



**KOHEZYONSUZ ZEMİNDE E-ATIK KATKILI
POLİMER ESASLI KAZIKLARIN DÜŞEY YÜK
ALTINDAKİ DAVRANIŞININ İNCELENMESİ**

Fatih ARTUK

Danışman: Prof. Dr. Ahmet Şahin ZAIMOĞLU

Doktora Tezi

İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı

2023

(Her Hakkı Saklıdır.)

T.C.
ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

**KOHEZYONSUZ ZEMİNDE E-ATIK KATKILI POLİMER ESASLI KAZIKLARIN
DÜŞEY YÜK ALTINDAKİ DAVRANIŞININ İNCELENMESİ**

Investigation of the Behavior of E-Waste Additive Polymer Based Piles Under Vertical Load
on Cohesionless Soil

DOKTORA TEZİ

Fatih ARTUK

Danışman: Prof. Dr. A. Şahin ZAIMOĞLU

Erzurum
Haziran, 2023

T.C.
ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürlüğü

TEZ KABUL VE ONAY TUTANAĞI

**KOHEZYONSUZ ZEMİNDE E-ATIK KATKILI POLİMER ESASLI KAZIKLARIN
DÜŞEY YÜK ALTINDAKİ DAVRANIŞININ İNCELENMESİ**

Prof. Dr. Ahmet Şahin ZAIMOĞLU danışmanlığında, Fatih ARTUK tarafından hazırlanan bu çalışma, 22/06/2023 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı Geoteknik Bilim Dalı'nda Doktora tezi olarak **oybirliği** ile kabul edilmiştir.

Jüri Başkanı:	Prof. Dr. EROL ŞADOĞLU <i>Karadeniz Teknik Üniversitesi</i>	
Danışman:	Prof. Dr. Ahmet Şahin ZAIMOĞLU <i>Atatürk Üniversitesi</i>	
Jüri Üyesi:	Prof.Dr. Bünyamin DÖNMEZ <i>Atatürk Üniversitesi</i>	
Jüri Üyesi:	Prof. Dr. SABRİYE BANU İKİZLER <i>Karadeniz Teknik Üniversitesi</i>	
Jüri Üyesi:	Dr.Öğr.Üyesi Rahim Kağan AKBULUT <i>Atatürk Üniversitesi</i>	

Enstitü Yönetim
Kurulunun/....../.... tarih
ve sayılı kararı.

Bu tezin Atatürk Üniversitesi Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliği'nin ilgili maddelerinde belirtilen şartları yerine getirdiğini onaylarım.

Prof.Dr. Saltuk Buğrahan CEYHUN
Enstitü Müdürü

Bu çalışma BAP Hızlı Destek projesi kapsamında desteklenmiştir.
Proje No: FHD-2021-9832

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaklardan yapılan bildiriş, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak olarak kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.



T.C.
ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ REKTÖRLÜĞÜ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ MÜDÜRLÜĞÜ

ETİK BİLDİRİM VE İNTİHAL BEYAN FORMU

Doktora Tezi olarak *Prof. Dr. Ahmet Şahin ZAIMOĞLU* danışmanlığında sunulan “Kohezyonsuz Zeminde E-Atık Katkılı Polimer Esaslı Kazıkların Düşey Yük Altındaki Davranışının İncelenmesi” başlıklı çalışmanın tarafımızdan bilimsel etik ilkelere uyularak yazıldığını, yararlanılan eserlerin kaynakçada gösterildiğini, Fen Bilimleri Enstitüsü tarafından belirlenmiş olan Turnitin Programı benzerlik oranlarının aşılmadığını ve aşağıdaki oranlarda olduğunu beyan ederiz.

Tez Bölümleri	Tezin Benzerlik Oranı (%)	Maksimum Oran (%)
Giriş	20	30
Kuramsal Temeller	29	30
Materyal ve Metot	16	35
Araştırma Bulguları ve Tartışma	2	20
Sonuçlar ve Öneriler	3	20
Tezin Geneli	22	25

Not: Yedi kelimeye kadar benzerlikler ile Başlık, Kaynakça, İçindekiler, Teşekkür, Dizin ve Ekler kısımları tarama dışı bırakılabilir. Yukarıdaki azami benzerlik oranları yanında tek bir kaynaktan olan benzerlik oranlarının %5'den büyük olmaması gerekir.

Sunulan bilgilerin doğru olduğunu, aksi halde doğacak hukuki sorumlulukları kabul ettiğimizi beyan ederiz.

Tez Yazarı (Öğrenci)	Tez Danışmanı
Fatih ARTUK	Ahmet Şahin ZAIMOĞLU
22.6.2023	22.6.2023
İmza:	İmza:

* Tez ile ilgili YÖKTEZ’de yayımlanmasına ilişkin bir engelleme var ise aşağıdaki alanı doldurunuz.

☐ Tezle ilgili patent başvurusu yapılması / patent alma sürecinin devam etmesi sebebiyle Enstitü Yönetim Kurulunun/....../.... tarih ve sayılı kararı ile teze erişim 2 (iki) yıl süreyle engellenmiştir.

☐ Enstitü Yönetim Kurulunun/....../.... tarih ve sayılı kararı ile teze erişim 6 (altı) ay süreyle engellenmiştir.

TEŞEKKÜR

Doktora eğitim sürecimde ve tezimin her aşamasında desteğini esirgemeyen, engin tecrübesi ve bilgisiyle daima yol gösteren çok değerli tez danışmanım saygıdeğer hocam Prof. Dr. Ahmet Şahin ZAİMOĞLU'na saygılarımı ve teşekkürlerimi sunarım..

Çalışmalarım sırasında değerli fikirleriyle tezime katkıda bulunan ve tez izleme komitesinde bulunarak değerli görüşleriyle beni yönlendiren hocalarım Prof. Dr. Bünyamin DÖNMEZ ve Dr. Öğr. Üyesi Rahim Kağan AKBULUT hocalarıma saygılarımı ve teşekkürlerimi sunarım.

Doktora sürecimde ve her zaman yanımda olan, bilgi ve tecrübesini paylaşan sayın Prof. Dr. Ergün YILDIZ'a, Doç. Dr. Semet ÇELİK'e ve Dr. Öğretim Üyesi Zeynep Neşe KURT ALBAYRAK'a saygılarımı ve teşekkürlerimi sunarım.

Tüm hayatım boyunca desteklerini ve dualarını hiçbir zaman esirgemeyen aileme, her zaman desteğiyle yanımda bulunan sevgili eşime, oğluma, Arş. Gör. Burak ÇIRAĞ'a ve Arş. Gör. Kadir GEZİCİ olmak üzere değerli arkadaşlarıma sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Fatih ARTUK

ÖZET

DOKTORA TEZİ

KOHEZYONSUZ ZEMİNDE E-ATIK KATKILI POLİMER ESASLI KAZIKLARIN DÜŞEY YÜK ALTINDAKİ DAVRANIŞININ İNCELENMESİ

Fatih ARTUK

Danışman: Prof. Dr. A. Şahin ZAIMOĞLU

Amaç: Geleneksel kazıklara alternatif olarak katkısız ve e-atık katkılı polimer esaslı kazıklar çalışma kapsamında kullanılmıştır. Çalışmada; kohezyonsuz zeminde e-atık katkılı polimer esaslı kazıkların düşey yük altındaki performansının incelenmesi amaçlanmıştır.

Yöntem: Çalışma katkısız ve e-atık katkılı polimer esaslı deney numuneleri üretilerek gerçekleştirilmiştir. Katkısız ve e-atık katkılı polimer numune üretimi için; poliester (Polyethylene terephthalate) içerisine hızlandırıcı (Cobalt(II) naphthenate) ilave edilip homojen hale gelinceye kadar karıştırılmış ardından sertleştirici (Methyl Ethyl Ketone Peroxide) ilave edilerek karıştırılmaya devam edilmiştir. Daha sonra 0-2 mm, 2-4 mm ve 4-8 mm boyutlarındaki e-atık malzemesi farklı oranlarda (%5, %10, %15, %20) eklenerek 2.5 dk süre ile homojen hale gelinceye kadar karıştırılmıştır. Her bir karışımdan hazırlanan numuneler üzerinde serbest basınç deneyi yapılmıştır. Serbest basınç deneyi sonucunda en iyi serbest basınç mukavemeti değerini veren karışım oranları (%0, %5 ;0-2mm, %5;2-4mm, %10;0-2mm, %10; 2-4mm) belirlenmiştir. Bu karışımlar ile farklı boyutlarda hazırlanan numuneler üzerinde donma-çözülme, eğilme dayanımı ve sönüm oranı deneyleri yapılmıştır. Ayrıca aynı karışımlardan farklı boy/çap (l/d=10, 14, 18) oranlarında kazık ve kazık grubu (tekil, ikili ve dörtlü) üretilmiştir. Üretilen kazıkların çekme dayanımını belirlemek amacıyla her bir kazık çekme deneyine tabi tutulmuştur. Kazık ve kazık grupları, rölatif sıklığı %65 olan kum zemin ile doldurulmuş büyük ölçekli model deney sisteminde yüklemeye tabi tutulmuştur.

Bulgular: Deneylerden elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde e-atık oranı %0 değerinde ve 2-4 mm aralığındaki e-atığın tüm oranlarında(%5, %10) serbest basınç mukavemet değerlerinde yüksek olduğu belirlenmiştir. Eğilme dayanımı, donma-çözülme sonrası serbest basınç mukavemet değeri ve sönüm oranı değerleri de e-atığın 2-4 mm aralığındaki deney numunelerinde de yüksek değerlere sahip olduğu gözlenmiştir. Kazık ve kazık grubu deneylerinde %0 , %5(2-4mm) ve %10(2-4mm) e-atık katkılı kazıklarda yük-oturma ilişkisi incelendiğinde aynı oturmalar altında diğer kazıklara nazaran daha yüksek taşıma kapasiteleri belirlenmiştir.

Sonuç: Elde edilen bulgulardan e-atık ilave edilen numunelerde e-atık oranının artması ile sünekliğin arttığı görülmüştür. Donma-çözülme deneylerinde, serbest basınç mukavemet değerlerinin donma-çözülme sonrası serbest basınç mukavemet değerlerine nazaran önemli ölçüde değişmediği görülmüştür. Dinamik deneylerde e-atık kullanılan polimer esaslı kazıkların enerji sönümleme özelliğine sahip olduğunu ve sismik yük etkisine maruz kalınan durumlarda kullanılabileceğini göstermiştir. Çekme deneylerinde %0 ve %10(2-4mm) karışımları ile hazırlanan kazıkların çekme kazığı olarak kullanılabileceği yönünde ön fikir vermiştir. Kazık ve kazık gruplarının sonuçları incelendiği gruptaki kazık sayısının ve l/d oranının artması ile taşıma gücü kapasitesinin arttığı görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Kazıklı temeller, polimer, e-atık, serbest basınç mukavemeti.

Haziran 2023, 106 sayfa

ABSTRACT

DOCTORAL DISSERTATION

INVESTIGATION OF THE BEHAVIOR OF E-WASTE ADDITIVE POLYMER BASED PILES UNDER VERTICAL LOAD ON COHESIONLESS SOIL

Fatih ARTUK

Supervisor: Prof. Dr. A. Şahin ZAIMOĞLU

Purpose: As an alternative to conventional piles, polymer-based piles with no additives and e-waste were used in the study. In the study; In this study, it is aimed to examine the performance of e-waste added polymer-based piles under vertical load in cohesionless soil.

Method: The study was carried out by producing polymer-based test samples with no additives and e-waste additives. For the production of additive-free and e-waste added polymer samples; The accelerator (Cobalt(II) naphthenate) was added to polyester (Polyethylene terephthalate) and mixed until it became homogeneous, then the hardener (Methyl Ethyl Ketone Peroxide) was added and the mixing was continued. Then, e-waste material in 0-2 mm, 2-4 mm and 4-8 mm sizes was added at different rates (5%, 10%, 15%, 20%) and mixed for 2.5 minutes until it became homogeneous. The unconfined pressure test was performed on the samples prepared from each mixture. As a result of the unconfined pressure test, the mixture ratios (0%, 5% ;0-2mm, 5%;2-4mm, 10.0% 2mm, 10%; 2-4mm) giving the best unconfined compressive strength were determined. By determining the mixture ratios (0%, 5%(0-2mm), 5%(2-4mm), 10%(0-2mm), 10%(2-4mm)) giving the best unconfined compressive strength value from the unconfined pressure test, freeze-thaw strength, flexural strength, damping ratio were determined. Freeze-thaw, bending strength and damping ratio tests were carried out on samples prepared in different sizes with these mixtures. In addition, piles and pile groups (single, double and quadruple) were produced from the same mixtures at different length/diameter ($l/d=10, 14, 18$) ratios. Each pile was subjected to tensile test in order to determine the tensile strength of the produced piles. Pile and pile groups were subjected to loading in a large scale model test system filled with sand soil with a relative density of 65%.

Results: When the results obtained from the experiments were evaluated, it was determined that the unconfined compressive strength values were high at 0% e-waste ratio and at all ratios (5%, 10%) of e-waste in the range of 2-4 mm. Flexural strength, freeze-thaw unconfined compressive strength value and damping ratio values were also observed to have high values in the 2-4 mm range of e-waste. In the pile and pile group experiments, when the load-settlement relationship was examined in the 0%, 5%(2-4mm) and 10%(2-4mm) e-waste added piles, higher bearing capacities were determined under the same settlements compared to the other piles.

Conclusion: From the findings obtained, it was observed that the ductility increased with the increase in the e-waste ratio in the samples to which e-waste was added. In the freeze-thaw experiments, it was observed that the unconfined compressive strength values did not change significantly compared to the unconfined compressive strength values after freezing-thawing. In dynamic experiments, it has been shown that polymer-based piles using e-waste have energy absorption properties and can be used in situations where seismic load is exposed. It gave a preliminary idea that piles prepared with 0% and 10% (2-4mm) mixtures can be used as tension piles in tensile tests. The results of the pile and pile groups were examined, it was observed that the bearing capacity increased with the increase in the number of piles and the l/d ratio in the group.

Keywords: Pile foundations, polymer, e-waste, unconfined compressive strength.

June 2023, 106 pages

İÇİNDEKİLER

TEZ KABUL VE ONAY TUTANAĞI.....	i
ETİK BİLDİRİM VE İNTİHAL BEYAN FORMU	ii
TEŞEKKÜR	iii
ÖZET	iv
ABSTRACT	v
İÇİNDEKİLER.....	vi
TABLolar DİZİNİ.....	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ	x
KISALTMALAR ve SİMGELER DİZİNİ	xiii
GİRİŞ.....	2
KURAMSAL TEMELLER.....	4
Kazıklı Temeller	4
Kazıklı Temellerin Tarihçesi	4
Kazıkların İşlevleri.....	4
Kazıkların Sınıflandırılması	5
İmal Edildikleri Malzemeye Göre Kazık Temeller.....	6
Ahşap kazıklar.....	6
Beton kazıklar	6
Çelik kazıklar	7
Kompozit kazıklar.....	8
Kullanım Amaçlarına Göre Kazık Temeller	8
Zemine Yerleştirilme Şekillerine Göre Kazıklar	9
Çakma kazıklar (Deplasman kazıkları).....	9
Sondaj kazıkları (Fore kazıklar).....	10
Kazık Taşıma Kapasitesi.....	10
Statik Formüller	11
Yanal (çevre) sürtünme kapasitesi	12
Dinamik formüller.....	15
Kazık Yükleme Deneyleri.....	17
Arazi Deneyleri	17
Kazık Grubunun Davranışı	17
Kazıklı Radye Temeller	18
Radye Temeller	18

Kazıklı Radye Temellerin Uygulama Alanları	18
Elektronik Atık (E-atık)	21
Polimerler	23
Termoplastikler	24
Elastomerler	24
Termosettingler	25
Poliester	25
Doymuş poliestere	26
Doymamış poliestere	27
Konu İle İlgili Yapılmış Çalışmalar	28
Kazık temeller ile ilgili yapılan çalışmalar	28
E-atıklar ile yapılan çalışmalar	32
Polimer malzemelerle yapılan çalışmalar	35
MATERYAL ve METOT	36
Materyal	36
Kum zemin	36
Doymamış poliestere	38
Hızlandırıcı	39
Sertleştirici	39
E-atık	40
Basınç ve eğilme deney sistemi	42
Donma-çözülme deney sistemi	42
Dinamik deney sistemi	42
Çekme deney sistemi	43
Büyük ölçekli model deney sistemi	43
Metot	47
Serbest basınç deney numunelerinin hazırlanması	47
Eğilme deney numunelerinin hazırlanması	48
Donma-çözülme deneyi	49
Dinamik deney	50
Büyük ölçekli model kazık üretimi	52
Büyük ölçekli model deneyler	54
Çekme deneyi	56
ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA	57
Serbest Basınç Deneyi Sonuçları	57

Donma-çözülme Deneyi Sonuçları	58
Eğilme Deneyi Sonuçları	59
Dinamik Deney Sonuçları	60
Büyük Ölçekli Model Deney Sonuçları	62
Tekil kazık deney sonuçları	62
2’li kazık grubu deney sonuçları	64
4’lü kazık grubu deney sonuçları	66
SONUÇ ve ÖNERİLER	85
KAYNAKLAR	87
ÖZGEÇMİŞ	92



TABLÖLAR DİZİNİ

Tablo 1. Kazık Tipine Göre K Değerleri	13
Tablo 2. Sükûnetteki Yatay Toprak Basıncı Katsayısına Göre K Değerleri	13
Tablo 3. Kazık-Zemin Arasındaki Sürtünme Değerleri.....	14
Tablo 4. Adhezyon katsayısı.....	15
Tablo 5. Şahmerdanlara Göre c Değerleri	16
Tablo 6. Deneylerde Kullanılan Kum Malzemenin Bazı Özellikleri	37
Tablo 7. Doymamış Poliester(Polyethlene terephthalate)'e Ait Özellikler	38
Tablo 8. Hızlandırıcı(Kobalt Naftenat)'ya Ait Özellikler.....	39
Tablo 9. Sertleştirici(Methyl Ethyl Ketone Peroxide)'ye Ait Özellikler.....	40
Tablo 10. Serbest Basınç Mukavemet Değerleri	57
Tablo 11. Donma-Çözülme Öncesi-Sonrası Serbest Basınç Mukavemet Değerleri	59
Tablo 12. Eğilme Dayanım Değerleri.....	59
Tablo 13. Dinamik Deney Sonuçları	60
Tablo 14. Çekme Deney Sonuçları	61

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1. Kullanım amaçlarına göre kazık tipleri.....	8
Şekil 2. (a) Kazık yük taşıma gücü bileşenleri, (b) Kazıkta uç mukavemeti ve çevresel sürtünme mukavemetini tanımlayan mekanizma	11
Şekil 3. Kazık yükleme deneyi.....	17
Şekil 4. Kazık grup etkisi	18
Şekil 5. Farklı tasarım yaklaşımlarına göre kazıklı radye temellerin yük-oturma davranışı eğrileri	20
Şekil 6. E-Atıklar.....	22
Şekil 7. Doymuş poliestere örneği.	27
Şekil 8. Deneylerde kullanılan kum zemin	36
Şekil 9. Kum zemine ait dane çapı dağılım eğrisi.....	37
Şekil 10. Doymamış poliestere(Polyethlene terephthalate)	38
Şekil 11. Hızlandırıcı (Kobalt Naftenat)	39
Şekil 12. Sertleştirici (Methyl Ethyl Ketone Peroxide).....	40
Şekil 13. Öğütülen e-atık.....	41
Şekil 14. Yıkıp-kurutulan E-atık	41
Şekil 15. Elenen ve boyutlarına (0-2mm, 0-4mm, 4-8mm) göre sınıflandırılan E-atık.....	41
Şekil 16. Basınç ve eğilme deney sistemi	42
Şekil 17. Donma-çözülme deney aleti.....	42
Şekil 18. Dinamik deney sistemi.....	43
Şekil 19. Çekme deney sistemi	43
Şekil 20. Büyük ölçekli model deney sistemi	44
Şekil 21. Cihazın şematik gösterimi.....	45
Şekil 22. Yük hücresi	45
Şekil 23. Deplasman ölçer (LVDT)	46
Şekil 24. Veri toplama sistemi	46
Şekil 25. Basınç ölçerler.....	46
Şekil 26. Serbest basınç deney numunesi üretimi	47
Şekil 27. Serbest basınç deney numuneleri-kırımı	48
Şekil 28. Eğilme deney numuneleri	48
Şekil 29. Eğilme deney sistemi	49
Şekil 30. Donma-çözülme deneyi	50
Şekil 31. Sönüm oranının belirlenmesi için kullanılan deney düzeneği	51

Şekil 32. Sönüm oranının belirlenmesi için kullanılan kalıplar	51
Şekil 33. Sönüm oranının belirlenmesi için kullanılan numuneler	51
Şekil 34. Büyük ölçekli model kazık üretimi	52
Şekil 35. Büyük ölçekli model kazık	52
Şekil 36. Üretilen model kazıklar	53
Şekil 37. Kazık boylarının ayarlanması	53
Şekil 38. Polimer malzemenin kazık yüzeyini kaplaması	54
Şekil 39. Kazıkların pürüzlü hale getirilmesi	54
Şekil 40. Kazık numunelerinin yerleştirilmesi	55
Şekil 41. Kum zeminin model tank sistemine yerleştirilmesi	55
Şekil 42. Büyük ölçekli model deney sistemi	56
Şekil 43. Çekme deneyi	56
Şekil 44. Serbest basınç mukavemeti- deformasyon ilişkisi	58
Şekil 45. Kazık ve kazık grupları	62
Şekil 46. Yük-oturma ilişkisi ($l/d=10$; tekil kazık)	63
Şekil 47. Yük-oturma ilişkisi ($l/d=14$; tekil kazık)	63
Şekil 48. Yük-oturma ilişkisi ($l/d=18$; tekil kazık)	64
Şekil 49. Yük-oturma ilişkisi ($l/d=10$; 2' li kazık grubu)	65
Şekil 50. Yük-oturma ilişkisi ($l/d=14$; 2' li kazık grubu)	65
Şekil 51. Yük-oturma ilişkisi ($l/d=18$; 2' li kazık grubu)	66
Şekil 52. Yük-oturma ilişkisi ($l/d=10$; 4' lü kazık grubu)	67
Şekil 53. Yük-oturma ilişkisi ($l/d=14$; 4' lü kazık grubu)	67
Şekil 54. Yük-oturma ilişkisi ($l/d=18$; 4' lü kazık grubu)	68
Şekil 55. Yük-oturma ilişkisi ($l/d=10$; %0(Katkısız), Tekil kazık, 2'li ve 4' lü kazık grubu) ..	69
Şekil 56. Yük-oturma ilişkisi ($l/d=14$; %0(Katkısız), Tekil kazık, 2'li ve 4' lü kazık grubu) ..	69
Şekil 57. Yük-oturma ilişkisi ($l/d=18$; %0(Katkısız), Tekil kazık, 2'li ve 4' lü kazık grubu) ..	70
Şekil 58. Yük-oturma ilişkisi ($l/d=10$; %5(0-2mm), Tekil kazık, 2'li ve 4' lü kazık grubu)	70
Şekil 59. Yük-oturma ilişkisi ($l/d=14$; %5(0-2mm), Tekil kazık, 2'li ve 4' lü kazık grubu)	71
Şekil 60. Yük-oturma ilişkisi ($l/d=18$; %5(0-2mm), Tekil kazık, 2'li ve 4' lü kazık grubu)	71
Şekil 61. Yük-oturma ilişkisi ($l/d=10$; %5(2-4mm), Tekil kazık, 2'li ve 4' lü kazık grubu)	72
Şekil 62. Yük-oturma ilişkisi ($l/d=14$; %5(2-4mm), Tekil kazık, 2'li ve 4' lü kazık grubu)	72
Şekil 63. Yük-oturma ilişkisi ($l/d=18$; %5(2-4mm), Tekil kazık, 2'li ve 4' lü kazık grubu)	73
Şekil 64. Yük-oturma ilişkisi ($l/d=10$; %10(0-2mm), Tekil kazık, 2'li ve 4' lü kazık grubu) ..	73
Şekil 65. Yük-oturma ilişkisi ($l/d=14$; %10(0-2mm), Tekil kazık, 2'li ve 4' lü kazık grubu) ..	74
Şekil 66. Yük-oturma ilişkisi ($l/d=18$; %10(0-2mm), Tekil kazık, 2'li ve 4' lü kazık grubu) ..	74

Şekil 67. Yük-oturma ilişkisi ($l/d=10$; %10(2-4mm), Tekil kazık, 2'li ve 4' lü kazık grubu) ..	75
Şekil 68. Yük-oturma ilişkisi ($l/d=14$; %10(2-4mm), Tekil kazık, 2'li ve 4' lü kazık grubu) ..	75
Şekil 69. Yük-oturma ilişkisi ($l/d=18$; %10(2-4mm), Tekil kazık, 2'li ve 4' lü kazık grubu) ..	76
Şekil 70. Yük-oturma ilişkisi ($l/d=10, 14$ ve 18 ; %0(Katkısız), Tekil kazık)	77
Şekil 71. Yük-oturma ilişkisi ($l/d=10, 14$ ve 18 ; %0(Katkısız), 2'li kazık grubu)	77
Şekil 72. Yük-oturma ilişkisi ($l/d=10, 14$ ve 18 ; %0(Katkısız), 4'lü kazık grubu)	78
Şekil 73. Yük-oturma ilişkisi ($l/d=10, 14$ ve 18 ; %5(0-2mm), Tekil kazık)	78
Şekil 74. Yük-oturma ilişkisi ($l/d=10, 14$ ve 18 ; %5(0-2mm), 2'li kazık grubu)	79
Şekil 75. Yük-oturma ilişkisi ($l/d=10, 14$ ve 18 ; %5(0-2mm), 4'lü kazık grubu)	79
Şekil 76. Yük-oturma ilişkisi ($l/d=10, 14$ ve 18 ; %5(2-4mm), Tekil kazık)	80
Şekil 77. Yük-oturma ilişkisi ($l/d=10, 14$ ve 18 ; %5(2-4mm), 2'li kazık grubu)	80
Şekil 78. Yük-oturma ilişkisi ($l/d=10, 14$ ve 18 ; %5(2-4mm), 4'lü kazık grubu)	81
Şekil 79. Yük-oturma ilişkisi ($l/d=10, 14$ ve 18 ; %10(0-2mm), Tekil kazık)	81
Şekil 80. Yük-oturma ilişkisi ($l/d=10, 14$ ve 18 ; %10(0-2mm), 2'li kazık grubu)	82
Şekil 81. Yük-oturma ilişkisi ($l/d=10, 14$ ve 18 ; %10(0-2mm), 4'lü kazık grubu)	82
Şekil 82. Yük-oturma ilişkisi ($l/d=10, 14$ ve 18 ; %10(2-4mm), Tekil kazık)	83
Şekil 83. Yük-oturma ilişkisi ($l/d=10, 14$ ve 18 ; %10(2-4mm), 2'li kazık grubu)	83
Şekil 84. Yük-oturma ilişkisi ($l/d=10, 14$ ve 18 ; %10(2-4mm), 4'lü kazık grubu)	84

KISALTMALAR ve SİMGELER DİZİNİ

BPO	Benzoilperoksit
c	Kohezyon
CFRP	Karbon Lif Katkılı polimer
d	Kazık çapı
Dr	Rölatif Sıkılık
FRP	Lif Katkılı Polimer
GFRP	Cam Lif Katkılı polimer
H	Hızlandırıcı
l	Kazık Boyu
MEKP	Metil Etil Keton Peroksit
PET	Polietilen Tereftalat
Q_{ϕ}	Kazığın Yanal Sürtünme Kapasitesi
Q_{top}	Tek Kazığın Nihai Taşıma Kapasitesi
Q_u	Kazığın Uç Taşıma Kapasitesi
R_t	Yüzey Pürüzlülüğü
S	Sertleştirici
UPR	Doymamış Poliester Reçine
USCS	Birleştirilmiş Zemin Sınıflandırma Sistemi
W_p	Kazık Ağırlığı
W_r	Tokmak Ağırlığı

GİRİŞ

Kazıklı temeller, üst yapıdan gelen düşey ve yatay yüklerin fazla olduğu, yüzeysel temellerin yetersiz olduğu ve bu nedenlerden dolayı zeminde taşıma gücü ve oturma problemlerinin ortaya çıkması durumunda hem taşıma gücünü hemde oturma problemlerini karşılamak amacıyla karasal alanlarda ve denizlerde yaygın olarak kullanılan temel türüdür.

Kazıklı temeller; düşey, yanal veya hem düşey hem de yanal yüklerle yüklenmiş olabilir. Kazığın yük altındaki davranışı her durumda farklılık göstermektedir. Tek kazığın davranışı ile kazık grubunun davranışı farklılık gösterdiği gibi kazıklı radye sisteminin de davranışı aynı değildir. Bunlara ek olarak zemin özellikleri, kazık sayısı, kazık çapı, kazık boyu, kazık yerleşim düzeni, yük uygulanma doğrultusu ve şekli, zeminin gerilme-deformasyon özellikleri, tabakalanma durumu, yeraltı suyunun durumu, radyenin(kazıklı) esnek veya rijit tasarımı, kazıklı temel ve kazıklı radye temel tasarımında etkili parametrelerdir. Bu nedenle kazıklı temel veya kazıklı radye temel tasarımı yapılırken sistemin nasıl davranacağını bilmesi oldukça önemlidir (Uysal 2014; Akbulut 2014).

Kazıklı temeller malzeme bakımından ahşap, beton, çelik veya kompozit malzemelerden imal edilirler. Ahşap, beton, çelik gibi geleneksel kazık türlerinin, kötü zemin şartlarında ve sulu ortamlarda kullanılması risklere ve tehlikelere sebep olmaktadır. Önlem alınmaması durumunda ahşap kazıkların çürümesi, beton-betonarme kazıkların bozunması ve çelik kazıkların korozyonu gibi problemler kazık malzemelerinin kesitlerinin azalmasına neden olmakta ve dolayısıyla taşıma gücünde azalmalara yol açmaktadır (Guades *et al.* 2012). Geleneksel kazıkların sınırlı kullanım ömrü nedeniyle farklı tipte (katkılı, kompozit kazıklar) kazıkların kullanımını her geçen gün önem kazanmaktadır.

Gelişen teknolojiye bağlı olarak geleneksel kazıklara alternatif olarak kazıklar geliştirilmektedir. Geleneksel kazıklara alternatif olarak üretilen lif katkılı polimer (FRP) kazıklar ve yapısal olarak güçlendirilmiş plastikler (SRP) gibi kompozit malzemeli kazıklar son yıllarda tercih edilen ve çalışmalara konu olan malzemelerdir. Bu malzemeler düşük bakım ve onarım maliyeti, uzun ömürlü olması ve korozyona karşı direnci gibi avantajları nedeniyle son zamanlarda kullanımı giderek artmaktadır (Tuakta, 2005). Kompozit kazıkların yerleştirme ve yükleme yönetmeliklerinin eksik olması, standart bir tasarım yönergesinin olmaması, uzun süre durabilite ve detaylı olarak çevresel etki çalışmalarının olmaması kullanımını sınırlandırmaktadır (Zyka and Mohajerani 2016). Bununla beraber geleneksel kazıkların

yüksek bakım maliyetleri, kompozit kazıkların ise başlangıç maliyetlerinin yüksek olması araştırmacıları alternatif mazleme arayışına yönlendirmektedir.

Doğal kaynakların ve hammaddelerin azalması/tükenmesi ve inşaat alanında yapı maliyetlerinin yüksek olması sektörü ek kaynaklara ya da atık malzemelere yönlendirmektedir. Nüfus artışı ve teknolojik gelişmelere bağlı olarak ortaya çıkan atıklar hem insan sağlığına hem de çevreye olumsuz yönde etki etmektedir. Bu atıklardan birisi olan elektronik atık(e-atık), kırılmış, hasar görmüş, demode olmuş veya kullanım ömrünü tamamlamış, katı atık türü olup, ağır metaller ile organik kirleticilerin bilinen en büyük kaynaklarından birisidir. E-atık, en hızlı büyüyen atık kollarından birisidir. 2019 yılında dünya da kişi başına ortalama 7,3 kg olan e-atık, toplam olarak 53,6 milyon ton ortaya çıkmıştır. Yapılan uygulamalar değiştirilmezse e-atık üretimi 2030 yılında 74,7 milyon ton'a, 2050 yılında ise 110 milyon ton'a çıkması beklenmektedir (Baldé et al. 2022). Bu kadar büyük miktarda e-atık için depolama alanlarının oluşturulması arazi kullanımını azaltacağı gibi ülkelerin ekonomilerine olumsuz etki oluşturacaktır.

Çalışma kapsamında geleneksel kazıklara alternatif olması amacıyla, e-atık katkılı polimer esaslı kazıkların uygulanabilirliği araştırılmıştır. Bu amaçla ön deneylerden elde edilen verilere bağlı olarak katkısız(%0) ve e-atık katkılı(%5(0-2mm), %5(2-4mm), %10(0-2mm) ve %10(2-4mm)) numuneler imal edilerek, bu numunelerin serbest basınç mukavemeti, donma-çözülme mukavemeti, eğilme dayanımı, sönüm oranı belirlenmiştir. Ayrıca bu katkı oranlarında ve l/d(kazık boyu/kazık çapı) 10, 14 ve 18 oranlarına sahip kazıklar imal edilerek çekme dayanımları ve %65 rölatif sıkılıktaki zemin içerisinde kazık ve kazık gurupları(tekil, 2'li ve 4' lü) oluşturularak yük-oturma davranışları belirlenmiştir.

KURAMSAL TEMELLER

Kazıklı Temeller

Temeller, tabanının zemin içerisinde oturduğu derinliğe bağlı olarak yüzeysel temeller (tekil, sürekli ve radye) ve derin temeller (kazıklı temeller, keson ve ayak) olmak üzere 2(iki) gruba ayrılmaktadır (Birand 2007). Zemin taşıma gücünün yeterli olduğu, oturmaların sınır değerler içinde kaldığı durumlarda yüzeysel temeller tercih edilmektedir. Ancak zeminin taşıma gücünün yeterli olmadığı, temelin derinliği açısından yüzeysel temelin uygun olmadığı, zemine aktarılan yüklerden dolayı oturmaların izin verilebilir değerler içinde olmadığı ve zemin üst tabakalarında deprem anında sıvılaşma potansiyeli olması durumlarında ise derin temeller kullanılmaktadır (Toğrol ve Tan 2003; Orhan 2019).

Kazıklı Temellerin Tarihçesi

Kullanımı, Neolitik Çağlara kadar uzanan kazık temeller mühendislik tarihinde en eski yapı elamanlarından birisidir. İnsanlar saldırılardan korunmak amacıyla barınaklarını derin olmayan göl zeminine ahşap kazıkları çakarak yerleştirdikleri bilinmektedir. Ayrıca Roma İmparatorluğu tarafından da sanat yapılarında kazıklı temellerin uygulandığı bilinmektedir.

Tarih boyunca farklı maksatlar için uygulanan kazıklı temeller gelişmelere de ayak uydurarak malzeme bakımından değişiklikler göstermiştir. İlk olarak kullanılan ahşap kazıklar günümüzde yerini amacına göre beton, çelik ve kompozit kazıklara bırakmıştır.

Kazıkların İşlevleri

Kazıklara etkiyen yükler genel olarak üst yapıdan gelen eksenel basınç kuvvetleridir. Bu basınç kuvvetleri zemine yerleştirilen kazık aracılığıyla, sağlam zemine kazık uçlarıyla ya da kazığın yanal sürtünme yüzeylerinden faydalanılarak aktarılmaktadır. Tekil yada grup halinde zemine yerleştirilen kazıklar üst kısımlarına atılan bağ kirişleri ve ızgaralarla birbirlerine bağlanarak oluşturmaktadırlar (Çetinkaya 2009). Su yapılarında, dayanma yapılarında, stabilite problemlerinin olduğu şevli alanlar gibi bazı mühendislik uygulamalarında kazıklar; oyulma riskinin, deprem ve dalga kuvvetlerinin oluşturduğu yatay kuvvetlerin, eğilme momentleri etkisinde kaldıkları gibi; çekme kuvvetlerine de maruz kalmaktadırlar. Ayrıca üst yapı yüklerini aktif bölge olarak isimlendirilen bölgenin dışına iletme amacıyla da, ani oturma ve kabarmanın meydana geldiği zeminlerde de kazıklı temellerden faydalanılmaktadır. Ayrıca kazıklı temeller, zeminin stabilizesi ve taşıma gücünün artırılması da işlevleri arasındadır.

Kazıklı temellerin kullanılmasını gerektiren bazı durumlar detaylı olarak aşağıdaki gibi sıralanabilir:

1. Üst zemin katman(lar)ı yapılardan gelen yüklerin etkisiyle yüksek oranda sıkışabilir olması ve zeminin yapı yükünü desteklemek için çok zayıf olması durumunda, yükü alttaki ana kayaya veya daha güçlü bir zemin katmanına iletmek için kullanılmaktadırlar. Zemin yüzeyinin altında kabul edilebilir bir derinlikte, ana kaya ile karşılaşmadığı durumlarda, yapısal yükü kademeli olarak zemine iletmek amacıyla kullanılmaktadırlar (Das and Sivakugan 2016).
2. Zemin tabakalarının yatay kuvvetlere maruz kalması durumunda, kazıklı temeller üst yapı tarafından iletilen düşey yükü karşılarken eğilme-bükülmeye karşı mukavemet göstermektedirler. Bu duruma genellikle, kuvvetli rüzgar ve/veya deprem kuvvetlerine maruz kalan zemin istinat yapılarının ve yüksek yapıların temellerinin tasarımında ve yapımında rastlanmaktadır (Das and Sivakugan 2016).
3. Birçok durumda, zeminler oturma ve şişme özelliği göstermektedir. Bu zeminler, zemin yüzeyinin altında büyük bir derinliğe kadar uzanabilir. Şişme basıncının önemli olduğu bu zeminlerde nem oranı arttıkça ve azaldıkça şişmeler ve büzölmeler görölmektedir. Bu tür durumlarda, zeminlerde sığ temellerin kullanılması yapıda önemli hasarlara neden olmaktadır. Fakat, kazıklar şişen ve büzülen aktif bölgenin ötesine uzatıldığında sığ temeller yerine kazık temeller alternatif olarak kullanılabilir. (Das and Sivakugan 2016).
4. İletim kuleleri ve açık deniz yapılarının temelleri kaldırma kuvvetlerine maruz kalabilmektedir. Bu temellerde kaldırma kuvvetine karşı koymak için kazıklar kullanılmaktadır.
5. Köprü mesnetleri ve payandaları, zemin yüzeyindeki erozyon nedeniyle sığ bir temelin maruz kalabileceği taşıma gücü kaybına engel olmak için genel olarak kazıklı temeller üzerine inşa edilmektedirler (Das and Sivakugan 2016).

Kazıkların Sınıflandırılması

Kullanım amacı ve uygulama yöntemi açısından kazıklı temeller çok çeşitli olmakta, alt gruplar halinde sınıflandırılması zorunlu olmaktadır. Kazıklı temeller aşağıdaki gibi sınıflandırılmaktadır.

- İmal edildikleri malzemelere göre,
- Kullanım amaçlarına göre,
- Zemine yerleşim özelliklerine göre kazıklar

İmal Edildikleri Malzemeye Göre Kazık Temeller

Kazıklar ahşap, beton, çelik veya kompozit malzemelerden imal edilmektedirler.

Ahşap kazıklar

Ahşap kazıklar binlerce yıldır kullanılmaktadır ve birçok uygulama için iyi bir seçim olmaya devam etmektedirler. Ahşabın kazık olarak kullanılabilmesi için düzgün, sağlam ve herhangi bir kusuru olmaması gerekmektedir. Birçok ahşap kazık 10 ila 20m uzunluğundadır. Ahşap kazıklar, uygulamada tüm zemin hacmini değiştirdikleri için büyük deplasmanlı kazıklar olarak kabul edilmektedirler (Coduto *et al.* 2016; Das and Sivakugan 2016).

Taşıma kolaylığı, hafif olması ve boyutlarının kolayca ayarlanabilmesi bakımından kullanım amacı açısından üstün özellik göstermektedirler (Toğrol ve Tan 2003).

