



**FARKLI YOĞUNLUKLARDAKİ ELYAF TAKVİYELİ
POLİMER KÖPÜK ÇEKİRDEKLİ KOMPOZİTLERİN
MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Barış Şenol

Danışman

Dr. Öğr. Üyesi İbrahim YAVUZ

OTOMOTİV MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Temmuz 2023

AFYON KOCATEPE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**FARKLI YOĞUNLUKLARDAKİ ELYAF TAKVİYELİ POLİMER
KÖPÜK ÇEKİRDEKLİ KOMPOZİTLERİN MEKANİK
ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI**

Barış ŞENOL

Danışman

Dr. Öğr. Üyesi İbrahim YAVUZ

OTOMOTİV MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Temmuz 2023

TEZ ONAY SAYFASI

Barış ŞENOL tarafından hazırlanan “Farklı Yoğunluklardaki Elyaf Takviyeli Polimer Köpük Çekirdekli Kompozitlerin Mekanik Özelliklerinin Araştırılması” adlı tez çalışması lisansüstü eğitim ve öğretim yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca 06/07 /2023 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından **oy birliği** ile Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Otomotiv Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Danışman : Dr. Öğr. Üyesi İbrahim YAVUZ

Başkan : Prof. Dr. İbrahim MUTLU
Afyon Kocatepe Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi

Üye : Prof. Dr. İbrahim CAN
Cumhuriyet Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi

Üye : Dr. Öğretim Üyesi İbrahim YAVUZ
Afyon Kocatepe Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi

Afyon Kocatepe Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu’nun
..... /..... /..... tarih ve
..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

.....
Prof. Dr. İbrahim EROL
Enstitü Müdürü

BİLİMSEL ETİK BİLDİRİM SAYFASI
Afyon Kocatepe Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- Atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- Ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

beyan ederim.

06 / 07 / 2023

İmza

Barış ŞENOL

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

FARKLI YOĞUNLUKLARDAKİ ELYAF TAKVİYELİ POLİMER KÖPÜK ÇEKİRDEKLİ KOMPOZİTLERİN MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI

Barış ŞENOL

Afyon Kocatepe Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Otomotiv Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi İbrahim YAVUZ

Son yıllarda otomotiv sektöründe, artan araç sayısı ile birlikte çevresel sorunlar ve güvenlik konularını öne çıkarmıştır. Günümüzde otomotiv endüstrisi, yüksek güvenlik seviyelerine sahip, düşük yakıt tüketen araçların geliştirilmesi ve düşük maliyetli üretim yöntemlerine odaklanmıştır. Araç ağırlığının azaltılması, şasi ve gövde gibi alanlarda da gerçekleştirilmektedir. Bu çalışmada, otomotiv sektörü için hafiflik ve dayanıklılık özellikleri nedeniyle tercih edilen cam elyaf takviyeli polimer köpük çekirdekli tabakalı kompozit malzemeler üretilmiştir.

Çekirdek malzemesi olarak XPS ve EPS köpük olmak üzere iki farklı yapıda polimer köpük kullanılmıştır. Üretimlerde polimer köpükler ile elyaflar, köpüklerin alt ve üst tarafına reçine yardımı ile birleştirilmiştir. Her iki tarafına da 4 ve 6 kat olmak üzere toplamda 8 ve 12 katlı olmak üzere numuneler üretilmiştir. Üretimler, el ile yatırma yöntemi kullanılarak vakum torbalama metodu ile gerçekleştirilmiştir. Üretimler tamamlandıktan sonra standartlara uygun boyutlarda kesilerek deneyler yapılmıştır. Üretilen numunelerin enerji sönümleme yeteneklerinin analiz etmek için basma testleri, üç nokta eğme testleri ve düşük hızda darbe deneyleri yapılmıştır. Üretilen kompozit malzemelerin mekanik özelliklerinin araştırılması için basma testi, üç nokta eğme testi ve düşük hızlı darbe test yöntemleri uygulanmıştır. Yapılan deneylerin sonuçlarına dayanarak elde edilen grafikler, fotoğraflar ve tablolar değerlendirilmiştir.

