



**T.C.
BATMAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**BETON VE BALPETEĞİ ÇEKİRDEK
MALZEMESİNE SAHİP KARBON/EPOKSİ VE
CAM/EPOKSİ TÜPLERİNİN BASI
DAVRANIŞI**

Mehmet Beşir ALTIN

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Makine Mühendisliği Anabilim Dalını

**Ağustos-2019
BATMAN
Her Hakkı Saklıdır**

TEZ KABUL VE ONAYI

Mehmet Beşir ALTIN tarafından hazırlanan “BETON VE BALPETEĞİ ÇEKİRDEK MALZEMESİNE SAĞIP KARBON/EPOKSİ VE CAM/EPOKSİ TÜPLERİNİN BASI DAVRANIŞI” adlı tez çalışması 21/08/2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliğı ile Batman Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliğı Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Başkan

Doç. Dr. Erol KILIÇKAP

Danışman

Doç. Dr. Mehmet Emin DENİZ

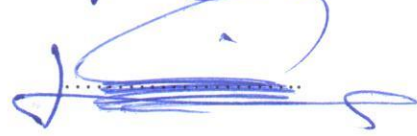
Üye

Doç. Dr. Hamit ADİN

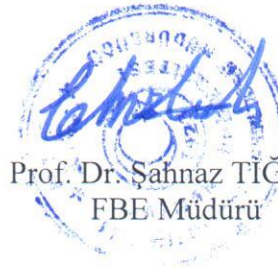
İmza







Yukarıdaki sonucu onaylarım.



Prof. Dr. Şahnaz TİGREK
FBE Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.

Mehmet Beşir ALTIN

Tarih: 21.08.2019

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

BETON VE BALPETEĞİ ÇEKİRDEK MALZEMESİNE SAHİP KARBON/EPOKSİ VE CAM/EPOKSİ TÜPLERİNİN BASI DAVRANIŞI

Mehmet Beşir ALTIN

**Batman Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı**

Danışman: Doç. Dr. Mehmet Emin DENİZ

2019, 91 Sayfa

Jüri

Doç. Dr. Mehmet Emin DENİZ

Doç. Dr. Hamit ADIN

Doç. Dr. Erol KILIÇKAP

Bu tez çalışmasında, üç farklı hücre boyutuna (25 mm, 50 mm, 100 mm), üç farklı hücre yüksekliğine (30 mm, 60 mm, 120 mm) ve iki farklı elyaf oryantasyon ($[-45^{\circ}/+45^{\circ}]_4$ ve $[0^{\circ}/90^{\circ}]_4$) açısına sahip cam/epoksi ve aynı hücre boyutu ve yüksekliği ile üç farklı oryantasyon ($[-45^{\circ}/+45^{\circ}]_4$, $[-60^{\circ}/+60^{\circ}]_4$ ve $[0^{\circ}/90^{\circ}]_4$) açısına sahip karbon/epoksi kompozit kare tüplerin üretimi el yatırma yöntemi ile gerçekleştirilmiştir. Üretilen kompozit tüpler için çekirdek malzemeler (dolgu malzemeleri) alüminyum balpeteği (honeycomb) ve C25 sınıflı hazır beton kullanılmıştır. Tez çalışmasının amacı, kompozit kare tüplerin eksenel bası davranışı üzerine numune boyutu, elyaf malzemesi tipi, oryantasyon açısı, çekirdek malzemesi gibi parametre etkilerinin deneysel belirlenmesidir. Deneyler, 250 kN yük kapasiteli Shimadzu marka universal test cihazı kullanılarak oda sıcaklığında gerçekleştirilmiştir. Deney sonrası kompozit kare tüplerde oluşan deformasyon aşamaları şekillerle yorumlandı, çekirdek malzemelerin yapısal ve dayanım özelliklerinin bası davranışı üzerindeki etkileri araştırıldı. Tüm parametreler için elde edilen sonuçlar, kendi içinde ve birbirleriyle karşılaştırıldı. Farklı numune boyutları ve malzeme türlerine sahip, değişik dolgu türleri kullanılarak üretilen kompozit tüplerin çok amaçlı şekillerde kullanılabileceğini, kompozit tüplerin fiziksel, kimyasal, mekaniksel özelliklerinin karakterize edilebileceğini, kompozit yapıların direncinin artırabileceğini, bu yapıların uygulama performanslarını optimal duruma getirilebileceğini göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Bal Peteği, Bası Davranışı, Beton, Cam Fiber, Epoksi, Karbon Fiber

ABSTRACT

MS THESIS

THE CRUSHING BEHAVIOR OF CARBON/EPOXY AND GLASS/EPOXY TUBES HAVING CORE MATERIAL WITH CONCRETE AND HONEYCOMB

Mehmet Beşir ALTIN

**The Graduate School of Natural and Applied Science of Batman University in
Mechanical Engineering**

Advisor: Assoc. Prof. Dr. Mehmet Emin DENİZ

2019, 91 Pages

Jury

Assoc. Prof. Dr. Mehmet Emin DENİZ

Assoc. Prof. Dr. Hamit ADİN

Assoc. Prof. Dr. Erol KILIÇKAP

In this thesis study, glass/epoxy composite square tubes with three different cell size (25 mm, 50 mm, 100 mm), three different cell height (30 mm, 60 mm, 120 mm) and two different fibre orientation ($[-45^\circ/+45^\circ]_4$ and $[0^\circ/90^\circ]_4$) and carbon/epoxy composite square tubes with the same cell size and height and three different orientation ($[-45^\circ/+45^\circ]_4$, $[-60^\circ/+60^\circ]_4$ and $[0^\circ/90^\circ]_4$) have been carried out manufacturing using the Hand Lay up Method. For produced composite tubes, core materials (fillers) aluminum honeycomb (honeycomb) and C25 class ready-mix concrete were used. The aim of the thesis study is to determine the effects of experimental parameters such as specimen size, fiber material type, orientation angle and core material on the axial compression behaviour of composite square tubes. The experiments was carried out using 250 kN load capacity Shimadzu brand universal testing machine at room temperature. After experiments, deformation shapes of composite square tubes was interpreted by figures. Also, the effects of the structural and strength properties of the core materials on the compression behavior of the specimens are investigated. For all parameters, the obtained results were compared in itself and with each other. Composite tubes with different specimen sizes and material types have produced using different fill types in ways that can be used for many purposes, can be characterized by the properties of the physical, chemical, mechanical, can increase the resistance of composite structures and can be brought optimal application performance of these structures, can be seen.

Keywords: Honeycomb, Crushing Behavior, Concrete, Glass Fiber, Epoxy, Carbon Fiber

ÖNSÖZ

Çekirdek malzemesi beton ve petek olan karbon/epoksi ve cam/epoksi tüplerinin bası davranışı adlı tez çalışmasında, üretilen kompozit tüplere deneysel bası kuvveti uygulanarak, numunelerde meydana gelen deformasyon şekilleri detaylı şekilde araştırılmış ve incelenmiştir. Tez çalışması beş ana başlıktan oluşmaktadır. Birinci başlıkta, kompozit malzemeler, alüminyum balpeteği (honeycomb) ve beton ile ilgili detaylı bilgiler anlatılmıştır. İkinci başlıkta, ürettiğimiz kompozit tüplere yapılan bası deneyi ile ilgili birbirine benzer fakat farklı malzeme ve kombinasyonlardan üretilen kompozit yapıların deformasyon durumlarını belirleyebilmek için bası deneyleri yapılmış makale çalışmalarıyla ilgili kaynak araştırması yapıldı ve elde edilen sonuçlar verilmiştir. Üçüncü başlıkta, deneysel çalışmada kullanılan malzemeler, üretilen numunelerin hazırlanma ve üretim aşamaları ayrıntılı anlatıldı. Numunelerin boyutları şekillerle gösterildi ve deneyde kullanılan bası cihazının parçaları ve yükleme durumları şekillerle gösterilerek detaylandırılmıştır. Dördüncü başlıkta, yapılan deneysel testler sonrası numunelerde oluşan deformasyon aşamaları şekillerle gösterildi, elde edilen kuvvet-deformasyon grafikleri çizildi. Tüm değerler kendi aralarında karşılaştırıldı ve ortaya çıkan sonuçlar yorumlandı. Beşinci başlıkta, yapılan deneysel test sonrasında oluşan tüm değerler ayrı ayrı analiz edildi ve üretilen kompozit malzemelerden elde edilen verilerle optimal duruma nasıl getirilebileceği farklı öneriler dile getirilerek anlatılmıştır.

Tezli yüksek lisans eğitimim süresinde bana sürekli yardımcı olan, her zaman destek veren, verdiği öneriler ve bilgilerle daima yol gösteren değerli danışman hocam, öğretim üyesi Sayın Doç. Dr. Mehmet Emin DENİZ' e teşekkür ederim. Hayatım boyunca bana sürekli yardımcı olan ve beni destekleyen aileme teşekkür ederim.

Mehmet Beşir ALTIN
BATMAN-2019

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
ÖNSÖZ	vi
İÇİNDEKİLER.....	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	ix
1. GİRİŞ	1
1.1. Kompozit Malzemeler	1
1.1.1. Kompozit Tanımı	1
1.1.2. Kompozitlerin Özellikleri	2
1.1.3. Kompozit Malzemelerin Tarihçesi	2
1.1.4. Kompozit Malzemelerin Üstünlükleri	4
1.1.5. Kompozit Malzemelerin Türleri	5
1.1.5.1. Parçacıklı Kompozitler	5
1.1.5.2. Fiberli Kompozitler.....	6
1.1.6. Kompozitlerin İmalatında Kullanılan Malzeme Türleri	7
1.1.6.1. Takviye Malzemeleri	7
1.1.6.1.1 Cam Fiberler	8
1.1.6.1.2 Karbon Fiberler	9
1.1.6.1.3 Aramid Fiberler.....	10
1.1.6.1.4 Bor Fiberler	10
1.1.6.2. Matris Malzemeleri	11
1.1.6.2.1. Termoplastik polimerler	11
1.1.6.2.2. Termoset Polimerler	12
1.2. Balpeteği	12
1.2.1. Balpeteği Hücre Teknolojisi	14
1.2.2. Hücre Biçimi	15
1.2.3. Balpeteğin Özellikleri	17
1.2.4. Yapısal Çekirdek Belirtme	18
1.2.5. Sandviç Yapılar	18
1.2.6. Sandviç Kavramı	19
1.2.7. Alüminyum Balpeteği	20
1.2.7.1. Korozyona Dayanıklı Kaplamalar	20
1.2.7.1.1. CR III.	21
1.2.7.1.2. CR-PAA TM	21
1.2.7.1.2.1. 5052 Alaşımı	21
1.2.7.1.2.2. 5056 Alaşımı	21
1.2.8. Balpeteğinin Uygulama Alanları	22
1.3. Beton	23

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI	25
2.1. Bası Deneyi İle İlgili Kaynak Araştırması.....	25
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	33
3.1. Deney Numunelerinin Hazırlanması	33
3.1.1. Cam/Epoksi Numunelerin Hazırlanması	34
3.1.1.1. 25 mm x 25 mm x 30 mm Boyutlu $[-45^{\circ}/+45^{\circ}]_4$ ve $[0^{\circ}/90^{\circ}]_4$ Oryantasyon Açılarına Sahip Cam/Epoksi Kompozit Kare Tüplerin Üretimi.....	34
3.1.1.2. 50 mm x 50 mm x 60 mm Boyutlu $[-45^{\circ}/+45^{\circ}]_4$ ve $[0^{\circ}/90^{\circ}]_4$ Oryantasyon Açılarına Sahip Cam/Epoksi Kompozit Kare Tüplerin Üretimi.....	36
3.1.1.3. 100 mm x 100 mm x 120 mm Boyutlu $[-45^{\circ}/+45^{\circ}]_4$ ve $[0^{\circ}/90^{\circ}]_4$ Oryantasyon Açılarına Sahip Cam/Epoksi Kompozit Kare Tüplerin Üretimi	38
3.1.2. Karbon/Epoksi Numunelerin Hazırlanması.....	40
3.1.2.1. 25 mm x 25 mm x 30 mm Boyutlu $[-45^{\circ}/+45^{\circ}]_4$, $[-60^{\circ}/+60^{\circ}]_4$ ve $[0^{\circ}/90^{\circ}]_4$ Oryantasyon Açılarına Sahip Karbon/Epoksi Kompozit Kare Tüplerin Üretimi	40
3.1.2.2. 50 mm x 50 mm x 60 mm Boyutlu $[-45^{\circ}/+45^{\circ}]_4$, $[-60^{\circ}/+60^{\circ}]_4$ ve $[0^{\circ}/90^{\circ}]_4$ Oryantasyon Açılarına Sahip Karbon/Epoksi Kompozit Kare Tüplerin Üretimi	43
3.1.2.3. 100 mm x 100 mm x 120 mm Boyutlu $[-45^{\circ}/+45^{\circ}]_4$, $[-60^{\circ}/+60^{\circ}]_4$ ve $[0^{\circ}/90^{\circ}]_4$ Oryantasyon Açılarına Sahip Karbon/Epoksi Kompozit Kare Tüplerin Üretimi	46
3.2. Deneysel Çalışma	49
4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA.....	53
4.1. Cam/Epoksi Kare Tüpün Deformasyon Aşamaları	53
4.1.1. $[-45^{\circ}/+45^{\circ}]_4$ Oryantasyon Açılı Cam/Epoksi Kare Tüpün Deformasyon Aşamaları	53
4.1.2. $[0^{\circ}/90^{\circ}]_4$ Oryantasyon Açılı Cam/Epoksi Kare Tüpün Deformasyon Aşamaları	57
4.2. Karbon/Epoksi Kare Tüpün Deformasyon Aşamaları.....	62
4.2.1. $[-45^{\circ}/+45^{\circ}]_4$ Oryantasyon Açılı Karbon/Epoksi Kare Tüpün Deformasyon Aşamaları	62
4.2.2. $[-60^{\circ}/+60^{\circ}]_4$ Oryantasyon Açılı Karbon/Epoksi Kare Tüpün Deformasyon Aşamaları	66
4.2.3. $[0^{\circ}/90^{\circ}]_4$ Oryantasyon Açılı Karbon/Epoksi Kare Tüpün Deformasyon Aşamaları	70
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	75
5.1 Sonuçlar	75
5.2 Öneriler	76
KAYNAKLAR	77
ÖZGEÇMİŞ	82

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

kN	Kilo Newton
lt	Litre
mm	Milimetre
mm ³	Milimetre Küp
N	Newton

Kısaltmalar

SiO ₂	Silikon Dioksit
------------------	-----------------

1. GİRİŞ

Bu bölümde, kompozit malzemelerin tanımı, özellikleri, tarihçesi, üstünlükleri ve türleri hakkında detaylı bilgiler anlatılmıştır. Alüminyum balpeteği (honeycomb), hücre teknolojisi, petek hücre biçimi, petek malzemelerin genel özellikleri, yapısal çekirdek tipinin belirtilmesi, sandviç yapılar ve sandviç kavramının tanımı ve beton ile ilgili detaylı bilgiler anlatılmıştır.

1.1. Kompozit Malzemeler

1.1.1. Kompozit Tanımı

Kompozit kelimesinin en yaygın kullanılan anlamı, Jartiz 'in ifade ettiği gibi; “Kompozitler, herhangi bir ayrı materyalden elde edilemeyen özellikleri sağlayan çok işlevli malzeme sistemleridir. Bunlar, fiziksel olarak iki veya daha fazla uyumlu malzemeyi, karışım ile özellikler bakımından farklı ve bazen de biçim olarak birleştirilmesiyle oluşturulan yapışkan yapılardır”. Buna göre, kompozit malzemeler arasında ahşap, kemik, kabuk vb. gibi hemen hemen tüm maddelerin yanı sıra, bazı toz metalürjisi ürünleri, elektrik yalıtkanları, reçine ile bağlanmış manyetik malzemeler, toz yüklü plastikler, kâğıt yapraklar vb. gibi bazı insan yapımı malzemeler de iyi bir şekilde sınıflandırılabilir. Kelly, “Kompozitlerin iki malzemenin bir kombinasyonu olarak basit olarak görülmemesi gerektiğini açıkça vurgulamaktadır. Daha geniş bir şekilde; kombinasyonun kendine özgü özellikleri vardır. Isıya veya diğer istenilen kaliteye karşı mukavemet açısından, tek başına olan bileşenlerden daha iyidir veya her ikisinden de radikal olarak farklıdır”. Berghezan, “Kompozitler, tek tek bileşenlerin özelliklerini koruduğu, ancak kısa özelliklerinden değil, sadece özelliklerinden faydalanacak şekilde kompozite dahil edildiği için alaşımlardan farklı olan bileşik malzemelerdir” olarak tanımlamaktadır. Vansuchetlan; “Kompozit malzemeleri, mikroskobik ölçekte birbirleriyle yakın temas halinde olan iki veya daha fazla katı fazdan oluşan heterojen malzemeler olarak açıklar”. Ayrıca, herhangi bir bölümünün aynı fiziksel özelliğe sahip olacağı anlamında mikroskobik ölçekte homojen malzemeler olarak düşünülebilir. Yukarıdaki tanımdan, bir kompozit malzemenin tasarımı ve imalatı sırasında elde edilmesi gereken şeyin, “ tek başına veya birlikte karıştırılmış tek tek bileşenlere üstün

özelliklere sahip yeni bir malzeme " elde edebilmek için sinerjik bir etki yapısına dahil edilmesi olduğu açıkça ortaya çıkmaktadır".

1.1.2. Kompozitlerin Özellikleri

Kompozitler, sürekli bir faza gömülmüş, bir veya daha fazla süreksiz fazdan oluşur. Süreksiz faz, genellikle sürekli fazdan daha sert ve daha güçlüdür, bu yüzden takviye veya takviye malzemesi olarak adlandırılır, oysa sürekli faz ise matris olarak adlandırılır. Kompozitlerin özellikleri, kurucu malzemelerinin özelliklerine, dağılımlarına ve aralarındaki etkileşime güçlü bir şekilde bağlıdır. Kompozit özellikler, bileşenlerin özelliklerinin hacimsel oranının toplamı olabilir, bileşenlerin iyileştirilmiş veya daha iyi özelliklerle sonuçlanan sinerjik bir şekilde etkileşime girmesi olabilir. Oluşturan malzemelerin doğası dışında, takviye geometrisi (şekil, boyut ve boyut dağılımı) kompozitin özelliklerini büyük ölçüde etkiler. Takviyenin yoğunluklu dağılımı ve oryantasyonu da özellikleri etkiler. Süreksiz fazın şekli (küresel, silindirik veya dikdörtgen çapraz yapılı prizmalar olabilir), boyut ve boyut dağılımı (malzemenin dokusunu kontrol eden) ve hacimsel oranını, takviye ile matris arasındaki etkileşimin kapsamının belirlenmesinde önemli bir rol oynayan ara yüz alanını belirler. Genellikle hacim veya ağırlık oranı olarak ölçülen yoğunluk, tek bir bileşenin kompozitlerin genel özelliklerine katkısını belirler. Sadece kompozitlerin özelliklerini etkileyen en önemli tek parametre değil, aynı zamanda özelliklerini değiştirmek için kullanılan kolay kontrol edilebilir bir üretim değişkenidir (Shukla, 2011).

1.1.3. Kompozit Malzemelerin Tarihçesi

Daha az ağırlık, artan mukavemet ve sertlik ile belirlenebilen geliştirilmiş performans için artan talep ile geleneksel metalik malzemelerin yerini alan, hafif kompozit malzemeler kullanılmaya ihtiyaç duyulmaktadır. Tamamen farklı fiziksel veya kimyasal özelliklere sahip en az iki bileşen kullanılarak, birleştirildiğinde tek tek bileşenlere göre benzersiz özelliklere sahip bir malzeme oluşturan kompozit malzeme üretilir. Kompozit malzeme fikri yeni değil; M.Ö. 1500 yılında Mısırlılar ve İsraililer, güçlü binalar oluşturmak için çamur ve saman kombinasyonunu bir arada kullandılar.

Doğa, kompozit malzeme fikrinin bulunabileceği başka bir örnektir. Odun, fiberli kompozitler kategorisine giren, lignin matrisine gömülü selüloz fiberleri olan doğal olarak oluşan bir kompozit malzemedir. Beton, çimento ile bir arada tutulan bir taş karışımından oluştuğundan bir kompozit olarak da kabul edilebilir. Eski Moğollar, doğal olarak oluşan bir çam reçinesiyle bağlanmış ahşap, kemik ve bambudan yapılmış kompozit yaylar kullandılar. Bu yayların çok güçlü ve doğru oldukları söylenir. Modern kompozitlerin evrimi, araştırmacıların 1900'lerin başlarında sentetik reçineler geliştirmesiyle başladı. Havacılık endüstrisinde kompozit malzemelerin uygulanması, fenolik reçinenin gelişmesiyle başladı. Bu gelişme, nakliye uçaklarının imalatına yol açtı. Owens Corning, Fiberglass® adlı ilk ticari kompozit malzemeyi üretmiştir: Cam fiberler, inanılmaz derecede hafif ve güçlü yapılar oluşturan sentetik bir polimer ile birleştirilmiştir. Bu buluş, geleneksel metalik malzemelerin yerine, yeni kompozit malzemelerin kullanımıyla sonuçlanan fiber takviyeli polimerlerin geliştirilmesine yol açtı. Fiberglass®' dan imal edilmiş tekneler rekabet gücü sağlar ve paslanmaya maruz kalmazlar. Fiberglass®, ayrıca baskılı devre kartları, helikopter bıçakları, korvet gövdesi, spor arabaları vb. üretmek için de kullanılmıştır. Bilim ve teknolojiadaki gelişmeler, daha yüksek modüllü fiberlere sahip yeni malzemelerin geliştirilmesine ihtiyaç duyulmasına neden olmuştur. 1960'lı yıllarda, öncül olarak Rayon (sunî ipek) kullanılarak karbon ve grafit gibi yeni ve daha güçlü güçlendirici fiberler üretildi. Bu süre zarfında geliştirilen bor fiberleri, mukavemet ve sertliğin önemli olduğu askeri ve havacılık endüstrilerinde de potansiyel uygulamalar buldu. Bu arada, Japonya'da, Rayon 'un yerini alan öncül olarak Poliakrilonitril kullanılarak yüksek mukavemetli grafit fiberler geliştirildi. 1970'lerin başında, Aramid (aromatik poliamid) bazlı fiberler Kevlar® üretildi ve mevcut fiberlerden çok daha sert ve daha güçlü olduğu bulundu. Bu fiberlerin gelişimi, otomobillerde kullanılan radyal lastiklerdeki çelik kayışların polimer esaslı kalın ipler ile değiştirilmesine neden olarak, böylece otomobilin toplam ağırlık ve toplam yakıt tüketiminin azaltılmasına yol açtı. Aramid fiberlerinin kimyasal yapısındaki küçük bir değişiklik, genellikle itfaiyeciler için koruyucu giysiler geliştirmek ve kurşun geçirmez yelekler için kullanılan Nomex® adı verilen yangına dayanıklı başka fiberler ortaya çıkmasına neden oldu. Bu güçlü fiberlerin, bazı entegre balpetek sertleştiricilerle kaplama olarak kullanılması, havacılık endüstrisinde kullanılan sandviç yapıların geliştirilmesine de yol açtı. Son yıllarda, kompozit malzemelerin kullanımı havacılık, askeri, otomotiv, spor malzemeleri vb. gibi farklı endüstrilerde yaygın olarak kullanılmasına yol açtı.

1.1.4. Kompozit Malzemelerin Üstünlükleri

Kompozitler, uçak, deniz, askeri, otomotiv ve tıbbi gibi çeşitli sektörlerde geniş bir uygulama yelpazesine sahip üstün bir malzeme türü olarak düşünülebilir. Bu kompozitlerin birincil bir özelliği, istenen mekanik özelliklere sahip yapılar elde etmek için katların veya laminanın istifleme sırasını değiştirme imkânıdır. Yüksek performanslı fiber takviyeli polimer matris kompozitlerin üstünlüklerinin bazıları şunlardır:

Hafif: Kompozit yapılar genellikle uçak ve otomotiv endüstrisindeki uygulamalar için uygun hale getiren metalik muadillerinden daha hafiftir. Kompozit malzemelerin daha düşük ağırlığı, daha düşük yakıt tüketimi ve daha düşük emisyonlarla sonuçlanır

Yüksek mukavemet: Kompozitler, geleneksel metalik malzemelerin birçoğuna kıyasla yüksek mukavemete sahiptir ve belirli bir yönde tasarlanıp daha güçlü olma esnekliğine sahiptir.

Yüksek mukavemet-ağırlık oranı: Bu özellik, yüksek mukavemetli ve daha az ağırlığın arzu edildiği uçaklar ve diğer yapıları inşa ederken dikkate alınır. Kompozitlerin spesifik mukavemeti, alüminyum ve çelikten daha üstündür.

Korozyon direnci: Kompozitler sert çevre koşullarına dayanabilir ve çeşitli reaktif kimyasallarla temas edebilir. Fiberglas® 'den yapılan borular rafinerilerden yakıt taşımak için kullanılabilir.

Yüksek darbe dayanımı: Kompozitler, bir patlamanın veya patlamanın etkisine direnmek için uygun bir şekilde tasarlanmıştır. Bu özellik nedeniyle kompozitler askeri araçlar ve kurşun geçirmez yelekler yapımında kullanılır

Tasarım Esnekliği ve Boyutsal Stabilite: Kompozit malzemeler karmaşık şekiller için tasarlanabilir ve kolayca kalıplanabilir. Sıcak veya soğukken boyutlarını korudukları için daha iyi boyutsal stabiliteye sahiptirler, böylece uçak kanatları vb. gibi uygulamalarda daha iyi bir uyum sağlarlar.

Parça Konsolidasyonu: Tek bir kompozit yapı, geleneksel metalik malzemeler kullanılarak yapılan mevcut montajların yerine geçerek toplam maliyeti düşürür.

Düşük Isı İletkenliği: Kompozit malzemeler ısıyı veya soğuk iletmez ve bu nedenle sert hava koşullarına uygun uygulamalarda kullanılabilir.

Manyetik ve iletken olmayan: Kompozit malzemeler elektrik iletmezler, böylece yalıtılmış anahtar panoları, elektrik direkleri vb. geliştirmek için uygulamalar için uygun hale getirirler.

Radar Şeffaflığı: Kompozit malzemelerden yapılan yapılar, radar sinyalleri tarafından tespit edilemez ve bu nedenle birçok askeri uygulamada genellikle savaş uçağı olarak kullanılabilir.

Dayanıklılık: Kompozit malzemeler, genel olarak, uzun ömürlü ve daha az bakım gerektirir (Pariti, 2017).

1.1.5. Kompozit Malzemelerin Türleri

Kompozit malzemeler farklı şekillerde çeşitlendirilebilir. Temsili bir takviye biriminin geometrisine dayanan sınıflandırma uygundur, çünkü takviye geometrisi, kompozitlerin mekanik özelliklerinden ve kompozitlerin yüksek performansından sorumludur. İki geniş kompozit çeşidi vardır; parçacıklı kompozitler ve fiberli kompozitlerdir.

1.1.5.1 Parçacıklı Kompozitler

Adından da anlaşılacağı gibi, takviye parçacık yapısındadır (tabakalar da bu sınıfa dâhil edilmiştir). Küresel, kübik, dörtgen, normal tabaka, diğer düzenli veya düzensiz şekillerde olabilir, ancak yaklaşık olarak denktir. Genel olarak parçacıklar, kırılma direncini iyileştirmede çok etkili değildir, ancak kompozitin sertliğini sınırlı bir ölçüde arttırırlar. Parçacık dolgu malzemeleri, termal ve elektriksel iletkenlikleri değiştirmek, yüksek sıcaklıklarda performansı artırmak, sürtünmeyi azaltmak, aşınma ve aşınma direncini artırmak, işlenebilirliği artırmak, yüzey sertliğini artırmak ve büzülmeyi azaltmak gibi matris malzemelerinin özelliklerini geliştirmek için yaygın olarak kullanılmaktadır (Shukla, 2011). Şekil 1.1' te parçacıklı kompozitler ile ilgili örnek bir şekil gösterilmiştir.



Şekil 1.1. Parçacıklı kompozitler (Pourang, 2018)

1.1.5.2. Fiberli Kompozitler

Bir fiber, uzunluğu kesit boyutlarına kıyasla çok daha büyük olması ile karakterize edilir. Takviyenin boyutlarının özellikleri kompozitte katkıda bulunma kabiliyetini belirler. Fiberler, matrisin kırılma direncinin iyileştirmesinde çok etkilidir, çünkü uzun bir boyuta sahip bir takviye, takviyede normal olarak yeni başlayan çatlakların büyümesini önlemeye çalışır, aksi halde kırılma olan matrislerde başarısızlığa yol açacak şekilde sebep olur. İnsan yapımı fiberler veya polimerik olmayan malzemelerin fiberleri, dökme malzemede büyük kusurlar bulunabileceğinden, fiberin küçük kesit boyutları nedeniyle en aza indirildiğinden, uzunlukları boyunca çok daha yüksek mukavemet sergiler. Polimerik malzemeler söz konusu olduğunda, moleküler yapının oryantasyonu yüksek mukavemet ve sertlikten sorumludur. Fiberler, küçük kesit boyutları nedeniyle, mühendislik uygulamalarında doğrudan kullanılamaz. Bu nedenle, fiberli kompozitler oluşturmak için matris malzemelerine gömülürler. Matris, fiberleri birbirine bağlamaya, yükleri fiberlere aktarmaya ve kullanım nedeniyle çevresel etkilere ve hasara karşı koruyarak yardım eder. Süreksiz fiber takviyeli kompozitlerde, matrisin yük transfer fonksiyonu sürekli fiber kompozitlerden daha kritiktir (Shukla, 2011). Şekil 1.2' te fiberli kompozitler ile ilgili örnek bir şekil gösterilmiştir.



Şekil 1.2. Fiberli kompozitler (Pourang, 2018)

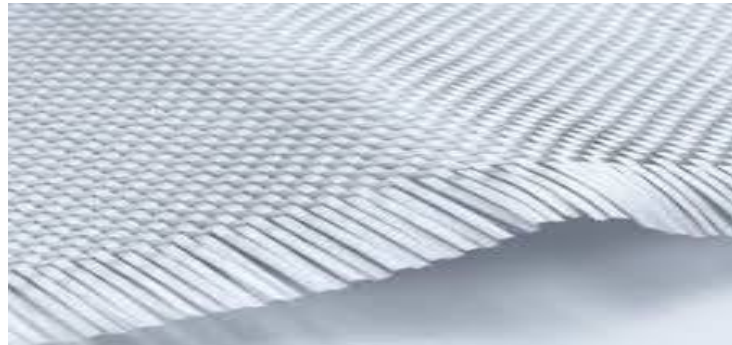
1.1.6. Kompozitlerin İmalatında Kullanılan Malzeme Türleri

1.1.6.1. Takviye Malzemeleri

Kompozitlerdeki takviyeler gerekli mukavemeti ve sertliği sağlar. Birçok durumda, takviye fiber veya partiküller olabilir. Partikül takviyeler, fiber takviyelerine kıyasla daha zayıf ve kırılgandır. Tek başına fiberler, bası yüklerini tek başına destekleyemedikleri için, yüksek gerilme mukavemetine sahip olsalar bile yapılarda kullanılamaz. Fiberler, fiber takviyeli kompozitlerde ana bileşeni oluşturur, çünkü gerekli koşulları sağlarlar, dayanımı bileşen matrisine aktarırlar ve çoğu alanı kompozit bir yapıya alırlar. Bir kompozitin performansı, fiberin malzemesi, fiberin uzunluğu, fiberin şekli, fiberin yönü ve fiberin bileşimi gibi birçok faktörlere bağlıdır. Fiberin oryantasyonu, kompozit yapının mukavemetinin gösterilmesinde önemli bir rol oynamaktadır. Halen farklı endüstrilerde kullanılan dört tip fiber türü vardır; Cam, Karbon, Aramid ve Bor'dur. Genişletilmiş zincirli polietilen fiberleri, jüt, hindistan cevizi vb. gibi doğal olarak ortaya çıkan fiberlerden ayrı olarak, seramik fiberleri gibi başka tipte fiber türleri de vardır.

