

ÖLÇEKLİ TORPİDO ANKRAJLARDA BOYUT VE DÜŞÜ YÜKSEKLİĞİNİN ÇEKME KAPASİTESİNE ETKİSİ

THE EFFECT OF SIZE AND FREE-FALL HEIGHT ON THE PULLOUT CAPACITY OF SCALED TORPEDO ANCHORS

Rana Gizem YALINIZ¹, Burak EVİRGEN²

ÖZET

Akdeniz ve Karadeniz havzalarında doğal kaynakların bulunmasının ardından inşa edilecek yüzer platform projelerinde, torpido ankraj veya spudcan temel gibi deniz tabanında çekme kuvvetlerine karşı çalışan alternatif sistemlere ihtiyaç duyulacaktır. Bu çalışmada, açık denizlerde inşa edilen su üstü yapılarında kullanılagelen torpido ankrajların penetrasyon derinliği ve çekme kapasitelerinin değerlendirilmesine yönelik deneyler gerçekleştirilmiştir. Ağırlıkları 0,30 kg ile 2,10 kg arasında değişen 3 farklı boyuta sahip ankrajlar, 3 farklı yükseklikten düşük ve yüksek plastisiteli silt zeminlere serbest düşmeye maruz bırakılmıştır. Boyut ve düşü yüksekliği artışına bağlı olarak penetrasyon derinliği ve dolayısıyla nihai çekme yükü de artmıştır. Küçük boyutlu torpido ankrajlar referans değer kabul edildiğinde, orta ve büyük boyutlu ankrajlarda penetrasyon derinliği ve çekme yüklerinde sırasıyla 1,6 ve 5,9 kata ulaşan artışlar tespit edilmiştir. Düşük plastisiteli kilde yüksek plastisiteli kile oranla daha efektif sonuçlara ulaşılmıştır. Sayısal sonuçlara göre ankraj kapasitesini etkileyen faktörlerin önem derecesi; kanat yüzeyi ile direkt etkileşimde olan zemin tipi, ağırlık (boyut) ve düşü yüksekliği olarak sıralanabilir.

Anahtar Kelimeler: *Torpido ankraj, Kıyı yapıları, Çekme kapasitesi, Penetrasyon*

ABSTRACT

Alternative systems such as torpedo anchors or spudcan foundations working against tensile forces on the seabed will be required for floating platform projects to be built after the discovery of natural resources in the Mediterranean and Black Sea basins. In this study, experiments were performed to evaluate the penetration depth and the tensile capacities of torpedo anchors, which are used in surface structures built in offshore areas. Anchors with 3 different sizes between 0.30 kg and 2.10 kg were exposed to free fall from 3 different heights inside the low and high plastic silty type of soils. The depth of penetration and thus the ultimate tensile load increased depending on the increase in the size and the height of drop. When small-sized torpedo anchors were considered as reference values, the penetration depths and the pulling loads for medium and large-sized anchors increased by 1,6 and 5,9 times, respectively. More effective results were obtained in low plasticity clay than high plasticity one. The degree of importance in terms of factors affecting the anchor capacity can be listed as the soil type that interacts directly with the fin surface, the weight (size) and the height of drop, according to the numerical results.

Keywords: *Torpedo anchor, Offshore structures, Tension capacity, Penetration*

¹ İnş. Müh., Eskişehir Teknik Üniversitesi, gizem.yaliniz@gmail.com (Sorumlu yazar)