Darbe testlerinde 200 gr/m² özelliğindeki cam elyaflı kompozitlerin 8 katlı numunelerde (XPS, EPS) delinme 12 katlı olanlarında ise geri sekme meydana gelmiştir. 300 gr/m² özelliğindeki cam elyaflı kompozitlerin (XPS, EPS) 8 katında 12 katlı olan numunelere göre daha fazla deformasyon meydana gelse de her iki katmanlı numunede de deneyler geri sekme olarak sonuçlanmıştır. XPS ve EPS köpük çekirdekli numuneler kıyaslandığında XPS köpük çekirdekli numuneler EPS ye göre daha iyi performans sergilemişlerdir.

Basma ve üç nokta eğme testlerinde de darbe testlerine benzer sonuçlar elde edilmiştir. 12 katlı olan numuneler de 8 katlı olan numunelere göre daha yüksek dayanımlar elde edilmiştir. 300 gr/m² özelliğindeki elyaf tabakalı kompozit numuneler 200 gr/m² özelliğindeki numunelere göre daha iyi performans sergilemiştir. Çekirdek malzemeleri karşılaştırılmasında da XPS ve EPS köpük çekirdekli numuneler kıyaslandığında XPS köpük çekirdekli numuneler EPS ye göre daha iyi performans sergilemişlerdir.

2023, xii + 70 sayfa

Anahtar Kelimeler: Cam elyaf, Epoksi, Tabakalı kompozit malzemeler, Polimer köpük.

ABSTRACT

M.Sc. Thesis

INVESTIGATION OF THE MECHANICAL PROPERTIES OF FIBER REINFORCED POLYMER FOAM CORE COMPOSITES IN DIFFERENT DENSITY

Bariş ŞENOL

Afyon Kocatepe University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Automotive Engineering

Supervisor: Asst. Prof. İbrahim YAVUZ

In recent years, with the increasing number of vehicles in the automotive sector, environmental problems and safety issues have come to the fore. Today, the automotive industry is focused on the development of low-fuel vehicles with high safety levels and low-cost production methods. Reducing vehicle weight also takes place in areas such as chassis and body. In this study, laminated composite materials with glass fiber reinforced polymer foam core, which are preferred for the automotive industry due to their lightness and durability, were produced.

Two different types of polymer foam, XPS and EPS foam, were used as core material. In the productions, polymer foams and fibers are combined with the help of resin on the upper and lower sides of the foams. Samples were produced with 4 and 6 floors on both sides, a total of 8 and 12 floors. The productions were carried out with the vacuum bagging method using the manual laying method. After the productions were completed, experiments were carried out by cutting them in sizes in accordance with the standards. Compression tests, three-point bending tests and low-speed impact tests were performed to analyze the energy absorption capabilities of the produced samples. Compression test, three-point bending test and low-speed impact test methods were applied to investigate the mechanical properties of the produced composite materials. The graphics, photographs and tables obtained based on the results of the experiments were evaluated. In the impact tests, puncture and rebound occurred in the 8-layered samples (XPS, EPS)

of the 200 gr/m² glass fiber composites and the 12-layered ones. Although more deformation occurred in 8 layers of 300 gr/m² glass fiber composites (XPS, EPS) compared to the samples with 12 layers, the experiments resulted as rebound in both layered samples. When XPS and EPS foam core samples are compared, XPS foam core samples performed better than EPS.

Results similar to impact tests were obtained in compression and three-point bending tests. Higher strengths were obtained in the samples with 12 floors compared to the samples with 8 floors. Composite samples with 300 gr/m² fiber layer showed better performance than samples with 200 gr/m² feature. In the comparison of core materials, XPS foam core samples performed better than EPS when XPS and EPS foam core samples were compared.

2023, xii + 70 + pages

Keywords: Glass fiber, Epoxy, Layered composite materials, Polymer foam.

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans tez çalışmalarım süresince tezimin planlanması ve yürütülmesi aşamasında büyük bir özen, sabır ve özveriyle beni destekleyen, yakın ilgi ve yardımlarını esirgemeyen, bilgi ve deneyimleriyle beni yönlendiren kıymetli danışman hocam Sayın Dr. Öğr. Üyesi İbrahim YAVUZ'a ve araştırma ve yazım süresince yardımlarını esirgemeyen Sayın Dr. Öğr. Gör. Ercan ŞİMŞİR'e her konuda öneri ve eleştirileri için teşekkür ederim.