1.1.6.1.1. Cam Fiberler

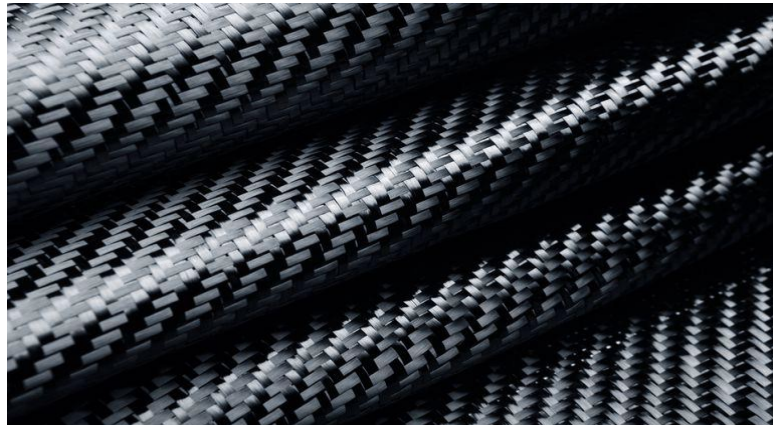
Cam fiberler, fiber takviyeli polimerlerde en yaygın kullanılan fiber türüdür. Cam fiberi, küçük parçalardaki diğer metal oksitler dışında Silika'dan (SiO_2 -Silikon dioksit) oluşur. Ham maddeler başlangıçta eritildikleri bir hazneye beslenir ve bu erimiş sıvı daha sonra tabanında 200 küçük delikten oluşan, elektrikle ısıtılan platin burçlardan beslenir. Erimiş sıvı, yerçekimi nedeniyle bu deliklerden akar ve böylece sürekli ince fiberleri oluşturur. Cam fiberleri, yüzey kusurlarının varlığı nedeniyle kolayca zarar görür. Cam fiberi, genellikle bir iplikçik halinde elde edilebilir. Bu fiberler sürekli sıralı iplikler, dokumalı iplikler, kesilmiş iplikler vs. gibi başka formlar da mevcuttur. Fiberle güçlendirilmiş kompozitlerde, takviye olarak yaygın şekilde kullanılan iki tip cam fiberi vardır: E-glass (çünkü kimyasal bileşim onu daha iyi bir elektrik yalıtkanı yapar) ve S-glass. Bunlardan bir diğeri genellikle üstün korozyona dayanıklı özellikleri ile bilinen C-glass'dır. Bu fiberler arasında, E-glass en düşük maliyete sahiptir ve bu nedenle E-glass yaygın olarak kullanılmasının temel nedenidir. S-glass, en yüksek çekme mukavemetine ve daha yüksek modüle sahiptir, bu da uçak parçaları ve füze muhafazalarının imalatına uygun hale getirir. Cam fiberlerinin yoğunluğu düşük, mukavemeti yüksektir ve modülleri orta düzeydedir; bu nedenle hepsi ortalama bir genel modül ağırlık oranına dönüşür. Böylece, karbon fiberi, bor fiberi vb. gibi yüksek modüllü fiberlerin gelişmesine yol açtı. Cam fiberleri neme karşı hassastır, böylece fiberlerin toplam mukavemetini azaltır. Bu fiberler, bina ve inşaatta diğer yapısal malzemeler, pencere çerçeveleri, banyo üniteleri vb. için destek olarak yaygın şekilde kullanılır. Tekne gövdeleri de ilk olarak cam fiberlerden yapılmıştır. Ulaştırma endüstrisi, havacılık endüstrisi ve kimya endüstrisi, cam fiber takviyeli kompozitlerin büyük uygulamalarına sahiptir (Pariti, 2017). Şekil 1.3' te cam fiberin örnek bir şekli gösterilmiştir.



Şekil 1.3. Cam fiber (Pourang, 2018)

1.1.6.1.2. Karbon Fiberler

Karbon fiberler ve grafit fiberleri genellikle daha yüksek mukavemet, sertlik ve daha yüksek modül gerektiren uygulamalarda kullanılan takviyelerdir. Karbon fiber ve grafit fiberleri arasındaki temel fark, fiber içindeki karbon içeriği ve fiberlerin üretilme işlemidir. Karbon fiberin; düşük gerilmeye, zayıf darbe direnci ve çok yüksek elektriksel iletkenlik gibi sessiz birkaç dezavantajı vardır. Genellikle ağırlık tasarrufunun önemli olduğu havacılık uygulamalarında kullanılırlar. Karbon fiberleri; amorf karbona ve neredeyse eşit bileşimlerde grafitik bir karbon karışımına sahiptir, çünkü karbon fiberleri genellikle daha güçlüdür. Karbon fiberler ticari olarak uzun ve sürekli bir çekme, doğranmış fiberler ve öğütülmüş fiberler olarak bulunur. Uzun kesintisiz çekme tertibatı, genellikle bir paralel şerit düzenlemesine sahiptir ve genellikle yüksek performanslı uygulamalar için kullanılır. Karbon fiberler, yüksek modülü ve yüksek çekme mukavemeti/ağırlık oranı nedeniyle sayısız uygulamalarda kullanılmaktadır. Karbon fiberlerinin uygulamaları, havacılık endüstrisinde, spor malzemelerinden, roket muhafazalarına kadar uzanmaktadır. Ticari uçaklar, yapısal uygulamalarının birçoğunda karbon fiber epoksi kompozitleri de kullanır. Karbon fiber üretiminin artmasıyla birlikte genel olarak fiyatları azalır ve karbon fiber, tıp sektöründe belirli ekipman üretmek için ve implant malzemesi olarak karbon fiberin kullanılabileceği potansiyel bir kullanım alanı bulmuştur. Karbon fiberler ayrıca türbinler, kompresörler, yel değirmeni bıçakları vb. gibi ağır makinelerin üretiminde kullanılır (Pariti, 2017). Şekil 1.4' te karbon fiberin örnek bir şekli gösterilmiştir.



Şekil 1.4. Karbon fiber (Pourang, 2018)

1.1.6.1.3. Aramid Fiberler

Aramid fiberleri genellikle Kevlar® ticari ismi altında üretilmektedir. Kevlar®'te iki farklı tipte fiber vardır: Lastiklerde kullanılan Kevlar® 29, diğeri ise yüksek mukavemet ve sertlik gerektiren yapısal uygulamalarda kullanılan Kevlar® 49. Kevlar® düşük bir yoğunluğa sahiptir, ancak diğerk takviye fiberlerine kıyasla daha iyi bir spesifik mukavemete sahiptir. Kevlar®, ayrıca diğerk yapısal kompozitlere kıyasla üstün tokluğa, iyi sönümlleme özelliklerine ve darbeye dayanıklı özelliklere sahiptir. Bir aramid fiberin yapısı, aromatik bir benzen halkasına bağlı bir amid grubundan oluşur. Özel bir öncünün asidik bir çözeltisini bir eğiriciden sıkmak, daha iyi fiziksel ve mekanik özelliklere sahip olan yüksek anizotropik Kevlar® fiberlerine yol açar. Aramid fiberleri ultraviyole ışınlarına maruz kaldıklarında renk değıştirikir ve mekanik özelliklerini kaybeder. Aramid fiberleri, zayıf sıkıştırma özelliklerine sahiptir, bu da büyük bir dezavantajdır (Pariti, 2017). Şekil 1.5' te aramid fiberin örnek bir şekli gösterilmiştir



Şekil 1.5. Aramid fiber (Pourang, 2018)

1.1.6.1.4. Bor Fiber

Bor, genellikle doğada kırılımandır. Bor fiberleri genellikle bir alt tabaka üzerinde bor kaplamasıdır. Bor, genellikle kimyasal buhar birikimi ile alt tabakaya yatırılır. Bu işlem daha yüksek sıcaklıkları içerdüğinden, yüzey malzemelerinin üstün termal

özellikleri nedeniyle tungsten teli veya karbon gibi uygun bir yüzey malzemesi kullanılabilir. Grafit fiberlerden daha yüksek yoğunluklu, daha yüksek mukavemet ve sertlik nedeniyle, uçak tasarım ve üretim yapılarını oluşturmak için bor fiberleri tercih edilir. Bununla birlikte, bor fiberlerinin maliyeti, çeşitli yapısal uygulamalarda kullanılmasını önleyen önemli bir engeldir (Pariti, 2017).

1.1.6.2. Matris Malzemeleri

Mukavemet gereksinimlerine bağlı olarak, matris malzemesi olarak; polimerler, metaller ve seramikler kullanılır. Üçünden, polimer matrisi kompozit yapıların yapımında yaygın olarak tercih edilir.

Matris, fiber takviyeli kompozit malzemelerde aşağıdaki rollere sahiptir.

- Fiberleri bir arada tutar.
- Fiberler arasında yük ve gerilmeleri aktarır.
- Fiberlerin, kimyasallar gibi çevresel etkilere ve fiberlerin yüzeyinin mekanik bozulmasına karşı korur.
- Sadece fiberlerle mümkün olmayan süneklik, tokluk ve yalıtım gibi bazı özellikler sunar.

Fiber ve matris malzemesi, herhangi bir çalışma sıcaklığında kimyasal olarak reaktif olmamalıdır. Bir matris malzemesinin maksimum çalışma sıcaklığını göz önünde bulundurmak da önemlidir. Polimerler, bir termoset veya termoplastik olarak bulunur. Epoksi, polyester, fenolik vb. termoset polimer kategorisine aittir. Nylon, polikarbonat, polisülfon, polieter eter keton termoplastiklere aittir.

1.1.6.2.1. Termoplastik polimerler

Termoplastik polimerler, moleküllerin zayıf bir bağ ile bir arada tutulduğu ve sert bir yapı oluşturmak üzere çapraz bağlanmadıkları lineer polimerlerdir. Zayıf bağlar, ısı uygulandığında kopar ve moleküller ısı veya kuvvet uygulandığında nispeten yeni bir pozisyona hareket edebilir. Soğutulduktan sonra, moleküller yeni bir pozisyon kaplar ve zayıf bağlar yenilenir ve böylece yeni bir şekil elde edilir. Bu nedenle, bir termoplastik polimer tekrar tekrar eritebilir ve işlenebilir. Bununla birlikte, termoplastik polimer,

yüksek sıcaklıklara sürekli maruz kalması nedeniyle mekanik olarak bozulabilir. Matris malzemesi olarak kullanılan yaygın termoplastik reçineler naylon, polipropilen, polikarbonat ve polisülfon‘ dur. Polieter eter keton, polifenilen sülfür, şu anda matris malzemesi olarak kullanılan yeni termoplastiklerdir.

1.1.6.2.2. Termoset Polimerler

Bir termoset polimerinde, moleküller sert bir yapı oluşturmak için çapraz bağlayarak kimyasal olarak birleştirilir. Termosetler, termoplastiklerle karşılaştırıldığında daha yüksek modül, yüksek sertlik ve iyi boyutsal stabiliteye sahiptir. Epoksi, fiber takviyeli kompozitlerin çoğunda matris malzemesi olarak yaygın şekilde kullanılan bir termoset reçinedir. Epoksi reçineler, kimyasal ve çevresel etkilere karşı üstün direnç, takviye ile iyi yapışma ve sertleşme sırasında daha az büzülme gibi çok çeşitli özellikler nedeniyle yaygın olarak kullanılmaktadır. Epoksi‘ yi matris olarak kullanmanın en büyük dezavantajı yüksek maliyeti ve uzun kürlenme süresidir.

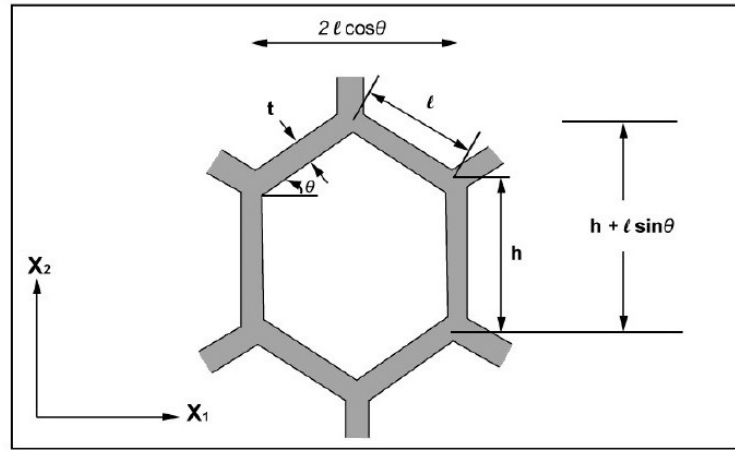
Yüksek performanslı polimer matris kompozitler için ideal matris malzemeleri, aşağıdaki istenen mekanik özelliklere sahip olmalıdır:

- ◆ Yüksek çekme mukavemeti,
- ◆ Yüksek modül,
- ◆ Yüksek kırılma tokluğu,
- ◆ Nem ve diğer çözücülere karşı direnç,
- ◆ İyi boyutsal kararlılık - daha yüksek cam geçiş sıcaklığı (Pariti, 2017).

1.2. Balpeteği

Altıgen hücreli balpetek, hücresel malzemeler arasında en yaygın yapıya sahiptir, farklı teknolojiler ve malzemeler kullanılarak kolayca imal edilebilir. Bununla birlikte, birçok uygulamaya yönelik özel ihtiyaçları karşılamak için, altıgen balpeteği yapıların endüstriyel ortamda birçok yeniliklerle yeni bir ürüne dönüştürerek, geleneksel mühendislikten mikro ve nano fabrikasyona kadar çeşitliliğin hızla artmasına yol açtı Petek yapılarının şekli yaygın olarak değişebilir, ancak içi boş bir kafes onların

ortak özellikleridir. Balpetek yapıları, malzemelerin minimize edilmesine ve bunun sonucunda tasarım sürecinde hem ağırlıkta hem de maliyette tasarruf sağlar. Ayrıca, balpetek yapıları nispeten yüksek basma ve kayma özelliklerine sahiptir. Genel olarak, balpeteklerin iç açıları farklıdır ve petek yapıların eşit uzunlukta hücre duvarları da yoktur. Ek olarak, hücre duvarlarının kalınlığı aynı olmayabilir. Şekil 1.6' da tipik bir petek hücresinin şekli gösterilmiştir.



Biçimi Bozulmamış Balpeteği Hücre Ünitesi

Şekil 1.6.Tipik bir petek hücresi

Petek yapıları genellikle, birim hücrelerin kenarlarını oluşturan, mikrometrelerden milimetrelere kadar değişen çaplarda levhalar veya plakalardan yapılır. Peteklerin çoğu kapalı hücre yapılarıdır. Bir balpetek yapısı oluşturmak için, bu birim hücreler genellikle iki boyutta tekrarlanır. Balpeteği yapılarının bir başka önemli özelliği, hücresel yapının ve katı maddenin yoğunluğu arasındaki oran olan nispi yoğunluktur. Bu faktör, peteklerin özelliklerini tanımlamak için hayati öneme sahiptir (Evangelos, 2018).

Az ağırlıklı hücresel yapılar, ilk önce 1940'larda uçaklarda ağırlığı azaltmak, taşıma yükü ve uçuş mesafesini arttırmak için kullanıldı. Daha ağır olan geleneksel tabaka ve tel ya da kiriş destek yaklaşımını değiştirmek için uçak tasarımına dahil edildiler ve sandviç panellere dahil olmaları, havacılık endüstrisinde 1950'lerden bu yana temel bir yapısal konsept olmuştur.

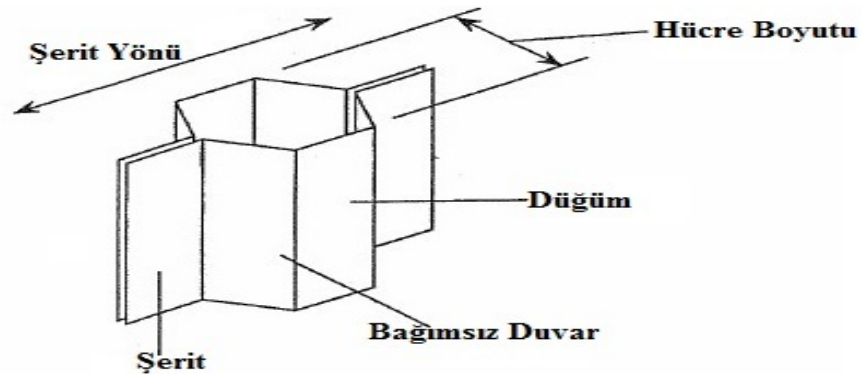
Petek üretmek için dört ana üretim yöntemi kullanılır:

- ◆ Yapıştırıcı yapıştırma ve genleşme
- ◆ Oluklu ve yapışkanlı yapıştırma
- ◆ Oluklu ve lehimli kaynak
- ◆ Ekstrüzyon

Balpeteği için en yaygın imalat yöntemi yapışkanlı bağlanma ve genleşmedir. Petek tabakaları, ısıtılabilir epoksi bazlı yapıştırıcılar kullanılarak yapıştırılır. Oluklulaştırma daha yavaş bir yöntemdir ve tipik olarak yapışkanla yapıştırılmış veya lehimle kaynatılmış yüksek yoğunluklu peteklerin üretilmesi için kullanılır. Yapıştırıcı bağ, lehim kaynağından daha ucuzdur. Sert lehim kaynağı yalnızca yüksek sıcaklıktaki uygulamalarda kullanılan çelik ve özel metal petek malzemelerde kullanılır. Ekstrüzyon işlemi seramik petek ve birkaç termoplastik petek ile birlikte kullanılır.

1.2.1. Balpeteği Hücre Teknolojisi

Balpetek kavramı, minimum ağırlıkta olup son derece sağlam ve güçlü yapılar üretir. Petek endüstrisi, petek yapılı çekirdeğin çeşitli yönlerini tanımlamak için kendi terminolojisine sahiptir. Bir petek yapılı hücrenin bağlı kısmına düğüm, tek tabakalı kısma da serbest hücre duvarı denir. Hücre boyutu, altıgen hücrenin iki paralel tarafı arasında ölçülür. Şekil 1.7' te balpetek hücresinin kısımları gösterilmiştir.



Balpeteği Hücre Terminolojisi

Şekil 1.7. Petek hücre kısımları

1.2.2. Hücre Biçimi

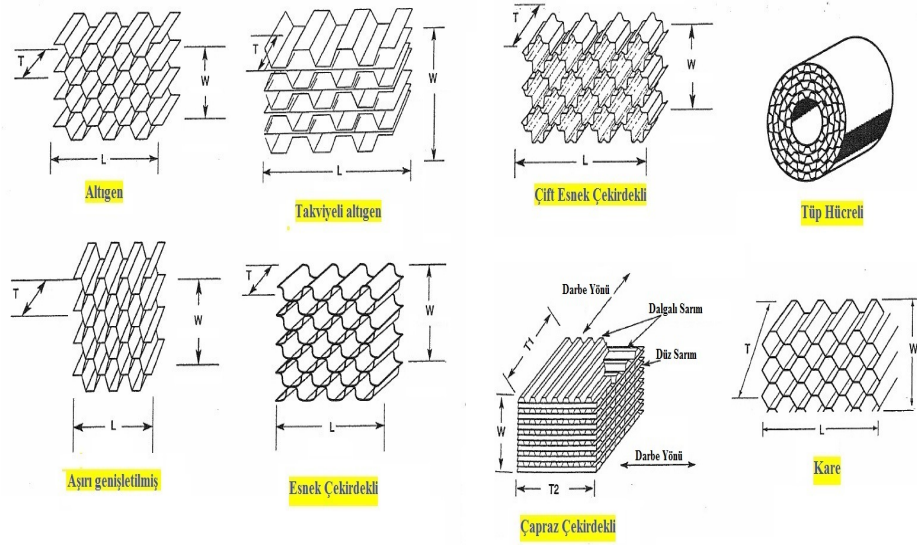
Balpetek, çeşitli hücre konfigürasyonlarına sahiptir. Mevcut petek hücre konfigürasyonları şunları içerir:

- Altıgen
- Takviyeli altıgen
- Aşırı genişletilmiş
- Kare
- Esnek çekirdekli
- Çift esnek çekirdekli
- Spiral olarak sarılmış (tüp hücreli)
- Çapraz çekirdekli
- Dairesel (boru biçimli çekirdek)

Flex-Core, Tube-Core ve Cross-Core, Hexcel Corporation'un (San Francisco, CA) ticari markalarıdır.

Bir altıgen, yapısal destek sağlamak için doğanın en etkili şekillerinden biridir. Mekanik özellikleri arttırmak için şerit yönlendirmedeki (güçlendirilmiş altıgen konfigürasyon) düğümler boyunca hücresel bir yapıya yeniden takviye katmanı dahil edilebilir. Bir Flex-Core veya çift Flex-Core hücre konfigürasyonu, bileşik eğriliğe sahip parçalar oluşturmak için gerektiğinde idealdir. Spesifik enerji absorpsiyonu gerektiren uygulamalarda, bir tüp çekirdek spiral olarak sarılmış silindir veya bir çapraz çekirdekli hücre konfigürasyonu kullanılır. Çapraz çekirdek, birden fazla yönde enerji emme gücü sağlar. Yapısal uygulamalar için yukarıdaki hücre konfigürasyonlarına ek olarak, katalitik konvertör, ısıtma, havalandırma ve iklimlendirme uygulamalarında kullanım için çok küçük bir kare hücre konfigürasyonu mevcuttur. Alüminyum ve çelik balpeteği için çeşitli korozyona dayanıklı kaplamalar mevcuttur. En yaygın korozyona dayanıklı kaplamalar kromat bazlı ve fosforik asit anodizasyonudur. Fosforik asit anodizasyonu, sandviç panel yapısında gelişmiş bal peteğinin yüzey mukavemetinde, sıcak, nemli ve tuzlu ortamlarda gelişmiş koruma sağlar. Alt tabakaya ek olarak, metalik olmayan peteklerden bazıları reçine ile güçlendirilir, bu da yoğunluğu ve mekanik özelliklerini artırır. Reçine ilavesiyle güçlendirilebilen petek yapılı alt tabaka malzemeleri, kraft kâğıdı, aramidler, cam fiberi ve karbon içerir. Metalik olmayan petekleri güçlendirmek için kullanılan reçineler fenolik poliimid ve epoksidir. Her

balpetek yapılı malzeme belirli özellikler sağlar ve kendine özgü yararları vardır. Belirli bir uygulama için uygun petek yapılı malzemenin seçimi, özellikler ve maliyet arasındaki dengedir. Şekil 1.8’ te petek hücre biçimlerinin örnekleri gösterilmiştir.



Balpeteği Hücre (Çekirdek) Biçimleri

L= Uzunluk, W= Genişlik, T=Kalınlık

Şekil 1.8. Petek hücre biçimleri

Balpetek malzemelerin genel özellikleri şunlardır:

Kraft Kağıdı: Nispeten düşük mukavemetli, iyi yalıtım özellikleri, büyük miktarlarda mevcuttur, düşük maliyetli.

Termoplastikler: İyi yalıtım özellikleri, iyi enerji emilimi ve / veya yönlendirme, pürüzsüz hücre duvarları, nem ve kimyasal direnç, çevresel olarak uyumlu, estetik olarak hoş, nispeten düşük maliyetli.

Alüminyum: En iyi mukavemet / ağırlık oranı ve enerji emilimi, iyi ısı transfer özellikleri; elektromanyetik koruma özellikleri; pürüzsüz, en ince hücre duvarları; işlenebilir; göreceli olarak düşük maliyetli.

Çelik: Güçlü, iyi ısı transfer özellikleri, elektromanyetik koruyucu özellikleri, ısı direnci.

Özel Metaller: Nispeten yüksek mukavemet-ağırlık oranı, iyi ısı transferi özellikleri, kimyasal direnç, çok yüksek sıcaklıklara ısı direnci.

Aramid Fiber: Yanıcılık direnci, yangına dayanıklılık, iyi yalıtım özellikleri, düşük dielektrik özellikler, iyi biçimlenebilirlik.

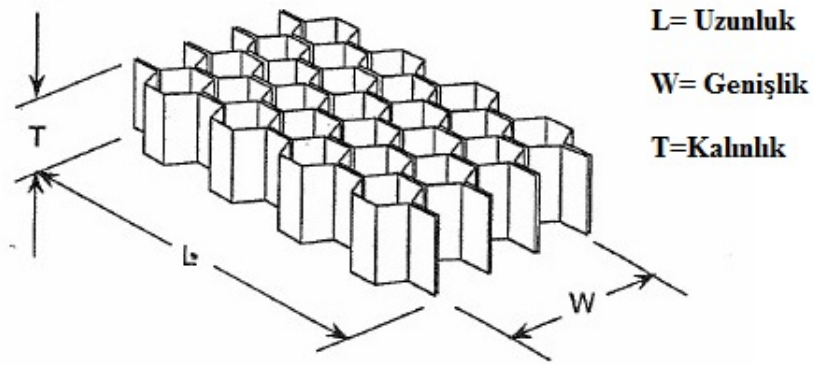
Cam Fiber: İsteğe göre kesilebilme özellikleri, düşük dielektrik özellikler, iyi yalıtım özellikleri, iyi biçimlenebilirlik.

Karbon: İyi boyutsal stabilite ve koruma, yüksek sıcaklık tutma özelliği, yüksek rijitlik, çok düşük ısı genleşme katsayısı, nispeten yüksek kayma modülü, çok pahalı olması.

Seramik: Çok yüksek sıcaklıklara dayanıklı, iyi yalıtım özellikleri, çok küçük hücre boyutlarında mevcut olması, çok pahalı olması.

1.2.3. Balpeteğin Özellikleri

Çoğu balpetek anizotropiktir; yani, özellikler yönlüdür. Petek L, W ve T yönelimleri Şekil 1.9' da gösterilmiştir.



Balpeteği Oryantasyonu

Şekil 1.9. Petek oryantasyonu

Balpeteğinin en yüksek bası ve çekme mukavemeti T yönündedir; diğer yönler önemli ölçüde zayıftır. Balpetek L ve W yönlerinde kayma mukavemeti sağlar. Altıgen hücre konfigürasyonu için, kayma mukavemeti ve modülü L yönünde en yüksektir. Kayma mukavemeti, hem dikdörtgen hem de kare hücre konfigürasyonlarında L ve W yönlerinde neredeyse eşdeğerdir. Çapraz Çekirdekli hücre yapılandırması iki yönde iyi yapısal özelliklere sahip olacak şekilde tasarlanmıştır.

Balpeteği özelliklerini belirlemek için en önemli mukavemet özellikleri şunlardır:

- Boş veya yüzeylerle dengelenmiş çekirdek (hücre) olarak bası dayanımı,
- Bası modülü, yüzeyler ile stabilize olarak ölçülen,
- Enerji absorpsiyonu uygulamaları için bası mukavemeti L ve W yönlerinde kayma mukavemeti ve modülü.

1.2.4. Yapısal Çekirdek Belirtme

Hangi yapısal çekirdek tipinin kullanılacağını belirlenmesi, ilgili uygulama gereksinimlerinin bilinmesini gerektirir.

Dikkate alınması gereken faktörler şunlardır:

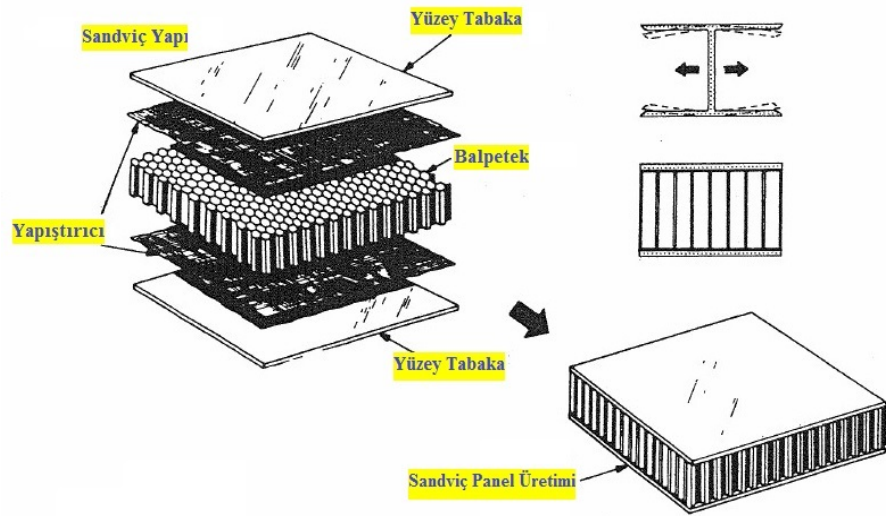
- ❖ Malzemeler
- ❖ Boyut
- ❖ Yoğunluk
- ❖ Mekanik özellikler
- ❖ Çevresel uyumluluk
- ❖ Şekillendirilebilirlik
- ❖ Dayanıklılık
- ❖ Termal davranış
- ❖ Performansa karşı maliyet

1.2.5. Sandviç Yapılar

Birçok uygulamada, bir sandviç panelde hafif yapısal çekirdekler kullanılır. Bir sandviç panel tasarımının birincil avantajları, alternatif tasarımlara kıyasla ağırlık tasarrufu ve artan sertliktir. Tipik bir sandviç, kalın ve hafif bir çekirdeğe bağlı iki ince, yüksek mukavemetli yüzeye sahiptir. Her bir bileşen kendi başına nispeten hassas ve esnektir, ancak bir sandviç panelde birleştirildiğinde sert, güçlü ve hafif bir yapı oluştururlar. Sandviç paneller için yaygın olarak kullanılan malzemeler arasında alüminyum, çelik, cam fiberi, kraft kağıt, ahşap, karbon, dokumasız olan (örülmemiş) ve prepregler bulunur.

1.2.6. Sandviç Kavramı

Bir sandviç panelin temel konsepti, kaplamaların bükülme yüklerini taşıması ve balpeteği çekirdeğinin kayma yüklerini taşımasıdır. Çoğu durumda katmanlardaki gerilmeler eşit olarak dağılır. Balpeteği çekirdeği bükülmeye karşı direnç göstermez. Başka bir deyişle, çekirdeğin bükülme modülü sıfır olduğu varsayılmaktadır. Bu varsayım, çekirdek kalınlığı boyunca düzgün bir kayma gerilmesine neden olur. Tüm yapılarda sapma iki bileşenden oluşur: bükülme sapma ve kayma deformasyonu. Çelik levha gibi sandviçsiz yapılarında, kayma deformasyonu çoğu zaman önemsizdir ve bu nedenle ihmal edilir. Bir sandviç yapısında, diğer yandan, kayma deformasyonu önemli olabilir. Çoğu durumda, bükülme sapmalarının yaklaşık %1'ini oluşturur, ancak kalın levhalar veya kısa mesafeler için çok daha büyük olabilir. İnce kaplamaların bir balpeteği çekirdeğine yapıştırılmasıyla oluşturulan tipik bir sandviç panel, Şekil 1.10' ta gösterilmiştir.



Şekil 1.10. Tipik bir sandviç panel

Alternatif tasarımlar yerine hafif yapısal çekirdek içeren sandviç panellerin faydaları şunlardır:

- Yüksek mukavemet / ağırlık oranı
- Darbe ve hasar direnci
- Yüksek rijitlik (sağlamlık) / ağırlık oranı

- Yorulma direnci
- Dayanıklılık
- İstenilen ısı transferi ve yalıtım özellikleri
- Uyarlanmış olarak kendi kendini söndürme ve düşük alevlenme özelliklerine sahip olup yanmaya karşı dirençli olması (Kindinger, 1999).

1.2.7. Alüminyum Balpeteği

Hexcel alüminyum balpetekleri dizaynı şekilde belirlenmiştir; malzeme, hücre boyutu, alaşım, folyo kalınlığı ve yoğunluk.

Alüminyum balpetek yapılı malzemenin en faydalı özelliklerinden bazıları şunlardır:

- Nispeten düşük maliyetli
- Enerji absorpsiyonu için en iyisi
- En yüksek mukavemet / ağırlık
- En ince hücre duvarları
- Pürüzsüz hücre duvarları
- İletken ısı transferi
- Elektrik kalkanı
- İşlenebilirlik

1.2.7.1. Korozyona Dayanıklı Kaplamalar

Korozyona dayanıklı kaplamalar, astar tabakasının altında yatan esas bir katmanından oluşur. Alüminyum balpetek, korozyona dayanıklı iki farklı kaplama seçeneği ile mevcuttur. Bunlar CR III kromat esaslı ve CR-PAA™ fosforik asit ile anodize edilmiştir. Korozyona dayanıklı kaplama, folyo yapıştırıcı folyoya yerleştirilmeden önce folyoya uygulanır, böylece tüm folyo yüzeyi üzerinde korozyon koruması sağlanır.