Ahşap kazıklar, doymuş zemin altında ise süresiz olarak hasar görmeden kalabilmektedirler. Bununla birlikte, deniz ortamında ahşap kazıklar çeşitli organizmaların saldırısına maruz kalmakta ve birkaç ay içinde büyük ölçüde hasar görmektedirler. Su seviyesinin üzerine yerleştirildiğinde kazıklar böceklerin saldırısına maruz kalmaktadırlar. Ahşap kazıkların su seviyeleri altında seviye değişimi ve tahribata karşı önlemler alınması gerekmektedir. Kazıkların ömrü, kreozot gibi koruyucu maddelerle işlenerek artırılmaktadır.

Ahşap kazıkların taşıma kapasitesi genel olarak 220 ile 270 kN arasındadır. Uygulama sırasında ahşap kazığın baş ve uç kısmının zarar görmemesi için sırasıyla metal bant ve çelik pabuç kullanılmaktadır. Çekme ve yanal yüke maruz kalınacak uygulamalarda ahşap kazıkların tercih edilmemesi uygun olmaktadır (Das and Sivakugan 2016).

TS EN 12699, kazık boylarına göre ahşap kazıkların ortalama çaplarını vermektedir. Boyu 6 m'den az olan kazıkların ortalama çapı $D=25 \text{ cm} \pm 2 \text{ cm}$, boyu 6 m'den fazla olan kazıkların ortalama çapı $D=(20+L) \text{ cm} \pm 2 \text{ cm}$ olmalıdır. Burada L metre cinsinden kazığın boyunu göstermektedirler (Toğrol ve Tan 2003).

Beton kazıklar

Beton kazıklar, prekast ve yerinde dökme kazıklar olmak üzere iki başlıkta incelenmektedirler. Prekast kazıklar, kazığın yükleme ve taşıma esnasında oluşan eğilme momentine, düşey yüke ve yanal yükün neden olduğu eğilme momentine karşı koyabilmesi için güçlendirilmektedirler. Kazıklar şantiyelere taşınmadan önce istenilen boylarda dökülmekte ve kurlanmaktadır. Prekast kazıklar, ayrıca yüksek dayanımlı çelik kablolar kullanılarak imal edilmektedirler. Bu çelik kabloların nihai mukavemeti yaklaşık 1800 MN/m^2 'dir (Das and Sivakugan 2016).

Prekast kazıklar sert-sıkı zeminlere çakılabilme, korozyona karşı direnç gösterme ve betonarme üst yapı ile kolay bağlantı sağlanabilmesi açısından avantaj göstermektedirler. İmalat sonrası istenilen boya getirilme zorlukları ve taşıma problemleri bakımından da dezavantajlara neden olmaktadır.

Yerinde dökme kazıklar, istenilen çapta ve derinlikte zeminde sondaj deliğinin açılıp ardından betonla doldurulması ile inşa edilmektedirler. Çeşitli tipte yerinde dökme beton kazık türleri kullanılmaktadır. Bu kazıklar muhafaza borusuz, muhafaza borusu yerinde bırakılan ve muhafaza borusu çakılan tipte üretilmektedirler. Bu şekilde imal edilen kazıklar taşıyıcı eleman olarak kullanılabileceği gibi zemini sıkıştırma içinde kullanılabilmektedirler (Birand 2007).

Yerinde dökme kazıklar genellikle ortalama 5-15m ve maksimum 30-40m uzunluklarda olup ortalama 200-500 kN yük taşıma kapasitesine sahiptirler. Yerinde dökme kazıklar diğer kazıklara göre ekonomik olmaları, kontrollü beton dökümü ve kazık boylarının uzatılabilir olması açısından avantajlara sahiptirler. Buna karşın beton dökümünden sonra kazık boylarının uzatılamaması ve ince cidarlı muhafaza borularının sürülme esnasında hasar görmeleri yönünden dezavantaja sahip olmaktadır (Orhan 2019).

Çelik kazıklar

Çelik kazıklar genellikle ya boru kazıklar yada H kesitli kazıklardır. Boru kazıklar, uçları açık veya kapalı olarak zemine çakılabilmektedir. H kesitli kazıklar genellikle gövde ve başlık kalınlıklarının eşit olması nedeniyle tercih edilmektedir. Bununla birlikte geniş başlıklı ve I-kesitli kazık olarak da kullanılmaktadır.

Çelik kazıklar yüksek yük taşıma kapasitesine sahip olduklarından uç kazıklar olarak da kullanılabilmektedirler. Fakat, çelik kazıkların korozyona karşı dirençlerinin düşük olması nedeniyle yeraltı suyunun bulunması durumunda korozyona uğramaktadırlar. Çelik kazıkların çürüme ve korozyon eğilimleri nedeniyle kumlu zeminlerde kısa ömürlü olmalarına karşın sert ve katı killerde oksijenin azlığı nedeniyle uzun ömürlü olarak kullanılabilmektedirler. Bu kazıklar korozyona ve çürümeye karşı korumanın gerektiği durumlarda dışları epoksi ve bitümlü malzemelerle kaplanabilmekte, katodik koruma yapılmakta veya beton gömlek içerisine alınabilmektedirler (Birand 2007).

Çelik kazıklar genellikle 15-60 m uzunluğunda ve 300-1200 kN yük taşıma kapasitesine sahiptirler. Çelik kazıkların istenilen uzunlukta üretilbilme ve uzatma imkanları, çakmaya karşı yüksek mukavemet, sert zemin tabakalarında kullanılma kabiliyeti ve yüksek yük taşıma kapasiteleri nedeniyle avantajlar sağlamaktadırlar. Maliyetlerinin yüksek olması, çakma

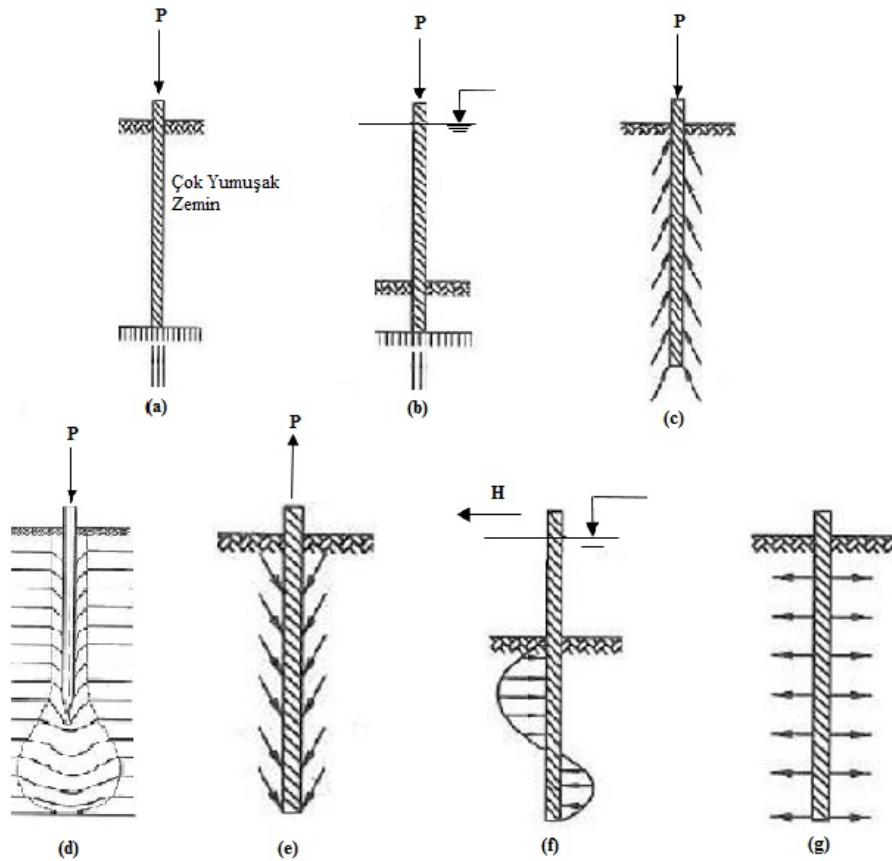
esnasında yüksek düzeyde gürültü çıkarması ve korozyona uğraması çelik kazıkların dezavantajlarını oluşturmaktadır (Das and Sivakugan 2016).

Kompozit kazıklar

Ahşap, beton ve çelikten imal edilen geleneksel kazıkların bazı olumsuz yönlerinden dolayı alternatif olarak birden fazla malzemenin birlikte kullanılması ile imal edilen kompozit kazıklar son zamanlarda tercih edilmektedir. Bu tip kazıklar yeterli taşıma kapasitesi için gereken kazık uzunluğunun yerinde dökme beton kazıkların kapasitelerini aşması durumunda kullanılmaktadırlar.

Kullanım Amaçlarına Göre Kazık Temeller

Kullanım amaçlarına göre kazıklar uç kazığı, sürtünme kazığı, çekme kazığı, tampon kazığı ve sıkıştırma kazığı olmak üzere 5 tipe ayrılmaktadır (Şekil 1).



Şekil 1. Kullanım amaçlarına göre kazık tipleri (a, b; uç kazığı, c,d; sürtünme kazığı, e; çekme kazığı, f; tampon kazığı, g; sıkıştırma kazığı Toğrol ve Tan 2003).

Uç kazıklar: Yapı yükünü kazık uç direnci ile sağlam bir tabakaya (kaya veya sıkı kum, çakıl) aktaran kazıklar, uç kazık olarak ifade edilmektedir. Uç kazıkların taşıma gücü hesabında çevre sürtünmesi ihmal edilmektedir (Afacan 2007).

Uç kazıklar taşıma gücü yüksek zeminin derinlerde olmadığı durumlarda kullanılmaktadır. Kazık sağlam zemine oturtulabilir veya gömülebilir. Bu tip kazıklar, ayaklı ve ayaksız olarak 2 tipe ayrılmaktadır.

Ayaklı: Kazığın ulaştığı sağlam zeminin emniyet gerilme değeri yeterli miktarda değilse yük bir ayak yardımıyla daha geniş alana yayılarak gerilme değerinin azaltılması sağlanmaktadır. Bu uygulama kazık uç direnci değerinde 1.5 -2 kat artış sağlamaktadır.

Ayaksız: Kazığın sağlam zemine aktaracağı yük büyük değilse ve zeminin taşıma gücü değeri yeterli ise uç kazıklar ayaksız imal edilmektedir (Görgün 2015).

Sürtünme kazıkları: Yapı yüklerinin, kazık çevresinde oluşan sürtünme ile kısmen veya tamamen taşınması durumunda uygulanan kazık tipidir. Bu tip kazıklar uç kazığın uygulanacağı zeminin uygun derinlikte olmaması durumunda kullanılmaktadır (Toğrol ve Tan 2003).

Kompaksiyon kazıkları: Sıkıştırma veya kompaksiyon kazıkları olarak ifade edilen bu kazıklar kohezyonsuz zeminleri sıkıştırmak amacıyla kullanılmaktadırlar (Toğrol ve Tan 2003). Kompaksiyon kazıklarının kullanım amacı zeminin mühendislik özelliklerinin iyileştirmektir.

Çekme kazıkları: Üst yapıya gelen yanal yükler nedeniyle dönme momentine maruz kalan temel elemanlarını ve suyun kaldırma kuvveti etkisindeki yapıları güvenli olarak zemine tespit etmeyi sağlayan kazık tipidir (Toğrol ve Tan 2003).

Tampon kazıklar: Palplanş perdelerinin yanal hareketlerini engellemek amacıyla kullanılan gemi bağlama ve ankraj kazığı yanal yüklere karşı kullanılmaktadırlar. Bu tip kazıklara tampon kazıkları da denilmektedir (Toğrol ve Tan 2003).

Eğik Kazıklar: Düşey yüklere ek olarak yatay yükleri de güvenli bir şekilde taşımak için kullanılan kazık tipidir. Genel olarak düşeyle 20° açı yapmaktaadırlar ve bu açının 26°'nin üzerinde olması istenmemektedir. Negatif çevre sürtünmesinin, ani ve büyük yüklerin ve deprem kuvvetlerinin etkili olduğu alanlarda kullanılmaları tavsiye edilmemektedir.

Zemine Yerleştirilme Şekillerine Göre Kazıklar

Çakma kazıklar (Deplasman kazıkları)

Mekanik bir tokmak veya titreşim oluşturan mekanik malzeme aracılığıyla zemine çakılan kazık türleridir. Çakma işlemi gevşek daneli zeminlerde dayanımı arttırırken, kohezyonlu zeminler örselendikleri için kayma mukavemeti değerlerinde geçici olarak düşme meydana gelmektedir. Çakma kazıklar büyük deplasman kazıkları ve küçük deplasman kazıkları olma üzere 2'ye ayrılmaktadırlar.

Büyük Deplasman Kazıkları; bu kazık tipleri yerleşme esnasında zeminde büyük değerlerde deplasmanlara sebep olmaktadır. Çakma kazıklar genel olarak bu grup içerisinde yer almaktadırlar. İçi boş alt ucu kapalı veya içi dolu kazıkların çakılarak zeminde bırakılmaları ile oluşturulmaktadır. İçi dolu kazıklar ahşap veya hazır beton (prefabrik veya öngermeli) olurken, içi boş kazıklar çelik boru veya beton boru kazıklardan imal edilmektedir. İçi boş kazıklar zemine çakıldıktan sonra boş bırakılmakta veya betonla doldurulmaktadır.

Küçük Deplasman Kazıkları; yerleştirilmeleri esnasında zeminde az miktarda deplasmana sebep olmaktadır. H kesitli, çekme kuvveti dayanımı yüksek çelik kazıklar bu gruba girmektedir (Başeski 2005).

Sondaj kazıkları (Fore kazıklar)

Zeminde sondaj deliği açılarak ve deliklerin içine donatı yerleştirip üzerine beton dökülerek oluşturulan kazıklardır. Çakmanın zor yapıldığı sert kil, kaya parçaları, moloz ve kaba taneler içeren zemin tabakalarında ve çakma esnasında gürültü ve titreşimin meydana geleceği yerlerde yapılması uygun olmaktadır. Genel de uç kazıklarda bu yöntem uygulanmaktadır. Sondaj kazıkları kılıflı ve kılıfsız olmak üzere 2 şekilde imal edilmektedirler.

Kazık Taşıma Kapasitesi

Kazıkların taşıma kapasitesi, kazığın göçme ve aşırı oturma yapmadan taşıyabileceği maksimum yük miktarı olarak ifade edilmekte ve kazıkların taşıma gücü hesabı,

- a) Statik formüller
- b) Dinamik formüller
- c) Kazık yükleme deneyleri
- d) Arazi deney sonuçları (Uzuner 2006)

ile belirlenebilmektedir. Bu yöntemlerden en sık tercih edileni (uygulamanın pahalı olmasına rağmen) kazık yükleme deneyi olmaktadır.

Bir kazığın taşıma kapasitesi kazığın yapıldığı malzeme ve kazığı çevreleyen zeminin özelliklerine bağlıdır. Bu özellikler kullanılarak kazık ve zemin ayrı ayrı değerlendirilmektedir. Ayrıca kazıklı temeller çoğu zaman yanal yüklere maruz kalmakta ve kazık tasarımında bu yanal yükler göz önünde bulundurulmaktadır. Öncelikle kazık malzemesinin taşıyabileceği yük teorik veya ampirik formüllerle belirlenmektedir. Formüller, kazık zemin etkileşiminin statik dengesini yansıtan veya çakma kazıklarda kazığı çakmak için harcanan enerji ve/veya yapılan işi esas almaktadır (Birand 2007).

Ayrıca kazığın taşıma kapasitesini, zemin türü ve davranışı, kazığın taşıyıcı zemin tabakası içindeki uzunluğu, zemin üst tabakasının kalınlığı, yeraltı su seviyesi, kazık türü ve kesit alanı, çevre özellikleri, kazıkların yerleştirme şekilleri, grup kazıklarının yerleştirme aralığı, negatif çevre sürtünmesi ve dinamik zorlanmalar gibi parametreler etkilemektedir (Deneç 2006).

Statik Formüller

Bir kazığın nihai yük taşıma kapasitesi, kazık uç noktasında taşınan yük ve zemin-kazık arayüzünden elde edilen sürtünme direncinin(kapasitesinin) toplamı şeklinde basit bir denklemle verilmektedir. Bir kazığın kazık kapasitesine etki eden bileşenler ile uç ve çevre sürtünme mekanizmaları Şekil 2' de görülmektedir.

Bir kazığın toplam taşıma gücü aşağıdaki gibi ifade edilebilir:

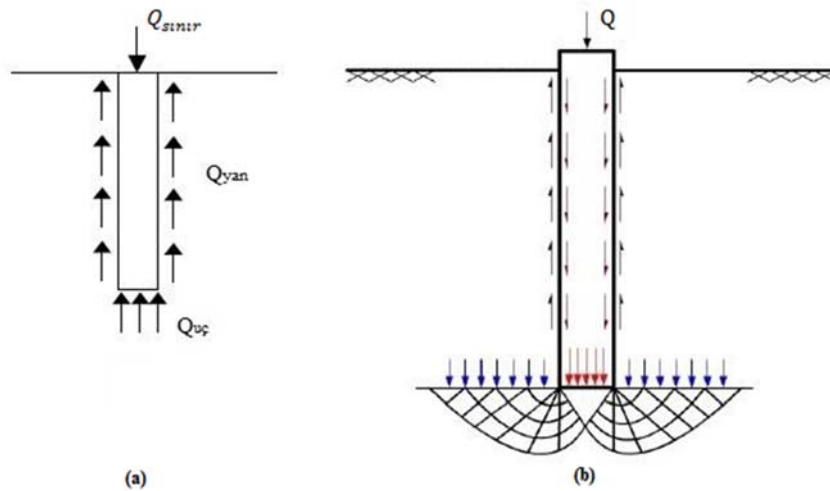
$$Q_{sınır} = Q_{uç} + Q_{yan} = q_{uç} * A_{uç} + q_{yan} * A_{yan} \quad (1)$$

Burada;

$Q_{sınır}$ = Tek kazığın nihai taşıma kapasitesi

$Q_{uç}$ = Kazığın uç taşıma kapasitesi

Q_{yan} = Kazığın yanal sürtünme kapasitesi



Şekil 2. (a) Kazık yük taşıma gücü bileşenleri, (b) Kazıkta uç mukavemeti ve çevresel sürtünme mukavemetini tanımlayan mekanizma (Çinicioğlu,2005).

Sürtünme kazıklarında kazık toplam taşıma kapasitesi hesaplanırken ($Q_{sınır} = Q_{uç} + Q_{yan}$), uç kazıklarda ise sadece $Q_{uç}$ hesaplanmaktadır. Yanal sürtünme direnci hesapta dikkate alınmamaktadır. Kazığın uç taşıma kapasitesi Terzaghi taşıma gücü teorisi kullanılarak dairesel temeller için:

$$Q_{uç} = (1.3 * c * N_c + \gamma * L * N_q + 0.3 * \gamma * D * N_\gamma) * (\pi * D^2)/4 \quad (2)$$

olarak yazılmaktadır. Terimlerin karşılıkları aşağıda ifade edilmiştir.

L = Kazık boyu

c = Kohezyon

γ = Zeminin efektif birim hacim ağırlığı

D = Kazık çapı

N_c , N_q ve N_γ = Zeminin kayma mukavemeti açısına bağlı taşıma gücü katsayılarıdır.

Kumlarda, kohezyon sıfır alınarak kazığın uç mukavemeti ($c=0$, $\phi \neq 0$):

$$Q_{uç} = \gamma * L * N_q + 0.3 * \gamma * D * N_\gamma) * (\pi * D^2)/4 \quad (3)$$

olup, birinci terimin yanında genellikle ikinci terim ihmal edilebilecek düzeyde olduğundan formül aşağıdaki gibi;

$$Q_{uç} = \gamma * L * N_q * (\pi * D^2)/4 \quad (4)$$

revize edilmektedir.

Kohezyonlu zeminlerde uç mukavemeti ($c \neq 0$, $\phi = 0$):

$$q_{uç} = 1.3 * c * N_c + \gamma * L * N_q \quad (5)$$

bu eşitlik $\phi=0$ olması durumunda $N_c=5,7$ olması dikkate alınarak eşitlik 6'daki halini almaktadır.

$$q_{uç} = 9 * c_u \text{ ve } Q_{uç} = (9 * c_u) * \frac{\pi * D^2}{4} \quad (6)$$

Yanal (çevre) sürtünme kapasitesi

Çevre sürtünme kapasitesi kohezyonsuz zeminlerde zemin ile kazık arasında ki fiziksel sürtünme kuvveti, kohezyonlu zeminlerde ise adhezyon kuvveti ile oluşmaktadır. Bu yanal kapasite, kazığın yüzey alanı ile birim alanda oluşan çevre sürtünmesinin çarpılmasıyla bulunmaktadır (Yenginar 2014).

$$Q_{yan} = \Sigma \pi * d * \Delta L_i * f_i \quad (7)$$

burada;

Q_{yan} = Kazığın yanal sürtünme kapasitesi

d = kazık çapı

ΔL_i = kazığın değişik zemin tabakaları içindeki uzunluğu

f_i = kazığın her bir zemin tabakası içindeki birim çevre sürtünmesi'dir.

Kohezyonsuz zeminlerde birim çevre sürtünmesi;

Kohezyonsuz zeminler, kemerlenme etkisiyle çevre yükünün bir miktarını kazığa daha üst seviyelerde aktarmaktadırlar. Bu yüzden, kohezyonsuz zeminlerde birim çevre sürtünmesi değeri belirli bir derinliğe kadar doğrusal olarak artmakta, bu derinlikten sonra ise sabit kalmaktadır. Bu derinlik “kritik kazık boyu (L_k)” olarak adlandırılır ve zeminin sıkılığına göre değişmektedir. L_k değeri kazık çapına(D) bağlı olarak aşağıdaki şekilde alınabilmektedir (Yenginar 2014).

$$L_k = 10D \text{ (gevşek kum)}$$

$$L_k = 15D \text{ (orta sıkı kum)}$$

$$L_k = 20D \text{ (sıkı kum)}$$

Kritik kazık boyu hesaplandıktan sonra birim çevre sürtünmesi aşağıdaki gibi hesaplanabilmektedir:

$$0 < z < L_k \quad f_i = K_i * \sigma'_{vi} \tan \delta_i \quad (8)$$

$$L_k < z < L \quad f_i = (f_i)_z = L_k \quad (9)$$

burada;

K_i = zemin tabakasının efektif yanal toprak basıncı katsayısı (Tablo 1.ve Tablo 2.)

σ'_{vi} = zemin tabakasındaki efektif düşey gerilme değeri

δ_i = zemin tabakasında kazık-zemin arasındaki sürtünme açısıdır (Tablo 3.)

Tablo 1. Kazık Tipine Göre K Değerleri

Kazık tipi	K
Fore Kazıklar	$\approx K_0 = 1 - \sin \phi$
Az deplasman yapan çakma kazıklar	$\approx K_0$ ile $1.4 K_0$
Yüksek deplasman yapan çakma kazıklar	$\approx K_0$ ile $1.8 K_0$

Tablo 2. Sükûnetteki Yatay Toprak Basıncı Katsayısına Göre K Değerleri

Kazık tipi	K
Fore Kazıklar	0.71-1
Az deplasman yapan çakma kazıklar	0.75-1.75
Yüksek deplasman yapan çakma kazıklar	1-2
Su jeti ile çakılan kazıklar	0.5-0.7

Tablo 3. Kazık-Zemin Arasındaki Sürtünme Değerleri

Kazık-zemin temas durumu	Kazık/zemin sürtünme açısı, δ
Pürüzsüz veya kaplanmış çelik-kum	0.5Ø - 0.7Ø
Kaba(ondüleli) çelik-kum	0.7Ø -0.9Ø
Önceden dökülmüş beton-kum	0.8Ø – 1.0Ø
Yerinde dökülmüş beton-kum	1.0Ø
Ahşap-kum	0.8Ø-0.9Ø
Zemin içinde boru bırakılan kazıklar	0.7Ø-0.85Ø

Vesic (1970), zeminin rölatif sıkılığına bağlı olarak birim çevre sürtünmesini aşağıdaki gibi ifade etmektedir:

$$f_i = X_v * (10)^{1.54Dr^4} \text{ (kPa)} \quad (10)$$

burada;

$X_v = 8$ (fazla miktarda zeminin yerini değiştiren kazıklar)

$X_v = 2.5$ (fore kazıklar, açık uçlu boru kazıklar, H kesitli kazıklar)

Kohezyonlu zeminlerde birim çevre sürtünmesi (f_i);

Kohezyonlu zeminlerde çevre sürtünmesi değeri genel olarak düşey efektif gerilme, kilin drenajsız direnci, kazık kesit şekli, kazığın uzunluğu ve kazığın malzemesi gibi etkenlerin fonksiyonu olarak meydana gelmektedir. Bu tür zeminlerde sürtünme adhezyon ile ifade edilmektedir (Birand, 2007). Kohezyonlu zeminlerde birim çevre sürtünmesi aşağıdaki gibi ifade edilmektedir (Yenginar 2014):

$$f_i = \sum \alpha_i * c_{ui} \quad (11)$$

burada;

α_i = kazığın içinden geçtiği zemin tabakasının adhezyon katsayısı

c_{ui} = kazığın içinden geçtiği zemin tabakasının drenajsız kayma direncidir.

Adhezyon katsayısı aşağıdaki eşitlik veya Tablo 4. kullanılarak hesaplanmaktadır:

$$\alpha = 1 - 0.00615(c_u - 25) \quad 25 < c_u < 90 \text{ (kN/m)} \quad (12)$$

Tablo 4. Adhezyon katsayısı

c_u (kN/m ²)	α
90	0.60
100	0.58
150	0.42
200	0.35

Kazıklarda birim çevre sürtünmesini hesaplamada kullanılan başka bir yöntem de Burland (1973) tarafından önerilmektedir. Çevre direnci efektif gerilmeler cinsinden dikkate alındığından dayanımın uzun süreli değerlendirilmesinde kullanılmaktadır (Birand, 2007):

$$f = \beta * \sigma v' * 38 \quad (13)$$

burada;

$$\beta = K * \tan \phi_r \quad (14)$$

ϕ_r = yoğrulmuş kilin efektif (drenajlı) içsel sürtünme açısıdır.

Dinamik formüller

Kazıklar zemine bir şahmerdan yardımıyla veya buharlı ya da dizel motorlu çekiçler kullanılarak çakılmaktadırlar. Çakma esnasında kazığın çakılmasını sağlayan düzenekler aşağıda özetlenmektedir.

- Serbest düşmeli şahmerdanla yapılan işlemde, belirli bir yükseklikten tokmak serbestçe kazık başına düşürülerek gerçekleştirilmektedir. Daha sonra şahmerdan makaraya sarılarak işlem tekrar edilmektedir.
- Tek tesirli şahmerdanlar da ise kazık başlığına serbest düşürülen şahmerdan , buhar veya basınçlı hava gücü kullanılarak yukarı kaldırılarak işlem gerçekleştirilmektedir.
- Çift tesirli şahmerdanda tokmak yukarı kaldırılırken ve indirilirken buhar ve basınçlı hava gücünden faydalanılmaktadır.
- Yaygın olarak kullanılan dizel motorlu şahmerdanlarda ise tokmağın çakma gücü motordaki mazotun patlaması sonucu oluşan enerji ile sağlanmaktadır (Birand 2007).

Dinamik kazık formülleri çakma kazık taşıma gücü hesaplarında da kullanılmaktadır. Bu formüller, kazık çakma işlemi esnasında harcanan enerjinin, kazığın zemine batma miktarı ve zeminde oluşan toplam direnç ile ilişkili olacağı düşüncesinden yola çıkarak elde

edilmişlerdir (Birand 2007). Literatürde bir çok dinamik çakma formülü önerilmektedir. Bu formüller aslında enerjinin korunumu prensibinden yola çıkılarak elde edilmektedir (Toğrol ve Tan 2003).

100'e yakın dinamik kazık formülü vardır. Aşağıda en sık kullanılan dört formül verilmiştir.

Sanders formülü: Dinamik kazık formülleri arasında en basit olanı bu formüldür. W_r ağırlığındaki tokmak h mesafesinden düşürülerek, yapılan işin kazığın zemine giriş miktarı (s) ile kazığın çakmaya karşı toplam direncinin (Q) çarpımına eşit olacağı kabulüne dayanmaktadır. Sanders formülünde Enerji kayıpları göz önüne alınmamıştır (Üzel 2011).

$$Q = (W_r * h)/s \quad (15)$$

Engineering news formülü: Serbest düşmeli ve tek tesirli şahmerdanlar:

$$Q = (W_r * h)/(s + c) \quad (16)$$

Çift tesirli şahmerdanlar:

$$Q = E_n/(s + c) \quad (17)$$

c değeri (Tablo 5) enerji kayıplarını ifade eden bir sabittir.

Tablo 5. Şahmerdanlara Göre c Değerleri

Şahmerdanlar	c (cm)
Serbest düşmeli ve Tek	2,5
Tesirli Şahmerdanlar	
Buharlı Şahmerdanlar	0,25
Çift Tesirli Şahmerdanlar	0,25

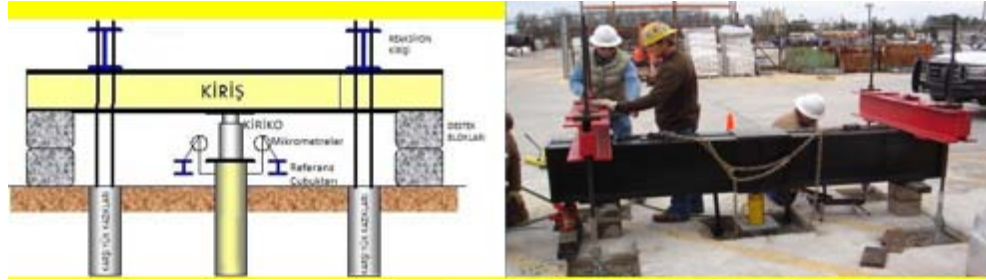
“ E_n ” ise çift tesirli şahmerdanlarda tokmağın darbe sırasında uyguladığı enerji olup makine kataloglarında verilmektedir. Engineering News Formülü’nde güvenlik katsayısı 4-10 arasında alınarak emniyetli yük bulunmakatadır (Birand 2007).

Brix formülü: Bu formül kullanılarak emniyetli taşıma gücü bulunmak istendiğinde, 3 ile 5 arasında bir güvenlik sayısı uygulanmaktadır. Brix formülü sadece serbest düşmeli şahmerdanlar için kullanılmakta olup, daha ziyade ahşap kazıklar için uygun olmaktadır. Burada W_p kazık ağırlığıdır (Birand 2007).

$$Q = (W_r * W_p * h)/s * (W_r + W_p)^2 \quad (18)$$

Kazık Yükleme Deneyleri

Kazık yükleme deneyi, gerçeğe en yakın değerleri veren deneydir. Bu deney ile negatif çevre sürtünmesi değeri de bulunabilmektedir. Kazık yükleme deneyleri kazığın üzerine yerleştirilen bir platformdan yararlanılarak gerçekleştirilmektedir (Şekil 3). Deney de kazık başlığını yerdeğiştirmesi yükleme sonrası ölçülmekte ve göçme anında yüklemeye son verilmektedir. Bu sayede nihai taşıma kapasitesi belirlenebilmektedir (Deneç 2006).



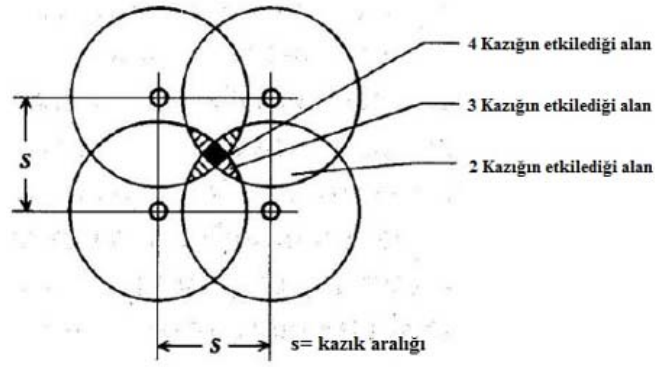
Şekil 3. Kazık yükleme deneyi (Anonim 2016)

Arazi Deneyleri

Kazık taşıma kapasitesi standart penetrasyon deneyi(SPT), koni penetrasyon deneyi (CPT) ve presiometre gibi arazi deneyleri kullanılarak da belirlenebilmektedir. Kazık çevre sürtünmesi ve uç direnci SPT deneyinden elde edilen verilerle belirlenebilmektedir. Koni penetrasyon deneyinde ise koni penetrasyon uç direnci ve çevre sürtünmesi belirlenerek kazık taşıma kapasitesi hesaplanabilmektedir. Presiometre deneyinde ise zeminin yatay yönde ki nihai taşıma kapasitesi ve deformasyon özellikleri belirlenmektedir. Arazi deneyleri ile doğrudan taşıma gücü değerleri elde edilememekte fakat iri çakıl ve yumuşak kaya gibi zeminler için kazık taşıma kapasitesi ve oturma değerleri hakkında tahmin yürütülmektedir (Deneç 2006).

Kazık Grubunun Davranışı

Kazıklar genel olarak tekil olarak değil gruplar halinde imal edilmektedirler. Uygulamada kazık grubunun davranışı ile tek bir kazığın davranışı farklılık göstermektedir. Kazık grubu içerisindeki bir kazık ve kazık etrafındaki zemin, grubun diğer elemanlarından gelen gerilmelerin etkisi altında olabilmektedirler (Şekil 4). Bu gerilmeler etkisi altında kazığın taşıma kapasitesi azalmakta ve kazık grubu tarafından taşınacak yük tek bir kazığın taşıyabileceği yükten az olmaktadır. Kazık taşıma kapasiteleri hesaplanırken bu durumun göz önüne alınması gerekmektedir. Kazıkların birbirlerine etki etmemesi için kazıklar arası mesafe artırılmakta ancak bu durumda da kazık başlığında eğilme momentleri ortaya çıkmaktadır (Yenginar 2014).



Şekil 4. Kazık grup etkisi

Kazıklar arası mesafe yeterli ise, kazık grup kapasitesi tek kazıkların taşıma kapasitelerinin toplamına eşit olmaktadır. Bu nedenle kazık aralığının(s) en az $3d-4d$ (d : kazık çapı) civarında olması önerilmektedir (Çinicioğlu,2005).

Kazıklı Radye Temeller

Taşıma gücü bakımından yeterli fakat oturma değerlerinin arzu edilen seviyelerde olmadığı yüksek katlı yapılarda ise yapı-zemin etkileşimi açısından çok daha karmaşık bir probleme dönüşen kazıklı radye temeller kullanılmaktadır.

Radye Temeller

Radye jeneral veya yayılı yüklü temeller olarak da ifade edilen radye temeller, emniyet gerilmesinin çok düşük olduğu dolgu zeminlerde, fazlaca oturmanın görülebileceği temel zeminlerde veya temel duvarı ve kolonların birbirine çok yakın olduğu durumlarda uygulanan temel türünden birisidir (Kağan 2014).

Kazıklı Radye Temellerin Uygulama Alanları

Temel derinliği boyunca yumuşak veya gevşek tabakaların bulunmadığı, sert killerden veya sıkı kumlardan oluşan zeminlerde kazıklı radye temellerin kullanılması Poulos (2005) tarafından önerilmektedir. Bu tür zeminlerde, taşıma gücü açısından radye yeterli olmakta ve kazıklar taşıyıcı eleman olmaktan ziyade oturmaları azaltmak için kullanılmaktadırlar (Kağan 2014).

Konsolidasyon ile oluşabilecek radye-zemin temas kaybı nedeniyle negatif çevre sürtünmesi veya radye ağırlığının da kazıklara aktarılması kazıklara gelen yükü artırmakta ve oturmaların büyük olmasına sebep olmaktadır (Gök 2007). Şişen zeminlerde ise, kazık boyunca zemin hareketinin yukarı yönde olması kazıklarda çekme gerilmesinin artışına sebep olmaktadır (Sinha and Poulos 1997).

Kazıklı radye temellerin analizi

Kazıklı radye temelerde üst yapıdan gelen yüklerin tamamının kazıklar tarafından taşındığı düşünülerek hesaplar yapılmakta ve radyenin katkısı ihmal edilmektedir. Aslında zemine radyenin tamamen teması ile yük hem radye hemde kazıklar tarafından paylaşılarak zemine aktarılmaktadır. Oturma koşulunun sağlandığı ve radyenin yük taşıma kapasitesinin dikkate alındığı durumlarda ekonomiklik açısından avantaj sağlanılmaktadır (Akbulut 2014).

Randolph (1994)'de, kazıklı radye temel tasarımı üç farklı yaklaşım ile tanımlanmaktadır:

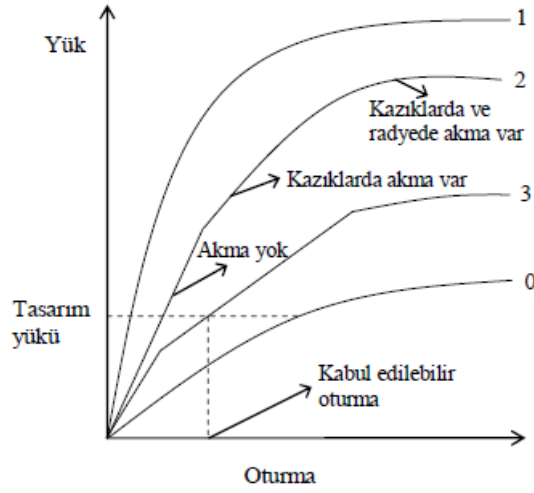
1. Geleneksel yaklaşım: Bu yaklaşım yöntemine göre kazık grubu olarak tasarlanan temel sisteminde, radyenin zemine temas ettiği yerlerde yük aktarımı da hesaba katılmaktadır. Bu yaklaşıma göre yükün çoğunluğu (% 60-75) kazıklar tarafından taşınmaktadır.

2. Sünme kazığı yaklaşımı: Bu yaklaşım yöntemine göre ise kazıkların, tekil kazık taşıma kapasitesinin % 70-80'ine (sünme davranışının başladığı) karşılık gelen servis yükünde çalıştığı kabul edilmektedir (Gök, 2007).

3. Farklı oturmaların kontrolü yaklaşımı: Bu yaklaşımda, farklı oturmaları azaltmak amacıyla kazıklar yükleme durumuna göre radye altında uygun bölgelere yerleştirilmektedirler.

Burada geleneksel ve sünme kazığı yaklaşım yöntemlerinde amaç toplam oturmanın kabul edilebilir değerlere indirgenmesidir. Bu sebeple radye alanının tamamına kazıklar düzgün yayılı olarak dağıtılmaktadır. Toplam oturmada meydana gelen azalma nedeniyle farklı oturmalar da azalmaktadır. Son yaklaşımda ise amaç doğrudan farklı oturma değerlerini azaltmaktır (Gök, 2007).

Şekil 5'de her üç yaklaşıma göre boyutlandırılan kazıklı radye temellerin yük-oturma davranış eğrileri görülmektedir.



Şekil 5. Farklı tasarım yaklaşımlarına göre kazıklı radye temellerin yük-oturma davranışı eğrileri (Poulos, 2000a).

Şekil 5 incelendiğinde, burada 0 eğrisi kazıklı radye temelin yük-oturma eğrisini temsil etmektedir ve aşırı oturmalar meydana gelmektedir. Geleneksel yaklaşım ile elde edilen 1 eğrisinde, kazıklar yükün önemli bir bölümünü taşımakta ve temelin davranışı kazık grubu tarafından belirlenmektedir. 2 eğrisi ise sünme kazığı yaklaşımıyla projelendirilmiş kazıklı radye temeli göstermektedir. Sünme kazığı yaklaşımında güvenlik sayısı geleneksel yaklaşımdakine göre daha küçüktür ve daha az sayıda kazık kullanılmaktadır. 3 eğrisi oturmayı azaltıcı eleman olarak kullanılan kazıkların taşıma gücünün tamamının durumunu ifade etmektedir. Tasarım yükünde yük-oturma davranışı doğrusal olmayabilir fakat temel sistemi yeterli güvenlik sayısına sahiptir ve oturma şartı sağlanmaktadır. 3 numaralı eğriye göre yapılan boyutlandırma, 1 ve 2 eğrilerine göre yapılanlardan çok daha ekonomik olmaktadır (Akbulut 2014).

