



**LİF VE UÇUCU KÜL KATKILI POLİMER ESASLI  
KOMPOZİT İÇİ BOŞ KAZIKLARIN  
MEKANİK VE DİNAMİK ÖZELLİKLERİ**

**Serkan KARACA**

**Yüksek Lisans Tezi**

**İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Geoteknik Bilim Dalı**

**Prof. Dr. Ahmet Şahin ZAIMOĞLU**

**2017**

**Her Hakkı Saklıdır**

**ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**LİF VE UÇUCU KÜL KATKILI POLİMER ESASLI KOMPOZİ İÇİ  
BOŞ KAZIKLARIN MEKANİK VE DİNAMİK ÖZELLİKLERİ**

**Serkan KARACA**

**İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI  
Geoteknik Bilim Dalı**

**ERZURUM  
2017**

**Her hakkı saklıdır**



T.C.  
ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



TEZ ONAY FORMU

LİF VE UÇUCU KÜL KATKILI POLİMER ESASLI KOMPOZİT İÇİ BOŞ  
KAZIKLARIN MEKANİK VE DİNAMİK ÖZELLİKLERİ

Prof. Dr. A. Şahin ZAIMOĞLU danışmanlığında, Serkan KARACA tarafından hazırlanan bu çalışma 14/04/2017 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı - Geoteknik Bilim Dalı'nda Yüksek Lisans tezi olarak oybirliği/oy çokluğu (3./3.) ile kabul edilmiştir.

Başkan : Prof. Dr. Özcan TAN

İmza :

Üye : Prof. Dr. A. Şahin ZAIMOĞLU

İmza :

Üye : Yrd. Doç. Dr. Z. Neşe KURT

İmza :

Yukarıdaki sonuç;

Enstitü Yönetim Kurulu 27.../04.../2017...tarih ve . . 17 . . / . . 15 . . . . . nolu kararı ile onaylanmıştır.

Prof. Dr. Cavit KAZAZ  
Enstitü Müdürü

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

## ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

### LİF VE UÇUCU KÜL KATKILI POLYESTER ESASLI KOMPOZİT İÇİ BOŞ KAZIKLARIN MEKANİK VE DİNAMİK ÖZELLİKLERİ

Serkan KARACA

Atatürk Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı  
Geoteknik Bilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Ahmet Şahin ZAIMOĞLU

Kazıklı temeller uzun yıllardan beri kullanılan bir derin temel çeşididir. Derin temeller imal edildiği malzemeye bağlı olarak (beton, ahşap vs.) çevre şartlarından etkilenmektedirler. Günümüzde alternatif malzeme olarak cam takviyeli plastik malzeme, ekonomik ve uzun ömürlü olması sebebiyle kullanılmak istenmektedir. İçi boş kazıklar, malzeme tasarrufu sağlamasıyla birlikte dairesel üretilen kazıkların belirli bir et kalınlığında içi boş şekilde imal edilmekte ve daha büyük gerilmeye karşı koyduğu önceki çalışmalarda bilinmektedir. Bu çalışma kapsamında fiberle donatılmış polyster (FRP) kazıklar üretilmesi amaçlanmaktadır. Bu amaç için, kendir, uçucu kül, lastik atık malzemeleri polyster içerine farklı oranlarda ilave edilerek 2 farklı boy (4 mm, 10 mm), 4 farklı çapta (35 mm, 50 mm, 60 mm, 70 mm) içi boş kazık imal edilmiştir. Elde edilen bu içi boş kazıklar için laboratuvar da serbest basınç, SEM (Taramalı Elektron Mikroskobu) deneyleri yürütülmüştür. Kazık malzemesinin sönüm oranını belirlemek için 7,5x21x0,5 cm boyutlarında levhalar üretilerek laboratuvar deneyleri sonucunda %90P+%5UK+%5F numunesinin %7,21 en yüksek değeri ile elde edilen sonuçlarda ve 60 mm çapında %75P+%25UK karışım oranlarına sahip kazık maksimum serbest dayanıma sahip olduğu gözlenmiştir.

**2016, 63 sayfa**

**Anahtar Kelimeler:** Uçucu kül, lif, polimer, sem, sönüm oranı, içi boş kazık

## **ABSTRACT**

MS Thesis

### **FIBER AND FLY ASH REINFORCED POLYMER HOLLOW PILES DETERMINATION OF PROPERTIES MECHANICAL AND DYNAMIK**

Serkan KARACA

Atatürk University  
Graduate School of Natural and Applied Sciences  
Department of Civil Engineering  
Geotechnical Department

Supervisor: Prof. Dr. Ahmet Şahin ZAIMOĞLU

Pile Fundamentals are a kind of deep fundamental using for a long time Deep Fundamentals are affected by environment conditions depending on production materials (concrete, wooden, etc).In present, plastic material reinforcing by glass, is an alternative material because off being economic and long-lived.hollow piles supply the material economization, at the same time , they, being manufacture circulary, are manufactured hollowly in a thickness of meat and it is known from previous studies that they resist bigger tensile.

In this study, it is aim to produce of polyester piles (FRP) equipped with fibre . fort his aim; hemp, volatile ash,rubber waste materials are added into the polyesterin different rate and hollow piles have been manufactured 2 different sizes (4 mm, 10 mm), 4 different sizes (35 mm, 50 mm, 60 mm, 70 mm). For these hollow piles; free pressure,Screening Electron Microscope experiments have been done.For determining of pile materials waning rate 7,5 x 21 x 0,5 cm panels were produced. After lab experiments, it was abserved that pile, having %75P + %25UK mixture rate and abtaining result from %7,21 the highest level from the sample of %90P + %5UK + %5F, had maxium free resistance.

**2017, 63 pages**

**Keywords:** fly ash, fiber, polymer, sem, hallow pile

## TEŞEKKÜR

Çalıőmam süresince her türlü yardım ve desteğini esirgemeyen tez danıőmanım Sayın Prof. Dr. Ahmet Şahin ZAIMOğLU'a içtenlikle teőekkürlerimi sunarım.

Bu çalışma kapsamındaki deneyler, Atatürk Üniversitesi Mühendislik Fakóltesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Zemin Mekanięi Laboratuvarı ile Erzurum Meslek Yüksekokulu İnşaat Programı Laboratuvarı'nda yürütölmüőtür. Bu kapsamda deneysel çalışmalar esnasında yardımları ve önerileri ile tezimin gelişmesine katkıda bulunan, Sayın Arő. Gör. Fatih ARTUK'a teőekkürlerimi sunarım.

Her zaman ve her konuda beni asla yalnız bırakmayan ve desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen sevgili eőim Kübra Demirci KARACA, biricik kızım Zümra Ada ve her zaman yanımda olan çok değerli ailem ve arkadaşlarıma őükranlarımı sunarım.

**Serkan KARACA**

**Nisan, 2017**

## İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTRACT .....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ .....	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ .....	ix
<b>1. GİRİŞ.....</b>	<b>1</b>
1.1. Amaç ve Kapsam.....	1
1.2. Kaynak Özetleri.....	2
<b>2. KURAMSAL TEMELLER.....</b>	<b>8</b>
2.1. Kazıklı Temeller.....	8
2.1.1. Kazıklı temellerin tarihçesi .....	8
2.1.2. Kazıklı temellerin işlevleri ve kullanıldığı yerler.....	9
2.1.3. Kazık temel çeşitleri.....	10
2.1.3.a. İmal edildikleri malzemeye göre kazık temeller .....	10
2.2. Kompozit Malzemeler .....	17
2.2.1. Lif katkılı kompozit malzemeler .....	21
2.2.2. Lif katkılı polimer kompozitler .....	22
<b>3. MATERYAL ve YÖNTEM.....</b>	<b>25</b>
3.1. Materyal.....	25
3.1.1. Polyester .....	25
3.1.2. Lifler .....	26
3.1.2.a. Kendir .....	26
3.1.2.b. Araba lastik atığı .....	27
3.1.3. Uçucu kül .....	28
3.2. Yöntem .....	30
3.2.1. Deneylerde Kullanılan Model Kalıplar .....	30
3.2.2. Lif ve uçucu kül katkılı polyester esaslı kompozit numunelerinin hazırlanması .....	31

3.2.3. Lif ve uçucu kül katkılı polyester esaslı içi boş kazık numunelerin hazırlanması .....	37
3.2.4. Serbest basınç deneyi .....	41
3.2.5. Pulse titreşim ölçüm sistemi ile sönüm oranlarının belirlenmesi.....	42
3.2.6. SEM görüntüleri (Taramalı Elektron Mikroskobu).....	43
<b>4. ARAŞTIRMA BULGULARI .....</b>	<b>45</b>
<b>5. SONUÇ ve ÖNERİLER.....</b>	<b>60</b>
KAYNAKLAR .....	62
ÖZGEÇMİŞ .....	64





## SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

$A_f$	En Kesit Alanı
$A_s$	Dairesel En Kesit Alanı
BFRP	Bazalt Lif Katkılı Polimer
$c$	Kohezyon
$D$	Kazık çapı
$F$	Lif
FRP	Lif Katkılı Polimer
$H$	Hızlandırıcı
$L$	Kazık Boyu
$P$	Polyester
$P_{max}$	Kırılma Anındaki Basınç Değeri
$q_u$	Serbest Basınç Mukavemeti
RC	İçi Boş Beton Kazık
$R_{dış}$	Kazık Dış Çap
$R_{iç}$	Kazık İç Çap
$s$	Kazığın Zemine Giriş Mesafesi
$S$	Sertleştirici
SCC	Kendiliğinden Yerleşebilen Beton
SEM	Taramalı Elektron Mikroskobu
SRP	Yapısal Olarak Güçlendirilmiş Plastikler
UK	Uçucu Kül
$\gamma$	Zeminin Efektif Birim Hacim Ağırlığı

## ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. Sık kullanılan beton kazıklar .....	12
Şekil 2.2. Sık kullanılan çelik kazıklar .....	15
Şekil 2.3. Dairesel ve kare kesitli içi boş kazık .....	17
Şekil 2.4. Kompozit malzemenin fazları.....	18
Şekil 2.5. Çelik, alüminyum ve kompozit malzemelerin farklı özellikleri.....	20
Şekil 2.6. (a) Partikül, (b) Kısa lif, (c) Sürekli lif takviyeli kompozitler.....	22
Şekil 3.1. Doymamış polyester, polyester hızlandırıcısı ve sertleştiricisi .....	26
Şekil 3.2. Deneylerde kullanılan kendir.....	27
Şekil 3.4. Deneylerde kullanılan araba lastik atığı .....	28
Şekil 3.5. Deneylerde kullanılan uçucu kül .....	29
Şekil 3.6. İçi dolu kazık üretiminde kullanılan kalıplar.....	30
Şekil 3.7. Deneylerde kullanılan model kalıplar.....	31
Şekil 3.8. Lif ve uçucu kül katkılı polimer esaslı kompozit numunelerinin hazırlanması.....	32
Şekil 3.9. Lif ve uçucu kül katkılı polyester esaslı içi boş kazık numunelerin hazırlanması.....	38
Şekil 3.10. Serbest basınç mukavemeti deneylerinde kullanılan cihazlar .....	41
Şekil 3.11. Sönüm oranını belirlemek için kullanılan kalıp ve numuneler.....	42
Şekil 3.12. Pulse titreşim ölçüm sistemi deney düzeneği .....	43
Şekil 3.13. SEM cihazı (Daytam) .....	44
Şekil 4.1. Belirli oranlarda atık malzeme kullanılan polyester kompozit kazıkların serbest basınç mukavemetlerinin belirlenmesi .....	47
Şekil 4.2. İçi dolu kazık numunelerim serbest basınç mukavemet değerleri.....	48
Şekil 4.3. Lif oranı %0 olan farklı uçucu kül yüzdelerindeki kazıkların (içi dolu) serbest basınç mukavemetleri.....	48
Şekil 4.4. Uçucu kül oranı %0 olan farklı fiber yüzdelerindeki kazıkların (içi dolu) serbest basınç mukavemetleri.....	49
Şekil 4.5. Lif Oranı %1 olan farklı farklı uçucu kül yüzdelerindeki kazıkların (içi dolu) serbest basınç mukavemetleri .....	49

<b>Şekil 4.6.</b> Lif oranı %2 olan farklı farklı uçucu kül yüzdelerindeki kazıkların (içi dolu) serbest basınç mukavemetleri .....	50
<b>Şekil 4.7.</b> Lif oranı %5 olan farklı farklı uçucu kül yüzdelerindeki kazıkların (içi dolu) serbest basınç mukavemetleri .....	50
<b>Şekil 4.8.</b> İçi boş kazık numunelerin kazık kapasitelerinin belirlenmesi.....	52
<b>Şekil 4.9.</b> İçi boş kazık numunelerin serbest basınç mukavemetleri .....	53
<b>Şekil 4.10.</b> Belirli oranlarda atık malzeme kullanılan polyester kompozit numunelerin sönüm oranının belirlenmesi için hazırlanan numuneler .....	55
<b>Şekil 4.11.</b> Belirli oranlarda atık malzeme kullanılan polyester kompozit numunelerin pulse titreşim ölçüm sistemi ile belirlenen sönüm oranı sonuçları .....	56

## ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 3.1. Doymamış polyester, hızlandırıcı ve sertleştiriciye ait özellikler .....	25
Çizelge 3.2. Kendirin bazı özellikleri .....	27
Çizelge 3.3. Deneilerde kullanılan uçucu külün bazı geoteknik özellikleri.....	28
Çizelge 3.4. Deneilerde kullanılan uçucu külün kimyasal bileşenleri .....	29
Çizelge 3.5. Deneilerde kullanılan içi boş kalıpların boyutları.....	31
Çizelge 3.6. Kazık malzemesi olarak kullanılan karışımların oranları .....	33
Çizelge 3.7. Lif ve uçucu kül katkılı polyester esaslı kompozit numuneler .....	34
Çizelge 3.8. İçi boş kazık numunelere ait karışım oranları.....	37
Çizelge 3.9. Lif ve uçucu kül katkılı polyester esaslı içi boş kazık numuneler.....	39
Çizelge 4.1. Belirli oranlarda atık malzeme kullanılan polyester kompozit kazıkların serbest basınç mukavemetlerinin belirlenmesi .....	46
Çizelge 4.2. İçi boş kazık numunelerin serbest basınç mukavemetleri .....	53
Çizelge 4.3. Belirli oranlarda atık malzeme kullanılan polyester kompozit numunelerin pulse titreşim ölçüm sistemi ile belirlenen sönüm oranı sonuçları.....	55
Çizelge 4.4. Belirli oranlarda atık malzeme kullanılan polyester kompozit numunelerin SEM görüntüleri .....	57

## 1. GİRİŞ

Kazıklı temeller, taşıma gücü zayıf olan temel zeminlerin geçilmesiyle daha derinde yer alan ve taşıma gücü yüksek olan temel zeminlerine yapı yükünü aktarmaya yarayan derin temel türüdür.

Doğal kaynakların gün geçtikçe azalması, geleneksel kazık türlerine (beton, çelik vs.) alternatif olarak farklı malzemelerden imal edilmesi son zamanlarda literatürde yer bulmuştur. Öte yandan çevre kirliliğine sebebiyet veren birçok atık malzeme alternatif kazık türlerinde kullanılması fikrîde diğer alanlarda olduğu gibi bu alanda da kabul görmektedir. Bu nedenler göz önünde bulundurulduğunda hem atıkların değerlendirilmesi hem de çevre kirliliğinin önlenmesi açısından kendir, lastik ve uçucu kül gibi farklı atıkların polimer içerisine ilave edilerek içi boş kazık yapımı bu çalışmanın amacı olarak belirlenmiştir.

### 1.1. Amaç ve Kapsam

Bu çalışmada laboratuvarında çeşitli deneyler yapılarak içi boş kazık numuneler üretilip, bu kazıkların kullanılabilirliği deneysel olarak araştırılmıştır. Bu araştırmanın amacı;

- Atık malzemelerin içi boş kazıklarda kullanılabilirliğini araştırmak,
- Karışım oranlarının kazık kapasitelerine etkisini araştırmak,
- İçi boş kazık numunelerin çap ve boylarının kazık kapasitelerine etkisini araştırmak,

Çalışma kapsamında içi boş kazıklarda kullanılacak malzemenin çevre şartlarına uyumlu ve kolayca temin edilebilecek olması dikkat edilmiştir. İçi boş kazıkların üretiminde çeşitli katkı malzemeleriyle beraber kullanıldığında yüksek mukavemet değerleri veren polyester malzemesi kullanılmıştır. Malzeme karışım oranlarının belirlemek üzere içi dolu (D=38 mm, L=76 mm) numunelerden, 57 farklı tipte numune

üretilip serbest basınç deneyine tabii tutulmuştur. Elde edilen numuneler uygun şartlarda 7 günlük kürden sonra serbest basınç dayanımları belirlenmiştir. Serbest basınç deney sonuçlarından en iyi 11 numune karışımları seçimi ve bu karışımlar kullanılarak 4 farklı çapta (35 mm, 50 mm, 60 mm, 70 mm), 4 farklı boyda (70 mm, 100 mm, 120 mm, 140 mm) olmak üzere toplam 44 adet içi boş kazık numuneleri üretilmiştir. Sonuçlar ışığında içi boş kazıkların üretiminde alternatif kompozit malzeme kullanılmasının olumlu olabileceği belirlenmiştir.

## 1.2. Kaynak Özetleri

Son yıllarda kazık temelleri konu alan model deney ve arazi uygulama çalışmaları artarak devam etmektedir. Bu çalışmaların haricinde kazık malzemesini konu edinen çalışmalar da literatürde yer almaktadır. Kompozit malzemeden imal edilmiş kazıkları yani katkılı polimer kazıkları konu alan özellikle içi boş kazıklar üzerine yapılan çalışmalar sınırlı sayıdadır. Bu bölümde araştırma konusu ile ilgili olarak araştırmacılar tarafından yapılmış çalışmalar özetlenerek sonuçları verilmiştir.