² Dr. Öğr. Üyesi, Eskişehir Teknik Üniversitesi, burakevirgen@eskisehir.edu.tr

1. GİRİŞ

Ankrajlı sistemler; iksa projelerinde, yer altı yapılarında, derin kazılarda, şev uygulamalarında ve istinat yapılarında, dönmeye karşı güvenliğin artırılması, düşey yer değiştirmelerin önlenmesi, yapıların sismik stabilitealarının sağlanması gibi amaçlarla Geoteknik Mühendisliği bünyesinde çeşitli alanlarda kullanılmaktadır. Zemin koşullarının yetersiz olduğu ve yer altı suyunun sorun teşkil ettiği vakalarda alışılmış iksa sistemlerinin kesitleri yetersiz kalmakta, kesit büyütmesi ile çözüm aranmakta ve bu da maliyeti artırmaktadır. Ankrajlı sistemler bu gibi durumlarda alternatif çözüm sunmaktadır. Ankrajlar kendi içinde, çekme ankrajları, basınç ankrajları, ankraj plakası ve kirişleri, düşey ankraj kazıkları, ankraj çubuğu gibi farklı türlere ayrılmaktadır. Bu ankraj türlerine ek olarak, açık denizlerde ve okyanuslarda inşa edilen deniz yapılarında kullanılan ve torpido ankraj olarak adlandırılan bir ankraj türü bulunmaktadır. Açık deniz yapılarına etkiyen suyun kaldırma kuvvetinin oluşturduğu çekme gerilmelerine karşı çalışmaktadır. Genellikle 12-17 m uzunluk, 0,76-1,07 m çap ve 241-961 kN ağırlığında yekpare çelikten üretilen torpido ankrajlar, 30-150 m yükseklikten serbest düşmeye bırakılarak deniz tabanındaki suya doygun, zayıf zemine kendi ağırlığı ile gömülmektedir (Araujo vd., 2004). Gömülme işleminden sonra arka ucundaki zincirlerle yapıya sabitlenmektedir.

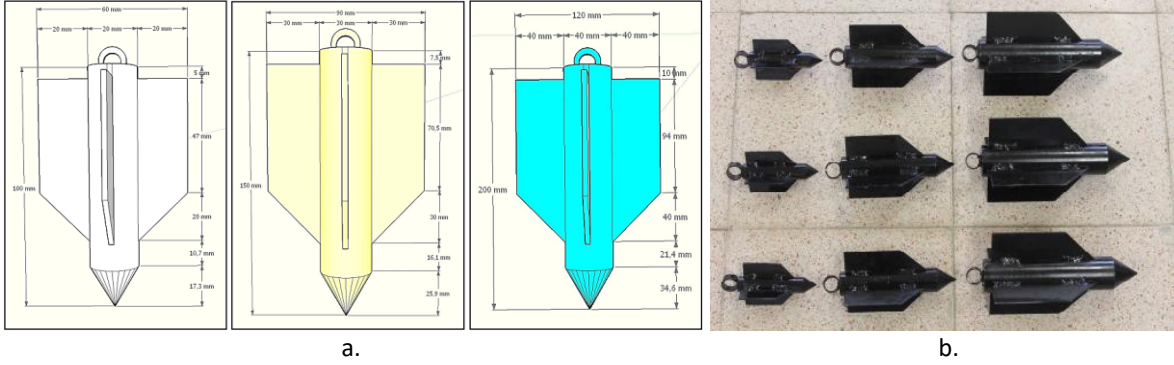
Literatürde farklı değişkenlerle araştırılan torpidoların kanatlı ve kanatsız tipleri bulunmaktadır. Kanatlı tip torpidolarda kanatlar merkezleme işlemini kolaylaştırmakta ve sürtünmeyi artırmaktadır. Wang vd. (2016) tarafından yapılan çalışmada, 3 farklı L/d (boy/çap) oranına sahip 9 tip torpido ankrajın, deniz dibinden aldıkları killi numunelere serbest düşürmek suretiyle batma derinliğini incelemiştir. Yapılan deneysel çalışma sonucunda torpidonun batma derinliğinin, çarpma hızı, çökelti boyutu, drenajsız kayma dayanımı ve ankrajın geometrik boyutlarına bağlı olduğu sonucuna varılmıştır. Torpido ankrajların uç bölgesini eliptik tasarlayan Yu vd. (2020), bu tasarımı yaparken elipsin parametrik denkleminde yararlanmıştır. Çalışma