

Dip Tarama Çamurunun (Van Gölü) Jeoteknik Özellikleri ve Dolgu Malzemesi Olarak Kullanılabilirliği

Elif ERDEVE ÖZVAN^{1,a}, Ayşe ÖZGÜVEN^{2,b}, Mehmet TÜRKMENOĞLU^{3,c},
Dilara ÖZTÜRK^{2,d}, Ömer YEŞİLOVA^{4,e}, Ali ÖZVAN^{5,f}

¹Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Van Meslek Yüksekokulu, İnşaat Bölümü, Van, Türkiye

²Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Van, Türkiye

³Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Van, Türkiye

⁴Van 11.Karayolları Bölge Müdürlüğü, Van, Türkiye

⁵Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Van, Türkiye

^aORCID: 0000-0002-3355-3432; ^bORCID: 0000-0003-1071-2813; ^cORCID: 0000-0001-6088-4416;

^dORCID: 0000-0003-2689-560X; ^eORCID: 0009-0001-6597-3431; ^fORCID: 0000-0001-5459-3989

Makale Bilgileri

Geliş : 15.09.2025

Kabul : 05.12.2025

DOI: 10.21605/cukurovaumfd.1784243

Sorumlu Yazar

Elif ERDEVE ÖZVAN

eliferdevezvan@yyu.edu.tr

Anahtar Kelimeler

Dip tarama çamuru

Dolgu malzemesi

Geoteknik özellikler

Van Gölü

Atıf şekli: ERDEVE ÖZVAN, E., ÖZGÜVEN, A., TÜRKMENOĞLU, M., ÖZTÜRK, D. YEŞİLOVA, Ö., ÖZVAN, A., (2025). Dip Tarama Çamurunun (Van Gölü) Jeoteknik Özellikleri ve Dolgu Malzemesi Olarak Kullanılabilirliği. Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Dergisi, 40(4), 949-958.

ÖZ

Van Gölü doğu kıyısında geçmiş yıllarda göle deşarj edilen arıtma çamuru, büyük bir göl tabanı kirliliğine neden olmuştur. 2021 yılında tamamlanan Van İleri Biyolojik Atıksu Arıtma Tesisi çıkış sularının deşarj edildiği göl tabanında dip çamuru temizliği başlatılmıştır. Bu çalışmada, göl tabanından çıkartılan dip tarama çamurlarının bertarafı konusunda araştırma başlatılmış ve ekskavatör ile alınan dip tarama malzemesinin ilksel hali (DTM-1) ile geotüplerde susuzlaştırılarak elde edilen dip tarama malzemesi üzerinde (DTM-2) bazı fiziksel ve mekanik deneyler yapılmıştır. Yapılan deneysel çalışmada dip çamurlarının inorganik özellik gösterdiği belirlenmiştir. Ayrıca dip çamurlarının yol dolgu malzemesi olarak uygunluğunu araştırmak amacıyla Standart Proktor deneyi, sıkıştırılmış her iki dip tarama malzemesi üzerinde yaş CBR (California Taşıma Oranı) ve direk kesme kutusu deneyleri yapılmıştır. Elde edilen verilere göre, dip çamurlarının güncel Karayolları Teknik Şartnamesinde (KTŞ) dolgular için istenilen limit değerlerin bir kısmını sağladığı ve dolgu malzemesi olarak ek katkılar ile karıştırılıp kullanılabilceği sonucuna ulaşılmıştır. Ayrıca bu sonuçlar, jeoteknik ve çevre mühendisliği uygulamalarında sürdürülebilir malzeme yönetimine katkı sağlayacaktır.

Geotechnical Properties and Usability of Dredged Sediment from the Eastern Shore of Lake Van as a Fill Material

Article Info

Received : 15.09.2025

Accepted : 05.12.2025

DOI: 10.21605/cukurovaumfd.1784243

Corresponding Author

Elif ERDEVE ÖZVAN

eliferdevezvan@yyu.edu.tr

Keywords

Dredging mud,

Embankment fill

Geotechnical properties

Lake Van

How to cite: ERDEVE ÖZVAN, E., ÖZGÜVEN, A., TÜRKMENOĞLU, M., ÖZTÜRK, D. YEŞİLOVA, Ö., ÖZVAN, A., (2025). Geotechnical Properties and Usability of Dredged Sediment from the Eastern Shore of Lake Van as a Fill Material. Cukurova University, Journal of the Faculty of Engineering, 40(4), 949-958.

ABSTRACT

The sewage sludge discharged into the eastern shore of Lake Van in the past years has caused major lake bottom pollution. Bottom sludge cleaning has been initiated at the bottom of the lake where the effluents of the Van Advanced Biological Wastewater Treatment Plant, completed in 2021, are discharged. In this study, research was initiated on the disposal of dredging mud extracted from the lake bottom, and some physical and mechanical experiments were carried out on the initial state of the dredging material taken by excavator (DTM-1) and the dredging material obtained by dewatering in geotubes (DTM-2). In the experimental study, it was determined that the bottom muds showed inorganic properties. In addition, Standard Proctor test, wet CBR (California Bearing Ratio), and pole shear box tests were performed on both compacted dredging materials to investigate the suitability of bottom muds as road fill material. According to the data obtained, it was concluded that the bottom muds meet some of the limit values required for fillings in the current Highway Technical Specifications (HTS) and can be mixed with additional additives and used as filling material. In addition, these results contribute to sustainable material management in geotechnical and environmental engineering applications.