1.2.7.1.1. CR III

CR III korozyona dayanıklı kaplama, kromat bazlı bir koruyucu tabaka ve organo-metalik bir polimerden oluşur. CR III korozyona dayanıklı kaplama ABD ordusu tarafından neredeyse 30 yıldır belirtilmiştir.

1.2.7.1.2. CR-PAA™

CR-PAA fosforik asit ile anodize edilen kaplama, belirli durumlarda üstün performans sağlar. CR-PAA'nın üstün özellikleri; sandviç panel uygulamalarında alüminyum kaplamalara bağlanma mukavemeti, tuz püskürtülen ortamlar, çatlakların ilerlemesine karşı direnç, sıcak / nemli ortamlar. Alüminyum balpetek, dört farklı alaşımda, 5052 ve 5056 havacılık sınıflarında ve 3104 ve 3003 ticari sınıflarında mevcuttur.

1.2.7.1.2.1. 5052 Alaşımı

5052 H39 alüminyum alaşımındaki spesifikasyon sınıfı balpetek, genel amaçlı uygulamalar için, altıgen ve Flex-Core (esnek çekirdekli) konfigürasyonlarında çok geniş bir hücre boyutu/yoğunluk kombinasyonları yelpazesinde mevcuttur. OX-çekirdek ve genişletilmiş hücre konfigürasyonu da sağlanabilir.

1.2.7.1.2.2. 5056 Alaşımı

Spesifikasyon dereceli 5056 H39 alüminyum alaşımdaki petek, 5052 alaşım peteklere göre üstün mukavemet sunar. Ayrıca altıgen ve Flex-Core konfigürasyonlarında geniş bir hücre boyutu/yoğunluk kombinasyonları yelpazesine de sahiptir. 5056 alaşımlı balpeteğinin mukavemet özellikleri, benzer hücre boyutu, folyo göstergesi ve yoğunluğa sahip 5052 alaşımlı balpeteğinin benzer özelliklerinden yaklaşık %20 daha büyüktür.

1.2.8. Balpeteğinin Uygulama Alanları

Balpeteklerin ana kullanımı yapısal uygulamalar içindir. Peteklerin, diğer malzemeler ve konfigürasyonlarla karşılaştırıldığında, mukavemet/ağırlık oranlarındaki faydaları eşsizdir.

Balpetek yapılı uçak parçalarının bazıları şunlardır; kanatçıklar, asansörler, kanatlar, makine daireleri, çıtalar, destekler, arka kenarlar, kapılar, kaportalar, ön kenarlar, dümenler, stabilizatörler, zemin, yan panolar. Petek kullanan diğer havacılık araçları; helikopterler, füzeler, uydu fırlatma araçları, uydular, uzay mekiğı.

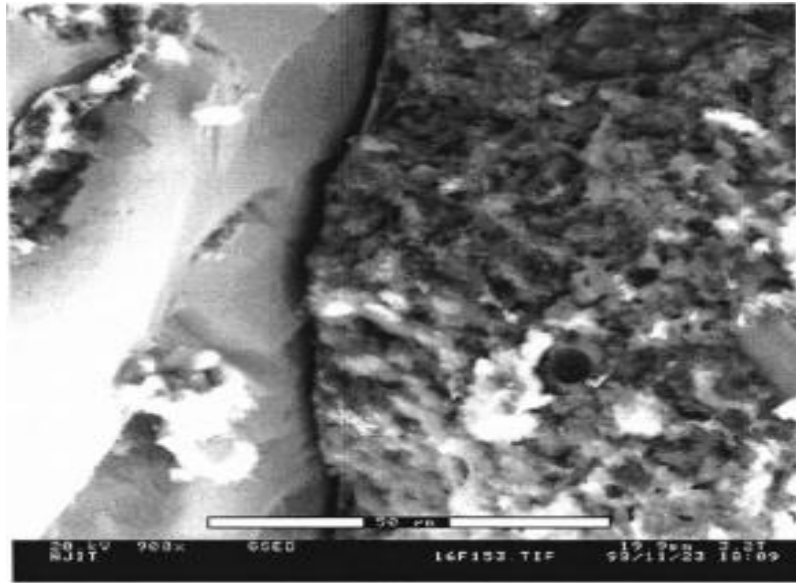
Uzay ve hava taşıtlarından sonra, petek için bir sonraki en belirgin kullanımlar çeşitli kara ve su taşıma araçlarında ortaya çıkmaktadır. Otomobillerde kullanım alanları; Formula 1 yarış arabalarında enerji emilimi koruyucu yapılar, motor yakıt enjeksiyon sistemi için hava yönlendirme, yolcu koruması için direklerde ve çatı hattı boyunca enerji emilimi, çarpışma testi bariyerleri.

Demiryolunda kullanım alanları; kapılar, katlar, enerji emiciler / tamponlar, tavanlar, bölümler. Denizde kullanım alanları; ticari gemi ve deniz gemi bölmeleri, duvar, tavan ve bölme panelleri.

Balpeteğı için ulaşım ile ilgili olmayan diğer uygulamalar şunlardır; temiz oda panelleri, dış mimari perde duvar panelleri, hava, su, sıvı ve ışık yönlendirme, ısıtma, havalandırma, iklimlendirme ekipman ve cihazları, kayaklar ve snowboard, enerji emilimi koruyucu yapılar, elektronik ekran muhafazaları (Hexcel, 1999).

1.3. Beton

Beton heterojen ve elastik olmayan bir malzemedir. Esasen homojen ve elastik bir malzeme olan agreg a ve elastik olmayan imento esaslı harçtan oluşur. Bu nedenle, davranışları bileşenlerin etkileşimi ile karmaşıktır. Genel olarak, beton gibi imento esaslı malzemelerin mekanik özellikleri, çimentolu malzemelerin kimyasal bileşimi, mikro yapısı ile gözenek geometrisi; agreg a özellikleri, imento macunu-agrega bağının niteliğinden etkilenir. Özellikle, betondaki farklı fazlar arasındaki (örneğin agreg a ve imento harcı arasındaki) çeşitli ara yüzlerin ve bununla ilişkili ara yüz özellikleri arasında, beton gibi kompozit malzemelerin genel özelliklerini önemli ölçüde etkilemektedir. Betonun fazları arasındaki ara yüzey, yük transferi veya ara yüzey arası geçiş bölgelerinde yapışma ve temas derecelerine bağlıdır. Bu bölgede gerilme yoğunlaşması meydana gelmektedir, çünkü iki malzeme de sertlik açısından belirgin bir farklılıkla karşılaşmaktadır. Ara yüzey geçiş bölgesinde mukavemetin oldukça düşük olması bu bölgede çatlakların meydana gelme ihtimalinin yüksek olmasına sebep olmaktadır. Agreg a partikülleri ile sertleşen imento karışımı arasındaki gerçek geçiş kimyasal bağ tarafından oluşturulmaktadır. Şekil 1.11’ te beton kompozitlerde kaba agreg a ile imento matrisi arasındaki ara yüzü, taramalı elektron mikrografi tarafından çekilen mikro yapısını göstermektedir (Lertwattanaruk, 2000).



Şekil 1.11. Kaba agreg a ile imento matrisi arasındaki ara yüzün mikro yapısı (Lertwattanaruk, 2000)

Beton, en karmaşık formdaki akışkanlığı, yani sertleştiğinde mukavemet geliştirme özellikleri ve ıslak iken herhangi bir şekil alabilme kabiliyeti nedeniyle en yaygın kullanılan yapı malzemesidir. Beton, çok büyük gerilme koşullarına maruz kalan koruyucu yapıları inşa etmek ve sahada üretilen en yaygın kullanılan yapı malzemesidir. Bu kompozit malzeme agregalar, su ve çimentonun karıştırılmasıyla elde edilmektedir. Üretimi, mevcut saha koşullarına göre bir dizi işlem içermektedir. Çok çeşitli özelliklere sahip bileşenler için kabul edilebilir kalitede beton üretmek üzere kullanılmaktadır. Betonun dayanıklılığı, mukavemet ve diğer özellikleri karışımın oranlarına, sıkıştırma yöntemine, bileşenlerinin özelliklerine ve diğer kontrollere bağlıdır. Betonun bir inşaat malzemesi olarak kullanılmasının sebebi; yaygın olarak bulunan bileşenlerden yapılmış olması ve belirli bir durumda işlevsel gereksinimlere göre uyarlanabilmesidir. Beton da istenen en önemli özellik bası dayanımı olarak kabul edilmektedir. Betonun işlenebilirliği, karışım tasarımında önemli bir oynamaktadır. Beton karışım tasarımı, uygun beton bileşenlerinin seçilmesi ve iş gereksinimlerini karşılayan, optimum bası dayanımı, istenen işlenebilirliğe ve dayanıklılığa sahip olan betonun, mümkün olduğunca ekonomik olarak üretilecek minimum oranlarını belirleme işlemidir. Bu gereksinimlere ek olarak beton bileşenlerinin oranı, kalite ve ekonomiyi sağladığı için beton teknolojisinin önemli bir parçasıdır. Beton karışımının oranlanması, belirli bir amaç için betonun üretiminde kullanılacak malzemelerin göreceli miktarlarının belirlenmesini içermektedir. Pratik deneyim, oranlama, çeşitli bileşenler veya elde edilen deneysel veri sonuçlarına dayanabilmektedir. Beton karışımı tasarım aşamasında maliyetler ve bileşenlerin özelliklerinin dikkate alınması gerekmektedir.

Beton karışım tasarımının ana hedeflerinde betonun üretimi aşağıdaki özelliklere göre başlatılabilir:

- Taze betonun gerekliliklerini karşılanması (İşlenebilirlik).
- Sertleşmiş betonun özelliklerinin karşılanması (Dayanıklılık ve mukavemet).
- İstenilen spesifikasyonlar ile verilen malzemeler için belirli bir alanda en ekonomik olanın seçilmesi.
- Verilen yapı koşullarının en uygun şekilde, belirtilen ortam şartlarına uygun olarak yapılması (Garg, 2003).

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Bu bölümde tez çalışmamızda kullandığımız cam/epoksi, karbon/epoksi, balpeteği (honeycomb) ve betondan oluşan malzemelerle ürettiğimiz kompozit tüplere yapılan bası deneyi ile ilgili benzer kaynak araştırması yapılmıştır. Bu bölümde birbirine benzer fakat farklı malzemelerden, farklı kombinasyonlardan oluşan ve değişik metotlarla üretilen kompozit yapıların mekanik özelliklerini öğrenmek için basma deneyleri yapılan makale çalışmaları verilmiş ve elde edilen sonuçlar anlatılmıştır.

2.1. Bası Deneyi ile İlgili Kaynak Araştırması

Uzunlamasına cam fiber takviyeli polimer çubukların sayısını ve çapını değiştirerek, takviye oranları ile içi boş beton kolonların aksenal bası etkisini araştırılmıştır. İçi boş beton kolonlarda uzunlamasına cam fiber takviyeli polimer çubukların kullanılması, kolonların aksenal sertliğinin arttırması ve beton çekirdeğin yanal sıkışması nedeniyle; yük kapasitelerini, sınırlandırma verimliliklerini ve sünekliklerini arttırmıştır (AlAjarmeh ve ark., 2019). Çelikteki korozyon sorunlarını azaltmak ve uygulanan yükler altında içi boş beton kolonlarda cam fiber takviyeli polimer çubuklar ile farklı iç/dış çap oranlı spirallerle takviyeli içi boş beton kolonların basma davranışı incelenmiştir. İçi boş kolonlar pik yükte katı kolondan daha yüksek beton bası mukavemeti sağlamış, boş kolonların beton bası mukavemeti, beton silindirlerin ortalama bası mukavemetinin %94' üne kadar çıkmıştır (AlAjarmeh ve ark., 2019). Karbon fiber plastik tüplerle takviyeli alüminyum balpeteğinin mekanik davranışı ve enerji absorpsiyonu incelenmektedir. Tüp sayısının artırılması bası kuvvetini arttırmaktadır, üç karbon fiber takviyeli plastik tüplü sisteminin ortalama değeri 12.5 kN ve dokuz tüplü karşılığı ise 41 kN bası kuvvetini oluşturur. Spesifik enerji absorpsiyonu değerlerinin tüp sayısı arttıkça hızla arttığı açıktır (Al Antali ve ark., 2017). Alüminyum balpeteklerin dinamik ile yarı-statik özelliklerini, ortalama akma gerilmesi ve enerji absorpsiyonu üzerindeki gerilme oranı etkisi araştırılmıştır. Ortalama akma gerilmesi ve toplam dağılmış enerjinin büyüklüğünün yırtılma etkisine bağlı olarak, girintide sıkıştırma testlerinden daha yüksek olduğu bulunmuştur (Ashab ve ark., 2015). Poliüretan köpük kullanılarak doldurulan hem sağlam hem de hasar görmüş alüminyum peteklerin deneysel bası davranışı ve enerji emilimi incelenmiştir. Sınırlı miktarda ve tamamen doldurulan numunelerde pik yükün ortalama artışı sırasıyla

%12 ve %24 olduğu görülmüştür. Tamamen ve sınırlı miktarda köpükle doldurulan petekler, eksik hücre kümeli ortalama petekten %13 ve %23 daha fazla enerji absorbe ettiğini göstermektedir (Ashrafi ve ark., 2015). Karbon fiber takviyeli epoksi kompozit balpeteğinin enerji emici özellikleri, spesifik enerji absorpsiyonu ve bası davranışı araştırılmaktadır. Balpeteği içindeki fiber miktarındaki daha fazla artış, malzemelerde artan gözeneklilik seviyelerine bağlı olarak mukavemet düşüşüne neden olmuştur. Elde edilen basma mukavemeti değerleri, alüminyum balpeteği çekirdeklerinin yaklaşık iki kat daha fazla aşmıştır (Aziz ve ark., 2018). Bentouhami ve Keskes (2015) yaptıkları çalışmada, bası altında balpeteğinin yoğunlukları ve balpeteği sandviç kompozitleri için kritik bükülme yükleri deneysel ve nümerik analizle araştırmışlardır. Alüminyum balpeteklerin maksimum kritik bükülme yük değerlerinin Nomex balpeteğinden daha yüksek olduğu görülmüştür. Nümerik analizde ise hücre duvar kalınlıklarının kritik bükülme yükü ve sandviç peteklerin direnci üzerinde önemli etkiye sahip olduğunu görülmüştür. Bigdeli ve Nouri (2019) yaptıkları çalışmada; ince cidarlı silindirlerde spesifik enerji absorpsiyonu arttırmak, pik enerjiyi azaltmak ve bası kuvvetini iyileştirmeyi amaçlamaktadır. Diğer tasarım değişkenlerinin karşılaştırılması, bu parametrenin her iki geometride başlangıç pik bası kuvveti, ortalama bası kuvveti ve spesifik enerji absorpsiyonu parametreleri üzerinde maksimum etki yarattığını göstermiştir. Altıgen, sekizgen ve on iki köşeli yıldız şekilli tüplerin çarpma ve basma dayanımı deneysel ve teorik analiz ile karşılaştırılmıştır. On iki köşeli yıldız şeklindeki tüpler, basma işlemindeki çok sayıda köşelerden dolayı genel bir bükülme gösterir. Sonuçlarda; sekizgen yıldız şeklindeki tüplerin enerji absorpsiyonun en iyisi olduğu ve on iki köşeli yıldız şeklindeki tüplerin enerji absorpsiyonun en düşük olduğu bulunmuştur (Deng ve ark., 2018). Deng ve Liu (2019) yaptıkları çalışmada, sandviç sinüzoidal yanal oluklu tüpler, dış dairesel tüpler, orta yanal oluklu tüpler ve iç dairesel tüplerden oluşarak, yeni sandviç sinüzoidal yanal oluklu tüp elde edilmiş ve bu yapının eksenel bası kuvveti deneysel ve nümerik analiz ile yapılmıştır. Sandviç sinüzoidal yanal oluklu tüpler tarafından emilen enerjinin üç ayrı tüp tarafından emilen enerjiden %35.6 daha yüksek olduğu ve yıldız şeklindeki tüplerden %34.69 daha yüksek olduğu görülmektedir. Altıgenlerin kenarlarını daha küçük altıgenlerle değiştirerek balpeteğine özel yüksek düzlemsel enerji absorpsiyon kapasiteli ultra hafif yapıları geliştirmek için hiyerarşik balpeteklerinin deneysel ile nümerik analizi yapılmıştır. Yapısal hiyerarşinin incelenmesi, kalınlığın hücre kenarı uzunluğuna oranının artmasından dolayı enerji absorpsiyonunu arttırdığı görülmektedir (Fang ve ark., 2018). Yapıştırıcıyla bağlanan

karbon fiber takviyeli polimer ince cidarlı kirişin yapısal yapışkan tabakadaki bası davranışı deneysel ve nümerik analizi araştırılmıştır. Deneyde karbon fiber takviyeli polimerin iç tabakasında hata gözlemlendiğini, dış tabakaların dışa doğru büküldüğünü ve iç katların içe doğru büküldüğünü ortaya koydu. Nümerik analizde, pik yükü, dalgalanma aşamasındaki yük seviyesi veya numunede gözlenen çatlak şekilleri açısından deneysel veriler ile iyi bir uyum göstermiştir (Han ve ark., 2019). Alüminyum balpeteği dolgulu kare karbon fiber takviyeli tüplerin bası davranışı ve spesifik enerji absorpsiyon değerleri araştırılmıştır. Alüminyum petek dolu kare karbon fiber takviyeli tüplerinin enerji emilimi ile farklı basma hızlarında içi boş kare karbon fiber takviyeli plastik tüplerinin enerji emiliminden %20 ila %36 daha fazla olduğu bulunmuştur (Hussein ve ark., 2016). Kare karbon fiber takviyeli tüplerin dışında, alüminyum levha ile dıştan sarılmış kare karbon fiber takviyeli tüplerinin enerji emilim etkisi bası davranışıyla incelenmiştir. Alüminyum levha sarılı kare karbon fiber takviyeli polimer tüplerinin ortalama basma kuvveti ve enerji emiliminin artışı sırasıyla % 48 ve % 46 olup alüminyum katman sayısı ile arttığı görülmüştür (Hussein ve ark., 2017). Basma kuvveti uygulanan kare karbon fiber takviyeli tüplerin bası kuvvetini belirlemek için yeni bir analitik model geliştirmişlerdir. Analitik modelde deneysel bası uygulanan tüplerinin, çatlak yayılımı, çatlak oluşumu, enine kesme ve sürtünme altında büyük miktarda enerji yayma yani enerji absorpsiyonun kaybedildiğini tespit etmişlerdir (Hussein ve ark., 2018). Alüminyum balpeteğinin basma davranışı ve enerji absorpsiyonu deneysel ve nümerik analiz ile araştırılmıştır. Sonuçlarda; daha küçük hücreli numunelerin daha yüksek enerji absorpsiyon seviyelerine sahip olduğunu göstermiştir. Hücre cidar kalınlığı, sonuçları en çok etkileyen, düzlem içi doğrultularda iki kat hücre cidar kalınlığı modeliyle 3.5 kat daha yüksek basma yükü değerlerine ulaşan parametredir (Ivanez ve ark., 2017). Cam fiber takviyeli polimer alüminyum kafesli epoksi matris içinde değişik çift yönlü cam elyaf katmanları ve alüminyum kafesten oluşan beş katmanlı silindirik kompozit numuneyi enine ve eksenel basıya tabi tutulmuştur. Cam fiber takviyeli polimer kompozitine alüminyum kafes eklenmesi, enine ve eksenel sıkıştırma testi sırasında doğrusal olmayan gerilme tepkisine neden olmuştur (Ilangovan ve ark., 2018). Bası yüklemesine tabi tutulan köpük dolu kraft kâğıttan yapılmış balpeteğinin enerji emilimi üzerine deneysel çalışma yapılmıştır. Köpük dolgulu kraft kâğıt balpeteğinin pik yükü ve enerji absorpsiyon kabiliyeti, doldurulmamış kraft kâğıt balpeteği bileşenlerinin toplamı ile karşılaştırıldığında sırasıyla % 32 ve % 30'a kadar artmıştır. Sonuçlar, hücre duvarının kalınlığı kraft kâğıt

balpeteği performansı üzerinde en fazla etkiye sahiptir (Kadir ve ark., 2016). Kosinüs profilili yeni çevresel oluklu kare tüpün nümerik analizi yapılmıştır. Sonuçlar, çevresel oluklu kare tüplerin çökme modlarının kesitsel konfigürasyona ve duvar kalınlığına oldukça duyarlı olduğunu göstermektedir. Kosinüs dalga tepe noktalarının sayısı, genlik ve et kalınlığındaki artışların tümü ilk pik bası kuvvetinde artışa neden olur ve genliğinin etkisinin en küçük olduğunu ortaya koymuştur (Li ve ark., 2019). Doğal ortamlardaki canlılardan esinlenerek çok hücreli karbon fiber takviyeli tüpler ile alüminyum kare tüplerin bası altında enerji Emilimi araştırılmaktadır. Sonuçlarda, karbon fiber takviyeli tüplerinin pik yükü, ortalama bası kuvveti ve spesifik enerji absorpsiyonun aynı hücrelere sahip Al tüplerininkinden daha yüksek olduğu ve üç hücreli karbon fiber takviyeli kare tüpün genlikteki en yüksek dalgalanmayı gösterdiği görülmektedir (Liu ve ark., 2017). Alüminyum balpeteği ile doldurulmuş karbon fiber takviyeli kare tüpün yanal düzlemsel basma ve eğilme tepkilerini araştırılmaktadır. Yanal bası testlerinde, balpeteği doldurulan karbon fiber takviyeli kare tüplerinin; enerji absorpsiyonu, spesifik enerji absorpsiyonunun ve bası kuvveti verimliliğinin, karbon fiber takviyeli plastik kare tüpün içi boş tüplere kıyasla sırasıyla % 656, %400 ve %137 arttırdığını göstermiştir (Liu ve ark., 2017). Eksenel bası altında açık delikli kare örgülü karbon fiber takviyeli tüplerinin, delik büyüklüğü, delik şekli, yük taşıma davranış etkileri deneysel ve nümerik analiz ile yapılmıştır. Dairesel şekilli delik için, maksimum kayma gerilmesi, tüpün orta yüksekliğinde delik kenarı etrafında oluşurken; eşkenar dörtgen şekilli delik için, maksimum kayma gerilmesi yükleme yönüne dik deliğin iki köşesinin etrafında meydana gelmiştir (Liu ve ark., 2017). Luo ve Fan (2018) yaptıkları çalışmada, eksenel basma altındaki dikdörtgen sandviç duvarlı tüp biçimli yapıların enerji absorpsiyonunu nümerik ve teorik yöntemle incelemiştir. Hücre bölüm sayısı 1'den 7'ye yükseldikçe, sandviç duvarlı tüplerin ortalama basma kuvveti, kademeli olarak 127 kN, yani yaklaşık 2.44 kat daha yüksek değer elde edilmiştir. Nümerik analiz ve teorik analiz arasındaki hata %0.38 ile %10.16 arasında değişmektedir. Metal altıgen balpeteklerin bası davranışları üzerine analitik çalışma sunmuşlardır ve Wierzbicki'nin modeline dayalı enerji yönteminin uygulanması, eğrilik etkileri ve akma gerilmesi göz önüne alınarak, basma mukavemeti ile dalga boyu değerleri deney sonuçları ile değerlendirilmiştir. Sonuçların deneysel değerlerle karşılaştırılmasıyla önerilen modelin ortalama bası gerilmesi hesaplama hatasını %38,5'ten %23,5'e ve dalga boyunun hesaplama hatasını da %47'den %32'ye düşürdüğünü göstermektedir. (Mahmoudabadi ve Sadighi., 2009). Yarı statik yükleme altında poliüretan köpük dolu metal altıgen

peteklerin bası mukavemetinin tahmini için teorik model sunulmuş ve deneysel verilerle değerlendirme yapılmıştır. Teorik model yönteminin uygulanmasıyla, mevcut basma gerilmesinin ve katlama modunun yarı dalga boyunun tahmin edilmesinde mevcut teorik modelin hata oranları %12.15 ve %21.61 olduğunu göstermektedir (Mahmoudabadi ve Sadighi., 2010). Nia ve Parsapour (2014) yaptıkları çalışmada, alüminyum yapıları iki tip çok hücreli üçgen, kare, altıgen ve sekizgen duvarlı tüplerin enerji absorpsiyonu deneysel ve nümerik analiz ile incelemiştir. Deneysel testlerde tüpün ilk deformasyonu için gerekli yükün simülasyonlardan daha az olduğu açıktır ve çok hücreli tüplerin kütlesi basit hücreli tüplerden daha büyüktür, ayrıca köşelerin sayısı arttıkça, plastik deformasyon için gereken enerji miktarı da artmıştır. Eksenel bası altında alüminyum tüplerin geometrik faktörlerinin enerji emilimi üzerindeki etkisi ve tek kesitli ile kombine iç içe tüplerin daha fazla enerji emme etkisini nümerik ve deneysel olarak incelenmiştir. Kombine iç içe tüpün emilen enerjisi ve spesifik enerjisi sadece kesitli kare veya dairesel tekli tüplerin tasarımlarının enerjisinden daha yüksektir, ayrıca kare ve dairesel tüplerin tasarımlarının absorbe ettiği toplam enerji ve toplam spesifik enerjisinden daha yüksektir (Rahi, 2018). Yanal şekilde derecelendirilmiş kalınlığa sahip ince cidarlı kare tüplerin basma yükü deneysel, nümerik ve teorik olarak araştırılmıştır. Yanal şekilde derecelendirilmiş kalınlığa sahip ince cidarlı kare tüpün deneysel bası yükü, nümerik ve teorik analiz de aynı kalınlıktaki tüpün spesifik enerji absorpsiyonunu önemli ölçüde aşmıştır (Sun ve ark., 2011). Betonla doldurulan çelik tüp yerine, betonla doldurulan cam fiber takviyeli polimer tüp kullanarak çelikteki iç bükülmeyi önlemek için deneysel ve nümerik çalışma yapılmıştır. Cam fiber takviyeli tüpler, çember yönündeki yüksek mukavemet nedeniyle bölgesel iç çekirdeğin bükülmesini etkili bir şekilde önleyebilir, bununla birlikte uzunlamasına düşük sertlik nedeniyle genel çökmeye daha az katkıda bulunur ve düşük bir zorlama oranına yol açar (Sun ve ark., 2019). Altıgen balpeteğinin birim hücrelerine gradyan ekleyerek, düzlemsel olarak derecelendirilmiş yeni bir balpeteği önerilmiş ve bası davranışı ve enerji emme performansı nümerik ve teorik olarak incelenmiştir. Düzlem içi kademeli balpeteğinin, normal balpeteğine kıyasla basma mukavemetini ve spesifik enerji absorpsiyonunu yaklaşık %70 oranında arttırdığı bulunmuştur (Tao ve ark., 2017). Balpetek yapısının deformasyon davranış ve parametrelerini araştırmak için deneysel ve nümerik çalışma yapılmıştır. Takviyeli balpeteğin en üst kısmındaki gerilmelerin yüksek olduğu, bu nedenle plastik deformasyonun üstte başladığı ve en üst kısım ile çekirdek kıvrımlarının alt kısmı arasındaki gerilmelerde büyük bir fark olduğu

gözlemlenmiştir. Takviyeli peteğin nispi yoğunluk, bası mukavemeti geleneksel peteğinkinden %50 daha fazla olduğu bulunmuştur (Tiwari ve ark., 2017). Thomas ve Tiwari (2018) yaptıkları çalışmada, alüminyum alaşımlı takviyeli balpeteğinin basma yükü nümerik ve deneysel olarak yapılmıştır. Takviyeli petek çekirdeğin deformasyon modları, düğüm uzunluğunun (çekirdek kalınlığı) değişmesinde aynı kalır. Takviyeli balpeteği yapısı, geleneksel balpeteği yapısına kıyasla %18.55, %121 ve %39.81 daha yüksek ortalama yük, pik yükü ve enerji absorpsiyon kapasitesi göstermiştir. Kafes takviyeli balpeteklerinin bası testleri yapılmış ve sonuçlar geleneksel kare balpetekleri ile karşılaştırılmıştır. Kompozit kafes takviyeli balpeteklerinin bası tepkisi kare petekleriyle birlikte karşılaştırılarak nominal gerilme ile nominal deformasyon değerleri doğrusal olarak (yaklaşık olarak) arttığı ve maksimum gerilime ulaştığı, bunu takiben kafesin merkezinde oluşan yarıktan dolayı çatlaklar meydana gelmiştir (Yin ve ark., 2017). Beş hücreli yuvarlak köşeli profilli karbon fiber takviyeli alüminyum alaşımlı hibrit tüplerin bası deneyleri ve nümerik analizi yapılmıştır. Beş hücreli yuvarlak köşeli profilli karbon fiber takviyeli alüminyum alaşımlı hibrit tüpün spesifik enerji absorpsiyonu, bütünü oluşturan tüplerin spesifik enerji absorpsiyonu toplamından %16,7 daha büyüktür. Oryantasyon açısı sıfıra yakın olduğunda karbon fiberlerin uzunluk doğrultusundaki en büyük dayanıma sahip olması nedeniyle tüpün eksenel dayanımını arttırmıştır (Yu ve ark., 2017). Enerji emme verimliliğini arttırmak, kompozit yapının etkileşim etkisi ile deformasyon modu deneysel ve nümerik analizle incelenmiştir. Hücre duvarı kalınlığının artmasıyla, sadece enerji emilimi değil, aynı zamanda spesifik enerji emilimini de iyileştirilmektedir. Hücre kalınlığının artması enerji emilimini artırır, ancak spesifik enerji emilimini iyileştirmede daha az etkinliğe sahiptir (Zhang ve ark., 2010). Çok hücreli kare sütunlara basma kuvveti uygulanarak teorik ve nümerik olarak incelenmiştir. Tek bir hücre için teorik çözüm nümerik analizden biraz daha yüksektir. Bunun nedeni, etkili basma mesafesinin her zaman dalga boyunun %71'i olarak alınmasıdır. Teorik ve nümerik sonuçlarla mükemmel bir uyum göstermektedir, ayrıca çaprazlama bölümünün enerji emilimi için en verimli bileşen olduğu görülmektedir (Zhang ve ark., 2006). Farklı bölümlere sahip çok hücreli sütunların enerji absorpsiyonunu belirlemek için bası testleri yapılmış ayrıca nümerik analiz ile incelenmiştir. Çok hücreli sütunların enerji emme verimliliğinin, tek hücreli sütunlardan daha yüksek olduğu doğrulanmıştır. Nümerik analizde, bası kuvvetinin şiddetli artışından önceki etkili basma mesafesi biraz daha kısadır. Basma testleri ile nümerik analizi sonuçları çok iyi bir uyum göstermektedir (Zhang ve ark., 2013).

İç içe gömülmüş çok hücreli tüplerin basma direnci ve enerji absorpsiyonunu belirlemek için deneysel ve nümerik analizi yapılmıştır. İç içe gömülmüş çok hücreli tüplerinin ortalama basma kuvveti, tüm bileşen tüplerin ortalama basma kuvvetlerinin toplamından daha büyüktür. Boş tüpler için maksimum hata oranı %6'dan küçüktür ve gömülü çok hücreli tüpleri için hata oranı yaklaşık %8'dir (Zhang ve ark., 2017).