kapsamında eliptik uçların pürüzlü ve düz olduğu durumlar için yapılan sonlu elemanlar analizine göre eliptik ucun düz olduğu durumda en-boy oranı arttıkça taşıma kapasitesinin azaldığı gözlenirken, pürüzlü durumu için en-boy oranı arttıkça taşıma kapasitesinin arttığı gözlenmiştir. Kim vd. (2015) heterojen kil zemine dinamik kurulumla yerleştirilen torpido ankrajların Euler-Lagranj yaklaşımı ile analizini yapmıştır. Dinamik kurulumla modellenen torpidoların batma derinliğinin; çarpma hızı, torpido uzunluğu, şaft çapı, kanat sayısı, genişliği ve uzunluğu ile deniz tabanı çökeltisinin drenajsız kayma mukavemetinin bir fonksiyonu olduğu belirtilmiştir. Raie ve Tassoulas (2016) tarafından yapılan çalışmada boşluk suyu basıncının sönmelenmesi ve zemin dayanımının geri kazanımına odaklanılarak torpido ankraj kurulumunun modellemesi gerçekleştirilmiştir. Kurulum sonrasında konsolidasyonun tamamlanması ile çevre zeminle olan etkileşimi sonucunda ankraj dayanımının arttığı belirtilmiştir. Yumuşak deniz kilini temsil eden şeffaf zemin içerisinde 3 farklı kanat uzunluğu / çap oranına sahip (0, 2,6 ve 5,2), 4,5 m/sn darbe hızıyla penetrasyonu sağlanan torpidoların kanatlarındaki boy değişiminin penetrasyon ve çekme kapasitesine etkilerini inceleyen Ads vd. (2020) kanat olmaması durumunda 2,3 olan çekip çıkarma direncini kısa ve uzun kanatlı torpidolarda sırasıyla 3,1 ve 3,6 olarak gözlemlemiştir. Kanat uzunluğunun penetrasyon derinliğiyle negatif, çekip çıkarma kuvvetiyle pozitif orantılı olduğunu vurgulamıştır. Chen vd. (2021) torpidoların zemin içerisinde, mekanik vibrasyon ünitesi sayesinde, kendiliğinden ilerleyen bir tasarım geliştirmişlerdir. Yerleştirme sürecinin ankraj kuvveti üzerindeki etkisini belirlemek için öngörülen penetrasyon derinliklerine indirilen torpidoların farklı bekleme sürelerinin ardından ankraj kuvvetleri ölçülmüştür. Siltli zeminde 7 günlük bekleme süresinin ardından kapasitesinin %83,2'sinden daha fazlasının geri kazanıldığı görülmüştür. Bu çalışmada ise 3 farklı ölçekteki torpido ankrajların 3 farklı yükseklikten, düşük ve yüksek plastisiteli siltli zeminlere serbest düşürülmesi suretiyle oluşan penetrasyon ve çekme kapasiteleri incelenmiştir.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