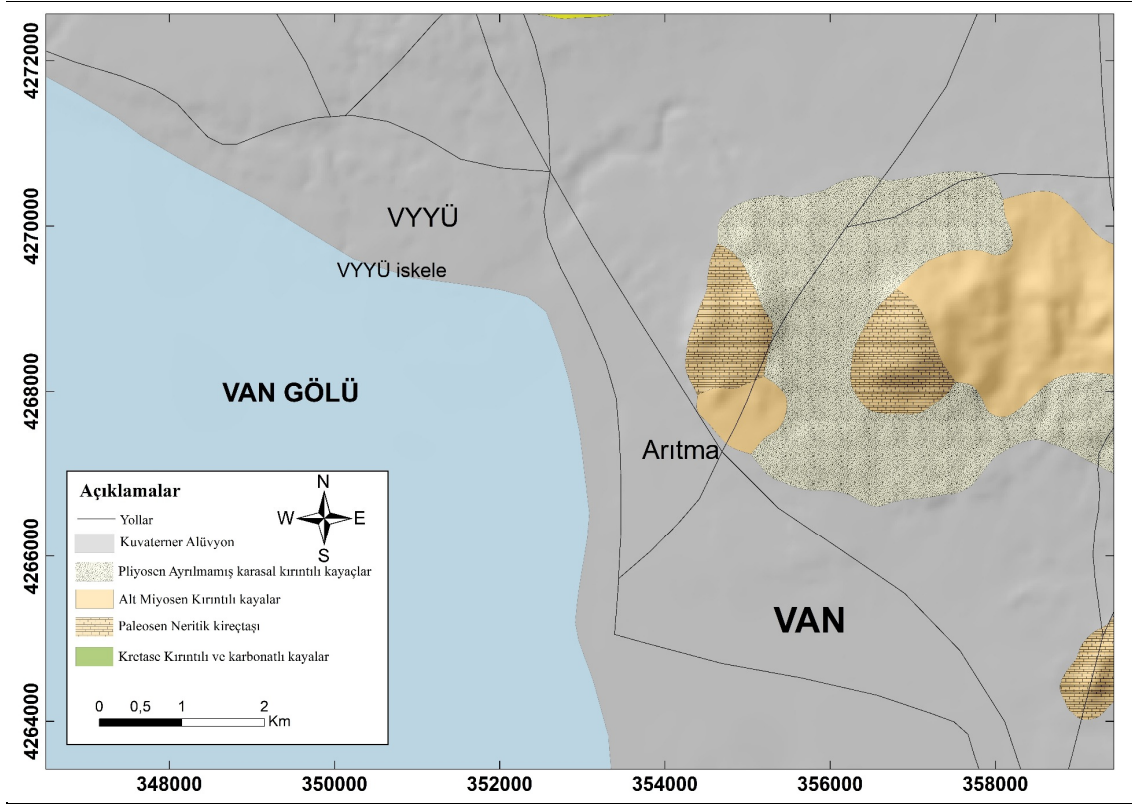
1. GİRİŞ

Mineral ve toprakların ayrışma ile erozyona uğraması sonucu oluşan sedimanlar; rüzgâr, su ve buzul gibi akışkanların etkisiyle denizlere, nehirlere ve göllere taşınabilmektedir. Sanayileşmenin de etkisiyle atıkların kapalı havza dediğimiz yüzeysel su ortamlarına deşarj edilmesi sonucu, sedimanlarla karışan atıkların oluşturduğu dip çamurlarının önemli bir kısmı inorganik ve organik kirleticiler içermekte olup, Avrupa Birliği Direktifi No. 2002-540 (2002) uyarınca 17 05 05* (kirlenmiş sedimanlar) ve 17 05 06 (diğer sedimanlar) kodları altında atık olarak sınıflandırılmaktadır. Bu tür atıkların yönetimi, çevresel etkilerinin olumsuzluğu nedeniyle, geleneksel çözümler olan denize boşaltma ve karada depolama yöntemlerinin giderek daha az tercih edilmesine yol açmıştır. Bu bağlamda, denizel yaşamın minimal düzeyde tahribata uğramasına yönelik, zararsız dip tarama çamurlarının faydalı geri dönüşüm malzemesi olarak kullanım alanlarını araştırma ihtiyacı önemli hale gelmiştir. Taranan çamurların tehlikeli atık olarak sınıflandırılmadığı sürece, maliyetinin yüksek olması, geniş alan ve uzun vadeli izleme gereksinimleri nedeniyle genellikle arazide bertarafı tercih edilmez [1,2]. Bu yönüyle tarama çamurlarının iyileştirilmesi ve faydalı alanlarda değerlendirilmesi için çalışmalar yapılmaktadır. Geçirimsiz tabaka ve ara örtü olarak deponi sahalarında [3,4], tuğla üretimi [5,6] ve çimento üretimi [7,8] gibi sektörel çalışmalarda dip çamurlarının kullanılabilirliği araştırılmıştır. Özellikle inşaat alanında dolgu malzemesi temininde kısıtlı olanaklar göz önünde bulundurularak, taranmış dip sedimanların stabilizasyon/solidifikasyon teknikleri ile alternatif malzeme kaynağı olarak değerlendirilmesi giderek önem kazanmıştır. Dip tarama çamurları dolgu ve sedde yapımında [9,10] kullanımı araştırılırken, çimento ile stabilize edilmiş tarama [24] Japonya’da deniz üzerine inşa edilen havalimanlarının pist dolgularında kullanılmıştır. Dünya sıralamasında önemli bir yere sahip olan Türk inşaat sektöründe bu tür çalışmaların yapılması çevrenin korunması ve maliyet açısından ciddi faydalar sağlayacaktır [11]. Sedimentlerin tek başına kullanılması [12,13], sedimanların potansiyel yeniden kullanım alanları; temel ve alt temel tabakaları [14-16], beton üretimi [17], uçucu kül ve cam tozu [18,19,20] gibi alanlarda da dip çamurunun geri kazanımına yönelik çalışmalar yapılmıştır. Ayrıca Karayolları Teknik Şartnamesine (2013) göre dip tarama çamurlarının yol dolgusu malzemesi olarak uygunlukları [21] gibi araştırmalar da mevcuttur.

Geoteknik açıdan dip tarama çamurlarının katı atık depolama tesislerinde taban geçirimsizlik tabakası ve ara örtü olarak kullanımı ile ilgili incelemeler de yer almaktadır [22]. Ayrıca ince agrega olarak tarama çamurlarının hazır beton yapımında [23] ve mühendislik yapılarında kıyı koruma olarak kullanımı [24] gibi çalışmalar da mevcuttur. Çevresel etkiler açısından da bazı çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmalardan birisinde Atık Yönetimi Yönetmeliği (AYY) (02.04.2015-R.G.29314)’nin belirttiği sınırlara göre tarama çamurları, “tehlikesiz atık (atık kodu 17 05 06)” olarak sınıflandırılmıştır [25]. Diğer bir çalışmada ise tarama çamurlarının iyileştirilmiş yüzey toprağı olarak çevre düzenlemelerinde kullanımları araştırılmıştır [26]. Geoteknik açıdan yapılan bir diğer çalışmada ise, Haliç dip tarama çamuru geotüp kullanarak susuzlaştırılmış ve yapılan deney sonuçlarına göre Karayolları Teknik Şartnamesi (KTŞ)’nin belirttiği sınır değerlere dayanarak dip çamurlarının dolgu malzemesi olarak kullanılabileceği vurgulanmıştır [27].