Farklı tiplerde iki katmanlı Nomex balpeteklerinin mekanik özelliklerini incelemek için farklı kombinasyonlarda basma testleri yapıldı. Kombinasyonun enerji absorpsiyon kapasitesinin, tek peteklerinkinden biraz daha büyük olduğu ve basma işleminde sönmüleme ve enerji absorpsiyonu elverişli olan önemli bir başlangıç pik gerilmesi göstermiştir (Zhou ve ark., 2018). Qiao ve Chen (2016) yaptıkları çalışmada, ikinci dereceden balpeteğinin (yani, eşkenar üçgen petekler ile düzenli altıgen balpeteği) basma etkisi nümerik analiz ile incelenmiştir. Nümerik analizde, x ve y yönünde bası yükünde oluşan deformasyon şekillerinin sırasıyla "X" tipi lokalizasyon çizgileri ve katmandan katmana ezilme meydana geldiği, ayrıca ikinci dereceden hiyerarşik balpeteklerde, y yönünde tek eksenli sıkıştırma geleneksel "V" tipi bası çizgilerinde farklı olarak katmandan katmana farklı ezilme özelliği gözlenmiştir. Hücre duvarındaki deliklere sahip alüminyum alaşımlı altıgen balpeteği ile dairesel delikli boyut etkisini incelemek için basma davranışı deneysel ve nümerik olarak incelenmiştir. Sonuçlarda; delik boyutunun, balpeteklerin basma özelliklerini ve deformasyon biçimlerini etkileyen önemli bir parametre olduğunu ortaya koymaktadır. Nümerik analizde, yığılma gerilmesinin balpeteğindeki delik boyutunun artmasıyla ani ve belirgin bir biçimde azaldığını ve delik sayılarından neredeyse bağımsız olduğunu göstermektedir (Wang ve ark., 2017). Basma altında tandem altıgen alüminyum balpeteği yapılarının mekanik davranışları Deneysel ve nümerik analiz ile araştırılmaktadır. Tek bir balpeteği bloğu ile karşılaştırıldığında, bası yükü altında, tandem balpeteği yapısı, mükemmel bir enerji absorpsiyon özelliği sergiler ve tek bir blokla aynı yük taşıma yeteneğini korur. Ayrıca iç balpeteği ve kare tüplerin duvarı arasındaki etkileşim, ayırıcıların veya ince duvarların plastik çökme kıvrımları temelinde enerji dağılımını artırır (Wang ve ark., 2017). Bası kuvveti altında eğimli hücrelere gömülüş balpeteğinin 0° ile 90° arasında değişen eğimli açılardan deneysel ve nümerik analizi yapılmıştır. Sonuçlarda; 0° ile 90° arasında değişen eğimli açılar birkaçında, eğimli balpetek yapısı için akma gerilmesi eğim açısının artması ile açıkça azaldığı görülebilir. Açı ne kadar büyükse, akma gerilmesi de o kadar azalır, ayrıca basit açı durumunda düşüş sınırlıdır, eğim açısı arttıkça yükleme kapasitesi azalır (Wang ve ark., 2018).

Wang ve Liu (2018) yaptıkları çalışmada; dairesel tüplerle doldurulmuş balpeteği ile birleşik doldurulmuş yapısal balpeteklerin yeni bir modeli ortaya konulmuştur. Eksenel bası yüklemede, dairesel tüplerle doldurulmuş petek hücreleri yapısının, geleneksel oyuk balpeteği çekirdeği ile aynı mükemmel mekanik özellikleri korumakla kalmayıp, aynı zamanda uygun doldurma düzeninde doldurulduğunda enerji emiliminde belirgin bir üstünlük sağladığını da göstermektedir. Hücre sayısının ve çok hücreli yapıların topolojik konfigürasyonlarının çarpma özellikleri üzerindeki etkilerini ve beş hücreli tüpün bası davranışı eksenel basma testi ve nümerik analiz ile yapılmıştır. Sonuçlarda, ortalama basma kuvveti ve spesifik enerji absorpsiyonun, beş hücreli tüpün en iyi enerji emme özelliklerine sahip olduğu, çok hücreli tüplerin hücre sayısındaki artışla arttığını göstermektedir(Wu ve ark., 2016).

Bu tez çalışmasında, üç farklı boyuta sahip kare kesitli cam/epoksi ve karbon/epoksi esaslı polimer kompozit tüplerin içi balpeteği ve C25 sınıfı beton ile doldurularak eksenel bası davranışları incelenmiştir. Yukarıda bahsedilen çalışmaların yanında bilime katkı sağlamak amacıyla bu çalışma yapılmıştır.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu tez çalışmasında, farklı boyut ve oryantasyonlara sahip, iki farklı elyaf tipi ile üretilen kompozit yapılara bası yükü uygulanarak, farklı geometriksel ve mekaniksel kombinasyonlara sahip kompozit yapıların bası dayanıklılığı performansını, enerji absorpsiyon değerlerini, numunede meydana gelen fiziksel özellikleri ve diğer parametreleri ortaya çıkarmak için bir deneysel çalışma yapılmıştır. Tüm deneyler detaylı olarak incelendi, araştırıldı ve ayrı ayrı analiz edilerek yorumlandı Bu bölümde deneysel çalışmada kullanılan malzemeler, deneysel numunelerin hazırlanma yöntemleri ve üretim metotları ayrıntılı anlatıldı ve şekillerle gösterildi. Üretilen deneysel numunelerin boyutları, deneysel çalışmada kullanılan bası cihazının parçaları ve yükleme durumları şekiller ile gösterilerek anlatıldı.

3.1. Deney Numunelerinin Hazırlanması

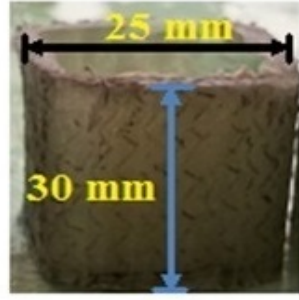
Bu tez çalışmasında, $[-45^{\circ}/+45^{\circ}]_4$ ve $[0^{\circ}/90^{\circ}]_4$ iki farklı oryantasyon açılarına ve 25 mm x 25 mm x 30 mm, 50 mm x 50 mm x 60 mm ve 100 mm x 100 mm x 120 mm üç farklı boyutlara sahip cam/epoksi kompozit kare tüpler ile $[-45^{\circ}/+45^{\circ}]_4$, $[-60^{\circ}/+60^{\circ}]_4$ ve $[0^{\circ}/90^{\circ}]_4$ üç farklı oryantasyon açılarına ve 25 mm x 25 mm x 30 mm, 50 mm x 50 mm x 60 mm ve 100 mm x 100 mm x 120 mm üç farklı boyutlara sahip karbon/epoksi kompozit kare tüplerin üretimi yapıldı. Numunelerin üretimi için gerekli malzemeler, cam fiber ve karbon fiber, alüminyum balpeteği (honeycomb) ve C25 sınıflı hazır beton olup kompozit malzemenin matris malzemeleri olarak F-1564 epoksi ve F-3486 sertleştirici kullanıldı. Üretilen kompozit cam/epoksi kare tüp ile karbon/epoksi kare tüpler için dolgu malzemeleri; alüminyum balpeteği (honeycomb) ve C25 sınıflı hazır beton seçildi. Üretilen cam/epoksi fiber kompozit kare tüplerin içi boş olacak şekilde, her farklı boyut ve oryantasyon için üçer tane olmak üzere toplam dokuz tane numune, kompozit cam/epoksi fiber kare tüplerin içi alüminyum balpeteği (honeycomb) ile dolu olacak şekilde, her farklı boyut ve oryantasyon açısı için üçer tane olmak üzere toplam dokuz tane numune ve kompozit cam/epoksi fiber kare tüplerin içi C25 sınıflı hazır beton ile dolu olacak şekilde her farklı boyut ve farklı oryantasyon için ikişer tane olmak üzere toplam altı tane numune üretildi.

Üretilen karbon/epoksi fiber kompozit kare tüplerin içi boş olacak şekilde, her farklı boyut ve oryantasyon açısı için üçer tane olmak üzere toplam dokuz tane numune, kompozit karbon/epoksi fiber kare tüplerin içi alüminyum balpeteği (honeycomb) ile dolu olacak şekilde, her farklı boyut ve oryantasyon açısı için üçer tane olmak üzere toplam dokuz tane numune ve kompozit karbon/epoksi fiber kare tüplerin içi C25 sınıflı hazır beton ile dolu olacak şekilde her farklı boyut ve oryantasyon açısı için ikişer tane olmak üzere toplam altı tane numune hazırlandı. Üretimi yapılan kompozit kare tüplerin her farklı boyutu için kesilen cam/karbon fiberin ağırlığı hassas terazide ayrı ayrı tartıldı ve kesilen fiber ağırlığının 3/4 oranında F-1564 epoksi ve 1/4 oranında F-3486 sertleştirici karıştırılarak matris malzemesi hazırlandı.

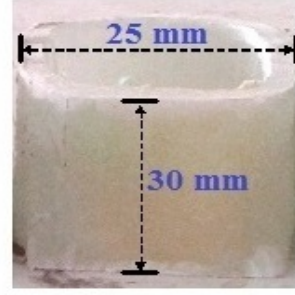
3.1.1. Cam/Epoksi Numunelerin Hazırlanması

3.1.1.1. 25 mm x 25 mm x 30 mm Boyutlu $[-45^{\circ}/+45^{\circ}]_4$ ve $[0^{\circ}/90^{\circ}]_4$ Oryantasyon Açılarına Sahip Cam/Epoksi Kompozit Kare Tüplerin Üretimi

Kare cam/epoksi numunelerin hazırlanma aşamasında; kare cam fiber tüplerin bir kenarı 25 mm, kare tüpün çevresi alındı ve çevre 100 mm olarak hesaplandı. Cam/epoksi malzemeli kare tüpün üretimi için, kare tüpün tabaka sayısı sekiz olduğundan toplam 800 mm uzunluğunda cam fiber kumaş malzemesi kesildi. Cam fiber hassas terazide tartıldı, sonra kesilen cam fiber ağırlığının 3/4 oranında epoksi reçine hassas terazide tartıldı, ardından 1/4 oranında sertleştirici kullanılıp hassas terazide tartıldı ve epoksi-sertleştirici karışımı hazırlandı. Epoksi-sertleştirici karışımı cam fiber kumaşına emdirildi. Reçine emdirilmiş 800 mm uzunluğundaki fiber kumaşı kare şekilli kalıplara sarıldı, oda sıcaklığında 24 saat kürleşmesi için beklendi ve uygun boyutlarda kesilerek deneylere hazır hale getirildi. Cam/epoksi kare tüplerinin içi balpeteği (honeycomb) ve C25 sınıf hazır beton ile dolduruldu. Kare tüpün bir kenarı 25 mm, yüksekliği 30 mm ve hacmi 18750 mm^3 olduğundan bir tane cam/epoksi kare tüpü için gerekli C25 sınıflı hazır beton miktarı 0.01875 lt olarak hesaplandı. Şekil 3.1' te 25 mm x 25 mm x 30 mm boyutlu $[-45^{\circ}/+45^{\circ}]_4$ ve $[0^{\circ}/90^{\circ}]_4$ oryantasyon açılarına sahip içi boş cam/epoksi kare tüplerin boyutları gösterilmiştir. Şekil 3.2' te 25 mm x 25 mm x 30 mm boyutlu $[-45^{\circ}/+45^{\circ}]_4$ oryantasyon açılı cam/epoksi kare tüpün üretim aşamaları gösterilmiştir. Şekil 3.3' te 25 mm x 25 mm x 30 mm boyutlu $[0^{\circ}/90^{\circ}]_4$ oryantasyon açılı cam/epoksi kare tüpün üretim aşamaları gösterilmiştir.

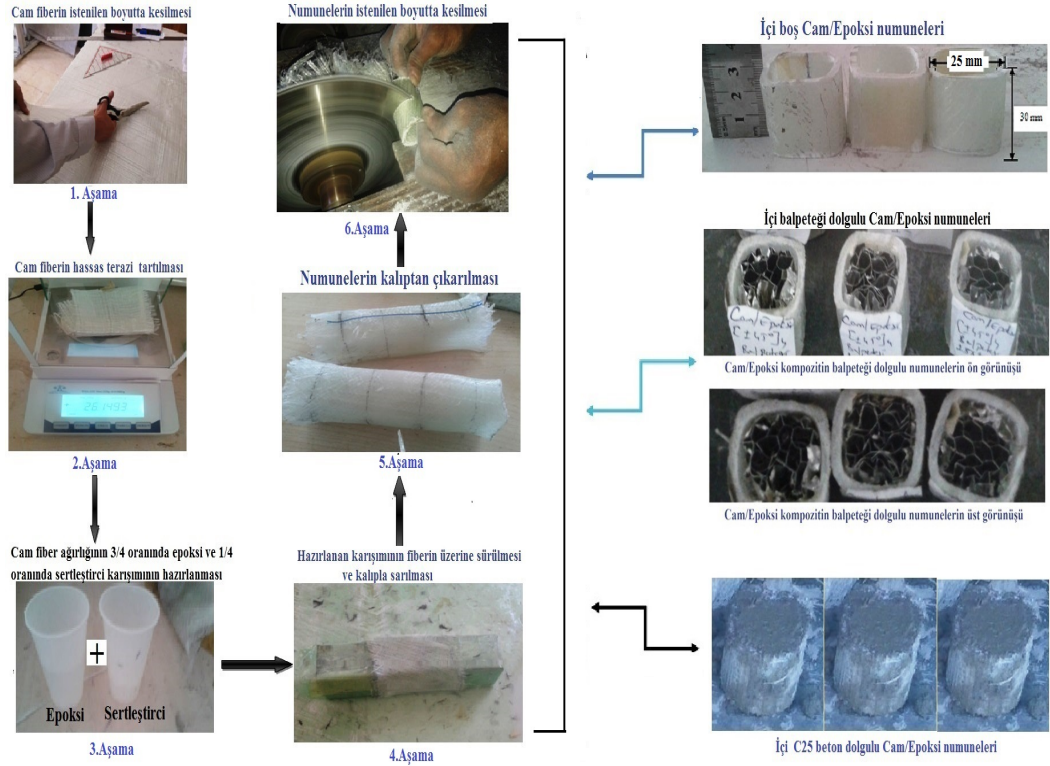


[0°/90°] oryantasyon açılı içi boş kare cam/epoksi tüp

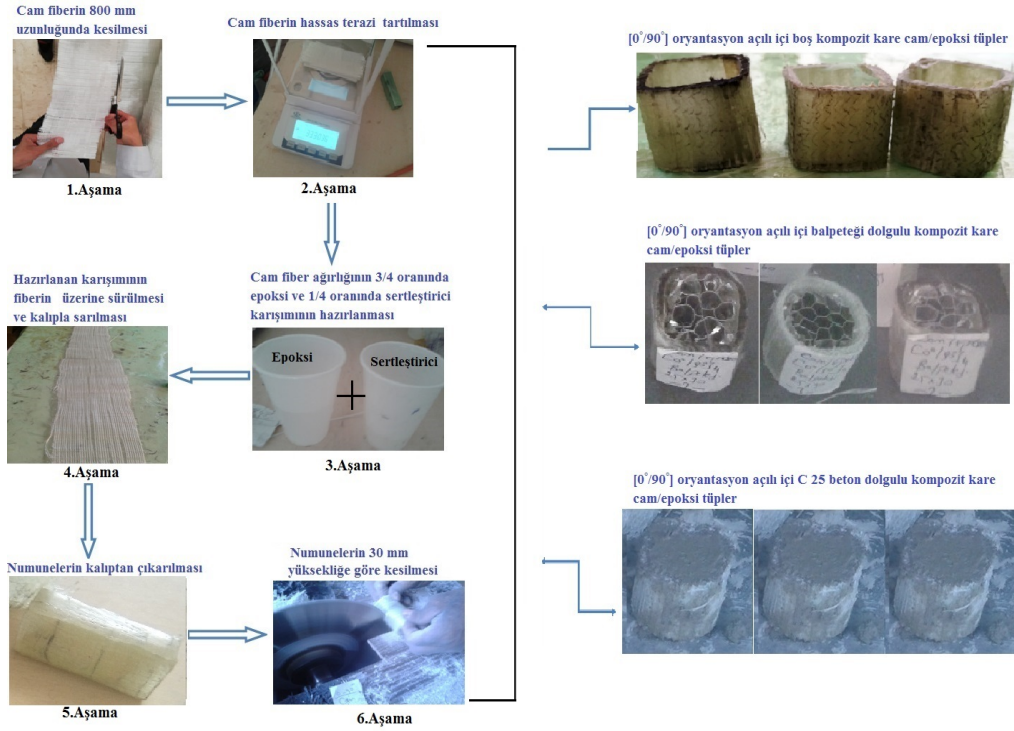


[-45°/+45°]₄ oryantasyon açılı içi boş kare cam/epoksi tüp

Şekil 3.1. 25 mm x 25 mm x 30 mm boyutlu [-45°/+45°]₄ ve [0°/90°]₄ oryantasyon açılına sahip içi boş cam/epoksi kare tüplerin boyutları



Şekil 3.2. 25 mm x 25 mm x 30 mm boyutlu [-45°/+45°]₄ oryantasyon açılı cam/epoksi kare tüpün üretim aşamaları



Şekil 3.3. 25 mm x 25 mm x 30 mm boyutlu $[0^\circ/90^\circ]_4$ oryantasyon açılı cam/epoksi kare tüpün üretim aşamaları

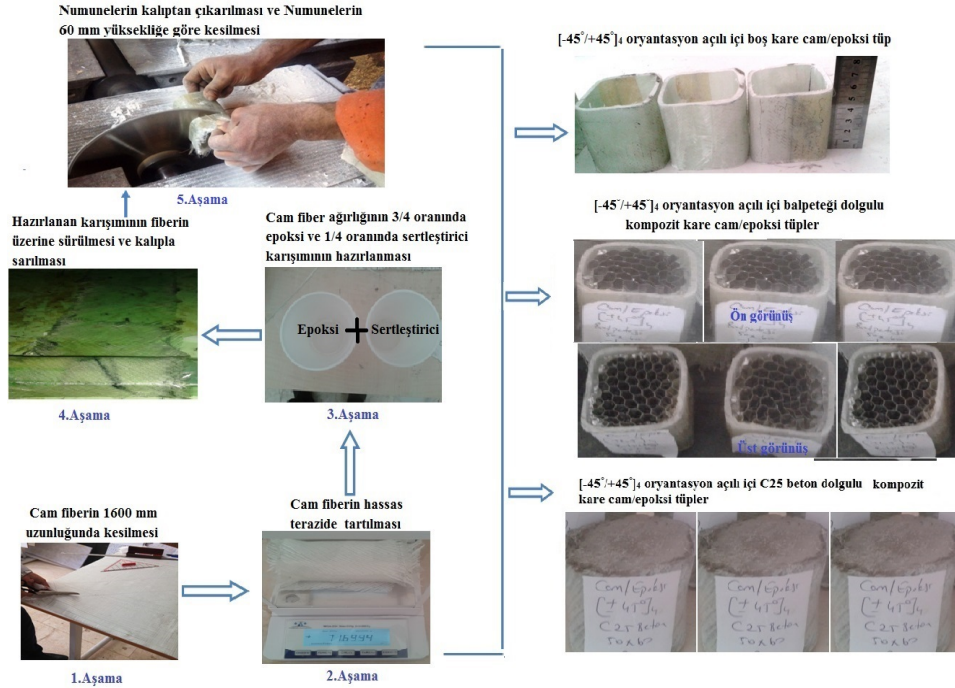
3.1.1.2. 50 mm x 50 mm x 60 mm Boyutlu $[-45^\circ/+45^\circ]_4$ ve $[0^\circ/90^\circ]_4$ Oryantasyon Açılarına Sahip Cam/Epoksi Kompozit Kare Tüplerin Üretimi

Kare cam/epoksi numunelerin hazırlanma aşamasında; kare cam fiber tüplerin bir kenarı 50 mm, kare tüpün çevresi alındı ve çevre 200 mm olarak hesaplandı. Cam/epoksi malzemeli kare tüpün üretimi için, kare tüpün tabaka sayısı sekiz olduğundan toplam 1600 mm uzunluğunda cam fiber kumaşı kesildi. 1600 mm uzunluğunda kesilen $[-45^\circ/+45^\circ]_4$ ve $[0^\circ/90^\circ]_4$ oryantasyon açılarına sahip cam fiber kumaşları hassas terazide tartıldı. Kesilen cam fiber ağırlığının 3/4 oranında epoksi hassas terazide tartıldı, ardından 1/4 oranında sertleştirici hassas terazide tartıldı ve epoksi-sertleştirici karışımı hazırlandı. Epoksi-sertleştirici karışım 1600 mm uzunluğunda kesilen elyaf malzemeye emdirildi. Elyaf malzemesi hazırlanan kare şekilli kalıplara sarıldı, oda sıcaklığında 24 saat kürleşmesi beklendi ve uygun boyutlarda kesilerek hazır hale getirildi. Üretimi gerçekleştirilen cam/epoksi kare tüplerinin içi balpeteği ve C25 sınıfı hazır beton ile dolduruldu. Kare tüpün bir kenarı 50 mm, yüksekliği 60 mm ve hacmi 150000 mm^3 olduğundan bir tane cam/epoksi kare

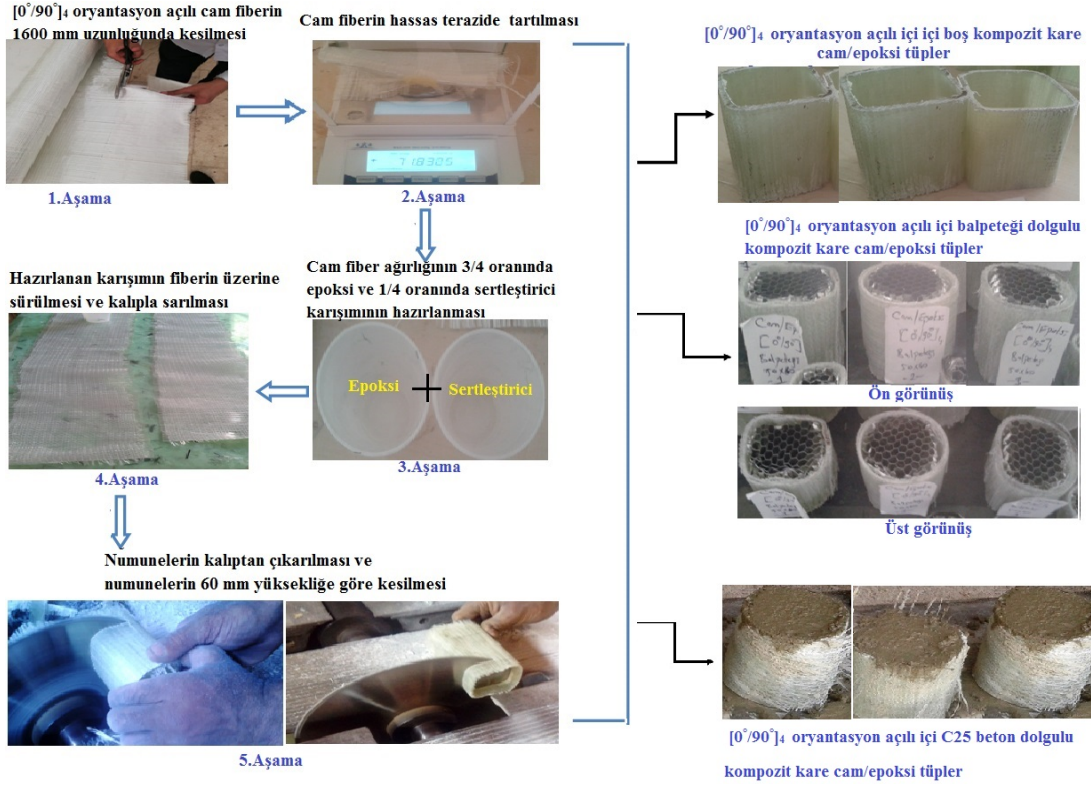
tüpü için gerekli C25 sınıflı hazır beton miktarı 0.15 lt olarak bulundu. Şekil 3.4' te 50 mm x 50 mm x 60 mm boyutlu $[-45^\circ/+45^\circ]_4$ ve $[0^\circ/90^\circ]_4$ oryantasyon açılarına sahip içi boş cam/epoksi kare tüplerin boyutları gösterilmiştir. Şekil 3.5' te 50 mm x 50 mm x 60 mm boyutlu $[-45^\circ/+45^\circ]_4$ oryantasyon açılı cam/epoksi kare tüpün üretim aşamaları gösterilmiştir. Şekil 3.6' ta 50 mm x 50 mm x 60 mm boyutlu $[0^\circ/90^\circ]_4$ oryantasyon açılı cam/epoksi kare tüpün üretim aşamaları gösterilmiştir.



Şekil 3.4. 50 mm x 50 mm x 60 mm boyutlu $[-45^\circ/+45^\circ]_4$ ve $[0^\circ/90^\circ]_4$ oryantasyon açılarına sahip içi boş cam/epoksi kare tüplerin boyutları



Şekil 3.5. 50 mm x 50 mm x 60 mm boyutlu $[-45^\circ/+45^\circ]_4$ oryantasyon açılı cam/epoksi kare tüpün üretim aşamaları

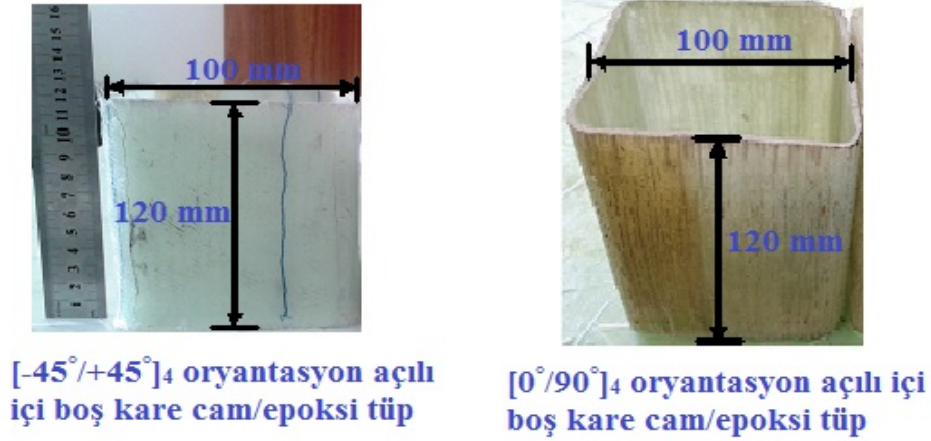


Şekil 3.6. 50 mm x 50 mm x 60 mm boyutlu [0°/90°]₄ oryantasyon açılı cam/epoksi kare tüpün üretim aşamaları

3.1.1.3. 100 mm x 100 mm x 120 mm Boyutlu [-45°/+45°]₄ ve [0°/90°]₄ Oryantasyon Açılarına Sahip Cam/Epoksi Kompozit Kare Tüplerin Üretimi

Kare cam/epoksi numunelerin hazırlanma aşamasında; kare cam fiber tüplerin bir kenarı 100 mm, kare tüpün çevresi alındı ve çevre 400 mm olarak hesaplandı. Cam/epoksi malzemeli kare tüpün üretimi için, kare tüpün tabaka sayısı sekiz olduğundan toplam 3200 mm uzunluğunda cam fiber malzemesi kesildi. 3200 mm uzunluğunda kesilen cam fiber hassas terazide tartıldı. Kesilen cam fiber ağırlığının 3/4 oranında epoksi, fiber ağırlığının 1/4 oranında sertleştirici kullanılarak epoksi-sertleştirici karışımı hazırlandı. Hazırlanan karışım 3200 mm uzunluğunda kesilen elyaf malzemeye emdirildi. Reçine emdirilmiş elyaf malzemesi hazırlanan kare şekilli kalıplara sarıldı, oda sıcaklığında 24 saat kürleşmesi beklendi ve uygun boyutlarda kesilerek deneylere hazır hale getirildi. Cam/epoksi kare tüplerinin içi balpeteği ve C25 sınıfı hazır beton ile dolduruldu. Kare tüpün bir kenarı 100 mm, yüksekliği 120 mm ve hacmi 1200000 mm³ olduğundan bir tane cam/epoksi kare tüpü için gerekli C25 beton miktarı 1.2 lt olarak bulundu. Şekil 3.7’te 100 mm x 100 mm x 120 mm boyutlu

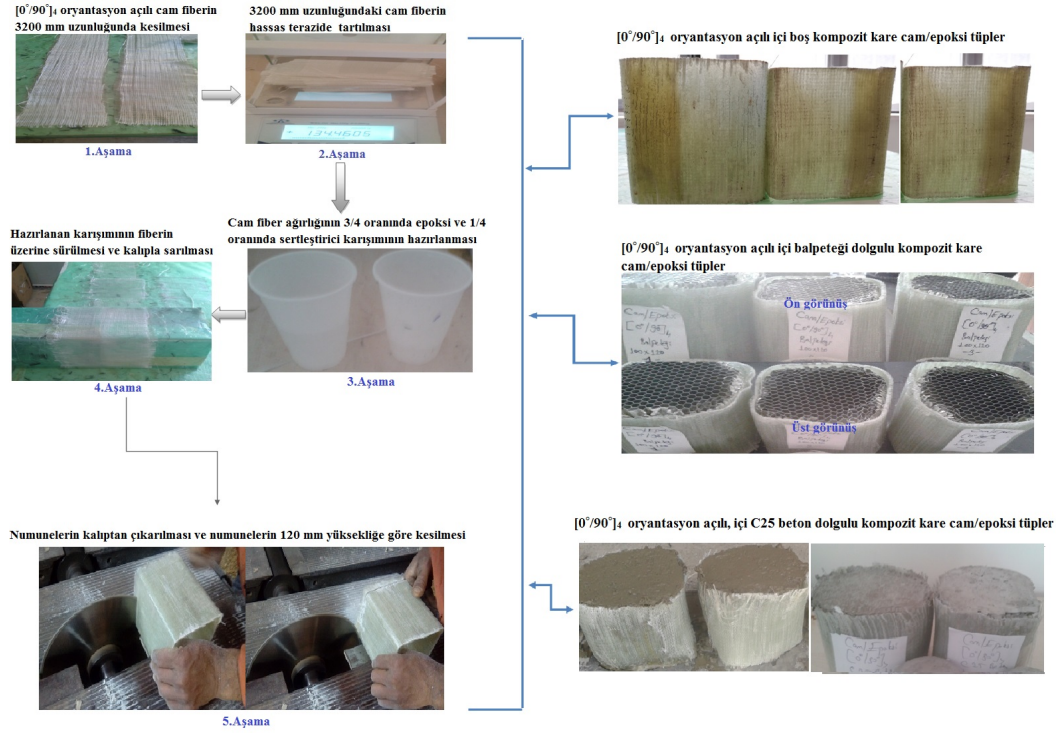
$[-45^\circ/+45^\circ]_4$ ve $[0^\circ/90^\circ]_4$ oryantasyon açılı içi boş cam/epoksi kare tüplerin boyutları gösterilmiştir. Şekil 3.8’ te 100 mm x 100 mm x 120 mm boyutlu $[-45^\circ/+45^\circ]_4$ oryantasyon açılı cam/epoksi kare tüpün üretim aşamaları gösterilmiştir. Şekil 3.9’ ta 100 mm x 100 mm x 120 mm boyutlu $[0^\circ/90^\circ]_4$ oryantasyon açılı cam/epoksi kare tüpün üretim aşamaları gösterilmiştir



Şekil 3.7. 100 mm x 100 mm x 120 mm boyutlu $[-45^\circ/+45^\circ]_4$ ve $[0^\circ/90^\circ]_4$ oryantasyon açılılarına sahip içi boş cam/epoksi kare tüplerin boyutları



Şekil 3.8. 100 mm x 100 mm x 120 mm boyutlu $[-45^\circ/+45^\circ]_4$ oryantasyon açılı cam/epoksi kare tüpün üretim aşamaları



Şekil 3.9. 100 mm x 100 mm x120 mm boyutlu $[0^\circ/90^\circ]_4$ oryantasyon açılı cam/epoksi kare tüpün üretim aşamaları

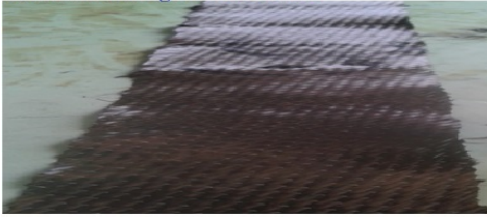
3.1.2. Karbon/Epoksi Numunelerin Hazırlanması

3.1.2.1. 25 mm x 25 mm x 30 mm Boyutlu $[-45^\circ/+45^\circ]_4$, $[-60^\circ/+60^\circ]_4$ ve $[0^\circ/90^\circ]_4$ Oryantasyon Açılına Sahip Karbon/Epoksi Kompozit Kare Tüplerin Üretimi

Kare karbon/epoksi numunelerin hazırlanma aşamasında; kare karbon fiber tüplerin bir kenarı 25 mm, kare tüpün çevresi alındı ve çevre 100 mm olarak hesaplandı. Karbon/epoksi malzemeli kare tüpün üretimi için tabaka sayısı sekiz olduğundan toplam 800 mm uzunluğunda karbon fiber kumaşı kesildi. 800 mm uzunluğunda kesilen karbon fiber hassas terazide tartıldı, ardından kesilen karbon fiber ağırlığının 3/4 oranında epoksi ve 1/4 oranında sertleştirici kullanılarak hassas terazide tartıldı ve epoksi-sertleştirici karışımı hazırlandı. Epoksi-sertleştirici karışımı 800 mm uzunluğunda kesilen karbon fiber malzemenin üzerine sürüldü, karışım sürülen fiber malzeme hazırlanan kare şekilli kalıplara sarıldı, oda sıcaklığında 24 saat kürleşmesi beklendi ve uygun boyutlarda kesilerek hazır hale getirildi. Hazır olan karbon/epoksi kare tüplerinin içi balpeteği (honeycomb) ve C25 sınıfı hazır beton ile dolduruldu. Kare tüpün bir kenarı 25 mm, yüksekliği 30 mm ve hacmi 18750 mm^3 olduğundan bir tane

karbon/epoksi kare tüpü için gerekli C25 sınıflı hazır beton miktarı 0.01875 lt olarak bulundu. Şekil 3.10' ta 25 mm x 25 mm x 30 mm boyutlu $[-45^{\circ}/+45^{\circ}]_4$ oryantasyon açılı karbon/epoksi kare tüpün üretim aşamaları gösterilmiştir. Şekil 3.11' te 25 mm x 25 mm x 30 mm boyutlu $[-60^{\circ}/+60^{\circ}]_4$ oryantasyon açılı karbon/epoksi kare tüpün üretim aşamaları gösterilmiştir. Şekil 3.12' te 25 mm x 25 mm x 30 mm boyutlu $[0^{\circ}/90^{\circ}]_4$ oryantasyon açılı karbon/epoksi kare tüpün üretim aşamaları gösterilmiştir. Farklı boyut ve oryantasyon açılarında üretilen numunelere, balpeteği ve C25 hazır beton doldurularak deneysel testlere hazırlandı.