2.1. Torpido Özellikleri

Çalışma kapsamında 3 set numune üretilmiş, siltli zeminlere serbest düşürmek suretiyle yük-deplasman grafikleri oluşturulmuştur. Torpido ankraj tasarımı yapılırken Wang vd. (2016) tarafından önerilen geometrik sınırlara sadık kalınmıştır. Tasarımda, kanat genişlikleri torpido gövdesinin çapına (d) eşitken, kanat uzunluğu toplam torpido boyunun (L) 2/3'ü kadardır. Torpidonun uç kısmı 60° ve kanat uç kısmı 45° olmak üzere L/d oranı 5 olarak belirlenmiştir. Çapları sırasıyla 20, 30, 40 mm ve boyları 100, 150, 200 mm olan küçük, orta ve büyük boyuttaki torpido setlerinin tasarımı Sketchup programında yapılmış ve sonrasında düşürme testlerinin

gerçekleştirilmesi amacı ile her birinden 3'er adet olmak üzere 9 adet çelik torpido üretilmiştir (Şekil 1). Küçük, orta ve büyük boyutlu torpidoların ortalama ağırlıkları 317 gr, 928 gr ve 2104 gr bulunmuştur.



Şekil 1. Torpido ankraj detayları, a. Tasarım ve b. Metal üretim torpido ankrajlar

2.2. Zemin Özellikleri

Çalışma kapsamında, deniz tabanını temsil etmesi amacıyla yüksek plastisiteli sarı kaolin (MH) ve düşük plastisiteli beyaz zeolit (ML) kullanılmıştır. Literatürde daha çok killi zeminler dikkate alındığı için bu çalışmada silt içerikli zeminlere odaklanılmıştır. Standart proktor deneylerine göre ML ve MH zeminlerin optimum su muhtevası değerleri sırasıyla %38,6 ve %45 bulunurken, özgül ağırlık ve kıvam limitleri Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Zemin özellikleri

	Özgül Ağırlık (G_s)	Plastik Limit (%)	Likit Limit (%)	Plastisite İndisi (%)	Zemin Sınıfı (USCS)
Beyaz zeolit	2,37	40,00	41,00	1,00	ML
Sarı kaolin	2,45	42,47	50,17	7,70	MH

2.3. Yöntem

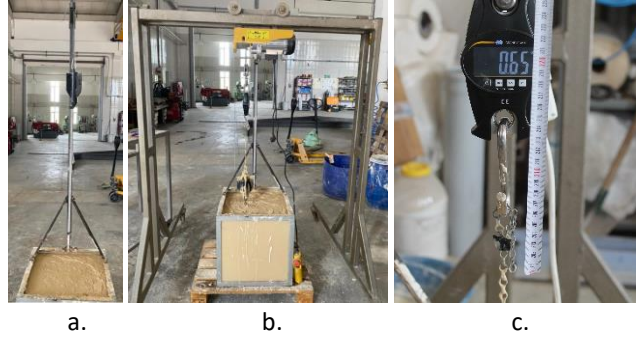
Zemin numunelerinin hazırlanması sürecinde ilk olarak, optimum su içeriğinde ve kompaksiyon enerjisine eş değer enerji uygulanarak yerleştirilen ince daneli zeminlere deneme amaçlı düşürülen torpidoların zemin içerisine gömülmediği tespit edilmiştir. Dolayısıyla, normal şartlarda ince daneli zeminler için kullanılan zemin hazırlama sürecinde değişikliğe gidilmiştir. Bu amaçla yapılan denemelerde, optimum su içeriğine göre %5 artışlarla, yüksek devirli karıştırıcı yardımıyla mümkün olduğunca homojen hale getirildikten sonra sabit hacimli kovaya yerleştirilen sulu bulamaç formundaki siltli zeminlere ankrajlar düşürülmüştür (Şekil 2). Deniz tabanı zeminini temsil eden ince daneli zeminlerde gerçek boyutlu uygulama koşullarının sağlanması için düşü sonrasında üç farklı boyuttaki torpidoların zemine tamamen penetrasyonunun gerçekleştirilmesi gerekmektedir. Aksi takdirde büyük boy ankrajın dibe çakılması veya küçük boy ankrajın zemin içine girmemesi durumları meydana gelmektedir. Düşük ve yüksek plastisiteli silt zeminler için sırasıyla, ağırlıkça %55 ve %60 su eklenmesi durumunda (optimum değerden yaklaşık %15 fazla) ankrajların tamamen batması sağlanmıştır. Ankrajların düşü yükseklikleri 1,0, 1,5 ve 2,0 m seçilmiştir. 50 cm boyutlarındaki deney hücresine yerleştirilen %55 su muhtevasındaki ML ve %60 su muhtevasında MH zeminlere üç boy ankraj seti 1,0; 1,5; 2,0 m yüksekliklerden düşürülmüştür. Her düşürme işleminin ardından kademeli çekme kuvveti uygulanarak, eş zamanlı yük – yer değiştirme değerleri kaydedilmiştir (Şekil 3). Ayrıca, penetrasyon derinliklerinin belirlenmesi sürecinde serbest düşmeye maruz bırakılan torpido ankrajların zemin içerisine giren kısmı arkasında uzunluğu bilinen zincirin batan kısmı ile ankraj boyu toplanarak hesaplanmıştır.