Hydrolojik havzalar boyunca yüzey akışı ve dereler aracılığıyla yüzeysel su ortamlarına su girişi olmaktadır. Kıyı bölgelerde bulunan sanayi siteleri ve atıksu arıtma tesisleri gibi yapılardan gelen atıksular mevcut su ortamlarına deşarj edilmektedir. Kapalı havza özelliğı taşıyan göller, deşarj edilen kirleticilerin göl tabanında ve suyunda birikmesine karşı duyarlı ekosistemlerdir. Van Gölü hazvasının jeolojik geçmişi üzerinde pek çok inceleme yapılmıştır. Bitlis ili sınırları içerisinde yer alan Nemrut volkanik dağıının aktivitesi sonucu meydana gelen volkanik setin gerisinde Van Gölü oluşmuştur. Günümüzde 1650 m kotlarında olan Van Gölü oluşumundan bugüne farklı seviyelere yükselerek göl kıyısından 1900 m kotlarına kadar çıkarak, çakıldan kile değışen tane boyuna sahip göl sedimanının istiflenmesine neden olmuştur. Mühendislik jeolojisi açısından Van ili yerleşim alanını inceleyen bir araştırma, bölgenin göl ve akarsu çökelleri üzerine kurulu olduğunu belirtmiştir [28] (Şekil 1). Genel olarak, kil, silt ve kum ardalanmalı olarak gözlenen genç göl çökellerinin gevşek, tutturulmamış ve iri taneli seviyelerinin geçirimli özelliklere sahip olduğunu vurgulamakta [28], Van Gölü kıyısına yakın alanlarda da yeraltı suyu seviyesinin daha sığ olduğunu ve zeminin dayanım özelliklerinin düştüğünü öne sürmektedir [28]. Göl gibi kapalı havzalara giren su kaynaklarının ve atıksuların tabandaki gevşek sedimanların yüksek geçirimliliğı

nedeniyle düzenli olarak izlenmesi önemlidir. Yüksek geçirimsliliğe sahip gevşek ve tutturulmamış sedimanlar deşarj malzemelerini hem düşeyde hem de yanarda boşluklarına alarak hapsedebilmektedirler.



Şekil 1. İnceleme alanının ve yakın civarının jeolojisi

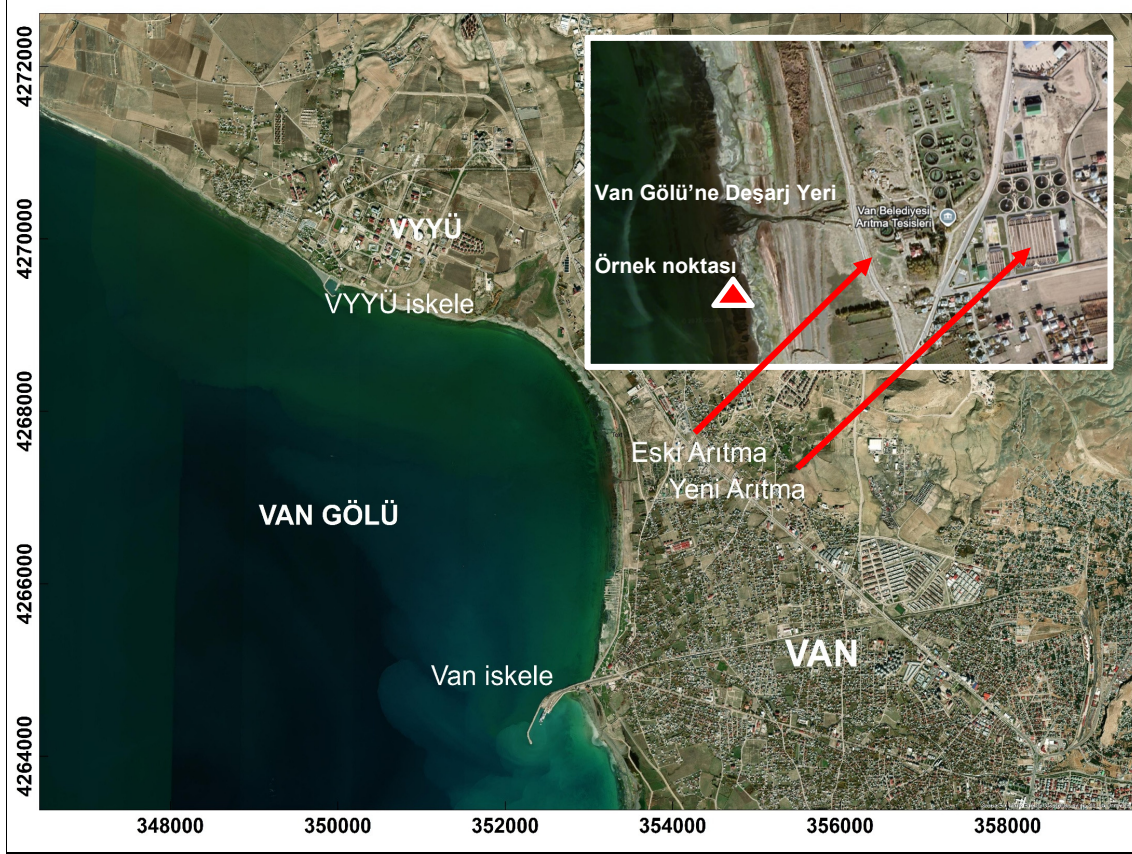
Van Gölü doğu kıyısında da uzun yıllar göle deşarj edilen atık suların göl tabanındaki tahribatını bertaraf etmek için çalışmalar başlatılmış ve bu dip çamurları alınarak göl dışındaki depolama alanlarına taşınmıştır. Taşınan dip çamurları ikincil bir çevre kirliliği oluşturduğu için bu malzemenin geri dönüşümü üzerinde farklı yaklaşımlar üzerinde durulmuştur. Çıkarılan dip çamurlarının karakterizasyonu bilinmediğinden geri dönüşüm adı altında şimdiye kadar kullanılamamıştır. Bu nedenle, bu çalışma ile Van Gölü doğu kıyısında yapılan tarama temizliği işleminde çıkarılan dip çamurunun karakterizasyonu gerçekleştirilmiştir.

