve 5,0 cm batma değerlerine karşılık gelen piston yük değerlerinin kırma taşa ait standart deney verilerine oranlanarak yaş CBR değerleri hesaplanmıştır. Bunlar; DTM-1 %11,1, DTM-2 %3,9, DTM-3 %4,0, DTM-4 %15,6, DTM-5 %4,3, DTM-6 %10,8, DTM-7 %2,3 ve DTM-8 %5,5 olarak bulunmuştur. KTŞ 206.05 (2013) uyarınca karayolu inşaatlarında tabakaların oluşturulması kapsamında esnek üstyapılar için minimum yaş (CBR)  $\geq$  %8 koşulunun sağlanması istenmektedir. Bu koşulun DTM-1, DTM-4, DTM-6 için sağlandığı anlaşılmaktadır.



Şekil 4:

Deniz dibi tarama malzemelerinin yaş CBR deneyi piston yükü-batma miktarı ilişkisi

### 3.2. Tarama Malzemeleri ile Oluşturulacak Yol Dolgusunun Modellenmesi

Karayolu inşaatlarında genellikle kullanılan dolgu tip kesit detayları Tablo 3'teki gibidir (Karayolu Tasarım El Kitabı, 2005). Buna göre endeks ve mühendislik özellikleri belirlenen zemin ve dolgu malzemeleri için taşıma gücü, oturma ve şev stabilite tahkikleri yapılmaktadır. Son yıllarda bilgisayar yazılım programlarındaki gelişmeler birden fazla tahkikin bir arada yapılmasını sağlayan sonlu eleman modellerinin kurulmasını mümkün kılmaktadır. Bu çalışma kapsamında tarama malzemeleri ile teşkil edilecek yol dolgusunun içsel stabilite tahkiklerini denetlemek amacıyla sağlam bir zemin üzerine oturtulan farklı yükseklikteki dolgu kesitleri 2 boyutlu PLAXIS (2019) yazılımı ile modellenmiştir.

**Tablo 3. Karayolu yol dolgularında uygulanan şev eğimleri**

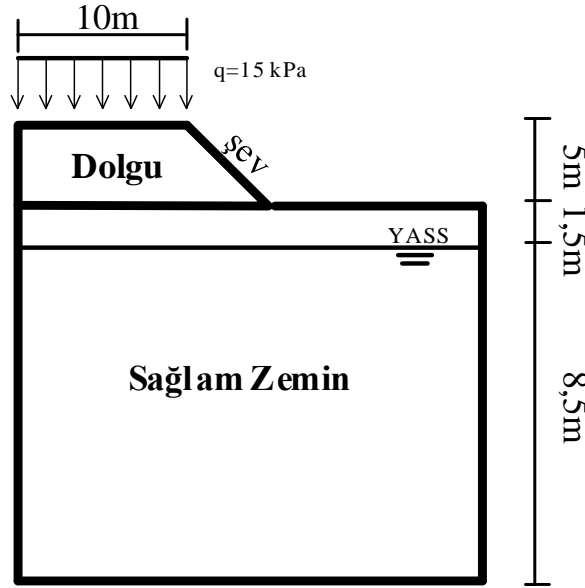
$h < 1,5$ m	Şev: 4/1 (4 yatay/ 1 düşey)
$1,5 \leq h < 3,00$ m	Şev: 3/1 (3 yatay/ 1 düşey)
$3,00 \leq h < 5,00$ m	Şev: 2/1 (2 yatay/ 1 düşey)
$h \geq 5,00$ m	Şev: 3/2 (3 yatay/ 2 düşey)

Model parametrelerini belirlemek amacıyla tarama malzemelerinin standart Proktor sıklığının da hazırlanan numuneleri üzerinde direk kesme deneyi yapılmıştır. Deney sonuçlarından kayma mukavemeti parametreleri olan kohezyon (c) ve kayma mukavemeti açısı ( $\phi$ ) değerleri Tablo 4'deki gibi elde edilmiştir.