Kazıklı radye temelin tasarımı üç aşamadan oluşmaktadır:

1. İlk aşama: Kazıklı radye kullanımının uygulanabilirliği değerlendirilerek, tasarım ihtiyaçlarını karşılayacak kazık sayısı yaklaşık olarak belirlenmektedir.

2. İkinci aşama: Kazık bölgesi ve kazıkların genel özellikleri belirlenmektedir.

3. Son aşama: Optimum kazık sayısı, yerleşimi ve yeri belirlenmektedir. Radyenin oturma, eğilme momenti, kesme kuvvetleri ile kazıklardaki yük ve moment dağılımı belirlenmektedir.

İlk aşamada, radye davranışı incelenerek taşıma gücü, toplam ve farklı oturmalar bulunmaktadır. Eğer radye gereksinim duyulan taşıma gücünün çok az kısmını karşılıyorsa, temel sistemi geleneksel yaklaşıma göre projelendirilir. Fakat radye üst yapı yükünün büyük

çoğunlunu veya tamamını taşıyabiliyorsa, diğer iki yaklaşımını kullanmak daha ekonomik olmaktadır.

İkinci aşamada, yükleme durumuna göre kazıklara ihtiyaç duyulan bölgeler ve kazık özellikleri kabaca belirlenmektedir. Son aşamada ise öngörülen temel sisteminin davranışı mevcut sayısal analiz yöntemleri yardımıyla analiz edilmektedir (Gök, 2007).

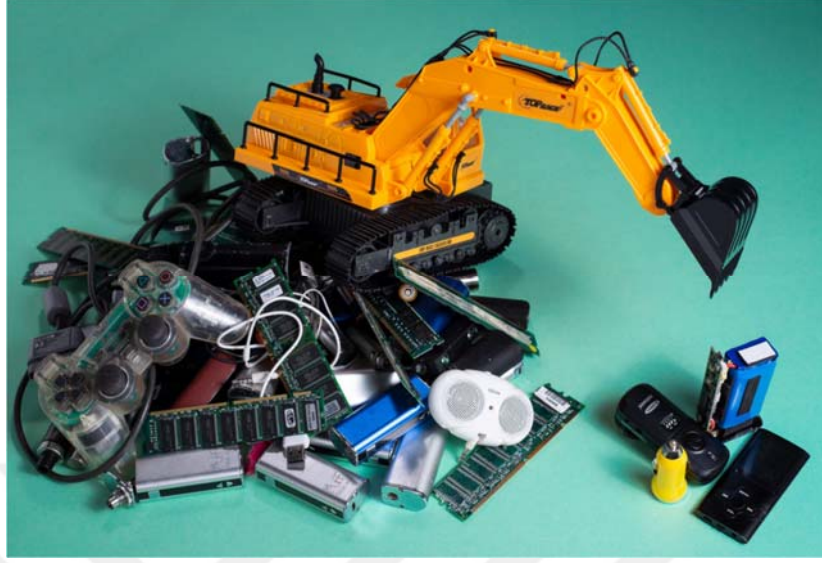
Birinci ve ikinci aşama ileri düzey bilgisayar programlarına ihtiyaç duyulmaksızın, basit yöntemlerle hesabı yapılabilir. Detaylı son aşamada ise, zemin-radye-kazık etkileşimini dikkate alan bilgisayar programlarının kullanımına ihtiyaç duyulmaktadır. Ayrıca temel sistemi ile üstyapı arasındaki etkileşimin de değerlendirilmesi gerekmektedir. Kazıklı radye temel tasarımında önemli noktalar aşağıdaki gibi ifade edilmektedir:

1. Kazık sayısını arttırmak genel olarak faydalı olmaktadır. Fakat daima en uygun sonucu vermezler. Kullanılacak kazık sayısının bir üst limiti vardır ve bundan sonra yapılacak ek kazılar önemli fayda sağlamayacaktır.
2. Toplam oturmayı azaltmak için en uygun çözüm, radye genişliğinden daha uzun olan kazıkları, radye alanının tümüne düzgün yayılı olarak yerleştirmektir. Fakat radye genişliğinin 15 m 'den büyük olduğu temellerde, toplam oturma değeri kazık ilavesi ile çok fazla azalmayacaktır.
3. Farklı oturmaları azaltmak için gerekli görülen alana az sayıda kazık yerleştirmek, radyenin kalınlığını arttırmaktan veya radye alanına düzgün yayılı olarak yerleştirilmiş fazla sayıda kazık kullanmaktan daha iyi sonuç vermektedir. Kazıklar için en uygun yerleşim yeri yükleme koşullarına bağlı olmaktadır.
4. Radyenin kalınlığı, farklı oturmaları ve eğilme momentlerini önemli ölçüde etkilerken, kazıklar ile radye arasındaki yük dağılımı ve toplam oturma üzerindeki etkisi çok olmaktadır (Gök, 2007).

Elektronik Atık (E-atık)

Çevre için zarar oluşturan, kullanılmış ve istenmeyen her türlü malzeme atık olarak tanımlanmaktadır. Artan nüfus, gelişen teknoloji vb. nedenlere bağlı olarak oluşan atıklar hem insan sağlığına hem de çevreye olumsuz etkilere neden olmaktadır. Elektronik atık, sahibi tarafından yeniden kullanım amacı olmaksızın atık olarak ortaya çıkan tüm elektrikli ve elektronik ekipmanı (EEE) ve parçalarını ifade etmektedir (Forti *et al.*, 2020). E-atık, devre, güç veya pil kaynağı gibi elektrikli bileşenlere sahip neredeyse tüm ev veya iş ürünleri olarak geniş bir ürün yelpazesini içermektedir. Piyasada çok sayıda EEE ürünü bulunmaktadır. E-atık (Şekil 6) katı atık türü olup, ağır metaller ile organik kirleticilerin bilinen en büyük

kaynaklarından birisidir. E-atıkların, ülkenin e-atık yönetimi performansının karşılaştırılması ve uluslararası kıyaslama için mantıklı ve pratik olarak faydalı kategoriler halinde gruplandırılması gerekmektedir (Baldé *et al.*, 2022).



Şekil 6. E-Atıklar (Forti *et al.*, 2020).

1980'lerden bu yana tüketici odaklı elektrik ve elektronik teknolojilerinin gelişmesiyle birlikte sayısız elektronik cihaz tüketicilerle buluşmuştur. Teknolojinin hızla gelişmesine paralel olarak bu cihazlarda atık durumuna gelmektedir. Bu durum eskimiş elektronik ekipmandan oluşan büyük bir atık akışı ortaya çıkarmaktadır (Kang and Schoenung, 2005).

Elektronik cihazların üretiminin artması, kullanım sürelerinin kısalması ve tamir maliyetlerinin yüksek olması nedeniyle e-atıkların miktarı her geçen yıl artmaktadır. 2019 yılında yaklaşık olarak 53,6 milyon ton e-atık ürünü üretilmiştir ve bu kişi başına 7,3 kg'a tekabül etmektedir. Üretilen e-atık miktarının 2030 yılında 74 milyon tonu aşacağı tahmin edilmektedir. Bu durum yıllık olarak yaklaşık 2 milyon ton yeni e-atık ürünü demektir ve çok endişe verici bir durum haline gelmektedir. E-atıkların geri dönüşümü ortaya çıkan ürün ile kıyaslandığında sadece %17.4'lük bir miktara karşılık gelmektedir ve bu oldukça az bir rakamdır (Baldé *et al.*, 2022).

E-atıklar, üzerlerinde oldukça değerli ürünler barındırdığından önemli bir geri dönüşüm malzemesidir. E-atıklar önemli ölçüde metal ve plastik kısımlardan oluşmaktadır ve bu durum farklı geri dönüşüm prosesleri gerektirmektedir.

Yapılan araştırmalara göre 2019 yılında toplama ve geri dönüşüm oranı en yüksek olan kıta %42,5 oranı ile Avrupa ve toplama ve geri dönüşüm oranı en düşük olan kıta Afrika kıtasıdır. Toplanmayan ve geri dönüştürülmeyen e-atıkların akıbeti belirsiz olmaktadır.

Yukarıda ifade edilen durumlar göz önünde bulundurulduğu zaman elektronik atıkların bertarafı ve atık yönetimi gelişmiş ve gelişmekte olan ülkeler için ciddi kaygılara neden olmaktadır (Forti *et al.*, 2020). Bu kadar büyük miktarda E-atık için depolama alanlarının oluşturulması arazi kullanımını azalttığı gibi ekonomik açıdan da ülke ekonomisinde olumsuz etkiye neden olmaktadır. Bu bağlamda yapılan çalışma kapsamında e-atıkların kullanılması hem yeni bir kaynak oluşturacak hem de faydalı alan kullanımını artıracaktır. E-atıklar ile ilgili inşaat mühendisliği alanında çalışmalar yapılmakta fakat kullanımı çok yeni olması nedeniyle literatürde sınırlı sayıda çalışma bulunmaktadır. Geoteknik alanında kullanımı ise, hem ulusal hem de uluslararası literatürde yok denecek kadar azdır.

Polimerler

Polimerler, 100 yılı aşan süre zarfında 1920’li yıllarda Hermann Staudinger tarafından ilk kez polimerizasyon kavramının yayınlamasından sonra, günlük hayatımızda ve teknik kullanım alanlarında hızlıca gelişerek yer almıştır. Polimer teknolojisi son yıllarda inşaat malzemelerinden, savunma sanayine; enerji, medikal, uçak ve uzay teknolojileri, otomotiv gibi birçok alanda kullanım açısından önemli yer edinmektedir. Bu geniş kullanım alanları polimer bilim ve teknolojisinin malzeme, kimya, elektronik, fizik, tıp, tekstil, otomobil ve havacılık endüstrisi gibi mühendislik ve temel alanları ile disiplinler arası çalışmayı zorunlu hale getirmiştir (Avcı 2021). İnsanlık tarihinde kullanılan en eski polimerler doğal ürün olan pamuk, ipek, kauçuk ve yün gibi ürünlerdir. Günümüzde yapılan çalışmalar ile de üstün özellikler gösteren ürünler elde edilmekte, günümüz ve geleceğimiz için enerji, ham madde , altyapı, ulaşım gibi alanlarda mevcut olan problemlerin bertarafı içinde polimerlerin geniş kullanım alanı bulacağı düşünülmektedir.

Polimerler kimyasal olarak, çok sayıda kimyasal birimin tekrarlanarak başka bir ifadeyle küçük moleküllerin birbirlerine kovalent bağlarla bağlanarak oluşan büyük moleküllerdir. Polimerler bu yapılarından dolayı makromolekül olarak da adlandırılmaktadırlar. Monomerler uygun şartlarda polimerizasyon tepkimesi ile birbirlerine kimyasal bağ yapar ve polimer molekülüne dönüşürler (Saçak 2018; Vahapoğlu 2013). Polimer oluşumu, tek bir atom veya atom gruplarının bağlanması ile oluşabilmektedir. Örneğin plastik sülfür tek bir atomun tekrarlanması ile oluşurken, polietilen atom gruplarının birleşmesi ile oluşmaktadır (Vahapoğlu, 2013). Polimer içinde tekrar eden birim sayısına polimerizasyon derecesi adı verilmektedir. Polimer molekül ağırlığı tekrar eden birimin molekül ağırlığı ile polimerizasyon derecesinin çarpımına eşittir. Polimerlerin yüksek molekül ağırlığı nedeniyle yüksek elastik, plastik ve vizkosite özellikleri bu malzemelerin bilim dalı olarak araştırılması ve incelenmesini gerekli kılmıştır (Vahapoğlu 2013).

Polimerlerinin moleküllerinin büyüklüğü, onu diğer kimyasal maddelerden ayıran en önemli özelliğidir. Bu yüzden polimer kelimesi yüksek molekül ağırlıklı maddeleri kapsamaktadır. Polimerlerin makromoleküler yapıları, onları üstün özellikli hale gelmesinde önem arz etmektedir. Örneğin istenilen mekanik özellikler belirli bir zincir büyüklüğünün üstünde kazanılmaktadır.

Polimerler davranış ve özellikleri sebebiyle katıların bir alt grubunu oluşturmaktadır. Polimer özellikleri polimer zincirlerinin biçimi ile etkilenmektedir. Polimerler doğrusal, çapraz bağlı veya dallanmış yapılarda olabilirler. Çapraz bağ oranının çok olması ağ-yapılı polimerlere yol açmaktadır (Vahapoğlu 2013).

Doğrusal veya dallanmış zincir özelliği gösteren polimerler eritilebilir ve uygun çözücülerle çözünebilmektedir. Ağ-yapıya sahip polimerlerin çözünmesi veya eritilmesi ihtimal dahilinde değildir. Bu zincir yapıları nedeniyle polimerler termoplastikler, elastomerler ve termosettingler olarak üç gruba ayrılırlar.

Termoplastikler

Termoplastikler günümüzde en çok kullanılan ve plastik kelimesini tam anlamıyla karşılayan polimer türüdür. Termoplastikler yüksek sıcaklık ile molekülleri parçalanmaksızın plastik şekil değiştiren veya başka bir ifade ile sıcaklık ile şekil değiştirebilen plastikler olarak tanımlanabilir. Termoplastikler, doğrusal veya dallanmış zincir içermektedirler. Isı etkisi veya dış kuvvetler ile moleküllerinin yönlendirerek yarı kristalli, amorf, kauçuksu veya kristalli yapıda olabilirler. Polimer içinde yer yer amorf ve kristal bölgeler bulunmaktadır ve hiçbir zaman tam kristalli yapıda olmamaktadır. Tam kristalli malzeme çok gevrekleştiği için bu özellik istenmemektedir.

Elastomerler

Elastomerler, elastik şekil değişimi gösteren yani kuvvet altında şekil değiştiren kuvvetin ortadan kalkması ile eski haline geri dönen esnek ve elastik makromoleküler malzemelerdir (ASTM D1566-21a 2021; Saçak 2018; Vahapoğlu 2013). Bu özellikleri polimer zincirleri arasında az oranda çapraz bağlarından kaynaklanmaktadır. Kuvvet etkisi ile polimer zincirleri birbiri üzerinde kayar fakat çapraz bağlar kalıcı akışı önleyip kuvvetin ortadan kalkması ile ilk pozisyonuna dönerler. Çapraz bağ sonrası elastomerlerin erimesi söz konusu olmamaktadır (Saçak 2018).

Termosettingler

Termoset polimerler yoğun çapraz bağ içeren uzayağı polimerleri olup, ısıtıldıklarında yumuşayan malzemelerdir. Termoset polimerler sıcakken şekli verilerek, soğutulduklarında sertleşmektedirler. Fakat burada en önemli hususlardan biri termoplastiklerin aksine sertleştikten sonra çok yüksek sıcaklık olmadığı sürece, yanal bağlarının kuvvetli olması nedeniyle de yeniden ısıtıldıklarında yumuşamazlar. Termoset polimerler şekil almadan önce viskoz sıvı haldedir. Ön polimer ile çeşitli dolgu ve katkı maddeleri içeren termoset malzemeye dönüşen bu viskoz sıvı reçine olarak da bilinmektedir. Bu sebeple termoset polimerler yerine termoset reçine ifadesi de kullanılmaktadır. Ön polimer ile çeşitli dolgu ve katkı maddeleri içeren reçine ısı, ışın gibi etkiler ile çapraz bağ yaparak termoset ürün elde edilmektedir. Bu ifadeler ek olarak termoset polimerler, sıcaklıkla şekil aldıktan sonra (yani üretimden sonra) yüksek sıcaklıklarda yapısal ve kimyasal çözünme olmaksızın işlenmeyen ve yumuşamayan polimerlerdir(Saçak 2018; Vahapoğlu 2013). Termoset polimerler yanal bağları nedeniyle daima amorf yapıdadırlar ve onarın yerleşme özelliğini değiştirmek olası değildir (Vahapoğlu 2013).

Poliester

Poliesterler, 1940 yıllarda hayatımıza giren ve günümüze kadar sürekli gelişen ve gelişmeye devam eden ürünlerdir. Geniş bir uygulama alanı olması, sürekli gelişmeye açık olması, üstün özelliklerinin olması ve farklı formlarda(lif, tabaka, üç boyutlu vb.) kullanılabilir olması bu ürünlerin sürekli araştırmaya açık olduğunu ortaya koymaktadır.

Poliester, ana zincirlerinde ester fonksiyonel grubu içeren bir polimer kategorisidir ve birçok poliester türü olmasına rağmen, "poliester" terimi en yaygın olarak polietilen tereftalatı(PET) ifade etmek için kullanılmaktadır. Poliesterler kimyasal yapılarına göre termoplastik veya termoset olarak sınıflandırılabilirler. Poliesterlerin üretimi 2000' li yılların başında yılda 30 milyon ton olurken günümüzde bu rakam çok daha fazladır ve gelişen teknoloji ile birlikte sürekli artmaktadır (Yamashita and Nakano 2008; Han 2012; Saleh 2012).

Poliesterler bir çok alanda kullanılmasına rağmen özellikle inşaat ve denizcilik alanlarında kullanılan ürünlerdir. Poliesterler dış çevre şartlarına ve güneş ışınlarına dayanıklı, yüksek sıcaklıklarda, mekanik olarak değişim göstermeyen malzemelerdir. Poliesterlerin sünme dayanımı oldukça yüksek olup bu malzemelerin bu alanlarda kullanılabilirliğini mümkün kılmaktadır (Shams 2019).

Polietilen tereftalat olarak da ifade edilen poliesterler yüksek kristal erime sıcaklığına (260°C), sahiptirler. PET polimerindeki sert polimer zincirleri 150°-175°C' ye kadar yüksek

mekanik dayanım, tokluk ve yorulma direnci sağlamaktadırlar. Ayrıca hidrofobik özellikte olup, iyi birer kimyasal ve solvent direncine de sahiptirler (Venkatachalam *et al.*, 2012).

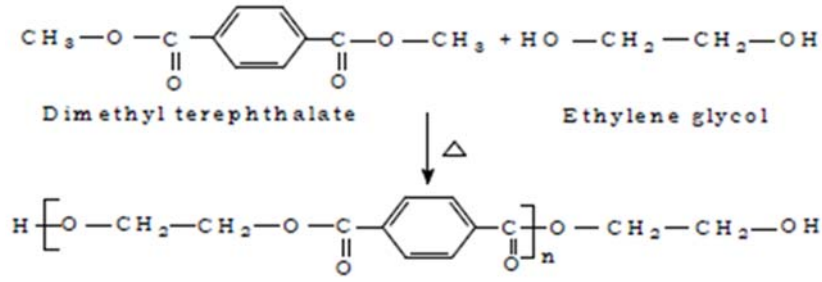
Genel olarak poliestere reçineler, bir dibazik organik asit ve bir dihidrik alkol ile yapılabilmektedir. Polietilen tereftalat gibi doymuş poliestere ve doymamış poliestere olarak sınıflandırılabilirler. Bileşik matrisin ağını oluşturmak için doymamış grup veya çift bağın dibazik asidin bir kısmında bulunması gerekmektedir. Asit ve alkolü değiştirerek çeşitli poliestere reçineleri yapılabilir. Ortoftalik poliesterler, ftalik anhidrit ile maleik anhidrit veya fumarik asit ile yapılmaktadır. İzofthalik poliesterler ise izofthalik asit veya tereftalik asitten yapılmaktadır. Poliestere reçine genellikle onunla kopolimerize olacak ve kurlenmiş reçinenin nihai özelliklerine katkıda bulunacak olan monomer (stiren en yaygın kullanılanıdır) içinde çözölmektedir. Katalizör ilavesi reçinenin sertleşmesine neden olmaktadır. En sık kullanılan katalizör metil etil keton peroksit (MEKP) veya benzoilperoksittir (BPO) ve miktarı %1-2 arasında değişmektedir. Katalizör, polimerizasyonu başlatmak için doymamış gruplara (C=C gibi) saldırarak olan serbest radikaller oluşturmak için poliestere reçinesinin varlığında ayrışacaktır. İşleme sıcaklığı ve katalizör miktarı, polimerizasyon hızını kontrol edebilmekte, sıcaklık ne kadar yüksek veya katalizör ne kadar fazlaysa, reaksiyon o kadar hızlı olmaktadır. Reaksiyonun yavaş olması için gerektiğinde inhibitör katkıları kullanılmaktadır.

Poliestere reçinenin özellikleri, reaktan, katalizör ve monomerlerin tipi ve miktarı ile kurleme sıcaklığından etkilenir. Poliesterin moleküler ağırlığı ne kadar yüksek ve moleküllerdeki doymamışlık noktaları ne kadar fazlaysa, kurlenmiş reçinelerin mukavemeti o kadar yüksek olmaktadır. Ortoftalik poliesterler çevreye duyarlıdır ve sınırlı mekanik özelliklere sahiptir. Mükemmel çevre direnci ve ikincisinin gelişmiş mekanik özellikleri nedeniyle bazı uygulamalarda izofthalik poliesterlerle değiştirilmiştir (Bagherpour 2012).

Poliestere, yukarıda da ifade edildiği gibi doymuş ve doymamış olmak üzere ikiye ayrılır.

Doymuş poliestere

Tekstil endüstrisinde genişçe kullanılan, diollerle dibazik asitlerin veya dibazik asit klorürlerin reaksiyon ürünleridir (Şekil 7). Bu poliestere türü ester grupları içermesine rağmen çapaz bağ meydana getirmezler. Doymuş poliesterlerin çekme, aşınma ve kimyasal direnci yüksektir. Isı karşısında kıvrılma özelliği göstermektedirler (Dholakiya 2012).



Şekil 7. Doymuş poliestер örneği (Dholakiya 2012).

Doymamış poliestер

Doymamış poliestер reçineler (UPR'ler) uzun yıllardır bilinmektedir. UPR'lerin üretimi 1930'larda başlamıştır ve son yıllarda, üretimleri zirveye ulaşmıştır. Doymamış poliestер reçineler (UPR'ler), kompozit uygulamalar, otomobillerin yapısal parçaları, inşaat ve kaplama malzemeleri ve elektrikli parçalar için en çok kullanılan termoset malzemelere aittir (Kicko-Walczak 2006). UPR'ler, poliüretanlarla birlikte en önemli çapraz bağlanabilir polimerik malzemelerdir. UPR'lerin önemi, özellikle cam elyaf takviyeli plastiklerdeki önemli uygulama alanlarından kaynaklanmaktadır. Yüksek oranda doldurulmuş malzemeler, kaplamalar ve dökme nesneler vb. içeren plastik pazarındaki UPR'lerin payındaki hızlı artış, basit işlenmelerinden kaynaklanmaktadır. UPR'lerin kimyası, doymamış poliestерlerin poliestерleştirme veya adım adım iyonik kopolimerizasyon yoluyla sentezini içermektedir. Bu şekilde sentezlenen UPR'ler daha sonra doymamış bir monomer içinde çözülür ve radikal polimerizasyon yaklaşımı uygulanarak çapraz bağlanır. Bu nedenle, UPR'lerin kimyası, polikondensasyon veya iyonik polimerizasyon yöntemlerini ve peroksit veya fotokimyasal olarak başlatılan radikal polimerizasyon yoluyla çapraz bağlanmayı içermektedir. UPR'lerin üretiminde ve işlenmesinde uygulanan çeşitli kimyasal reaksiyon türleri ve endüstriyel uygulamaların çok yönlülüğü sayesinde, UPR'lerdeki araştırma ve geliştirme ilerlemesi çok hızlıdır. UPR'lerdeki endüstriyel ilerlemeye, UPR endüstrisini polimerik malzeme bilimi ve teknolojisinin önemli bir bileşeni haline getiren yoğun araştırma, tasarım ve işleme faaliyetleri eşlik etmektedir (Penczek *et al.*, 2005).

Ayrıca polietilen tereftalat (PET), genellikle poliestер veya PET olarak adlandırılan tereftalik asit ve etilen glikolün bir yoğuşma polimerizasyonudur. PET üretimi ve tüketimi artmaya devam ederken, atık PET miktarı da artmaya devam etmektedir. Atık PET önemli bir çevre kirliliği sorunu haline gelmiştir. Atık PET'in doymamış poliestер reçine üretiminde hammadde olarak kullanılması, doymamış poliestер reçinenin maliyetini düşürmekle kalmaz, aynı zamanda atığın yeniden kullanılmasını sağlayarak çevre kirliliğini de azaltmaktadır (Gao *et al.*, 2019).

Yukarıda ifade edilen bilgiler ışığında hem e-atık malzemelerin hemde poliester reçineler kullanılmasının ekonomik açıdan ve literatürde de bahsedileceği üzere sertleşmiş poliester malzemesinin dayanım, dayanıklılık, korozyon, kimyasal etkilere karşı direnç gibi geleneksel malzemelere kıyasla birçok üstün özellikleri göstermesi sonucunda tez kapsamında kullanılabilirliği yapılan çalışma için önem arz etmektedir .

Konu İle İlgili Yapılmış Çalışmalar

Kazık temeller ile ilgili yapılan çalışmalar

Son yıllarda kazıklı temeller ve kazıklı radye temelleri konu alan büyük ve küçük ölçekli laboratuvar model deneyleri ile arazi uygulama çalışmaları artarak devam etmektedir. Çalışmalar, kohezyonlu (killi) ve kohezyonsuz (granüler) zeminler üzerinde uygulanan uç ve sürtünme kazıkları olarak karşımıza çıkmaktadırlar. Bu çalışmalarla birlikte kazık malzemesini konu edinen çalışmalar da literatürde yer almaktadır. Fakat literatürde kazık malzemeleri genel olarak çelik, betonarme ve ikisinin birlikte olduğu kompozit kazıklar olarak kullanılmaktadır. Ayrıca farklı kazık tipi, farklı yükleme koşulları ve farklı zemin koşullarının değerlendirildiği büyük ölçekli laboratuvar model deneyleri üzerine yapılan çalışmalar sınırlı sayıdadır. Bu bölümde çalışma konusu ile ilgili olarak araştırmalar özetlenerek verilmiştir.

Iskander *et al.* (2001) yaptıkları teorik çalışmada, FRP (lif katkılı polimer) kompozit kazıkların geleneksel kazık malzemelerine göre daha avantajlı olduğunu belirtmişlerdir. Kompozit malzemeli kazıkların (düşük sertliği, yüksek sönümleme özelliği) çakma esnasında bazı problemler olmasına rağmen, FRP'nin kazık malzemesi olarak kullanımı geleneksel kazık malzemelerin bozunma problemlerini elimine ettiğini ifade etmişlerdir. Çalışmada su olan bölgelerde FRP kompozit kazıklarının çakılabilirliği üzerine, zemin koşulları ve kazık özelliklerinin etkisi araştırmışlardır. Araştırma neticesinde kompozit kazıkların yük-taşıma kazıkları için uygun kapasitelerde olduğunu belirlemişlerdir.

Ashford *et al.* (2001) çalışmalarında, 2 adet geleneksel ve 4 adet kompozit kazığı analiz etmişlerdir. Çalışmalarında geleneksel kazık (305 mm öngerilmeli prekast beton kazık ve 340 mm çelik boru kazık) , plastik sargılı çik boru kazık ve cam lif katkılı polimer kazık kullanmışlardır. Çalışma kapsamında yumuşak ve sıkı olmak üzere 2 farklı zemin profili kullanılmışlardır. Çalışma sonucunda, cam lif katkılı polimer kazıklar diğer kazıkların taşıma kapasilerine yakın (%65-75) performans gösterdiğini belirtmişlerdir.

Özçelik (2007) şeve yerleştirilen kazıkların yanal zemin hareketi boyunca davranışını incelemek için büyük ölçekli kesme kutusu deney aleti ile laboratuvar deneyi yapılmışlardır. Deneyde model kesme kutusu içerisinde kum zemin ve kazık malzemesi olarak 35 mm çapında

830 mm boyunda ve 5 mm et kalınlığında içi boş kesitli alüminyum boru kullanılmışlardır. 4 kazıktan oluşan tek sıra kazık grubu yanal yüke maruz bırakılmıştır. Uygulanan yanal zemin hareketi altında kazıkta meydana gelen eğilme momenti dağılımı ve kazık başında oluşan deformasyonlar belirlenmiş ve elde edilen sonuçlar ampirik bağıntılar ve LPILE programı ile karşılaştırılmıştır. Deneysel sonuçlarına göre zeminin rölatif sıkılığının azalmasıyla kayma yüzeyinin altında kalan kazık kesitinde oluşan maksimum moment değeri arttığı belirlenmiştir.

Robinson *et al.* (2008) alışmalarında statik ve dinamik yük altında ki plastik ve polimer kazıkların davranışını incelemişlerdir. Deney sonucu olarak eksenel yük altında plastik kazıkların uygulanabilir olduğunu belirtmişlerdir. Dinamik yük altında polimer kazıkların basınç dalga hızlarında önemli bir azalma olduğunu belirlemişlerdir. Ayrıca statik yük altındaki tüm kazıkların taşıma kapasite değeri benzer olduğunu ifade etmişlerdir.

Aksoy vd. (2015), %10, %40 ve %65 rölatif sıkılıktaki kum zemin içerisine yerleştirilen FRP model kazıkları düşey olarak yüklemişlerdir. FRP kazıklı radye temellerin oturma ve taşıma gücü grafiklerini elde etmişlerdir. Yük ve oturmalar ile zemin tabakasında meydana gelen gerilme değışimlerini belirlemişlerdir. Deneyler sonucunda zeminin rölatif sıkılığı arttıkça temelin taşıma kapasitesinin arttığını gözlemlemişlerdir.

Seliem vd. (2016), prekast ön gerilmeli beton kazıkların beton dolgusunu korumak için kullanılan elik donatılara(korozif) alternatif olarak özel tasarlanmış karbon elyaf takviyeli polimer (CRFP) kazık kullanımını araştırmışlardır. Yapılan alışma sonucunda, CRFP kazıkların ön gerilmeli beton kazıkların taşıma kapasitesine yakın değeri verdiğini bulmuşlardır.

Beena *et al.* (2017) 1000x1000x600 mm boyutlarında model tank içerisindeki kil zemine 19 mm ve 25.4mm çaplı 1 mm kalınlıklı alüminyum kazıklar yerleştirilerek deneyler gerçekleştirmişlerdir. Kazık derinliği boyunca belirli aralıklarla kazıa gerilme ölçerler (Strain Gauge) yerleştirmişler ve kazık derinliği boyunca eğilme momenti değışimi araştırmışlardır. Yüün artması ile kazık başlığındaki yer değışirme değışimi de incelenmiştir. Model deneylerin analitik formülasyonları da sonlu fark metodu kullanılarak yapılmış ve PLAXIS 3D'de sayısal çalışmalar yürütölmüştür. Sonuçlar model deney sonuçları ile karşılaştırılmış ve iyi bir uyum olduğu ifade edilmiştir. Deney sonuçlarına göre eğilme momenti, kazığın gömme derinliği, kazık çapı ve şev eğimi arttıkça artış göstermiştir.

Valez ve Rayyani (2017) alışmalarında yumuşak kil zemin içerisindeki lif katkılı polimer (FRP) kazıkların performansını deneysel olarak incelemişlerdir. Cam ve karbon lif katkılı polimer kazıkların davranışını elik kazıklar ile karşılaştırmışlardır. Çalışmada cam lif

katkılı polimer(CFRP) kazıkların sürtünme dirençlerinin çelik kazıklarda daha yüksek olduğunu belirtmişlerdir. Karbon lif katkılı polimer(CFRP) kazıkların sürtünme direnci değerlerinin ise çelik kazıkların sürtünme direnci değerine benzer olduğunu ifade etmişlerdir.

Farhangi ve Karakouzian (2020) köprü temellerindeki geleneksel çelik kazıklara bir alternatif olarak, kompozit kazıklar geliştirmek için geri dönüştürülmüş ve beton malzeme ile doldurulmuş cam lif katkılı polimer kazıkların yapısal tepkilerini analiz etmeyi amaçlamışlardır. Bu kapsamda GFRP ile güçlendirilmiş kazıklar üzerinde kazık deneyleri gerçekleştirmiş ve sırasıyla 227, 236 ve 241 mm çapında üç farklı kazık numunesinin yük ve eğilme kapasiteleri ölçülmüşlerdir. Sonuç olarak, köprü tasarımında GFRP malzeme ile güçlendirilmiş kazıkların kullanılması, dayanıklılığı attırdığını ve inşaat maliyetlerini azalttığını belirtmişlerdir. Korozyonun ana sorun olduğu bölgelerde bile yapı ömrünü arttırdığı sonucuna varmışlardır.

Ateş ve Şadoğlu (2021), yapmış oldukları çalışmalarında radye ve kazıklı radye temellerin taşıma gücü ve oturmasını belirlemeyi ve karşılaştırmayı amaçlamışlardır. Bu amaçla bir deney düzeneği oluşturmuşlar ve model radye ve model kazıklı radye temeller üzerine yükleme deneyleri gerçekleştirmişlerdir. Deneylerde kazık uzunluklarını (L) ve çaplarını sırasıyla 200, 300 mm ve 30 mm olarak belirlemişlerdir. Model kazık ile kum arasında gerçek zemin-beton sürtünme davranışı elde etmek için beton ve çelik çubuk kullanılarak model kompozit kazıklar hazırlanmışlardır. Deney tankı içerisine kum zemini %30 rölatif sıkılıkta (gevşek kum) 5 cm tabakalar halinde yerleştirmişler ve teraziye almışlardır. Daha sonra model kazıklı radye temeli, 0,50 mm/dk sabit penetrasyon hızında kuma yerleştirmişlerdir. Model kazıklı radye temel kum içerisine yerleştirilirken su terazisi ile düşeyliği kontrol edilmiştir. Deney başlamadan önce tüm ölçüm cihazları(LVDT ve yük hücresi) deney düzeneğine yerleştirilmiş ve deneyler gerçekleştirilmiştir. Yapılan deney sonuçlarına göre radyenin yük-oturma eğrileri ile kazıklı radye temel arasında önemli farklılıklar olduğunu belirlemişlerdir. Kazık uzunluğunun %50 oranında artırması (L=300mm) ile, kazıklı radye temelin yük taşıma kapasitesini önemli ölçüde etkilediğini belirlemişlerdir. Kazıklı radye temelin taşıma gücü açısından kazıkların önemli parametreler olduğunu ifade etmişlerdir. Kazık kullanımı, kazık uzunluğuna bağlı olarak taşıma gücünü %72-130 oranında artırmıştır. Ayrıca çalışmada kazık uzunluğundaki %50'lik artış ile taşıma kapasitesinin %33 oranında arttığını bulmuşlardır.

Lu vd. (2022), yaptıkları deneysel çalışmada CFRP (karbon lif katkılı polimer) ve GFRP (cam lif katkılı polimer) kazıkların kumlu zeminlerde eksenel ve yanal yük altındaki davranışı etkileyen faktörleri değerlendirmiş, yüzey pürüzlülüğünün (R_t), yanal basıncın ve rölatif sıkılığın (D_r) zeminlerin kayma direncini belirlediğini ve ardından eksenel bir yük altında FRP

kazıklarının taşıma kapasitesini etkilediğini göstermiştir. 250 kPa'da ve %80 rölatif sıklıkta test edilen üç tip kazık için eksenel yükten kaynaklanan oturmayı karşılaştırarak hem GFRP hem de CFRP'nin taşıma kapasitelerinin yumuşak çelik varyantına kıyasla daha yüksek olduğu görülmüştür. Aynı yük altında yumuşak çelik kazık için daha büyük bir oturma gözlenmiştir. Ayrıca, 250 kPa basınçta test edilen GFRP kazıklar üzerinde rölatif sıklığın (%60 ve %80) etkisi incelenmiştir. Sıklık arttıkça kazıkların taşıma kapasitesinin arttığı görülmüştür.

Hosseini and Rayhani (2022) sıvılaşılabilen kum zeminlerde içi boş lif katkılı polimer (FRP) kazıkların sismik performansını sarsma tablası deneyleri kullanarak incelemişlerdir. Bu kapsamda dört adet cam lif katkılı polimer (GFRP) kazık ve dört adet karbon lif katkılı polimer (CFRP) kazık üretmişler ve uç taşıyıcı kazıklar olarak zemine gömerek farklı sismik girdi hareketleri altında teste tabi tutmuşlardır. Ayrıca FRP kazıklarla karşılaştırmak için 4 adet alüminyum kazık da üretmişlerdir. Sonuç olarak, alüminyum kazıklarda kaydedilen temel hareketlerinin FRP model kazıklarda kaydedilenden daha yüksek olduğunu belirlemişlerdir. FRP kazıkları arasında, cam FRP kazıkları (GFRP) için deprem hareketlerinin büyütme seviyesinin karbon olandan (CFRP) daha düşük olduğu göstererek GFRP'nin CFRP kazıklarına kıyasla daha düşük maliyeti nedeniyle daha uygun bir seçenek olabileceğini belirtmişlerdir.

Jamil vd. (2022) hem düşey hem de yanal yüklere maruz kalan farklı sayıda kazık içeren küçük ölçekli kazık grubu ve kazıklı radye modellerin davranışını incelemek için deneysel bir araştırma yaparak, bu modellerin her iki yük tipine (eksenel-yanal) tepki mekanizması da incelenmiştir. Aynı düşey ve yanal yük altında aynı sayıda kazıklı radye ve kazık grubunun tepkisi karşılaştırıldığında, kazıklı radyenin yanal ve düşey yüklere tepkisinin kazık grubu tepkisinden çok daha rijit olduğu sonucuna varılmıştır. Ayrıca farklı sayıdaki kazıklardan oluşan kazık gruplarının düşey yükler altında etkisi incelenerek kazık sayısının taşıma kapasitesi üzerindeki etkileri değerlendirilmiştir. Kazıklı radyenin kazık grubundan farklı olarak oldukça yüksek rijitlik sağladığı ve kazık sayısı arttıkça her iki sistemin rijitlikleri arasındaki farkın azaldığı görülmüştür. Ayrıca kazık sayısı arttıkça radyenin düşey oturma miktarı azaldığı belirlenmiştir.

Goudar ve Kamatagi (2022), yapmış oldukları çalışmada eşit kesitli kazık ve genişletilmiş tabanlı (çanlı) kazıklar gibi iki farklı model alüminyum kazık grubunu, nehir kumu içerisinde eksenel yüke tabi tutarak deneyler gerçekleştirmişlerdir. Tabanlı (çanlı)kazıklar için büyütülmüş çap, eşit kesitli kazıkların ortasında her üç L/D oranına 3 derecelik bir dış uzatma açısı sağlanarak elde edilmiştir. Yüke karşı oturma deneyleri, uzunluk/çap oranları (L/D) 12, 17 ve 22 olan her iki kazık grubunun (1x1 ve 1x2) üzerinde gerçekleştirilmiştir. Kazıklar arası mesafe(s/d) 3, 4 ve 5D olarak seçilmiştir.

Yükün uygulanması sırasında kazıkların altındaki gerilme bölgelerinin çakışmasını önlemek için, tüm deneyler 1mx1mx1m boyutlarında tuğla duvar deney tankında gerçekleştirilmiştir. Düşey yük, 30kN kapasiteli hidrolik krika kullanılarak tek bir kazığa ve her iki kazıktan oluşan bir gruba uygulanmıştır. Deney sonucunda yük taşıma kapasitesi değerlendirilmiş ve düz kazık ile çanlı tabanlı kazık arasında bir karşılaştırma yapılmıştır. Deney sonuçlarına göre en yüksek yük taşıma kapasitesi, düşük L/D oranında geniş tabanlı model kazıkta meydana geldiği görülmüştür.

Banerjee *et al.* (2022) çalışmalarında, kazıklı radye sistemin oturma ve yük taşıma kapasitesi açısından performansları incelemişlerdir. Kare kazıklı bir radyenin tabakalı bir zemin tabakasında ki oturma davranışı sayısal analiz yöntemi kullanılarak incelemişlerdir. PLAXIS 3D yazılımı kullanılarak yapılan çalışmada, üniform bir düşey yüklemeye maruz kalan radye altındaki çeşitli kazık konumları, kazık sayıları ve kazık uzunlukları için bir 3D sonlu eleman analizi gerçekleştirmişlerdir. Düşey yüke maruz kalan bir kazıklı radyenin verimli bir tasarımı için oturma yönleri ele alınmıştır. Tabakalı bir zeminde bir radyenin farklı oturmalarını en aza indirmek için gerekli kazık grup-radye alan oranının (Bg/Br) 0,4 ila 0,6 aralığında olması gerektiğini ifade etmişlerdir.