2. YÖNTEM

Çalışma kapsamında, arazide dip çamurlarının tanımlanması, örnek alımı, susuzlaştırma işlemleri ve çıkarılan dip çamurlarının çevresel etkilerinin azaltılmasına yönelik olarak faydalı kullanımının belirlenmesi amacıyla çalışmalar yapılmıştır.

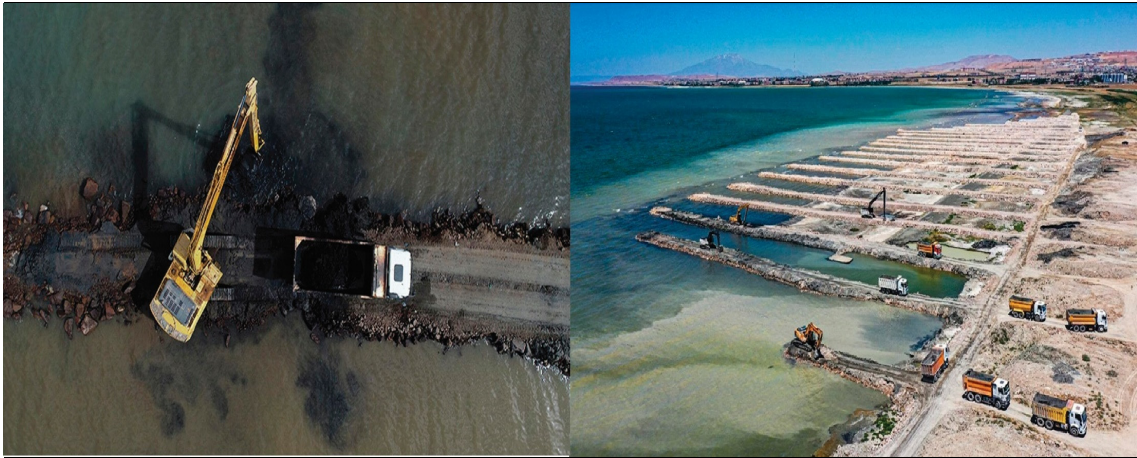
2.1. Materyal

Van Gölü'nün şehir merkezine kıyısı bulunan yaklaşık 20 km uzunluğundaki yerleşim kuşağında, endüstriyel kaynaklı atıksuların deşarjı sonucunda göl tabanında kalın dip çamuru tabakaları oluşmuştur. Kapalı havza karakteri nedeniyle bu durum çeşitli çevresel riskleri beraberinde getirmektedir. Geçmiş yıllarda şehir merkezinden göle doğrudan bırakılan atıksular, yetersiz altyapı sebebiyle arıtma proseslerinden geçmeksizin göle ulaşmış ve ciddi çevresel problemlere yol açmıştır. Söz konusu dip çamurlarının hem düşey hem de yatay yönde sıvı geçişine imkân tanıyan özellikleri, tarama çamurunun kendiliğinden sökülebilirliğini daha zor bir hale getirmiştir. Ancak 2021 yılında hizmete giren Van İleri Biyolojik Atıksu Arıtma Tesisi, karşılaşılan bu sorunların giderilmesini önemli ölçüde kolaylaştırmıştır (Şekil 2).



Şekil 2. Çalışma alanına ait Google Earth görüntüsü

Bu süreçte, yeni atıksu arıtma tesisinin devreye alınmasının ardından, Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı ile Van Büyükşehir Belediyesi iş birliğiyle 2021 yılında mekanik tarama çalışmalarına başlanmıştır. Söz konusu çalışmalar, arıtma tesisinin deşarj noktalarına yakın bölgelerde, Tuşba ve İpekyolu ilçelerinin göl kıyısında birikmiş olan dip çamurunun temizlenmesine yönelik olarak gerçekleştirilmiştir (Şekil 3). Van Gölü dip çamurları tarama faaliyetleri ile ilgili yapılan çalışma kapsamında, Tuşba sahilinde Van Gölü tabanında ekskavatör ile çekilen çamur, karaya getirilerek önce flokülasyon işlemi yapılmış daha sonra geotekstil tüplere dolumu yapılarak belirli oranlarda kurutularak susuzlaştırma çalışmaları gerçekleştirilmiştir (Şekil 4).



Şekil 3. Çalışma alanında yapılan mekanik tarama işlemlerine ait görüntüler.



Şekil 4. Flokülasyon işlemi ve geotekstil tüpler ile susuzlaştırma işlemi

2.2. Laboratuvar Çalışmaları

Laboratuvar çalışmalarının ilk adımında, Atıksu arıtma tesisinin Van Gölü doğu kıyısından ekskavatör ile numune alınmış ve DTM-1 (dip tarama çamuru 1) olarak isimlendirilmiştir. Ekskavatör ile alınan dip tarama çamurları geotüp içerisine dolumu yapılmış ve yaklaşık 3 gün süreyle susuzlaştırması sağlanmıştır. Bu malzeme de DTM-2 (dip tarama çamuru 2) olarak isimlendirilmiştir. Atıksu arıtma tesisi çıkış noktasından temin edilen tarama çamurlarının bir kısmı, doğal halde laboratuvarda kuruması sağlanmış, bir kısmı ise 105°C’de susuzlaştırılmıştır. Daha sonra plastik tokmak yardımıyla numunelerin tane boyutlarına zarar vermeden yapışmış olan tanelerin birbirinden ayrılması sağlanmıştır. Deneysel aşamaya hazır olan dip çamurlarının endeks (fiziksel) ve mekanik özellikleri laboratuvar ortamında belirlenmiştir (Çizelge 1). Ardından yaş CBR deneyi yapılmıştır. Aynı sıkışma enerjisi ile sıkıştırılmış numuneden direk kesme deneyi için numuneler alınarak deney gerçekleştirilmiştir ve tarama çamurlarının kayma mukavemeti parametreleri belirlenmiş ve Karayolları Teknik Şartnamesinin limit değerlerini sağlayıp sağlamadığı deneysel verilerle ortaya konulmuştur.