$[-45^{\circ}/+45^{\circ}]_4$ oryantasyon açılı karbon fiberin
800 mm uzunluğunda kesilmesi



1.Aşama

800 mm uzunluğundaki karbon fiberin
hassas terazide tartılması



2.Aşama

Karbon fiber ağırlığının 3/4 oranında epoksi ve
1/4 oranında sertleştirici karışımının hazırlanması



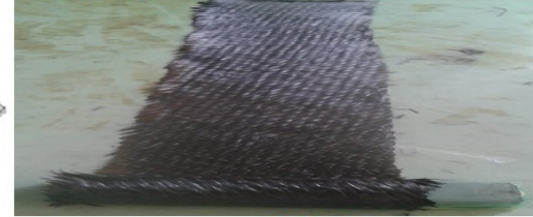
3.Aşama

Numunelerin kalıptan çıkarılması ve
numunelerin 30 mm yüksekliğe göre kesilmesi



5.Aşama

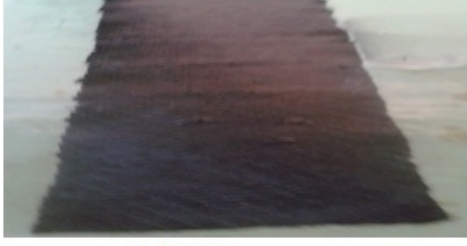
Hazırlanan karışımın fiberin üzerine sürülmesi ve
kalıpla sarılması



4.Aşama

Şekil 3.10. 25 mm x 25 mm x 30 mm boyutlu $[-45^{\circ}/+45^{\circ}]_4$ oryantasyon açılı karbon/epoksi kare tüpün üretim aşamaları

$[-60^{\circ}/+60^{\circ}]_4$ oryantasyon açılı karbon fiberin 800 mm uzunluğunda kesilmesi



1.Aşama

800 mm uzunluğundaki karbon fiberin hassas terazide tartılması



2.Aşama

Hazırlanan karışımın fiberin üzerine sürülmesi ve kalıpla sarılması



4.Aşama

Karbon fiber ağırlığının 3/4 oranında epoksi ve 1/4 oranında sertleştirici karışımının hazırlanması



3.Aşama

Numunelerin kalıptan çıkarılması ve numunelerin 30 mm yüksekliğe göre kesilmesi



5.Aşama

Şekil 3.11. 25 mm x 25 mm x 30 mm boyutlu $[-60^{\circ}/+60^{\circ}]_4$ oryantasyon açılı karbon/epoksi kare tüpün üretim aşamaları

$[0^\circ/90^\circ]_4$ oryantasyon açılı karbon fiberin 800 mm uzunluğunda kesilmesi



1.Aşama

800 mm uzunluğundaki karbon fiberin hassas terazide tartılması



2.Aşama

Karbon fiber ağırlığının 3/4 oranında epoksi ve 1/4 oranında sertleştirici karışımının hazırlanması



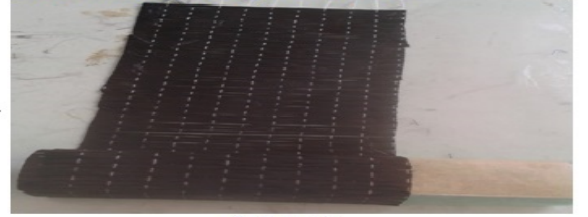
3.Aşama

Numunelerin kalıptan çıkarılması ve numunelerin 30 mm yüksekliğe göre kesilmesi



5.Aşama

Hazırlanan karışımın karbon fiber üzerine sürülmesi ve kalıpla sarılması



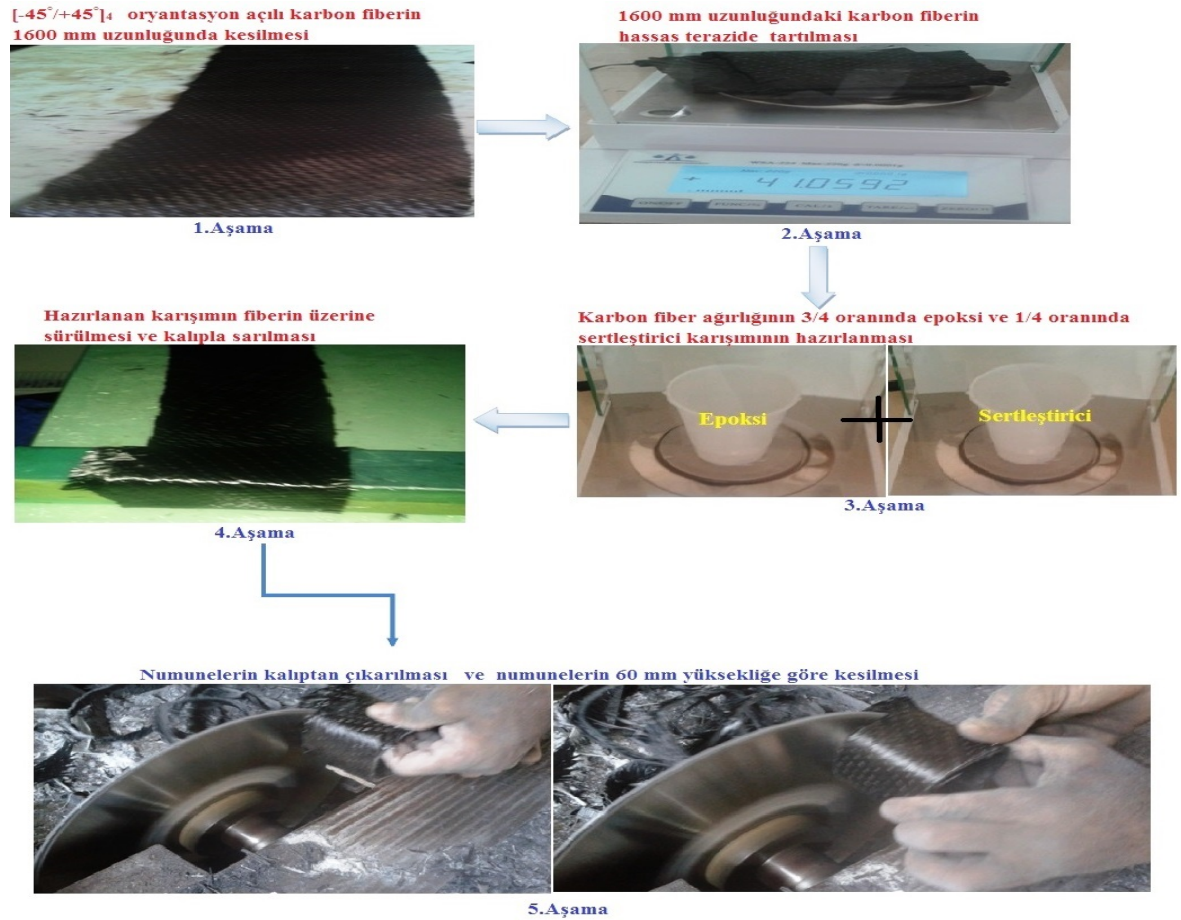
4.Aşama

Şekil 3.12. 25 mm x 25 mm x 30 mm boyutlu $[0^\circ/90^\circ]_4$ oryantasyon açılı karbon/epoksi kare tüpün üretim aşamaları

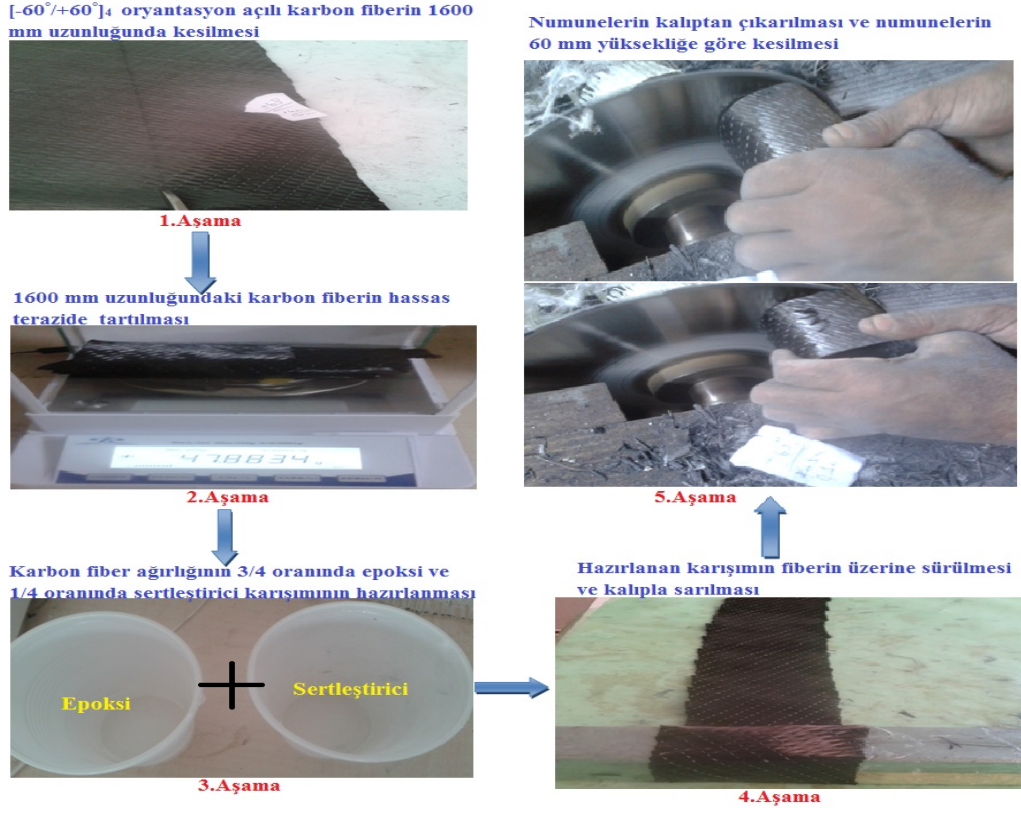
3.1.2.2. 50 mm x 50 mm x 60 mm Boyutlu $[-45^\circ/+45^\circ]_4$, $[-60^\circ/+60^\circ]_4$ ve $[0^\circ/90^\circ]_4$ Oryantasyon Açılına Sahip Karbon/Epoksi Kompozit Kare Tüplerin Üretimi

Kare karbon/epoksi numunelerin hazırlanma aşamasında; kare karbon fiber tüplerin bir kenarı 50 mm, kare tüpün çevresi alındı ve çevre 200 mm olarak hesaplandı. Ayrıca karbon/epoksi malzemeli kare tüpün tabaka sayısı sekiz olduğundan toplam 1600 mm uzunluğunda karbon fiber malzemesi kesildi. 1600 mm uzunluğunda kesilen karbon fiber hassas terazide tartıldı. Kesilen karbon fiber ağırlığının 3/4 oranında epoksi, karbon fiber ağırlığının 1/4 oranında sertleştirici kullanılarak epoksi-sertleştirici karışımı hazırlandı. Epoksi-sertleştirici karışımı 800 mm uzunluğunda kesilen kare şekilli karbon fiber malzemenin üzerine sürüldü, karışım sürülen karbon fiber malzeme, hazırlanan kare şekilli kalıplara sarıldı, oda sıcaklığında 24 saat kürleşmesi beklendi ve

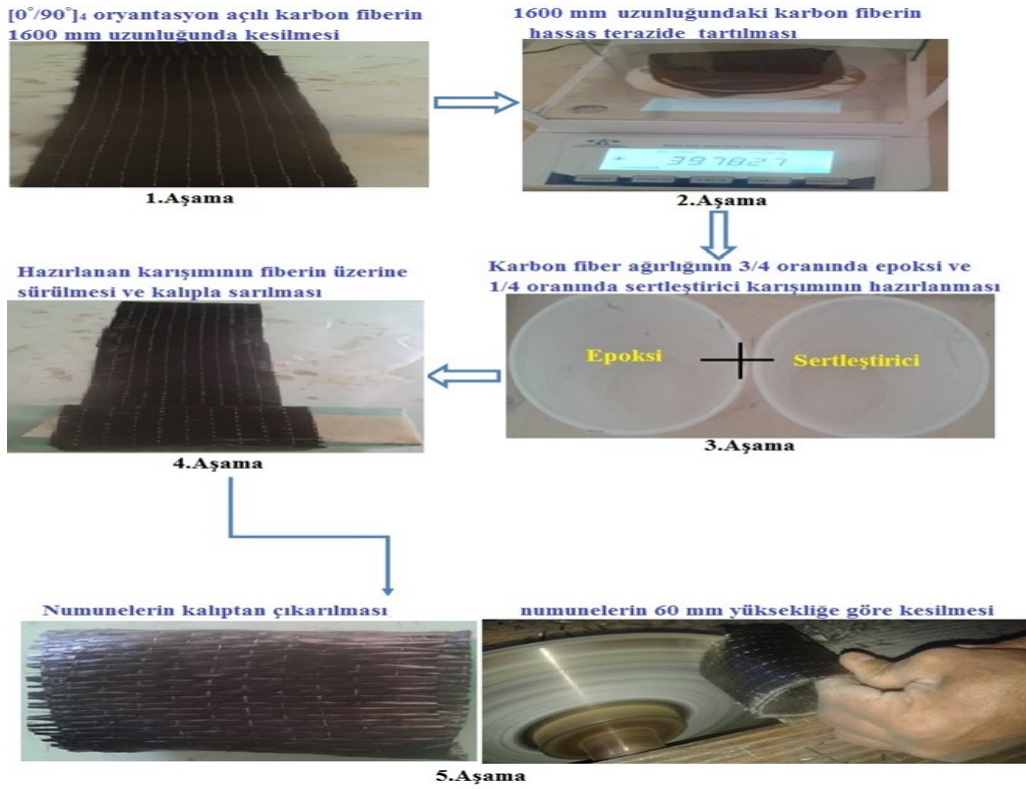
uygun boyutlarda kesilerek hazır hale getirildi. Karbon/epoksi kare tüplerinin içi balpeteği (honeycomb) ve C25 sınıflı hazır beton ile dolduruldu. Kare tüpün bir kenarı 50 mm, yüksekliği 60 mm ve hacmi 150000 mm³ olduğundan, bir tane karbon/epoksi kare tüpü için gerekli C25 sınıflı hazır beton miktarı 0.15 lt olarak bulundu. Şekil 3.13'te 50 mm x 50 mm x 60 mm boyutlu $[-45^{\circ}/+45^{\circ}]_4$ oryantasyon açılı karbon/epoksi kare tüpün üretim aşamaları gösterilmiştir. Şekil 3.14' te 50 mm x 50 mm x 60 mm boyutlu $[-60^{\circ}/+60^{\circ}]_4$ oryantasyon açılı karbon/epoksi kare tüpün üretim aşamaları gösterilmiştir. Şekil 3.15' te 50 mm x 50 mm x 60 mm boyutlu $[0^{\circ}/90^{\circ}]_4$ oryantasyon açılı karbon/epoksi kare tüpün üretim aşamaları gösterilmiştir. Farklı boyut ve oryantasyon açılarında üretilen numunelere, balpeteği ve C25 hazır beton doldurularak deneysel testler için hazırlandı.



Şekil 3.13. 50 mm x 50 mm x 60 mm boyutlu $[-45^{\circ}/+45^{\circ}]_4$ oryantasyon açılı kare karbon/epoksi tüpün üretim aşamaları



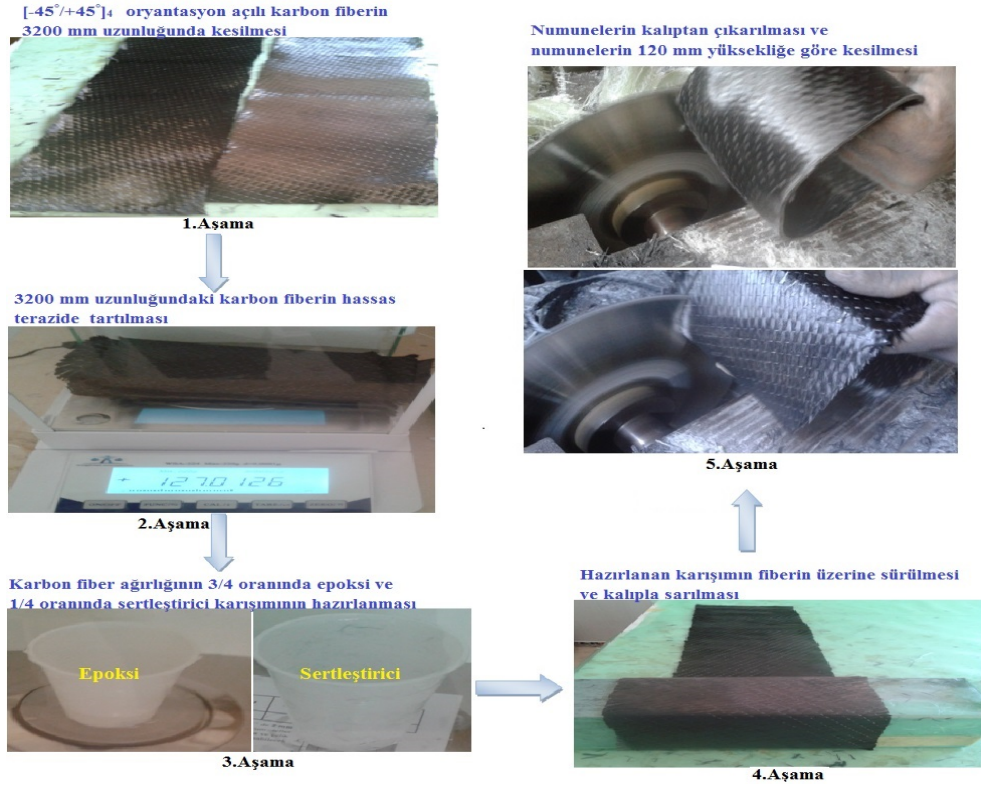
Şekil 3.14. 50 mm x 50 mm x 60 mm boyutlu [-60°/+60°]₄ oryantasyon açılı kare karbon/epoksi tüpün üretim aşamaları



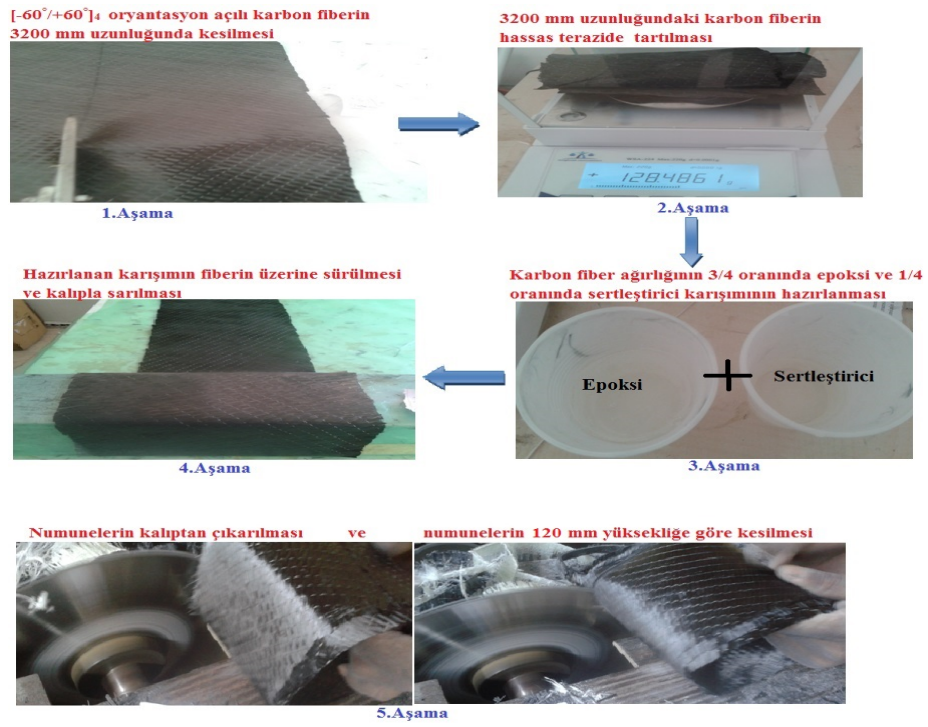
Şekil 3.15. 50 mm x 50 mm x 60 mm boyutlu [0°/90°]₄ oryantasyon açılı kare karbon/epoksi tüpün üretim aşamaları

3.1.2.3. 100 mm x 100 mm x 120 mm Boyutlu $[-45^{\circ}/+45^{\circ}]_4$, $[-60^{\circ}/+60^{\circ}]_4$ ve $[0^{\circ}/90^{\circ}]_4$ Oryantasyon Açılarına Sahip Karbon/Epoksi Kompozit Kare Tüplerin Üretimi

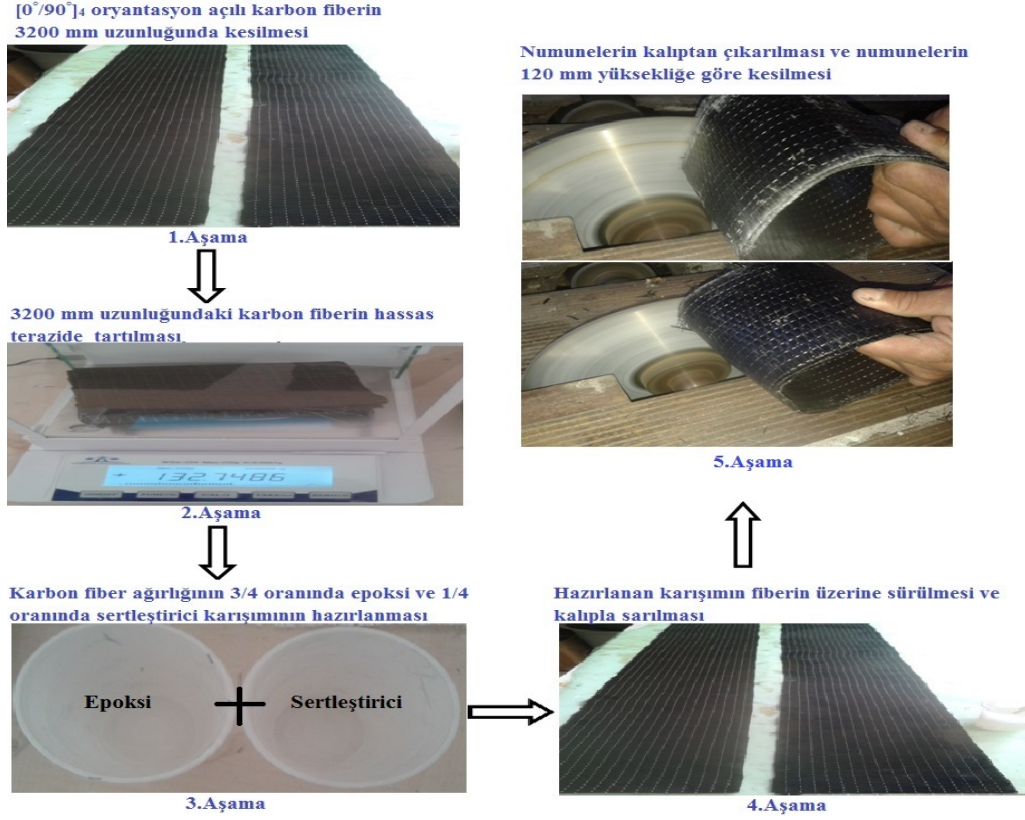
Kare karbon/epoksi esaslı kompozit numunelerin hazırlanma aşamasında; kare karbon fiber tüplerin bir kenarı 100 mm, kare tüpün çevresi alındı ve çevre 400 mm olarak hesaplandı. Karbon/epoksi malzemeli kare tüpü için, kare tüpün tabaka sayısı sekiz olduğundan toplam 3200 mm uzunluğunda karbon fiber kumaş kesildi. Karbon fiber kumaş hassas terazide tartıldı. Kesilen kumaş ağırlığının $3/4$ oranında epoksi ve $1/4$ oranında sertleştirici kullanılarak epoksi-sertleştirici karışımı hazırlandı. Epoksi-sertleştirici karışımı, 3200 mm uzunluğunda kesilen karbon fiber kumaş üzerine sürüldü. Reçine emdirilmiş kumaş hazırlanan kare şekilli kalıplara sarıldı, oda sıcaklığında 24 saat kürleşmesi beklendi ve uygun boyutlarda kesilerek deneylere hazır hale getirildi. Karbon/epoksi kare tüplerinin içi balpeteği ve C25 sınıflı hazır beton ile dolduruldu. Kare tüpün bir kenarı 100 mm, yüksekliği 120 mm ve hacmi 1200000 mm^3 olduğundan, bir tane karbon/epoksi kare tüpü için gerekli C25 sınıflı hazır beton miktarı 1,2 lt olarak bulundu. Şekil 3.16' ta 100 mm x 100 mm x 120 mm boyutlu $[-45^{\circ}/+45^{\circ}]_4$ oryantasyon açılı karbon/epoksi kare tüpün üretim aşamaları gösterilmiştir. Şekil 3.17' te 100 mm x 100 mm x 120 mm boyutlu $[-60^{\circ}/+60^{\circ}]_4$ oryantasyon açılı karbon/epoksi kare tüpün üretim aşamaları gösterilmiştir. Şekil 3.18' te 100 mm x 100 mm x 120 mm boyutlu $[0^{\circ}/90^{\circ}]_4$ oryantasyon açılı karbon/epoksi kare tüpün üretim aşamaları gösterilmiştir. Farklı boyut ve oryantasyon açılarında üretilen numunelere, balpeteği ve C25 hazır beton doldurularak deneysel testlere hazırlandı.



Şekil 3.16. 100 mm x 100 mm x 120 mm boyutlu [-45°/+45°]₄ oryantasyon açılı karbon/epoksi kare tüpün üretim aşamaları



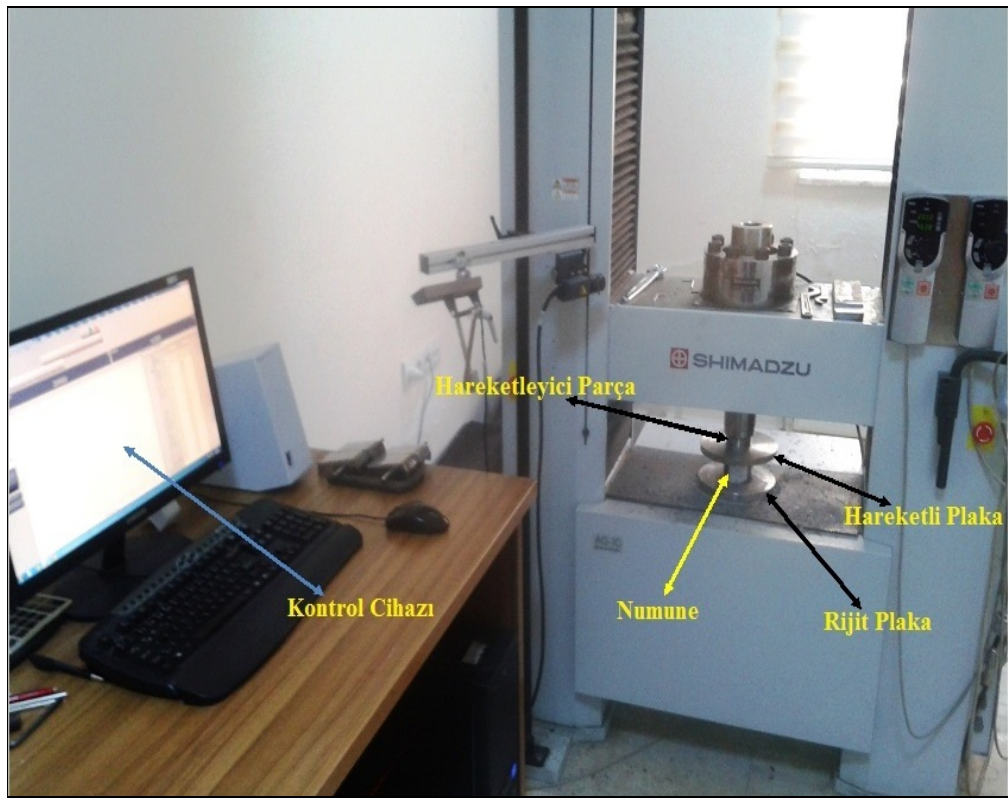
Şekil 3.17. 100 mm x 100 mm x 120 mm boyutlu [-60°/+60°]₄ oryantasyon açılı karbon/epoksi kare tüpün üretim aşamaları



Şekil 3.18. 100 mm x 100 mm x 120 mm boyutlu [0°/90°]₄ oryantasyon açılı karbon/epoksi kare tüpün üretim aşamaları

3.2. Deneysel Çalışma

Bu tez çalışmasında, üretimi gerçekleştirilen cam/epoksi ve karbon/epoksi polimer esaslı üç farklı oryantasyon ve üç farklı boyuta sahip numunelerin mekanik basma deneyleri, Makine Mühendisliği Bölümü Mekanik Laboratuvarı' nda bulunan 250 kN yük kapasiteli Shimadzu AG-IC marka universal çekme – basma test cihazının basma özelliği kullanılarak yapılmıştır. Deneyler oda sıcaklığında 1 mm/dakika çene hızında gerçekleştirilmiştir. Deneylerde kullanılan basma test cihazı Şekil 3.19' ta gösterilmiştir.



Şekil 3.19. Shimadzu AG-IC marka universal çekme – basma test cihazı

Üç farklı kare kesite sahip cam/epoksi kompozit tüplerin basma deneyi için kenarları düzeltildi. İçi boş, içi balpeteği ve beton ile doldurulmuş $[-45^{\circ}/+45^{\circ}]_4$ oryantasyon açılı deney numuneleri Şekil 3.20' te ve $[0^{\circ}/90^{\circ}]_4$ oryantasyon açılı deney numuneleri Şekil 3.21' te gösterilmiştir.



Üretilen İçi Boş Cam/Epoksi Fiber Kompozit Kare Tüpler



Alüminyum Balpeteği Dolgulu Cam/Epoksi Fiber Kompozit Kare Tüpler



C25 Hazır Beton Dolgulu Cam/Epoksi Fiber Kompozit Kare Tüpler

Şekil 3.20. Üretimi yapılan $[-45^{\circ}/+45^{\circ}]_4$ oryantasyon açılı cam/epoksi numuneler



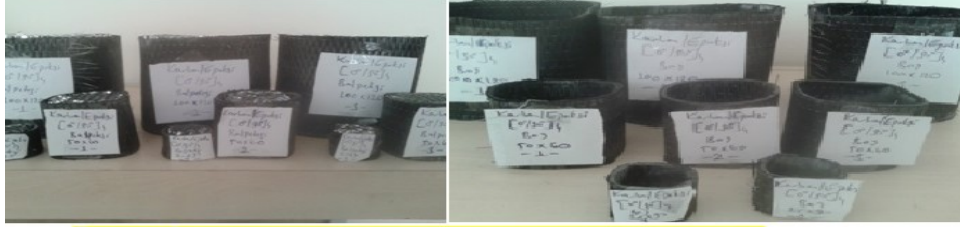
Alüminyum Balpeteği Dolgulu Cam/Epoksi Fiber Kompozit Kare Tüpler



C25 Hazır Beton Dolgulu Cam/Epoksi Fiber Kompozit Kare Tüpler

Şekil 3.21. Üretimi yapılan $[0^{\circ}/90^{\circ}]_4$ oryantasyon açılı cam/epoksi numuneler

Şekil 3.22' te $[0^\circ/90^\circ]_4$ oryantasyon açılı karbon/epoksi deney numuneleri gösterilmiştir. Şekil 3.23' te $[-60^\circ/+60^\circ]_4$ oryantasyon açılı ve Şekil 3.24' te $[-45^\circ/+45^\circ]_4$ oryantasyon açılı karbon/epoksi deney numuneler gösterilmiştir.