Halder and Manna (2022) kazık aralığının, kazık uzunluğunun, kazık konfigürasyonunun ve radye kalınlığının düşey yüke maruz kalan kuma gömülmüş kazıklı radyelerin performansı üzerindeki etkisini araştırmak için üç boyutlu sonlu eleman simülasyonları kullanmışlardır. Analiz sonuçlarına göre, kazık aralığı, uzunluğu, sayısı ve radye kalınlığındaki artış nedeniyle kazıklı radyenin yük taşıma kapasitesinde önemli artış olduğu gözlemlenmiştir. Ayrıca, kazıkların ve radyenin basınç soğanlarının üst üste binmesinin kazıklı radyenin yük taşıma kapasitesi üzerindeki etkisini ayrıntılı olarak incelenmişlerdir. Kazıkların, aralıklarına ve uzunluklarına bakılmaksızın uygulanan toplam yükün yaklaşık %40-60'ını taşıdığı bulunmuştur. Radyenin ilk oturma aralığında, yani radye genişliğinin %0,4'üne kadar kazık yükü oranında önemli azalma olduğu gözlemlenmiştir.

E-atıklar ile yapılan çalışmalar

Doğal kaynakların ve hammaddelerin tükenmesi veya azalması, inşaat alanında yapı maliyetlerinin yüksek olması ek kaynaklara ve geri dönüşümlü malzemelere yönlendirmektedir. Geri dönüşüm malzemesi olan e-atık gibi malzemelerin kullanılması yeni bir kaynak oluşturmakta ve çevre üzerinde ki olumsuz etkisini azaltmaktadır. İnşaat mühendisliği alanında e-atıklar ile ilgili çalışmalar yapılmakta fakat yapılan çalışmalar çok yeni olup sınırlı sayıdadır. Özellikle geoteknik alanında kullanımına, hem ulusal hem de uluslararası

literatürde çok az rastlanılmıştır. İnşaat mühendisliği alanında yapılan çalışmalar genel olarak ulaşım ve beton teknolojisi alanındadır.

Colbert and You (2012) yaptıkları çalışmada, geleneksel asfalt bağlayıcıları yerine bilgisayar plastiklerinden elde edilmiş elektronik atıklar modifiye asfalt bağlayıcısı olarak kullanmışlardır. Asfalt bağlayıcılara sırasıyla % 2.5, % 5 ve % 15 oranlarında e-atık tozları karıştırılmıştır. E-atık tozların ilavesi, modifiye edilmemiş asfalta bağlayıcılarının viskozitesini ve karıştırma sıcaklıklarını artırırken iz duyarlılığını azalttığını ifade etmişlerdir. Ayrıca daha düşük yüzdelerdeki e-atık tozları kontrol numunelerine benzer değerler göstermişlerdir.

Bágel' and MatiašovsNý (2010) beton teknolojisi alanında uygulanan ve literatüre katkı sağlayan ilk örneklerden biri WEEE'nin (Elektrikli ve Elektronik Ekipman Atığı) beton agregası olarak kullanılmasının uygulanabilirliğini ifade etmişlerdir. Çalışmanın sonuçları hafif beton karışımlarında WEEE'den ayrılan plastiklerin geri dönüştürülmesi için yararlı bir malzeme olacağını göstermiştir.

Lakshmi and Nagan, (2010) yaptıkları çalışmalarda e-atık partiküllerinin betonda kaba agrega olarak kullanılması üzerine, M20 betonun mukavemet kriterlerine göre %0 ile %30 arasında değişen bir değişim yüzdesi ile deneysel bir çalışma yapmışlardır. Agregası olarak e-atık içeren ve içermeyen betonun basınç dayanımı, çekme mukavemeti ve eğilme dayanımını belirlemişlerdir. Mukavemet özelliklerine göre ultrasonik deneyler yapılmış ve e-atıkların kaba agrega ile kısmen yer değiştirmesinin kullanılabilir olduğunu belirlemişlerdir. 2011 yılında yaptıkları çalışmada ise e-atığın beton içerisinde kullanılmasının basınç dayanımında önemli bir değişiklik oluşturmadığını fakat kaba agrega miktarının %20'den fazlası e-atık ile değiştirildiği zaman kontrol numunesine göre basınç dayanımı değerinin %23.6 azalttığını belirlemişlerdir.

Suchithra vd., (2015) e-atıkların kaba agrega ile kısmi değiştirilmesini uygulanabilirliğini araştırmışlardır. M20 sınıfı betonda %0, %5, %10, %15 ve %20 oranlarında e-atıklar kaba agrega yerine kullanılmıştır. E-atıkların eklenmesi ile elde edilen beton karışım örneklerinin mekanik özellikleri ve dayanıklılığı, kontrol beton karışımı ile karşılaştırılmıştır. Deneysel sonuçlar, e-atıkların betonda geleneksel betona kıyasla basınç dayanımında önemli bir iyileşme sağladığını ve betonda etkin bir şekilde kullanılabileceğini göstermiştir.

Gavhane vd. (2016) M20 sınıfında betonun sertleşmiş özelliklerini ve dayanıklılığını, optimum çimento içeriği ve %10 e-plastik içeriği için araştırmışlardır. E-plastik atık ince agrega olarak kullanılmış ve nehir kumu ile değiştirildiği zaman, kontrol numunesi ile karşılaştırılabilir sonuçların elde edildiği gözlenmiştir. Bu e-plastik atığın betonda kullanılmasının, geleneksel

ince agregaların gereksinimini azaltacağı ve böylece doğal kaynakların korunmasına neden olacağı önerilmiştir.

Hasan vd. (2016) e-atıkları, kontrol bağlayıcı ve kimyasal olarak modifiye edilmiş bağlayıcılar ile karıştırmışlardır. Sonuç olarak, işlenmemiş e-atık modifiye asfalt bağlayıcıların kontrol bağlayıcıya kıyasla daha sert ve daha elastik davranış gösterdiğini ortaya koymuştur. Kimyasal olarak işlenmiş e-atık modifikatörlerin kullanılması, asfalt bağlayıcılarının iz direncini önemli ölçüde arttırdığını ifade etmişlerdir.

Bulut ve Şahin, 2016 yılında yaptıkları çalışmada, polimer beton dolgu maddesi olarak kullandıkları kuvars kumu ve çakıl malzemeleri yerine bir kısım e-atık kullanarak polimer betona bir seri mekanik deneyler yapmışlardır. Elektronik plastik/dolgu oranının da %0, %5, %15 ve %25 olacak şekilde karışıma katmışlar ve deneyler sonucunda e-plastik oranı arttıkça basınç, eğilmede ve yarmada çekme dayanımları azaldığını ve ideal e-plastik oranının da %5 ve %15 olduğunu belirlemişlerdir.

Chaugule et al.(2017) tarafından yapılan çalışmada, farklı oranlarda (%2, %5 ve %8) e-atıkları zemin içerisine katarak, atıkların zemin üzerinde etkisini araştırmışlardır. Deney sonucuna göre serbest basınç mukavemeti değerinin, ortalama 2.41 kN/m² arttı gözlemlenmiştir. Kesme kutusu deney sonucuna göre ise e-atık yüzdesi arttıkça içsel sürtünme açısının arttığını ve zeminin taşıma gücünde artış sağladığını belirlemişlerdir.

Zaimoğlu vd. (2018) ince daneli zeminlerin (CH) kıvam limitleri üzerinde e-atıkların etkisini araştırmışlardır. Burada e-atıkların geoteknik alanında değerlendirilmesinde yeni bir alan oluşturulması düşünülmüştür. E-atık olarak bilgisayar ana kartlarının üzerlerindeki aksamlar uzaklaştırılarak elde edilen plastik kısım kullanılmıştır. E-atık değirmen tipi öğütücüde yeteri kadar küçüklükteki dane çapına gelinceye kadar öğütülmüştür. Öğütülen e-atık CH kiline farklı oranlarda (kuru ağırlıkça %0.1, %0.3, %0.5, %1, %1.5 ve %2) ilave edilerek kıvam limitleri belirlemiştir. Laboratuvar deneyleri sonucunda e-atığın CH kilinin likit limit (w_L) ve plastik limit (w_P) değerleri üzerine etkisi incelenmiş ve elde edilen sonuçlar yorumlanmıştır. Laboratuvar deneyleri sonucunda e-atığın CH kilinin likit limit (w_L) ve plastik limit (w_P) değerlerini artırdığı gözlemlenmiştir.

Kumar and Kumar (2019) e-atıkların, toz halinde zemin içerisinde kullanılmasının zeminin geoteknik özelliklerini nasıl etkilediğini belirlemek için bir çalışma yapılmışlardır. Bu çalışmada kullanılan malzemelerin özelliklerinin belirlenmesi ve ayrıca %3, %6, %9 ve %12 gibi farklı oranlarda e-atık kullanımının zemin üzerinde etkisini belirlemek için kesme kutusu, serbest basınç mukavemeti deneyi ve CBR deneyi yapılmışlardır. Sonuç olarak kayma mukavemeti ve stabilite gibi özelliklerde sağlıklı bir artış olduğunu gözlemlenmiştir.

Polimer malzemelerle yapılan çalışmalar

Devecioğlu and Biçer (2016) yaptıkları çalışmada hafif betonların ısı ve mekanik özellikleri üzerindeki numunelere genişletilmiş kil agrega ve bağlayıcı olarak doğal bir reçine eklenmesinin etkilerini incelemişlerdir. Çalışmada numunelere 4 - 8 mm çapında ve çimento ağırlığının % 5 ,%10 ve %20 oranında kil eklenmiştir. Bir bağlayıcı olarak, çimentoya % 1 oranında reçine ilave edilerek, 867 kg/m³ ile 1452 kg/m³ arasında değişen yoğunluklara sahip yeni hafif beton numuneleri üretilmiştir. Tüm karışımlarda su/çimento oranı sabit tutulmuştur. 28 günlük kür süresinin sonunda, termal iletkenlik, özgül ısı kapasitesi, basınç dayanımı, elastik modülü, su emme kapasitesi belirlenmiştir. Deney sonucu olarak, reçine ve kil miktarının artırılarak eklenmesi numunelerin ısı iletkenliği, yoğunluğu ve basınç dayanımı azaltmıştır.

Hamidi and Marandi (2018) çalışmalarında, yumuşak killi zeminlerin stabilizasyonu için çimento ve epoksi reçinesi kullanmışlardır. Çalışmada, farklı kil minerallerine sahip iki zemin (kaolinit ve bentonit) numunesi incelenmiştir. Numuneler üzerinde yapılan deney sonucuna göre, epoksi reçinenin kullanılmasının dayanım parametrelerini yaklaşık 100 ila 1000 kat artırdığını, serbest basınç mukavemet değerinin ise bazı numunelerde zemindeki kil minerali türlerine dayanarak 50 MPa'ya ulaştığını göstermiştir.

Anagnostopoulos (2015), siltli kilin mekanik özelliklerini geliştirmek için iki bileşenli suda çözünür epoksi reçinelerinin kullanımını araştırmıştır. Deneyler, farklı epoksi reçine su oranları, katı su oranları ve çimento içerikli zemin karışımları kullanılarak farklı sürelerde kür edilmiştir. Bu çalışmanın sonuçları, epoksi reçine kullanılan zemin numunelerinin mukavemete değerinde önemli artış olduğunu ortaya koymuştur. Çimento ilavesi, her kürleme süresinde tüm karışımların mukavemetini önemli ölçüde artırmıştır.

Saygılı, (2018) yaptığı çalışmada sıvı haldeki polimerik metil difenil izosiyanat polimerinin, kaolin kilinin mühendislik özellikleri üzerindeki etkilerini araştırmıştır. Polimerik metil difenil izosiyanat sıvı polimeri optimum su muhtevasında kaolin kil numunelerine farklı oranlarda eklenerek serbest basınç belirlemiştir. Sıvı polimer yüzde 3, 6, 9 ve 12 oranlarında belirlenen optimum su muhtevasını geçmeyecek şekilde ve kullanılan oran ile optimum su muhtevası oranı yer değiştirerek numuneler hazırlamıştır. Hazırlanan numuneler 3, 7, 14 ve 28 gün küre tabi tutulmuştur. Kür süresi sonunda serbest basınç mukavemeti deneyi yapılarak mukavemetleri belirlenmiştir. Deney sonucunda, polimer katkı oranı ve kür süresi arttıkça mukavemet değerlerinde önemli ölçüde artış olduğu belirlenmiştir.

MATERYAL ve METOT

Materyal

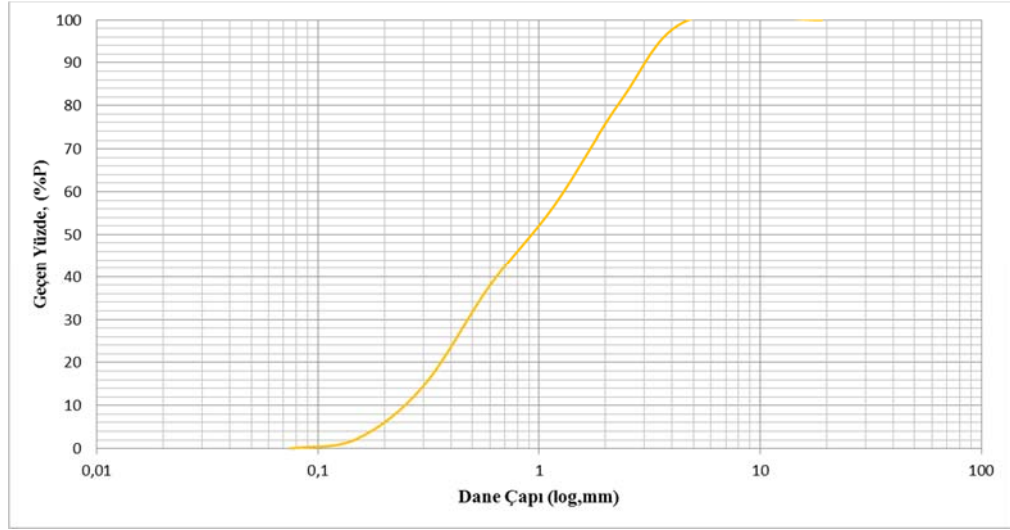
Kum zemin

Çalışmada kullanılan zemin özel firmadan temin edilen kum zemindir (Şekil 8). Kum zemin özelliklerini belirlemek için Atatürk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Zemin Mekaniği ve Geoteknik Mühendisliği Laboratuvarı'nda yıkanarak 105°C sıcaklıktaki etüvde kurutulmuştur ve daha sonra elenmiştir.

Kum zeminin sınıfı ASTM D6913 / D6913M – 17'a göre belirlenmiştir. Ayrıca, özgül ağırlık deneyi (ASTM D854), maksimum kuru birim hacim ağırlık (ASTM D4253) ve minimum kuru birim hacim ağırlık (ASTM D4254) deneyleri standartlara uygun olarak yapılarak değerleri belirlenmiştir. Deneyler en az 3 tekrarla yapılmış ve ortalama değerleri alınmıştır. Kullanılan kum zemin sınıfı Birleştirilmiş Zemin Sınıflandırma Sistemine (USCS) göre SP olarak belirlenmiştir. Kum zemine ait dane çapı dağılım eğrisi Şekil 9'da ve bazı geoteknik özellikleri Tablo 6'da verilmiştir. Bununla birlikte bu değerler ile orta sıkı ($D_r=65$) kum zemin için gereken boşluk oranı (e) belirlenmiş ve 0.586 olarak bulunmuştur.



Şekil 8. Deneylerde kullanılan kum zemin



Şekil 9. Kum zemine ait dane çapı dağılım eğrisi

Tablo 6. Deneylerde Kullanılan Kum Malzemenin Bazı Özellikleri

Özellik	Birimi	Değer
Zemin Sınıfı (USCS)	-	SP
Efektif Dane Çapı, D_{10}	mm	0.24
D_{30}	mm	0.48
D_{60}	mm	1.30
Üniformaluluk Katsayısı $C_u = D_{60} / D_{10}$	-	5.53
Derecelenme Katsayısı $C_c = (D_{30})^2 / (D_{60} * D_{10})$	-	0.75
Özgül Ağırlık(G_s)	-	2.71
Maksimum kuru birim hacim ağırlık(γ_{kmax})	kN/cm ³	18.25
Minimum kuru birim hacim ağırlık (γ_{kmin})	kN/cm ³	14.61
Maksimum Boşluk Oranı(e_{max})	-	0.82
Minimum Boşluk Oranı(e_{min})	-	0.46

Kompozit Kazık Üretiminde Kullanılacak Malzemeler

Model kazık üretimi için kullanılan malzemeler, e-atık ve polimer olarak da doymamış poliester reçinedir. Model kazık üretim aşamasına geçmeden önce ön deneyler yapılmıştır. Bu deneylerde, farklı boyut ve oranlarda e-atık kullanılmış ve özellikleri Zemin Mekaniği ve Geoteknik Mühendisliği Laboratuvarı'nda ve Yapı Malzemeleri ve Tatbiki Mekanik Laboratuvarı'nda belirlenmiştir. Ön deney sonuçları dikkate alınarak farklı boy/çap(l/d) ve farklı oranlarda e-atık (%0, %5(0-2mm), %5(2-4mm), %10(0-2mm) ve %10(2-4mm)) kullanılarak katkısız ve e-atık katkılı polimer esaslı kazık numuneleri üretilmiştir. Üretilen bu model kazıklar tekil, 2'li ve 4'lü kazık grubu oluşturularak büyük ölçekli model deney tankında deneye tabi tutulmuştur.

Doymamış poliestер

Kazık üretiminde polimer olarak kullanılan doymamış poliestер(TP100-Döküm Tipi) özel bir firmadan temin edilmiştir (Şekil 10). Doymamış poliestere ait üretici firma kataloğundan temin edilen bazı özellikler Tablo 7’de verilmiştir.



Şekil 10. Doymamış poliestер(Polyethylene terephthalate)

Tablo 7. Doymamış Poliestер(Polyethylene terephthalate)’e Ait Özellikler

Renk	Şeffaf /Transparen
Yoğunluk	1,17 ± 0,01 gr/cm ³
Asit Değeri	<24 mg KOH/gr
Vizkozite Brookfield	400-600 cp
Jel Süresi	5'00-8'00
Pik Derecesi	160°-170°C
Monomer Oranı	%31-%36
Çekme Dayanımı	65 MPa
Kopmadaki Uzama	3,00%
Çekme Modülü	3000 Mpa
Eğilme Dayanımı	120 Mpa
Eğilme Modülü	2800 Mpa
Barcol Sertliği	40
Yük Altında Eğilme Sıcaklığı	60°

Hızlandırıcı

Deneylerde kullanılan hızlandırıcı (Kobalt Naftenat) özel bir firmadan temin edilmiştir (Şekil 11). Hızlandırıcı(Kobalt Naftenat), doymamış poliesterin priz süresini ayarlamakta kullanılmıştır. Hızlandırıcıya ait üretici firma kataloğundan temin edilen bazı özellikler Tablo 8’ de verilmiştir.



Şekil 11. Hızlandırıcı (Kobalt Naftenat)

Tablo 8. Hızlandırıcı(Kobalt Naftenat)’ya Ait Özellikler

Görünüm	Sıvı
Renk	Menekşe mavisi
Koku	Karakteristik
Erime noktası	Mevcut değil
Parlama noktası	7°C
Yığın yoğunluğu	Bilgi yok.
Çözünürlük(ler)	Suda çözünmez.
Viskozite	200-240 mPa.s (@20°C)
Yoğunluk	0,95 ± 0,01 g/cm ³ (@20°C)

Sertleştirici

Deneylerde kullanılan sertleştirici (Methyl Ethyl Ketone Peroxide) özel bir firmadan temin edilmiştir (Şekil 12). Sertleştirici (Methyl Ethyl Ketone Peroxide), doymamış poliesterin

priz olarak sertleşmesini sağlamak için kullanılmıştır. Sertleştiriciye ait üretici firma kataloğundan temin edilen bazı özellikler Tablo 9’da verilmiştir.



Şekil 12. Sertleştirici (Methyl Ethyl Ketone Peroxide)

Tablo 9. Sertleştirici(Methyl Ethyl Ketone Peroxide)’ye Ait Özellikler

Görünüm	Berrak sıvı
Renk	Renksiz
Koku	Karakteristik
Çözünürlük(ler)	Suda kısmen çözünür
Viskozite	Dinamik veri yok
Yoğunluk	$1,16 \pm 0,005 \text{ g/cm}^3$ (@20°C)

Doymamış poliesterin sertleşmesinde kullanılan hızlandırıcı (Kobalt Naftenat) ve sertletirici oranları, doymamış poliester kullanılarak kompozit malzeme üretimi üzerinde yapılmış bazı çalışmalardan belirlenmiştir (Akın 2007; Gürü et al. 2007; Bagherinia 2013).

E-atık

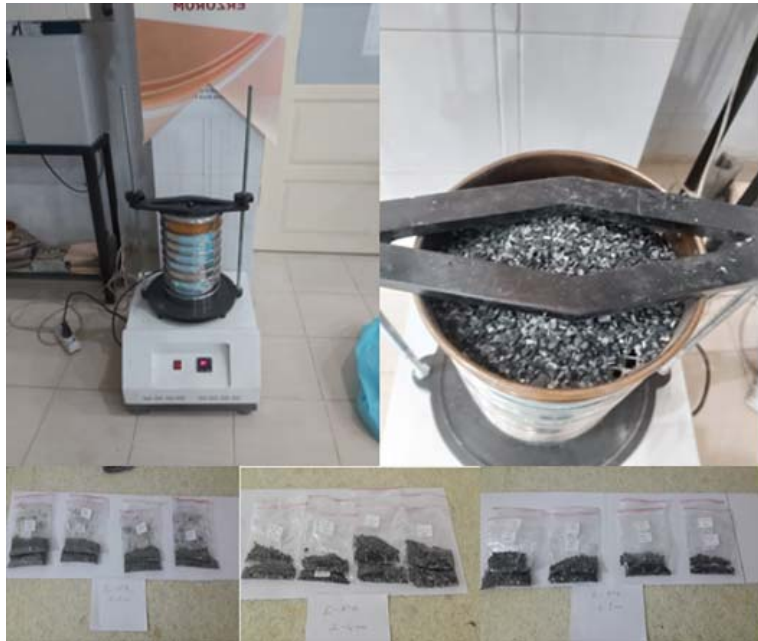
Model deneylerde kullanılacak olan e-atık özel bir firmadan kaba daneli(>8mm) olarak temin edilmiştir. İri daneler halinde olan e-atık daha sonra özel bir firmada kazık üretiminde kullanılacak dane boyutunu elde etme amacıyla öğütülmüştür (Şekil 13). Öğütülen e-atık atık Atatürk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Zemin Mekaniği ve Geoteknik Mühendisliği Laboratuvarında yıkanarak kurutulmaya bırakılmıştır (Şekil 14). Kurutulan e-atık eleklerden elenerek 0-2mm, 2-4mm ve 4-8 mm olarak sınıflandırılmıştır (Şekil 15).



Şekil 13. Öğütülen e-atık



Şekil 14. Yıkayıp-kurutulan E-atık



Şekil 15. Elenen ve boyutlarına (0-2mm, 0-4mm, 4-8mm) göre sınıflandırılan E-atık

Basınç ve eğilme deney sistemi

Kazık numunelernin basınç/eğilme mukavemetlerini belirlemek için Atatürk Üniversitesi Yapı Malzemeleri ve Tatbiki Mekanik Laboratuvarı'nda bulunan Shimadzu Autograph AG-IS 3000 kN yükleme kapasitesine sahip bilgisayar kontrollü tek eksenli basınç dayanım deney sistemi ve 100 kN statik basma cihazında eğilme dayanımı deney sistemi kullanılmıştır (Şekil 16).



Şekil 16. Basınç ve eğilme deney sistemi

Donma-çözülme deney sistemi

Donma-çözülme deneyleri gerçekleştirmek için Atatürk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Zemin Mekaniği ve Geoteknik Mühendisliği Laboratuvarı'nda bulunan (110 cm x 55 cm x 55 cm boyutlarında olup minimum sıcaklığı -25° C maksimum sıcaklığı +25° C olan ve programlanma özelliğine sahip) özel olarak imal edilen tam otomatik donma-çözülme deney aleti kullanılmıştır (Şekil 17).



Şekil 17. Donma-çözülme deney aleti

Dinamik deney sistemi

Numunelerin sönüm oranını belirlemek için Atatürk Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü Makine Teorisi ve Dinamiği laboratuvarında bulunan bilgisayar tabanlı çok kanallı bir analiz sistemi olan pulse titreşim ölçüm sistemi kullanılmıştır (Şekil 18). Çeşitli veri toplama

üniteleri ve yazılım opsiyonlarından oluşan modüler bir yapıya sahip olan bu sistemde analiz programı doğrudan malzemelerin titreşim moduna karşılık gelen sönüm oranlarını vermektedir (Şakar vd 2015). Analiz programı, sönüm oranını half-power bandwidth adı verilen bir metod kullanılarak genlik-frekans aralığında belirlemektedir.



Şekil 18. Dinamik deney sistemi (Karaca 2017)

Çekme deney sistemi

Kazık numunlerin çekme mukavemetlerini belirlemek için Atatürk Üniversitesi Yapı Malzemeleri ve Tatbiki Mekanik Laboratuvarı'nda BESMAK marka çekme deney aleti kullanılmıştır (Şekil 19).



Şekil 19. Çekme deney sistemi

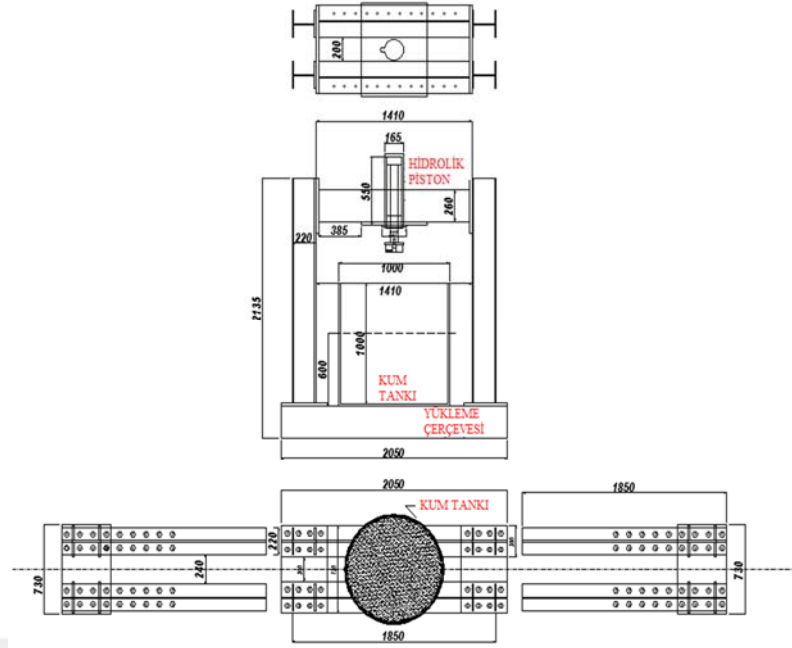
Büyük ölçekli model deney sistemi

Kazık ve kazık grup deneylerinin yapıldığı özel olarak imal ettirilen büyük ölçekli model deney sistemi, yanlarında bulunan I profillerine monte edilen 1445 mm uzunluğunda ve 260 mm kalınlığında reaksiyon kirişine sahiptir. Reaksiyon kirişi üzerine otomatik olarak kontrol edilen 50 ton(t) kapasiteli hidrolik piston yerleştirilmiştir. Yükleme hızını belirlemek

ve yükleri okumak için otomatik kontrol ünitesi bulunmaktadır. Model deney düzeneği üzerinde bulunan tankın yüksekliği $h_1=400$ mm, $h_2=300$ mm ve $h_3=300$ mm olacak şekilde üç(3) ayrı kısımdan modüler olarak imal edilmiştir. Deney haznesinin et kalınlığı 2 cm olup düşey yükler altındaki muhtemel yanal deformasyonları karşılayacak kalınlıktadır (Şekil 20). Tank haznesinin içine konulan malzemelerin rahatlıkla boşaltılıp karıştırılabilmesi için haznenin alt tarafında kapak sistemi mevcuttur. Deney sistemine ait şematik çizimi Şekil 21’de görülmektedir.



Şekil 20. Büyük ölçekli model deney sistemi



Şekil 21. Cihazın şematik gösterimi

Yük hücresi: Deneylerde alaşımlı çelikte imal edilmiş 50 kN kapasiteli $2.0 \pm 0.0002 \text{ mV/v}$ hassasiyetli 4. 5 kg ağırlığında yük hücresi kullanılmıştır (Şekil 22).



Şekil 22. Yük hücresi

Deplasman ölçer: Kazıklı temelde meydana gelen oturmaları gözlemlemek için, deplasman boyu 50 mm olan, uzama verisini analog sinyal olarak 0.0001 mm çözünürlüğe kadar verne ve tekrarlanabilirliği 0.0002 mm olan Lineer Potansiyometrik Deplasman Sensörü(LVDT) kullanılmıştır. Lineer Potansiyometrik Deplasman Sensörü (LVDT) Şekil 23’de gösterilmiştir.



Şekil 23. Deplasman ölçer (LVDT)

Veri toplama ve aktarma sistemi: Yük hücresi ve LVDT’lerden alınan veriler TESTBOX 1001 veri toplama cihazına (8 kanallı) aracılığıyla bilgisayar ortamına aktarılmaktadır (Şekil 24). Veriler TESTLAB-BASIC yazılımı kullanılarak elde edilmektedir.



Şekil 24. Veri toplama sistemi

Basınç Ölçer : Düşey yük hareketi esnasında kazıklarda meydana gelen basınç değerlerinin belirlenmesi ve kontrolü için basınç ölçerler kazık uçlarına yerleştirilmiştir. Basınç ölçer Şekil 25’de gösterilmiştir.



Şekil 25. Basınç ölçerler

Metot

Serbest basınç deney numunelerinin hazırlanması

E-atık katkılı polimer esaslı ve katkısız polimer esaslı kazık numuneleri imalatı için kullanılacak oranları belirlemek amacıyla ön deneyler yapılmıştır. Ön deneylerde yaklaşık 1 mm et kalınlığındaki paslanmaz malzemeden 38 mm çapında ve 76 mm yüksekliğinde silindirik kalıplar kullanılmıştır. E-atık katkılı polimer numune üretimi için; poliester (Polyethylene terephthalate) içerisine hızlandırıcı (Cobalt(II) naphthenate) ilave edilip homojen hale gelinceye kadar karıştırılmış ardından sertleştirici (Methyl Ethyl Ketone Peroxide) ilave edilerek karıştırılmaya devam edilmiştir. (H ve S oranları, doymamış poliester kullanılarak yapılan çalışmalar dikkate alınarak belirlenmiştir (Akın, 2007; Gürü vd., 2007; Artuk, 2016; Arasan vd., 2017). Daha sonra e-atık malzemesi eklenerek 2.5 dk süre ile homojen hale gelinceye kadar karıştırılmıştır (Şekil 26) (Arasan vd., 2015). Elde edilen karışım önceden hazırlanan 38 mm çapında ve 76 mm yüksekliğinde silindirik kalıplar içerisine yerleştirilmiştir. Bu işlem her bir e-atık aralığı (0-2 mm, 2-4 mm ve 4-8 mm) için ve farklı oranlarda (%5, %10, %15, %20) tekrar edilmiştir. Her bir karışım için 3'er adet numune üretilmiştir.

Silindirik numuneler laboratuvar şartlarında 7 ve 28 gün süre ile küre tabi tutulmuştur. Kür süresi sonunda her bir karışıma ait numuneler 0.05 MPa/s hızında serbest basınç deneylerine tabi tutularak en iyi serbest basınç mukavemeti değeri veren numuneler belirlenmiştir (Şekil 27). 28 gün kür süresi sonunda %0,%5(0-2mm), %5(2-4mm), %10(0-2mm), %10(2-4mm) oran ve boyutlarına sahip numuneler en iyi sonucu vermiştir. Belirlenen bu numuneler kazık ve kazık gruplarının üretiminde kullanılmıştır.



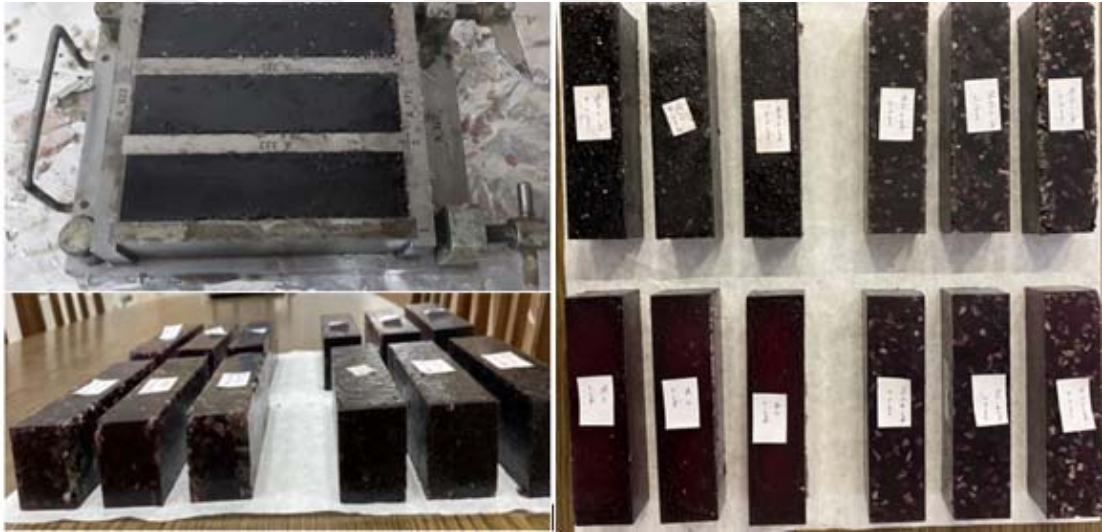
Şekil 26. Serbest basınç deney numunesi üretimi



Şekil 27. Serbest basınç deney numuneleri-kırımı

Eğilme deney numunelerinin hazırlanması

Ön deneylerden elde edilen karışım oranları (%0, %5(0-2mm), %5(2-4mm), %10(0-2mm), %10(2-4mm)) kullanılarak eğilme deney numuneleri hazırlanmıştır. Numune üretimi için 40x40x160mm boyutlarında eğilme deney kalıpları kullanılmıştır (Şekil 28). Hazırlanan e-atık katkılı poliester esaslı ve katkısız poliester esaslı deney numunelerinin eğilme mukavemetlerini belirlemek için Atatürk Üniversitesi Yapı Malzemeleri ve Tatbiki Mekanik Laboratuvarı'nda bulunan hidrolik eğilme presi kullanılmış ve 0.05 MPa/s hızda deneye tabi tutulmuştur (Şekil 29).



Şekil 28. Eğilme deney numuneleri



Şekil 29. Eğilme deney sistemi

Donma-çözülme deneyi

Ön deneylerde belirlenen karışım oranları (%0, %5(0-2mm), %5(2-4mm), %10(0-2mm), %10(2-4mm)) kullanılarak 38 mm çapında ve 76 mm yüksekliğinde hazırlanan numuneler donma-çözülme deneyine tabi tutulmuştur. Donma-çözülme çevrim sayısının belirlenmesinde literatürden yararlanılmış ve 10 çevrim seçilmiştir (Ghazavi and Roustaie 2010; Akbulut and Zaimoğlu 2019). Donma-çözülme deneyleri için Atatürk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Zemin Mekaniği ve Geoteknik Mühendisliği Laboratuvarı'nda bulunan otomatik donma-çözülme deney aleti kullanılmıştır.

Numuneler donma-çözülme kabineye yerleştirildikten sonra 6 saat -20°C ' de 6 saat $+25^{\circ}\text{C}$ ' de 10 çevrim bekletilmiş ve donma-çözölmeye tabi tutulan numunelerin serbest basınç mukavemetleri çevrim sonunda belirlenmiştir (Şekil 30).



Şekil 30. Donma-çözülme deneyi

Dinamik deney

Ön deneylerden belirlenen karışım oranları (%0, %5(0-2mm), %5(2-4mm), %10(0-2mm), %10(2-4mm)) kullanılarak dinamik deney numuneleri üretilmiş ve numunelerin sönüm oranı belirlemek için Atatürk Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü Makine Teorisi ve Dinamiği Laboratuvarı'nda bulunan bilgisayar tabanlı çok kanallı bir analiz sistemi olan pulse titreşim ölçüm sistemi kullanılmıştır (Şekil 31). Deney için 7,5x21x0,5 cm boyutlarındaki kalıplara (Şekil 32) hazırlanan e-atık katkıli poliestere esaslı ve katkısız poliserter esaslı malzeme dökülerek, numuneler sertleştikten sonra kalıplardan çıkarılmıştır (Şekil 33). Katkısız ve e-atık katkıli poliestere esaslı kompozit numunelerinin Pulse Titreşim Ölçüm Sistemi ile sönüm oranının belirlenmesi için 28 günlük kür süreleri tamamlanmış numuneler üzerinde deney gerçekleştirilmiştir.

Deneyde, numune üzerinde belirli noktalardan darbe çekici ile hasarsız tahrik kuvveti uygulanmış ve malzemenin titreşim cevabı ölçülerek aradaki transfer fonksiyonu ME'scope VES model analiz yardımıyla elde edilmiştir. Tahrik kuvveti bir kuvveti bir çekiç ile cevap ise lazer vibrometre ile ölçülmüştür.



Şekil 31. Sönüm oranının belirlenmesi için kullanılan deney düzeneği



Şekil 32. Sönüm oranının belirlenmesi için kullanılan kalıplar



Şekil 33. Sönüm oranının belirlenmesi için kullanılan numuneler

Yukarıda bahsedilen tüm deneylerde 3'er adet numuneler üretilmiş ve ortalamaları değerlendirmelerde ortalamaları alınmıştır.

Büyük ölçekli model kazık üretimi

Literatür çalışmaları ve ön deney sonuçlarına göre üretilen kazık uzunluk/çap (l/d) oranları 10,14 ve 18 olarak belirlenmiştir (Sivapriya ve Muttharam, 2019). Kazık gruplarında ise yine literatür çalışmaları dikkate alınarak s/d oranı 3 (tekil kazık, 2'li kazık ve 4'lü kazık) olarak belirlenmiştir. Kazık üretiminde 1000mm uzunluğunda 30mm iç çapa sahip borular kullanılmıştır. Hazırlanan e-atık katkılı polimer malzeme (Şekil 34) kalıplar içerisine dökülerek priz alıp sertleşmesi beklenmiştir (Şekil 35). Kazık numunelerin kür süreleri 28 gün olarak belirlenmiştir.



Şekil 34. Büyük ölçekli model kazık üretimi



Şekil 35. Büyük ölçekli model kazık

Deneylerde ilk olarak üretilen kazıklar 1000mm yüksekliğinde 30mm çapa sahiptir. Yapılan çalışma da kazık boyları 300mm, 420mm ve 540mm olarak imal edilmiştir (Şekil 36). Kazık boyları Atatürk Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü Atölyesi'nde elektronik testere kullanılarak elde edilmiştir (Şekil 37).



Şekil 36. Üretilen model kazıklar



Şekil 37. Kazık boylarının ayarlanması

Üretilen kazık numunelerinde kazık ile zemin arasındaki sürtünmeyi sağlaması için üretilip kesilen her bir kazık pürüzlü hale getirilmiştir. Kazıkların sürtünmesini sağlamak için deneyde kullanılacak kum ile aynı dane çapı dağılımına sahip kum ile kazık etrafı kaplanmıştır. Kaplama işlemi için aynı oranlarda poliester ve katkı maddeleri kullanılmıştır. Sürtünme için ilk etapta oluşturulan polimer malzeme kazık etrafına sürülmüş (Şekil 38), daha sonra priz almasını beklemeden yüzeyi kum ile kaplanmıştır (Şekil 39). Yüzeyi kaplanan kazıklar priz alması beklenmiş ve sonunda yüzeyi pürüzlü kazıklar elde edilmiştir.



Şekil 38. Polimer malzemenin kazık yüzeyini kaplaması



Şekil 39. Kazıkların pürüzlü hale getirilmesi

Büyük ölçekli model deneyler

Ön deneylerden belirlenen karışım oranlarına (%0, %5(0-2mm), %5(2-4mm), %10(0-2mm), %10(2-4mm)) bağlı olarak üretilen kazık ve kazık grupları büyük ölçekli model deney sistemine yerleştirilmiş ve yüklemeye tabi tutulmuştur.