**Tablo 4. Deniz dibi tarama malzemelerinin mukavemet parametreleri**

Numune No	Kohezyon, $c$ (kPa)	Kayma mukavemeti açısı, $\phi$ (°)
DTM-1	21	34
DTM-2	30	36
DTM-3	28	36
DTM-4	5	36
DTM-5	12	39
DTM-6	58	31

Deniz dibi tarama malzemeleri içerisinde kayma mukavemet parametrelerinin görece en düşük olan DTM-4 numunesi analizlerde kullanılmıştır. Analizlerde sonlu elamanlar metodu ile çalışan PLAXIS ve limit denge analiz yöntemlerine göre hesap yapan Geostudio Slope/W programları kullanılmıştır. İnşa edilmesi düşünülen karayolu dolgusu sağlam bir zemin üzerine yapılacağı düşünülmüştür. Buradaki amaç dolgunun kontrolü yapmaktır. Model profil Şekil 5'te görülmektedir. Tablo 3'te verildiği üzere karayolu dolgusundan dolgu yükseklikleri sırasıyla 1,5m, 3m, 5m ve 6m; şev eğimleri ise sırasıyla 4:1, 3:1, 2:1 ve 3:2 alınarak modellemeler yapılmıştır. Tasarımda yol yüzeyine düzgün yayılı olarak ağır trafik yüküne denk gelen 15 kPa yük yüklenmiştir. Yeraltı su seviyesi ise zemin yüzeyinden 1,5 metre aşağıda alınmıştır.

**Şekil 5:**

*Modelleme için kullanılan karayolları dolgu profili*

PLAXIS ve Geostudio modellemelerinde gerekli olan zemin parametreleri tablo 5'te verilmiştir. PLAXIS programında Mohr-Columb modeli kullanılmışken Geostudio Slope/W programında ise hespalamalar Morgenstern- Price yöntemi kullanılmıştır. Burada, Elastisite modülü (E) ve poisson oranı ( $\psi$ ) dolgu malzemesi için literatüre göre uygun değerler seçilmiştir. Zeminin elastisite modülü için sağlam bir zemin olarak tanımlayacak yüksek bir değer atanmıştır. İki malzeme cinsi içinde seçilen birim hacim ağırlığı değerleri ( $\gamma$ ) zemin cinsleri uygundur.

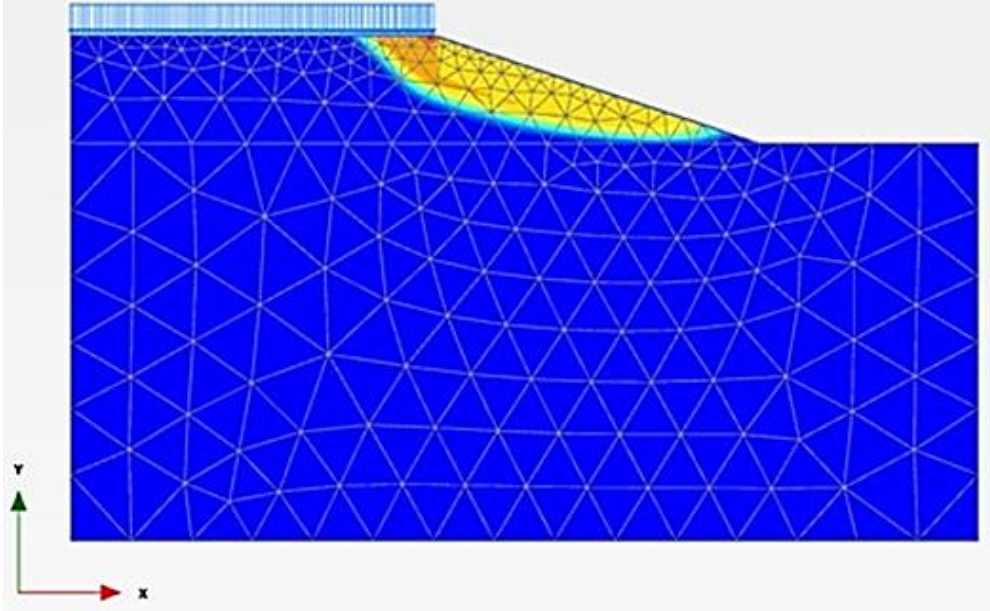


**Tablo 5. PLAXIS ve Geostudio programlarında tanımlanan malzeme parametreleri**

Malzeme Cinsi	E (MPa)	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	$k_x$ $k_y$	$\psi$	c (kPa)	$\phi$ (°)	$\Psi$ (°)
Dolgu	50	16	1,00 1,00	0,3	5	36	0
Zemin	250	19	1,00 1,00	0,3	5	37	0

$k_x, k_y$ : Permeabilite katsayıları,  $\Psi$ : Dilatasyon açısı

Yapılan PLAXIS modellemelerinde 4 farklı yükseklik ve yüksekliklere uygun gelen şev eğimleri kullanılmıştır. Bu modellemelerde 3 metre yüksekliğe ait deformasyon görüntüsü Şekil 6'da verilmiştir.