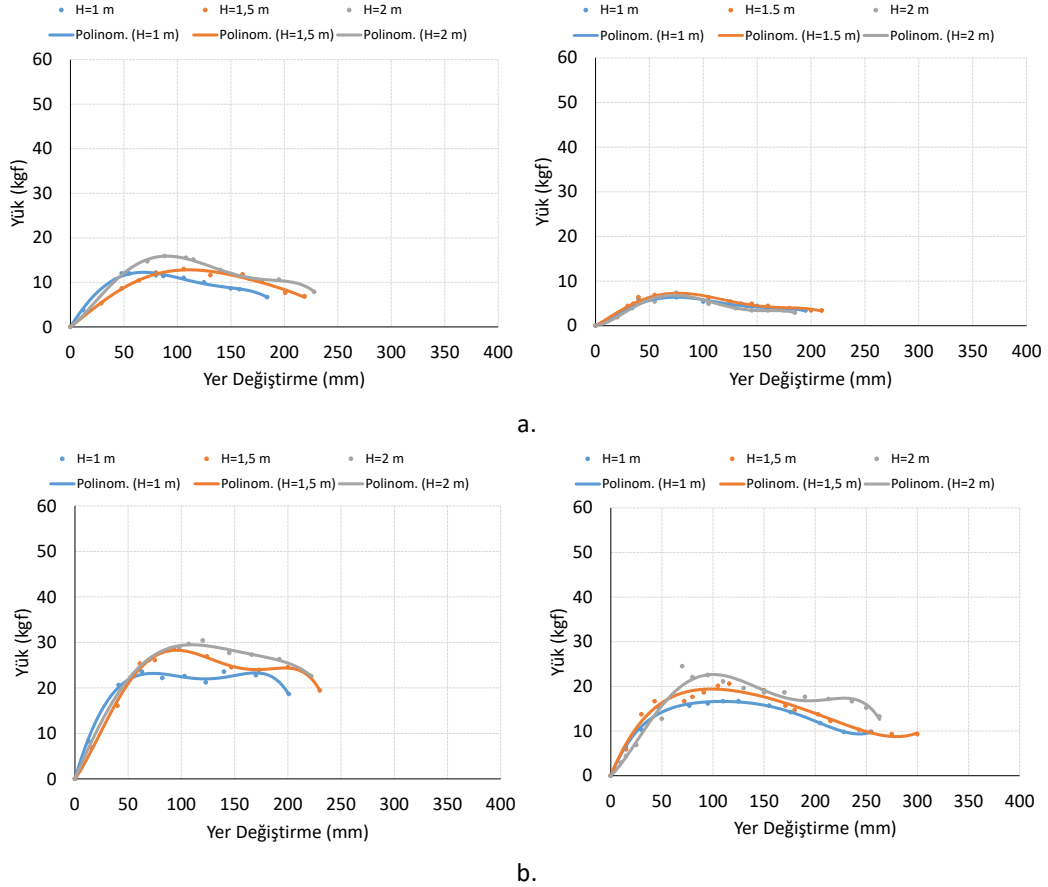
Şekil 2. Düşük ve yüksek plastisiteli siltlerde yapılan düşü denemeleri