Lin and Liao (2004) yapmış oldukları çalışmada kompozit malzemelerle sargılı beton kolonların basınç dayanımlarını doğru tahmini için modelleme yapmışlardır ve deneyleri tanımlanmışlardır. Tek doğrultulu basınç altında ki davranışları arasındaki farkı belirlemek için beton kolonların ve RC (Beton içi boş kazık) kolonların etrafını FRP ile sargılamışlardır. Deneysel sonuçlardan her iki numune tipinin FRP sargılamalarının benzer olduklarını bulmuşlardır. FRP sargılı beton kolonların davranışını belirlemek için kullanılan analiz yöntemi FRP sargılı RC kolonların analiz yöntemine benzer olarak bir yöntem kullanılabilir olduğunu ifade etmişlerdir. FRP kullanılarak sargılama yöntemi ideal bir yönteminin olduğunu elde etmişler ve FRP, RC kolonların etrafını iyi sargılamışlardır. Araştırmacılar yapmış oldukları çalışmada deneysel gerilme değerleri ile modellerle sunulan gerilme değerleri arasında farklılıklar olduğunu bulmuşlardır ve verilen modellemelerin FRP sargılı beton kolonların kırılma gerilme tahminleri için ideal yaklaşımlar olduğunu elde belirlemişlerdir.

Pando *et al.* (2003), kompozit kazıkların yük taşıma testlerinde meydana gelen eksiklikler nedeniyle Virginia'da kazık yükleme test programları uygulamışlardır. Yapılan deneylerde, 1 adet ön gerilmeli beton kazık ile 2 farklı tipteki kompozit kazıklar aksel ve yanal yüklere maruz bırakılmışlardır. Bu kompozit kazıklardan bir tanesi, yapı çeliği ile güçlendirilmiş ve beton ile doldurulmuş olan FRP içi boş kazık olup, ikincisi ise aynı şekilde yapı çelikleri ile güçlendirilmiş polielitenden oluşturulmuş bir kompozit kazıktır. Ön gerilmeli beton kazık ile FRP kazıklar yük aktarım ve uzun dönem bozunma davranışlarının tespit edilmesi için bir köprüye yerleştirilmişlerdir. Yapılan çalışma sonucunda; ön gerilmeli beton kazık ile FRP kazığın aksel gerilme değerleri birbirine yakın olduğu ortaya çıkmış ve plastik kazığın aksel gerilme değerinin yaklaşık 2,5 katı değer elde edilmiştir. Bununla birlikte statik yanal yük testlerinde FRP kazık ve ön gerilmeli beton kazık da aynı yük-eğilme değerleri gösterirken, Plastik kazık ise aynı yanal yük değerlerinde daha fazla eğilme değerleri göstermişlerdir.

Lopez-Anido *et al.* (2005), Ahşap kazıkların yapısal iyileştirilmesi ile korunması konusunda etkili metotlar geliştirmeye çalışmışlardır. Ahşap kazıkları onarım metodu olarak lif katkılı polimer (yani FRP) kompozit kılıflar kullanılmıştır. Gerekli sistem performansı sağlanması için lif, reçine, tutkal ve kılıf sistemli bir şekilde analiz edilmiştir. Daha sonra hasar görmüş olan kazığın etrafına FRP kompozit kılıflar yerleştirilmiştir. Yapılan bu çalışma sonucunda ahşap kazıklar için önerilen FRP kompozit materyallerde yapısal koruma ve iyileşme gerçekleştiği gözlemlenmiştir. Aynı zamanda bu çalışmada ahşap kazıklara koruyucu kimyasallar uygulanmadığından, bu uygulamanın çevreye zarar vermediği görülmüştür.

Teng and Hu (2007) yaptıkları bu çalışmalarında çelik boruları iyileştirmek için kullanılan FRP kılıfların avantajlarını ifade etmek için aksel basınç test sonuçlarını tanımlamışlardır. Ayrıca sınırlı eleman modellerini tartışmışlardır. Hem test sonuçları hem de nümerik sonuçlara göre dairesel içi boş çelik boruların dayanım ve güçlendirilebilmeleri için uygun özelliklerde olduklarını elde etmişlerdir.

Teng et al (2007) yapmış oldukları çalışmalarda dış kısmı FRP den oluşan iç kısmı çelikten oluşan ve FRP ile çelik malzeme arası betonla doldurulan kolonlar oluşturmuşlardır. Bu yeni hibrit kolon sistemi mevcut olan kolonların dezavantajlarını ortadan kaldırmak için 3 farklı malzemelerden oluşturulmuşlardır. Bu çalışmada belirtilen konular üzerine yapılan aksel basınç test sonuçları beklenen avantajları ifade etmek için çalışmada sunulmuşlardır. Yapılan test çalışmalarına göre FRP ve çelik malzeme arasına yerleştirilen betonun etkili olduğu ve betonla sargılanmış iç kısımdaki çelik malzemelerin burkulması geciktirildiğini elde etmişlerdir. Ayrıca test sonuçlarına göre beton kolonların FRP ve çelik ile sargılanması malzemenin yapısal davranışını iyileştirmiş aynı zamanda ek kesme dirençleri oluşturmuşlardır.

Seica and Packer (2007), FRP materyallerin yapısal davranışlarını ile çelik elemanları iyileştirme konusunda uygun olup olmadıklarını araştırmak için deneyler yapmışlardır. Deneyler, su altındaki tamir yöntemleri ile ilgili tekniklere göre gerçekleştirilmiş olup, sonuç olarak FRP materyallerinin çelik kazıkların iyileştirilmesi için uygun oldukları ispat edilmiştir.

Sen and Mullins (2007), yaptıkları çalışmada, su altındaki kazıkların onarımı için FRP kompozitlerin gerçekleştirilebilirliğini araştırmışlardır. Bu çalışmada karbon ve cam lifler kullanılmış olup, bu malzemeleri 2 farklı yöntemle; önceden uygulama ve ıslak kaplama yöntemleriyle uygulamışlardır. Yapılan deneylerin sonucunda FRP kompozitlerin; yüksek dayanım, yüksek korozyon direnci ve hafif olmaları sayesinde yapısal tamirler ve acil tamirler için uygun oldukları bulunmuştur.

Robinson *et al* (2008), Elizabeth, New Jersey de yapılan arazi deneylerinde kazıkların yükleme ve yük test davranışları çalışmışlardır. 12 adet kazığa dinamik testler ve 3 adet kazığa da statik testler uygulamışlardır. Yapılan bu çalışmada aksel yük uygulamalarında plastik kazıkların kullanılabilirliği belirlenmiştir. Polimer kazıkların dinamik testler de ölçülen değerlere bakıldığında ise basınç dalga hızlarında sıra dışı azalma görülmüştür. Ayrıca statik testlerde de tüm kazıkların taşıma güç değerlerinin benzer olduğu görülmüştür.



Guades et al (2012), laboratuvar çalışmalarında, eksenel darbe altındaki kare kompozit içi boş kazıkların kalıcı özelliklerini deneyler yaparak araştırmışlardır. Bu içi boş kazıkların darbe sonrası davranışları üzerine olan etkileri yani darbe sayıları, tokmak kütlesi, yük sayıları gibi hasar unsurları üzerinde durulmuştur. Akabinde deney numuneleri alınarak kalıcı basınç çekme ve eğilme özelliklerini belirlemek için statik olarak testler uygulamışlar. Tüm sonuçlar; vuruş sayısının, darbe enerjisinin ve tokmak kütlesinin içi boş kazıkların kalıcı dayanımını yadsınamaz derecede etkili olduğunu göstermiştir. Darbe uygulanan kazıkların kalıcı basınç, çekme ve eğilme dayanımlarının maksimum düşme değerleri sırasıyla %6,8, %0,3 ve %10 olarak tespit edilmiştir.

Giraldo and Rayhani (2014), çalışmalarında, model lif katkılı polimer (FRP) ve çelik kazıklar üzerine statik eksenel ve yatay kazık yükleme testleri yapmışlardır. Çalışmanın amacı, yumuşak kil zemin içerisindeki FRP kazıklarının geoteknik sürtünme performanslarını içi boş çelik kazıklarla karşılaştırmaktır. İçi boş FRP kazıkları farklı lif yönelimleri ile karbon ile cam lifler kullanılarak üretilmiştir. Kazık yükleme testleri 700 mm uzunluğunda 55 mm çapında küçük ölçekli kazıklar kullanılarak büyük sarsılmamış kil örneklerinde uygulanmıştır. FRP kazıkların eksenel taşıma kapasitelerinin çelik kazıklarla karşılaştırıldığı zaman %5-40 daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Yatay yükleme altında FRP kazıklar çelik kazıklar ile karşılaştırıldığında ise artan bükülmeler ortaya çıkmıştır. Sonuçta FRP kazıklarının eksenel kapasiteleri ele alındığında yük taşıma elemanları olarak uygulanabilmesi için yeterli özelliklerde olduğu tespit edilmiştir. Aynı zamanda bu kazıkların yapısal bütünlüğü ve aşırı bükülmelerin (burkulma) daha fazla araştırılması gerektiği üzerinde durulmuştur.

Ersoy ve Yıldırım (2014) bu çalışmada, şev içerisine yerleştirilen düşey kazıkların yanal zemin etkisini bulabilmek için kesme kutusunda model deneyler yapılmıştır. Kazıklar içi boş alüminyum borulardan oluşmaktadır ve kazık çapları 35 mm, et kalınlığı 5 mm, boy uzunlukları ise 800 mm'dir. Yanal yüke maruz kalan kazık grubu tek sıra halinde 4 kazıkla meydana gelmiştir. Model deneyde tek sıra kazık grubu yanal yüklenecek oluşan kesit tesirleri ve yer değiştirmeler kazık kesiti boyunca belirlenen aralıklarla

yerleştirilmiş olan şekil değiştirme ölçer ve yer değiştirme ölçer yardımı ile bulunup elde edilen sonuçlar kaynaklarda önerilen yöntemlerle karşılaştırılmıştır.

Aksoy vd (2015), çalışmasında, FRP den üretilmiş model kazıkları %10, %40 ve %65 rölatif sıklıktaki hazırlanan dere kumu içerisine düşey olarak yüklemişlerdir. Yapılan deneyler sayesinde FRP kazıklı radye temellerin oturma ve taşıma gücü grafikleri elde edilmiştir. Yük ve oturmalar ile zemin tabakasında ortaya çıkan gerilme değişimleri belirlenmiştir. Deneyler tamamlandığında zemin rölatif sıklığı arttıkça temelin taşıma kapasitesinin arttığı gözlemlenmiştir. Zemin kütlelerinde meydana gelen maksimum gerilmeler, kazık uç noktalarına yakın kısımlarda zeminin artan sıklığı ile çok az miktarda artış olduğu gözlemlenirken, kazık uçlarına en uzak noktada ise artan rölatif sıklıkla ölçülen değerlerin daha fazla artış gösterdiği tespit edilmiştir.

Irawan *et al.* (2015) bükülmüş kazık (spun pile), bina ve köprü gibi yapılarda çok yaygın olarak kullanılan kazık çeşitlerinden biridir. Bükülmüş temel kazığı, içi boş dairesel bölümü olan ön gerilmeli bir beton kazığıdır. Bu çalışma, 80'lerden bugüne kadar yapılan bükülmüş kazığı ile ilgili araştırma geliştirmelerine genel bir bakış sağlar. Bu genel bakış, deprem yüklerine ya da boyuna donatı ve sınırlamaya karşı güç ve dayanıklılığı artırma yöntemleriyle ilgilidir. Bunlara ek olarak, bu çalışma bükülmüş kazık sismik yükler yüzünden başarısız kalıplarını tartışır. Sonuç olarak bu çalışma, araştırmacılar tarafından yapılan araştırma konularının kapsamını anlama kaynağı olabilir. Böylece, bu bakış açısı ile sismik yükleri taşıyan eğilmiş temel kazığının performansını iyileştirmek için yapılacak gelecek çalışmada yeni fikirler elde edilebilir.

Vijay et al (2016), yaptığı arazi çalışmalarında korozyona uğrayan çelik kazıkların etrafına cam lif katkılı polimer kılıflar yerleştirmişlerdir. GFRP kılıf ve çelik kazıklar arasında oluşan boşluğa kazıkları korumak ve dayanımı artırmak için kendiliğinden yerleşen beton ile doldurmuşlardır. Yapılan deneylerde beton dayanımını artırmak ve yük transfer mekanizmasını değerlendirmek için FRP sargılı sistem ve polimer kılıflar tarafından sarılanan I profil çelikler ile oluşturulmuş beton silindir üzerine

uygulanmıştır. GFRP kılıf kullanılması sayesinde köprülerin yeniden inşa maliyeti azaltılmış ve bununla birlikte taşıma kapasitesi de artırılmıştır.



## **2. KURAMSAL TEMELLER**

### **2.1. Kazıklı Temeller**

Kazıklı temeller, zemin taşıma gücünün yetersiz olduğu, temel derinliği bakımından yüzeysel temellerin uygulanabilirliğinin olmadığı, yapıların oturmaya hassas olduğu ve zemine gelen yapı yüklerinden dolayı deprem anında zemin üst tabakalarında sıvılaşma ihtimali olduğu durumlarda uygulanan bir derin temel türüdür. Bu, uygulanan gerilmeleri devam ettirebilmek için yeteri kadar dayanıma ve deformasyona izin verilebilir sınırlarda tutmak için yeteri kadar rijitliğe sahip olması gerektiği söylenebilir.

Taşıyıcı tabakanın temel çukuru kazılamayacak kadar derinde olduğu ve yüzeysel temellerin ekonomik olmadığı durumlarda kazıklı temellerin kullanılması yolu en uygun çözümdür.

#### **2.1.1. Kazıklı temellerin tarihçesi**

İnşaat mühendisliğinin gelişmesinden çok önce insanlar uygun temel ortamının kaya olduğunu ve özellikle önemli ağır yapı temellerinin ana kayaya kadar uzatılması gerektiğini kural edinmişlerdir.

Zeminin temel altında yeterli taşıma gücü oluşturamadığı zayıf zeminlerde binanın yerinin değiştirilmesi de çağlar boyunca standart uygulama olarak kabul görmüştür. Ancak örneğin Çin’de, eski çağlarda zayıf zeminlerin iyileştirilmesi için zemine bambu çubuklar çakıldığı vb. bilgiler bulunmaktadır.

Ahşap kazıklar mühendislik tarihinin en eski yapı elemanları olarak kullanılmıştır. Yapılan incelemelerde Neolitik Çağ’da (12000 yıl önce) bugünkü İsviçre’de insanların saldırganlardan korunmak için sığ göllerin ortasına ahşap kazık çakarak barınaklarını bunların üzerine yapı inşa ettiklerini göstermektedir.

Ahşap kazık dönemini, çakma ancak demir ve çelik kazıklar devam ettirmişlerdir. Çelik kazıklar günümüzde de ABD başta olmak üzere birçok ülkede kullanılmaktadır. Betonarme kazıklar önce hazır çakma, sonra delme-yerinde dökme tipler olarak geliştirilip, bu kazıklar arasında 1897'de A.A.Raymond ve 1908'de E. Frankignoul tarafından geliştirilen beton ve betonarme tipler günümüzde halen kullanılmaktadır.

Kazıklı temellerin göstermiş olduğu bu gelişmeler neticesinde daha fazla yapı yüklerinin taşındığı ve kötü zemin koşullarında etkili olarak kullanılabilen yeni bir hal almışlardır. Ayrıca kazıklı temeller dinamik, yatay yüklerin etkin olduğu çeşitli su yapılarında da geniş kullanım alanı bulmuştur.

### **2.1.2. Kazıklı temellerin işlevleri ve kullanıldığı yerler**

Kazıklı temeller, üst yapıdan gelen yatay ve düşey yükleri sağlam zemin veya kaya tabakasına aktararak yeterli taşıma gücünün sahip ve oturma değerlerinin sınır değerler içerisinde kalmasını sağlayan derin temel çeşididir. Kazığın taşıma gücü, zemin davranışına ve kesit parametrelerine göre belirlenip, bunun yanında kazıklarda oluşan yükler altında içinde bulunduğu zeminle beraber ortaya çıkan yatay ve düşey yer değiştirmelerin sınır değerler altında bulunması da kazık taşıma gücünün bulunmasında etkili olur.

Üst yapıdan gelen aksel basınç kuvvetleri, kazıklı temellere iletilir. Kazıklar; su yapılarında, iksa duvarlarında, palplanş perde yapımında ve şev stabilitesi gibi bazı mühendislik uygulamalarında ise suyun aşındırma gücü nedeniyle oyulma tehlikesinin, dalga ve deprem güçlerinin oluşturduğu yüklerin, eğilme momentlerinin etkisi altında kalabildikleri gibi, aynı zamanda çekme kuvvetlerinin de etkisi altında kalabilirler. Ayrıca, ani oturma ve kabarmanın ortaya çıktığı zeminlerde üst yapı yüklerini aktif bölge olarak tanımlanan bölgenin dışına aktarmak için de kazıklı temellerden faydalanılır. Bununla birlikte, zemini iyileştirerek yumuşak veya gevşek zeminlerin sağlamlaştırılmasını sağlamak da kazıklı temellerin işlevleri arasındadır (Coduto 2001).

Kazıklı temellerin kullanıldığı yerler detaylı olarak aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- Üst yapıdan gelen yüklerin yüzeysel temeller ile aktarılamayacağı durumlarda, kazıklı temeller kullanılır.
- Su ile beraber aynı ortamda bulunan bazı zeminlerde yükleri farklı zemin tabakalarına taşınmasında iyi bir çözümdür.
- Köprü ve viyadük temel pabuçlarının altındaki zeminin oyulmasına engel olması için kazık planlanabilir.
- Deniz yapılarında, büyük terminallerde dinamik ve suyun kaldırma kuvveti gibi yüklerle karşı koymak için kullanılırlar.
- Sıvılaşma tehlikesinin bulunduğu bölgelerde de üstten gelen yükleri sağlam tabakalara iletebilen kazıklardan yararlanılabilir ( Anonim 2017).

### **2.1.3. Kazık temel çeşitleri**

Amaç ve uygulama yöntemleri bakımından kazıklı temellerin çok çeşitli olması ve alt gruplar halinde sınıflandırılması gerekli olmuştur. Kazıklı temeller aşağıdaki gibi gruplandırılmışlardır.