Üretilen İçi Boş Karbon/Epoksi Fiber Kompozit Kare Tüpler



Alüminyum Balpeteği Dolgulu Karbon/Epoksi Fiber Kompozit Kare Tüpler



C25 Hazır Beton Dolgulu Karbon/Epoksi Fiber Kompozit Kare Tüpler

Şekil 3.22. Üretimi yapılan $[0^\circ/90^\circ]_4$ oryantasyon açılı karbon/epoksi numuneler



Üretilen İçi Boş Karbon/Epoksi Fiber Kompozit Kare Tüpler



Alüminyum Balpeteği Dolgulu Karbon/Epoksi Fiber Kompozit Kare Tüpler



C25 Hazır Beton Dolgulu Karbon/Epoksi Fiber Kompozit Kare Tüpler

Şekil 3.23. Üretimi yapılan $[-60^{\circ}/+60^{\circ}]_4$ oryantasyon açılı karbon/epoksi numuneler



Üretilen Karbon/Epoksi Fiber Kompozit Kare Tüpler

Şekil 3.24. Üretimi yapılan $[-45^{\circ}/+45^{\circ}]_4$ oryantasyon açılı karbon/epoksi numuneler

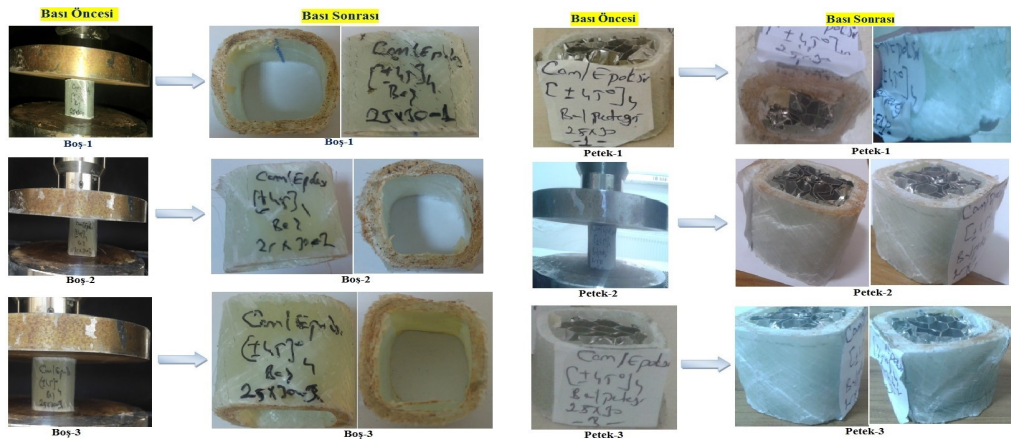
4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

Bu tez çalışmasında, $[-45^\circ/+45^\circ]_4$ ve $[0^\circ/90^\circ]_4$ oryantasyon açılarına sahip cam/epoksi ile $[-45^\circ/+45^\circ]_4$, $[-60^\circ/+60^\circ]_4$ ve $[0^\circ/90^\circ]_4$ oryantasyon açılarına sahip karbon/epoksi esaslı polimer kompozitler kullanılarak üç farklı boyutta üretilen tüplerin içi boş, içi balpeteği ve C25 sınıflı beton ile doldurulmuş numunelerin eksenel bası davranışlarının araştırılması hedeflendi. Yapılan deneysel çalışmalar sonrası numunelerde oluşan deformasyon aşamaları şekillerle yorumlandı. Her bir parametre için ortalama deformasyon kuvveti ve ortalama deformasyon değerleri bulundu. Çizilen grafikler yardımıyla sonuçlar karşılaştırıldı ve tartışıldı.

4.1. Cam/Epoksi Kare Tüpün Deformasyon Aşamaları

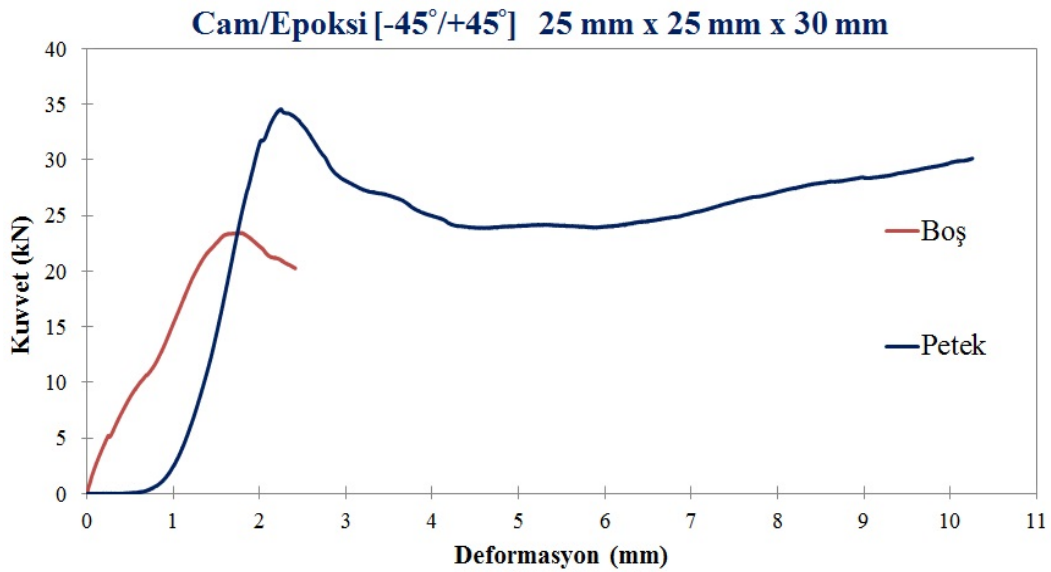
4.1.1. $[-45^\circ/+45^\circ]_4$ Oryantasyon Açılı Cam/Epoksi Kare Tüpün Deformasyon Aşamaları

$[-45^\circ/+45^\circ]_4$ oryantasyon açılı 25 mm x 25 mm x 30 mm, 50 mm x 50 mm x 60 mm ve 100 mm x 100 mm x 120 mm boyutlu cam/epoksi numunelerde deney sonrası oluşan deformasyonlar Şekil 4.1, Şekil 4.3 ve Şekil 4.4' te gösterilmiştir. Cam/epoksi kare numunelerden elde edilen verilerle, ortalama deformasyon kuvveti ve ortalama deformasyon değerleri bulundu, çizilen grafikler yardımıyla sonuçlar karşılaştırıldı ve tartışıldı. Şekil 4.1' te 25 mm x 25 mm x 30 mm boyutlu cam/epoksi kare tüpte oluşan deformasyon aşamaları gösterilmiştir.



Şekil 4.1. 25 mm x 25 mm x 30 mm boyutlu cam/epoksi kare tüpte deformasyon aşamaları

25 mm x 25 mm x 30 mm boyutlu cam/epoksi içi boş kare tüpün bası sonrası elde edilen ortalama deformasyon kuvvet değeri 20.5 kN, ortalama deformasyon değeri 1.73 mm olarak bulundu. Şekil 4.2' te 25 mm x 25 mm x 30 mm boyutlu cam/epoksi kare tüpün içi boş, içi balpeteği dolu olacak şekilde kare tüpte deney sonrası elde edilen kuvvet-deformasyon grafiği gösterilmiştir. Deneysel bası yükü ile elde edilen kuvvet-deformasyon grafiklerinde maksimum deformasyon kuvveti değeri yani malzemede oluşan maksimum hasar kuvvet değeri olarak alınmıştır. Dolgu malzemesinin bası mukavemetine etkisi Şekil 4.2' te görüldüğü gibi içi balpeteği ile doldurulan cam/epoksi kare tüpün maksimum bası direncini arttırdığı, petek dolu kare tüpün hasar görmesine rağmen bası direnci ve deformasyon değerinin arttığı görülmektedir. Deneysel testlerde bası kuvvetinin etkisinin belli bir kısmı kompozit kare tüpü tarafında taşındığı, daha sonra bu kuvvet etkisinin kare tüpün iç dolgu malzemeleriyle beraber taşınarak numunenin mukavemetini arttırmıştır. Bu sonuçla dolgu malzemelerinin bası dayanımında ne kadar etkili olduğu görülmektedir.



Şekil 4.2. Cam/epoksi kare tüpün kuvvet-deformasyon grafiği

50 mm x 50 mm x 60 mm boyutlu cam/epoksi içi boş kare tüpün bası sonrası elde edilen ortalama deformasyon kuvvet değeri 47.4 kN, ortalama deformasyon değeri 3.89 mm olarak bulundu. Şekil 4.3' te 50 mm x 50 mm x 60 mm boyutlu cam/epoksi kare tüpte deformasyon aşamaları gösterilmiştir.



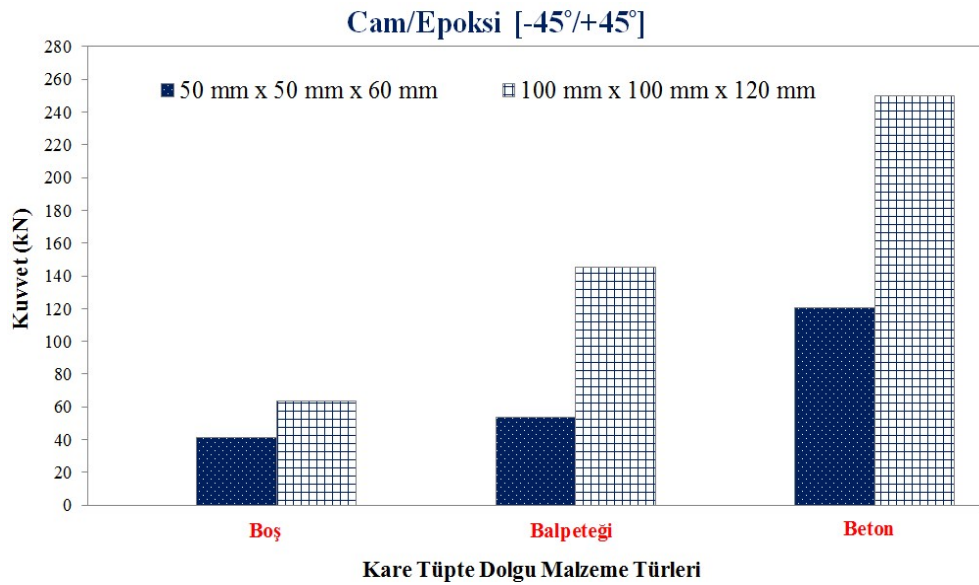
Şekil 4.3. 50 mm x 50 mm x 60 mm boyutlu cam/epoksi kare tüpte deformasyon aşamaları

100 mm x 100 mm x 120 mm boyutlu cam/epoksi içi boş kare tüpün bası sonrası elde edilen ortalama deformasyon kuvvet değeri 70.8 kN, ortalama deformasyon değeri 5.948 mm olarak bulundu. Şekil 4.4' te 100x120 mm boyutlu cam/epoksi kare tüpte deformasyon aşamaları gösterilmiştir.



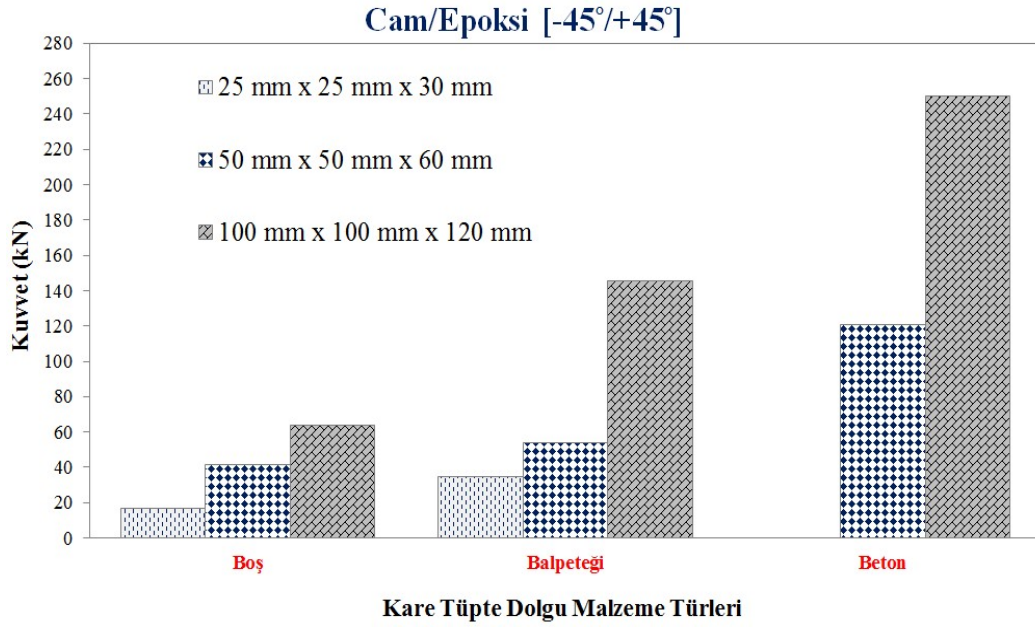
Şekil 4.4. 100 mm x 100 mm x 120 mm boyutlu cam/epoksi kare tüpte deformasyon aşamaları

Şekil 4.5’ te 50 mm x 50 mm x 60 mm ve 100 mm x 100 mm x 120 mm boyutlu cam/epoksi kare tüpün içi boş, içi balpeteği dolu ve içi beton dolu olacak şekilde kare tüpte kuvvet-dolgu malzeme türlerine göre değişimi grafiği gösterilmiştir. Şekil 4.5’ ten de görüldüğü gibi içi balpeteği ve beton dolgulu cam/epoksi kare tüplerin maksimum bası direncini arttırmaktadır. Kare tüpteki beton dolgu ile balpeteği dolgusunu karşılaştırsak, betonun deformasyon kuvvetinin balpeteği deformasyon kuvvetinden daha fazla olduğu görülmektedir. Balpeteği dolgusu kare tüpün bası direncini iyileştirdiği ve arttırdığı görülmektedir. Ayrıca kare tüpün yüksekliği ve genişliği arttıkça bası kuvveti değerlerinin arttığı görülmektedir.



Şekil 4.5. 50 mm x 50 mm x 60 mm ve 100 mm x 100 mm x 120 mm boyutlu cam/epoksi kare tüpte kuvvet-dolgu malzeme türlerine göre değişimi grafiği

Şekil 4.6’ ta 25 mm x 25 mm x 30 mm, 50 mm x 50 mm x 60 mm ve 100 mm x 100 mm x 120 mm boyutlu cam/epoksi kare tüplerin içi boş, içi balpeteği dolu ve içi beton dolu olacak şekilde kare tüplerde kuvvet-dolgu malzeme türlerine göre değişimi grafiği gösterilmiştir.



Şekil 4.6. 25 mm x 25 mm x 30 mm, 50 mm x 50 mm x 60 mm ve 100 mm x 100 mm x 120 mm boyutlu cam/epoksi kare tüpte kuvvet-dolgu malzeme türlerine göre değişimi grafiği

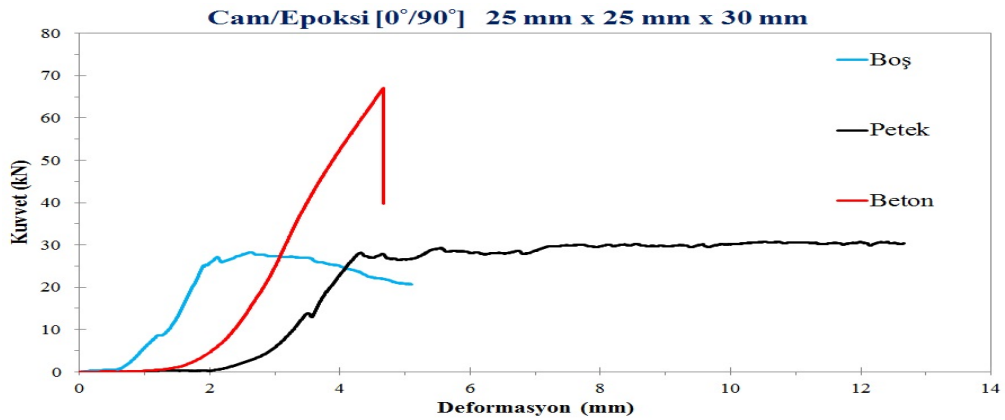
4.1.2. $[0^\circ/90^\circ]_4$ Oryantasyon Açılı Cam/Epoksi Kare Tüpün Deformasyon Aşamaları

$[0^\circ/90^\circ]_4$ oryantasyon açılı 25 mm x 25 mm x 30 mm, 50 mm x 50 mm x 60 mm, 100 mm x 100 mm x 120 mm boyutlu cam/epoksi numunelerde deney sonrası oluşan deformasyonlar Şekil 4.7, Şekil 4.9 ve Şekil 4.10' ta gösterilmiştir. Cam/epoksi kare numunelerden elde edilen verilerle, ortalama deformasyon kuvveti ve ortalama deformasyon değerleri bulundu ve çizilen grafikler yardımıyla sonuçlar karşılaştırıldı ve tartışıldı. 25 mm x 25 mm x 30 mm boyutlu cam/epoksi içi boş kare tüpün bası sonrası elde edilen ortalama deformasyon kuvvet değeri 33.7 kN, ortalama deformasyon değeri 2.771 mm olarak bulundu. Şekil 4.7' te 25 mm x 25 mm x 30 mm boyutlu cam/epoksi kare tüpte oluşan deformasyon aşamaları gösterilmiştir.



Şekil 4.7. 25 mm x 25 mm x 30 mm boyutlu cam/epoksi kare tüpe deformasyon aşamaları

Şekil 4.8' te 25 mm x 25 mm x 30 mm boyutlu cam/epoksi kare tüpün içi boş, içi balpeteği dolu ve içi beton dolu olacak şekilde kare tüpte deney sonrası elde edilen kuvvet-deformasyon grafiği gösterilmiştir. Beton dolgulu kare tüpte maksimum deformasyon değerine ulaştığı, beton malzemenin bası direncini arttırdığını, beton dolu cam fiber takviyeli polimer kompozitin bina ve diğer yapılarıdaki betonun güçlendirilmesinde önemli katkı sunduğu görülmektedir [7, 8, 35]. Ayrıca dolgu malzemesi olarak balpeteğinin kullanımı kare tüpün bası direncini iyileştirdiği görülmektedir. Şekil 4.8' te betonun kuvvet değerinin maksimum noktasından sonra hızlı bir şekilde düştüğü, deformasyon değerinin değişmediği görülmektedir. Betonun bası direnci balpeteği ile kıyaslandığında yaklaşık iki kat daha yüksek olduğu görülmektedir.



Şekil 4.8. Cam/epoksi kare tüpün kuvvet-deformasyon grafiği

50 mm x 50 mm x 60 mm boyutlu cam/epoksi içi boş kare tüpün bası sonrası elde edilen ortalama deformasyon kuvvet değeri 69.5 kN, ortalama deformasyon değeri 3.178 mm olarak bulundu. Şekil 4.9' ta 50 mm x 50 mm x 60 mm boyutlu cam/epoksi kare tüpte deformasyon aşamaları gösterilmiştir.



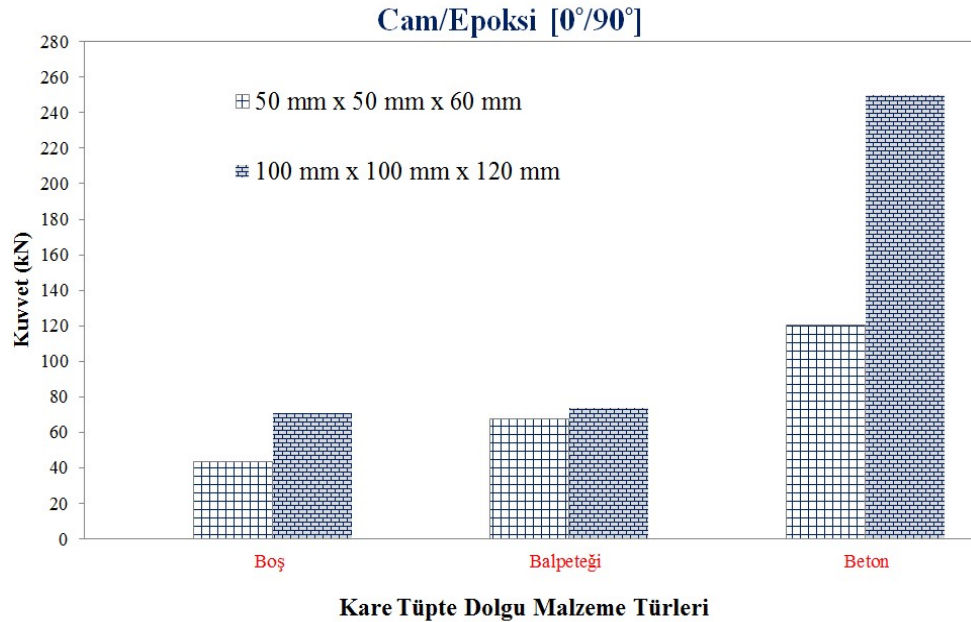
Şekil 4.9. 50 mm x 50 mm x 60 mm boyutlu cam/epoksi kare tüpte deformasyon aşamaları

100 mm x 100 mm x 120 mm boyutlu cam/epoksi içi boş kare tüpün bası sonrası elde edilen ortalama deformasyon kuvvet değeri 73.5 kN, ortalama deformasyon değeri 5.182 mm olarak bulundu. Şekil 4.10' ta 100 mm x 100 mm x 120 mm boyutlu cam/epoksi kare tüpte deformasyon aşamaları gösterilmiştir.



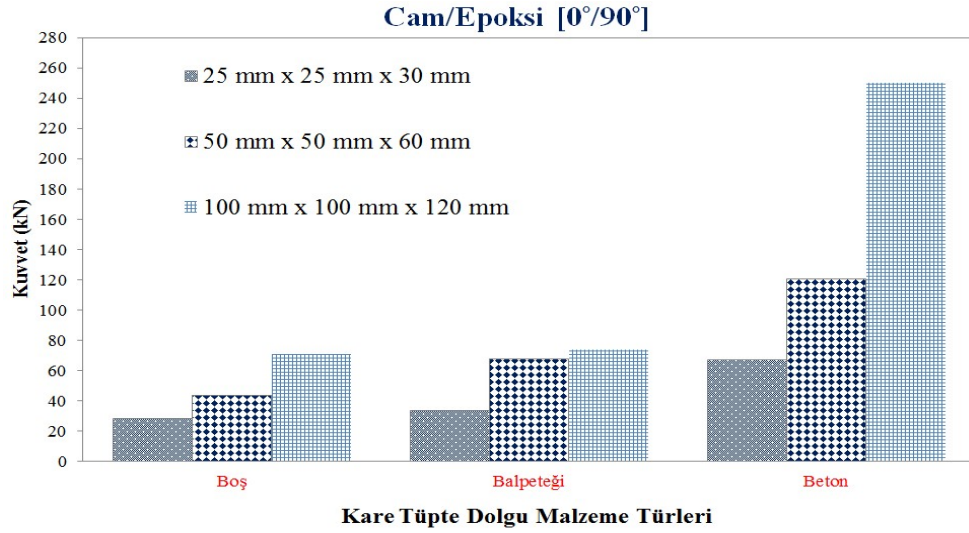
Şekil 4.10. 100 mm x 100 mm x 120 mm boyutlu cam/epoksi kare tüpte deformasyon aşamaları

Şekil 4.11' te 50 mm x 50 mm x 60 mm ve 100 mm x 100 mm x 120 mm boyutlu cam/epoksi kare tüpün içi boş, içi balpeteği dolu ve içi beton dolu olacak şekilde kare tüpte kuvvet-dolgu malzeme türlerine göre değişimi grafiği gösterilmiştir. Şekil 4.10' ta görüldüğü gibi içi balpeteği ve beton dolgulu cam/epoksi kare tüplerin maksimum bası direncini arttırmaktadır. Kare tüpte beton dolgusunun maksimum kuvvet değerine ulaştığı, ayrıca kompozit kare tüpün betonun dayanıklılığını arttırdığını, iyi bir malzeme güçlendirici etkiye sahip olduğu ve literatürdeki çalışmalarla benzer sonuçlar verdiği anlaşılmaktadır [7, 8, 35]. Balpeteğin de ise maksimum kuvvet değerine ulaştıktan sonra, kuvvetin azalış ile artış arasında gidip geldiği görülmektedir. Balpeteği dolgulu kare tüpte ise, içi beton dolgulu kare tüp ile kıyaslandığında bası direnci değerinin daha küçük olduğu görülmektedir.



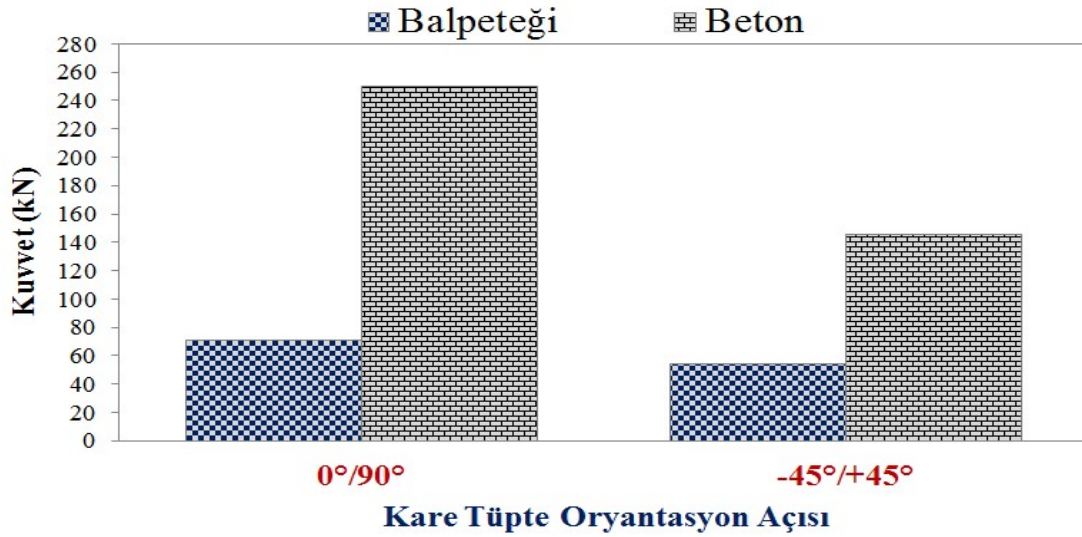
Şekil 4.11. 50 mm x 50 mm x 60 mm ve 100 mm x 100 mm x 120 mm boyutlu cam/epoksi kare tüpte kuvvet-dolgu malzeme türlerine göre değişimi grafiği

Şekil 4.12' te 25 mm x 25 mm x 30 mm, 50 mm x 50 mm x 60 mm ve 100 mm x 100 mm x 120 mm boyutlu cam/epoksi kare tüplerin içi boş, içi balpeteği dolu ve içi beton dolu olacak şekilde kare tüplerde kuvvet-dolgu malzeme türlerine göre değişimi grafiği gösterilmiştir.



Şekil 4.12. 25 mm x 25 mm x 30 mm, 50 mm x 50 mm x 60 mm ve 100 mm x 100 mm x 120 mm boyutlu cam/epoksi kare tüplerde kuvvet-dolgu malzeme türlerine göre değişimi grafiği

Şekil 4.13' te 50 mm x 50 mm x 60 mm boyutlu $[0^\circ/90^\circ]_4$ ile $[-45^\circ/+45^\circ]_4$ oryantasyon açılarına sahip cam/epoksi kare tüplerde, içi balpeteği ve içi beton dolu olacak şekilde kare tüplerin kuvvet-oryantasyon açısı değişimi grafiği karşılaştırılarak gösterilmiştir.

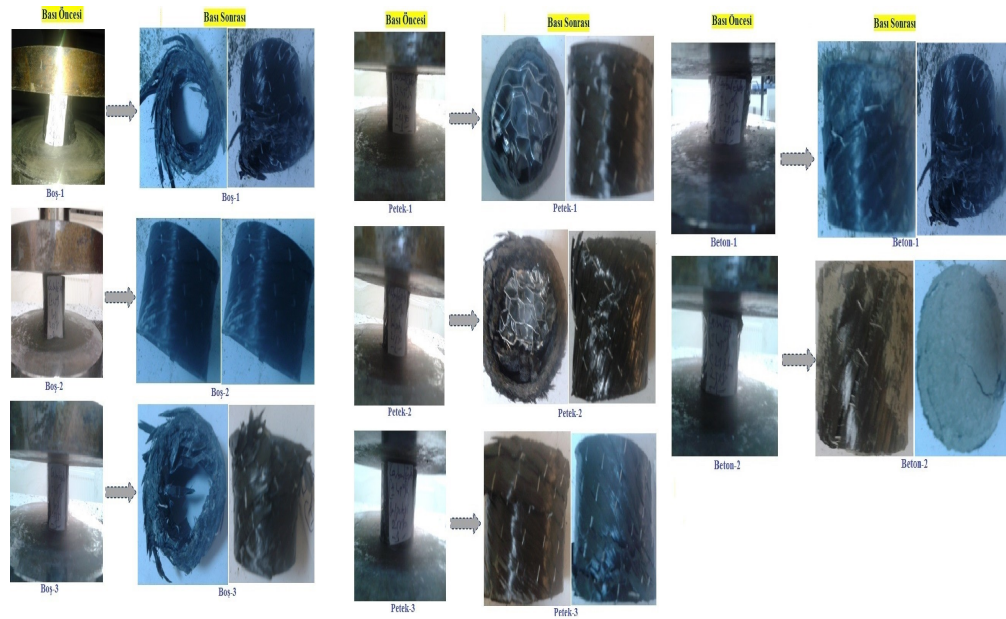


Şekil 4.13 50 mm x 50 mm x 60 mm boyutlu $[0^\circ/90^\circ]_4$ ile $[-45^\circ/+45^\circ]_4$ oryantasyon açılarına sahip cam/epoksi kare tüplerde kuvvet-oryantasyon açısı değişimi grafiği

4.2. Karbon/Epoksi Kare Tüpün Deformasyon Aşamaları

4.2.1. $[-45^\circ/+45^\circ]_4$ Oryantasyon Açılı Karbon/Epoksi Kare Tüpün Deformasyon Aşamaları

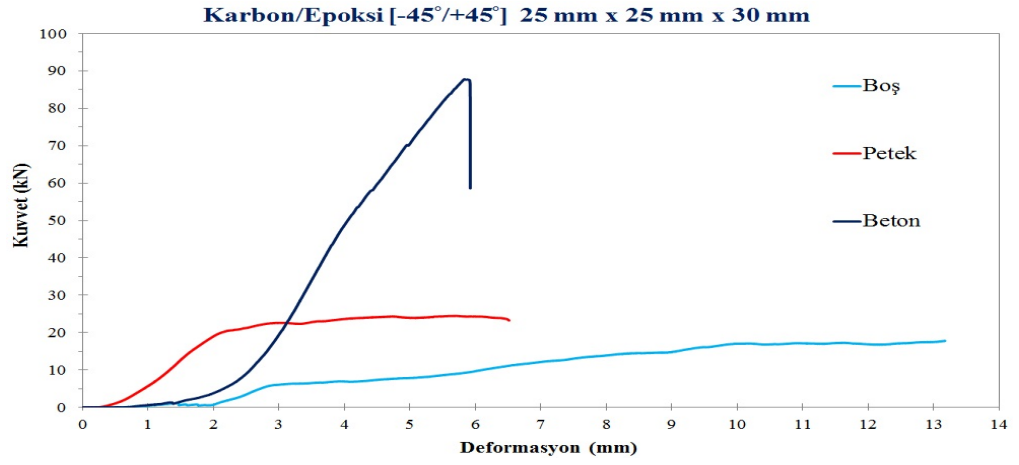
$[-45^\circ/+45^\circ]_4$ oryantasyon açılı, 25 mm x 25 mm x 30 mm, 50 mm x 50 mm x 60 mm, 100 mm x 100 mm x 120 mm boyutlu karbon/epoksi numunelerde deney sonrası oluşan deformasyonlar Şekil 4.14, Şekil 4.16 ve Şekil 4.17’ te gösterilmiştir. Karbon/epoksi kare numunelerden elde edilen verilerle, ortalama deformasyon kuvveti ve ortalama deformasyon değerleri bulundu ve çizilen grafikler yardımıyla sonuçlar karşılaştırıldı ve tartışıldı. Şekil 4.14’ te 25 mm x 25 mm x 30 mm boyutlu karbon/epoksi kare tüpte oluşan deformasyon aşamaları gösterilmiştir.