Çizelge 1. Laboratuvar deneyleri ve deney standartları

Karakterizasyon türü	Uygulanan deneyler	Deney standardı
Fiziksel özellikler	Doğal su içeriği	TS EN ISO 17892-1[29], TS-1900-1[30]
	Organik madde içeriği	TS EN 13039 [31]
	Özgül ağırlık deneyi	TS EN ISO 17892-3 [32], TS 1900-1 [30]
	Tane boyu dağılım analizi	TS EN ISO 17892-4 [33]
	Kıvam limiti deneyleri	TS EN ISO 17892-12 [34]
	Zemin sınıflaması	TS EN ISO 14688-2 [35], ASTM-D2487 [36]
Mekanik özellikler	Standart proktor deneyi	TS-1900-1 [30], AASHTO T 99 [37]
	Yaş CBR deneyi	TS-1900-1 [28], AASHTO T 193-13 [38]
	Direk kesme deneyi	TS EN ISO 17892-10 [39]

3. ARAŞTIRMA BULGULARI

Laboratuvar ortamına alınan dip tarama çamurunun standartlara bağlı kalınarak dolgu malzemesi olarak kullanılıp kullanılamayacağı araştırılmıştır. Fiziksel ve mekanik bazı zemine ait testlere tabi tutulan tarama çamurlarından elde edilen sonuçlar aşağıda ayrı iki başlık altında yorumlanmıştır.

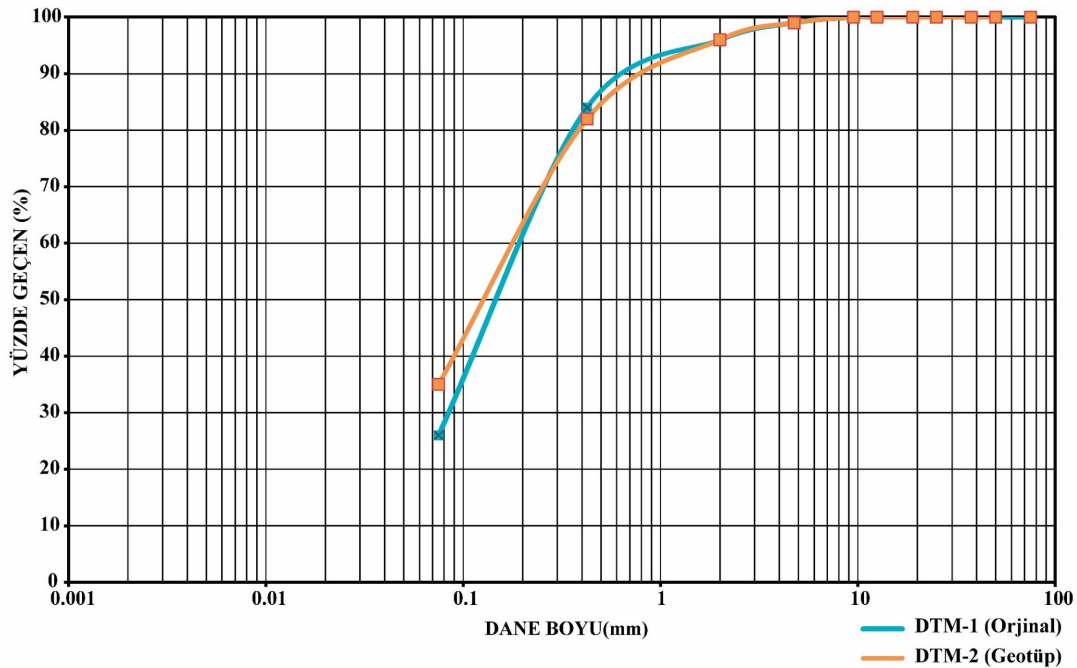
3.1. İnceleme Alanındaki Dip Çamurlarının Fiziksel Özellikleri

105°C’de etüvde kurutulan dip tarama çamuru örneklerinin başlangıç su içeriği yaklaşık %31.70 olarak hesaplanmıştır. Tamamen su altından alınan zemin örneğinde belirlenen bu su miktarı genel olarak zemin tanelerinin etrafını saran serbest su olup zeminin dolguda kullanılması durumunda 1-2 günlük sürede kolaylıkla ortamdaki uzaklaştırılabilecek ve dolgunun sıkışmasını etkilemeyecek miktarda olduğunu göstermektedir. ASTM D2487 [36] sınıflama ve standartlarına göre DTM-1 örneği %1 çakıl, %73 kum ve %26 silt-kil tane boylanmasıyla sahip iken, DTM-2 örneği ise %1 çakıl, %64 kum ve %35 silt-kil tane boylanmasıyla olduğu ve her iki örneğin SM (siltli kum, kum-silt karışımı) zemin sınıfında olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca Atterberg Limit deneyleri sonucunda tarama çamuru, nonplastik (NP) olarak bulunmuştur (Şekil 5), (Çizelge 2).

Organik madde içeriği, 550°C’de yakma kaybı yöntemiyle ölçülmüş ve yaklaşık %2,73 olarak belirlenmiştir. Bu miktar dolgu malzemesinin genel kompozisyonunun inorganik yapıda olduğunu göstermektedir ki optimum su içeriğinde sıkıştırılması sırasında malzemenin sıkışmaya karşı olumsuz tepkiler vermeyeceğini işaret etmektedir. Özgül ağırlığın 2,65 g/cm³ olması malzemenin kum veya siltli kum özelliğinde bir malzeme olabileceğini ve dolgular için ideale yakın bir malzemeye sahip olduğunu göstermektedir.

Çizelge 2. İnceleme alanındaki dip çamurlarının fiziksel özellikleri

	DTM-1 (İlksel)	DTM-2 (Geotüp)
Doğal su içeriği (W _n) (%)	31,70	28,3
Organik madde içeriği (%)	2,73	4,18
Özgül ağırlık (gr/cm ³)	2,65	2,62
Likit limit (%)	N.P.	N.P.
Plastisite indeksi (%)	N.P.	N.P.
Tane boyu dağılımı	%1 çakıl-%73 kum-%26 silt-kil	%1 çakıl-%64 kum-%35 silt-kil
Zemin sınıflaması	SM	SM