- İmal edildikleri malzemelere göre,
- Zemine yerleştirme şekillerine göre,
- Zemine yerleşim özelliklerine göre kazıklar

#### **2.1.3.a. İmal edildikleri malzemeye göre kazık temeller**

##### **Ahşap Kazıklar:**

Ahşap en eski yapı malzemelerinden biri olup kazık yapımında da kullanılan doğal bir yapı malzemesidir. Ahşaptan hem geçici hem de kalıcı kazıklar üretilebilir. Ahşap kazıklar çürüme, haşereler ve mantar oluşumu vb. gibi olumsuz etkilere karşı önlem

alınması gerekir. Bu olumsuz etkilerden korumak amacı ile ahşap kazık kreozot denilen bir koruyucu tabaka ile kaplanmalıdır. Ahşap kazığı sert-çakıllı bir zemine çakılacak olursa bu koruyucu tabaka zarar görebilir. Bu gibi durumda ise muhafaza borusu ile çakılma işlemi yapılmalıdır. Ahşap kazıkların çakma esnasında, kazık ucunun zarar görmemesi için çarık kullanılmalıdır. Ahşap kazıklar için en uygun ağaç Köknar ve Meşedir (Kanıt 2003).

Ahşap kazıklar killi zeminlerde kazık-zemin arasında iyi bir adezyon sağlar. Ancak bu tür üstünlüklerine rağmen ahşap kazıklar su seviyesinin alçalması durumunda kolayca tahribata uğramaktadırlar. Bu yüzden özel işlem uygulanmadan su seviyesinin değiştiği, gel-git olaylarının sıkça yaşandığı alanlarda ahşap kazıklar daha dikkatli kullanılmalıdır. Ahşap kazıkların taşıma gücü yüksektir. Yaklaşık olarak 20–25 cm çapındaki bir kazık 200–300 kN civarında yük taşıyabilmektedir (Birand 2007).

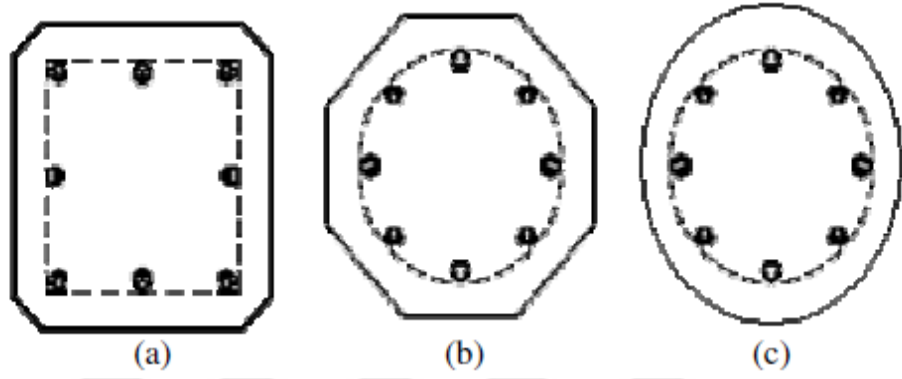
TS EN 12699 ahşap kazıkların ortalama çaplarını kazık boylarına bağlı olarak belirtmiştir. Boyu 6 m den kısa kazıklarda ortalama çap  $D=25 \text{ cm} \pm 2 \text{ cm}$ , boyu 6 m den uzun kazıklarda ortalama çap  $D=(20+L) \text{ cm} \pm 2 \text{ cm}$  olmalıdır. Burada L metre cinsinde kazığın boyunu göstermektedir (Toğrol ve Tan 2009).

### **Betonarme Kazıklar:**

Betonarme kazıklar geniş uygulama alanı olan kazık tipidir. Kazık uzunluğunun zemin şartlarına göre ayarlanması ve yer altı suyu etkisinin diğer kazıklara göre daha az olması nedeniyle betonarme kazıklar üstün özellik gösterirler. En yaygın olarak betonarme çakma kazıklar ve yerinde dökme betonarme kazıklar olarak kullanılmaktadır.

Beton kazıklar hazır döküm yapılmış olabilecekleri gibi yerinde dökülen betonla da imal edilebilirler. Prekast kazıklarda boy değişimi yapmak oldukça güç bir işlemdir. Ayrıca taşınma sırasında hasar görmesi de yüksek bir ihtimaldir. Bu kazıklar çakma işlemi sırasında boşluk oranı yüksek granüler zeminlerde boşlukların giderilmesi için de ek bir fayda sağlarlar. Prekast kazıklar genellikle en kesit geometrik şekilleri kare ve

çokgen olabilir ve demir donatılı ya da donatısız olarak da kullanılabilir. Demir donatı kullanılması kazıklar tasıma gücünü artırırken, taşınması sırasında oluşabilecek zararlardan da korur. Beton döküldükten sonra donatılar ön gerilmeye tabi tutulup fazla donatılardan kurtarılarak kazıkta ek bir sıkışma da sağlanabilir. Şekil'2.1 de sık kullanılan beton kazıp tipleri verilmiştir.



**Şekil 2.1.** Sık kullanılan beton kazıklar  
(a) kare kesitli, (b) altıgen kesitli, (c) daire kesitli

#### a) Betonarme çakma kazıklar:

Betonarme çakma kazıklar, kazık dökülmesine uygun bir ortamda hazırlanır, sonra çakılacak alana taşınır. İnşaat alanının uygun olması halinde kazıklar şantiyede de hazır prefabrik bir şekilde üretilebilir. Betonarme kazıklar üst yapıdan gelen büyük yükleri, zayıf zeminlerin altındaki sağlam katmanlara taşımada çok faydalıdır. Betonarme çakma kazıklar genelde kare, dairesel veya sekizgen kesitte üretilirler. Kazıkların boyları ve çapları imal ve çakma şartlarına bağlı olarak seçilirler. Kazıklar ağırlığından bazen içi boş kesitli üretilerek hafiflik sağlanır (Toğrol ve Tan 2009).

Betonarme çakma kazıkların boyutları ve donatı miktarlarının belirlenmesinde, kazığın depolanma ve taşınması esnasında maruz kalacağı gerilmeler de önemli bir role sahiptir. Kazığa yerleştirilecek donatı, kazığın kaldırılması anında meydana gelecek eğilme momentlerini karşılayabilmelidir (Toğrol ve Tan 2009).



Betonarme çakma kazıklar, çakma işlemi yapılırken hasar görme olasılıkları yüksek olmasından dolayı taşıma gücünü de etkileyen zorlu çakma koşulları altında kullanıma elverişli olmamaktadır. Bu negatif niteliklere rağmen yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Bunun nedeni ise çelik kazıklardan daha az maliyetli ve daha yüksek taşıma güçlerine sahip olmalarıdır (Coduto 2001).

Betonarme çakma kazıklar çakma işlemi esnasında sağlam olan tabakaya minimum 3 m, yumuşak olan tabakaya ise minimum 6 m saplanmalıdır. Çakma sırasında su kullanılıyorsa, boru ucu 18 mm olan 7 bar basınçlı su püskürtme mekanizması kullanılmalıdır (Toğrol ve Tan 2009).

#### **b) Yerinde dökme betonarme kazıklar:**

Betonarme yerinde dökme kazıkların birçok çeşidi vardır ve bu kazıklar imal edilirken, kaplama borusu bazı kazık tiplerinde zemine bırakılırken bazılarında ise kazık imal edildikten sonra zemin içerisinden çıkarılır (Kanıt 2003).

Yerinde dökülen çakma kazık, zemine sokulan ucu kapalı kaplama borusunun şahmerdan yardımıyla hidrolik veya titreşimli bir çekiç aracılığıyla hazırlanan kazıklara denir. Zemine ucu açık kaplama borusu sokularak ve bu borunun içinin temizlenmesiyle oluşan kazığa fore kazık denir (Toğrol ve Tan 2009).

Yerinde dökülen betonarme çakma kazıklar üç gruba ayrılır. Bunlar;

- Kaplama borusu olmayan kazıklar
- Kaplama borusu zemin içerisinde olan kazıklar,
- Kaplama borusu zeminden daha sonra çıkarılan kazıklardır.

Betonarme yerinde dökme kazıkların donatısı, genellikle önceden hazırlanıp, beton dökümüne başlanılmadan kazık çukuru yerleştirilir. Betonlama işlemi, tremi borusu veya beton pompası ile kazık çukuru alt kısmından başlanarak yukarı doğru uygulanır.

Dökülen betonun kazık çukurunu tıkaması, homejen dağılımı yabancı maddelerin karışmaması gerekmektedir (Toğrol ve Tan 2009).

Fore kazıklar (sondaj kazıkları, delme kazıklar) da zeminde yanal bir dış etki oluşturmeyen tipten kazıklardır. Basitçe, delik açabilmek için çeşitli delme teknikleri kullanılarak zeminde açılan delikte, boru ya da kılıfı çakarak söz konusu olan bu deliğe donatı yerleştirilir ve ardından beton dökümüne deliğin en altından başlanarak betonla doldurulur ve böylece kazık oluşur (Üzel 2011).

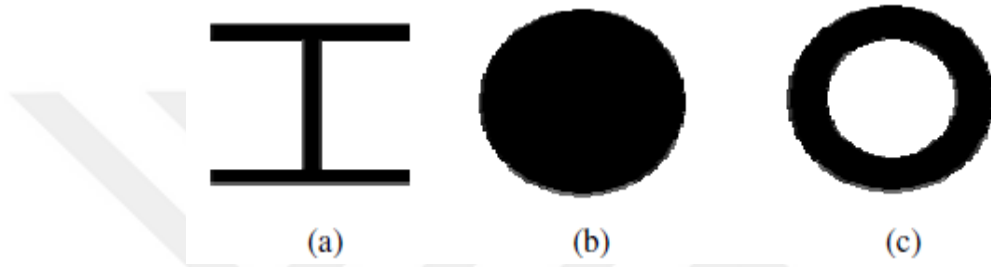
### **Çelik kazıklar:**

Çakma kazık olarak kullanılan çelik kazıklar, hafif, nakliyesi kolay ve çok büyük yüklerin aktarılmasını sağlayabildiğinden kullanışlıdır. Çelik kazıklar Şekil 2.2'de H profili, dairesel boru veya kutu şeklinde olabilir. Boru veya kutu şeklinde olan çelik kazıkların uçları kapalı veya açık olabilir (Birand 2007).

Çelik kazıkların boylarını uzatmak gerektiğinde perçin, bulon veya kaynak yapılarak uzamaları sağlanır. Ancak oksijen ve zararlı madde içeren yeraltı suyundan dolayı çelik kazıklarda korozyona maruz kalırlar. Dolayısıyla çakıllı-kumlu zeminlerde çelik kazıklar uzun süre faydalanılamayabilir. Korozyondan korumak için çelik kazık beton veya bitümlü malzemelerle kaplanabilir (Kanit 2003).

Zemin tabanı kazılarak veya ters su sirkülasyonu uygulanarak, ucu açık kutu ve boru kesitli kazıklar daha kolay çakılabilir. Bu tip kazıkların daha büyük yüklere maruz kalmaları durumunda uçları kapalı olarak çakılabilirler. Kazıkların derin tabakalara çakılmaları durumunda uçları açık bırakılır, ancak kazık uç kısmından belli uzunlukta ortası delik bir plaka ile uç mukavemeti sağlanır. Bu ortası delik plaka aracılığıyla çakma esnasında kazık ucunda sıkışan su, silt veya yumuşak kilin çıkışı sağlanacaktır (Toğrol ve Tan 2009).

Çakma sırasında çelik kazıkların zarar görmemesi için uçları takviye edilirler. Çelik kazıkları uzatma gerektiğinde perçin, bulon veya kaynak yapılarak uzatılırlar. Bu kazıklar yüksek yük taşıma kapasitesine sahip uç kazıkları olarak kullanılabilirler. Çelik kazıklar yeraltı su bulunması durumunda korozyona hassastırlar, ancak örselenmiş veya dolgu zeminlerde oksijen fazla olması dolayısıyla korozyon fazla, sert katı killerde ise oksijenin azlığı nedeni ile korozyona daha az maruz kalırlar (Birand 2007).



**Şekil 2.2.** Sık kullanılan çelik kazıklar  
(a) H kesitli, (b) daire kesitli dolu gövdeli, (c) daire kesitli boru tipi (Birand 2007)

### **Kompozit kazıklar:**

Kazıklı temeller de genel olarak geleneksel kazıklar (ahşap, betonarme, çelik) kullanılmaktadır. Ancak korozyon ve sulu zemin ortamlarında çelik kazıkların korozyona uğraması, ahşap kazıkların çürümesi ve betonarme kazıkların bozulması gibi problemlerle karşılaşabilmektedir. Bahsedilen bozulmalar kazıkların kesit alanlarında azalma, malzemelerin hasara uğraması ve hatta kırılmalara neden olmaktadır. Bunun yanında geleneksel kazıkların tamir ve güçlendirme işleri de ciddi maliyetler içermektedir. Bu nedenle bu malzemelere alternatif malzeme arayışı içerisine girilmiş ve uzun servis ömürleri, az bakım gerektirmesi, çevre dostu olmaları dolayısıyla birden fazla farklı malzeme kullanılarak yapılan kompozit kazıkların tercih edilmesi yoluna gidilmiştir (Guades *et al.* 2012).

Kompozit kazıklar, liman yapılarında, köprü altyapı projelendirmelerinde, geleneksel kazıkların hasar görmesi durumunda bu kazıkların değiştirilmeleri gibi birçok alanda kullanılmaktadır. Kompozit kazıklar bahsedilen birçok avantaj sağlamaları yanında

tasarım yönetmeliği ve ilk yapım maliyetinin yüksek olması gibi bazı dezavantajlarda göstermektedir (Giraldo 2013).

Mevcut kazık boyunun yeterli olmadığı durumlarda boy uzatmak için farklı malzemelerden üretilen kazıklar birbirine bağlantı yapılarak da uygulanırlar. Çelik(alt)-beton(üst) veya ahşap(alt)-beton(üst) olacak şekilde kazıklar oluşturulurlar. Birleşim bölgelerinin özel koruma gerektirmesi ve bu kısımlarda ek gerilmeler oluşması sebebiyle kullanımları önerilen bir kazık uygulama çeşidi değildir.

### **İçi Boş Kazık**

Betonarme (RC) içi boş kazıklar, iskeleler, köprüler, açık deniz platformları, liman terminalleri, rıhtımlar ve limanlar gibi okyanus mühendisliğinin birçok alanında giderek daha fazla uygulanmaktadır. Deniz ortamlarında, klorür iyonları, RC içi boş kazıkların yüzeylerinden beton kapak içinden takviye çeliğine doğru nüfuz eder. Klorür miktarı eşik seviyesine ulaştığında, çelik yüzey üzerindeki pasif film bozulur. Yeterli oksijen ve nem varsa, çelik korozyonu başlatılır ve nihayetinde betonarme, korozyon ürünlerinin genişlemesi ile kırılır. Genel olarak beton uygun şekilde üretildiğinde, sağlam beton klorür penetrasyonundan takviyeyi etkili bir şekilde koruyabilir. Bununla birlikte, gerçek ortamlarda, RC içi boş kazıklar, kaçınılmaz olarak, harici yükler ve iç çelik korozyonu gibi çeşitli fiziko-kimyasal mekanizmalarla kırılırlar ( Yue *et al* 2016).

Çeşitli şekillerde üretilen içi boş kazıklardan bir diğer türü de Pearson Pilings tarafından üretilen 203, - 600 mm arası çaplarda camlif esaslı içi boş FRP(Fiber Reinforced Plastik) kazıklardır. Pearson Pilings tarafından üretilen içi boş kazıklar, deniz alanlarında ve yerli projelerde yük taşıyıcı kazıklara ek olarak çamurluk kazıkları olarak kullanılmaktadır. Bu kazıkların 100 yıldan daha fazla ömrü olduğu tahmin edilmektedir ve bu kazıklar korozyona dayanıklıdır. Ayrıca sentetik dolgu ile takviye edildiğinde betonunkinden 13 GPa daha yüksek olan 28 GPa'lık bir Young Modülüne sahiptir (Zyka and Mohajerani 2016).

İçi boş FRP kazıklarının kurulumunda ve izlenmesinde az miktarda araştırma ve çalışma olmakla beraber, sistematik bir kurulum kılavuzu geliştirildiğinde deniz ortamlarında yük taşıyıcı uygulamalar için cazip ve uygulanabilir bir seçenek olarak görülebilir (Zyka and Mohajerani 2016).



**Şekil 2.3.** Dairesel ve kare kesitli içi boş kazık (Guades 2013)

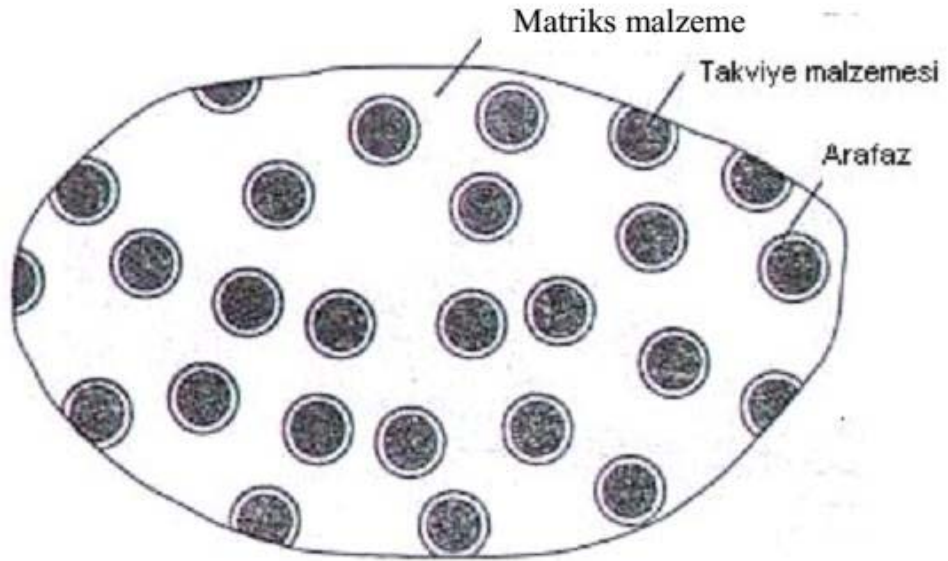
## 2.2. Kompozit Malzemeler

Kompozit malzemeler çok eski zamanlardan itibaren kullanılmıştır. M.Ö. 2800 yıllarda mısırlılar kompozit yapılar kullanmaya başlamıştır. Geçmişte yapılan binalar bilinen en yaygın ve tarihi kullanım alanlarıdır. Saman ile güçlendirilmiş çamurdan oluşturulan yapı bir kompozit örneğidir. Doğada bulunan kompozitlere örnek olarak çam ağacının gövdesi verilebilir. Çam ağaçları gövdelerinde yaz ve kış zamanlarında oluşan yaş halkaları bulunmaktadır. Oluşan bu yaş halkalarından kış halkaları sert ama gevrek, yaz halkaları yumuşak fakat sünektir. Bu yapı dolayısı ile çam ağaçları bu şekilde özelliğe sahip olmayan kavak ve kayın gibi ağaçlara göre daha iyi mekanik özelliklere sahiptir. Kompozit malzemelerin bugün günlük hayatta kullanılan en basit örnekleri ise bina yapımlarında kullanılan kum, kireç, çimento, taş ve demirden meydana gelen bina taşıyıcı yapılarında kullanılan kompozit yapılarıdır. Bir diğeri ise sıkça kullandığımız selüloz ve reçineden meydana getirilen kâğıttır (Şahin 2008).