Model deneylerde literatürden belirlenen farklı $l/d=10, 14$ ve 18 oranlarında ön deneylerde belirlenen her bir karışım için toplamda 45 deney yapılmıştır. Model deneylerde kazık grupları tekil, 2'li ve 4'lü olarak belirlenmiştir. Kazık aralığı oranı $s/d=3$ olarak belirlenmiştir. Burada s kazık merkezleri arası mesafeyi d ise kazık çapını ifade etmektedir. Yapılan model deneylerde l/d oranı ve s/d oranı seçilirken cidar etkisi düşünülerek belirlenmiştir. Model deneyin yapılması için şu aşamalar gerçekleştirilmiştir.

1.Aşamada belirlenen rölatif sıklığa bağlı kalınarak deneye tabi tutulacak kazık veya kazık grubunun alt ucuna kadar model tank kum ile doldurulmuştur. Daha sonra kazık veya kazık grupları 90° olacak şekilde kum üzerine özel aparatlarla temas ettirilerek sabitlenmiştir (Şekil

40). Sonra tank yine aynı rölatif sıklıktaki kum ile tamamen doldurulmuştur. Deneylerde uygun rölatif sıklığın sağlanması için 10 cm yüksekliklerde çizgiler çizilmiş ve gerekli olan kum miktarı çizgilere gelecek şekilde yerleştirilmiştir (Şekil 41).

2. Aşamada kazık başlığı yerleştirilmiş ve 3 adet LVDT kazık başlığına eşit açılarda konumlandırılmıştır(Şekil 42). Kazık başlığına yükün üniform dağılmasını sağlamak amacıyla merkezin içi açılmış ve rijit çelik bilye yerleştirilmiştir. Daha sonra kazık ve kazık grupları 1.2 mm/dk yükleme hızında yükleme yapılarak yük-oturma değerleri belirlenmiştir. Bu işlem tüm kazık ve kazık grupları için tekrar edilmiştir.



Şekil 40. Kazık numunelerinin yerleştirilmesi



Şekil 41. Kum zeminin model tank sistemine yerleştirilmesi



Şekil 42. Büyük ölçekli model deney sistemi

Çekme deneyi

Farklı boy/çap($l/d=10, 14, 18$) ve farklı oranlarda e-atık (%0, %5(0-2mm), %5(2-4mm), %10(0-2mm), %10(2-4mm)) ile üretilen her bir kazık Atatürk Üniversitesi Yapı Malzemeleri ve Tatbiki Mekanik Laboratuvarı'nda çekme deneyine tabi tutulmuştur. Deney sonrası her bir numunenin çekme dayanımı ve akma dayanımı belirlenmiştir (Şekil 43).



Şekil 43. Çekme deneyi

ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

Tez çalışması kapsamında e-atık katkılı polimer esaslı ve katkısız polimer esaslı numuneler üretilerek bu numunelerin serbest basınç mukavemeti, eğilme dayanımı, donma-çözülme çevrim sonrası mukavemeti, , sönüm oranı, çekme dayanımı ve büyük model tank deneyleri yapılmıştır. Elde edilen sonuç ve bulgular aşağıda verilmiştir.

Serbest Basınç Deneyi Sonuçları

Ön deneylerde e-atık aralığı 0-2 mm, 2-4 mm, 4-8 mm ve atık oranları %5, %10, %15, %20 oranlarında seçilmiş ve bu veriler kapsamında deneyler gerçekleştirilmiştir. Belirlenen oranlarda hazırlanan serbest basınç numuneleri 7 ve 28 gün kür sonrası serbest basınç deneyine tabi tutulmuş ve elde edilen serbest basınç mukavemet değerleri Tablo 9' da toplu olarak verilmiştir.

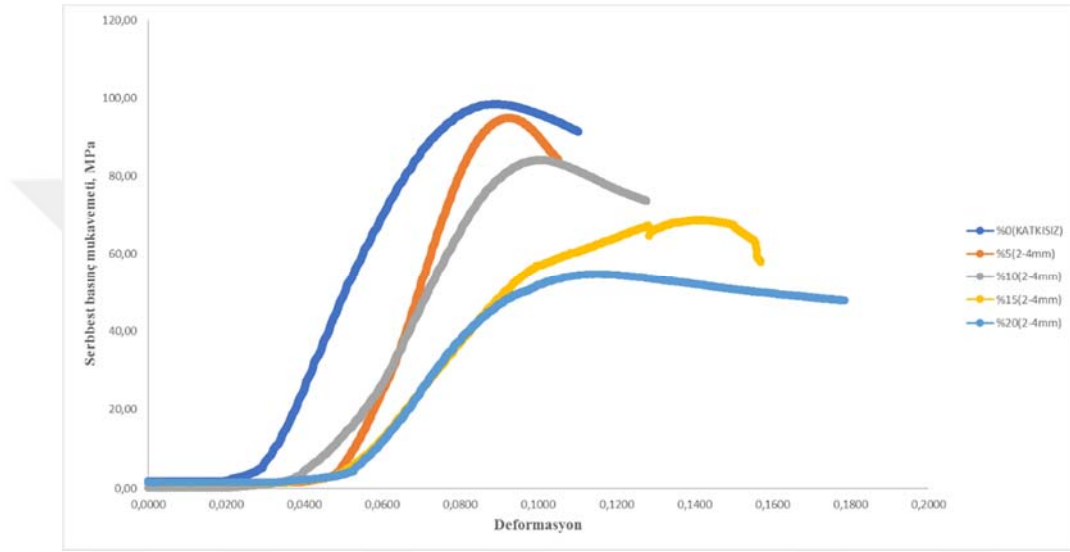
Tablo 10. Serbest Basınç Mukavemet Değerleri

Serbest Basınç Mukavemet Değerleri(MPa)		
Oran/Boyut	7 GÜN	28 GÜN
%0 (KATKISIZ)	38.92	98.40
0-2 mm	27.22	65.60
%5 2-4 mm	34.01	88.78
4-8 mm	18.20	44.28
0-2 mm	26.65	62.91
%10 2-4 mm	33.41	84.87
4-8 mm	17.88	42.56
0-2 mm	15.48	39.34
%15 2-4 mm	26.32	68.72
4-8 mm	14.44	36.26
0-2 mm	13.27	33.98
%20 2-4 mm	22.25	55.40
4-8 mm	12.18	30.82

Tablo 10' da görüleceği üzere e-atık oranı arttıkça serbest basınç mukavemet değerleri genel olarak dramatik bir şekilde azalma göstermektedir. E-atık oranının katkılı numunelerde en yüksek mukavemet değeri 88.78 MPa değeri ile %5 (2-4mm) e-atık katkılı numunelerde elde edilmektedir. Ayrıca Tablo 10 incelendiğinde %10 (2-4mm) e-atık katkılı numunelerinde de

yüksek mukavemet değeri elde edildiği ve katkısız numune değerine yakın olduğu görülmektedir.

Tablo 10'daki sonuçlar incelendiğinde e-atık oranı %0 değerinde maksimum mukavemet değeri elde edildiği görülmektedir. Tablo 10' da görüleceği üzere 2-4 mm aralığındaki e-atığın tüm oranlarında (%5, %10, %15 ve %20) serbest basınç mukavemet değerleri yüksek elde edilmiştir. Katkısız, %5 (2-4mm), %10 (2-4mm), %15 (2-4mm) ve %20 (2-4mm) numunelerine ait serbest basınç mukavemeti- deformasyon ilişkisi Şekil 44'de gösterilmiştir.



Şekil 44. Serbest basınç mukavemeti- deformasyon ilişkisi

Şekil 44'de katkısız(%0) numunelerin diğer e-atık katkılı numunelere nazaran daha gevrek davranış sergilediği görülmektedir. Yine şekil 44'de e-atık ilave edilen numunelerde e-atık oranının artması ile genel olarak sünek davranışın meydana geldiği gözlemlenmiştir.

Suchithra vd., (2015), Bulut and Şahin (2017), ve Zaimoğlu vd. (2018) yapmış oldukları çalışmalarda E-atıkların geri dönüşümü, ekonomiye katkı sunması açısından kullanılabilirliği hakkında olumlu sonuçlar sunmuşlardır. Bu bağlamda çalışmada eğilme, donma-çözülme, çekme dinamik ve büyük ölçekli model deneyleri %0, %5(0-2mm), %5(2-4mm), %10(0-2mm), %10(2-4mm) karışımları kullanılarak elde edilen numuneler üzerinde yapılmasına karar verilmiştir.

Donma-çözülme Deneyi Sonuçları

Belirlenen numuneler (%0, %5(0-2mm), %5(2-4mm), %10(0-2mm), %10(2-4mm)) 7 ve 28 gün kür sonunda 10 çevrim donma-çözölmeye tabi tutulmuş ve 10 çevrim sonunda serbest basınç mukavemet değerleri belirlenmiştir. Elde edilen 10 çevrim sonrası serbest basınç mukavemet değerleri toplu olarak Tablo 11' de verilmiştir.

Tablo 11. Donma-Çözülme Öncesi-Sonrası Serbest Basınç Mukavemet Değerleri

		7 GÜN		28 GÜN	
Oran/Boyut		Donma- çözülme öncesi (MPa)	Donma- çözülme sonrası (MPa)	Donma- çözülme öncesi (MPa)	Donma- çözülme sonrası (MPa)
%0 (KATKISIZ)		38.92	36.87	98.40	92.54
5%	0-2 mm	27.22	25.74	65.60	62.41
	2-4 mm	34.01	31.84	88.78	84.35
10%	0-2 mm	26.65	24.98	62.91	59.68
	2-4 mm	33.41	31.51	84.87	79.87

Tablo 11 incelendiğinde en yüksek (donma-çözülme sonrası) serbest basınç mukavemet değeri %0 e-atık oranında elde edilmiştir. Aynı zamanda serbest basınç mukavemet değerlerinin donma-çözülme öncesi serbest basınç mukavemet değerlerine nazaran önemli ölçüde değişmediği Tablo 11’ de görülmektedir. Bu durum e-atık katkılı ve katkısız polimer esaslı malzemelerin donma-çözölmeye karşı dayanıklılığını ve karasal iklimlerde kullanılabilir olduğunu göstermektedir. Benzer sonuçlara literatürde Welling (2012) ve Arasan vd., (2015) tarafından yapılan çalışmalarda da ulaşılmıştır. Welling (2012) çalışmasında kumlu zeminlere ilave edilen polimer miktarının artması ile durabilitelerinin arttığını , Arasan vd., (2015) ise kum zemine poliester ilavesi ile kompozit numunelerin donma-çözülme sonrası serbest basınç mukavemet değerlerinde önemli değişiklikler olmadığını belirlemişlerdir.

Eğilme Deneyi Sonuçları

Eğilme mukavemetlerinin belirlenebilmesi için belirlenen oranlarda katkısız ve e-atık katkılı polimer esaslı numuneler 28 gün kür sonrası eğilme deneyine tabi tutulmuştur. Eğilme deneyi betonun bir nevi çekme mukavemetinin ölçüsü olarak ifade edilmektedir (Altawıl, 2022). Katkısız ve e-atık katkılı polimer esaslı numunelerin 28 gün kür sonrası eğilme dayanımı değerleri toplu olarak Tablo 12’de verilmiştir.

Tablo 12. Eğilme Dayanım Değerleri

Oran/Boyut		Eğilme Dayanımı (MPa)
%0 (KATKISIZ)		24.30
5%	0-2 mm	14.82
	2-4 mm	24.18
10%	0-2 mm	8.74
	2-4 mm	19.46

En yüksek eğilme dayanımının katkısız numunelerde meydana geldiği ve E-atık oranının artmasının genel olarak eğilme dayanım değerlerinin azalmasına neden olduğu Tablo 12’ de görülmektedir. Bununla birlikte %5(2-4mm) numunesinde elde edilen eğilme dayanım değeri katkısız numuneinkine oldukça yakındır. %5(2-4mm) ve %10(2-4mm) e-atık katkılı numunelerin eğilme dayanımları katkısız numuneler ile karşılaştırıldığında sırasıyla %0.49 ve %19 azaldığı belirlenmiştir.

Çalışma kapsamındaki katkısız ve e-atık katkılı polimer esaslı numunelerin eğilme dayanımları literatürde yapılan beton ve doğal lifler ile güçlendirilmiş beton numunelerinin eğilme dayanımları ile mukayese edildiğinde daha yüksek dayanım elde edildiği görülmüştür. Hamada *et al.* (2023) çalışmalarında doğal lifin (18mm uzunluğunda-%2 oranında) beton numunelerinin eğilme dayanım değerini arttığını ve maksimum değer yaklaşık 12 MPa olduğunu belirtmişlerdir. Yaptığımız çalışmada katkısız ve e-atık katkılı polimer esaslı eğilme deney numunelerinin eğilme dayanım değerleri Tablo 12 incelendiğinde yaklaşık 9 ile 24 MPa aralığında olduğu görülmekte ve bu sonuç deney numunelerinin eğilme dayanımlarının yüksek olduğunu göstermektedir.

Dinamik Deney Sonuçları

Katkısız ve e-atık katkılı polimer esaslı numunelerinin Pulse Titreşim Ölçüm Sistemi ile Sönüm Oranının belirlenmesi için 28 günlük kür süreleri tamamlanmış numuneler üzerinde deney gerçekleştirilmiştir. Deneylerde her bir numuneye ait doğal frekans ve sönüm oranları belirlenmiş ve toplu olarak Tablo 13’de verilmiştir.

Tablo 13. Dinamik Deney Sonuçları

Oran/Boyut		Doğal Frekans(Hz)	Sönüm Oranı
%0 (KATKISIZ)		25.5	2.32
5%	0-2 mm	37	2.89
	2-4 mm	27	5.75
10%	0-2 mm	31	2.44
	2-4 mm	33	5.31

Tablo 13 incelendiğinde %5(2-4mm) ve %10(2-4mm) e-atık katkılı numunelerin sönüm oranlarının %0 katkılı numuneye göre sırasıyla yaklaşık olarak %147 ve %129 oranında arttığı görülmektedir. Bu sonuç bize e-atık kullanılan polimer esaslı kazıkların enerji sönümleme özelliğine sahip olduğunu ve sismik yük etkisine maruz kalınan durumlarda kullanılabileceğini

göstermektedir. Literatür incelendiğinde Karaca, (2017) ve Bölükbaşı, (2019) nın da benzer kanıya vardıkları görülmektedir.

Çekme Deney Sonuçları

Büyük ölçekli model deneylerde oluşturulacak kazık ve kazık gruplarında kullanılacak kazıklar üzerinde çekme deneyleri gerçekleştirilmiştir. Bu deneyler için hazırlanan kazıklarda l/d (10, 14 ve 18) oranlarında dikkate alınmıştır. Bu bağlamda katkısız ve e-atık katkılı polimer esaslı kazıklar 28 gün kür sürelerinin tamamladıktan sonra çekme deneyine tabi tutulmuş ve deney sonucunda elde edilen çekme ve akma dayanımları toplu olarak Tablo 14’ de verilmiştir.

Tablo 14. Çekme Deney Sonuçları

Oran/Boyut		Kazık Boyu l, (cm)	Kazık Çapı d, (cm)	Çekme Dayanımı (MPa)	Akma Dayanımı (MPa)
0%	(Katkısız)	30	3	14.689	3.675
		42	3	16.174	4.047
		54	3	21.887	5.485
5%	(0-2mm)	30	3	13.083	3.272
		42	3	11.983	3.008
		54	3	11.357	2.847
5%	(2-4mm)	30	3	11.072	2.782
		42	3	9.811	2.467
		54	3	8.045	2.045
10%	(0-2mm)	30	3	19.786	3.459
		42	3	15.271	3.820
		54	3	13.538	3.397
10%	(2-4mm)	30	3	9.526	2.385
		42	3	12.802	3.204
		54	3	14.374	3.600

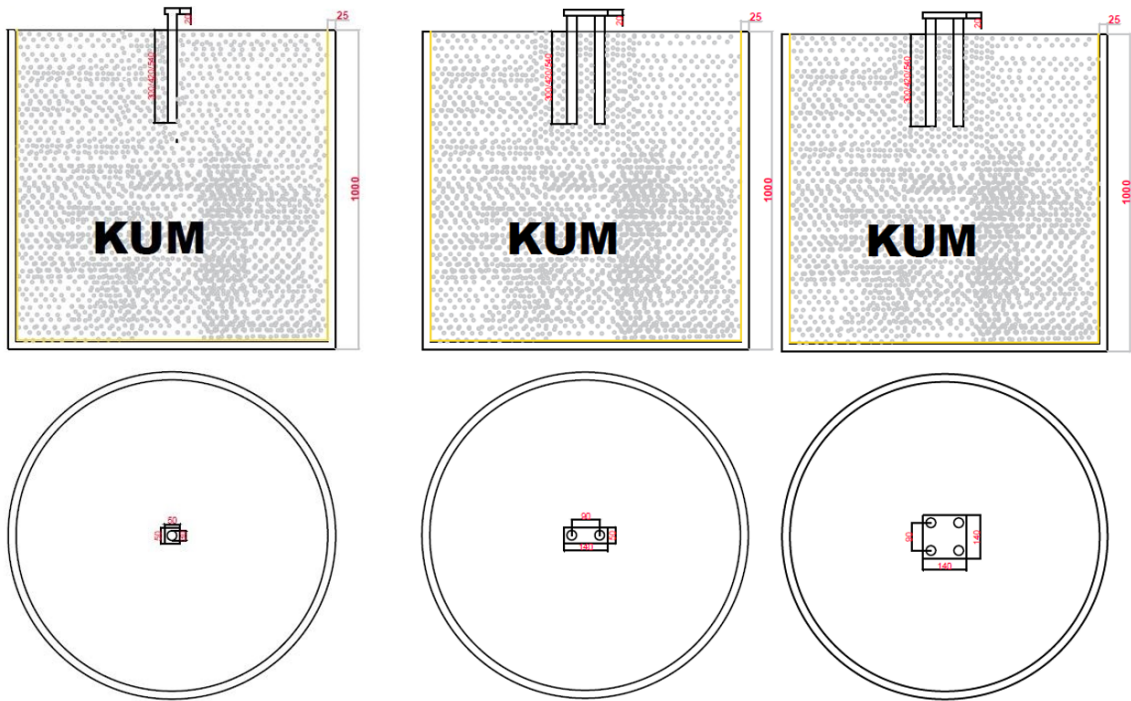
Tablo 14’deki veriler değerlendirildiğinde kazıkarın l/d oranının artması %0 ve %10(2-4mm) karışımları ile hazırlanan kazıkların çekme dayanımlarının artışına diğer kazıklarda ise azalışına neden olmuştur. Bu sonuç bize %0 ve %10(2-4mm) karışımları ile hazırlanan kazıkların çekme kazığı olarak kullanılabileceği yönünde ön fikir vermektedir.

Büyük Ölçekli Model Deney Sonuçları

Çalışma kapsamında büyük ölçekli model deneylerin verileri ve sonuçları aşağıda sunulmuştur. Çalışma kapsamında belirlenen oranlara göre;

- 15 adet tekil kazık deneyi,
- 15 adet 2'li kazık grubu deneyi,
- 15 adet 4'lü kazık grubu deneyi yapılmıştır.

Tüm kazık ve kazık gruplarında kazık başlığı olarak 20 mm kalınlığında rijit çelik kazık başlıkları konulmuş ve deney sonuçlarının doğruluğu bakımından gerek duyulduğunda deneyler tekrarlanmıştır. Kazık ve kazık gruplarının s/d aralıkları ve düzenleri Şekil 45' de verilmiştir.



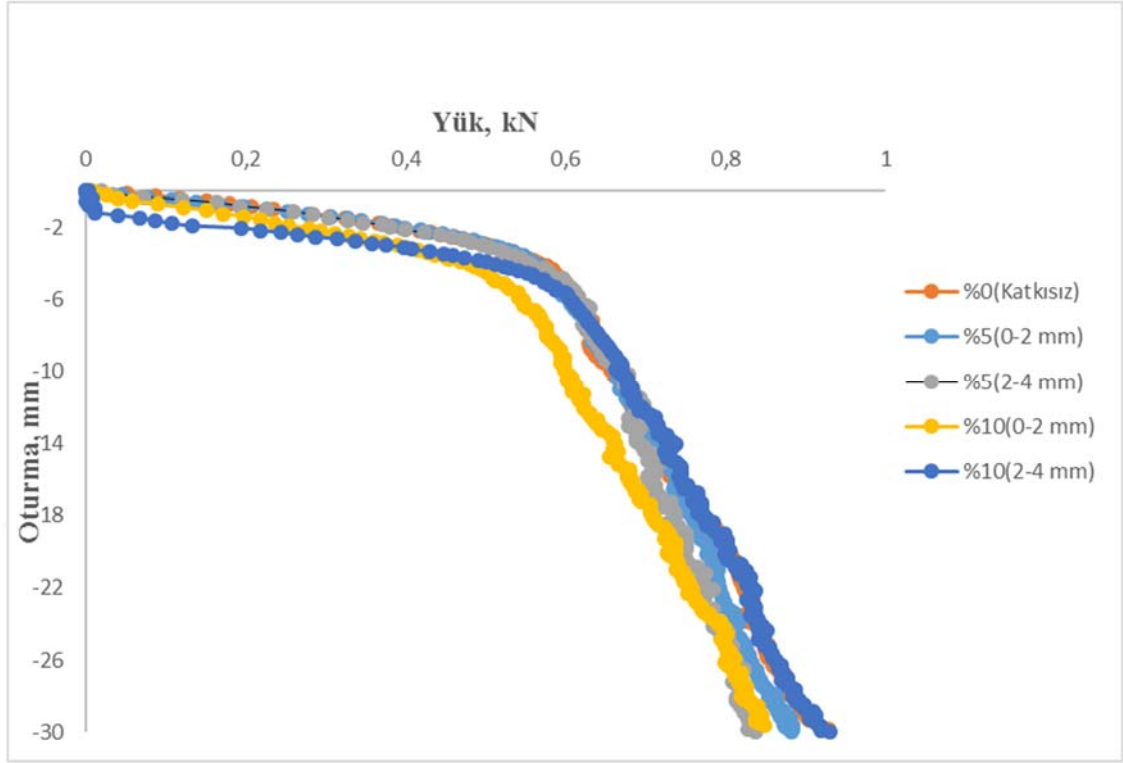
Şekil 45. Kazık ve kazık grupları

Yapılan deneylerin tamamında oturma ve uygulanan yükler 2 adet, toplamda 16 kanallı veri toplama sistemi ile ölçülmüştür. Oturma değerleri kazık başlığı üzerinde 3 noktadan ölçüm alınarak belirlenmiş ve ortalama değerler alınmıştır.

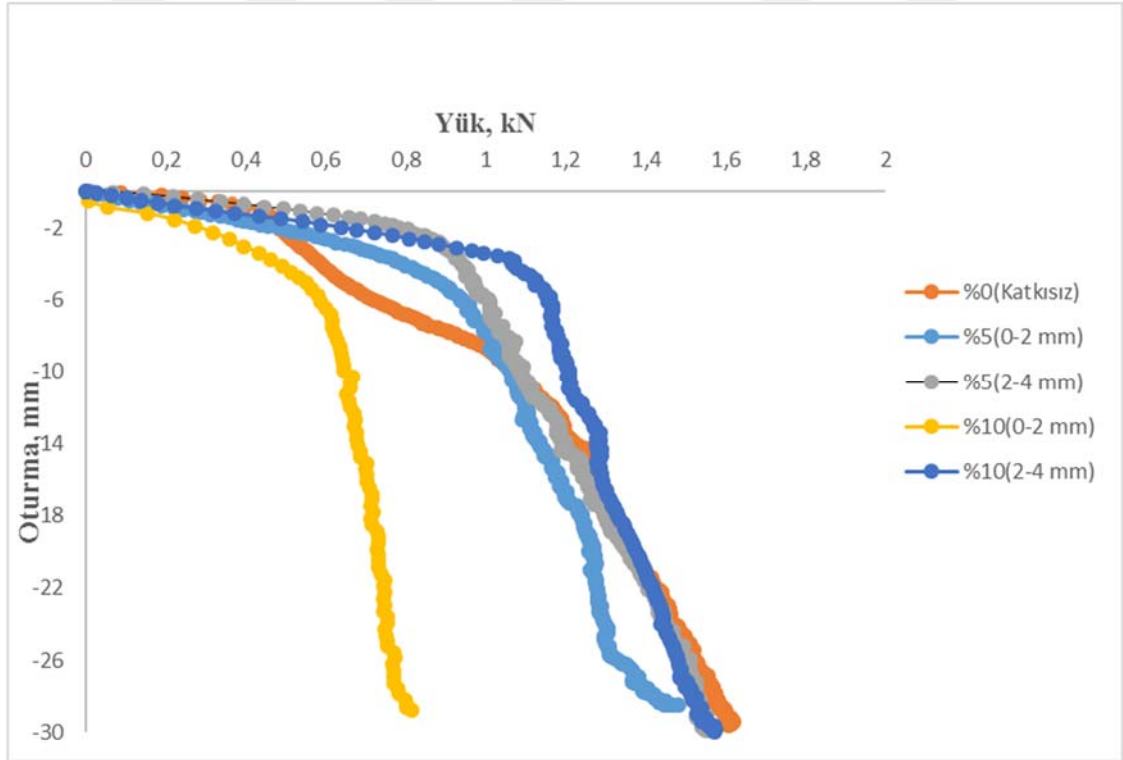
Tekil kazık deney sonuçları

Farklı l/d(10, 14 ve 18) oranlarında hazırlanan katkısız ve e-atık katkılı (%0, %5(0-2mm), %5(2-4mm), %10(0-2mm), %10(2-4mm)) polimer esaslı kazıklar %65 rölatif sıkılıktaki kum zemin içerisine dikkatlice yerleştirilmiştir. Kazık başlığı konulduktan sonra her bir deney için ayrı ayrı yükleme gerçekleştirilmiştir. Her bir deney sonucunda elde edilen veriler

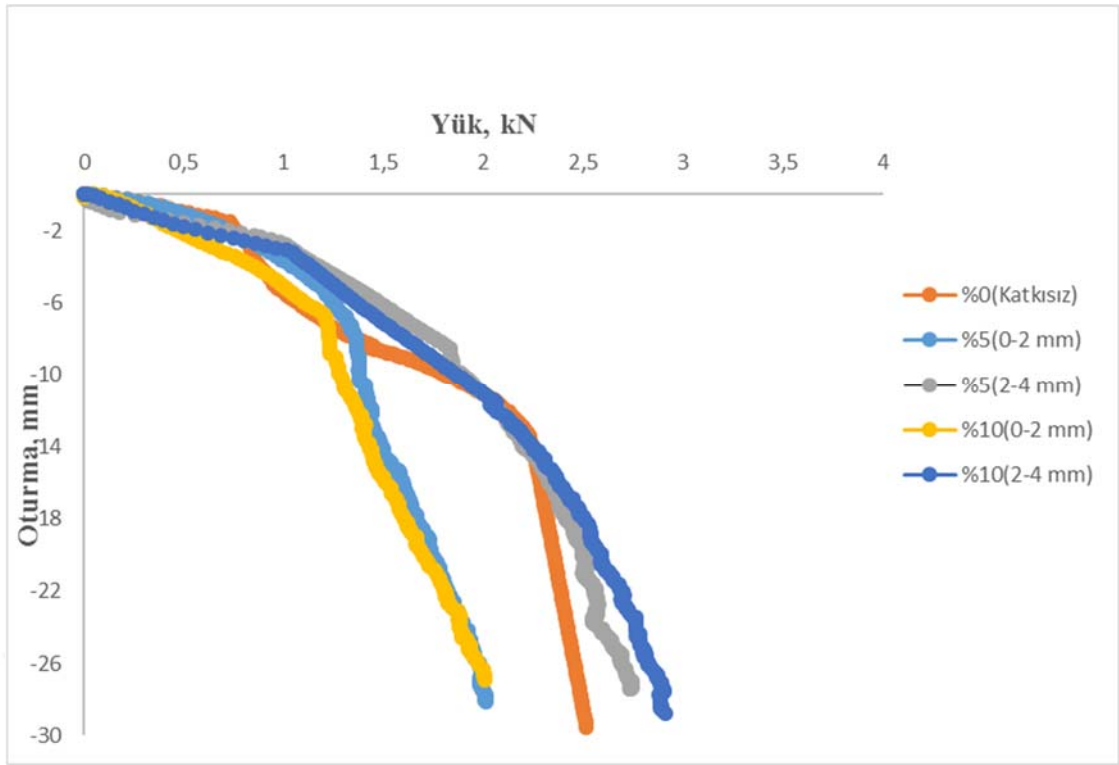
kullanılarak yük-oturma ilişkisi çizilmiştir. $l/d=10,14$ ve 18 oranları için katkısız ve e-atık katkılı kazıklara ait yük-oturma ilişkisi sırasıyla Şekil 46, Şekil 47 ve Şekil 48’ de gösterilmiştir.



Şekil 46. Yük-oturma ilişkisi ($l/d=10$; tekil kazık)



Şekil 47. Yük-oturma ilişkisi ($l/d=14$; tekil kazık)

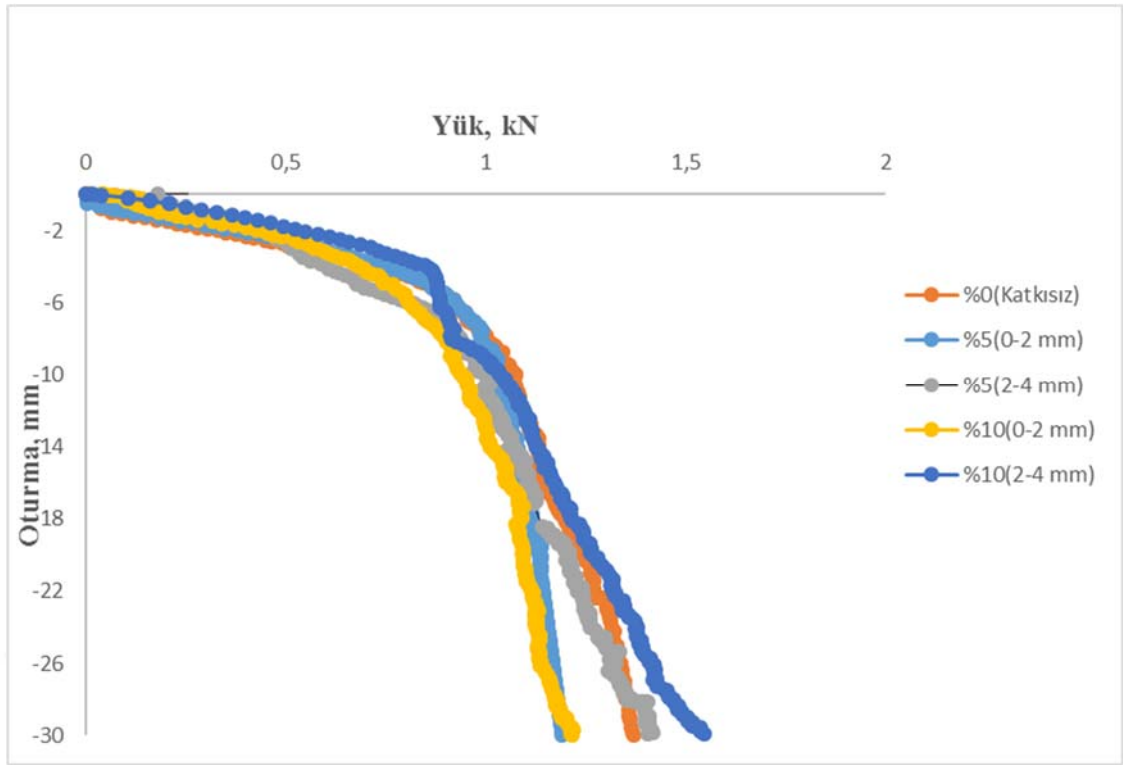


Şekil 48. Yük-oturma ilişkisi ($l/d=18$; tekil kazık)

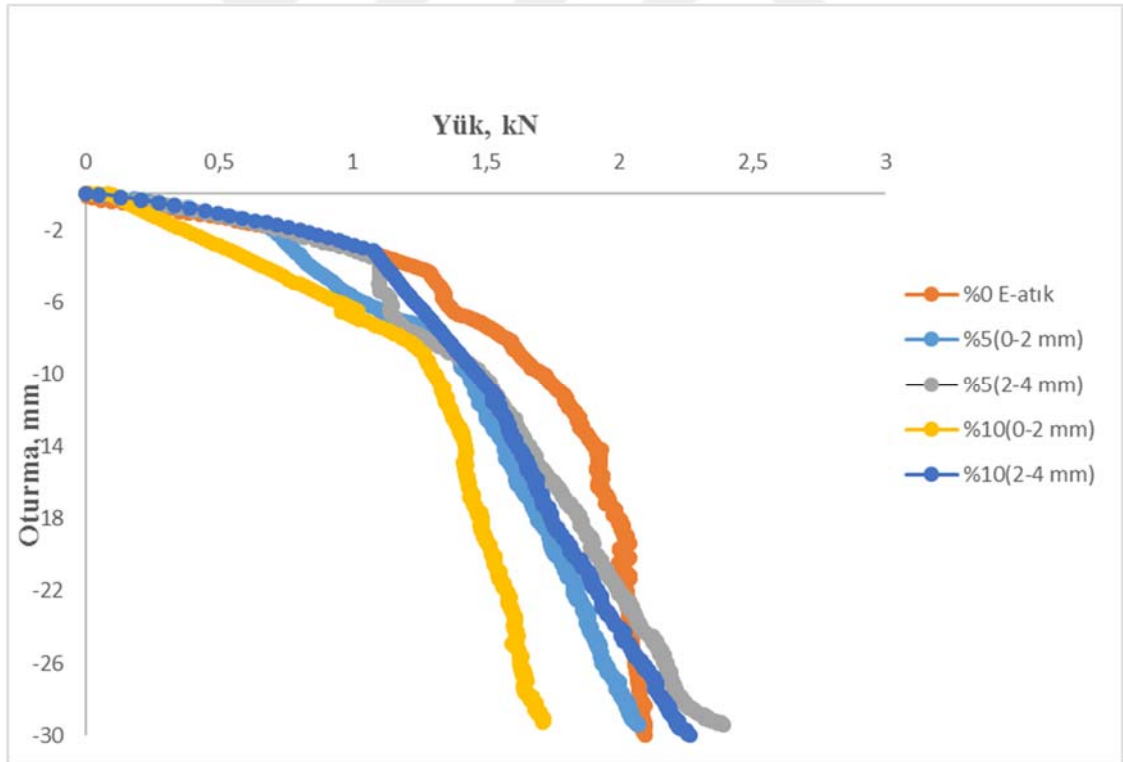
Şekil 46, 47 ve 48 birlikte değerlendirildiğinde tüm l/d oranlarında (10,14 ve 18) oranlarında en yüksek taşıma kapasitesi %0(katkısız) ve %10(2-4mm) kazıklarında, en düşük taşıma kapasitesinin %10(0-2mm) kazığında elde edildiği görülmüştür. Yani aynı yükte daha az oturma gerçekleşmektedir. %0(katkısız) ve %10(2-4mm) kazıklarının serbest basınç mukavemeti, eğilme dayanımı, donma-çözülme çevrim sonrası serbest basınç mukavemet değerlerinin de yüksek olduğu önceki deneylerden gözlenmiştir. Bu durum bize bu kazıkların basınç kazığı olarak kullanılabilirliği hakkında ön fikir vermektedir.

2'li kazık grubu deney sonuçları

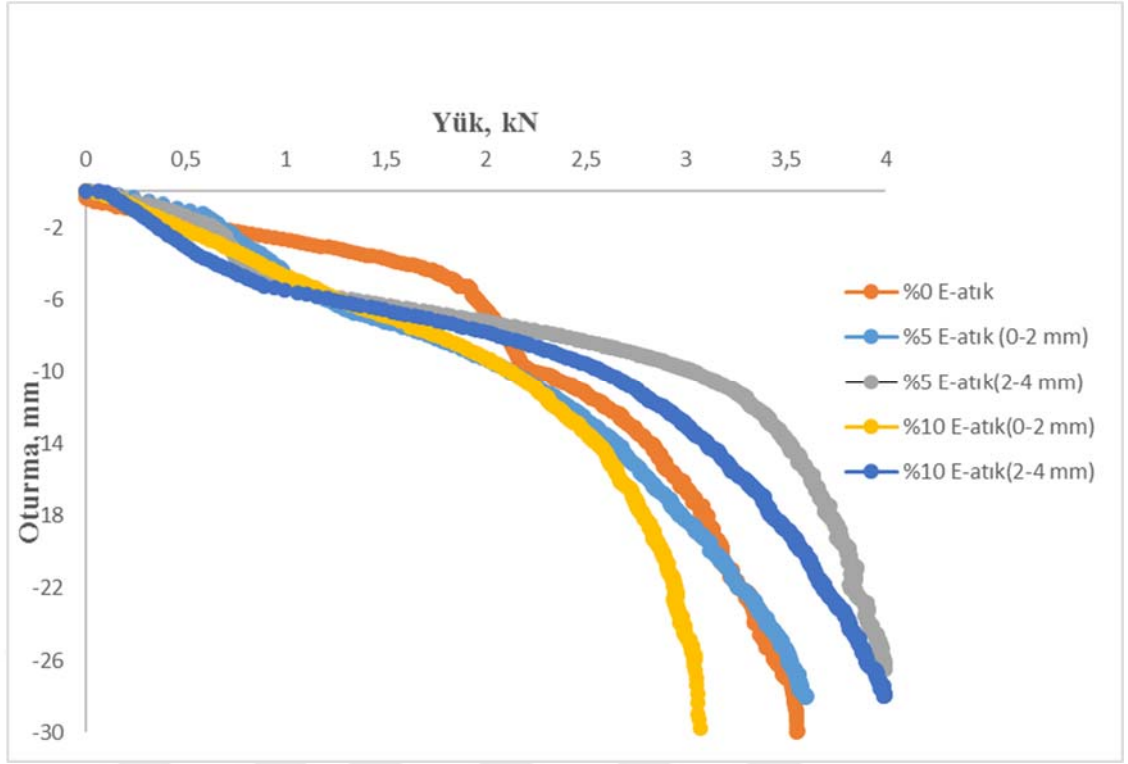
2'li kazık grubu deneyi, $l/d=10,14$ ve 18 oranları için katkısız ve e-atık katkılı kazıklara ait yük-oturma ilişkisi sırasıyla Şekil 49, Şekil 50 ve Şekil 51' de gösterilmiştir.