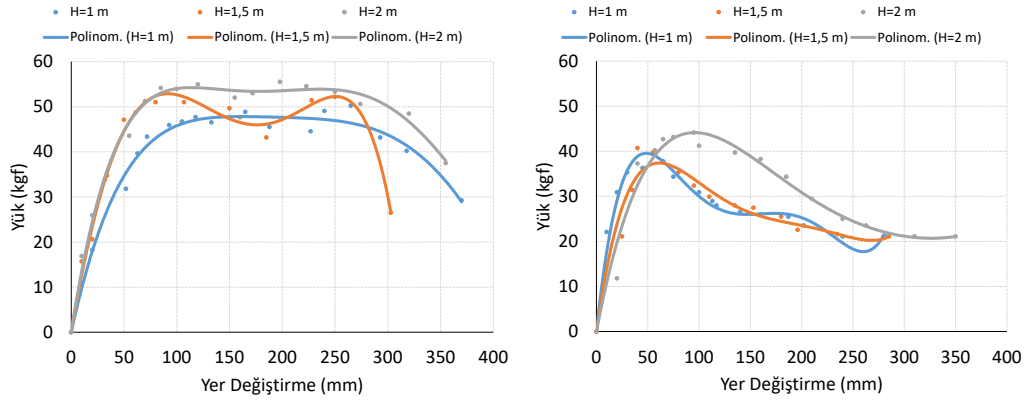
3. DENEY SONUÇLARI

Deneysel sonuçlarda elde edilen çekme yüküne karşılık yer değiştirme grafiklerinin noktasal dağılımları ve polinom tipi eğilim çizgileri Şekil 4'te verilmiştir. Ağırlık ve düşü yüksekliği arttıkça ankrajın batma derinliğinin arttığı dolayısıyla çekme kapasitesinin de arttığı gözlenmiştir. Düşük plastisiteli silt zeminde daha yüksek çekme yüklerine ulaşılmış ve nihai yükün ardından kademeli düşüş meydana gelmiştir. Yüksek plastisiteli siltte ise özellikle büyük boyutlu torpido ankrajların nihai yük sonrasında daha keskin bir düşüş eğilimi sergilenmektedir. Torpidolar düştükten sonra zemin yüzeyine yakın konumlarda özellikle düşük plastisiteli siltte çelik kanatlarla zemin arasında kısmi boşluklar oluşmaktadır. Bu durumun, çekme sürecinde olduğu gibi batma sürecinde de ankraj boyutunun büyümesine bağlı artan sürtünme kuvvetinin, ağırlık faktöründen daha baskın olması sebebiyle meydana geldiği görülmektedir. Her ne kadar genel davranışı etkileyecek düzeyde olmasa da söz konusu kısmi boşluklar torpidoların çekme kapasitesi üzerinde olumsuz etkisi bulunmaktadır.



Şekil 3. Deney düzeneği; a. Düşü öncesi, b. Sıyrılmış torpido ve c. Ölçüm sistemi





c.

Şekil 4. ML (sol) ve MH (sağ) tipi siltli zeminlerdeki torpido ankrajların çekme testlerine ait yük-yer değiştirme grafikleri a. Küçük boy ankraj, b. Orta boy ankraj, c. Büyük boy ankraj

Tüm ankrajlarda “5” değerinde sabit boy/çap (L/d) oranı kullanılmasına bağlı olarak serbest düşme sonrası penetrasyon sürecinde benzer direnç gözlenmiştir. Tablo 2’de verilen sayısal değerler incelendiğinde düşü yüksekliğinin artması neticesinde depolanan potansiyel enerjinin zemine giriş hızını ve dolayısıyla penetrasyon derinliğini arttırdığı görülmektedir. Ancak, zeminin gösterdiği direnç sebebiyle bu artış doğrusal değil azalarak artan eğilimdedir. Ankraj boyutuna göre elde edilen ortalama penetrasyon değerleri dikkate alınır, düşük plastisiteli siltte genel açıdan daha kolay bir ilerleme tespit edilmiştir. Küçük, orta ve büyük boy ankrajların ML tipi zemindeki penetrasyon derinliği MH tipi zemine kıyasla sırasıyla, %16,4, %5,2 ve %36,4 mertebelerinde daha yüksektir. Küçük boy ankrajların referans alınması durumunda orta ve büyük boy ankrajlar için ortalama penetrasyon derinlikleri %26,2 ile %65,2 (ML) ve %39,5 ile %40,9 (MH) oranında artmıştır. Diğer boyutlara göre orta boy ankrajlarda tespit edilen kısmi farklılaşma, değişken boyutlar için sahaya özel efektif torpido ankraj tasarımının gerekliliğini ortaya koymaktadır.

Tablo 2. Penetrasyon derinlikleri (cm)

Yükseklik	Düşük Plastisiteli Silt (ML)				Yüksek Plastisiteli Silt (MH)			
	Küçük Boy	Orta Boy	Büyük Boy	Ortalama	Küçük Boy	Orta Boy	Büyük Boy	Ortalama
1,0 m	23,0	28,5	41,0	30,8	21,0	28,0	27,0	25,3
1,5 m	25,9	33,0	42,8	33,9	22,0	31,0	31,0	28,0
2,0 m	28,0	35,5	43,2	35,6	23,0	33,0	35,0	30,3
Ortalama	25,6	32,3	42,3		22,0	30,7	31,0	