Çok eski zamanlardan itibaren kompozit malzemelerin kullanılmasına rağmen bu malzemelerin daha yeni yeni araştırılmaya başlanmış ve kullanım alanları zaman geçtikçe artmaktadır. Özellikle 2. Dünya Savaşı sırasında kullanılan konvensiyonel malzemeler tek olarak kullanılırken gereken ihtiyaçları karşılayamaması ile kompozit malzemeler üzerine yapılan araştırmalar ve kullanımları artmaya başlamıştır. Günümüzde kompozit malzemelerin üretimi ve bu malzemelerin mekanik özelliklerinin iyileştirilmesi için yapılan çalışmalar artarak sürmektedir.

Çeşitli ve birbirinden ayrı malzeme özelliklerini birleştirilerek tek bir yapıda toplamak ve/veya bu malzemelerin birleşimi ile yeni bir malzeme özelliği elde etmek için, iki veya daha fazla malzemenin makro boyutlarda birleştirilmesi ile üretilen yeni malzemeler “Kompozit Malzeme” olarak isimlendirilirler. Kompozit malzemeler, mikroskobik olarak yapının değişik bölgelerinde değişen özelliklerde heterojen ve yöne bağlı olarak farklı özelliklere sahip anizotrop yapılarıdır (Şahin 2008).

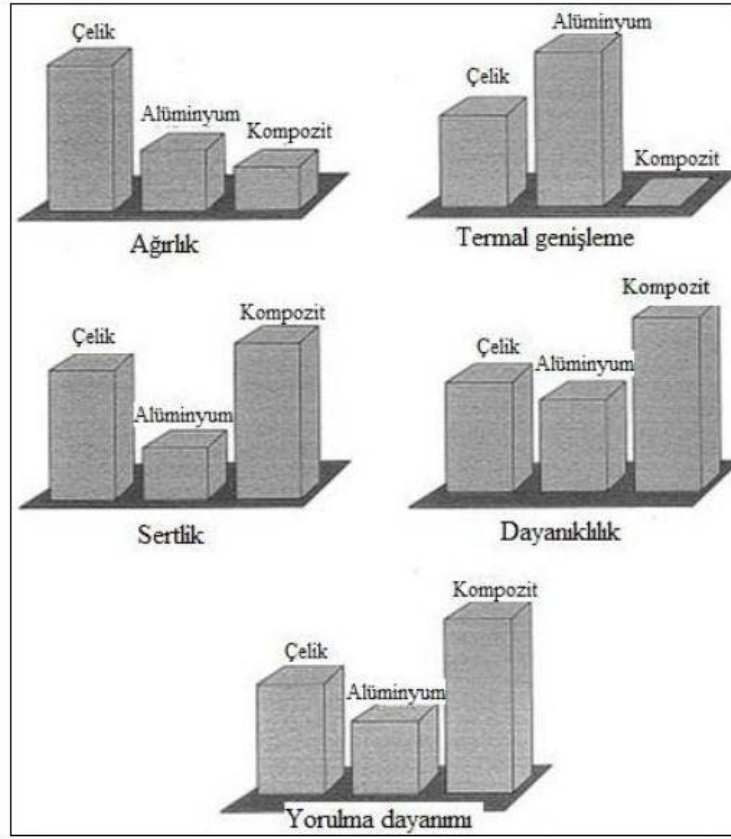
Moleküler ve atomal boyutlarda birleştirilen alaşımlar mikroskobik olarak homojen olduklarından kompozit malzeme olarak kabul edilmemektedirler. Kompozit malzemeler temel olarak matriks (ana yapı) ve takviye elemanından oluşmaktadır. Şekil 2.4.’de kompozit malzemelerin ana yapısı görülmektedir (Şahin 2008).



**Şekil 2.4.** Kompozit malzemenin fazları (Şahin 2008)

Kompozit malzemelerin oluşturulmasında, aşağıdaki özelliklerin bir veya bir kaçının oluşturulacak yeni malzemedede iyileştirilmesi ve geliştirilmesi hedeflenmektedir. İyileştirilmesi gereken özellikler aşağıda belirtilmiştir. Bunun yanında Şekil 2.5’de geleneksel malzemeler ile kompozit malzemelerin çeşitli özellikler bakımından karşılaştırması görölmektedir (Karasu 2014).

- Mekanik dayanımı
- Yorulma dayanımını
- Aşınma dayanımını
- Korozyon dayanımı
- Kırılma tokluğunu
- Yüksek sıcaklıktaki özellikler
- Isıl iletkenlik
- Elektrik iletkenliğini
- Akustik özellik
- Rijitlik
- Ağırlık azalması
- Estetik



Şekil 2.5. Çelik, alüminyum ve kompozit malzemelerin farklı özellikleri (Karasu 2014)

Yeni oluşturulan bir malzemenin kompozit olarak kabul edilmesi için;

- İnsan yapısı olmalıdır,
- En az iki veya daha fazla, mekanik özellikleri veya fiziksel yapısı ayrı olan malzemelerin birbirleri ile birleştirilmesi ve bu birleşime katılan malzemelerin her birinin farklı ara yüzeye sahip olmaları,
- Kullanılan her bir malzemelerin tek başına sahip olamayacağı mekanik özelliklerin elde edilmesi,
- En iyi özellikleri elde etmek için bir malzemenin diğer malzeme içine kontrollü şekilde karıştırılması iki ayrı malzemedan oluşan karma (kompozit) bir malzeme oluşturulmalı,
- Kullanılan malzemelerden, kompoziti oluşturan elemanların en iyi özelliklerin bir arada bulunması gereklidir (Karasu 2014).



### 2.2.1. Lif katkılı kompozit malzemeler

Lif katkılı kompozitler, matris içinde yer alarak ortaya çıkmıştır. Liflerin kompozit kesitindeki yeri kompozit malzemenin dayanımı konusunda önemli bir rol oynar. Sürekli lifler yüksek dayanım sağlayabilmek için matris içinde birbirlerine paralel şekilde yerleştirilirken dik doğrultuda yer aldıklarında ise düşük dayanıma neden olurlar. Lif olarak adlandırılan malzemeler ASTM'de yer almaları için;

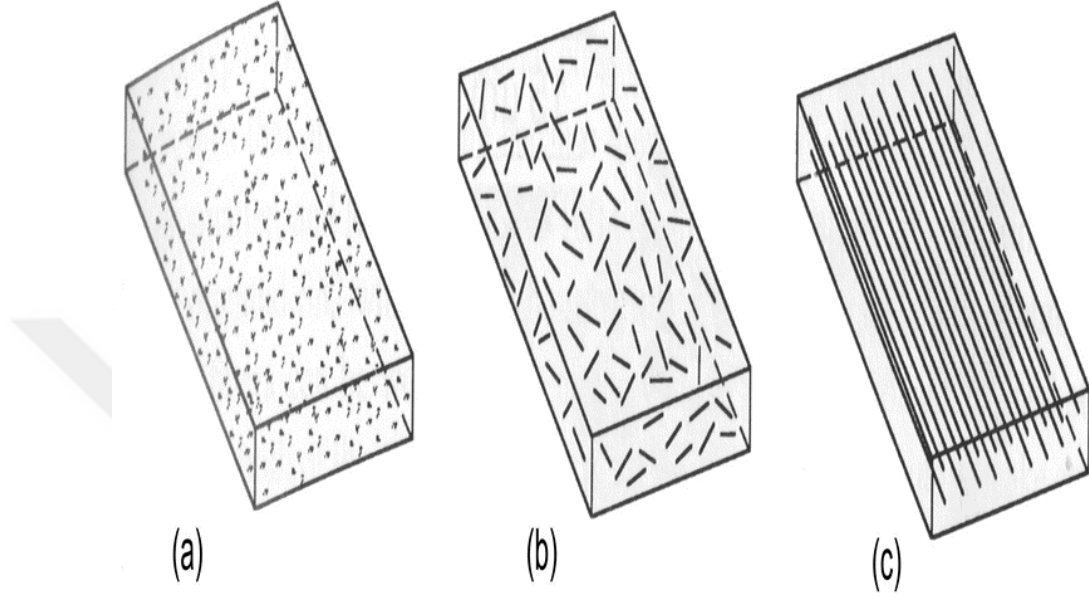
1. Uzunluk/kalınlık oranı minimum 10/1 olmalı,
2. Maksimum kesit alanı  $\leq 0.05$  olmalı,
3. Maksimum genişlik  $\leq 0,25$  mm olmalıdır.

İki boyutlu yerleştirilmiş (çapraz katlı) lif katkıyla her iki yönde de eşit dayanım sağlanırken, izotrop bir yapı oluşturmak için ise matriste gelişigüzel dağılmış kısa lifler kullanmak uygundur. Kompozit malzemelerin dayanımı liflerin dayanımı konusunda oldukça önemlidir. Bununla birlikte, matrisler tarafından liflere aktarılan yük miktarı uzunluk/çap oranı arttıkça artmaktadır. Liflerin yapısal kusurlarının olmaması da dayanım açısından çok önemlidir. Bu lifler uygun bir malzemeyle istenen boyutta taşıyıcı kütlelere dönüştürürler. Epoksi ve polyester söz konusu bağlayıcı olan malzemedir. Lif katkılı yani donatılı malzeme olarak kullanılan bu liflerin çoğunluğu güçlü kovalent bağa sahiptir (Şekil 2.6) (Ateş 2002).

Aynı amaçla kullanılan metal liflerin mukavemeti ise soğuk çekme işlemi sayesinde artırılabilir. Lifler yönlenmiş veya gelişigüzel dağılmış olabilir. Bu sayede yönlenmiş lifler doğrultusunda beklenildiği gibi mukavemet yanal doğrultudan daha fazla büyük olur. Kompozitlerin mukavemetinin daha fazla olması pekiştirici liflerin miktarı ile doğru orantılıdır. Yönlenmiş liflerde söz konusu olan bu oran hacim açısından %80, gelişigüzel yönlenmişlerde ise %40-50 arasındadır (Ateş 2002).

Cam lifli polyesterlerin mukavemeti ile elastisite modülü düşüktür. Fakat diğerlerine göre daha ekonomik ve kolay uygulanması sayesinde deniz ve kara araçları ile spor

malzemeleri ve yapı elemanları gibi malzemelerin üretiminde oldukça fazla kullanılmaktadır (Ateş 2002).



**Şekil 2.6.** (a) Partikül, (b) Kısa lif, (c) Sürekli lif takviyeli kompozitler (Ateş 2002)

### 2.2.2. Lif katkılı polimer kompozitler

Monomerlerin küçük moleküllerden oluşan büyük moleküllerin zincir yapısının bulunduğu doğal veya yapay bir madde olarak tanımlanan maddeye polimer denir. Doğal polimerler, yaşam için önemli olan proteinleri ve nükleik asitleri; bitkilerdeki kauçuk ile selülozu; silis, feldispat ve yeryüzü kabuğunda bulunan diğer mineralleri içerir. Yapay polimerler ise, plastik ve yapay kauçuk; naylon gibi sentetik lifler, cila ve boya gibi yüzey kaplanmalarında kullanılan yapı elemanları olarak kullanılan maddelerdir. (Anonim 2013b). Pek çok polimer karbona dayanıklı yapısı sayesinde organik kimyasal madde olarak ifade edilir. Polimerler plastikler ve lastikler olmak üzere ikiye ayrılır. Mühendislik açısından ise üç kategoriye ayrılması daha doğru olur. Bunlar;

1) Termoplastikler,

2) Termosetler ve

3) Elastomerler.

Termoplastikler ve termosetler polimerler plastik iken, elastomerler ise lastiklerdir (Kaya 2006).

Termoset reçineler çoğunlukla sıvı halde bulunur. Bazı özel termoset reçinelerin ise düşük ergime derecelerinde aksine katı halde buldukları da bilinmektedir. Kalıplama esnasında oluşan kimyasal ve egzotermik (ısı çıkartan) tepkimeler nedeniyle bu termoset reçineler sertleşmektedir. Çoğunlukla termoset tepkimeler geri dönüşümlü olmamaktadır. (Cam Elyaf Sanayii A.Ş. 2006).

Doymamış polyesterler, Termoset reçinelerin en önemli çeşitlerinden olup, polihidrik asitler ve bir poliglikolin tepkimesi sonucu oluşurlar. Polihidrik asitler arasında asit anhidrit veya melaik anhidrit yer almaktadır. Poliglikoller; Etilen glikol, dietilen glikol, trietilen ve polietilen glikol olarak kullanılmaktadır. Doymamış polyesterler şurup kıvamında sıvı halinde veya erime noktası çok düşük olan katı madde halinde olan maddelerdir. Bu maddeleri polimerize edilerek daha kullanılabilir hale getirmek için stiren, vinilasetat ve dialil fitalat gibi monomere çapraz bir şekil de bağlamak gerekir. Monomerlerin çok az miktarda kullanılması, bu çapraz bağlama sonucunda oluşur. Polyester zincirleri stiren ile bağlanarak, benzol peroksit gibi bir organik katalistinle beraber daha büyük bir molekül oluştururlar. Stirenin fazla kullanılmasıyla termoplastik yapılı bir polyester oluşur. Parçalanmış Katalistin serbest radikaller verilerek tepkimenin başlatması için ısıtılmaya ihtiyaç duyulur. Fakat reaksiyonu hızlandırıcı özelliği bulunan kobalt naftenat kullanıldığında katalistin parçalanması oda sıcaklığında gerçekleştirir. Katalist sıvı haldeki polyestere ilave edilip daha sonra Hızlandırıcı ise polyesterin sertleştirilmesinden, çapraz bağlamasından önce karışıma ilave edilir. Sertleştirme sonucunda cam elyafı takviye edilmiş malzemeler kuvvetli bir şekilde birbirlerine yapışırlar (Bagherinia 2013).

Genel olarak cam elyafı takviyeli iki polyester yüzey çok mükemmel yapıştırılırlar. Doymamış polyester, sıvı fazda yapıştırıcı olarak stirende çözülmüş haliyle oda sıcaklığında veya 100°C'ye ulaşan sıcaklıklarda yapışma gerçekleşebilir. Yapışma polyesterin stirene olan oranına bağlı olarak yumuşak ve sert olabilir. Polyesterin sertleştirilmesi çok hızlı olmalıdır. Doymamış polyester yapıştırıcıları ile sağlanan yapışma sonucu büzülme fazla olmaktadır ve bu özellik doymamış polyesterler için büyük bir dezavantajdır. Metil etil keton peroksit ve kobalt naftenat katalist olarak kullanılır. Bu kombinasyon polyesterin açıkta kalma zamanını azaltır.



### 3. MATERYAL ve YÖNTEM

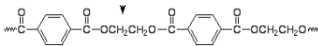

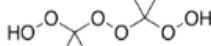
#### 3.1. Materyal

Bu bölüm de çalışmada kullanılan malzemeler anlatılmıştır. Burada çalışmada kullanılan polyesterin önceki çalışmalarda elde edilmiş özellikleri den söz edilmiş, daha sonra çeşitli liflerle oluşturulan kompozit numunelerin özellikleri verilmiştir.

##### 3.1.1. Polyester

Çalışmada kazık üretiminde polimer olarak doymamış polyester (Boytek-Döküm Tipi) kullanılmıştır. Doymamış polyesterin sertleşmesinde; hızlandırıcı (H) olarak Kobalt Naftanat, sertleştirici (S) olarak Metil Etil Keton Peroksit kullanılmıştır (Şekil 3.1). Doymamış polyester, H ve S'nin üretici firma kataloğundan temin edilen bazı özellikleri Çizelge 3.1'de verilmiştir. H ve S oranları, doymamış polyester kullanılarak kompozit malzeme (mermerit vb.) üretimi üzerinde yapılmış bazı çalışmalardan belirlenmiştir (Akın 2007; Gürü *et al.* 2007; Bagherinia 2013).

**Çizelge 3.1.** Doymamış polyester, hızlandırıcı ve sertleştiriciye ait özellikler (Bagherinia 2013)

	Polyester	Hızlandırıcı	Sertleştirici
Kimyasal Adı	Polyethylene terephthalate	Cobalt(II) naphthenate	2-Hydroperoxy-2-((2-hydroperoxybutan-2-yl)peroxy)butane
Formülü			
Renk	Renksiz	Mavimsi kırmızı	Renksiz
Asit Değeri	22 mg KOH/g	-	-
Viskozite	600 cps	-	-
Katı Oranı	% 65	% 6 (Co <sup>+2</sup> )	-
Yoğunluk	1,133 g/cm <sup>3</sup>	0.96 g/cm <sup>3</sup>	1.170 g/cm <sup>3</sup>

**Çizelge 3.1.** (devam)

Mol Ağırlığı	-	-	210.22 g mol <sup>-1</sup>
Parlama	N/A	-	82°C
Erime Noktası	250°C	140°C	-
Kaynama	-	>150°C	-

**Şekil 3.1.** Doymamış polyester, polyester hızlandırıcısı ve sertleştiricisi

### 3.1.2. Lifler

#### 3.1.2.a. Kendir

Kendir (*Connabis sativa* L.), ilk kültür bitkisi olarak bilinmektedir. İnsanlık tarihi boyunca kağıt, tekstil, yiyecek ve ilaç endüstrilerinde hammadde olarak kullanıldığı tarihsel kayıtlarda görülmektedir (Pate 1994).