**Şekil 6:**

*DTM-4 malzemesi kullanılarak inşa edilen 3 m yüksekliğindeki karayolu dolgusunun Plaxis modelinin çözümü*

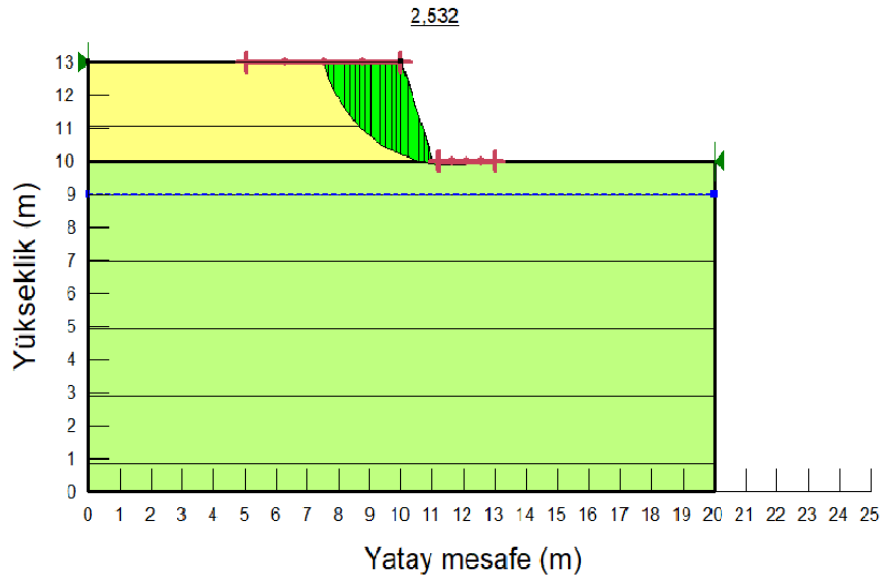
Modellemeler sonucunda  $\Sigma Msf$  güvenlik katsayıları bulunmuştur.  $\Sigma Msf$  güvenlik katsayısının 1.35'den büyük olması şev stabilitesi için yeterlidir. Tablo 6'da modellenen 4 farklı yükseklik ve yüksekliklere karşılık gelen şev eğimlerine göre  $\Sigma Msf$  verilmiştir. Bulunan değerlere göre modellenen 4 farklı yükseklik ve şev eğiminde şev güvenliğinin yeterli olduğu görülmüştür.

$$\frac{c}{c_r} = \frac{\tan \phi}{\tan \phi_r} = \Sigma Msf \quad (1)$$

**Tablo 6. PLAXIS modelleme sonuçlarında elde edilen güvenlik katsayısı ( $\Sigma Msf$ )( PLAXIS 2D, 2016)**

Dolgu yüksekliği, h (m)	Eğim (Yatay/Düşey)	$\Sigma Msf$
1,5 m	4:1	5,9
3,0 m	3:1	3,0
5,0 m	2:1	2,1
6,0 m	3:2	1,7

Geostudio programında da yapılan aynı yükseklik ve şev açılarında modellemeler yapılmıştır. Bu modellemelerde 3 metre yüksekliğe ait kayma düzlemi görüntüsü Şekil 7’de verilmiştir. Programda yapılan şev analizi sonucunda bir  $G_s$  güvenlik sayısı elde edilmektedir. Bu sayısının 1,5 büyük olması şevin kaymaya karşı güvenlikte olduğunu göstermektedir.