Şekil 4.14. 25 mm x 25 mm x 30 mm boyutlu karbon/epoksi kare tüpte deformasyon aşamaları

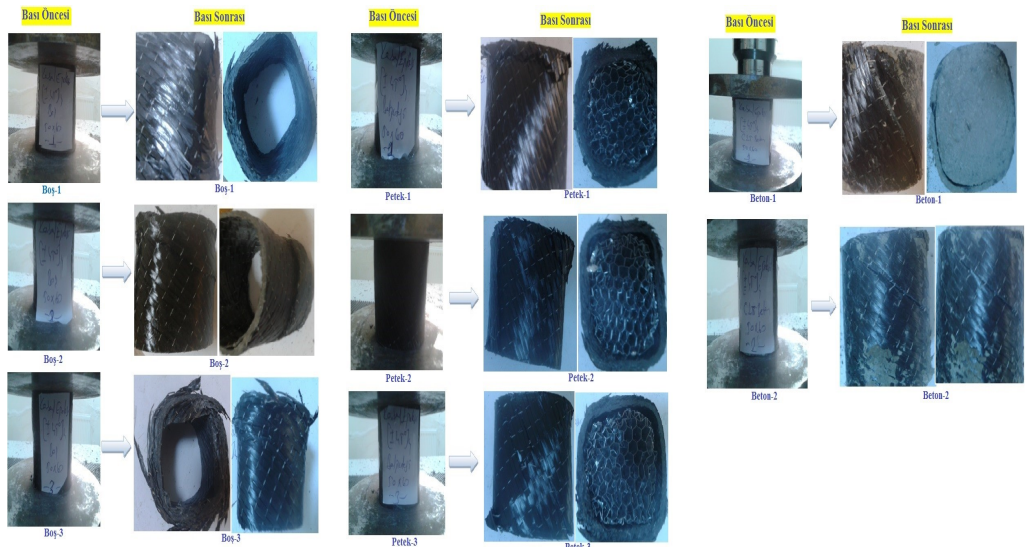
25 mm x 25 mm x 30 mm boyutlu karbon/epoksi içi boş kare tüpün bası sonrası elde edilen ortalama deformasyon kuvvet değeri 20.9 kN, ortalama deformasyon değeri 10.45 mm olarak bulundu. Şekil 4.15’ te 25 mm x 25 mm x 30 mm boyutlu karbon/epoksi kare tüpün içi boş, içi balpeteği dolu olacak şekilde kare tüpte deney sonrası elde edilen kuvvet-deformasyon grafiği verilmiştir. Şekil 4.15’ ten balpeteği

dolgu kare tüpün bası direncini iyileştirdiği [19, 27], betonun bası direncinin balpeteği ile kıyaslandığında yaklaşık dört kat daha yüksek olduğu görülmektedir.



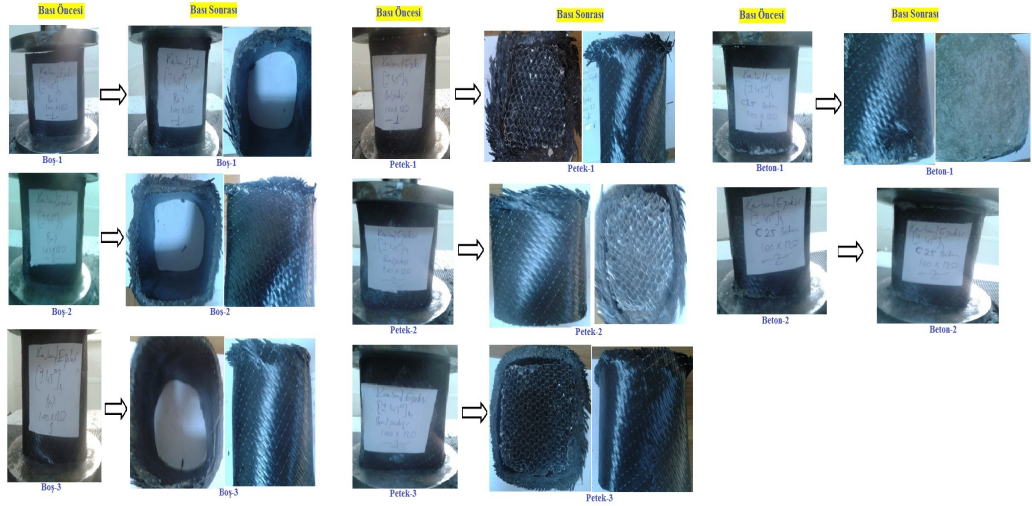
şekil 4.15. Karbon/epoksi kare tüpün kuvvet-deformasyon grafiği

50 mm x 50 mm x 60 mm boyutlu karbon/epoksi içi boş kare tüpün bası sonrası elde edilen ortalama deformasyon kuvvet değerı 35.3 kN, ortalama deformasyon değerı 9.86 mm olarak bulundu. şekil 4.16' ta 50 mm x 50 mm x 60 mm boyutlu karbon/epoksi kare tüpte deformasyon aşamaları gösterilmiştir.



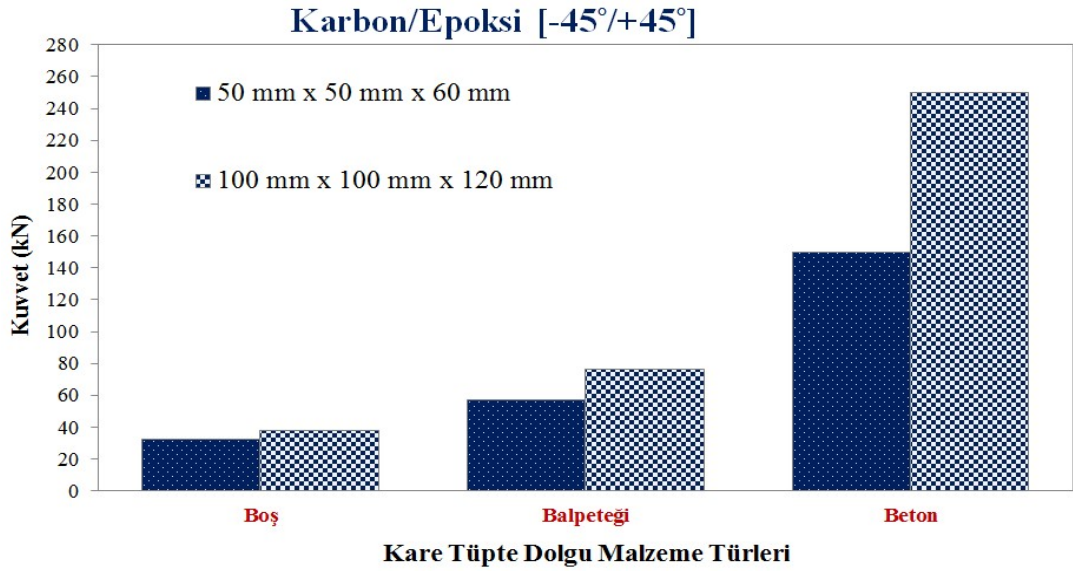
şekil 4.16. 50 mm x 50 mm x 60 mm boyutlu karbon/epoksi kare tüpte deformasyon aşamaları

100 mm x 100 mm x 120 mm boyutlu karbon/epoksi içi boş kare tüpün bası sonrası elde edilen ortalama deformasyon kuvvet değeri 56.3 kN, ortalama deformasyon değeri 14.19 mm olarak bulundu. Şekil 4.17’ te 100 mm x 100 mm x 120 mm boyutlu karbon/epoksi kare tüpte deformasyon aşamaları gösterilmiştir.



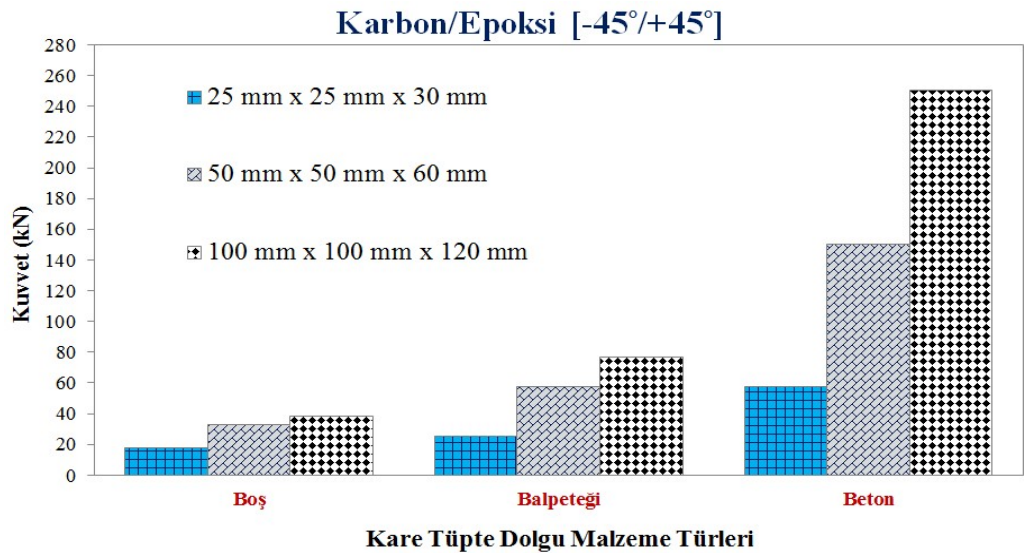
Şekil 4.17. 100 mm x 100 mm x 120 mm boyutlu karbon/epoksi kare tüpte deformasyon aşamaları

Şekil 4.18’ te 50 mm x 50 mm x 60 mm ve 100 mm x 100 mm x 120 mm boyutlu karbon/epoksi kare tüpün içi boş, içi balpeteği dolu ve içi beton dolu olacak şekilde kare tüpte kuvvet-dolgu malzeme türlerine göre değişimi grafiği gösterilmiştir. Şekil 4.18’ te içi balpeteği ve beton dolgulu karbon/epoksi kare tüplerin maksimum bası direncini arttırdığı görülmektedir. Şekil 4.18’ te balpeteği dolgusunun kare kompozit tüplerin bası direnci içi boş kare tüplerle kıyaslandığında bası kuvvetini iyileştirdiği [19, 27] görülmektedir. Betonun bası direnci ise balpeteği ile kıyaslandığında daha yüksek olduğu görülmektedir. Ayrıca karbon fiber takviyeli polimer kare tüpün betonun mukavemetini arttırdığı, bu yüzden betonun kullanıldığı uygulamalarda iyi bir güçlendirici etkiye sahip olduğu ve beton uygulamalarında kullanılabileceği görülmektedir.



Şekil 4.18. 50 mm x 50 mm x 60 mm ve 100 mm x 100 mm x 120 mm boyutlu karbon/epoksi kare tüpte kuvvet-dolgu malzeme türlerine göre değişimi grafiği

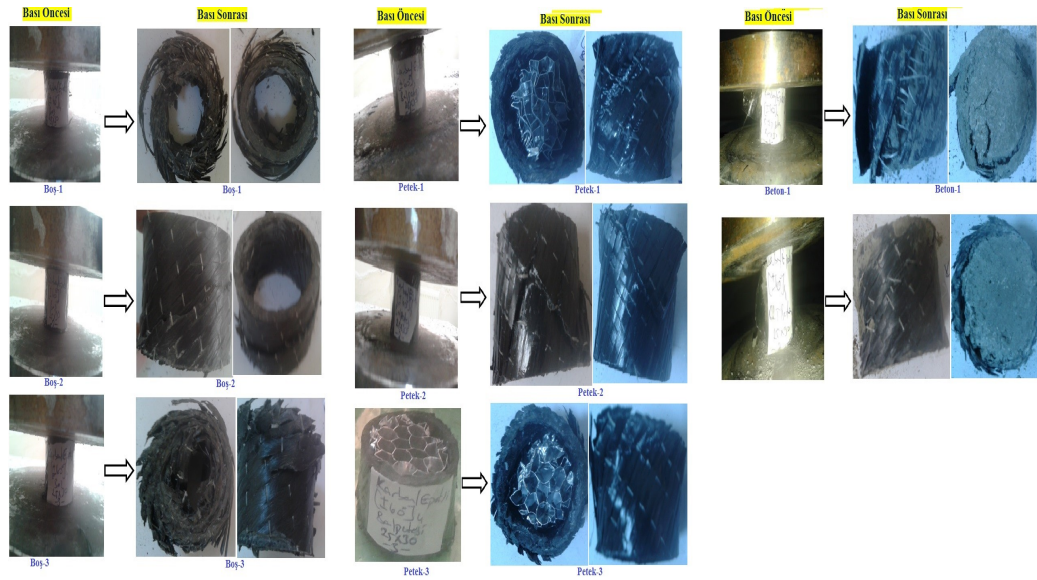
Şekil 4.19' daki grafikte 25 mm x 25 mm x 30 mm, 50 mm x 50 mm x 60 mm ve 100 mm x 100 mm x 120 mm boyutlu karbon/epoksi kare tüplerin içi boş, içi balpeteği dolu ve içi beton dolu olacak şekilde kare tüplerde kuvvet-dolgu malzeme türlerine göre değişimi gösterilmiştir.



Şekil 4.19. 25 mm x 25 mm x 30 mm, 50 mm x 50 mm x 60 mm ve 100 mm x 100 mm x 120 mm boyutlu karbon/epoksi kare tüpte kuvvet-dolgu malzeme türlerine göre değişimi grafiği

4.2.2. $[-60^\circ/+60^\circ]_4$ Oryantasyon Açılı Karbon/Epoksi Kare Tüpün Deformasyon Aşamaları

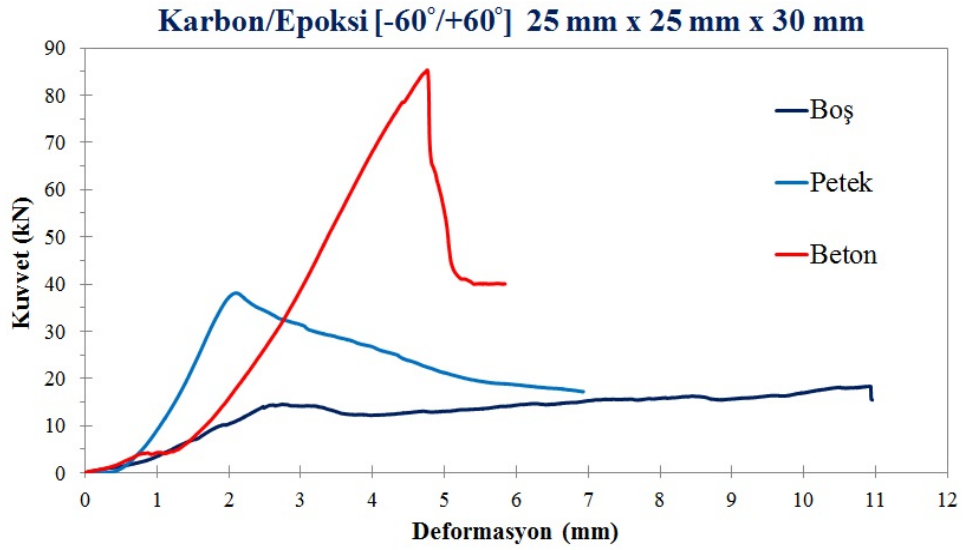
$[-60^\circ/+60^\circ]_4$ oryantasyon açılı 25 mm x 25 mm x 30 mm, 50 mm x 50 mm x 60 mm, 100 mm x 100 mm x 120 mm boyutlu karbon/epoksi numunelerde deney sonrası oluşan deformasyonlar Şekil 4.20, Şekil 4.22 ve Şekil 4.23’ te gösterilmiştir. Karbon/epoksi kare numunelerden elde edilen verilerle, ortalama deformasyon kuvveti ve ortalama deformasyon değerleri bulundu ve çizilen grafikler yardımıyla sonuçlar karşılaştırıldı ve tartışıldı. Şekil 4.20’ te 25 mm x 25 mm x 30 mm boyutlu karbon/epoksi kare tüpte oluşan deformasyon aşamaları gösterilmiştir.



Şekil 4.20. 25 mm x 25 mm x 30 mm boyutlu karbon/epoksi kare tüpte deformasyon aşamaları

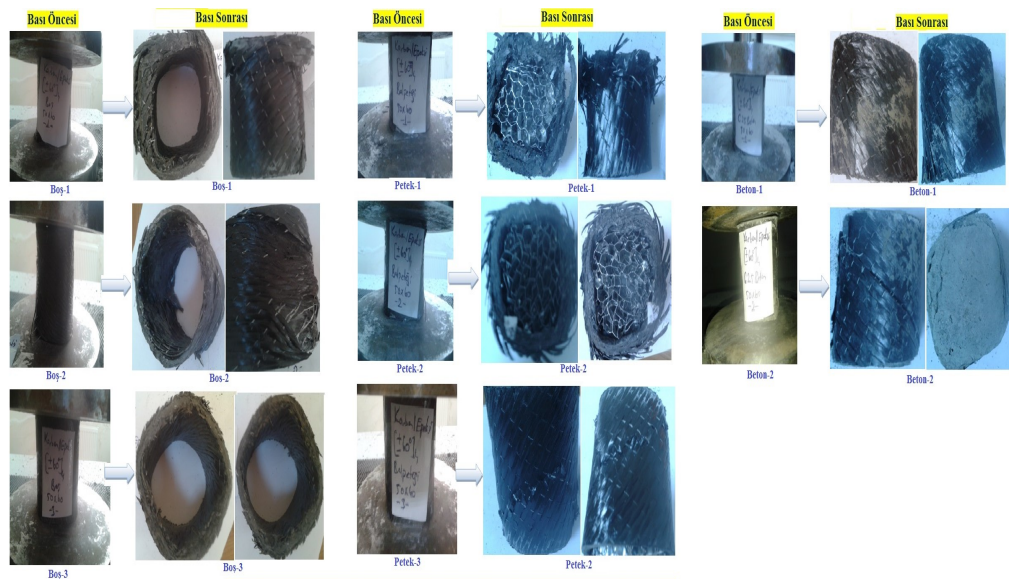
25 mm x 25 mm x 30 mm boyutlu karbon/epoksi içi boş kare tüpün bası sonrası elde edilen ortalama deformasyon kuvvet değeri 21.8 kN, ortalama deformasyon değeri 12.5 mm olarak bulundu. Şekil 4.21’ te 25x30 boyutlu karbon/epoksi kare tüpün içi boş, içi balpeteği ve içi beton dolu olacak şekilde kare tüpte deney sonrası elde edilen kuvvet-deformasyon grafiği gösterilmiştir. Şekil 4.21’ te betonun maksimum kuvvet değerinin balpeteği ile kıyaslandığında daha yüksek olduğu görülmektedir. Balpeteği dolgusu ise bası direncini arttırdığı görülmektedir [19, 27]. Ayrıca karbon fiber takviyeli

polimer kare tüpün beton dolgusu bası mukavemetini arttırdığı, bu sonuçla betonun kullanıldığı uygulamalarda iyi bir güçlendirici etkiye sahip olduğu görülmektedir.



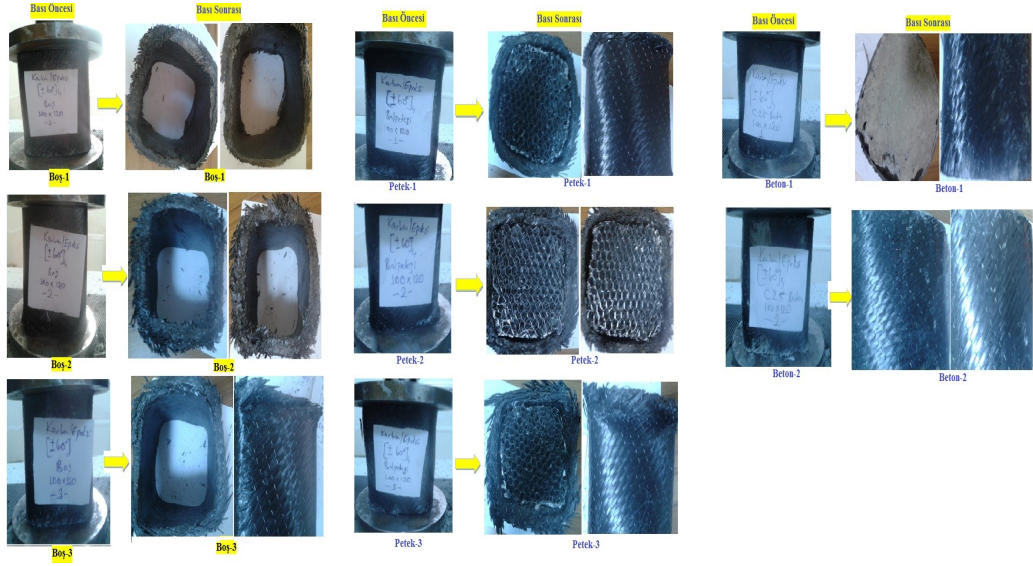
Şekil 4.21. Karbon/epoksi kare tüpün kuvvet-deformasyon grafiği

50 mm x 50 mm x 60 mm boyutlu karbon/epoksi içi boş kare tüpün bası sonrası elde edilen ortalama deformasyon kuvvet değeri 40.1 kN, ortalama deformasyon değeri 10.81 mm olarak bulundu. Şekil 4.22' te 50 mm x 50 mm x 60 mm boyutlu karbon/epoksi kare tüpte deformasyon aşamaları gösterilmiştir.



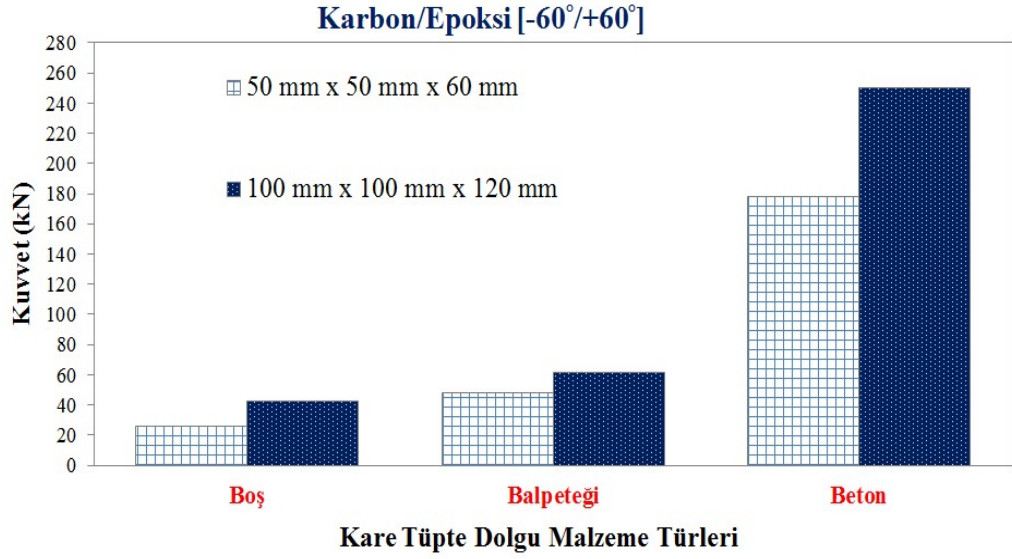
Şekil 4.22. 50 mm x 50 mm x 60 mm boyutlu karbon/epoksi kare tüpte deformasyon aşamaları

100 mm x 100 mm x 120 mm boyutlu karbon/epoksi içi boş kare tüpün bası sonrası elde edilen ortalama deformasyon kuvvet değeri 62.6 kN, ortalama deformasyon değeri 19.65 mm olarak bulundu. Şekil 4.23' te 100 mm x 100 mm x 120 mm boyutlu karbon/epoksi kare tüpte deformasyon aşamaları gösterilmiştir.



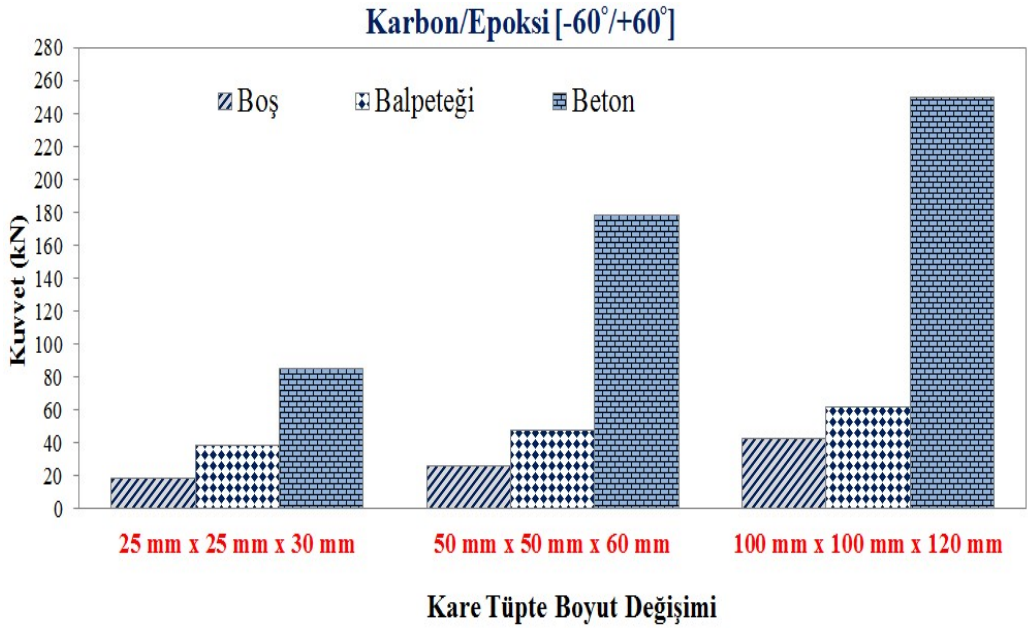
Şekil 4.23. 100 mm x 100 mm x 120 mm boyutlu karbon/epoksi kare tüpte deformasyon aşamaları

Şekil 4.24' te 50 mm x 50 mm x 60 mm ve 100 mm x 100 mm x 120 mm boyutlu karbon/epoksi kare tüplerin içi boş, içi balpeteği dolu ve içi beton dolu olacak şekilde kare tüplerde kuvvet-dolgu malzeme türlerine göre değişimi grafiği gösterilmiştir. Şekil 4.24' te balpeteği dolgusunun istenilen maksimum bası direnci ve iyileştirmeyi yaptığı [19, 27], ayrıca kare kompozit tüpünün konfigürasyonlarının değişmesi balpeteği dolgusunun bası kuvvetini arttıran nedenlerdir. Şekil 4.24' te içi beton dolgulu kare kompozit tüplerin hem yüksekliği hem de genişliği arttığında maksimum kuvvet değerinin de arttığı görülmektedir. Diğer tüm şekillerde görüldüğü gibi betonun bası direnci balpeteği ile kıyaslandığında daima daha yüksek olduğu görülmektedir. Kare kompozit tüpünün ağırlığını arttırması beton için negatif bir özellik olduğu; fakat betonu güçlendirmesi sebebiyle çok önemli bir etkiye sahip olduğu ve beton uygulamalarında kullanılabileceği görülmektedir.



Şekil 4.24. 50 mm x 50 mm x 60 mm ve 100 mm x 100 mm x 120 mm boyutlu karbon/epoksi kare tüpte kuvvet-dolgu malzeme türlerine göre değişim grafiği

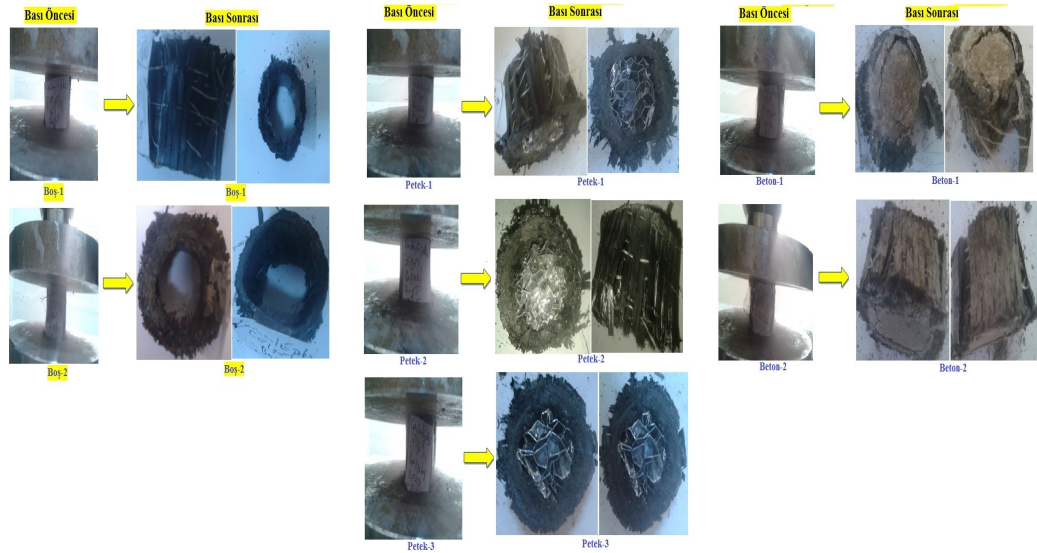
Şekil 4.25' te 25 mm x 25 mm x 30 mm, 50 mm x 50 mm x 60 mm ve 100 mm x 100 mm x 120 mm boyutlu karbon/epoksi kare tüplerin içi boş, içi balpeteği dolu ve içi beton dolu olacak şekilde kare tüplerde kuvvet-boyut değişimi grafiği gösterilmiştir.



Şekil 4.25. 25 mm x 25 mm x 30 mm, 50 mm x 50 mm x 60 mm ve 100 mm x 100 mm x 120 mm boyutlu karbon/epoksi kare tüplerde kuvvet-boyut değişimi grafiği

4.2.3. $[0^\circ/90^\circ]_4$ Oryantasyon Açılı Karbon/Epoksi Kare Tüpün Deformasyon Aşamaları

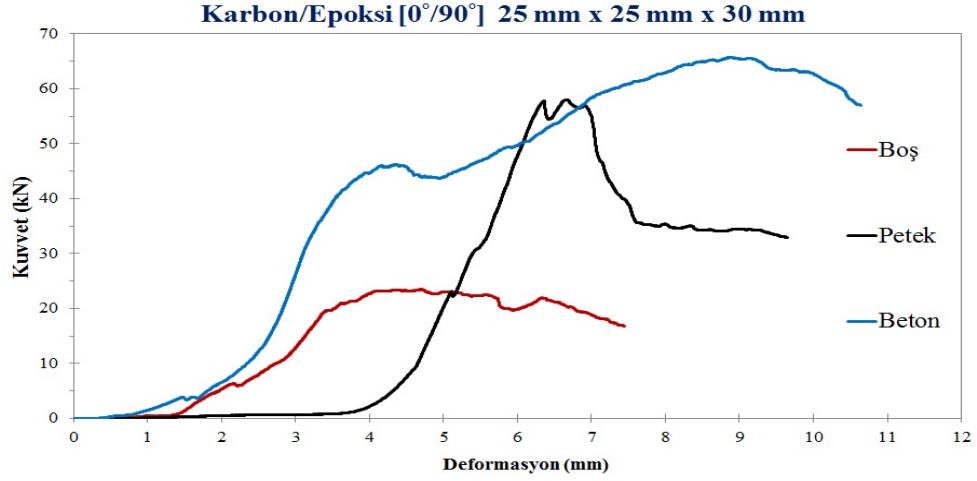
$[0^\circ/90^\circ]_4$ oryantasyon açılı, 25 mm x 25 mm x 30 mm, 50 mm x 50 mm x 60 mm, 100 mm x 100 mm x 120 mm boyutlu karbon/epoksi numunelerde deney sonrası oluşan deformasyonlar Şekil 4.26, Şekil 4.28 ve Şekil 4.29' ta gösterilmiştir. Karbon/epoksi kare numunelerden elde edilen verilerle, ortalama deformasyon kuvveti ve ortalama deformasyon değerleri bulundu ve çizilen grafikler yardımıyla sonuçlar karşılaştırıldı ve tartışıldı. Şekil 4.26' ta 25 mm x 25 mm x 30 mm boyutlu karbon/epoksi kare tüpte oluşan deformasyon aşamaları gösterilmiştir.