Şekil 49. Yük-oturma ilişkisi ($l/d=10$; 2' li kazık grubu)



Şekil 50. Yük-oturma ilişkisi ($l/d=14$; 2' li kazık grubu)

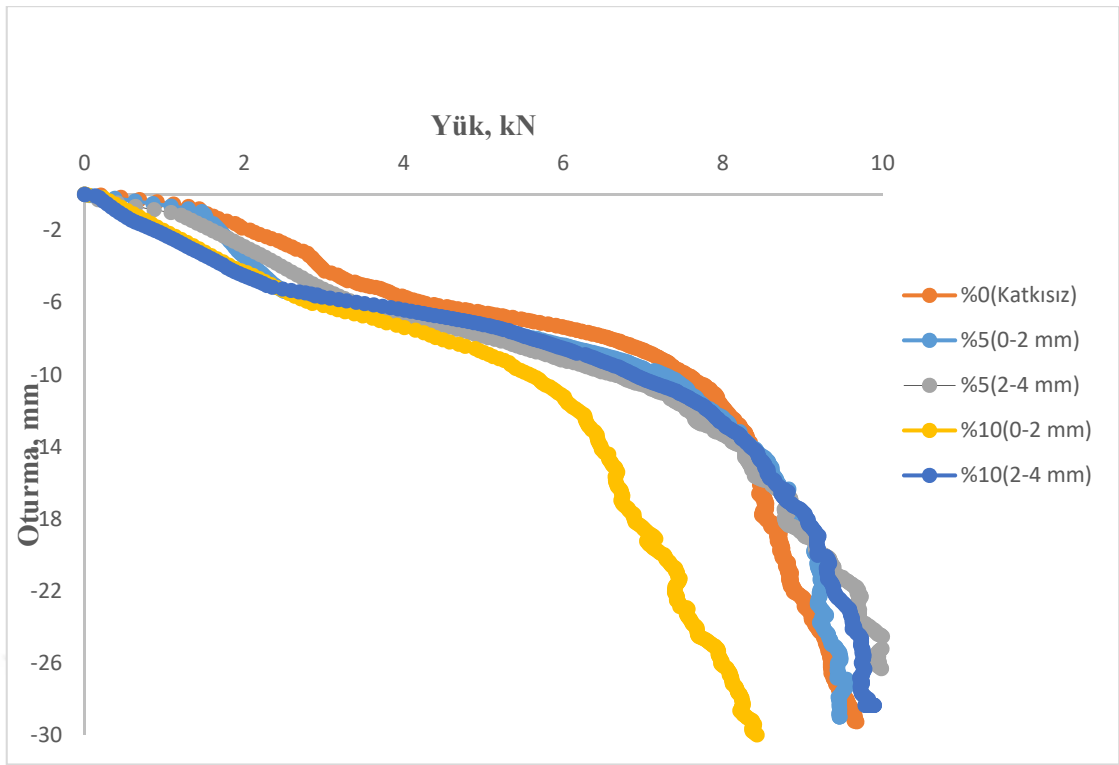


Şekil 51. Yük-oturma ilişkisi ($l/d=18$; 2' li kazık grubu)

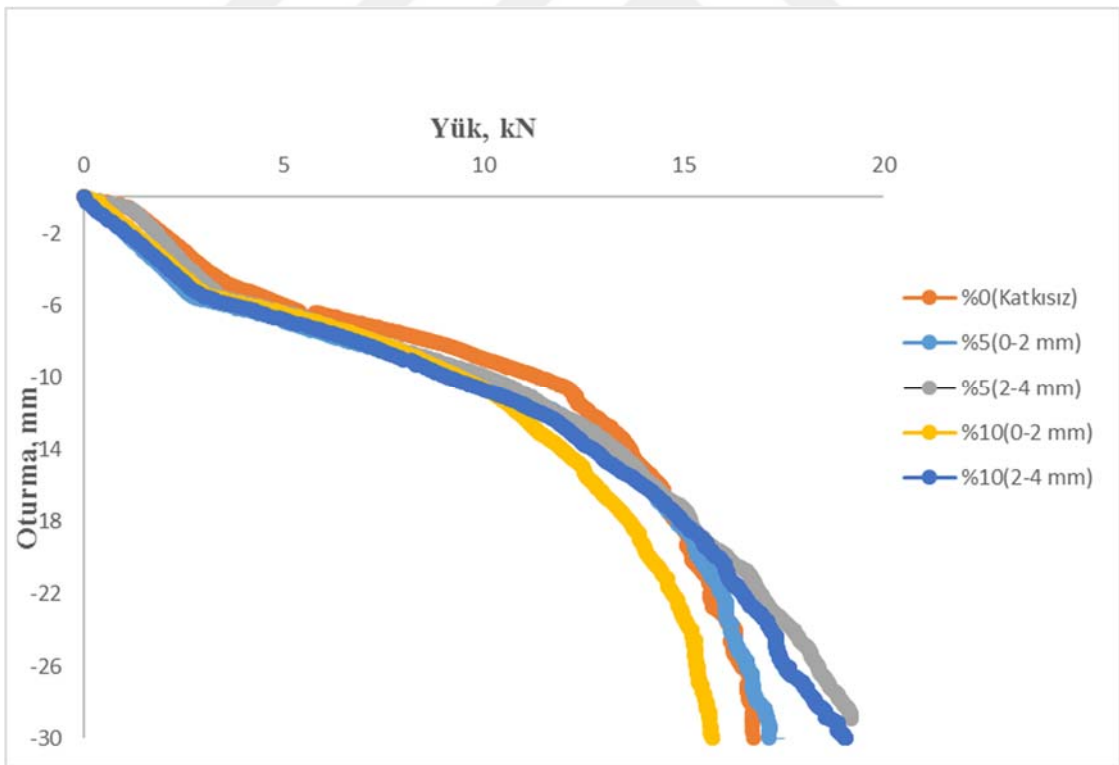
Şekil 49, 50 ve 51 incelendiğinde 2'li kazık gruplarında, görüldüğü gibi $l/d=10,14$ ve 18 oranlarında en yüksek taşıma kapasitesi %0(katkısız) ve %10(2-4mm) kazıklarında elde edilmiştir. En düşük taşıma kapasitesinin %10(0-2mm) kazığında gerçekleştiği görülmektedir. 2'li kazık grupları deneylerine göre de bu kazıkların basınç kazığı olarak kullanılabilirliği hakkında ön fikir vermektedir.

4'lü kazık grubu deney sonuçları

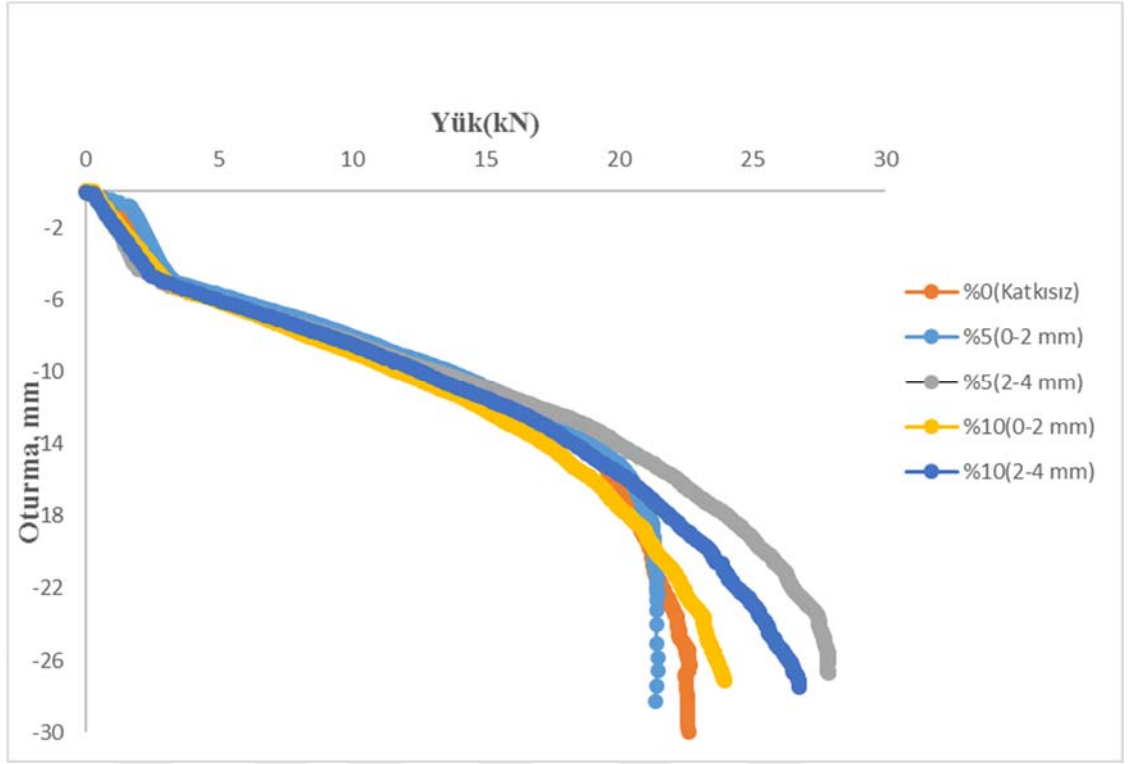
4'lü kazık grubu deneyi, $l/d=10,14$ ve 18 oranları için katkısız ve e-atık katkılı kazıklara ait yük-oturma ilişkisi sırasıyla Şekil 52, Şekil 53 ve Şekil 54' de gösterilmiştir.



Şekil 52. Yük-oturma ilişkisi ($l/d=10$; 4' lü kazık grubu)



Şekil 53. Yük-oturma ilişkisi ($l/d=14$; 4' lü kazık grubu)

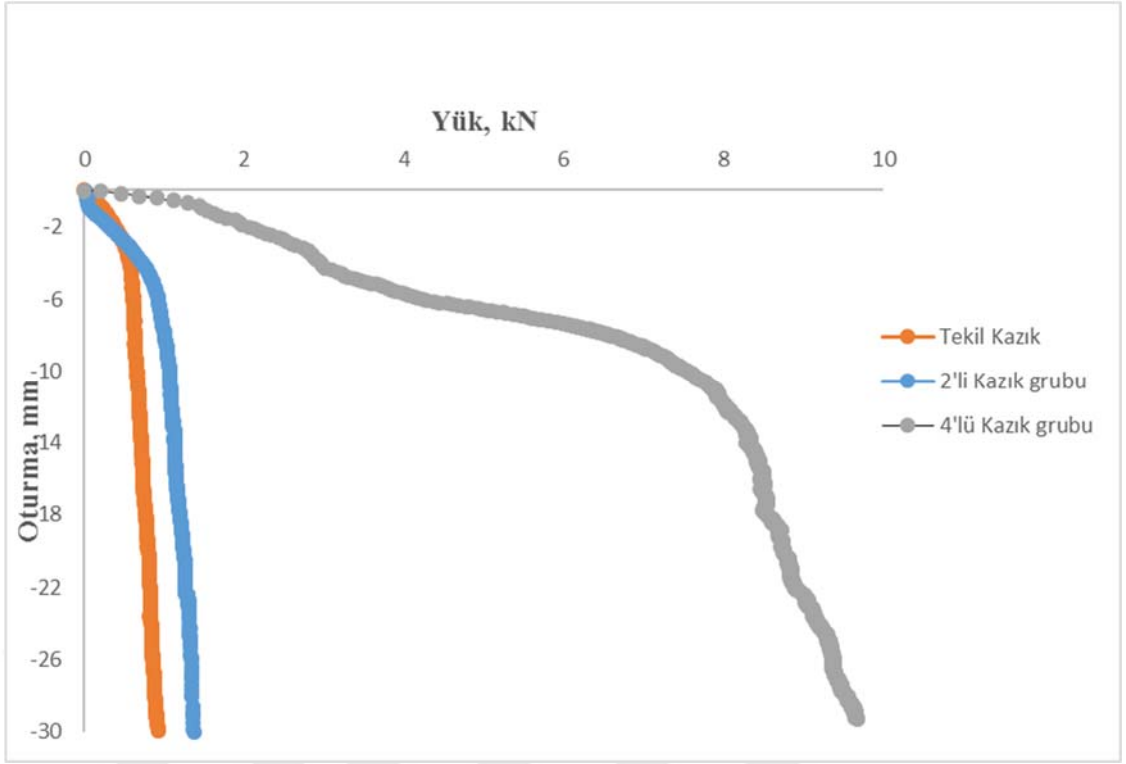


Şekil 54. Yük-oturma ilişkisi ($l/d=18$; 4' lü kazık grubu)

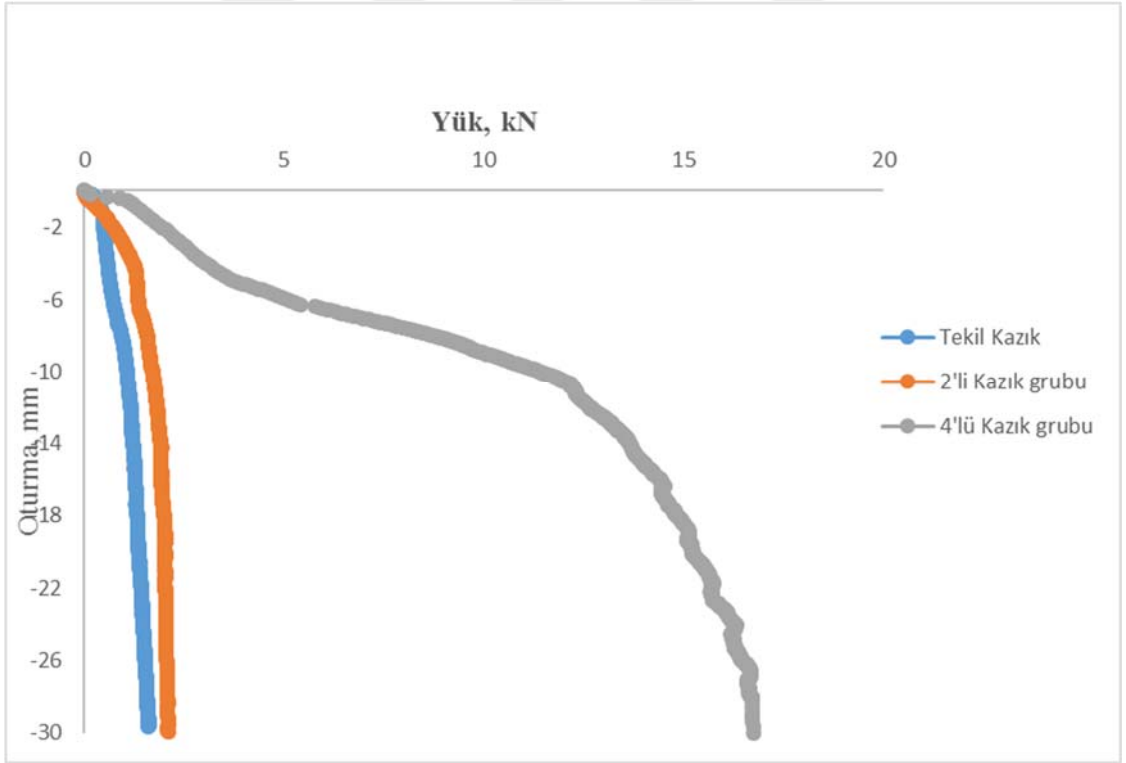
Şekil 52', 53 ve 54 incelendiğinde 4'lü kazık gruplarında, görüldüğü gibi $l/d=10,14$ ve 18 oranlarında en yüksek taşıma kapasitesi %0(katkısız) kazıklarında elde edilmiştir. En düşük taşıma kapasitesinin %10(0-2mm) kazığında gerçekleştiği görülmektedir.

Elde edilen deney sonuçlarına göre literatür incelendiğinde Akbulut (2014), Yenginar (2014) ve Ateş ve Şadoğlu (2021) tarafından yapılan çalışmalarda beton kazıkların yük-oturma ilişkileri incelendiğinde aynı oturma değerlerinde taşınan yükün e-atık katkılı kazıklara göre daha düşük olduğu görülmektedir.

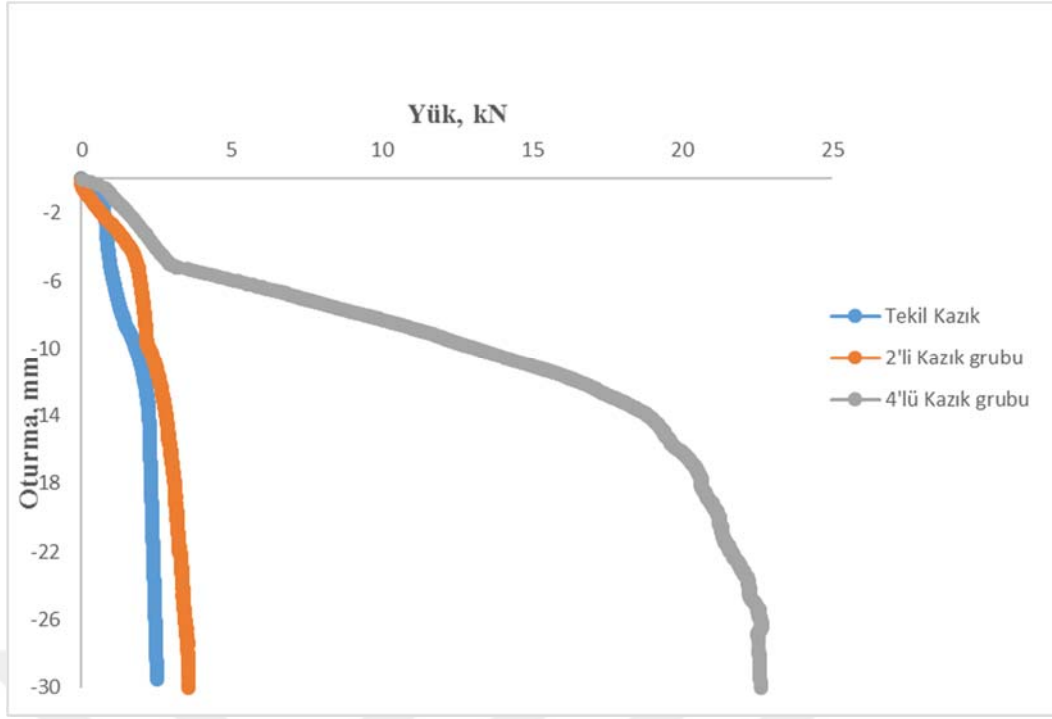
Kazıkların grup etkilerini belirleyebilmek için katkısız ve e-atık katkılı polimer esaslı kazık ve kazık grupları %65 rölatif sıkılıktaki kum zemin içerisine dikkatlice yerleştirilmiş ve deneyler gerçekleştirilmiştir. Herbir deney sonucunda elde edilen veriler kullanılarak yük-oturma ilişkisi çizilmiştir. %0(katkısız) oranı ve $l/d=10,14$ ve 18 oranları için kazık ve kazık gruplarına ait yük-oturma ilişkisi sırasıyla Şekil 55, Şekil 56 ve Şekil 57' de gösterilmiştir.



Şekil 55. Yük-oturma ilişkisi ($l/d=10$; %0(Katkısız), Tekil kazık, 2'li ve 4' lü kazık grubu)



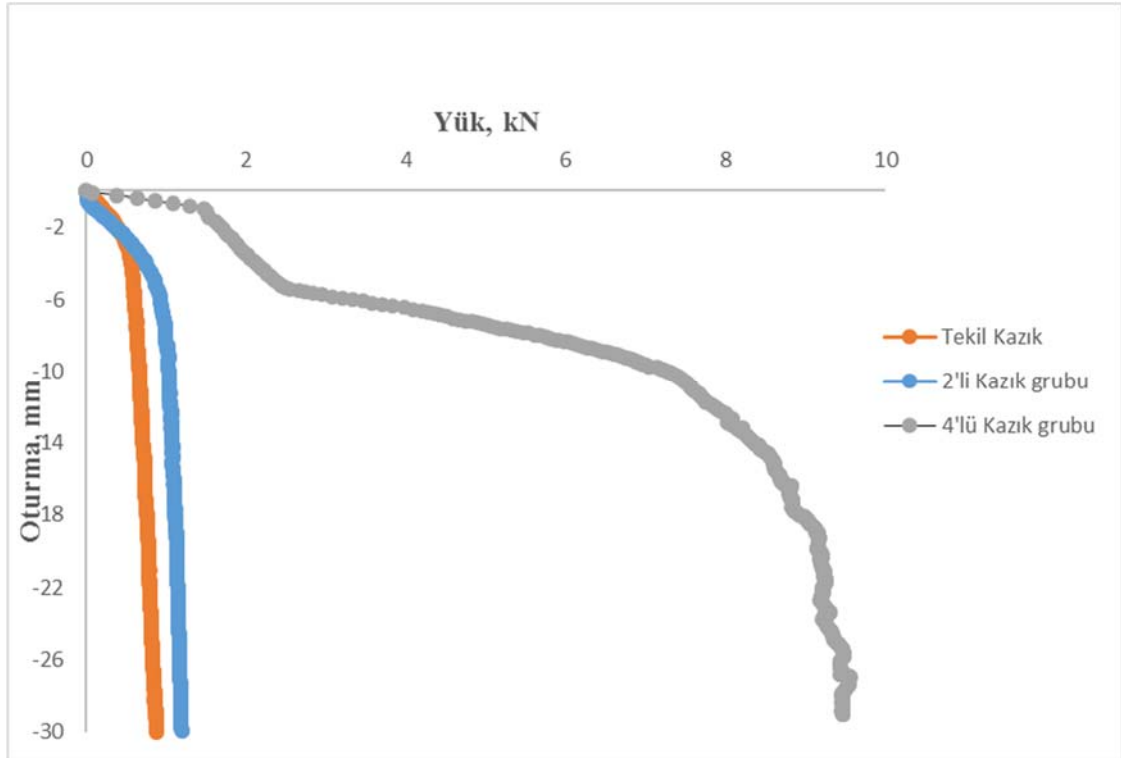
Şekil 56. Yük-oturma ilişkisi ($l/d=14$; %0(Katkısız), Tekil kazık, 2'li ve 4' lü kazık grubu)



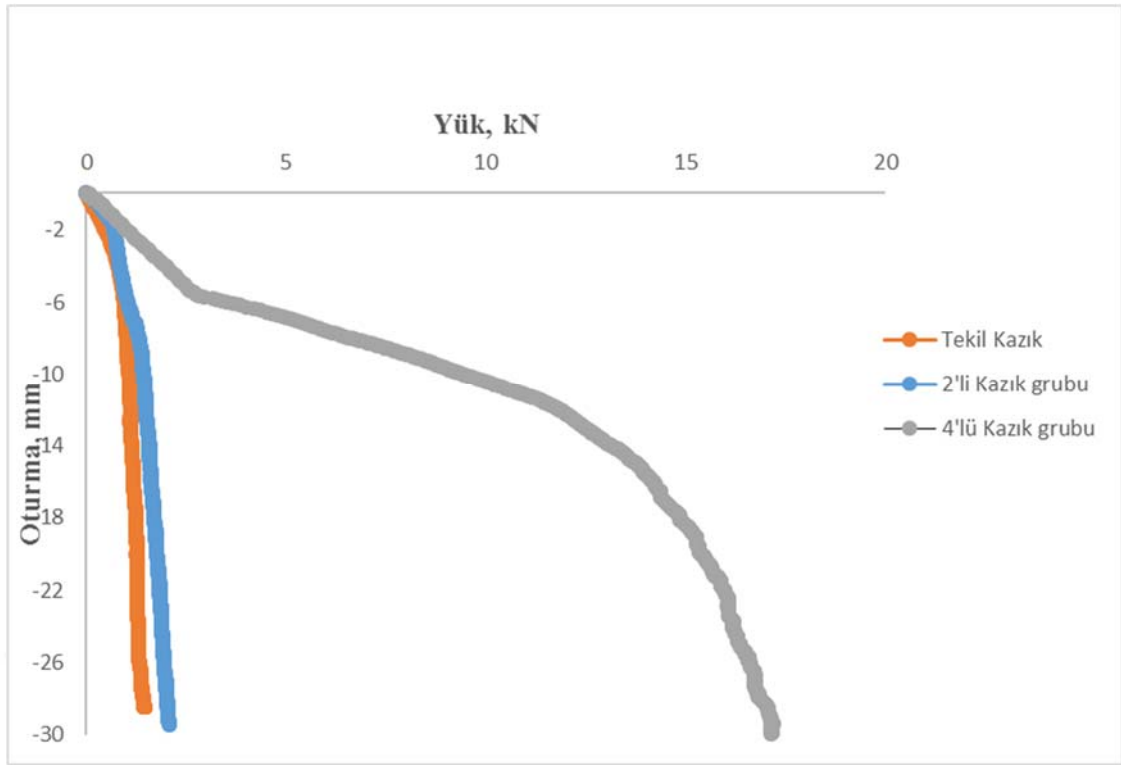
Şekil 57. Yük-oturma ilişkisi ($l/d=18$; %0(Katkısız), Tekil kazık, 2'li ve 4' lü kazık grubu)

Şekil 55, 56 ve 57' de görüldüğü üzere tüm kazık ve kazık gruplarında 4'lü kazık grubunun taşıma kapasitesi daha yüksektir. Dolayısıyla bu kazık grubu aynı oturma miktarında daha fazla yük taşıyabilmektedir.

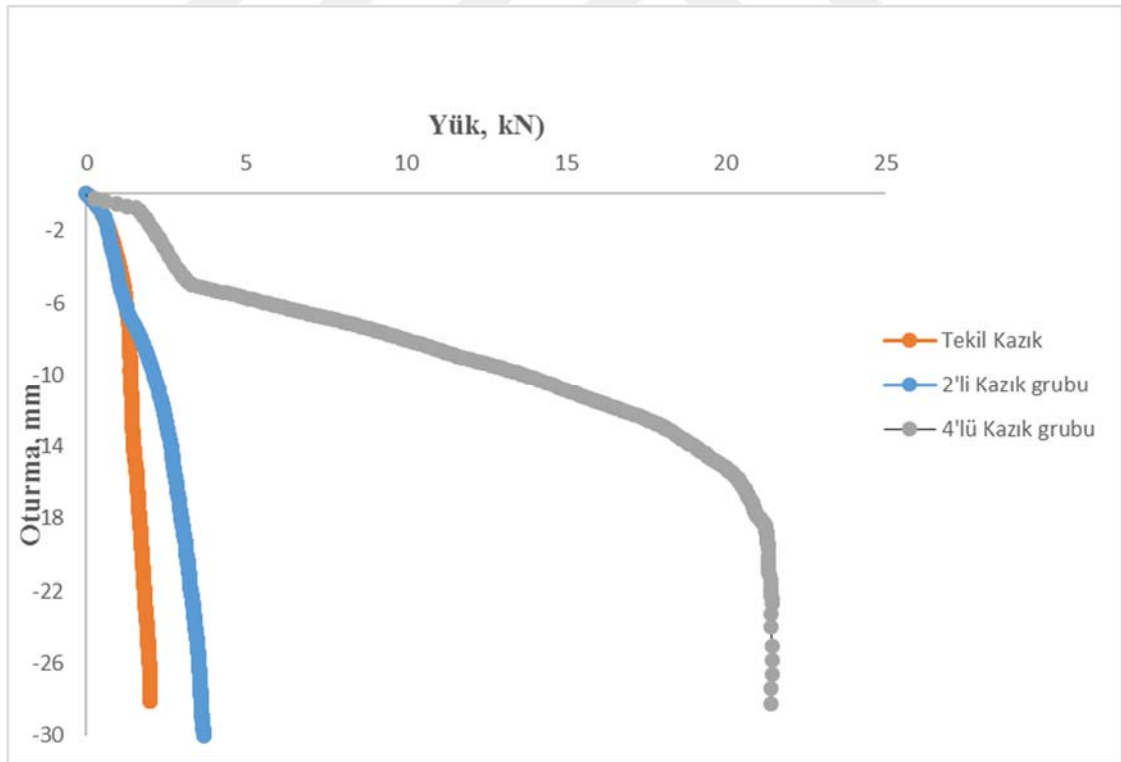
%5(0-2mm) oranı ve $l/d=10, 14$ ve 18 oranları için kazık ve kazık gruplarına ait yük-oturma ilişkisi sırasıyla Şekil 58, Şekil 59 ve Şekil 60' da gösterilmiştir.



Şekil 58. Yük-oturma ilişkisi ($l/d=10$; %5(0-2mm), Tekil kazık, 2'li ve 4' lü kazık grubu)



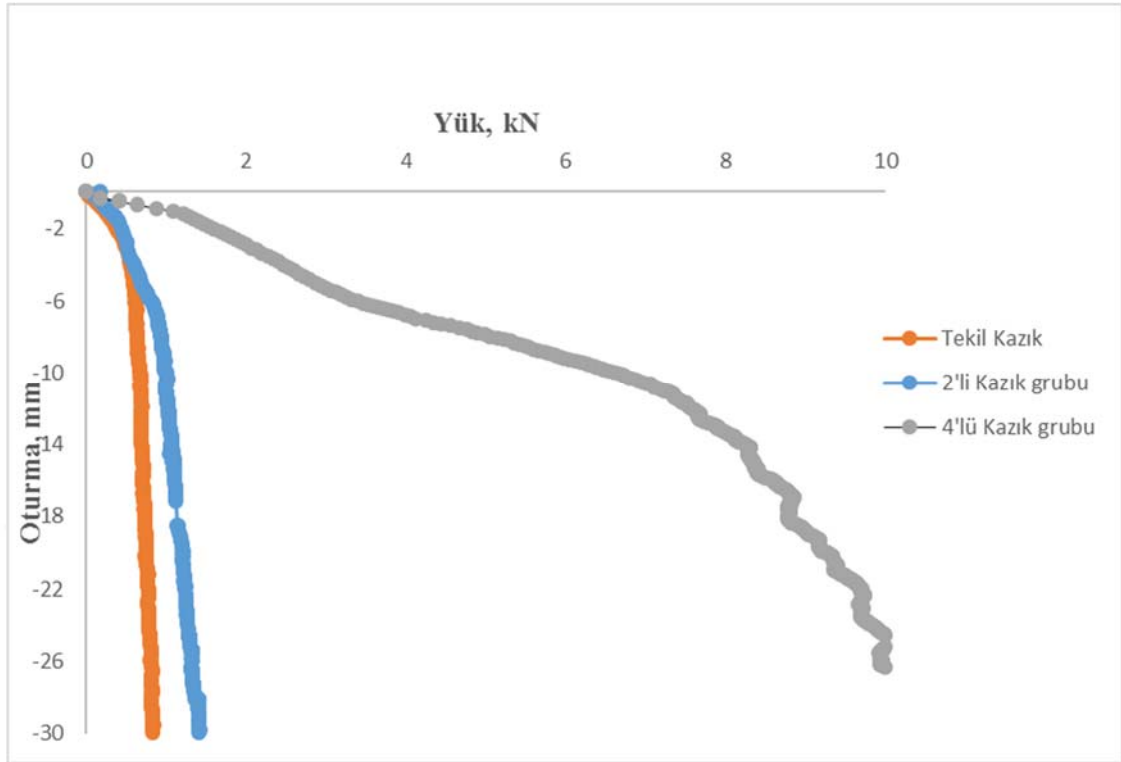
Şekil 59. Yük-oturma ilişkisi ($l/d=14$; %5(0-2mm), Tekil kazık, 2'li ve 4' lü kazık grubu)



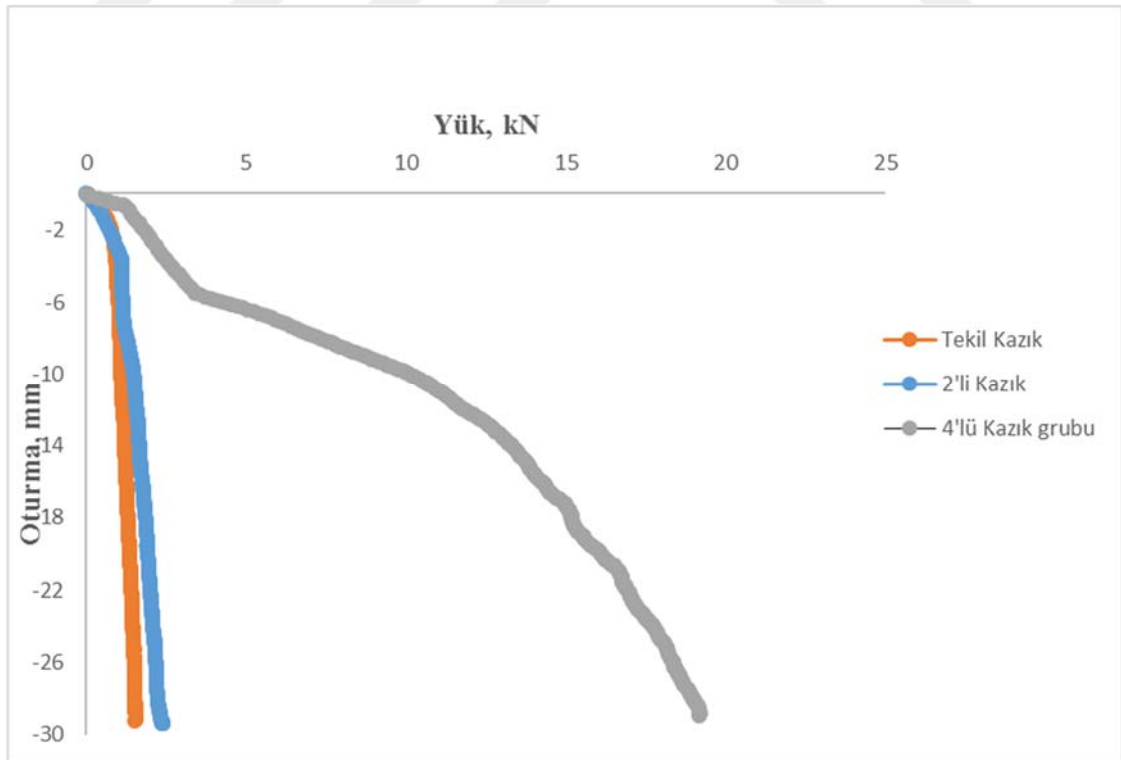
Şekil 60. Yük-oturma ilişkisi ($l/d=18$; %5(0-2mm), Tekil kazık, 2'li ve 4' lü kazık grubu)

%5(0-2mm) katkılı kazık ve kazık gruplarının yük-oturma ilişkisi incelendiğinde bütün oranlarda, 4'lü kazık grubunun taşıma kapasitesinin daha yüksek olduğu görülmektedir. %5(2-

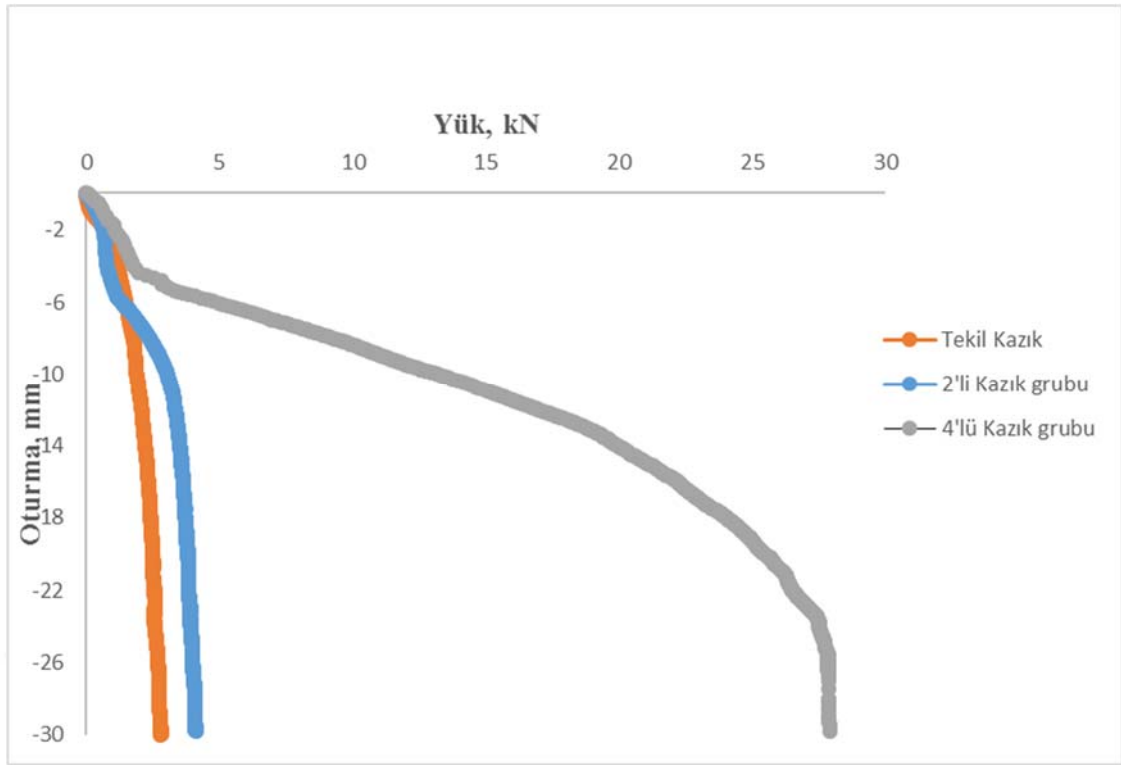
4mm) oranı ve $l/d=10,14$ ve 18 oranları için kazık ve kazık gruplarına ait yük-oturma ilişkisi sırasıyla Şekil 61, Şekil 62 ve Şekil 63' de gösterilmiştir.



Şekil 61. Yük-oturma ilişkisi ($l/d=10$; %5(2-4mm), Tekil kazık, 2'li ve 4' lü kazık grubu)

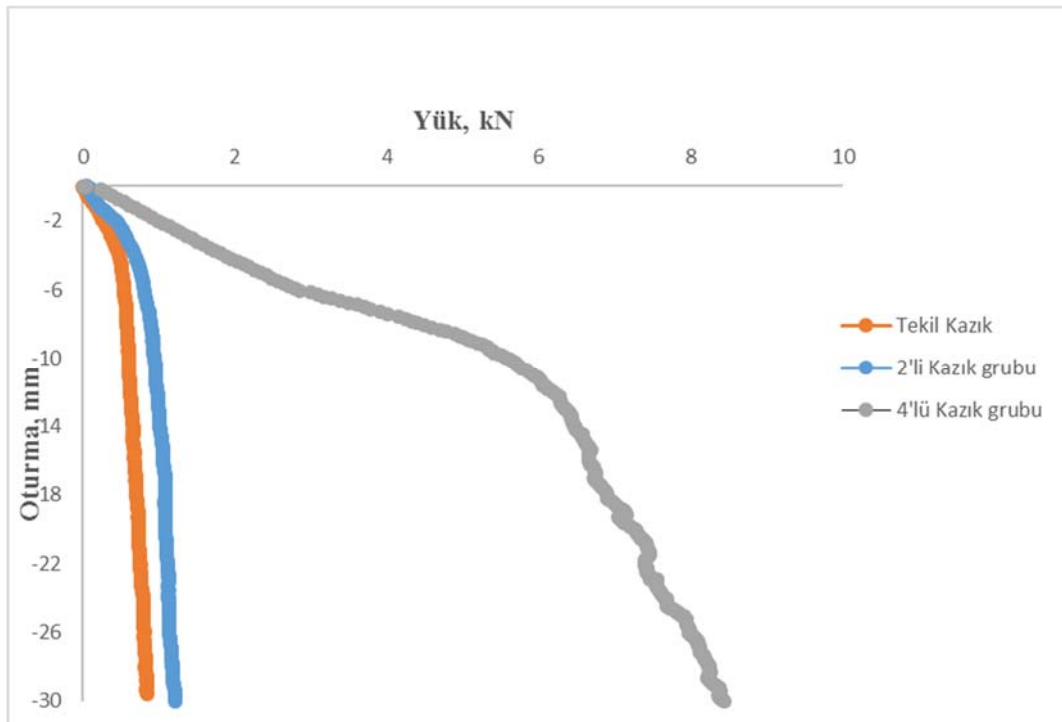


Şekil 62. Yük-oturma ilişkisi ($l/d=14$; %5(2-4mm), Tekil kazık, 2'li ve 4' lü kazık grubu)

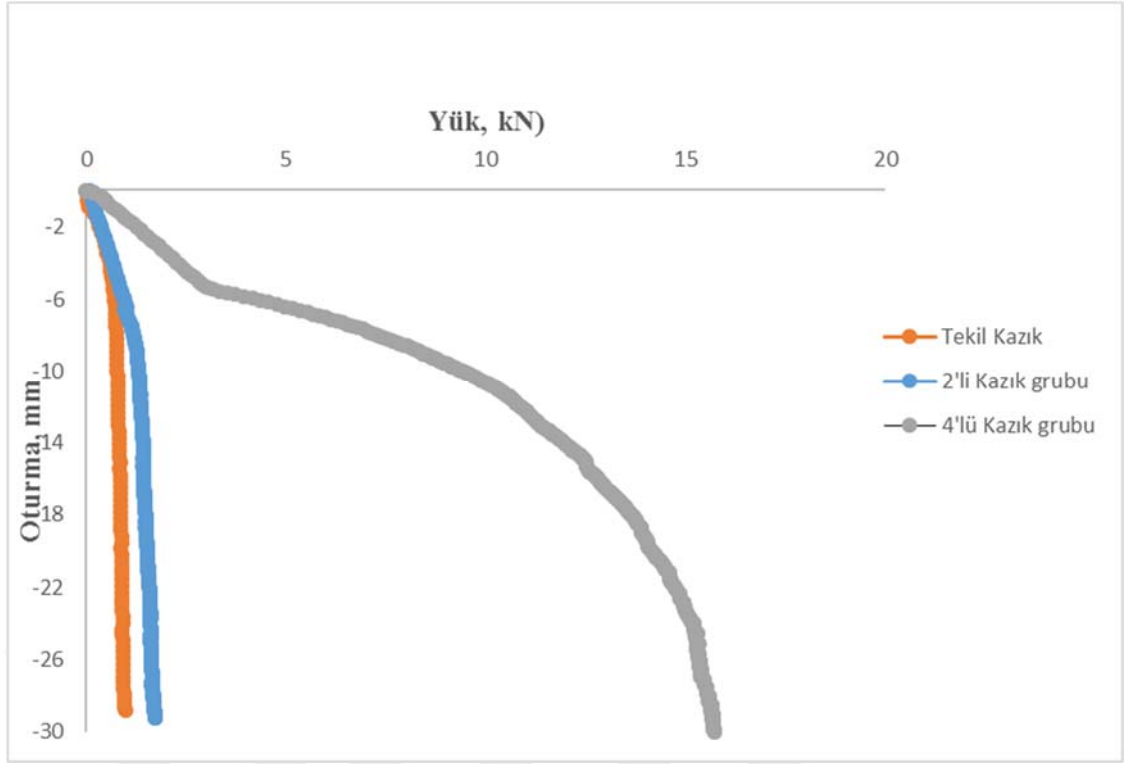


Şekil 63. Yük-oturma ilişkisi ($l/d=18$; %5(2-4mm), Tekil kazık, 2'li ve 4' lü kazık grubu)

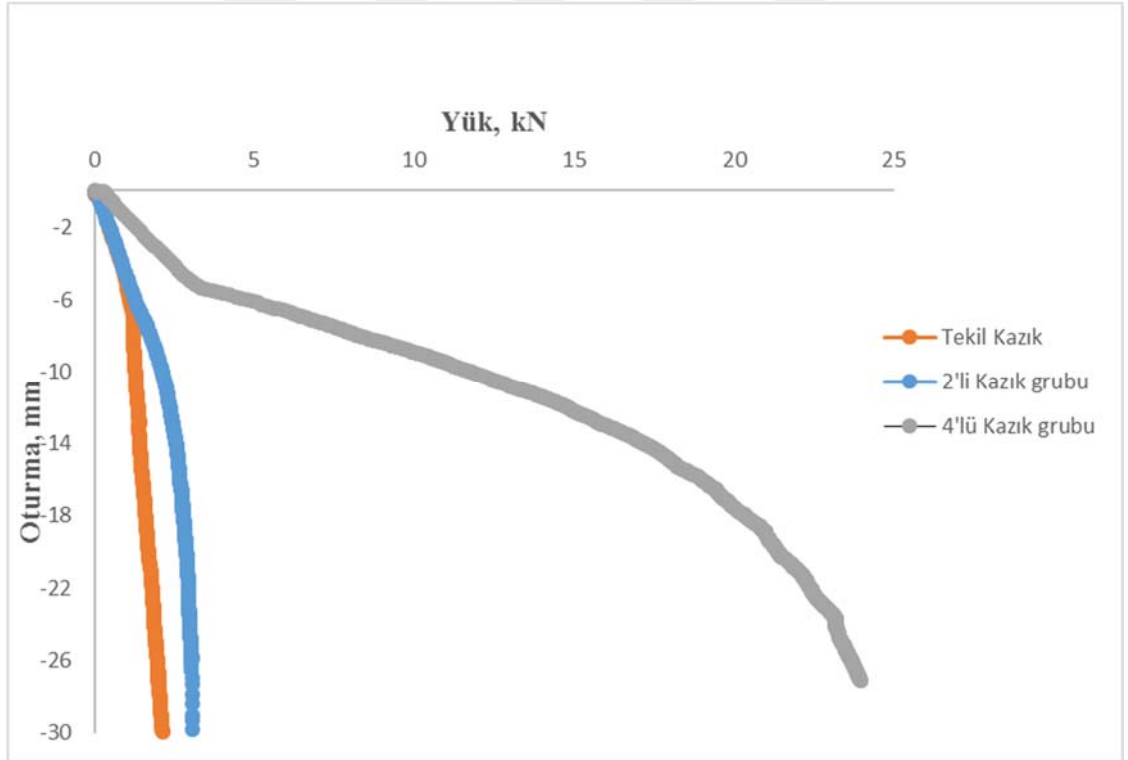
Şekil 61, 62 ve 63'de görüldüğü üzere tüm kazık ve kazık gruplarında 4'lü kazık grubunun taşıma kapasitesi daha yüksektir. Yük-oturma miktarının aynı olması durumunda bu kazık grupları daha fazla yük taşımaktadır. %10(0-2mm) oranı ve $l/d=10, 14$ ve 18 oranları için kazık ve kazık gruplarına ait yük-oturma ilişkisi sırasıyla Şekil 64, Şekil 65 ve Şekil 66' da gösterilmiştir.