Kenevir bitkisinin odunsu dış kabuğuna kendir bitkisi olarak bilinmektedir. Kazık (lif katkılı polyester numune) üretiminde lif olarak kendir kullanılmıştır (Şekil 3.2a). Lif katkılı polyester numune üretiminde kullanılan kendir lifi 4 mm ve 10 mm boyutlarına getirilmiştir (Şekil 3.2b). Kendir lifine ait bazı özellikler Çizelge 3.2’te verilmektedir.



**Şekil 3.2.** Deneylerde kullanılan kendir  
a) Orijinal hali b) Deneyde kullanılan hali

**Çizelge 3.2.** Kendirin bazı özellikleri (Li *et al.* 2006)

<b>Kendir lifinin özellikleri</b>	
Özgül ağırlık	1,5
Genişlik $\mu\text{m}$	$23,15 \pm 17,60$
Nem emme oranı %	$9,40 \pm 0,53$
Su emme oranı %	85-105
Gerilme direnci MPa	900
Elastisite modülü GPa	34

### 3.1.2.b. Araba lastik atığı

Faydalı ömrünü tamamlayarak araçlardan sökülen (orijinal veya kaplanmış) bir daha herhangi bir araçta lastik olarak kullanılmayacak durumdaki ve üretim esnasında çeşitli hatalardan dolayı defolu olan lastikler ömrünü tamamlamış lastikler olarak tanımlanırlar. Türkiye’de yaklaşık 14 milyon araçtan 300 bin atık lastik hammadde bulunmektedir. Bu çalışmada kullanılan atık lastik 4mm ve 10 mm boyutlarında parçalanarak oluşturulan polyester esaslı kompozit numularda kullanılmıştır (Şekil 3.4).



**Şekil 3.4.** Deneyleerde kullanılan araba lastik atığı

### 3.1.3. Uçucu kül

Kazık üretiminde katkı olarak Afşin-Elbistan Termik santralinden temin edilen C sınıfı uçucu kül kullanılmıştır (Şekil 3.5). Uçucu küle ait bazı indeks özellikleri ve kimyasal özellikleri sırasıyla Çizelge 3.3'te ve Çizelge 3.4'te verilmiştir.

**Çizelge 3.3.** Deneyleerde kullanılan uçucu külün bazı geoteknik özellikleri (Arasan ve İkiz 2015)

	<b>Uçucu Kül</b>
Özgül Ağırlık, $G_s$	2.82
Kum Miktarı $> 0.075$ mm (%)	35
İnce Malzeme Miktarı $< 0.075$ mm (%)	65
Likit Limit (%)	48
Plastik Limit (%)	NP
Zemin Sınıfı (USCS'ye göre)	ML



**Çizelge 3.4.** Deneylerde kullanılan uçucu külün kimyasal bileşenleri

<b>Bileşen</b>	<b>(%)</b>
SiO <sub>2</sub>	23.08
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	6.25
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2.58
CaO	47.03
MgO	1.60
Na <sub>2</sub> O	0.32
SO <sub>3</sub>	14.61
K <sub>2</sub> O	0.47
Kızdırma Kaybı	3.95

**Şekil 3.5.** Deneylerde kullanılan uçucu kül

## 3.2. Yöntem

### 3.2.1. Deneylerde Kullanılan Model Kalıplar

#### a) İçi dolu kazık numunelerin üretiminde kullanılan kalıplar:

Ön deney çalışmalarında polimer katkıli içi dolu kazık üretebilmek için Şekil 3.6 verilen kalıplar kullanılmıştır. İçi dolu kazık üretiminde kullanılacak kalıplar sac levhadan üretilmiş olup, 38 mm çapında, 76 mm yüksekliğe sahip silindirik kalıplardır.



Şekil 3.6. İçi dolu kazık üretiminde kullanılan kalıplar

#### b) İçi boş kazık üretiminde kullanılan kalıplar:

Deneylerde polimer katkıli içi boş kazık üretimi için Şekil 3.7’da gösterilen özel imal edilmiş kalıplar kullanılmıştır. Kalıplar, et kalınlığı 5 mm, boyları 70 mm, 100 mm, 120 mm, 140 mm ve dış çaplarda 35 mm, 50 mm, 60 mm ve 70 mm olan kazıklar üretebilmek için tasarlanmıştır (Çizelge 3.5). İçi boş kazıkların et kalınlığı literatürde uygun olarak 5 mm seçilmiştir. Alan oranları, dikkate alındığında kazık dış çapları sırasıyla 35 mm ( $A_s=5\%$ ), 50 mm ( $A_s=10\%$ ), 60 mm ( $A_s=15\%$ ) ve 70 mm ( $A_s=20\%$ ) olmaktadır. Kazık üretimi için kullanılan kalıplar Şekil 3.7.’da ve kalıplardan çıkarılan kazıklara ait örnek bir görüntüler ise Şekil 3.9’da verilmektedir.



**Şekil 3.7.** Deneyleerde kullanılan model kalıplar

**Çizelge 3.5.** Deneyleerde kullanılan içi boş kalıpların boyutları

	<b>R iç (mm)</b>	<b>R dış (mm)</b>	<b>L (mm)</b>
1.Kalıp	25	35	70
2.Kalıp	40	50	100
3.Kalıp	50	60	120
4.Kalıp	60	70	140

### **3.2.2. Lif ve uçucu kül katkılı polyester esaslı kompozit numunelerinin hazırlanması**

İçi boş numunelerin karışım oranlarının belirlenebilmesi için ön deneyleerde iki farklı fiber (lastik ve kendir), iki farklı boyda (4mm-10mm), farklı uçucu kül ve farklı fiber yüzdelerinde numuneler üretilmiştir. Yapılan araştırmalar sonucunda H/S=5 oranı kullanılmıştır (Bagherinia 2013). Numuneler hazırlanırken ilk önce 100 gr polyester içerisine hızlandırıcı konulup karıştırılmış, daha sonra sertleştirici ilave edilerek 3-5 dk karıştırma işlemine devam edilmiştir (Şekil 3.8a). Oluşturulan numune içerisine karışım oranları belli olan uçucu kül ve fiber ilave edilerek karışım homojen hale gelinceye kadar karıştırma işlemine devam edilmiştir (Şekil 3.8b, Şekil 3.8c). Hazırlanan

karışımın içi önceden ince bir film tabakası olacak şekilde greys yağı ile yağlanmış 38 mm çapında 76 mm yüksekliğinde metal silindirik kalıplar içerisine dökülmüştür (Şekil 3.8d). Lif yüzdesi yüksek karışımlar 3 farklı kademede ve şişlenerek dökümü gerçekleştirilmiştir. Numuneler sertleştikten sonra (1-2 saat) kalıplardan çıkarılmıştır (Şekil 3.8e.). Kalıptan çıkarılan numunelerin 7 gün süre ile kür şartlarında bekletildikten sonra serbest basınç dayanımı deneyine tabi tutulmuştur. Her karışım oranından 3'er adet numune üretilmiş olup deneysel hata oranını en az indirebilmek için dökümü yapılan bu üç numunenin ortalaması alınmıştır. Lif ve Uçucu Kül Katkılı Polimer Esaslı Kompozit Numunelerinin Hazırlanması için gereken karışım oranları ve numuneler hazır olduktan sonra ki kalıptan çıkartılmış şekilleri Çizelge 3.6 ve 3.7'de verilmiştir.



























**Şekil 3.8.** Lif ve uçucu kül katkı polimer esaslı kompozit numunelerinin hazırlanması



























**Çizelge 3.6.** Kazık malzemesi olarak kullanılan karışımların oranları

<b>Numune No</b>	<b>Polyester %</b>	<b>Uçucu Kül %</b>	<b>Fiber % (Kendir - Lastik)</b>
<b>S1</b>	100	0	0
<b>S2</b>	98	0	2
<b>S3</b>	95	0	5
<b>S4</b>	90	0	10
<b>S4a</b>	99	0	1
<b>S5</b>	90	10	0
<b>S5a</b>	90	9	1
<b>S6</b>	90	8	2
<b>S7</b>	90	5	5
<b>S8</b>	75	25	0
<b>S9</b>	75	23	2
<b>S10</b>	75	20	5
<b>S11</b>	75	15	10
<b>S11a</b>	75	24	1
<b>S12</b>	50	50	0
<b>S13</b>	50	48	2
<b>S14</b>	50	45	5
<b>S15</b>	50	40	10
<b>S15a</b>	50	49	1






















**Çizelge 3.7.** Lif ve uçucu kül katkılı polyester esaslı kompozit numuneler

Numune No	Polimer %	Uçucu Kül %	Fiber %	4 mm Kendir	10 mm Kendir	4 mm Lastik	10 mm Lastik
S1	100	0	0				
S2	98	0	2				
S3	95	0	5				
S4	90	0	10				
S4a	99	0	1				
S5	90	10	0				

Çizelge 3.7. (devam)

<b>S5a</b>	90	9	1				
<b>S6</b>	90	8	2				
<b>S7</b>	90	5	5				
<b>S8</b>	75	25	0				
<b>S9</b>	75	23	2				
<b>S10</b>	75	20	5				
<b>S11</b>	75	15	10			Karışım dökülemedi.	Karışım dökülemedi.

Çizelge 3.7. (devam)

<b>S11a</b>	75	24	1				
<b>S12</b>	50	50	0				
<b>S13</b>	50	48	2				
<b>S14</b>	50	45	5				
<b>S15</b>	50	40	10		Karışım dökülemedi.	Karışım dökülemedi.	Karışım dökülemedi.
<b>S15a</b>	50	49	1				



### 3.2.3. Lif ve uçucu kül katkılı polyester esaslı içi boş kazık numunelerin hazırlanması

İçi boş kazık malzemesi olarak kendir lifi ve uçucu kül katkılı polimer karışımları kullanılmıştır. Ön deneylerde neticesinde yüksek mukavemet değerlerini veren lif katkılı polimer karışımlarının etkisini inceleyebilmek için 11 farklı karışım kullanılmıştır. içi dolu numuneler hazırlanırken izlenen yolun aynısı içi boş numunelerin üretiminde de tekrar edilmiştir. Numuneler hazırlanırken ilk önce 100 gr polyester içerisine sırasıyla hızlandırıcı konulup karıştırılmış, daha sonra sertleştirici ilave edilerek 3-5 dk. karıştırma işlemi devam ettirilmiştir (Şekil 3.9a). Oluşturulan numune içerisine karışım oranları belli olan uçucu kül ve fiberde eklenerek homojen bir yapı oluşana kadar karıştırma işlemine devam edilmiştir (Şekil 3.9b, Şekil 3.9c). Model kalıplar önce greys yağıyla yağlandıktan sonra polyester karışım kalıplara dökülmüştür (Şekil 3.9d). İçi boş numunelerin et kalınlıkları 5 mm sabit boyutta olduğundan, kendir yüzdesi yüksek olan karışımlarda şiş yardımıyla kalıplara dökümüş, 3 farklı kademede döküm gerçekleştirilmiştir (Şekil3.9e).Lif olmayan karışımlarda kolaylıkla kalıplar içerisine döküm kolaylıkla yapılmıştır.Numuneler sertleştikten sonra (1-2 saat) kalıplardan çıkarılıp 7 günlük kür süresinde bekletilmiştir (Şekil 3.9f-3.9g.).Kür süresi tamamlanan numuneler serbest basıç mukavemetleri belirlenmek üzere söz konusu deneye tabi tutulmuştur. İçi boş kazık numunelere ait karışım oranları ve dökümü yapıldıktan sonra kalıptan çıkarılmış şekilleri Çizelge 3.8 ve 3.9’da verilmiştir.

**Çizelge 3.8.** İçi boş kazık numunelere ait karışım oranları

Numune No	Polyester %	Uçucu kül %	Fiber % (4 mm Kendir)
S1	100	0	0
S2	98	0	2
S4a	99	0	1
S5	90	10	0
S5a	90	9	1
S6	90	8	2
S7	90	5	5
S8	75	25	0

























Çizelge 3.8. (devam)

<b>S9</b>	75	23	2
<b>S10</b>	75	20	5
<b>S11a</b>	75	24	1























**Şekil 3.9.** Lif ve uçucu kül katkılı polyester esaslı içi boş kazık numunelerin hazırlanması

**Çizelge 3.9.** Lif ve uçucu kül katkılı polyester esaslı içi boş kazık numuneler

Numune no	Polimer %	Uçucu kül %	Fiber %	L (Boy) = 70 mm	L (Boy) = 100 mm	L (Boy) = 120 mm	L (Boy) =140 mm
S1	100	0	0				
S2	98	0	2				
S4a	99	0	1				
S5	90	10	0				
S5a	90	9	1				
S6	90	8	2				

Çizelge 3.9. (devam)

<b>S7</b>	90	5	5				
<b>S8</b>	75	25	0				
<b>S9</b>	75	23	2				
<b>S10</b>	75	20	5				
<b>S11a</b>	75	24	1				

### 3.2.4. Serbest basınç deneyi

Polimer kompozit kazık numunelerin serbest basınç mukavemeti deneyleri ASTM D 2166'e uygun olarak yapılmıştır. 38 mm çapında ve 76 mm yüksekliğinde silindirik kalıplardan çıkartılan polimer kompozit numuneleri 200 ton kapasiteli (Şekil 3.10a), içi boş polimer kompozit kazık numuneleri ise 20 ton kapasiteli (Şekil 3.10b) serbest basınç deney aletlerinde 0,8 mm/dakika hızında kırılmışlardır. Kırılma anındaki en yüksek basınç değerleri dijital yük okuma aparatından okunmuştur.



**Şekil 3.10.** Serbest basınç mukavemeti deneylerinde kullanılan cihazlar

(a) içi boş polimer kompozit kazık numunelerinde kullanılan SoilTest cihazı

(b) polimer kompozit numuneleri kullanılan Autotest cihazı

$$q_u = P_{\max} / A_f \text{ ifadesinden serbest basınç mukavemetleri elde edilmiştir (3.1)}$$

bağıntıda,

$P_{\max}$ : Kırılma anındaki basınç değeri,

$A_f$ : Zemin numunelerinin kırılma anında en kesit alanı

$q_u$ : Serbest basınç mukavemetini ifade etmektedir.

### 3.2.5. Pulse titreşim ölçüm sistemi ile sönüm oranlarının belirlenmesi

Numunelerin sönüm özellikleri Atatürk Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü Makine Teorisi ve Dinamiği laboratuvarında bulunan bilgisayar tabanlı çok kanallı bir analiz sistemi olan pulse titreşim ölçüm sistemi ile belirlenmiştir. 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.

Hazırlanan numuneler 7,5x21x0,5 cm boyutlarındaki kalıplara lif ve uçucu kül katkılı polyester esaslı kompozit malzeme dökülerek sertleştikten sonra kalıplardan çıkarılmıştır (Şekil 3.11a, Şekil 3.11b). 7 günlük kür sürelerinde bekletilmek üzere numune odasına bırakılmıştır (Şekil 3.11c). Deney düzeneği Şekil 3.12’de görülmektedir. Deneyde, 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 (Bolat 2011).



Şekil 3.11. Sönüm oranını belirlemek için kullanılan kalıp ve numuneler



**Şekil 3.12.** Pulse titreşim ölçüm sistemi deney düzeneği

### 3.2.6. SEM görüntüleri (Taramalı Elektron Mikroskobu)

SEM, katı cisimlerin numune yüzeyi raster düzeninde yüksek enerjiye sahip bir elektron demetiyle taramasıdır. Raster, bir televizyondaki tarama düzeni ilkesine benzer bir alan tarama şekli olup elektron demetiyle önce düz bir yüzey boyunca (x yönünde) taranır, daha sonra bu elektron demeti başlangıç noktasına geçip daha önce yaptığı taramaya dik doğrultuda tarama yapar. Bu işlem tüm yüzey boyunca tekrar edilir ve tarama işlemi sonlandırılır. Tarama işlemi sırasında yüzey üzerinden bir sinyal alınır ve görüntüye dönüştürülür (Skoog *et al.* 1998).

SEM, katı yüzeyleri görüntüleme amacı ile geliştirilmiş bir cihazdır. SEM, optik mikroskoplara göre daha derin bir odaklanma kabiliyeti vardır (Şahin 2008). Çözünürlükleri 1 nm'den daha fazla bir odaklanma imkânı sağlar.



Şekil 3.13. SEM cihazı (Daytam)



#### 4. ARAŞTIRMA BULGULARI

Bu bölümde Kendir, lastik ve uçucu kül atık malzemelerinin polyestere ilave edilmeyişle hazırlanan kompozit içi dolu kazık numunelerin Serbest Basınç Mukavemetleri ile en büyük serbest basınç mukavemet değeri veren oranlar kullanılarak hazırlanan içi boş kazık numunelerinin Serbest Basınç Mukavemetleri, Pulse Titreşim Ölçüm Sistemi ve SEM (Taramalı Elektron Mikroskobu) deney sonuçları yorumlanmıştır.

Kendir, lastik, uçucu kül atık malzemelerinin polyestere farklı oranlarda ilave edilmesiyle hazırlanan 38 mm çapında 76 mm yüksekliğindeki silindirik numuneler üzerinde serbest basınç mukavemeti deneyleri gerçekleştirilmiştir. Deneyler sonucunda belirlenen serbest basınç mukavemeti değerleri toplu halde Çizelge 4.1, bazı numunelere ait kırılma sonu görünüşleri Şekil 4.1 de gösterilmiştir. Çizelge 4.1 incelendiğinde en yüksek Serbest basınç mukavemet değeri 108 MPa olan S1 (%100P), en düşük değer 23 MPa olan S4 (%90P + %10F) (4mm Kendir) numunelerinde belirlendiği görülmüştür. Lif boyu 10 mm olan lastik ilave edilen numunelerde lastik parçalarının ağırlığından dolayı polyester karışımında kalıp dibine çöktüğü ve homojen bir karışım elde edilemediğinden serbest basınç mukavemeti deneyi yapılamamıştır. Aynı çizelgede lif uzunluğu 4 mm olan lastik ilave edilerek hazırlanan numunelerde yüke maruz kaldıklarında ezilme meydana geldiği için serbest basınç mukavemetleri belirlenememiştir. Çizelge 4.1’de verilen lif uzunluğu 10 mm kendir ilave edilerek hazırlanan S4 (%90P + %10F), S11(%75P + %15UK + %10F) ve S15(%50P + %40UK + %10F) numuneleri serbest basınç mukavemeti göstermemiştir. Buna karışımındaki kendirin (%10 fiber) kapladığı hacimsel büyüklükten dolayı polyester ile bütünlük sağlamamasının neden olacağı düşünülmüştür. Lif uzunluğu 4 mm lastik ilave edilerek hazırlanan numunelerde en yüksek değer 58 MPa olarak bulunmuştur.