Şekil 4.26. 25 mm x 25 mm x 30 mm boyutlu karbon/epoksi kare tüpte deformasyon aşamaları

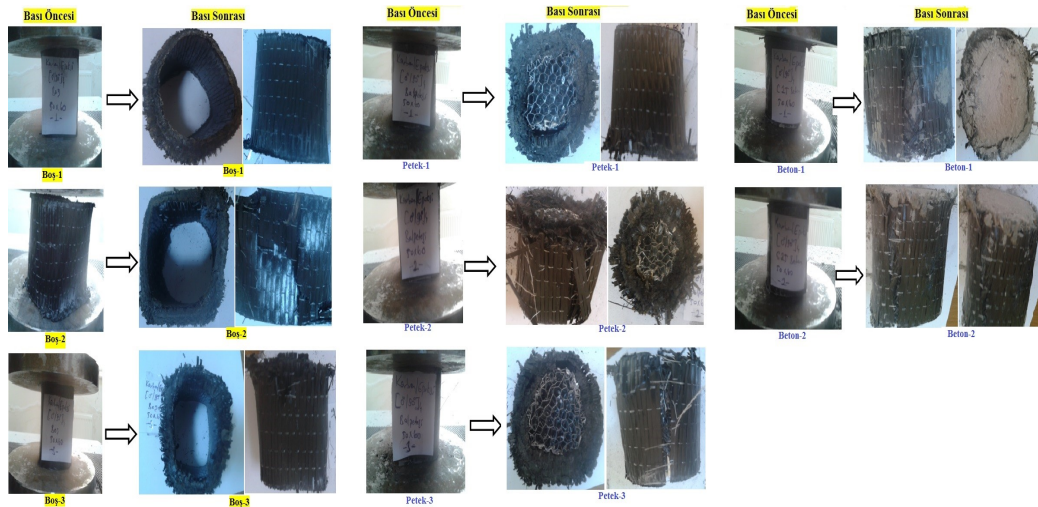
25 mm x 25 mm x 30 mm boyutlu karbon/epoksi içi boş kare tüpün bası sonrası elde edilen ortalama deformasyon kuvvet değeri 23,5 kN ve ortalama deformasyon değeri 4.65 mm olarak bulundu. Şekil 4.27' te 25 mm x 25 mm x 30 mm boyutlu karbon/epoksi kare tüpün içi boş, içi balpeteği ile dolu olacak şekilde kare tüpte deney sonrası elde edilen kuvvet-deformasyon grafiği gösterilmiştir. Şekil 4.27' te içi beton dolgusu kare tüpün bası direnci içi boş kare tüp ile kıyaslandığında yaklaşık üç kat fazla olduğu görülmektedir. Ayrıca içi beton dolgusu kare tüpün bası direnci içi balpeteği dolgusu ile kıyaslandığında kare tüpten yaklaşık %20 daha fazla bası direncine sahip

olduğu görülmektedir. Balpeteği dolgusu kare tüpün bası direncini artırmış ve iyileştirmiştir. [19, 27]. Beton dolgusu kare tüpün bası direncinin yüksek olması, beton kullanılan alanlarda yüksek mukavemet istenilen bina ve vb. yapılarda kullanılabileceği görülmektedir.



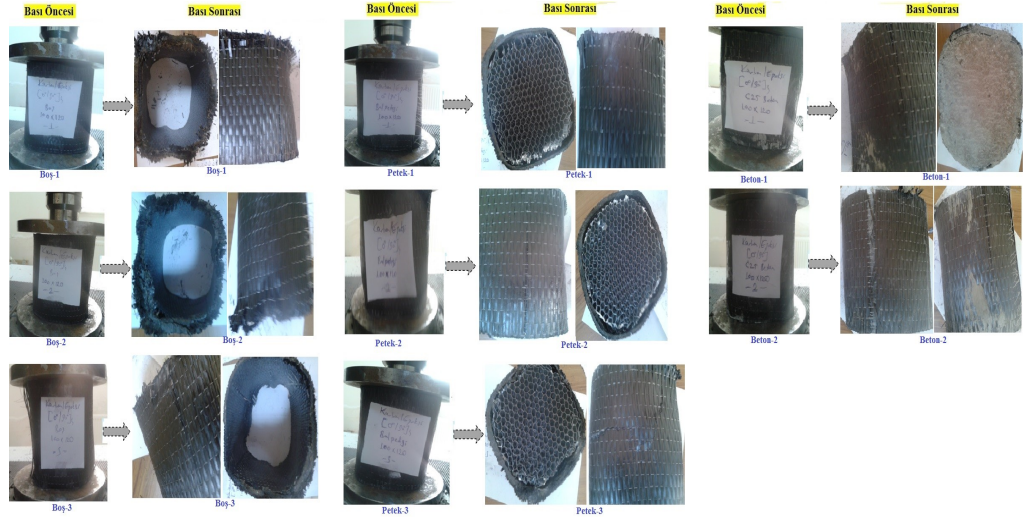
Şekil 4.27. Karbon/epoksi kare tüpün kuvvet-deformasyon grafiği

50 mm x 50 mm x 60 mm boyutlu karbon/epoksi içi boş kare tüpün bası sonrası elde edilen ortalama deformasyon kuvvet değeri 59.7 kN ve ortalama deformasyon değeri 6.65 mm olarak bulundu. Şekil 4.28' te 50 mm x 50 mm x 60 mm boyutlu karbon/epoksi kare tüpte deformasyon aşamaları gösterilmiştir.



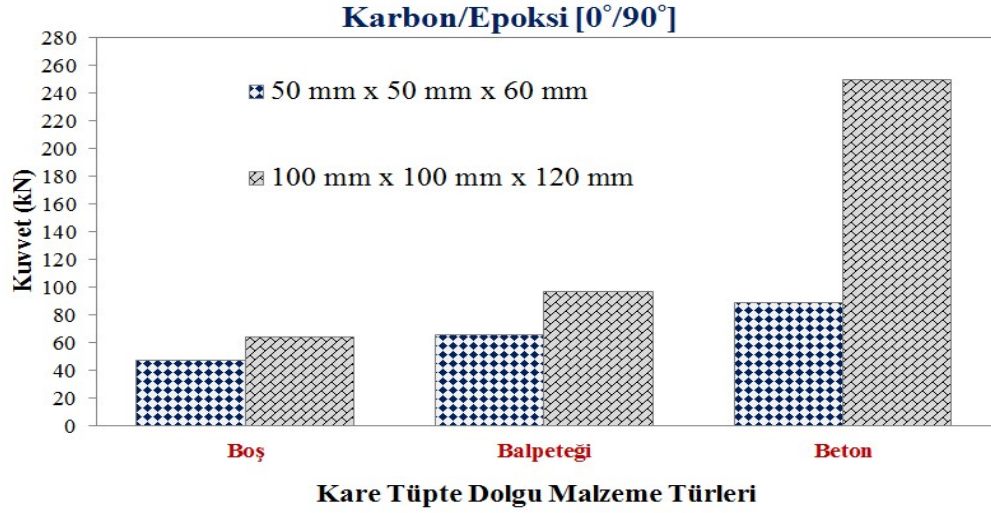
Şekil 4.28. 50 mm x 50 mm x 60 mm boyutlu karbon/epoksi kare tüpte deformasyon aşamaları

100 mm x 100 mm x 120 mm boyutlu karbon/epoksi içi boş kare tüpün bası sonrası elde edilen ortalama deformasyon kuvvet değeri 64.5 kN, ortalama deformasyon değeri 15.77 mm olarak bulundu. Şekil 4.29' ta 100 mm x 100 mm x 120 mm boyutlu karbon/epoksi kare tüpte deformasyon aşamaları gösterilmiştir.



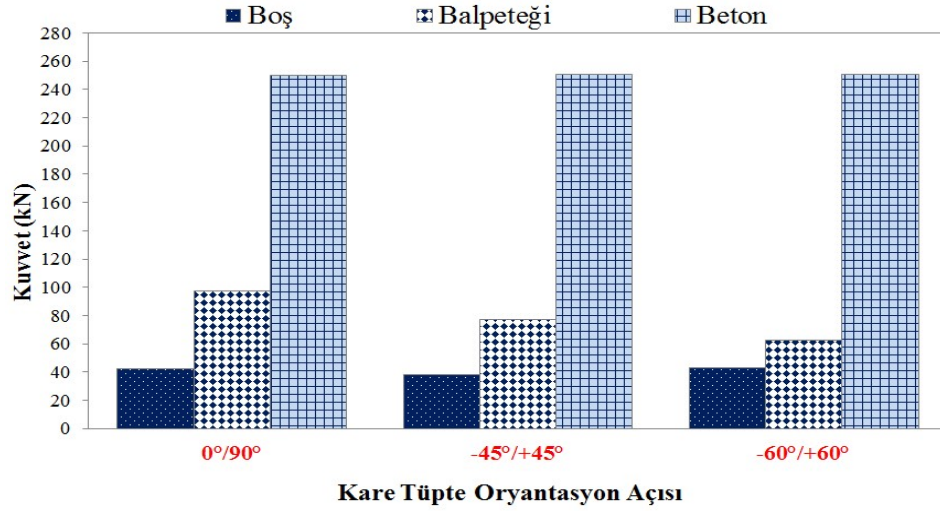
Şekil 4.29. 100 mm x 100 mm x 120 mm boyutlu karbon/epoksi kare tüpte deformasyon aşamaları

Şekil 4.30' ta 50 mm x 50 mm x 60 mm ve 100 mm x 100 mm x 120 mm boyutlu karbon/epoksi kare tüplerin içi boş, içi balpeteği dolu ve içi beton dolu olacak şekilde kare tüplerde deney sonrası kuvvet-dolgu malzeme türlerine göre değişimi grafiği gösterilmiştir. Şekil 4.30 incelendiği zaman içi beton dolgulu kare tüpün bası direnci içi boş kare tüp ile kıyaslandığında çok daha yüksek olduğu görülmektedir. Beton dolgusu, kare tüpün bası direncini arttırdığını ancak kompozit kare tüpün ağırlığını arttırması sebebiyle istenmeyen bir durum olduğu düşünülmektedir. Balpeteğinin bası direnci içi boş kare tüp ile kıyaslandığında bası direncini arttırdığı görülmektedir [19, 27] ve balpeteği dolu kompozit kare tüpün düşük ağırlığa sahip olması ayrıca bir önemli üstünlük olduğu düşünülmektedir.



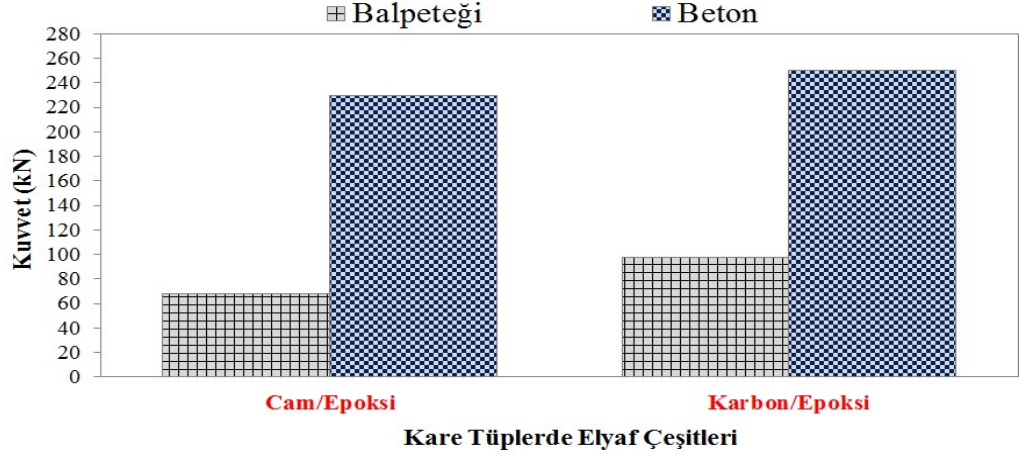
Şekil 4.30. 50 mm x 50 mm x 60 mm ve 100 mm x 100 mm x 120 mm boyutlu karbon/epoksi kare tüpe kuvvet-dolgu malzeme türlerine göre değişimi grafiği

Şekil 4.31’ te 100 mm x 100 mm x 120 mm boyutlu $[0^\circ/90^\circ]_4$, $[-45^\circ/+45^\circ]_4$ ve $[-60^\circ/+60^\circ]_4$ oryantasyon açılarına sahip karbon/epoksi kare tüplerde içi boş, içi balpeteği dolu ve içi beton dolu olacak şekilde kare tüplerin kuvvet-oryantasyon açısı değişimi grafiği gösterilmiştir.



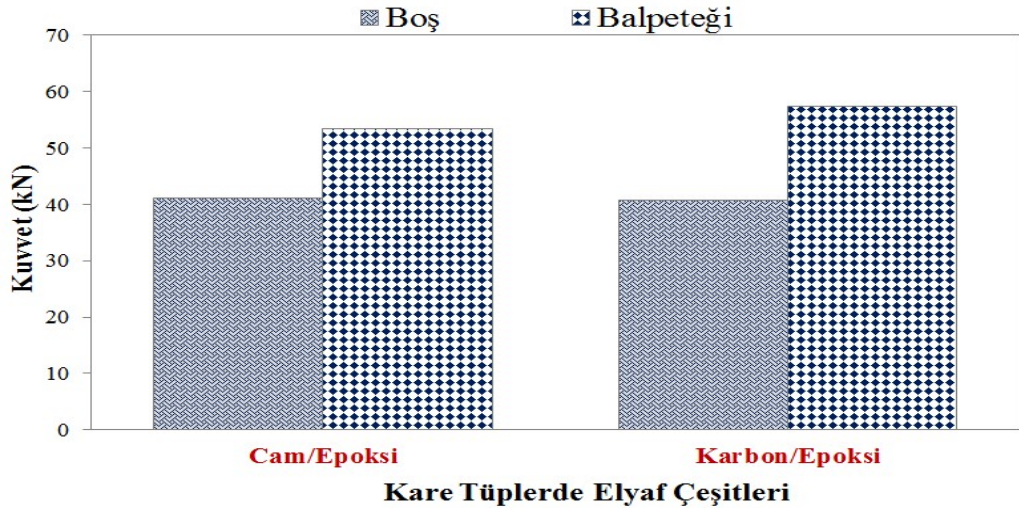
Şekil 4.31 100 mm x 100 mm x 120 mm boyutlu $[0^\circ/90^\circ]_4$ ile $[-45^\circ/+45^\circ]_4$ ve $[-60^\circ/+60^\circ]_4$ oryantasyon açılarına sahip karbon/epoksi kare tüplerde kuvvet-oryantasyon açısı değişimi grafiği

Şekil 4.32’ te 100 mm x 100 mm x 120 mm boyutlu $[0^\circ/90^\circ]_4$ oryantasyon açığa sahip cam/epoksi ile karbon/epoksi kare tüplerde içi balpeteği dolu ve içi beton dolu olacak şekilde kare tüplerin kuvvet-elyaf çeşitleri değişimi grafiği gösterilmiştir.



Şekil 4.32 100 mm x 100 mm x 120 mm boyutlu $[0^\circ/90^\circ]_4$ oryantasyon açığa sahip cam/epoksi ile karbon/epoksi kare tüplerde kuvvet-elyaf çeşitleri değişimi grafiği

Şekil 4.33’ te 50 mm x 50 mm x 60 mm boyutlu $[-45^\circ/+45^\circ]_4$ oryantasyon açığa sahip cam/epoksi ile karbon/epoksi kare tüplerde içi boş ve içi balpeteği dolu olacak şekilde kare tüplerin kuvvet-elyaf çeşitleri değişimi grafiği gösterilmiştir.



Şekil 4.33 50 mm x 50 mm x 60 mm boyutlu $[-45^\circ/+45^\circ]_4$ oryantasyon açığa sahip cam/epoksi ile karbon/epoksi kare tüplerde kuvvet-elyaf çeşitleri değişimi grafiği

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

5.1. Sonuçlar

Bu tez çalışmasında, petek ve beton dolgusunun eksenel bası yüklemesine maruz bırakılan karbon ve cam fiber yapıli kompozit kare tüplerin bası özellikleri incelendi. Tipik kuvvet-deformasyon eğrileri, deformasyon şekilleri, bası dayanımları, enerji absorpsiyonu ve mekanik davranışları üzerindeki etkilerini belirleyebilmek için kare tüplere deneysel bası yükü uygulandı, elde edilen veriler değeriendirildi ve tartışıldı.

- ✓ Beton dolgusunun cam ve karbon fiberli kare kompozit tüpe eklenmesi bası dayanımını iyileştirdiğı ve beton yapısının güçlendirilmesinde önemli katkı sunduğı görülmüştür.
- ✓ Karbon fiberli balpeteğı dolgusunun, farklı alanlarda kullanılan kompozitlerin mevcut modellerin, balpeteğı dolgulu kompozit malzemelerin bası yükü sırasında gözlenen enerji absorpsiyon davranışını ve oluşan deformasyonu önleyen mekanizma yeteneğıne sahip olduğı sonucuna varılmıştır.
- ✓ $[-45^{\circ}/45^{\circ}]_4$ ve $[0^{\circ}/90^{\circ}]_4$ oryantasyon açılı cam/epoksi ile $[-60^{\circ}/+60^{\circ}]_4$, $[-45^{\circ}/+45^{\circ}]_4$ ve $[0^{\circ}/90^{\circ}]_4$ oryantasyon açılı karbon/epoksi kompozit tüplerinde dolgu malzemesinin bası mukavemetine etkisi incelendiğinde, içi balpeteğı ile doldurulan kare tüpün maksimum bası dayanımını arttırdığı, petek dolu kare tüpün hasar görmesine rağmen bası direnci ve deformasyon değeriinin arttığı görülmüştür.
- ✓ Beton dolgulu cam/epoksi ile karbon/epoksi kare tüplerde maksimum deformasyon değeriine ulaştığı, beton malzemenin bası direncini arttırdığını, beton dolgulu cam fiber ve karbon fiber takviyeli polimer kompozitlerin bina ve diğeri yapılardaki betonun güçlendirilmesinde önemli katkı sunabileceğı görülmüştür.
- ✓ Beton dolgusunun etkisini balpeteğı dolgusu ile kıyaslandığında yaklaşık iki katı daha yüksek etkiye sahiptir.
- ✓ Ayrıca kare tüpün yüksekliğı ve genişliğı arttıkça hem bası kuvveti hem de deformasyon değerielerini arttırdığı görülmüştür.
- ✓ Hem oryantasyon açısı hem de takviye malzemesinin kompozit tüplerin bası davranışlarında önemli etkilerinin olduğı görülmüştür.

5.2. Öneriler

Bu sonuçlarda, deneysel bası yükünde burkulmaya maruz kalan kare kompozit tüp yapıların tasarımında, mukavemet ve sertliği optimize ederken dolgu malzemelerin ve kompozit yapıların oryantasyon açılarının göz önüne alınması gerektiği önerilmektedir.

- ✓ Üretim ve test prosedürlerinde daha iyi kalite kontrolünün sağlanması, nihai yük özelliklerini büyük ölçüde geliştirecek ve veri dağılımını azaltacaktır ve daha başarılı numuneler elde edilebilecektir.
- ✓ Balpetek çekirdek dolgulu kompozit yapıların davranışları konusunda, endüstrilerde artan güvenlik faktörü ile sonuçlanan, tasarımda ağırlık azaltma optimizasyonuna karşı daha farklı çalışmalar yapılabilir.
- ✓ Balpeteği dolgulu kompozitlerin, farklı çekirdek malzemeler, hücre boyutları, hücre şekilleri ve değişen oryantasyon açılarıyla ile üretilen kompozit tüplerin mekanik davranışları incelenebilir.
- ✓ Kompozit tüplerde oluşan farklı deformasyon şekilleri, kompozit malzeme için yapısal modelden kaynaklanmaktadır. Bu şekilde yüklendiğinde kompozit malzeme özelliklerinde ilerleyici bozulmayı belirlemek için daha fazla araştırma için çalışılması gerekmektedir.

KAYNAKLAR

- AlAjarmeh, O. S., Manalo, A. C., Benmokrane B., Karunasena, W., Mendis, P., 2019, Axial performance of hollow concrete columns reinforced with GFRP composite bars with different reinforcement ratios, *Composite Structures* 213, 83-164.
- AlAjarmeh, O. S., Manalo, A. C., Benmokrane, B., Karunasena, W., Mendis, P., Nguyen, K.T.Q., 2019, Compressive behavior of axially loaded circular hollow concrete columns reinforced with GFRP bars and spirals'', *Construction and Building Materials* 194, 83-23.
- Antali, A. Al., Umer, R., Zhou, J., Cantwell, W.J., 2017, The energy-absorbing properties of composite tube-reinforced aluminum honeycomb, *Composite Structures* 176, 630-639.
- Ashab, ASM, Ruan D., Lu,G., Xu S., Wen, C., 2015, Experimental investigation of the mechanical behavior of aluminum honeycombs under quasi-static and dynamic indentation, *Materials and Design* 74, 138–149.
- Ashrafi, M., Woodsum, C. J., Papadopoulos, J., Hamouda, A. S., Nayeb-Hashemi, H., Vaziri, A., 2015, In situ strengthening of thin-wall structures using pressurized foam, *Construction and Building Materials* 100, 83-304.
- Aziz, A. R., Kumar, S., George, P., Cantwell, W. J., 2018 , Energy-absorbing honeycomb structures based on carbon fiber reinforced plastics, *12th International Conference on Sandwich Structures ICSS-12, 2018*, DOI: 10.5075/epfl-ICSS12-, Lausanne–Switzerland, 178-180.
- Bentouhami A., Keskes, B., 2015, Experimental analysis and modeling of the buckling of a loaded honeycomb sandwich composite, *Materials and Technology* 49 (2), 235-242.
- Bigdeli A., Nouri, M. D., 2019, A crushing analysis and multi-objective optimization of thin-walled five-cell structures, *Thin-Walled Structures* 137,1–18.
- Deng X., Liu, W., Lin, Z., 2018, Experimental and theoretical study on crashworthiness of star-shaped tubes under axial compression updates, *Thin-Walled Structures* 130,84-331.
- Deng, X., Liu, W., 2019, Experimental and numerical investigation of a novel sandwich sinusoidal lateral corrugated tubular structure under axial compression, *International Journal of Mechanical Sciences* 151, 274–287.
- Evangelos, G. (2018), “Experimental and FE Analysis of 3Dprinted fiber reinforced honeycomb structured composite materials”, *International Hellenic University, Thessaloniki – Greece*, p. 9-10.

- Fang, J., Sun, G., Qiu, N., Pang, T., Li, S., Li, Q., 2018, On hierarchical honeycombs under out-of-plane crushing, *International Journal of Solids and Structures* 135, 84-13.
- Garg, R. (2003) “Concrete mix design using artificial neural network”, *Thapar Institute Of Engineering & Technology, Deemed University, Patiala*, p.1-8.
- Han, X., Hou, S., Ying, L., Hou, W., Aliyev, H., 2019, On the fracture behaviour of adhesively bonded CFRP hat-shaped thin-walled beam under axial crushing load: An experimental and modelling study, *Composite Structures* 215, 84-265.
- Hexcel, C., 1999, Hexweb™ Honeycomb Attributes and Properties, Guide to citing Internet sources [online], https://www.pccomposites.com/wp-content/uploads/2015/07/PCHC4-4TY4_TDS.pdf, [Giriş Tarihi: 25 Temmuz 2019].
- Hussein, R. D., Dong, R., Lu, G., Sbarski, I., 2016, Axial crushing behaviour of honeycomb-filled square carbon fibre reinforced plastic (CFRP) tubes, *Composite Structures* 140, 166–179.
- Hussein, R. D., Ruan, D., Lu, G., 2017, Cutting and crushing of square aluminium/CFRP tubes, *Composite Structures* 171, 403–418.
- Hussein, R. D., Ruan, D., Lu, G., 2018, An analytical model of square CFRP tubes subjected to axial compression, *Composites Science and Technology* 168, 170-178.
- Ivanez, I., Fernandez-Canadas, L. M., Sanchez-Saez, Sonia., 2017, Compressive deformation and energy-absorption capability of aluminium honeycomb core, *Composite Structures* 174, 123–133.
- Ilangovan, S., Kumaran, S. S., A, V., Surana, M., 2018, Investigation of the transverse compressive and buckling strength of aluminium grid reinforced hybrid GFRP composite, *Materials Today: Proceedings* 5, 25625-25631.
- Kadir, N. A., Aminanda, Y., Ibrahim, M. S., Mokhtar, H., 2016, Experimental study on energy absorption of foam filled kraft paper honeycomb subjected to quasi-static uniform compression loading, *Materials Science and Engineering* 152, 012048. doi:10.1088/1757-899X/152/1/012048.
- Kindinger J., 1999, Hexcel Composites, Guide to citing Internet sources [online] <https://polycomp.mse.iastate.edu/files/2012/01/11-Lightweight-Structural-Cores.pdf>, [Giriş Tarihi: 23 Temmuz 2019].
- Lertwattanaruk, P. (2000) “The influence of high performance matrices on fracture behavior of concrete”, *Civil and Environmental Engineering, New Jersey Institute of Technology*, p.6-7.
- Li, Z., Yao, S., Ma, W., Xu, Ping., Che, Q., 2019, Energy-absorption characteristics of a circumferentially corrugated square tube with a cosine profile, *Thin-Walled Structures* 135, 85-399.

- Liu, Q., Ma, J., He, Z., Hu, Z., Hui, D., 2017, Energy absorption of bio-inspired multi-cell CFRP and aluminum square tubes, *Composites Part B* 121, 134-144.
- Liu, Q., Xu, X., Ma, J., Wang, J., Shi, Y., Hui, D., 2017, Lateral crushing and bending responses of CFRP square tube filled with aluminum honeycomb, *Composites Part B* 118, 104-115.
- Liu, Q., Ma, J., Xu, X., Wu, Y., Li, Q., 2017, Load bearing and failure characteristics of perforated square CFRP tubes under axial crushing, *Composite Structures* 160, 23–35.
- Luo, Y., Fan, H., 2018, Energy absorbing ability of rectangular self-similar multi-cell sandwich- walled tubular structures, *Thin-Walled Structures* 124, 85-97.
- Mahmoudabadi, M., Zarei, Sadighi, M., 2009, A Study on metal hexagonal honeycomb crushing under quasi-static loading, *World Academy of Science, Engineering and Technology, International Journal of Mechanical and Mechatronics Engineering*, 2009, Vol:3, No:5.
- Mahmoudabadi, M. Z., Sadighi, M., 2011, A study on the static and dynamic loading of the foam filled metal hexagonal honeycomb-Theoretical and experimental, *Materials Science and Engineering A* 530, 333–343.
- Nia, A., Parsapour, M., 2014, Comparative analysis of energy absorption capacity of simple and multi-cell thin-walled tubes with triangular, square, hexagonal and octagonal sections, *Thin-Walled Structures* 74 ,85-165.
- Pariti, V. N. P. M. (2017), “Mechanical behavior of carbon and glass fiber reinforced composite materials under varying loading rates”, *University of Michigan–Dearborn*, p. 1-9.
- Pourang, H., 2018, Introduction to Composite Material, Guide to citing Internet sources[online],https://www.researchgate.net/publication/323498078_Introduction_to_Composite_Material, [Giriş Tarihi: 08 Temmuz 2019].
- Rahi, A., 2018, Controlling energy absorption capacity of combined bitubular tubes under axial loading, *Thin-Walled Structures* 123, 85-231.
- Shukla, S. P. (2011), “Investigation in to tribo potential of rice husk (rh) char reinforced epoxy composite”, *National Institute of Technology, Deemed University, Rourkela-India*, p.1-4.
- Sun, G., Pang, T., Xu, C., Zheng G., Song, Jie., 2017, Energy absorption mechanics for variable thickness thin-walled structures, *Thin-Walled Structures* 118, 85-228.
- Sun, H., Jia, M., Zhang, S., Wang, Y., 2019, Study of buckling-restrained braces with concrete infilled GFRP tubes, *Thin-Walled Structures* 136,85-33.

- Tao, Y., Duan S., Wen, W., Pei, Y., Fang, D., 2017, Enhanced out-of-plane crushing strength and energy absorption of in plane graded honeycombs, *Composites Part B* 118, 33-40.
- Tiwari, G., Thomas, T., Khandelwal, R.P., 2017 , Influence of reinforcement in the honeycomb structures under axial compressive load, *Thin-Walled Structures*, <http://dx.doi.org/10.1016/j.tws.2017.06.010>.
- Thomas, T., Tiwari, G., 2018 , Energy absorption and in-plane crushing behavior of aluminium reinforced honeycomb, <https://doi.org/10.1016/j.vacuum.2018.10.057>.
- Yin, S., Li, J., Liu, B., Meng, K., Huan, Y., Nutt, S. R., Xu, J., 2017, Honeytubes:hollow lattice truss reinforced honeycombs for crushing protection, *Composite Structures* 160,1147-1154.
- Yu, H., Shi, H., Chen, S., 2019, A novel multi-cell CFRP/AA6061 hybrid tube and its structural multi objective optimization, *Composite Structures* 209, 86-589.
- Zhang, Z., Liu, S., Tang, Z., 2010, Crashworthiness investigation of kagome honeycomb sandwich cylindrical column under axial crushing loads, *Thin-Walled Structures* 48, 86-18.
- Zhang, X., Cheng, G., Zhang, H., 2006, Theoretical prediction and numerical simulation of multi-cell square thin-walled structures, *Thin-Walled Structures* 44, 1185-1191.
- Zhang, X., Zhang, H., 2013, Energy absorption of multi-cell stub columns under axial compression, *Thin-Walled Structures* 68,86-163.
- Zhang, X., Leng, K., Zhang, H., 2017, Axial crushing of embedded multi-cell tubes, *International Journal of Mechanical Sciences* 131-132, 86-470.
- Zhou, H., Xu, P., Xie, S., Feng, Z., Wang, D., 2018, Mechanical performance and energy absorption properties of structures combining two Nomex honeycombs, *Composite Structures* 185, 86-536.
- Qiao, J., Chen, C., 2016, In-plane crushing of a hierarchical honeycomb, *International Journal of Solids and Structures* 85-86, 57-66.
- Wang, Z., Qin, Q., Chen, S., Yu, X., Li, H., Wang, T.J., 2017, Compressive crushing of novel aluminum hexagonal honeycombs with perforations: experimental and numerical investigations, *International Journal of Solids and Structures* 126-127, 86-195.
- Wang, Z., Liu, J., Lu, Z., Hui, D., 2017, Mechanical behavior of composited structure filled with tandem honeycombs, *Composites Part B* 114, 128-138.
- Wang, Z., Liu, J., Hui, D., 2017, Mechanical behaviors of inclined cell honeycomb structure subjected to compression, *Composites Part B* 110, 307-314.

- Wang, Z., Liu J., 2018, Mechanical performance of honeycomb filled with circular CFRP tubes, *Composites Part B* 135, 232-241.
- Wu, S., Zheng, G., Sun, G., Liu Q., Li, G., Li, Q., 2016, On design of multi-cell thin-wall structures for crashworthiness, *International Journal of Impact Engineering* 88, 87-117.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Mehmet Beşir Altın
Uyruğu : T.C.
Doğum Yeri ve Tarihi : Kızıltepe / 01.04.1988
Telefon : 0536-316-22-63
Faks :
e-mail : mehmet.besir_altn@windowlive.com

EĞİTİM

Derece	Adı, İlçe, İl	Bitirme Yılı
Lise	: Atatürk Lisesi, Kızıltepe, Mardin	2005
Üniversite	: Atatürk Üniversitesi, Merkez, Erzurum	2016
Yüksek Lisans	: Batman Üniversitesi, Merkez, Batman	2019
Doktora	:	

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görevi
-----	-------	--------

UZMANLIK ALANI

YABANCI DİLLER

İngilizce

BELİRTMEK İSTEĞİNİZ DİĞER ÖZELLİKLER

YAYINLAR