Şekil 64. Yük-oturma ilişkisi ($l/d=10$; %10(0-2mm), Tekil kazık, 2'li ve 4' lü kazık grubu)



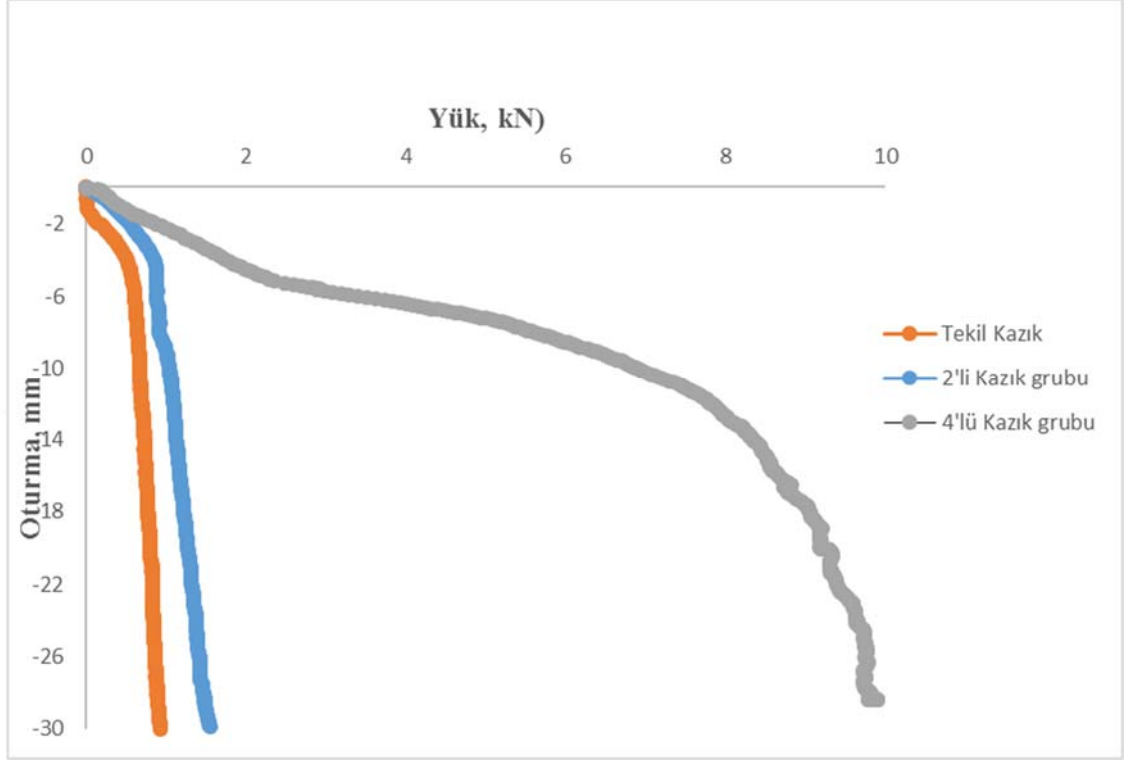
Şekil 65. Yük-oturma ilişkisi ($l/d=14$; %10(0-2mm), Tekil kazık, 2'li ve 4' lü kazık grubu)



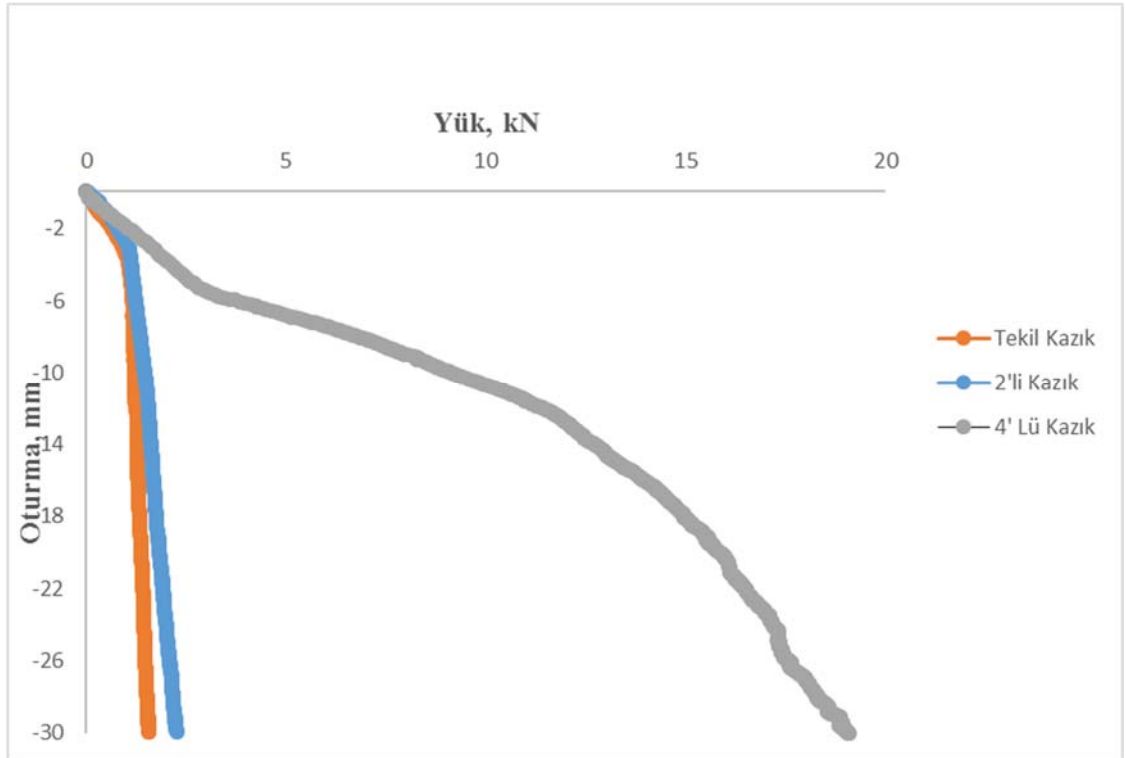
Şekil 66. Yük-oturma ilişkisi ($l/d=18$; %10(0-2mm), Tekil kazık, 2'li ve 4' lü kazık grubu)

Şekil 64, 65 ve 66' da görüldüğü üzere tüm kazık ve kazık gruplarında 4'lü kazık grubunun taşıma kapasitesi daha yüksektir. Dolayısıyla bu kazık grubu aynı oturma miktarında daha fazla yük taşıyabilmektedir.

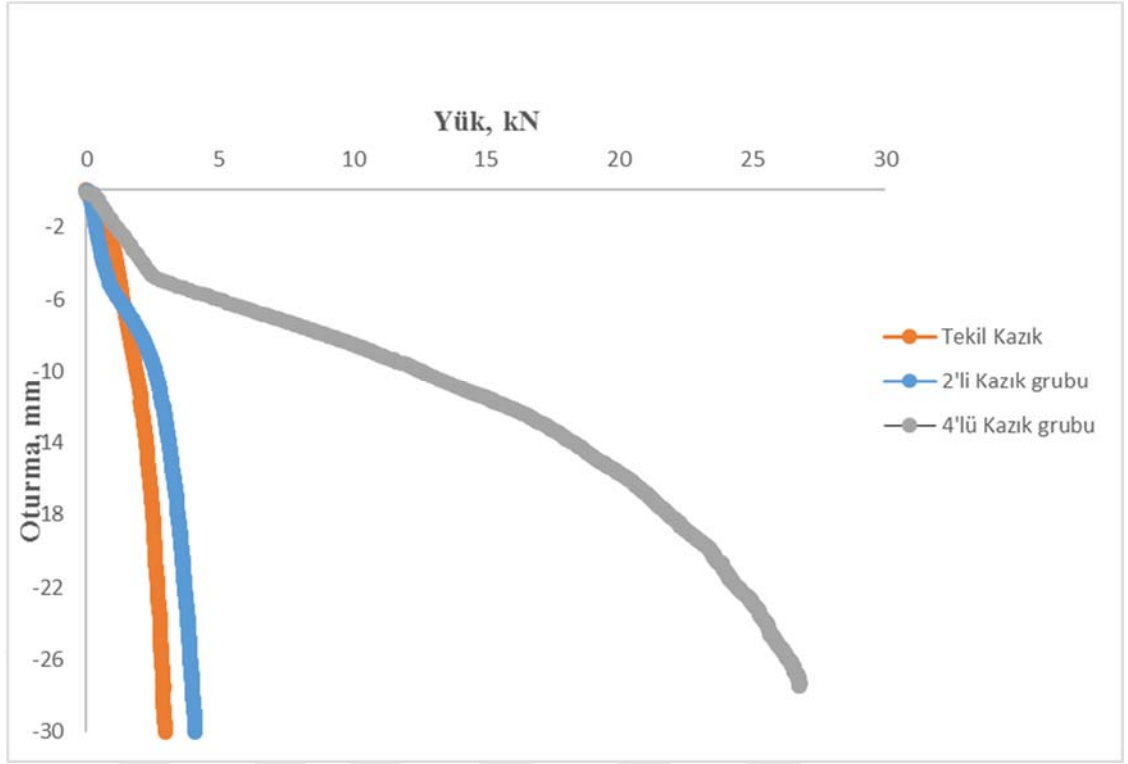
Ayrıca şekillerden de görüldüğü üzere bu orana(%10(0-2mm)) sahip kazık ve kazık gruplarında taşıma kapasitesinin diğer oranlara göre azaldığı görülmektedir. %10(2-4mm) oranı ve $l/d=10,14$ ve 18 oranları için kazık ve kazık gruplarına ait yük-oturma ilişkisi sırasıyla Şekil 67, Şekil 68 ve Şekil 69’ da gösterilmiştir.



Şekil 67. Yük-oturma ilişkisi ($l/d=10$; %10(2-4mm), Tekil kazık, 2'li ve 4' lü kazık grubu)



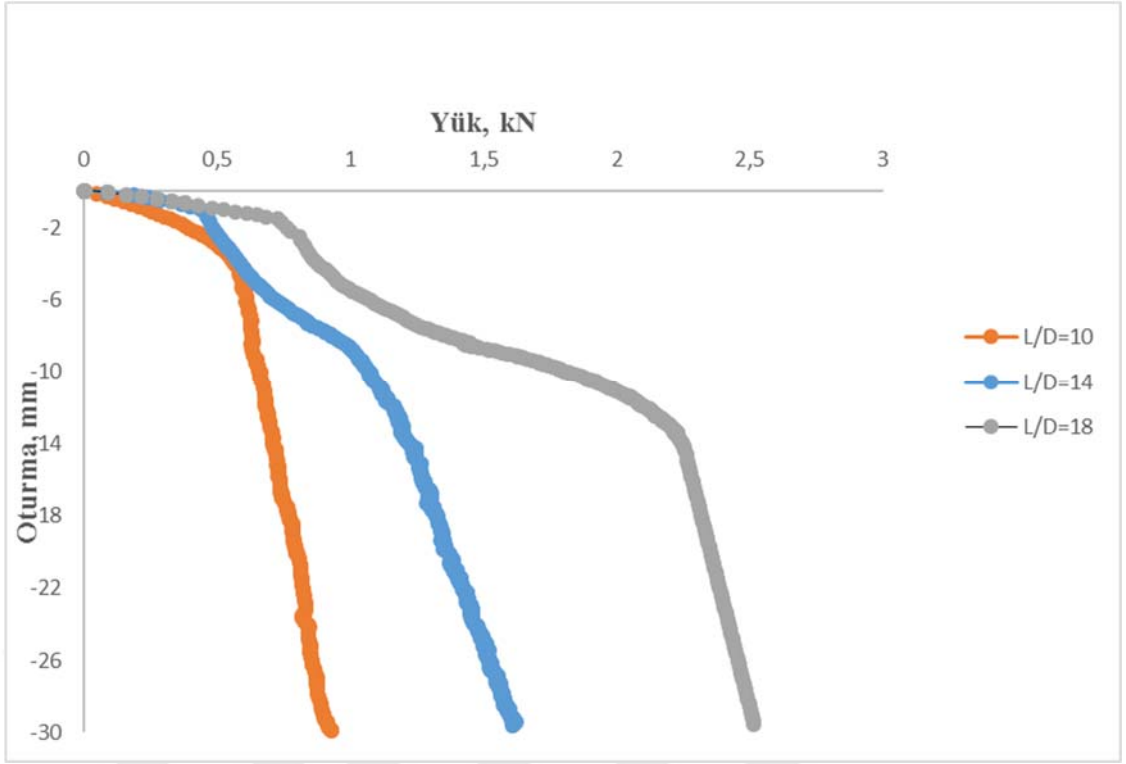
Şekil 68. Yük-oturma ilişkisi ($l/d=14$; %10(2-4mm), Tekil kazık, 2'li ve 4' lü kazık grubu)



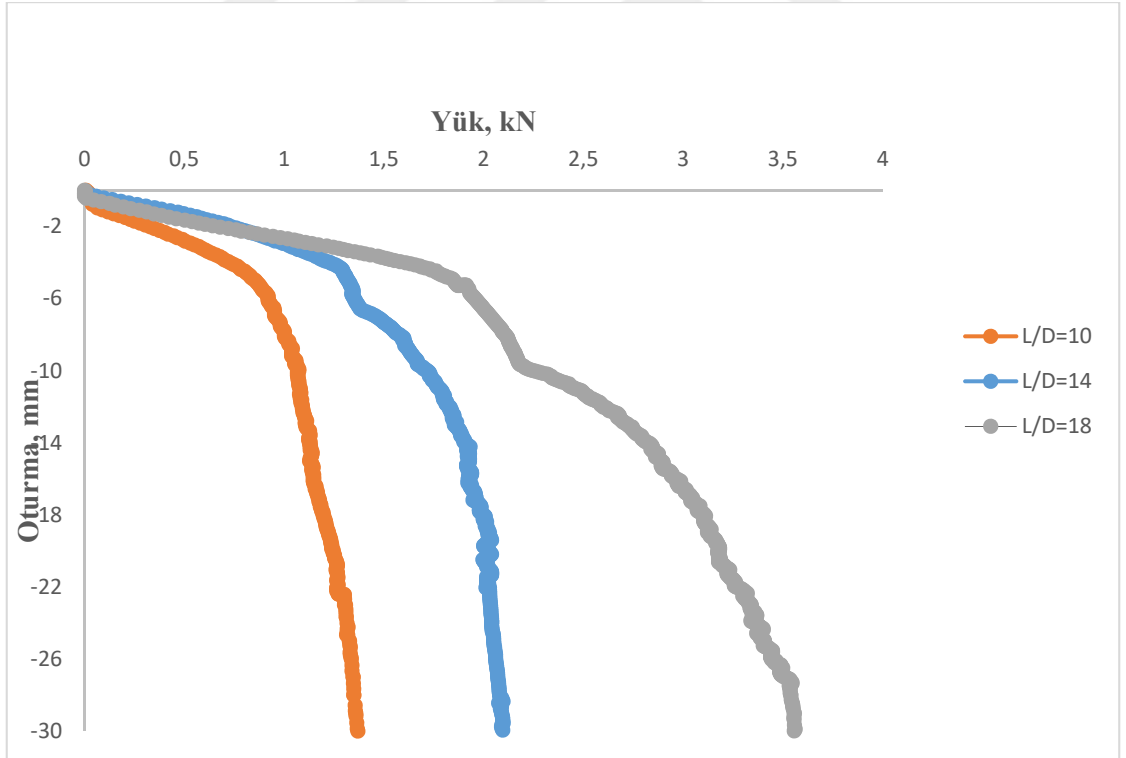
Şekil 69. Yük-oturma ilişkisi ($l/d=18$; %10(2-4mm), Tekil kazık, 2'li ve 4' lü kazık grubu)

Şekil 67, 68 ve 69' da görüldüğü üzere 4'lü kazık grubunun taşıma kapasitesi daha yüksektir. Dolayısıyla bu kazık grubu aynı oturma miktarında daha fazla yük taşıyabilmektedir. Grup etkisinin incelendiği tüm sonuçlara göre gruptaki kazık sayısının artması daha fazla yük taşınmasına neden olmaktadır. Literatürde Yenginar (2014), Ateş ve Şadoğlu (2021) tarafından yapılan çalışmalarda 4'lü kazığın yük-oturma ilişkileri incelendiğinde tez çalışması kapsamında kullanılan kazık gruplarının daha yüksek yük taşıdığı görülmektedir.

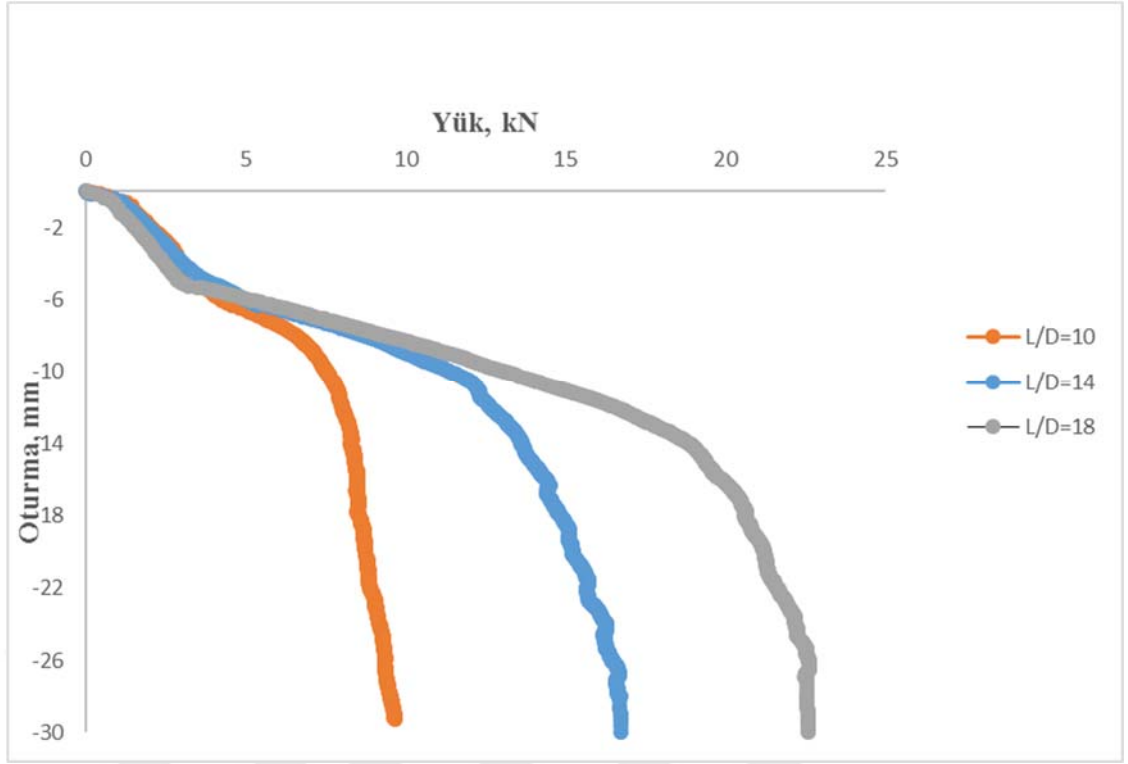
Kazıkların boyut etkilerini belirleyebilmek farklı l/d (10, 14 ve 18) oranlarında katkısız ve e-atık katkılı polimer esaslı kazık ve kazık grupları %65 rölatif sıklıktaki kum zemin yerleştirilmiş ve deneyler gerçekleştirilmiştir. Her bir deney sonucunda elde edilen veriler kullanılarak yük-oturma ilişkisi çizilmiştir. %0(katkısız) ve $l/d=10,14$ ve 18 oranları kazık ve kazık gruplarına ait yük-oturma ilişkisi sırasıyla Şekil 70, Şekil 71 ve Şekil 72' de gösterilmiştir.



Şekil 70. Yük-oturma ilişkisi ($l/d=10, 14$ ve 18 ; %0(Katkısız), Tekil kazık)

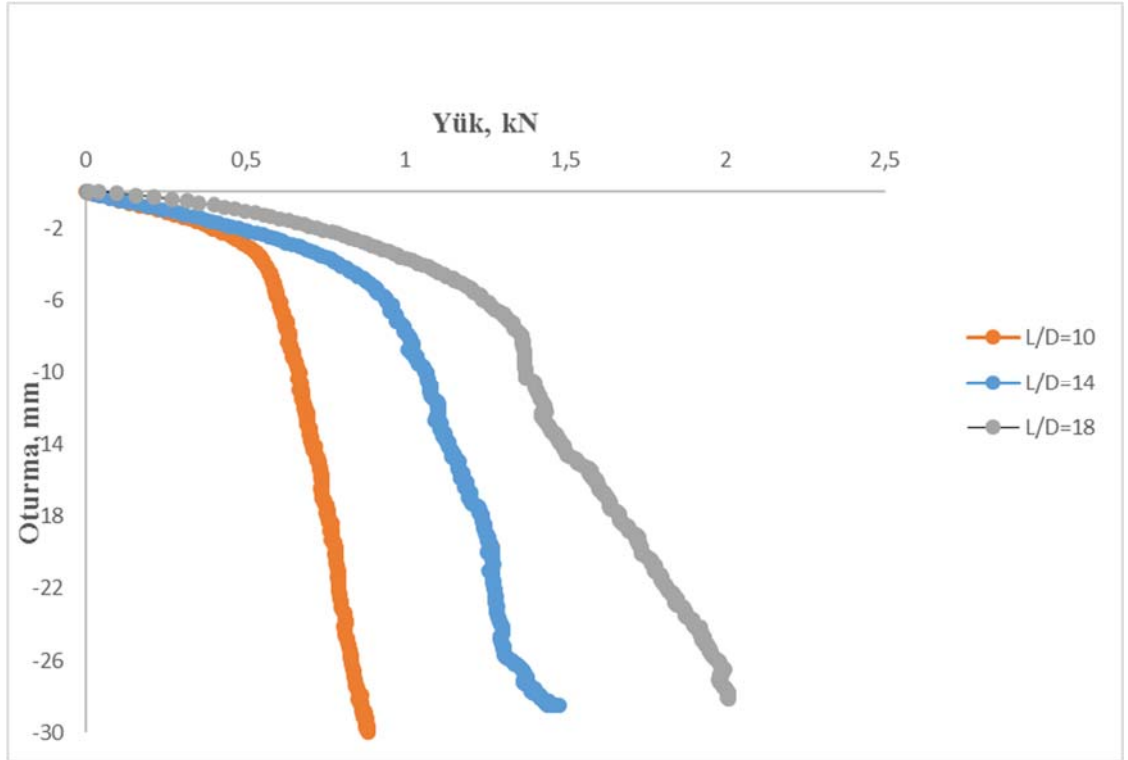


Şekil 71. Yük-oturma ilişkisi ($l/d=10, 14$ ve 18 ; %0(Katkısız), 2'li kazık grubu)

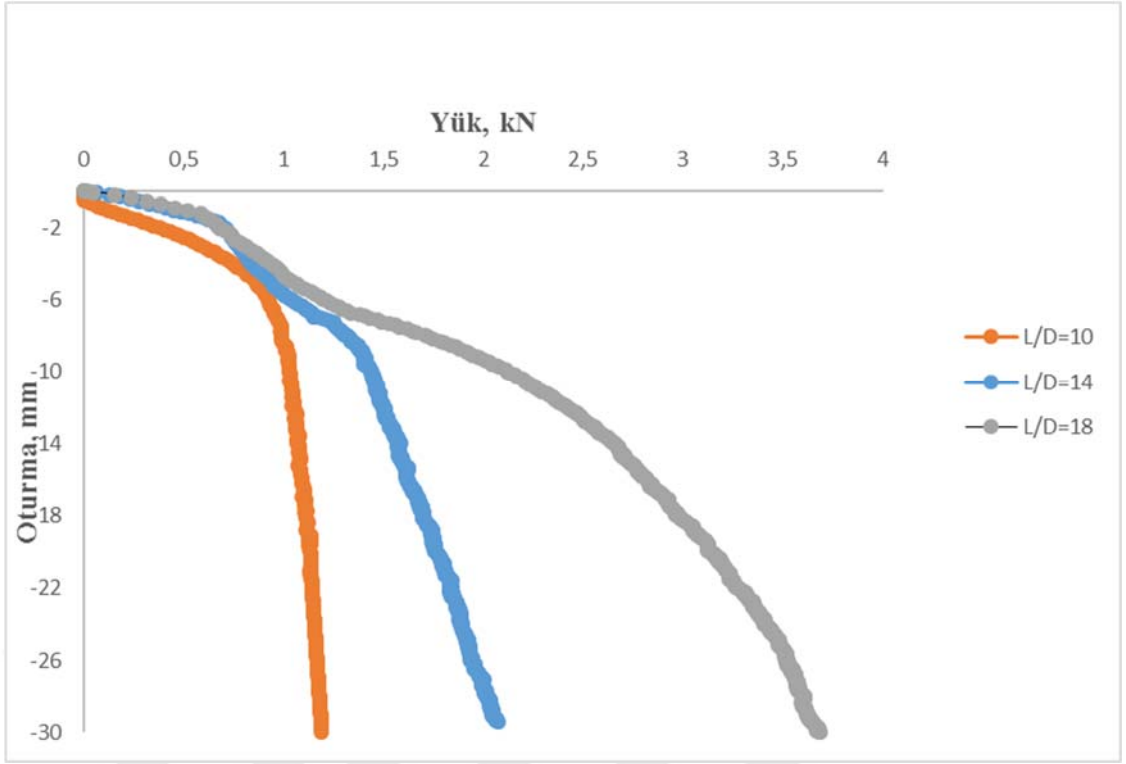


Şekil 72. Yük-oturma ilişkisi ($l/d=10, 14$ ve 18 ; %0(Katkısız), 4'lü kazık grubu)

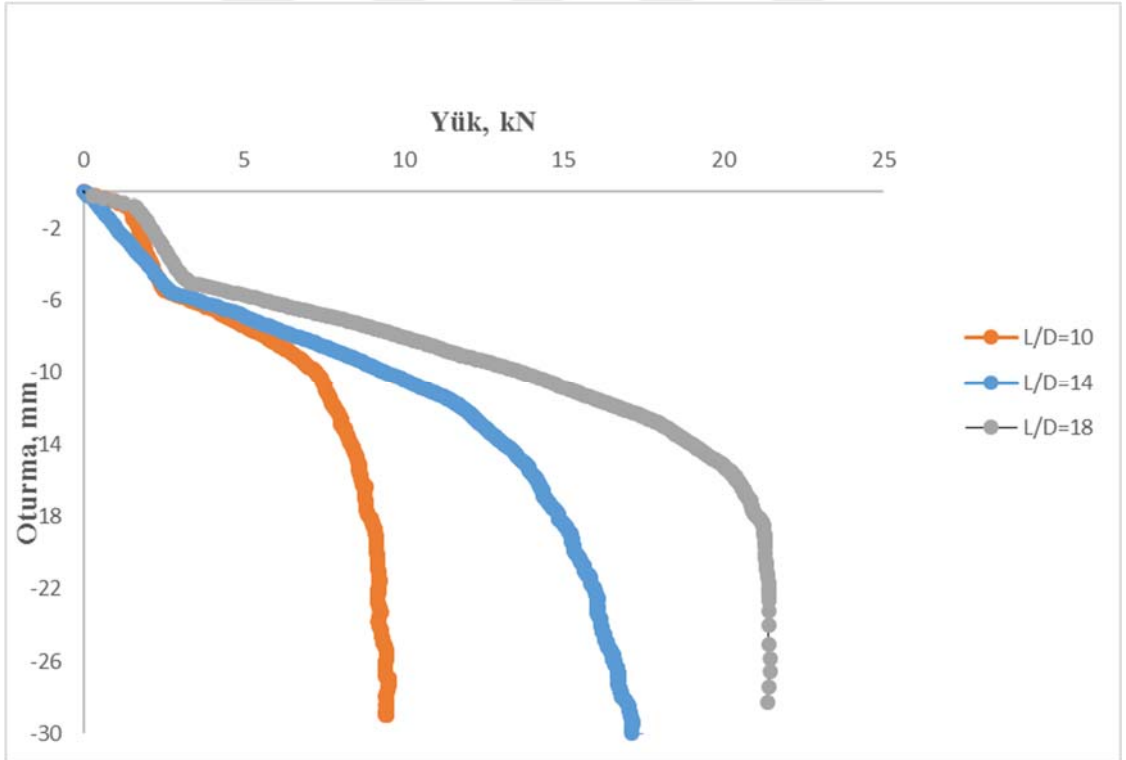
Şekil 70, 71 ve 72 incelendiğinde tekil kazık, 2'li ve 4'lü kazık gruplarında l/d oranı yani kazık boyu arttıkça kazık taşıma kapasiteleri artmıştır. %5(0-2mm) ve $l/d=10, 14$ ve 18 oranları kazık ve kazık gruplarına ait yük-oturma ilişkisi sırasıyla Şekil 73, Şekil 74 ve Şekil 75' de gösterilmiştir.



Şekil 73. Yük-oturma ilişkisi ($l/d=10, 14$ ve 18 ; %5(0-2mm), Tekil kazık)

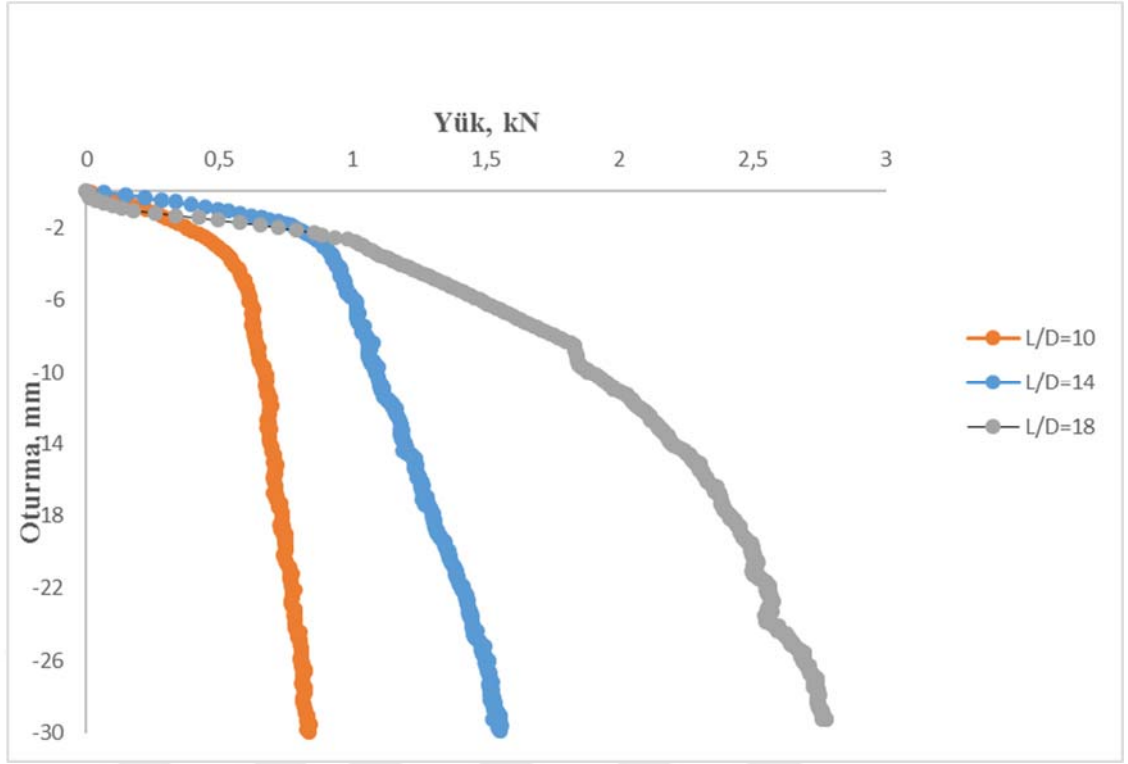


Şekil 74. Yük-oturma ilişkisi ($l/d=10, 14$ ve 18 ; %5(0-2mm), 2'li kazık grubu)

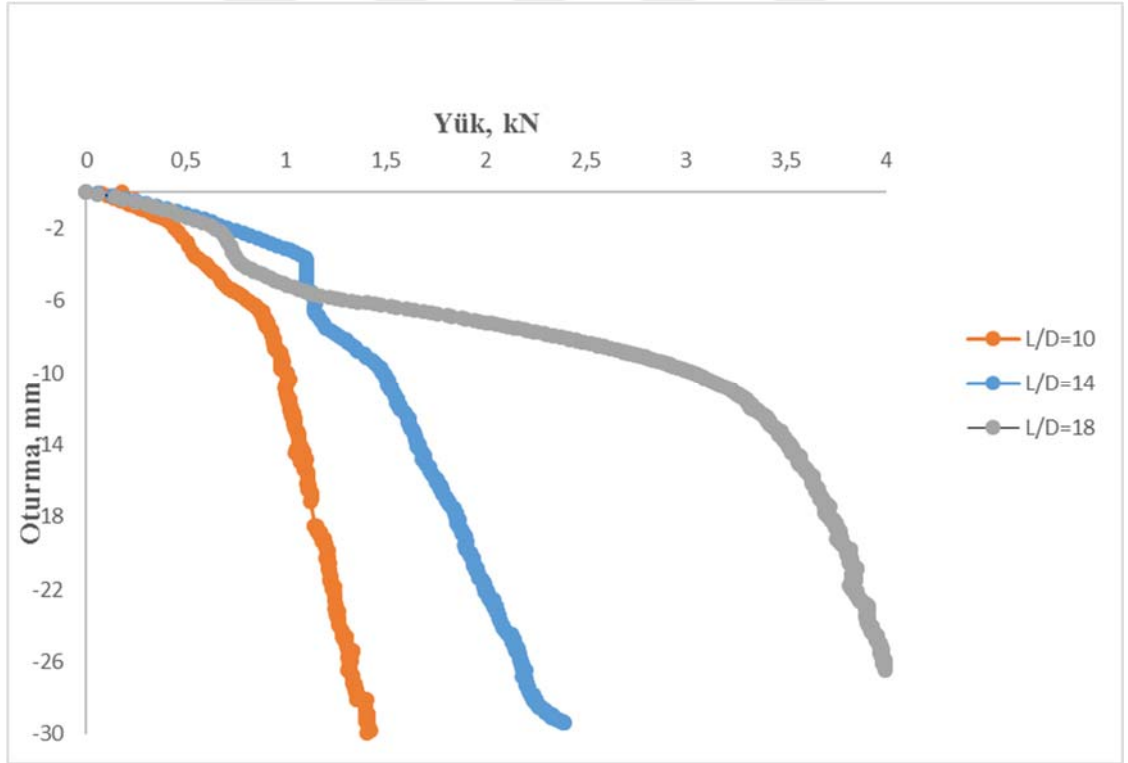


Şekil 75. Yük-oturma ilişkisi ($l/d=10, 14$ ve 18 ; %5(0-2mm), 4'lü kazık grubu)

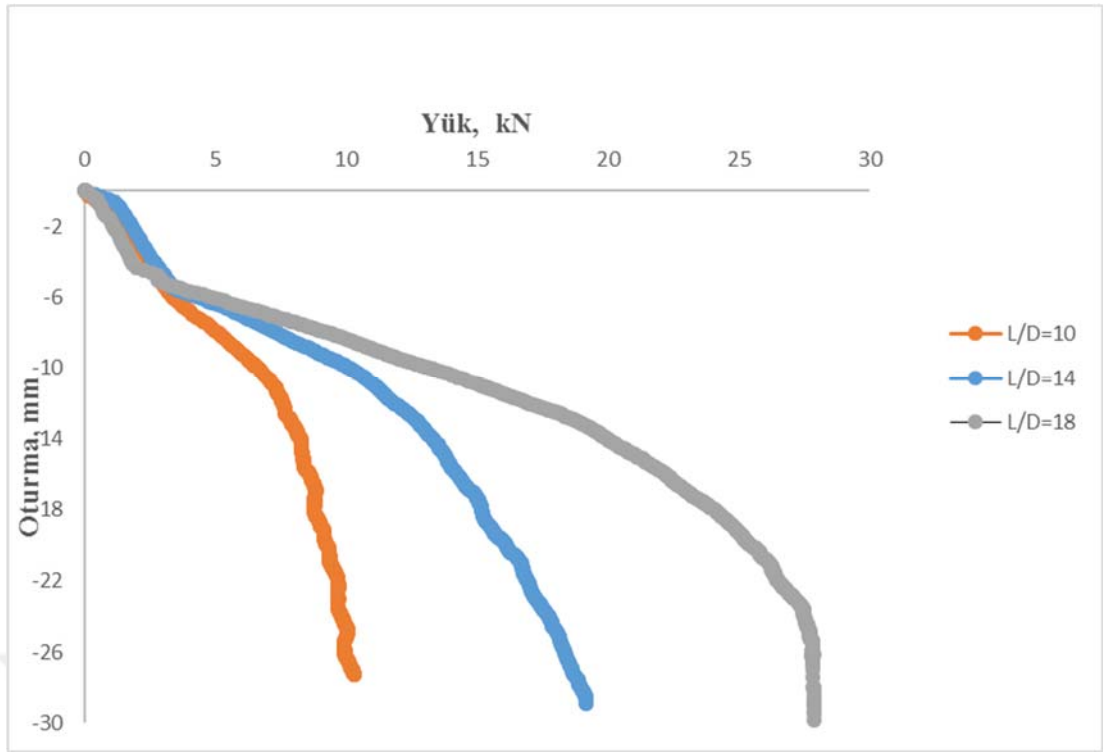
%5(0-2mm) katkılı kazık ve kazık gruplarının yük-oturma ilişkisi incelendiğinde l/d oranı yani kazık boyu arttıkça kazık taşıma kapasiteleri artmıştır. %5(2-4mm) ve $l/d=10, 14$ ve 18 oranları kazık ve kazık gruplarına ait yük-oturma ilişkisi sırasıyla Şekil 76, Şekil 77 ve Şekil 78' de gösterilmiştir.