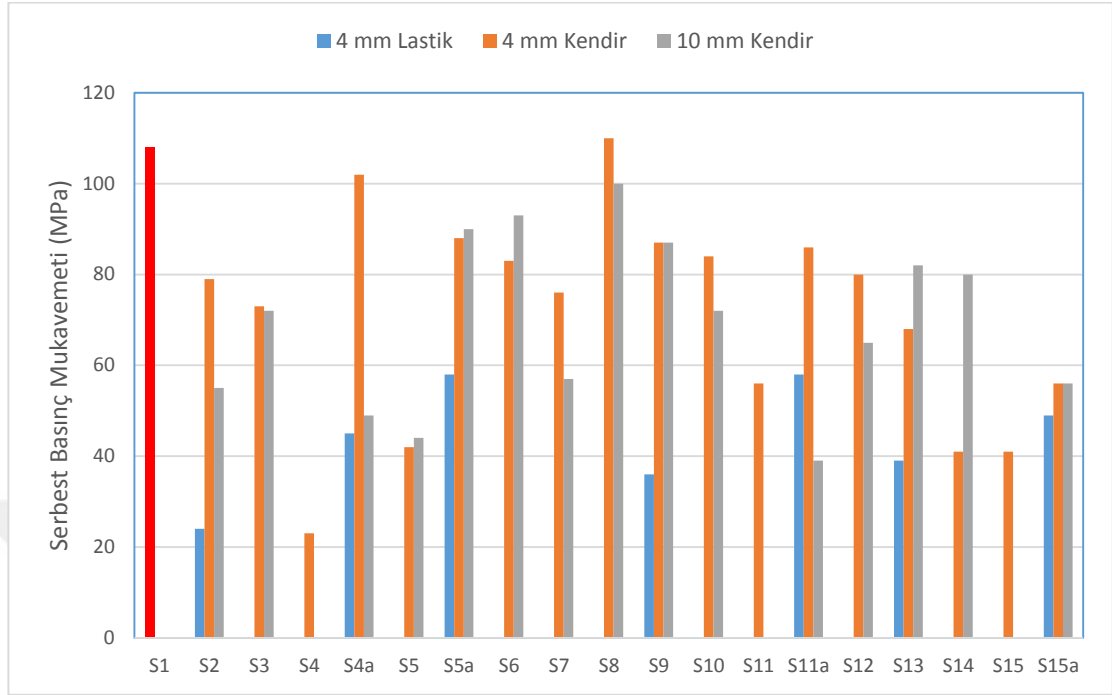
**Çizelge 4.1.** Belirli oranlarda atık malzeme kullanılan polyester kompozit kazıkların serbest basınç mukavemetlerinin belirlenmesi

Numune no	Karışım Oranı (%P + %UK + %F)	Serbest Basınç Mukavemeti (MPa)		
		4 mm Lastik	4mm Kendir	10 mm Kendir
<b>S1</b>	%100P +%0 UK + %0 F	108	108	108
<b>S2</b>	%98P + %0 UK + %2F	24	79	55
<b>S3</b>	%95P + %0 UK + %5F	0	73	72
<b>S4</b>	%90P +%0 UK + %10F	0	23	0
<b>S4a</b>	%99P + %0 UK + %1F	45	102	49
<b>S5</b>	%90P +%10UK + %0 F	42	42	42
<b>S5a</b>	%90P + %9UK + %1F	58	88	90
<b>S6</b>	%90P + %8UK + %2F	0	83	93
<b>S7</b>	%90P + %5UK + %5F	0	76	57
<b>S8</b>	%75P + %25UK + %0 F	105	105	105
<b>S9</b>	%75P + %23UK + %2F	36	87	87
<b>S10</b>	%75P + %20UK + %5F	0	84	72
<b>S11</b>	%75P + %15UK + %10F	0	56	0
<b>S11a</b>	%75P + %24UK + %1F	58	86	39
<b>S12</b>	%50P + %50UK + %0 F	72,5	72,5	72,5
<b>S13</b>	%50P + %48UK + %2F	39	68	82
<b>S14</b>	%50P + %45UK + %5F	0	41	80
<b>S15</b>	%50P + %40UK + %10F	0	41	0
<b>S15a</b>	%50P + %49UK + %1F	49	56	56

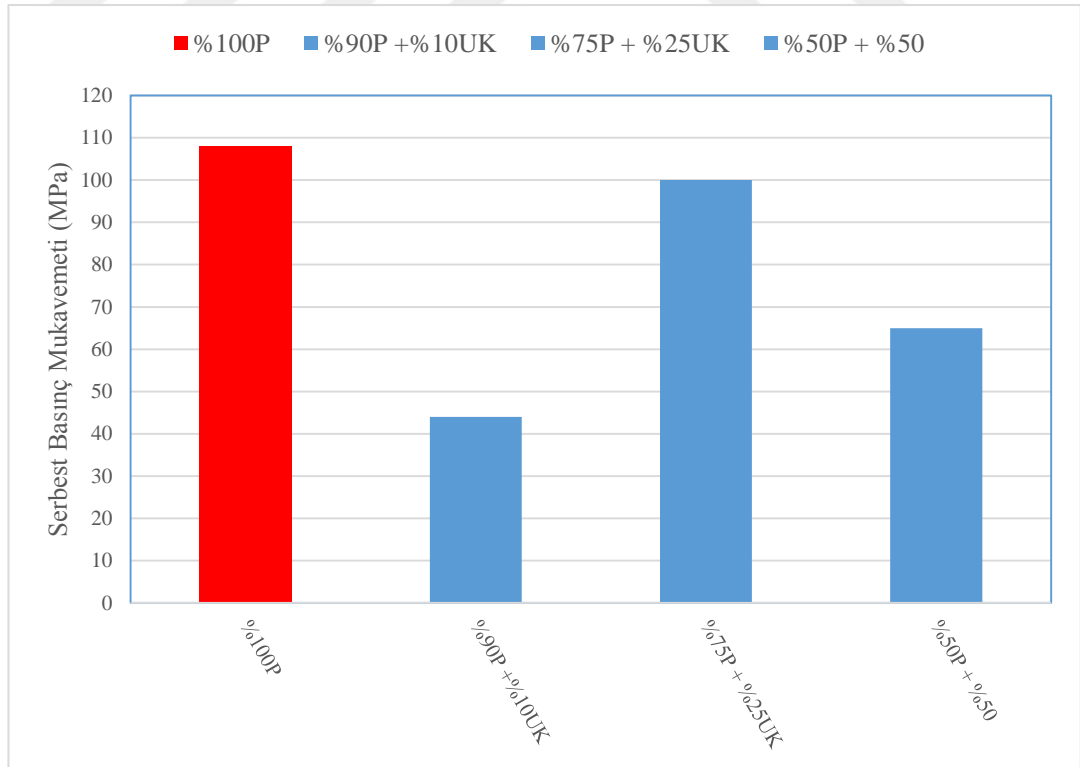


**Şekil 4.1.** Belirli oranlarda atık malzeme kullanılan polyester kompozit kazıkların serbest basınç mukavemetlerinin belirlenmesi

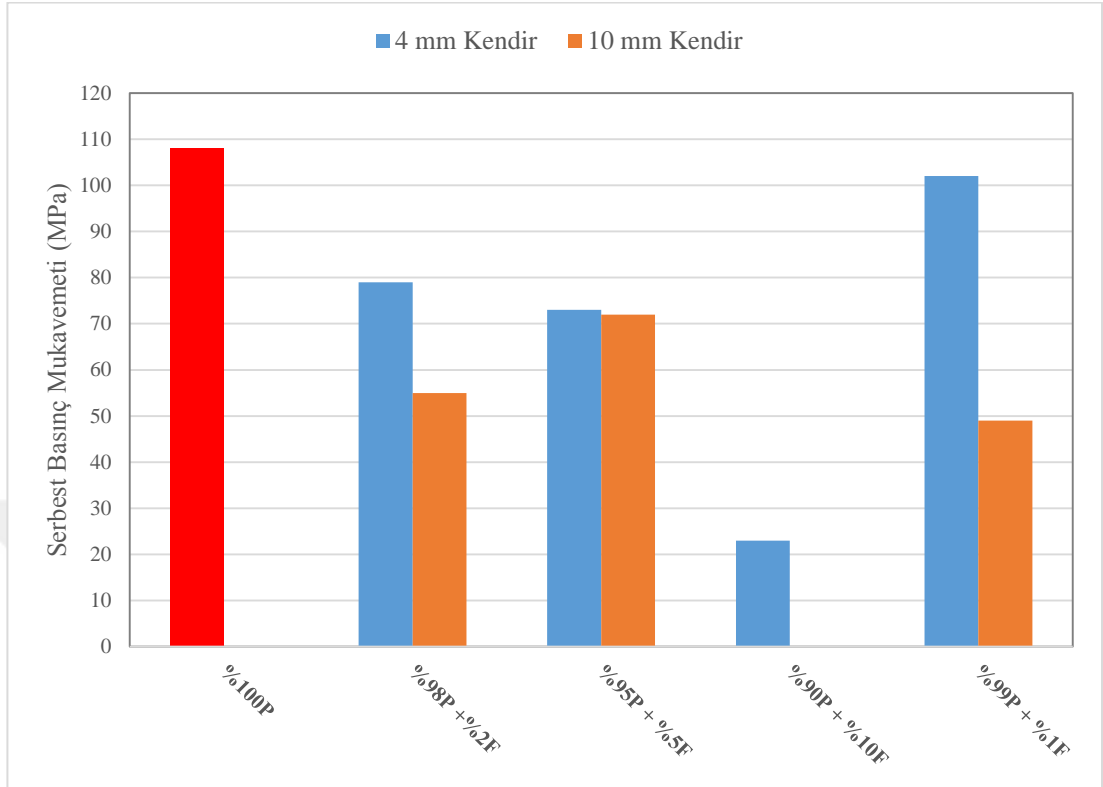
Çizelge 3.1 deki değerler kullanılarak elde edilen içi dolu kazık numunelerin serbest basınç mukavemet değerleri grafik gösterimi toplu olarak Şekil 4.2’de lif oranı %0, %1, %2, %5 ve uçucu kül oranı %0, olan numunelerin grafikleri sırasıyla Şekil 4.3., 4.4, 4.5, 4.6 ve 4.7’de gösterilmiştir. Şekil 4.2’de 4 mm lastik katkıli içi dolu kazık numuneleri serbest basınç mukavemet değerlerinin 4-10 mm kendir katkıli kazık numunelerinkinden çok daha düşük değerlerde olduğu görülmektedir.



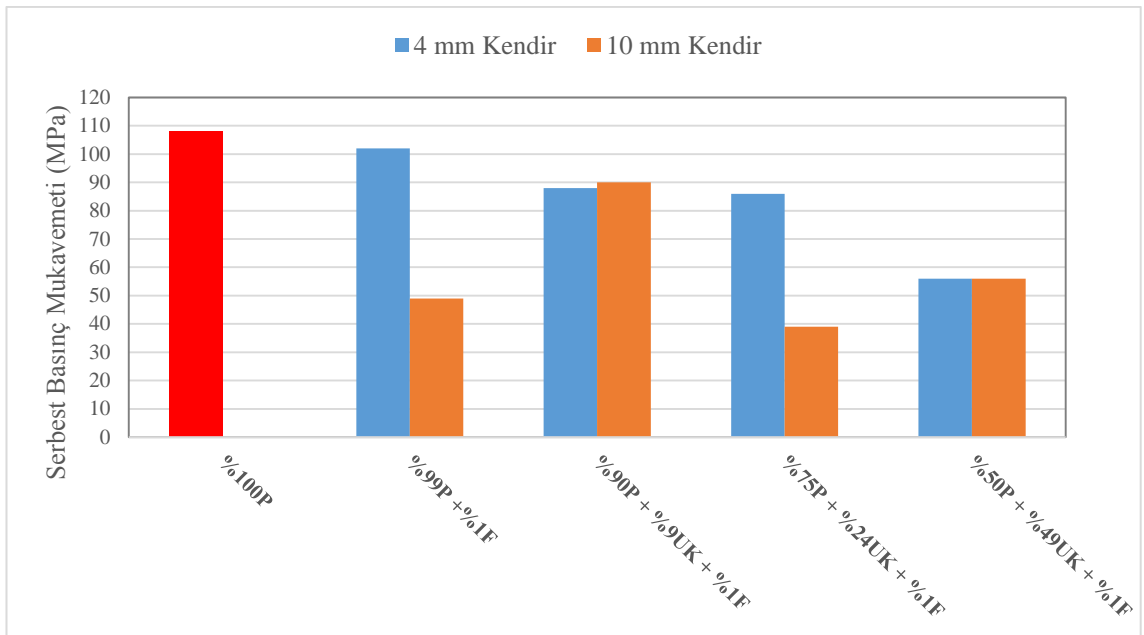
Şekil 4.2. İçi dolu kazık numunelerim serbest basınç mukavemet değerleri



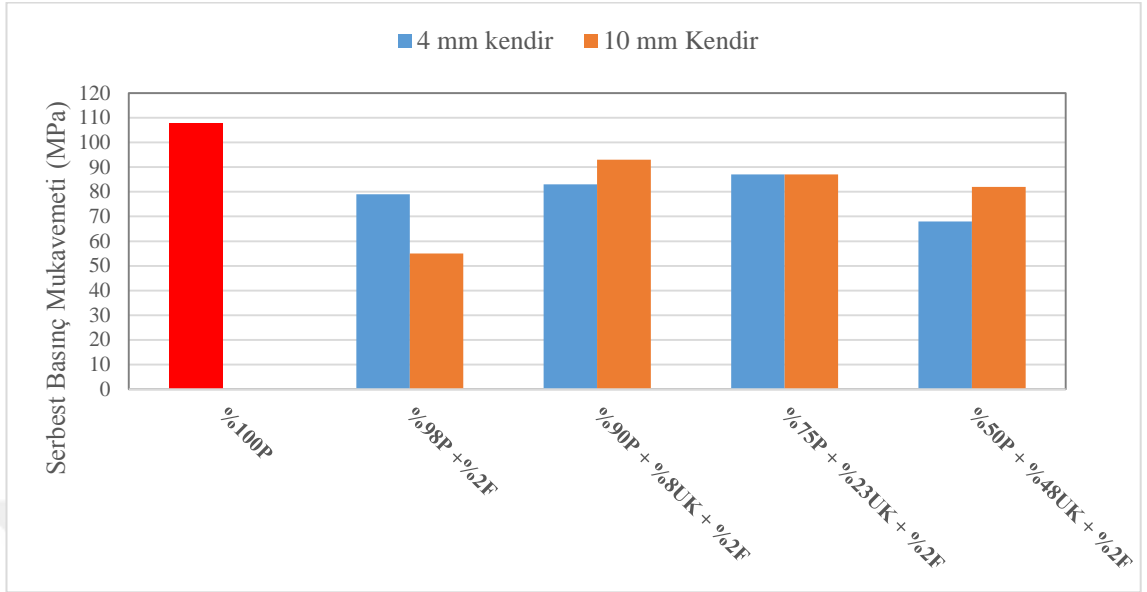
Şekil 4.3. Lif oranı %0 olan farklı uçucu kül yüzdelerindeki kazıkların (içi dolu) serbest basınç mukavemetleri



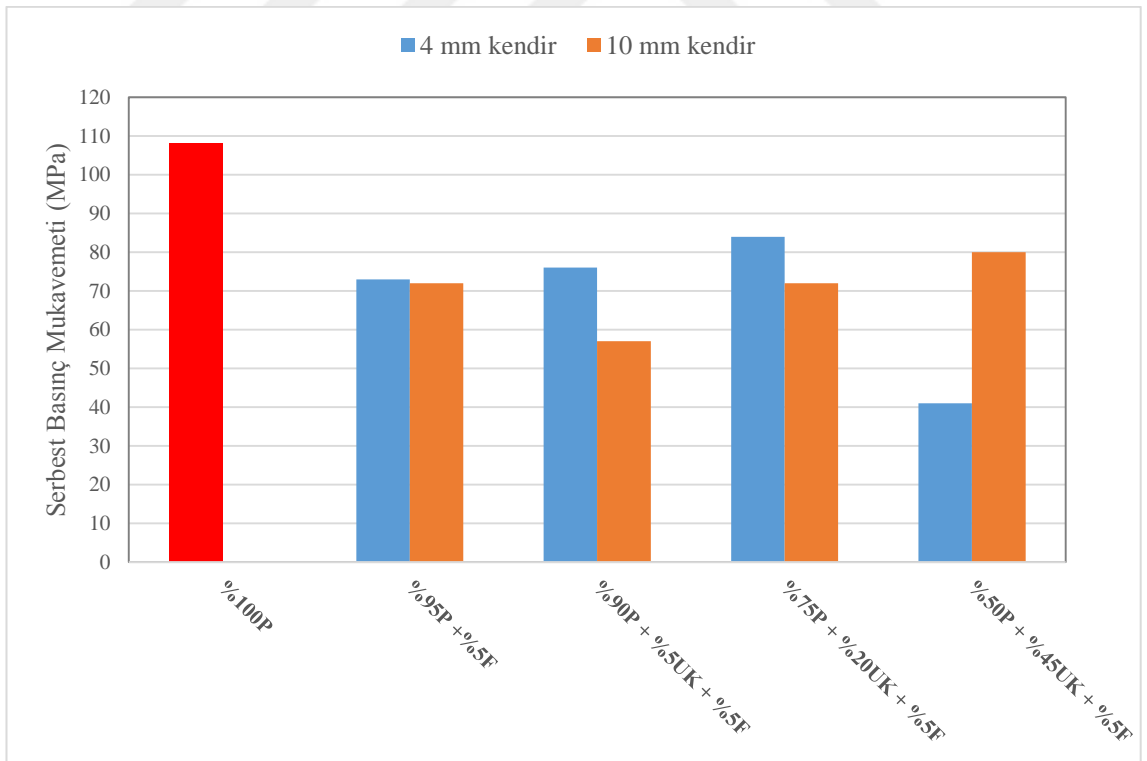
**Şekil 4.4.** Uçucu kül oranı %0 olan farklı fiber yüzdelerindeki kazıkların (içi dolu) serbest basınç mukavemetleri



**Şekil 4.5.** Lif Oranı %1 olan farklı farklı uçucu kül yüzdelerindeki kazıkların (içi dolu) serbest basınç mukavemetleri



**Şekil 4.6.** Lif oranı %2 olan farklı farklı uçucu kül yüzdelerindeki kazıkların (içi dolu) serbest basınç mukavemetleri



**Şekil 4.7.** Lif oranı %5 olan farklı farklı uçucu kül yüzdelerindeki kazıkların (içi dolu) serbest basınç mukavemetleri

Şekil 4.3'e bakıldığında %0, %10, %25,%50 uçucu kül katkılı içi dolu kazık numunelerin serbest basınç mukavemetleri sırayla 108 MPa, 44 MPa. 100 MPa, 65 MPa değerlerine ulaşmışlardır. Uçucu kül katkılı numuneler kalıplarından çıkarıldıktan sonra ve kür süreleri boyunca herhangi bir kabarma, çatlama meydana gelmemiştir. Homojen bir yapıya sahip olan bu numunelerde gevrek kırılma olduğu gözlemlenmiştir. %25 uçucu kül katkılı içi dolu kazıkların serbest basınç mukavemet değerleri, %100 polyester olan kazığa göre daha az görülmüştür. Ancak %50 uçucu kül katkılı kazık numunesine göre daha büyük değer elde edilmiştir.