Şekil 5. Çalışma alanındaki zeminlerin tane boyu dağılım grafiği

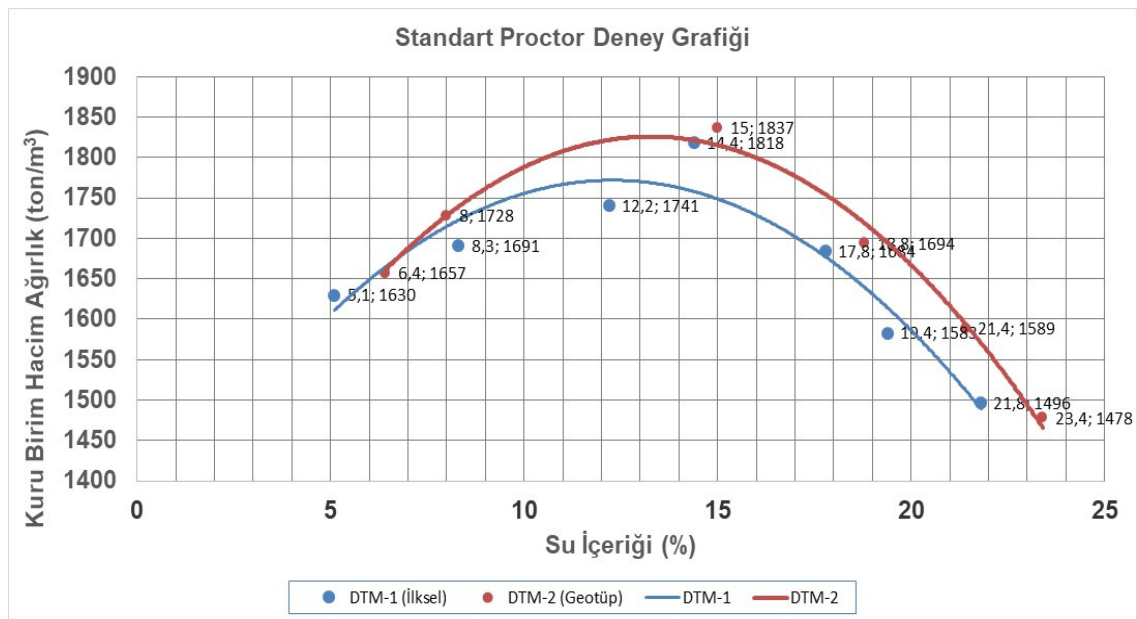
3.2. İnceleme Alanındaki Dip Çamurlarının Mekanik Özellikleri

Dip tarama çamurlarının dolgu malzemesi olarak kullanılabilirliğinin araştırılması amacıyla Standart Proktor, Kaliforniya Taşıma Oranı ve şişme deneyleri yapılmıştır ve bu tarama çamurlarının yol dolgularında, sanat yapılarının yaklaşım dolgularında kullanım alanları Karayolları Genel Müdürlüğü'nce hazırlanan KTŞ kriterlerine göre yorumlanmaya çalışılmıştır. Deneylerde Standart Proktor sıkılığında belirlenen optimum su muhtevası ve bu değere karşı gelen maksimum kuru birim hacim ağırlıkları Şekil 6'daki gibi belirlenmiştir. Buna göre DTM – 1 dip çamurunun sırasıyla maksimum kuru birim hacim ağırlık (ton/m^3) ve optimum içeriği (%) 1,772 ve 12,40, DTM – 2'nin değerleri ise 1,825 ve 13,2 olarak bulunmuştur (Şekil 6). KTŞ'ne göre kullanıma uygun nitelikli kazı malzemesinin Çizelge 3'te verilen değerlerine göre DTM-1 ve DTM-2 numunelerinin asgari düzeyde kuru birim hacim ağırlık ve plastisite indisi kriterlerini sağladığı görülmektedir.

Çizelge 3. İnceleme alanındaki dip çamurlarının mekanik özellikleri

	DTM -1 (İlksel)	DTM-2 (Geotüp)
Maksimum kuru birim hacim ağırlık (ton/m^3)	1,772	1,825
Optimum içeriği (%)	12,40	13,2
Yaş CBR (%)	8	6
Yaş CBR şişme yüzdesi (%)	0	0
Kohezyon (c) (kPa)	49,04	51,87
İçsel sürtünme açısı (ϕ) (derece)	6	6

Ayrıca, TS 1900-1[30] standartına göre DTM – 1 ve DTM – 2 numunelerinin yaş CBR (California Taşıma Oranı) şişme yüzdeleri hesaplanmıştır ve % 0 olarak bulunmuştur (Çizelge 3). Laboratuvar ortamında sıkıştırılan zeminlerin dayanımı Yaş Kaliforniya Taşıma Oranı (CBR) deneyi ile belirlenmektedir. Bu çalışmada CBR kalıplarında standart proktor enerjisinde optimum su muhtevalarında sıkıştırılarak hazırlanan dip tarama çamurları 2,6 kPa sürüşarj yükü altında suda en az 3 gün süre ile bekletilmiş, şişme miktarları mekanik mikrometrelerle takip edilmiştir. Numunelerin sudan çıkarılmalarının ardından CBR deneyleri gerçekleştirilmiştir. Sabit bir hızda standart kesit alanlı bir başlığın zemine batırıldığı deneyde batma miktarı - düşey yük ilişkisi belirlenmiştir. Sıkıştırılmış dip tarama çamuruna başlığın 2.5 cm ve 5 cm batması için gereken kuvvetin kırmataşa ait standart deney verilerine oranlanarak karşılaştırılması ile elde edilen yaş CBR değerleri DTM-1 %8, DTM-2 %6 olarak bulunmuştur (Çizelge 3). Ayrıca Karayolları Teknik Şartnamesi "Dolgular" başlığı altında ifade edilen yaş CBR (California Taşıma Oranı) değerinin ≤ 8 olan malzemelerin üstyapı tabanı olarak kullanılmasının yasaklanması şartına göre dip çamuru değerlendirildiğinde, DTM – 1 için yaş CBR değerinin sınırda olduğu ve DTM – 2 için ise bu değer altında olduğu ve dolgu üstyapı tabanı malzemesi için kullanımının uygun olmadığı belirlenmiştir.