Torpido ankrajların nihai çekme yükleri Tablo 3’te verilmiştir. Küçük boy ankrajlar referans alındığında, orta ve büyük boyutlu ankrajlarda çekme yükleri sırasıyla 2,0 ile 3,9 (ML) ve 3,0 ile 5,9 (MH) kat oranında artmıştır. Her ne kadar MH tipi zeminde çekme yükünün normalize artış seviyeleri daha yüksek olsa da ML tipi zeminde yüksek plastisiteli zemine kıyasla küçük boy ankrajda 1,9 kat daha yüksek yüke ulaşılırken, orta ve büyük boy ankrajlarda bu oran yaklaşık 1,3 kat mertebesinde kalmıştır. Sonuç olarak, torpido ankrajların çekme kapasitesini arttıran temel bileşen sürtünme direncini oluşturan kanat yüzey alanı olmakla birlikte ankraj ağırlığı veya boyutu, düşü yüksekliği ve zeminin kıvamı hem penetrasyon hem de çekme direnci üzerinde ciddi etkiye sahiptir.

4. SONUÇLAR

Çalışma kapsamında açık deniz yapılarında kullanılan torpido ankrajların boyut ve düşü yüksekliğinin penetrasyon derinliği ve çekme kapasitesine etkisi araştırılmıştır. Bu doğrultuda, optimum su muhtevasından %15 daha yüksek su içeriğindeki düşük (ML) ve yüksek plastisiteli kil (MH) zeminlere L/d oranı sabit tutulan üç farklı boyuta sahip ankrajlar, 1, 1,5 ve 2 m yükseklikten düşürülmüştür. Genel ortalamalara göre ML ve MH tipi zeminlerde sırasıyla, 33,4 cm ve 27,9 cm penetrasyon gözlenirken, 31,3 kgf ve 22,8 kgf çekme yüküne

ulaşmıştır. Dolayısıyla, düşük plastisiteli silt zeminde penetrasyon ve çekme kapasitesi açısından sırasıyla %19,7 ve %37,3 oranlarında daha etkin bir davranış gözlenmiştir. Ağırlık faktörünün düşü yüksekliğine göre daha önemli bir değişken olduğu belirlenmiştir. Gelecek çalışmalarda, kanat detayının farklılaştırılması, açıl dönme hareketinin sağlanması, deniz suyu ve rüzgar yükü etkilerinin dahil edilmesiyle birlikte deneysel süreçlerin geliştirilebileceği düşünülmektedir.

Tablo 3. Nihai çekme yükü (kgf)

Yükseklik	Düşük Plastisiteli Silt (ML)				Yüksek Plastisiteli Silt (MH)			
	Küçük Boy	Orta Boy	Büyük Boy	Ortalama	Küçük Boy	Orta Boy	Büyük Boy	Ortalama
1,0 m	12,0	23,5	50,2	28,6	6,4	16,7	37,8	20,3
1,5 m	13,0	28,6	52,2	31,3	6,9	20,6	40,7	22,7
2,0 m	15,9	30,4	55,5	33,9	7,4	24,5	44,2	25,4
Ortalama	13,6	27,5	52,6		6,9	20,6	40,9	

TEŞEKKÜR

Bu çalışma, Eskişehir Teknik Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Komisyonu tarafından kabul edilen 1705F204 numaralı proje kapsamında desteklenmiştir.

KAYNAKLAR

- Ads, A., Iskander, M., Bless, S., Omidvar, M, (2020), "Visualizing the effect of fin length on torpedo anchor penetration and pullout using a transparent soil", Ocean Engineering, 216, 108021.
- Araujo, J.B., Machado, R.D., de Medeiros Junior, C.J., 2004. High Holding Power Torpedo Pile: Results for the First Long Term Application. ASME, Vancouver, Canada.
- Chen, X., Zhang, M., Yu, G. (2021), "A self-penetration torpedo anchor with vibrational shearing", Ocean Engineering, 236, 109315.
- Kim, Y.H., Hossain, M.S., Wang, D. and Randolph, M.F. (2015). Numerical investigation of dynamic installation of torpedo anchors, Ocean Engineering, 108, 820-832.
- Raie, M.S., Tassoulas, J.L. (2016). Simulation of torpedo anchor set-up, Marine Structures, 49, 138-147.
- Wang W., Wang X., Yu G., (2016). Penetration depth of torpedo anchor in cohesive soil bu free fall, Ocean Engineering, 116, 286-294.
- Yu L., Yang Q., (2020). The penetration resistance of the elliptical tip of torpedo anchors in cohesive soil, Ocean engineering, 218, 108034