Şekil 4.4 incelendiğinde %1 oranında 4 mm kendir lifi katkılı kazık numunesinin serbest basınç mukavemet değeri 102 MPa olarak görülmekte ve lif oranı arttıkça serbest basınç mukavemet değerinin azaldığı görülmüştür. Ayrıca 4 mm, %5-%10 lastik lifi katkılı ve 10 mm %10 kendir lifi katkılı içi dolu kazık numunelerde lif dağılımı heterojen olması nedeniyle herhangi bir serbest basınç mukavemet değeri elde edilememiştir.

Şekil 4.5 incelendiğinde %1 oranlı 4 mm kendirli içi dolu kazık numunelerin uçucu kül oranı arttıkça serbest basınç mukavemet değerinin azaldığı görülmüştür. %1 oranında 10 mm kendirli, %9 oranında uçucu kül katkılı kazık numunelerin serbest basınç mukavemet değeri 90 MPa bulunmuş olup %100 polyesterden oluşan kazık numunesine göre %16,67 oranında daha düşük değer elde edilmiştir.

Şekil 4.5, Şekil 4.6 ve Şekil 4.7'de %1, %2 ve %5 lif oranlarında hazırlanan içi dolu kazık numunelerin serbest basınç mukavemet değerlerine bakıldığında lif oranı arttıkça mukavemet değerleri düşmüştür. Şekiller incelendiğinde %1 oranında 4 mm kendir katkılı içi dolu kazığın serbest basınç mukavemet değeri 102 MPa olarak elde edilmiş, bu değer %1 lif katkılı kazık numunelerin en yüksek değeridir. %2 oranında 10 mm kendir katkılı kazık numunelerinin serbest basınç değeri ise 93 MPa olarak bulunmuş, bu değer farklı lif oranlı kazıkların en yüksek değeri olduğu görülmüştür.

İçi dolu kazık numunelerin serbest basınç mukavemet değeri ve işlenebilirlik açısından en uygun karışım oranları kullanılarak içi boş kazıkların üretimi yapılmıştır. İçi boş kazık numuneler üzerinde yapılan serbest basınç mukavemet deney sonuçları Çizelge 4.2’de verilmiştir. Bazı içi boş kazık numunelerinin serbest basınç mukavemeti deney sonucu görünüşleri Şekil 4.8’de Çizelge 4.2’de verilen değerlerden yararlanılarak çizilen grafikler Şekil 4.9’da gösterilmiştir.

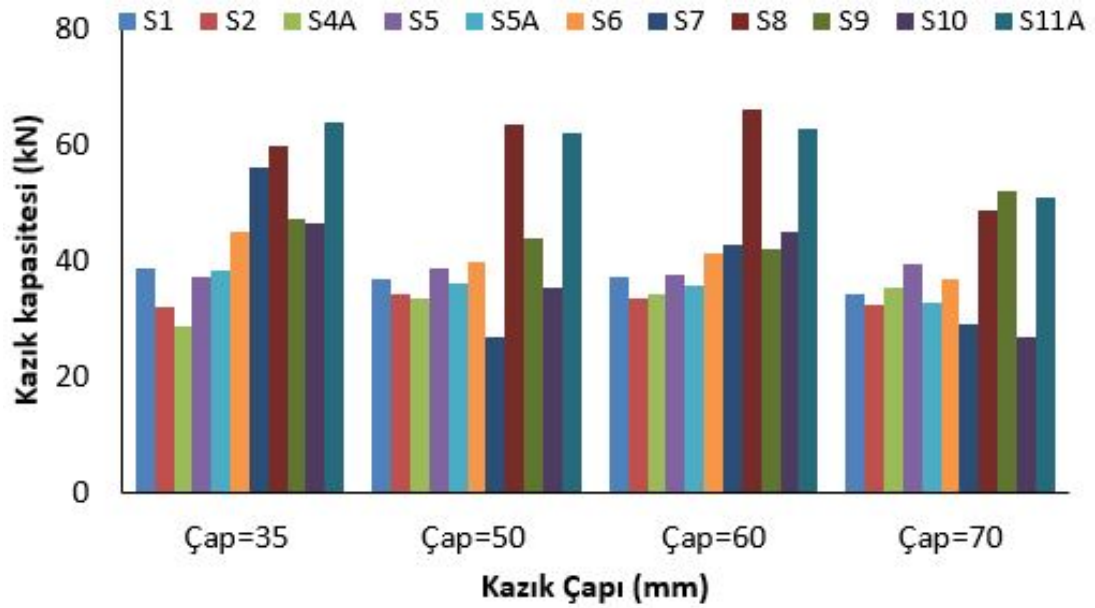


**Şekil 4.8.** İçi boş kazık numunelerin kazık kapasitelerinin belirlenmesi



**Çizelge 4.2.** İçi boş kazık numunelerinin serbest basınç mukavemetleri

Numune No	Serbest basınç mukavemeti (MPa) (göçme yüküne göre)			
	Çap=35 mm	Çap=50 mm	Çap=60 mm	Çap=70 mm
S1	3,78	3,60	3,64	3,36
S2	3,14	3,34	3,29	3,16
S4A	2,80	3,29	3,34	3,48
S5	3,65	3,79	3,70	3,85
S5A	3,77	3,55	3,49	3,20
S6	4,42	3,91	4,03	3,63
S7	5,50	2,63	4,19	2,83
S8	5,88	6,22	6,49	4,77
S9	4,62	4,29	4,13	5,11
S10	4,55	3,46	4,43	2,63
S11A	6,28	6,08	6,16	4,98



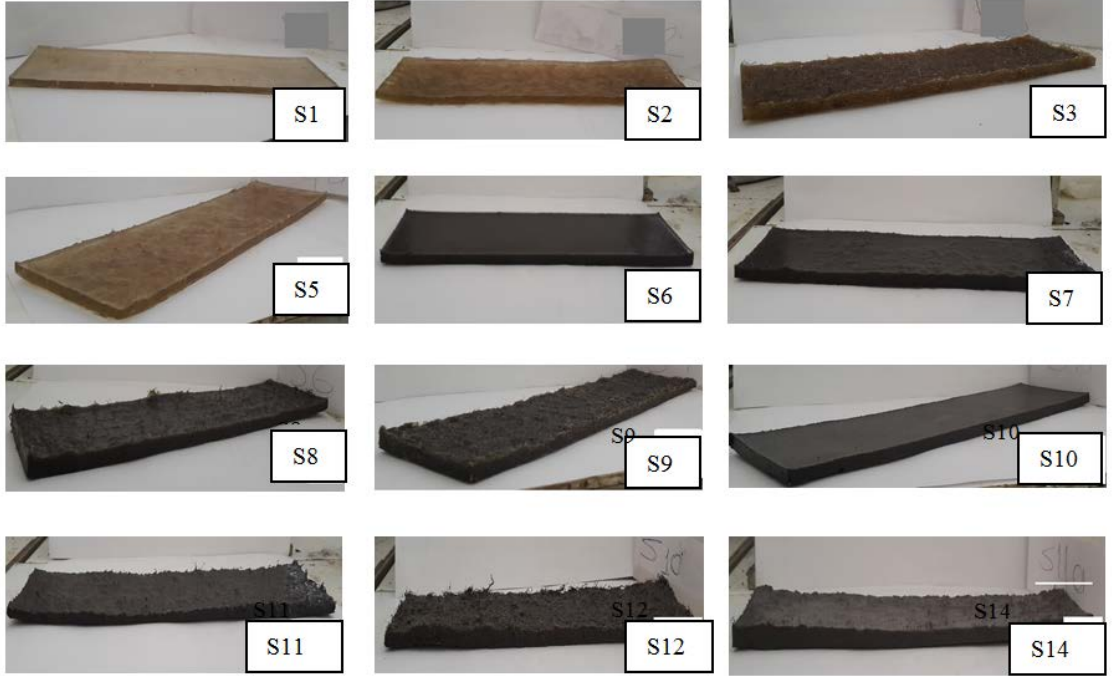
**Şekil 4.9.** İçi boş kazık numunelerinin serbest basınç mukavemetleri

Çizelge 4.2 ve Şekil 4.9 incelendiğinde 7 günlük serbest basınç mukavemeti değerinin en yüksek olduğu içi boş kazık numunesi %75P + %25 UK katkılı 60 mm çaplı S8 numunesinde elde edilmiştir.

En küçük serbest basınç mukavemet değeri ise %90P+%5UK+%5L katkılı 50 mm çaplı S7 içi boş kazık numunesinde görülmektedir. En yüksek ve en düşük serbest basınç mukavemeti değerlerine sahip numuneler kıyaslandığı zaman lif oranının artması dayanımı düşürdüğü söylenebilir. Ayrıca lif oranı fazla olan S7 (%90P +%5UK + %5F) ve S10 (%75P+%20UK+%5F) içi boş kazık numuneleri döküm ve numunelerin kalıptan çıkarılması esnasında da zorluklar olduğu gözlemlenmiştir.

Çizelge 4.2 ve Şekil 4.9'da %75P+%25UK katkılı 35 mm çaplı S11A içi boş kazık numunesinin 6,28 MPa değerinde olduğu, %75P+%24UK+%1F katkılı 60 mm çaplı içi boş kazığın serbest basınç mukavemet değeri 6,49 MPa olarak bulunmuştur. Bu değerlerin birbirine çok yakın olduğu görülmektedir.

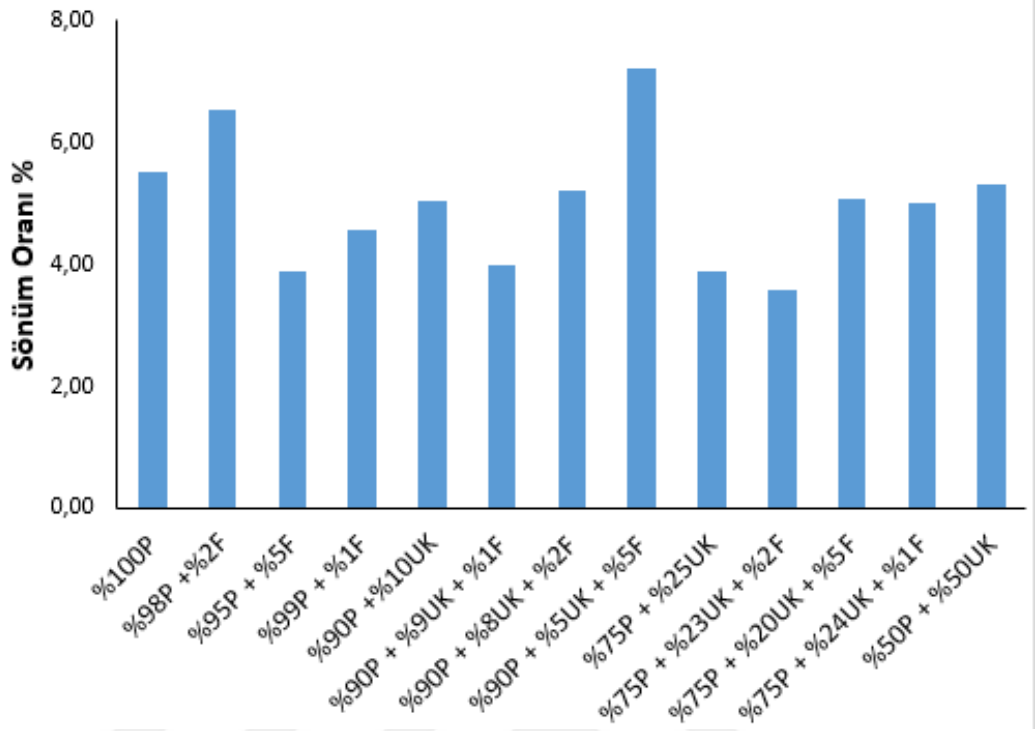
Lif ve uçucu kül katkılı polyster esaslı kompozit numunelerinin Pulse Titreşim Ölçüm Sistemi ile Sönüm Oranının Belirlenmesi 7 günlük kür süreleri tamamlanmış numuneler üzerinde gerçekleştirilmiştir. Deney için hazırlanan bazı numune görünüşleri Şekil 4.10 'da, kompozit numunelerin sönüm oranı Çizelge 4.11'de verilmiştir. Çizelge 4.11'de verilen değerler kullanılarak çizilen Pulse Titreşim Ölçüm Sistemi ile Sönüm Oranı değişimi grafiği Şekil 4.11'de gösterilmiştir.



**Şekil 4.10.** Belirli oranlarda atık malzeme kullanılan polyester kompozit numunelerin sönüm oranının belirlenmesi için hazırlanan numuneler

**Çizelge 4.3.** Belirli oranlarda atık malzeme kullanılan polyester kompozit numunelerin pulse titreşim ölçüm sistemi ile belirlenen sönüm oranı sonuçları

Numune No	Karışım Oranı (%P + %UK + %F)	Sönüm Oranı %
S1	%100P	5,50
S2	%98P + %2F	6,55
S3	%95P + %5F	3,88
S4A	%99P + %1F	4,55
S5	%90P + %10UK	5,05
S5A	%90P + %9UK + %1F	4,00
S6	%90P + %8UK + %2F	5,20
S7	%90P + %5UK + %5F	7,21
S8	%75P + %25UK	3,87
S9	%75P + %23UK + %2F	3,58
S10	%75P + %20UK + %5F	5,07
S11A	%75P + %24UK + %1F	4,99
S12	%50P + %50UK	5,32



**Şekil 4.11.** Belirli oranlarda atık malzeme kullanılan polyester kompozit numunelerin pulse titreşim ölçüm sistemi ile belirlenen sönüm oranı sonuçları

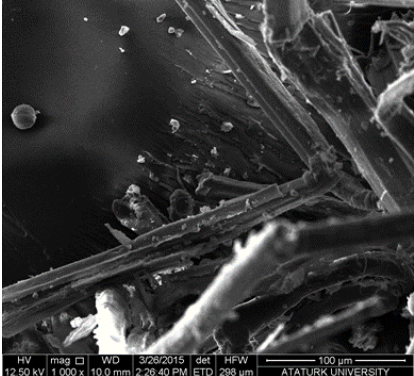
Çizelge 4.11’de bakıldığında pulse titreşim sistemi ile belirlenen sönüm oranlarının %7,21 ile %3,58 değerleri arasında değiştiği görülmüştür.

Aynı polyester oranlarında herhangi iki numune kıyaslandığında uçucu kül oranı azalıp lif oranı arttığında durumda sönüm oranının yükseldiği görülmektedir. Ayrıca %7,21 sönüm oranı değeri ile S7 numunesinin sönüm oranının %100P içeren S1 numunesini sönüm oranında %31,1 oranında yüksek olduğu görülmektedir.