Şekil 6. Çalışmada kullanılan numunelerin kuru birim hacim ağırlık ve su içeriği grafiği

Çizelge 4. Karayolları Teknik Şartnamesi'ne göre dolgu malzemesi özelliklerinin sınır değerleri (KTŞ-2013; Çizelge-206-1)

Deney	KTŞ sınır değerleri	Deney standardı
Likit limit (LL) %	≤60	TS1900-1[30], AASHTO T-89 [40]
Plastisite indeksi (PI) %	≤35	TS1900-1 [30], AASHTO T-90 [41]
Maksimum kuru birim hacim ağırlık t/m^3	≥1,450	TS1900-1 [30], AASHTO T-99 [37]
Yaş CBR şişme yüzdesi %	≤3	TS1900-1 [30], AASHTO T-193 [38]

KTŞ'de kullanım amacına göre en büyük Yaş CBR Şişme miktarları alt temelde %0.5, üst yapı tabanında %1, dolgularda %2 ve esnek üst yapılar da ise %3 olarak istenmektedir. Buna göre, DTM-1 ve DTM-2 numunelerinin şişme miktarı bu değerlerin altında olduğundan, alt temelde, üst yapı tabanında, dolgularda ve esnek üst yapılar da bu malzeme şişme miktarı açısından kullanılabilir özelliklere sahip olduğu gözlenmiştir. Ayrıca Yaş CBR şişme miktarının Çizelge 4'de verilen sınır değerine göre DTM-1 ve DTM-2 dip çamurlarının dolgu da kullanılabileceği gözlenmiştir. Özellikle ülkemizde dip akış ortamlarına sahip denizlerde yapılan bu tür çalışmalar bulunmasına karşın [21,22,27], kapalı bir göl havzasında dip tarama çamurunun özelliklerinin ve geri dönüşümünün araştırması açısından bu çalışma özgün bir değer içermektedir.

4. SONUÇLAR

Bölgedeki en büyük arıtma tesisine ait arıtma çamurunun uzun yıllar boyunca doğrudan göle deşarj edilmesine bağlı olarak Van Gölü doğu kıyısında, ciddi bir taban kirliliği oluşmuştur. Bu kirliliğin giderilmesi amacıyla gerçekleştirilen dip tarama çalışmaları sonucunda elde edilen tarama çamuru malzemesi iki farklı koşulda alınarak çeşitli deneylere tabi tutulmuş ve dolgu malzemesi olarak kullanım potansiyeli araştırılmıştır. Laboratuvar deney sonuçlarına göre, DTM-1 ve DTM-2 dip tarama çamurlarının, Atterberg limitleri, maksimum kuru birim hacim ağırlık, optimum su içeriği ve yaş CBR şişme yüzdesi sonuçlarına göre dolgu malzemesi olarak kullanılabileceği belirlenmiştir. Yaş CBR değerleri dikkate alındığında, DTM-1'in sınır değerlere sahip olduğu, DTM-2'nin ise iyileştirme yöntemleri uygulanması halinde dolgu da kullanılabileceği belirlenmiştir. Bu sonuçlar, dip çamurlarının sınır özellikler göstermesine rağmen dolgu malzemesi olarak değerlendirilebilecek niteliklere sahip olduğunu ve bertarafı açısından umut verici bulgular sunduğunu göstermektedir. Laboratuvar ortamında sıkıştırılan dip tarama çamuru üzerinde yapılan direkt kesme kutusu deneyi sonucunda, kohezyon değeri 50 kPa'dan küçük, içsel sürtünme açısı ise 8°'den düşük bulunmuştur. İdeal yol dolgularında, drenajlı koşullarda oluşturulan dolgular için kohezyon değerinin sıfıra yakın, içsel sürtünme açısının ise 30°'nin üzerinde olması beklenmektedir. Bu nedenle, elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde malzemenin stabilitesi açısından doğrudan kullanımının uygun olmadığı, ancak içsel sürtünme açısını artıracak kaba tane boyutuna sahip ek malzemeler ile iyileştirilip yol dolgusunda yeniden kullanım potansiyelinin araştırılması önerilmektedir. Ayrıca ileriki çalışmalarda saha uygulamaları için dip tarama çamurunun içerisindeki ince dane oranını kontrol altında tutmak amacıyla yıkama eleme vb. yöntemlerle istenilen yaş CBR değerinin sağlanması önerilmektedir.

Sonuç olarak, dip tarama çamurlarının doğal yaşama vereceği zararların hem çevresel hem de ekonomik etkileri göz ardı edilmemelidir. Bu çalışma sonunda da Van şehrine ait eski arıtma tesisine bağlı kirliliğe sebep olan dip çamurlarının inorganik özelliklerde olması, dolgu malzemesi olarak kullanılabilir özelliklere yakın olması, dip tarama çamurlarının karada bertarafının mümkün olduğu ve tehlikesiz olanların ise faydalı kullanıma dönüştürülebileceği belirlenmiştir. Bu çalışmada dip tarama çamurlarının yol dolgu malzemesi olarak kullanımına yönelik testler üzerinde durulmuştur, farklı sektörler için de çalışmanın genişletilmesi ve en faydalı kullanım alanının ayrıca belirlenmesi de tarafımızca önerilmektedir.

5. KAYNAKLAR

1. Agustini, F., Skoczylas, F. & Lafhaj, Z. (2007). About a possible valorisation in cementitious materials of polluted sediments after treatment. *Cement and Concrete Composites*, 29, 270-278.
2. LIFE, (2002). Methods for management and reuse of polluted sediments. *European Project Realized by in vivo, France (in French)*.
3. Krause, P.R. & McDonnell, K.A. (2000). The beneficial reuse of dredged material for upland disposal. *HLA Project No. 48881*, California, USA.