**Şekil 7:**

*DTM-4 malzemesi kullanılarak inşa edilen 3 m yüksekliğindeki karayolu dolgusunun Geostudio modelinin çözümü*

**Tablo 7. Geostudio Slope/W modelleme sonuçlarında elde edilen güvenlik sayıları ( $G_s$ )(Geostudio, 2012)**

Dolgu yüksekliği, h (m)	Eğim (Yatay/Düşey)	$G_s$
1,5 m	4:1	5,616
3,0 m	3:1	2,532
5,0 m	2:1	1,917
6,0 m	3:2	1,880

#### 4. SONUÇLAR

Türkiye'nin 8 farklı bölgesinde tarama faaliyetleri sonucunda elde edilen deniz dibi tarama malzemeleri üzerinde yapılan araştırma sonucunda elde edilen sonuçlar şu şekilde özetlenebilir:

8 tarama malzemesi de Karayolları Teknik Şartnamesinde belirtilen kullanıma uygun nitelikli kazı malzemesinin  $w_{Lmaks}=\%60$ ,  $I_{pmaks}=\%35$ , minimum  $\gamma_{kmaks}=14,5$  kN/m<sup>3</sup> ve yaş CBR şişme

yüzdesinin [%3 olması kriterlerini sağlamaktadır. Böylelikle çalışmadaki tarama malzemelerinin tamamı karayolu dolgusu olarak kullanılabilceği anlaşılmaktadır.

PLAXIS 2D ve Geostudio Slope/W programları kullanılarak farklı dolgu yüksekliği ve karayolları tasarımına uygun gelen şev eğimleri ile yapılan modellemeler ile görünmüştür ki; deniz dibi tarama malzemelerini ile yapılan dolguların hem taşıma yönünden hem de şev stabilitesi yönünden güvenli olduğudur.

Tarama faaliyetleri sonucunda elde edilen tarama malzemelerinin karada kullanımı mümkündür. Bu sayede ekonomik nedenler sebep gösterilerek tarama alanına yakın bölgelere dip tarama malzemesinin tekrar boşaltılmasının ve deniz ekosistemine zarar verilmesinin önüne geçilebilir. Aynı zamanda sınırlı miktarda bulunan doğal kaynakların kullanımını azaltarak çevre açısından büyük kazanımlar elde edilebilir.

Bu tür deniz dibi tarama malzemelerin farklı kullanım alternatiflerinin belirlenmesi büyük önem arz etmektedir. Bunun için tarama malzemelerinin çimento, kireç gibi bağlayıcı ve dayanım artırıcı malzemeler kullanılarak inşaat alanında kullanım alanlarının incelenmesi faydalı olacaktır.

## TEŞEKKÜR

Yazarlar, TÜBİTAK 1007 Programı “Deniz Dibi Tarama Uygulamaları ve Tarama Malzemesinin Çevresel Yönetimi (DİPTAR)” (DIPTAR, Project No. 111G036) projesinin devamı mahiyetinde yapılan çalışma kapsamında kullanılan malzemelerin temini konusunda emeği geçen TÜBİTAK-MAM proje çalışanlarına teşekkür eder.

## KAYNAKLAR

1. ADDDY Çevre ve Orman Bakanlığında: Atıkların Düzenli Depolanmasına Dair Yönetmelik, Resmi Gazete Sayı 27533, 26 Mart 2010 Cuma.
2. AASHTO Designation M145-91, (1991). “Standard Specification for Classification of Soils and Soil-Aggregate Mixtures for Highway Construction Purposes.” Amerika Devlet Karayolu ve Ulaştırma İdareleri Birliği.
3. ASTM D1883-14,(2014). Standard Test Method for California Bearing Ratio (CBR) of Laboratory-Compacted Soils, ASTM International, West Conshohocken, PA, www.astm.org.
4. ASTM D2487-11, (2011). Standard Practice for Classification of Soils for Engineering Purposes (Unified Soil Classification System), ASTM International, West Conshohocken, PA, www.astm.org
5. ASTM D422-63(2007)e2, Standard Test Method for Particle-Size Analysis of Soils, ASTM International, West Conshohocken, PA, www.astm.org.
6. ASTM D6528-07, (2011). Standard Test Method for Consolidated Undrained Direct Simple Shear Testing of Cohesive Soils, ASTM International, West Conshohocken, PA, www.astm.org.
7. ASTM D698-12e1, (2012). Standard Test Methods for Laboratory Compaction Characteristics of Soil Using Standard Effort (12 400 ft-lbf/ft<sup>3</sup> (600 kN-m/m<sup>3</sup>)), ASTM International, West Conshohocken, PA, www.astm.org.
8. Başar, M. B., Guzel, B., Erdoğan- Ozer, P. Tolun, L. (2017) Türkiye’deki deniz dibi tarama malzemelerinin faydalı kullanım öncesi çevresel etkilerinin belirlenmesi: Ticari limanlar & balıkçı barınakları, Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University, 32:4, 1063-1076. doi:10.17341/gazimmfd.369389
9. Cevikbilen, G., Teymur, B., Karadogan, U., Basar, H.M., Dağlı, S., Tolun, L. An Investigation on Suitability of Dredge Materials on Road Construction, International