Şekil 76. Yük-oturma ilişkisi ($l/d=10, 14$ ve 18 ; %5(2-4mm), Tekil kazık)

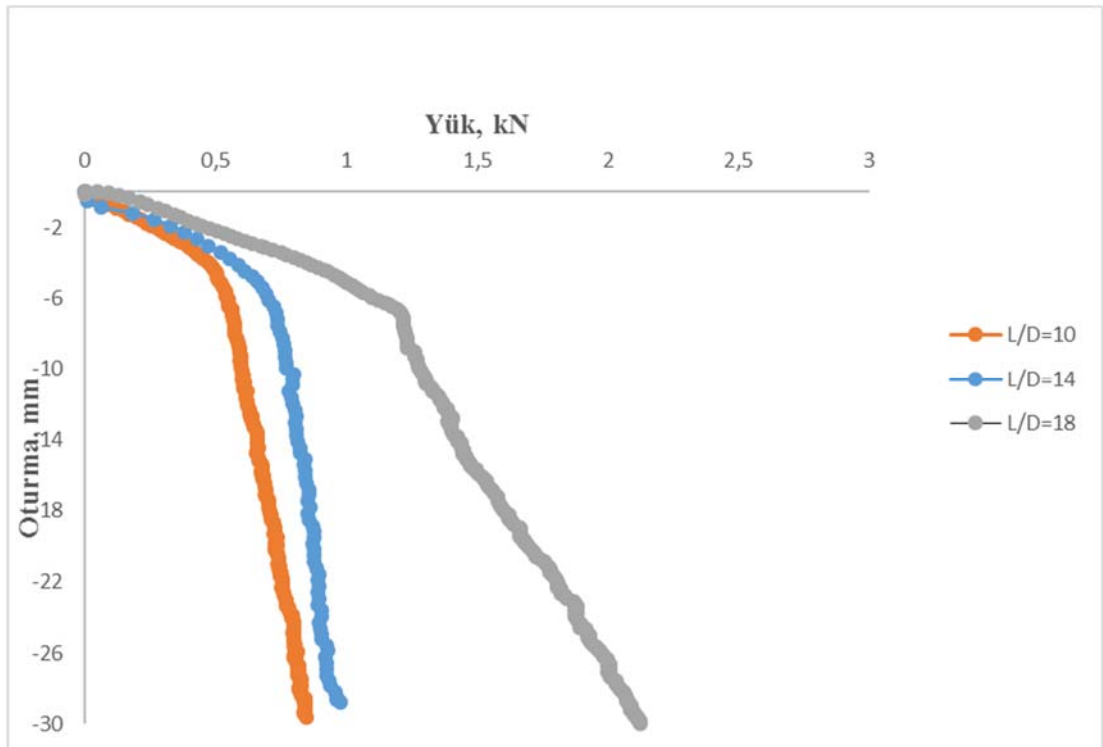


Şekil 77. Yük-oturma ilişkisi ($l/d=10, 14$ ve 18 ; %5(2-4mm), 2'li kazık grubu)

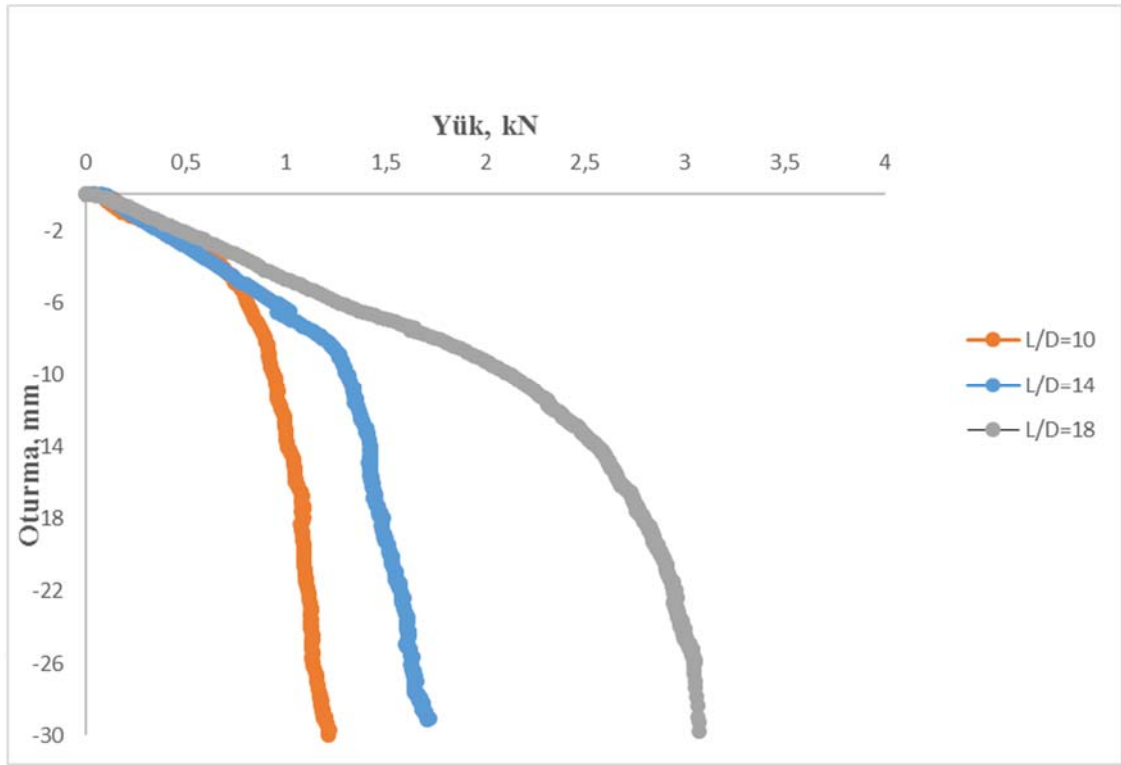


Şekil 78. Yük-oturma ilişkisi ($l/d=10, 14$ ve 18 ; %5(2-4mm), 4'lü kazık grubu)

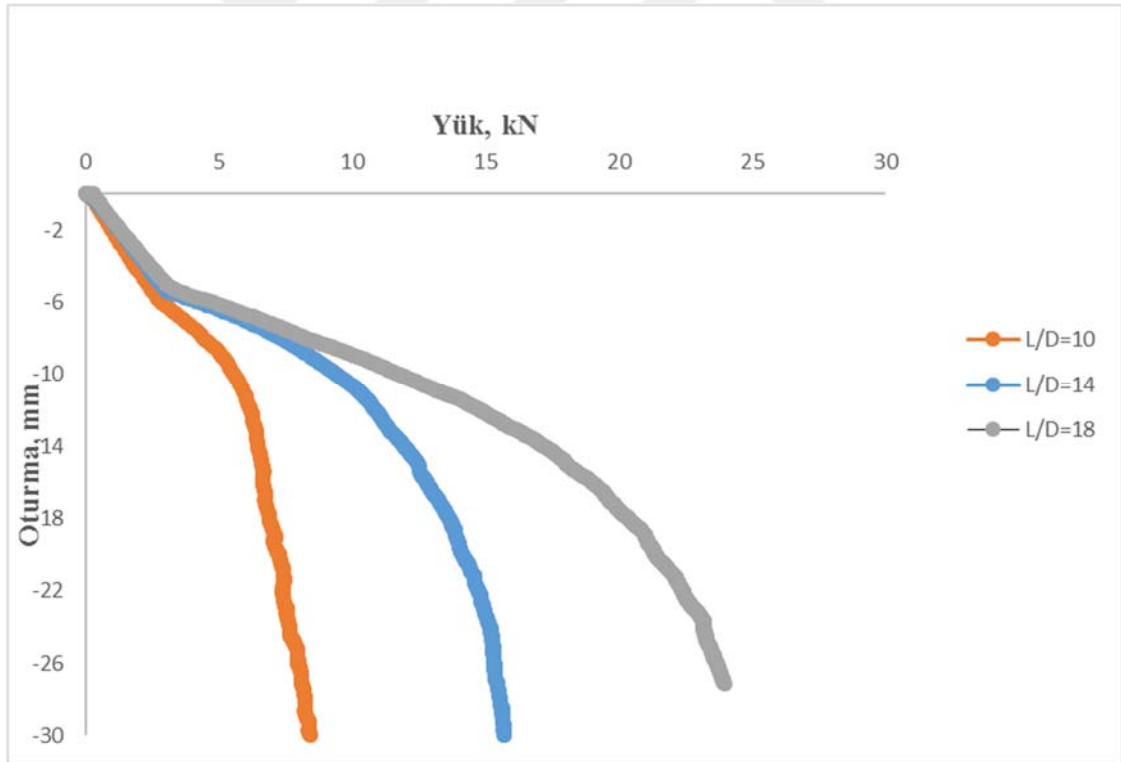
Şekil 76, 77 ve 78 incelendiğinde tekil kazık, 2'li ve 4'lü kazık gruplarında l/d oranı yani kazık boyu arttıkça kazık taşıma kapasiteleri artmıştır. En yüksek kazık taşıma kapasite l/d oranının 18 olduğu ve 4'lü kazık grubundan görülmektedir. %10(0-2mm) ve $l/d=10, 14$ ve 18 oranları kazık ve kazık gruplarına ait yük-oturma ilişkisi sırasıyla Şekil 79, Şekil 80 ve Şekil 81' de gösterilmiştir.



Şekil 79. Yük-oturma ilişkisi ($l/d=10, 14$ ve 18 ; %10(0-2mm), Tekil kazık)



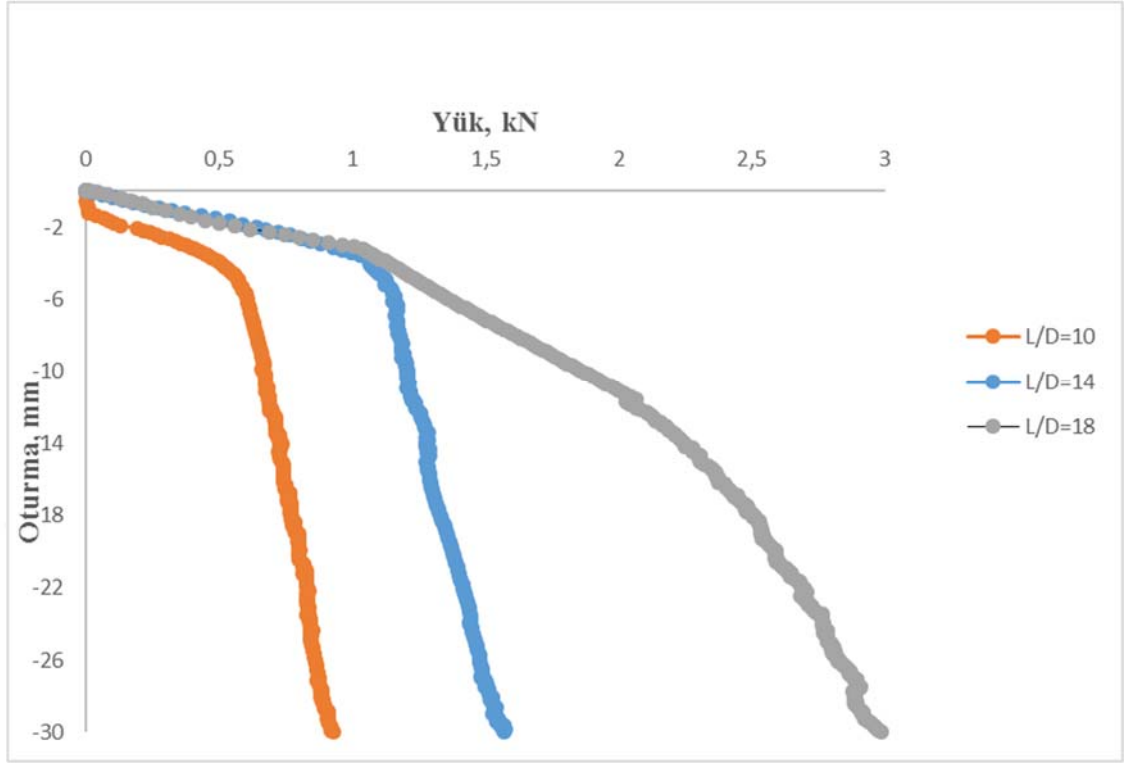
Şekil 80. Yük-oturma ilişkisi ($l/d=10, 14$ ve 18 ; %10(0-2mm), 2'li kazık grubu)



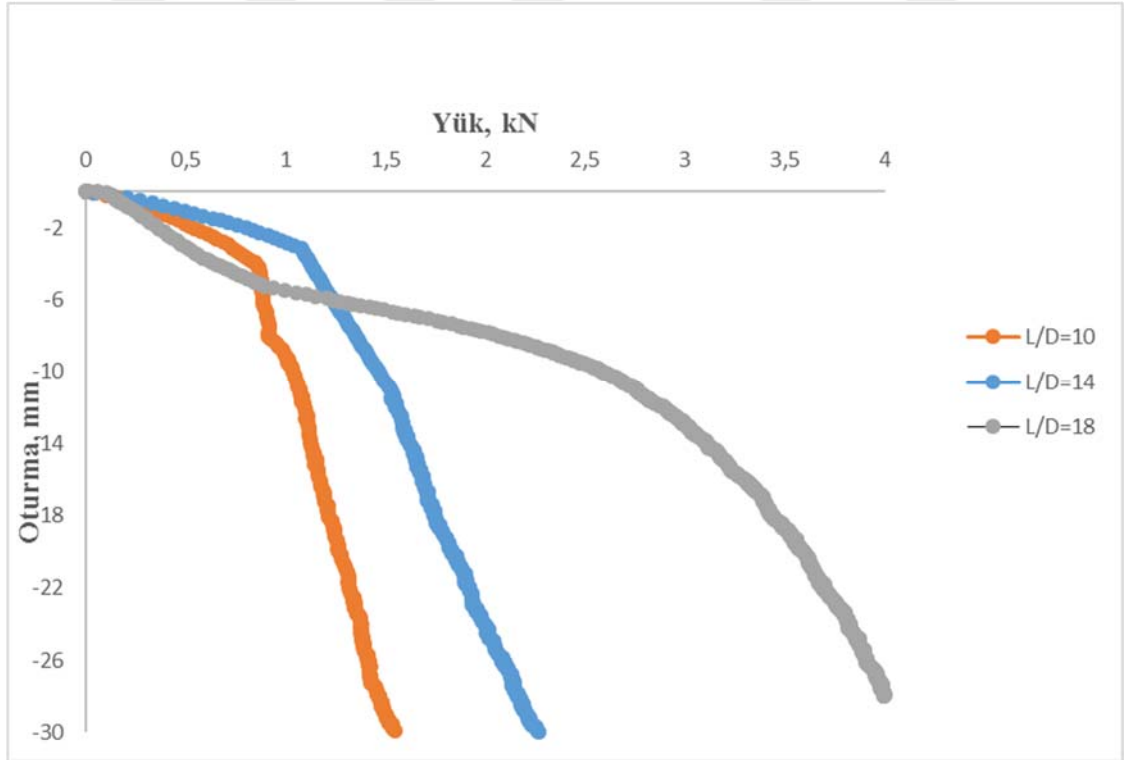
Şekil 81. Yük-oturma ilişkisi ($l/d=10, 14$ ve 18 ; %10(0-2mm), 4'lü kazık grubu)

Şekil 79, 80 ve 81 incelendiğinde tekil kazık, 2'li ve 4'lü kazık gruplarında l/d oranı yani kazık boyu arttıkça kazık taşıma kapasiteleri artmıştır. Ayrıca şekillerden de görüldüğü üzere bu orana(%10(0-2mm)) sahip kazık ve kazık gruplarında taşıma kapasitesinin diğer

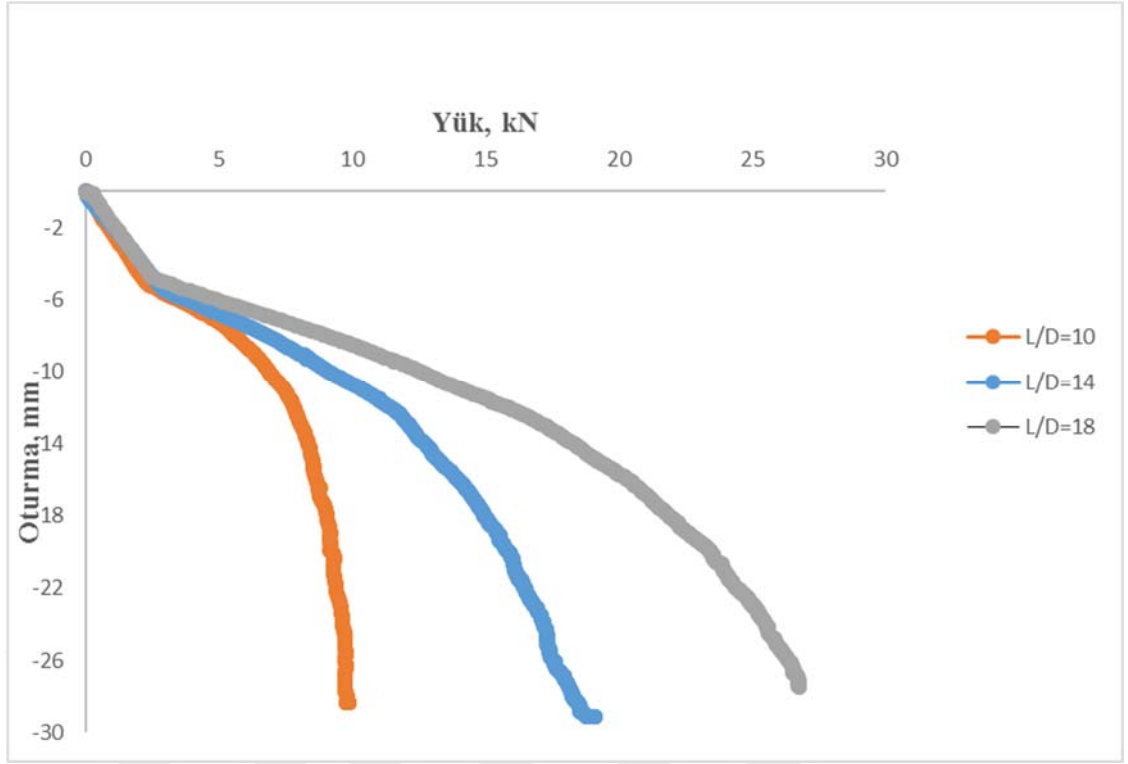
oranlara göre azaldığı görülmektedir. %10(2-4mm) ve $l/d=10,14$ ve 18 oranları kazık ve kazık gruplarına ait yük-oturma ilişkisi sırasıyla Şekil 82, Şekil 83 ve Şekil 84' de gösterilmiştir.



Şekil 82. Yük-oturma ilişkisi ($l/d=10, 14$ ve 18 ; %10(2-4mm), Tekil kazık)



Şekil 83. Yük-oturma ilişkisi ($l/d=10, 14$ ve 18 ; %10(2-4mm), 2'li kazık grubu)



Şekil 84. Yük-oturma ilişkisi ($l/d=10, 14$ ve 18 ; %10(2-4mm), 4'lü kazık grubu)

Şekil 82, 83 ve 84 incelendiğinde tekil kazık, 2'li ve 4'lü kazık gruplarında l/d oranı yani kazık boyu arttıkça kazık taşıma kapasiteleri artmıştır. Tüm Şekiller incelendiğinde bu durum katkısız ve e-atık katkılı tüm karışım oranlarında görülmektedir. En yüksek kazık taşıma kapasite l/d oranının 18 olduğu ve 4'lü kazık grubundan görülmektedir.

SONUÇ ve ÖNERİLER

Tez çalışması kapsamında e-atık katkılı polimer esaslı ve katkısız polimer esaslı numuneler üretilerek bu numunelerin serbest basınç mukavemeti, eğilme dayanımı, donma-çözülme çevrim sonrası mukavemeti, sönüm oranı, çekme dayanımı deneyleri ile %65 rölatif sıklıktaki kum zemin içerisinde kazık ve kazık grubu numunelerinin davranışı incelendiği büyük model tank deneyleri gerçekleştirilmiştir. Yapılan deneyler neticesinde elde edilen sonuçlar aşağıda maddeler halinde sunulmuştur.

- Serbest basınç deneylerinde katkısız polimer esaslı numunelerin e-atık katkılı polimer esaslı numunelere göre daha gevrek kırıldığı belirlenmiştir. E-atık ilave edilen numunelerde e-atık oranının artması ile genel olarak sünek davranışın meydana geldiği gözlemlenmiştir.
- Donma-çözülme deneylerinde, serbest basınç mukavemet değerlerinin donma-çözülme sonrası serbest basınç mukavemet değerlerine nazaran önemli ölçüde değişmediği belirlenmiştir.
- Katkısız ve e-atık katkılı polimer esaslı numunelerin donma-çözölmeye karşı dayanıklılığını ve karasal iklimlerde kullanılabilir olduğu belirlenmiştir.
- Eğilme dayanımı deneylerinde katkısız ve e-atık katkılı polimer esaslı numunelerin eğilme dayanımları literatürde yapılan çalışmalar ile karşılaştırıldığında daha yüksek dayanım elde edildiği belirlenmiştir.
- Dinamik deneylerde e-atık kullanılan polimer esaslı kazıkların enerji sönümleme özelliğine sahip olduğunu ve sismik yük etkisine maruz kalınan durumlarda kullanılabileceğini göstermiştir.
- Çekme deneylerinde %0 ve %10(2-4mm) karışımları ile hazırlanan kazıkların çekme kazığı olarak kullanılabileceği yönünde bize fikir vermiştir.
- Grup etkisinin incelendiği sonuçlara göre gruptaki kazık sayısının arttıkça daha fazla yük taşındığı belirlenmiştir.
- Tekil kazık, 2'li ve 4'lü kazık gruplarında l/d oranı yani kazık boyu arttıkça kazık taşıma kapasitelerinin arttığı elde edilmiştir.
- Tüm deneyler değerlendirildiğinde en yüksek taşıma kapasitesi genel olarak %0(katkısız) numunelerde ve kazıklarda görüldüğü %5(24mm) ve %10(2-4mm) kazıklarda da bu değerlere yakın sonuçlar elde edildiği görülmüştür.

Farklı e-atık oranları, l/d oranları, zemin türleri, rölatif sıkılık değerleri, kazık grubu sayıları, donma-çözülme çevrim sayısı vb. parametreler ile deneylerin devam ettirilmesi, katkısız ve e-atık katkı polimer esaslı kazık ve kazık gruplarının davranışının belirlenmesi üzerindeki etkileri açısından ileriki çalışmalar için önerilmektedir.



KAYNAKLAR

- Akbulut, K., 2014. Kazıklı Radye Temellerin Tasarımını Etkileyen Faktörlerin Araştırılması. Doktora Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Akbulut, R. K., and Zaimoğlu, A. Ş. (2019). Effect Of Aspect Ratio On The Freezingthawing of a Clay. Selçuk Üniversitesi Mühendislik, Bilim ve Teknoloji Dergisi, 7(1), 66-74.
- Akın, E., 2007. Mermer tozları ve uçucu kül ile polimer esaslı kompozit malzeme üretimi. Y. Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Aksoy, H.S., Gör, M., İnal, E., 2015. FRP kazıklı radye temellerin davranışının deneysel olarak incelenmesi. 6. Geoteknik Sempozyumu, Adana.
- Altawıl, 2022 Geopolimer kazıkların üretimi ve performansını etkileyen faktörlerin deneysel olarak araştırılması. Doktora Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Anagnostopoulos, C. A., 2015. Strength properties of an epoxy resin and cement-stabilized silty clay soil. Applied Clay Science, 114, 517-529
- Arasan, S., Bagherinia, M., Akbulut, R. K. ve Zaimoglu, A. S., 2017, Utilization of polymers to improve soft clayey soils using the deep mixing method, Environmental Engineering Geoscience, 23 (1), 1-12.
- Arasan, S., Işık, F., Akbulut, R. K., Zaimoğlu, A. S. ve Nasirpur, O., 2015, Rapid stabilization of sands with deep mixing method using polyester, Periodica Polytechnica Civil Engineering, 59 (3), 405-411.
- Artuk, F., 2016. Lif Ve Uçucu Kül Katkılı Polimer İçi Boş Kazıkların Yumuşak Kil Zeminlerdeki Davranışının Deneysel Olarak Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.
- Ashford, S. A., Jakrapiyanun, W., 2001. Drivability of glass FRP composite piling. Journal of Composites for Construction, 5(1), 58-60.
- ASTM D1566-21a., 2021. Terminology relating to rubber. In Annual Book of ASTM Standards, Volume: 09.01, Philadelphia: ASTM International. DOI: 10.1520/D1566-21A
- Avcı, H., 2021. Polimerler: Özellikleri ve Uygulamaları . Eskişehir: Üniversite Yayınları.
- Bagherpour, S., 2012. Fibre reinforced polyester composites (pp. 135-166). London: InTech.
- Baldé, C. P., Angelo, E. D., Luda, V., Deubzer, O., & Kuehr, R., 2022. Global Transboundary E-Waste Flows Monitor 2022. United Nations Institute for Training and Research (UNITAR): Bonn, Germany.
- Banerjee, R., Bandyopadhyay, S., Sengupta, A., & Reddy, G. R. (2022). Settlement behaviour of a pile raft subjected to vertical loadings in multilayered soil. Geomechanics and Geoengineering, 17(1), 282-296.

- Başeski, C., 2005. Teğet Kazıkların Düşey Taşıma Gücünün Sonlu Elemanlar Yöntemi İle İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Beena, K. S., Kavitha, P. E., & Narayanan, K. P., 2018. Model Studies on Laterally Loaded Piles in Sloping Clay Bed. *Indian Geotechnical Journal*, 48(1), 114-124.
- Birand, A. A., 2007. ‘‘Kazıklı Temeller’’. Teknik Yayınevi, 462 sayfa, Ankara.
- Bölükbaşı, Ş. N., 2019. Polyester esaslı kompozit kazıklarda performansın model deneylerle araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Bulut, H. A., & Şahin, R. (2017). A study on mechanical properties of polymer concrete containing electronic plastic waste. *Composite Structures*, 178, 50-62.
- Bulut, H. A., Şahin, R., 2017. ‘‘A Study on Mechanical Properties of Polymer Concrete Containing Electronic Plastic Waste’’, *Composite Structures*, 178, 50-62.
- Chaugule, M., Deore, S., Gawade, K., Tijare, A., & Banne, S., 2017. Improvement of black cotton soil properties using E-waste. *IOSR J Mech Civil Eng*, 14(3), 76-81.
- Coduto, D. P., William A. Kitch., Man-chu Ronald Yeung., 2016. ‘‘Foundation Design Principles and Practices’’, Third Edition.
- Colbert, B.W., You, Z., 2012. ‘‘Properties of Modified Asphalt Binders Blended with Electronic Waste Powders’’, *Journal of Materials in Civil Engineering*, 24(10), 1261-1267.
- Çetinkaya, N., 2009. Geosentetikle Güçlendirilmiş Kazıkla Desteklenmiş Dolgular Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul
- Çinicioğlu, S. F., 2005. Zeminlerde statik ve dinamik yükler altında taşıma gücü anlayışı ve hesabı. Seminer, IMO İstanbul Şubesi.
- Das, B. M., & Sivakugan, N., 2016 . Fundamentals of geotechnical engineering. Cengage Learning.
- Deneç, G., 2006. Sinyal Eşleme Yöntemi Kullanılarak Kazık Süreklilik Deneylerinin Değerlendirilmesi ve Kazık Kalitesinin Belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Devocioğlu, A. G., & Biçer, Y., 2016. The effects of tragacanth addition on the thermal and mechanical properties of lightweight concretes mixed with expanded clay. *Periodica Polytechnica Civil Engineering*, 60(1), 45-50.
- Dholakiya, B., 2012. Unsaturated polyester resin for specialty applications. *Polyester*, 7, 167-202.
- Farhangi, V., & Karakouzian, M., 2020. Effect of fiber reinforced polymer tubes filled with recycled materials and concrete on structural capacity of pile foundations. *Applied Sciences*, 10(5), 1554.
- Forti, V., Balde, C. P., Kuehr, R., & Bel, G., 2020. The Global E-waste Monitor 2020: Quantities, flows and the circular economy potential.
- Gao, Y., Zhang, H., Huang, M., & Lai, F., 2019. Unsaturated polyester resin concrete: A review. *Construction and Building Materials*, 228, 116709.

- Gavhane, A., Sutar, D., Soni, S., and Patil, P., 2016. "Utilisation of E - Plastic Waste in Concrete", *International Journal of Engineering Research & Technology*, Vol. 5 Issue 02.
- Ghazavi, M. and Roustaei, M. 2010. The influence of freeze-thaw cycles on the unconfined compressive strength of fiber-reinforced clay, *Cold Regions Science and Technology*, Vol.61, 125-131.
- Giraldo Valez, J., & Rayhani, M. T., 2017. Axial and lateral load transfer of fibre-reinforced polymer (FRP) piles in soft clay. *International Journal of Geotechnical Engineering*, 11(2), 149-155.
- Goudar, S., & Kamatagi, A., 2022. An experimental evaluation of axial load bearing capacity of belled and straight piles embedded in sand. *International Journal of Engineering*, 35(8), 1599-1607.
- Gök. S.. 2007. Kazıklı radye temellerin tasarımı. Doktora Tezi. İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. İstanbul.
- Görgün, B., 2015 . Suyu doymuş kil ve gevşek kum zeminlerde oluşturulan kazıklı temellere etki eden dinamik yüklerin statik yükler cinsinden uygulanabilirliğinin araştırılması Yüksek Lisans Tezi, Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.
- Guades, E., Aravinthan, T., Islam, M., Manalo, A., 2012. A review on the driving performance of FRP composite piles. *Composite Structures*, 94(6), 1932-1942.
- Gürü, M., Tekeli, S., Akin, E., 2007. Manufacturing of polymer matrix composite material using marble dust and fly ash. *Key Engineering Materials*, Volume 336-338 II, 1353-1356.
- Halder, P., & Manna, B. (2022). Performance evaluation of piled rafts in sand based on load-sharing mechanism using finite element model. *International Journal of Geotechnical Engineering*, 16(5), 574-591.
- Hamada, H. M., Shi, J., Al Jawahery, M. S., Majdi, A., Yousif, S. T., & Kaplan, G. (2023). Application of Natural Fibres in Cement Concrete: A Critical Review. *Materials Today Communications*, 105833.
- Hamidi, S., & Marandi, S. M., 2018. Clay concrete and effect of clay minerals types on stabilized soft clay soils by epoxy resin. *Applied Clay Science*, 151, 92-101.
- HAN, C. C., 2012 . Poly (trimethylene terephthalate)-The New Generation of Engineering Thermoplastic Polyester.
- Hasan, M.R.M., Colbert, B., You, Z., Jamshidi, A., Heiden, P. A., Hamzah, M.O., 2016. "A Simple Treatment of Electronic-waste Plastics to Produce Asphalt Binder Additives with Improved Properties", *Construction and Building Materials*, 110, 79-88.
- Hosseini, M. A., & Rayhani, M. T., 2022. Seismic response of end-bearing fibre-reinforced polymer (FRP) piles in cohesionless soils. *Innovative Infrastructure Solutions*, 7(1), 1-13.
- Iskander, M. G., Hanna, S., Stachula, A., 2001. Driveability of FRP composite piling. *Journal of geotechnical and geoenvironmental engineering*, 127(2), 169-176.
- Jamil, I., Ahmad, I., Ullah, W., Ahmad, M., Sabri, M. M. S., & Majdi, A., 2022. Experimental Study on Lateral and Vertical Capacity of Piled Raft and Pile Group System in Sandy Soil. *Applied Sciences*, 12(17), 8853.

- Kang, H. Y., & Schoenung, J. M., 2005. Electronic waste recycling: A review of US infrastructure and technology options. *Resources, Conservation and Recycling*, 45(4), 368-400.
- Karaca, S., 2017. Lif ve uçucu kül katkılı polimer esaslı kompozit içi boş kazıkların mekanik ve dinamik özellikleri. Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.
- Kicko-Walczak, E., 2006. Thermal Stability and Fire Performance of Unsaturated Polyester Resins. *JOURNAL-BALKAN TRIBOLOGICAL ASSOCIATION*, 12(2), 198.
- Kumar, J. K., & Kumar, V. P., 2020. Experimental analysis of soil stabilization using e-waste. *Materials Today: Proceedings*, 22, 456-459.
- Lakshmi, R., Nagan, S. 2011. "Investigation on Durability Characteristics of E-plastic Waste Incorporated Concrete", *Asian Journal of Civil Engineering (Building and Housing)* Vol.12, No.6, April.
- Lakshmi, R., Nagan, S., 2010. "Studies on Concrete Containing E Plastic Waste", *International journal of environmental sciences*, 1(3), 270.
- Lu, Y., Abuel-Naga, H., Shaia, H. A., & Shang, Z., 2022. Preliminary Study on the Behaviour of Fibre-Reinforced Polymer Piles in Sandy Soils. *Buildings*, 12(8), 1144.
- Orhan, M., 2019. "Geoteknik Mühendisliği ve Temel İnşaatı". Gazi Kitabevi, 930 sayfa, Ankara
- Özçelik, Ç. (2007). Şevlerde yanal yüklü kazıkların laboratuvar koşullarında modellenmesi. Yüksek lisans tezi Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Penczek, P., Czub, P., & Pielichowski, J., 2005. Unsaturated polyester resins: chemistry and technology. *Crosslinking in materials science*, 1-95.
- Poulos. H.G.. 2000a. Pile-raft interaction-alternative methods of analysis. in *Developments in Theoretical Geomechanics*. Eds. Smith. D.W. and Carter. J.P.. Balkema. 445-463.
- Poulos. H.G.. Small. J.C.. Ta. L.D.. Sinha. J. and Chen. L., 1997. Comparison of some methods for analysis of piled rafts. 14th ICSMFE. Hamburg. Germany. 6-12 September. 1119-1124.
- Robinson, B., Iskander, M., 2008. Static and dynamic load tests on driven polymeric piles. In *GeoCongress 2008@ sGeosustainability and Geohazard Mitigation* (pp. 939-946). ASCE.
- Saçak, M., 1998. "Polimer Kimyasına Giriş". AÜ FF Döner Sermaya İşletmesi Yayınları, 50.
- Saleh, H. E. D. M. (Ed.), 2012. "Polyester". BoD–Books on Demand.
- Saygılı, A., 2018. Killi zeminlerin polimerik metil difenil izosiyanat sıvı polimeri ile iyileştirilmesi. *DÜMF Mühendislik Dergisi*, 9(1), 475-482.
- Seliem, H. M., Ding, L., Potter, W., & Rizkalla, S., 2016. Use of a carbon-fiber-reinforced polymer grid for precast concrete piles. *PCI Journal*, 61(2016), 37-47.

- Shams, Y., 2019. Killi zeminlerin geoteknik özelliklerinin iyileştirmesinde doymamış polyesterin kullanılabilirliğinin araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Sinha. J. and Poulos. H.G., 1997. Piled raft foundation systems in swelling and shrinking soils. 14th ICSMFE. Germany. 2. 1141-1144.
- Sivapriya, S. V., & Muttharam, M. (2019). Behaviour of Cyclic Laterally Loaded Pile Group in Soft Clay. *Indian Geotechnical Journal*, 49(3), 283-291.
- Suchithra S., Kumar, M., Indu, V.S., 2015. "Study on Replacement of Coarse Aggregate by E-waste in Concrete", *International Journal of Technical Research and Applications*, e-ISSN: 2320-8163, Volume 3, Issue4 (July-August 2015), PP. 266-270.
- Şakar, G., Yaman, M., & Bolat, F. Ç., 2015. Bal Peteği Sandviç Kompozit Yapıların Dinamik Analizi.
- Toğrol, E., Tan, O., 2009. Kazıklı Temeller. Birsen Yayınevi, 142 sayfa, İstanbul.
- Tuakta, C., 2005. Use of fiber reinforced polymer composite in bridge structures Ph.D. Thesis, Massachusetts Institute of Technology, Massachusetts, UK,
- Uysal, S., 2014. Kazıklı Radyejeneral Temellerin Yanal Yük Altında Davranışının Belirlenmesi. Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Uzuner, B. A., 2006. "Temel Mühendisliğine Giriş". Derya Kitabevi, Trabzon.
- Üzel, S., 2011. Endüstriyel Çelik Binalarda Kazık Temellerin Binanın Dinamik Davranışına Olan Etkisi. Yüksek Lisans Tezi, Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü, Gebze.
- Vahapoğlu, V., 2013. Kauçuk türü malzemeler: sınıflandırma. Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 4(1), 25-34.
- Venkatachalam, S. G. S. V. J. R. P., Nayak, S. G., Labde, J. V., Gharal, P. R., Rao, K., & Kelkar, A. K., 2012. Degradation and recyclability of poly (ethylene terephthalate) (pp. 75-98). Rijeka, Croatia: InTech.
- Welling GE., 2012. Engineering performance of polymer amended soils, Master Thesis, The Faculty of California Polytechnic State University; USA,
- Yamashita, H., & Nakano, Y., 2008. Polyester: properties, preparation and applications. Nova Science Publishers, Incorporated.
- Yenginar, Y., 2014. Kazıklı temellerde grup etkisinin model deneylerle araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Zaimoğlu, A. Ş., Gündüz S., Artuk F., 2018. "Elektronik Atıkların (E-Atık) Geoteknik Mühendisliğinde Kullanılabilirliği," *Zemin Mekaniği ve Geoteknik Mühendisliği 17. Ulusal Konferansı* , vol.3, İstanbul, Turkey, pp.1077-1084, 2018.
- Zyka, K., & Mohajerani, A., 2016. Composite piles: A review. *Construction and Building Materials*, 107, 394-410.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler	
Adı Soyadı	: Fatih ARTUK
Doğum tarihi	:
Doğum Yeri	:
Uyruğu	:
Adres	:
Tel	:
E-mail	:
Eğitim	
Lise	: Erzurum Anadolu Lisesi
Lisans	: Atatürk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü
Yüksek lisans	: Erzurum Atatürk Üniversitesinin Fen Bilimleri Enstitüsü
Doktora	:
Yabancı Dil Bilgisi	
İngilizce	: İyi
Almanca	:
Rusça	:
Diğer	:
Üye Olunan Mesleki Kuruluşlar	
İnşaat Mühendisleri Odası	
Tezden Üretilmiş Yayınlar	