4. Riordan, J., Murphy, J.P. & Harrington, J.R. (2008). Construction and demolition waste and dredge material as landfill liner in Ireland. *1st Middle European Conference on Landfill Technology. The Hungarian Academy of Sciences*, Budapest, Hungary.
5. Hamer, K. & V, Karius. (2002). Brick production with dredged harbour sediments. *An Industrial-Scale Experiment. Waste Management*, 22, 521-30.
6. Samara, M., Lafhaj, Z. & Chapiseau, C. (2009). Valorization of stabilized river sediments in fired clay bricks: Factory scale experiment. *Journal of Hazardous Materials*, 163, 701-710.
7. Dalton, J.L., Gardner, K.H., Seager, T.P., Weimer, M.L., Spear, J.C.M. & Magee, B.J. (2004). Properties of Portland cement made from contaminated sediments. *Resources, Conservation and Recycling*, 41, 227-241.
8. Aouad, G., Laboudigue, A. Gineys, N. & Abriak, N.E. (2012). Dredged sediments used as novel supply of raw material to produce Portland cement clinker. *Cement & Concrete Composites*, 34, 788-793.
9. Douglas, W.S., Maher, A. & Jafari, F. (2005). Analysis of environmental effects of the use of stabilized dredged material from New York/New Jersey harbor, USA, for construction of roadway embankments. *Integrated Environmental Assessment and Management*, 1(4), 355-364.
10. Levacher, D. & Sanchez, M. (2011). Characterization of marine sediments for a reuse in land disposal and embankment. *European Journal of Environmental and Civil Engineering*, 15(2), 167-178.
11. DPC, 2009. Challenging the industry, Panama report. *Dredging and Port Construction Magazine*.
12. Wang, H.Y. (2009). Durability of self-consolidating lightweight aggregate concrete using dredged silt. *Construction and Building Materials*, 23, 2332-2337.
13. Tang, C.W., Chen, H.J., Wang, S.Y. & Spaulding, J. (2011). Production of synthetic lightweight aggregate using reservoir sediments for concrete and masonry. *Cement and Concrete Composites*, 33, 292-300.
14. Wang, D., Abriak, N.E., Zentar, R. & Xu, W. (2012). Solidification/stabilization of dredged marine sediments for road construction. *Environmental Technology*, 33(1), 95-101.
15. Wang, D., Abriak, N.E. & Zentar, R. (2013a). Strength and deformation properties of Dunkirk marine sediments solidified with cement, lime and fly ash. *Engineering Geology*, 166, 90-99.
16. Wang, D., Abriak, N.E. & Zentar, R. (2013b). Co-valorisation of Dunkirk dredged sediments and siliceous-aluminous fly ash using lime. *Road Materials and Pavement Design*, 14(2), 415-431.
17. Chen, H.J., Yang, M.D., Tang, C.W. & Wang, S.Y. (2012a). Durability design and performance of self-consolidating lightweight concrete. *Construction and Building Materials*, 28, 387-394.
18. Tang, C.W. (2014). Producing synthetic lightweight aggregates by treating waste TFT-LCD glass powder and reservoir sediments. *Computers and Concrete*, 13, 149-171.
19. Karakılçık, G. & Türkmen, S. (2019). Endüstriyel ham madde atıklarının dolgu malzemesi olarak kullanılabilirliği. *Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 34(2), 121-134.
20. Uysal, F., Yılmaz, V. & Topçu, H.M. (2020). Farklı atık malzemeler ile stabilize edilmiş ince daneli zeminin mühendislik özellikleri. *Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 35(1), 19-26.
21. Cevikbilen, G., Teymur, B., Karadogan, U., Basar, H.M., Dağlı, S. & Tolun, L. (2015a). An investigation on suitability of dredge materials on road construction. *International Conference on Civil and Environmental Engineering (ICOCEE)*, Nevşehir, Turkey.
22. Cevikbilen, G., Teymur, B., Karadogan, U., Basar, H.M., Dağlı, S., Özer-Erdoğan, P., Güzel, B. ve Tolun, L. (2015b). Kaba daneli deniz dibi tarama malzemelerinin geoteknik özelliklerinin değerlendirilmesi. *6. Geoteknik Sempozyumu*, Adana, Türkiye.
23. Ozer-Erdogan, P., Basar, H.M., Erden, I. & Tolun, L. (2016). Beneficial use of marine dredged materials as a fine aggregate in ready-mixed concrete: Turkey example. *Construction and Building Materials*, 124, 690-704.
24. Cai, Y., Qiao, H., Wang, J., Geng, X., Wang, P. & Cai, Y. (2017). Experimental tests on effect of deformed prefabricated vertical drains in dredged soil on consolidation via vacuum preloading. *Engineering Geology*, 222, 10-19.
25. Başar, M.B., Guzel, B., Erdoğan-Ozer, P. ve 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.
26. Güzel B., Başar H.M., Güneş K., Yenisoy-Karakaş S., Karakaş D. & Tolun L., (2017). Assessment of marine dredged materials taken from Turkey's ports/harbors in landscaping. *Desalination and Water Treatment*, 71, 207-220.

27. Karadoğan, Ü. (2021). Haliç dip tarama çamuru ve maden atığının geotekstil tüp ile susuzlaştırılması ve geoteknik mühendisliği açısından değerlendirilmesi. *Doktora tezi*. İstanbul Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Zemin Mekaniği ve Geoteknik Mühendisliği Programı, İstanbul, 125.
28. Özvan, A. (2004). Van yerleşim alanının mühendislik jeolojisi. *Yüksek lisans tezi*. Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı, Van, 103.
29. TS EN ISO 17892-1, (2014). *Geoteknik etüt ve deneyler - Zemin laboratuvar deneyleri - Bölüm 1: Su içeriğinin belirlenmesi*, Ankara.
30. TS 1900-1, (2017). *İnşaat mühendisliğinde zemin laboratuvar deneyleri-Bölüm 1: Fiziksel özelliklerin tayini*, Ankara.
31. TS EN 13039, (2012). *Toprak islahını iyileştirici ve geliştirenleri - Organik madde içeriği ve kül tahsisi*, Ankara.
32. TS EN ISO 17892-3, (2016). *Geoteknik etüt ve deneyler - Zemin laboratuvar deneyleri - Bölüm 3: Tane yoğunluğunun belirlenmesi*, Ankara.
33. TS EN ISO 17892-4, (2016). *Geoteknik etüt ve deneyler - Zemin laboratuvar deneyleri - Bölüm 4: Tane büyüklüğü dağılımının belirlenmesi*, Ankara.
34. TS EN ISO 17892-12, (2016). *Geoteknik etüt ve deneyler - Zemin laboratuvar deneyleri - Bölüm 12: Likit ve plastik limitlerin tayini*, Ankara.
35. TS EN ISO 14688-2, (2018). *Geoteknik etüt ve deneyler - Zeminlerin ayrılması ve sınıflandırılması-Bölüm 2: Sınıflandırma kuralları*, Ankara.
36. ASTM D 2487-06, (2006). Standard practice for classification of soils for engineering purposes (unified soil classification system), *In Annual Book of ASTM Standards*, 1-12, Philadelphia, USA.
37. AASHTO T 99, (2015). Moisture Density Relations of Soils. *American Association of State Highway and Transportation Officials*.
38. AASHTO T 193-13, (2017). The standard method of test for the California bearing ratio. *Washington, DC: American Association of State Highway and Transportation Officials*.
39. TS EN ISO 17892-10, (2019). *Geoteknik etüt ve deneyler - Zemin laboratuvar deneyleri - Bölüm 10: Doğrudan kesme deneyi*, Ankara.
40. AASHTO T 89, (2015). Determining the liquid limit of soils. *American Association of State Highway and Transportation Officials*.
41. AASHTO T 90, (2020). Determining the plastic limit and plasticity index of soils. *American Association of State Highway and Transportation Officials*.