Conference on Civil and Environmental Engineering (ICOCEE), Nevsehir, Turkey, May 20-23, 2015a.

10. Çevikbilen, G., Teymur, B., Karadogan, U., Basar, H.M., Dağlı, S., Özer-Erdoğan, P., Güzel, B., Tolun, L. Kaba Daneli Deniz Dibi Tarama Malzemelerinin Geoteknik Özelliklerinin Değerlendirilmesi, 6. Geoteknik Sempozyumu, Adana, Türkiye, 26-27 Kasım, 2015b.
11. Cai Y., Qiao H., Wang J., Geng X., Wang P., Cai Y., Experimental tests on effect of deformed prefabricated vertical drains in dredged soil on consolidation via vacuum preloading, *Eng. Geol.*, 222, 10-19, 2017. doi:10.1016/j.enggeo.2017.03.020
12. DPC, 2009. Challenging the Industry, Panama Report, Dredging and Port Construction Magazine, Mayıs 2009.
13. GeoStudio (2012). Stability Modelling with Slope/W 2012 Version, Geo-Slope International Ltd., Canada
14. Güzel B., Başar H.M., Güneş K., Yenisoy-Karakaş S., Karakaş D., Tolun L., Assessment of marine dredged materials taken from Turkey's ports/harbors in landscaping, Desalination and Water Treatment, 71, 207–220, 2017. doi:10.5004/dwt.2017.20420
15. H.M. Başar, S. Dağlı, P. Özer Erdoğan, B. Güzel and L. Tolun (2015), Beneficial Use Alternatives for Dredged Materials: Landfill Daily Cover, International Conference on Civil and Environmental Engineering (ICOCEE), Nevsehir, Turkey, May 20-23, 2015.
16. Karayolları Teknik Şartnamesi 2013, Yol alt yapıları, Sanat Yapıları, Köprü ve Tüneller, Üstyapı ve Çeşitli İşler, Karayolları Genel Müdürlüğü, Ankara.
17. Karayolları Tasarım El Kitabı 2005, Karayolları Genel Müdürlüğü, Ankara.
18. Ozer-Erdogan P., Basar H.M., Erden I., Tolun L., Beneficial use of marine dredged materials as a fine aggregate in ready-mixed concrete: Turkey example, *Construction and Building Materials*, 124, 690–704, 2016. doi:10.17341/gazimmfd.460534
19. PLAXIS 2D , Finite Element Code for Soil Rock Analyses, User Manual, 2016.
20. Sheehan C., Harrington J., Management of dredge material in the Republic of Ireland - A review. *Waste Management*, 32, 1031–1044, 2012. doi:10.1016/j.wasman.2011.11.014
21. TÜBİTAK MAM, Marine Dredging Applications and Environmental Management of Dredged Materials (DİPTAR), Final Report, Project No: 111G036, TÜBİTAK KAMAG 1007 Project, Kocaeli, Türkiye, 2016.
22. Tang C.W., Chen H.J., Wang S.Y., Spaulding J., Production of synthetic lightweight aggregate using reservoir sediments for concrete and masonry. *Cement and Concrete Composites*, 33, 292–300, 2011. doi:10.12989/cac.2014.13.2.149
23. Tang C. W., Producing synthetic lightweight aggregates by treating waste TFT-LCD glass powder and reservoir sediments, *Computers and Concrete*, 13, 149–171, 2014. doi:10.12989/cac.2014.13.3.325
24. Wang H.Y., Durability of self-consolidating lightweight aggregate concrete using dredged silt, *Construction and Building Materials*, 23, 2332–2337, 2009. doi:10.1016/j.conbuildmat.2008.11.006