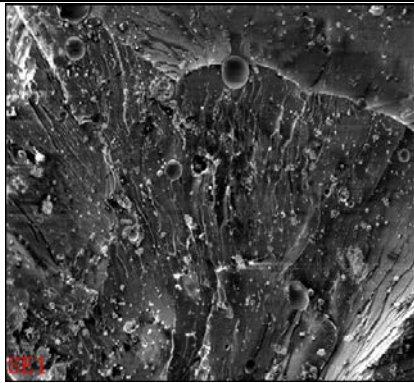
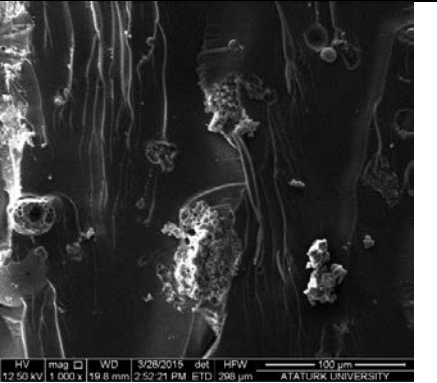
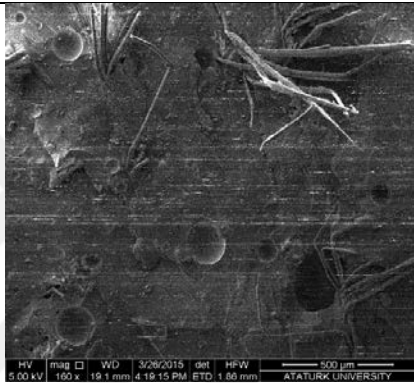

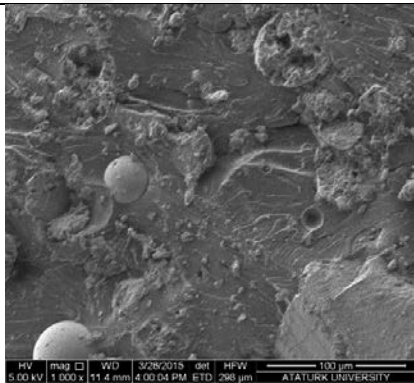
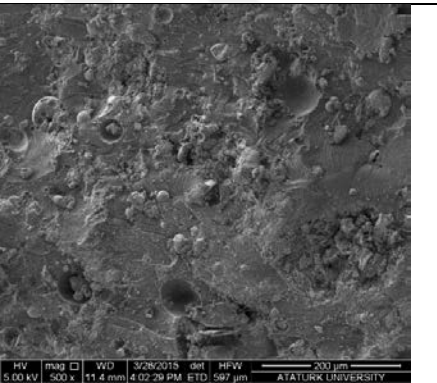
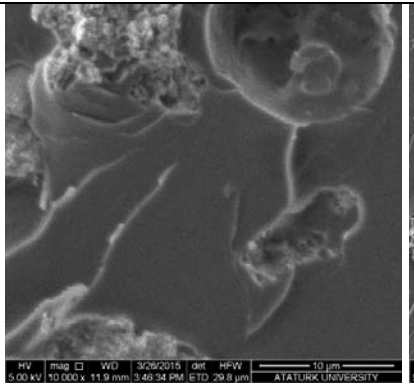
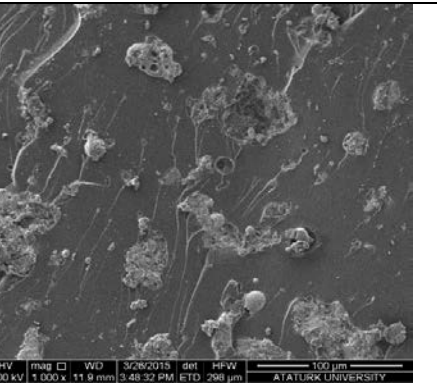
Çizelge 4.4’de görüldüğü gibi %90P oranındaki katkılı numunelerin sönüm oranları incelendiğinde lif oranı arttıkça sönüm oranı artmaktadır. farklı oranlarda polyester (P), uçucu kül (UK) ve lif (F) içeren S2, S5, S6, S8, S9 ve S12 kompozit numunelerinin SEM görüntüleri Çizelge 4.4 ‘de gösterilmiştir. S2 % 98 P + %2 F içeren kompozit numunesinin yaklaşık 200 µm uzunlukta tel şeklinde olduğu görülmüştür. P ihtivasının %90’a düşmesi ve lif yapısının yerine %10 uçucu kül eklenmesiyle elde edilen S5 kompozit numunesinde ise tel yapılarının üzerine hole (çukur) şeklinde yapılar dikkat

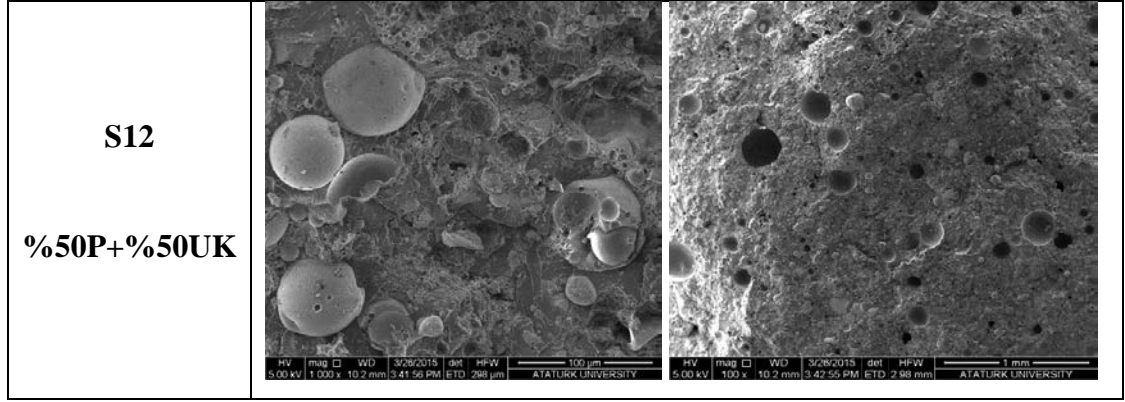
çekmektedir. Yine aynı oranda P ihtiva eden (%90), uçucu kül miktarı (%8) oranına düşürülen ve ek olarak %2 lif ilave edilen S6 kompozitinde ise hole yapıların daha belirgin bir hal aldığı ve ayrıca tel yapıları da bariz bir şekilde görüldüğü söylenebilir. % 75 P ve %25 UK içeren S8 kompozit numunesinde ise P azalmasına bağlı olarak tel yapılarının kaybolduğu ve yerini farklı boyutlardaki kübik yapıların aldığı ayrıca hole yapılarının da mevcut olduğu dikkati çekmektedir. P oranı (%75) değiştirilmeden %23 UK ve %2 F ihtiva eden S9 numunesinde ise S8 den farklı olarak değişik boyutlardaki kübik yapılarının agrege (topaklanmak) olduğu açıkça görülmektedir. Herhangi bir lif içeriği olmadan %50 P ve %50 UK içeren S12 numunesinde ise çapları yaklaşık 250 µm olan hole göze çarpmaktadır. Bu hollerin diğer kompozit numunelere göre sayılarının artış gösterdiği açıkça görülmektedir. SEM görüntülerinden anlaşılacağı gibi, elde edilen kompozitlerde ki; lif, uçucu kül ve polyester oranlarının değiştirilmesiyle birlikte kompozitlerin morfolojik yapılarında değişiklikler meydana gelmiştir.

**Çizelge 4.4.** Belirli oranlarda atık malzeme kullanılan polyester kompozit numunelerin SEM görüntüleri

<b><u>Numune No</u></b> <b>Karışım Oranı</b>	<b>Sem Görüntüleri</b>
<b>S2</b> <b>%98P +%2F</b>	

Çizelge 4.4. (devam)

<p>S5</p> <p><b>%90P+%10UK</b></p>		
<p>S6</p> <p><b>%90P + %8UK + %2F</b></p>		
<p>S8</p> <p><b>%75P+%25UK</b></p>		
<p>S9</p> <p><b>%75P+%23UK + %2F</b></p>		

**Çizelge 4.4.** (devam)

## 5. SONUÇ ve ÖNERİLER

Bu çalışmada, içi dolu (36 mm çapında 76 mm yüksekliğinde) ve çeşitli çaplardaki (35 mm, 40 mm, 50 mm, 60 mm) katkılı polyester içi boş kazıklar üretilmiş olup, bu kazıklar üzerinde serbest basınç ve pulse titreşim ölçüm sistemi ile sönüm oranı belirlenmesi deneyleri yapılmış, ilaveten numunelerin SEM görüntüleri elde edilmiştir. Deneylerde elde edilen sonuçlar aşağıda sıralanmıştır.

-Serbest basınç deneyleri sonuçlarına bakıldığında içi dolu polyester kazık S1 (%100 P) numunesinin diğer numunelere göre en yüksek serbest basınç mukavemeti değerini verdiği görülmüştür. Polyesterin ekonomik olarak ilk aşamada yüksek maliyetli olduğu gözükse de, yüksek dayanım ve uzun ömürlü olup herhangi çevre şartlarından etkilenmiyor olması büyük avantaj sağlamaktadır. İşçilik istemeyen hazır kalıplarla dökümü kolay ve priz süresinin betona göre çok daha kısa sürelerde istenilen forma getirilmesi tercih edilme sebebi olabilir.

-İçi boş kazıkların serbest basınç deneylerinde en yüksek kazık değeri 6,49 MPa ile 60 mm çaplı S8 numunesinden elde edilmiştir. Sabit et kalınlığında, çapın 2 katı boya sahip kazık numunelerin kazık kapasitelerinin, içi boş kazık kapasitesi değerlerine göre daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Göçme esnasında küçük çaplı kazıklarda patlama tarzı göçme meydana gelirken, çap büyüdükçe göçme olayının küçük parçalanma ve çatlama halinde meydana geldiği görülmüştür.

-Üretilmiş olan içi boş kazıkların, içi dolu geleneksel kazıklarla benzer dayanımlar göstermiş olduğu görülmüştür. Bundan dolayı içi boş kazıkların geleneksel kazıklara alternatif olarak kullanılabilirliğinin uygun olduğu düşünülmektedir.

-Lastik ve kendir lif katkılı olarak üretilen polyester numuneler üzerinde yapılan deneyler lastik kullanılan numunelerde karışımdaki lastik oranı arttıkça mukavemetin azaldığını ve ezilmelerin meydana geldiğini göstermiştir. Kendir lifinin karışımdaki



oranı arttıkça mukavemet azalmış ancak lastik lifli katkılı numunelere göre daha iyi sonuçlar elde edilmiştir. Kendir lifinde kullanılan 4 mm ve 10 mm boy uzunluğundan 4 mm lif kullanılarak hazırlanan numuneler dayanım olarak daha yüksek değerlere ulaşmış ve lif boyu 10 mm olanlara göre daha rahat işlem yapılmıştır.

-Yapılan serbest basınç deneylerinde lif oranı arttıkça gevrek kırılmada azalma olduğu ve parçalanmaların çatlaklara dönüştüğü görülmüştür.

-Tüm serbest basınç mukavemet değerlerine bakıldığı zaman yüksek uçucu kül oranlarındaki S8 ve S11A numunelerinin (%25UK ve %24UK ) serbest basınç mukavemetlerinin diğer karışım oranlarında hazırlanan numunelerden daha yüksek olarak belirlenmiştir. Uçucu kül katkılı olarak üretilen kazıklarla daha yüksek verim ve ekonomik kazanç sağlanabileceği düşünülmektedir. Karışımlarda kullanılan uçucu kül ve kendir lifi doğada bolca bulunabilen atık malzemeler olup, bu sayede atıklar kullanılabilir hale getirilebilecektir. Uçucu kül ve polyesterin birbirleri ile iyi etkileşim göstermiş oldukları ve uçucu kül içermeyen numunelere göre daha yüksek mukavemet değerlerine sahip oldukları görülmüştür.

-Polyester esaslı numunelerin dinamik özelliklerini araştırmak amacıyla yapılan pulse titreşim sistemi ile belirlenen sönüm oranı değerleri de numunelerdeki lif oranlarındaki artışla artmış olduğu görülmüştür. Bu, dinamik bir yük etkisindeki kazıkların, etkiyen yükü absorbe edebildiğini göstermektedir. Katkısız numunenin sönüm oranı ile en yüksek sönüm oranı gösteren numunenin sönüm oranı değerleri arasında %31,1 oranında bir artış olduğu söylenebilir. Ayrıca en yüksek sönüm oranı ile serbest basınç mukavemetleri de yüksek değerler vermiş olup tercih edilme sebebi olabilirler.

Daha gerçekçi sonuçlara ulaşabilmek için farklı katkı malzemeleri, farklı yüzdelerde değişik tip polyesterlerde kullanılarak ileriki çalışmalara ışık tutacağı düşünülmektedir.

## KAYNAKLAR

- 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 İncelenmesi. 6. Geoteknik Sempozyumu, Adana.
- Anonim, 2017. [http://daytam.atauni.edu.tr/daytamgaleri/#/Ileri%20Goruntuleme%20Laboratuvari/\\_U6A1080.jpg](http://daytam.atauni.edu.tr/daytamgaleri/#/Ileri%20Goruntuleme%20Laboratuvari/_U6A1080.jpg), (20.03.2017)
- Arasan, S., İkiz, H., 2015. Polimer, Kimyasal Ve Katkılar İle Modifiye Edilmiş Uçucu Küllerin Katı Atık Depolama Alanı Şiltesi Olarak Kullanılabilirliği. 6. Geoteknik Sempozyumu, Adana.
- Ates, B. H., 2002. “Çevresel Etkilerin PPS (Polifenilensülfid) Kompozitlerin Mekanik Bağherinia, M., 2013. Killerin Derin Karıştırma Yöntemi İle İyileştirilmesinde Doymamış Polyesterin Kullanılabilirliği. Y. Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.
- Başeski, C., 2005. Teğet Kazıkların Düşey Taşıma Gücünün Sonlu Elemanlar Yöntemi İle İncelenmesi. Y.Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Başeski, C., 2005. Teğet Kazıkların Düşey Taşıma Gücünün Sonlu Elemanlar Yöntemi İle İncelenmesi. Y.Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Birand, A. A., 2007. Kazıklı Temeller. Teknik Yayınevi,462 Sayfa, Ankara.
- Cam Elyaf Sanayii A.Ş., 2006. “CTP Teknolojisi”, Cam Elyaf Sanayii A.Ş., İstanbul,. Cevabı, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü,Konya.
- Coduto, D. P., 2001. Foundation Design Principles And Practices. Upper Saddle River, New Jersey: Prentice-Hall, Inc
- Ersoy, Ç. Ö., & Yildirim, S. 2014. Yanal Zemin Hareketi Etkisinde Kalan Kazıkların Davranışının Deneysel Olarak İncelenmesi. Teknik Dergi, 25(124).
- Giraldo, J., Rayhani, M. T., 2014. Load Transfer Of Hollow Fiber-Reinforced Polymer (FRP) Piles İn Soft Clay. Transportation Geotechnics, 1(2), 63-73.
- Guades, E., Aravinthan, T., 2013. Residual properties of square FRP composite tubes subjected to repeated axial impact. Composite Structures, 95, 354-365.
- 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.
- Irawan,C. , Suprobo, P., Raka, I G. P., Djamaluddin, R. 2015. A Review Of Prestressed Concrete Pile With Circular Hollow Section (Spun Pile).Jurnal Teknologi, 72(5), 115-123.
- Kanıt, R., 2003. Temel İnşaatı. Gazi Kitabevi, 154 Sayfa, Ankara.
- Kara, M.,2006. Düşük Hızlı Darbeye Maruz Tabakalı Kompozitlerin Dinamik Özelliklerine Etkileri”, Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri.

- Karasu, H., 2014. Kompozit Disk Yayların Tasarımı Ve Analizi. Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir.
- Li, Z., Wang, X., Wang, L., 2006. Properties of hemp fibre reinforced concrete composites. *Composites part A: applied science and manufacturing*, 37(3), 497-505.
- Lin, H. J., & Liao, C. I. 2004. Compressive Strength Of Reinforced Concrete Column Confined By Composite Material. *Composite Structures*, 65(2), 239-250.
- Lopez-Anido, R., Michael, A. P., Sandford, T. C., & Goodell, B. 2005. Repair of wood piles using prefabricated fiber-reinforced polymer composite shells. *Journal of performance of constructed facilities*, 19(1), 78-87.
- Pando, M., Filz, G., Ealy, C., Hoppe, E., 2003. Axial And Lateral Load Performance Of Two Composite Piles And One Prestressed Concrete Pile. *Transportation Research Record: Journal Of The Transportation Research Board*, (1849), 61-70.
- Pate, D.W., 1994. Chemical Ecology Of Cannabis, *Journal Of The International Hemp Association* 2, 29, 32-37,
- 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.
- Seica, M. V., Packer, J. A., 2007. FRP Materials For The Rehabilitation Of Tubular Steel Structures, For Underwater Applications. *Composite Structures*, 80(3), 440-450.
- Sen, R., Mullins, G., 2007. Application Of FRP Composites For Underwater Piles Repair. *Composites Part B: Engineering*, 38(5), 751-758.
- Skoog, D.A., Holler, F.J., Nieman, T.A. 1998 *Principles of Instrumental Analysis*, 5th Edition,
- Şahin, M., 2008. Burkulmaya Maruz Tabakalı Kompozit Plakaların Deneysel Ve Nümerik Analizi. Yüksek Lisans Tezi, Cumhuriyet Üniversitesi, Sivas
- Şakar, G., Yaman, M., & Bolat, F. Ç., 2015. Bal Peteği Sandviç Kompozit Yapıların Dinamik Analizi.
- Teng, J. G., & Hu, Y. M. 2007. Behaviour Of FRP-Jacketed Circular Steel Tubes And Cylindrical Shells Under Axial Compression. *Construction And Building Materials*, 21(4), 827-838.
- Teng, J. G., Yu, T., Wong, Y. L., & Dong, S. L. 2007. Hybrid FRP–Concrete–Steel Tubular Columns: Concept And Behavior. *Construction And Building Materials*, 21(4), 846-854.
- Toğrol, E., Tan, O., 2009. Kazıklı Temeller. Birsen Yayınevi, 142 Sayfa, İstanbul.
- Üzel, S., 2011. Endüstriyel Çelik Binalarda Kazık Temellerin Binanın Dinamik Davranışına Olan Etkisi. Y. Lisans Tezi, Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü Mühendislik Ve Fen Bilimleri Enstitüsü, Gebze.
- Vijay, P. V., Soti, P. R., Gangarao, H. V., Lampo, R. G., & Clarkson, J. D. 2016 . Repair And Strengthening Of Submerged Steel Piles Using GFRP Composites. *Journal Of Bridge Engineering*, 21(7), 04016038.
- Yue, Z., Li, J., Shao, W., & Li, L. 2016. Effect of crack opening and recovery on chloride penetration into reinforced concrete hollow piles. *Materials and Structures*, 49(8), 3217-3226.
- Zyka, K., & Mohajerani, A. 2016. Composite piles: A review. *Construction and Building Materials*, 107, 394-410.

## ÖZGEÇMİŞ

1985 yılında Erzurum şehrinde doğdu. İlkokul, ortaokul ve liseyi Erzurum'da okudu. Lisans eğitimine 2010 yılında Süleyman Demirel Üniversitesi Yapı öğretmenliği Bölümünden ve 2013 yılında Atatürk üniversitesi inşaat mühendisliği bölümünden mezun oldu. 2013 yılında Erzurum Atatürk Üniversitesinin Fen Bilimleri Enstitüsünde Yüksek Lisans öğrenimine başladı.