Bu araştırma boyunca hiçbir zaman maddi ve manevi desteklerini esirgemen başta babam Mümin ŞENOL olmak üzere tüm aileme desteklerinden dolayı teşekkür eder, tez çalışmamı onlara ithaf ederim.

Barış ŞENOL
Afyonkarahisar 2023

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

	Sayfa
ÖZET	i
ABSTRACT	iii
TEŞEKKÜR	v
İÇİNDEKİLER DİZİNİ.....	vi
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ	ix
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xi
RESİMLER DİZİNİ	xii
1. GİRİŞ.....	1
2. LİTERATÜR BİLGİLERİ	3
2.1 Kompozit Malzemeler	4
2.2 Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması	6
2.2.1 Metal Matrisli Kompozit Malzemeler	7
2.2.2 Seramik Matrisli Kompozit Malzemeler.....	7
2.2.3 Polimer Matrisli Kompozit Malzemeler	7
2.2.4 Elyaf Takviyeli Kompozit Malzemeler.....	8
2.2.4.1 Karbon Elyaf	9
2.2.4.2 Cam Elyaf.....	10
2.2.4.3 Aramid (Kevlar) Elyaf	13
2.2.5 Parçacık Takviyeli Kompozit Malzemeler.....	14
2.2.6 Tabakalı Kompozit Malzemeler.....	15
3. MATERYAL ve METOT	20
3.1 EPS (Genleştirilmiş Polistiren) Köpük	20
3.2 XPS (Ekstrüzyon Polistiren) Köpük	21
3.3 Cam Elyaf	22
3.4 Epoksi ve Reçine	24
3.5 Üretim Yöntemleri.....	25
3.5.1 Vakum Torbalama Yöntemi.....	25
3.5.2 El Yatırma Yöntemi	26
3.6 Test Yöntemleri	27
3.6.1 Darbe Test Yöntemleri.....	27
3.6.2 Sandviçin Kenarı Doğrultusunda (Edgewise) Basma Test Yöntemi	29

3.6.3 Üç Nokta Eğilme Test Yöntemi	29
4. BULGULAR	31
4.1 Basma Test Sonuçları	31
4.1.1 Katman Kalınlığının Basma Dayanımına Etkisi	31
4.1.2 Elyaf Yoğunluğunun Basma Dayanımına Etkisi	36
4.1.3 Tabaka Malzemesinin Basma Dayanımına Etkisi.....	40
4.2 Darbe Test Sonuçları	44
4.2.1 Katman Kalınlığının Darbe Dayanımına Etkisi	44
4.2.2 Elyaf Yoğunluğunun Darbe Dayanımına Etkisi	47
4.2.3 Tabaka Malzemesinin Darbe Dayanımına Etkisi.....	50
4.3 Üç Nokta Eğme Test Sonuçları	52
4.3.1 Katman Kalınlığının Üç Nokta Eğme Dayanımına Etkisi	53
4.3.2 Elyaf Yoğunluğunun Üç Nokta Eğme Dayanımına Etkisi	56
4.3.3 Tabaka Malzemesinin Üç Nokta Eğme Dayanımına Etkisi.....	58
5. TARTIŞMA ve SONUÇ	62
6. KAYNAKLAR.....	64
ÖZGEÇMİŞ.....	70

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler

μM	Mikrometre
Al_2O_3	Alüminyum oksit
B_2O_3	Bor oksit
B_4C	Hidrojen peroksit
C	Karbon
CaO	Karbonmonoksit
GPa	Giga pascal
MgO	Magnezyum oksit
MPa	Megapascal
SiC	Silisyum karbür
SiO_2	Silisyum dioksit
TiB_2	Titanyum diborür
TiC	Titanyum karbon

Kısaltmalar

ASTM	Uluslararası Amerikan Test ve Materyalleri Topluluğu
CTP	Cam Takviyeli Polyester
EPS	Genleştirilmiş Polistiren Köpük
EPS-12-200	Genleştirilmiş Polistiren Köpük 12 Katlı 200 gram Yoğunluğundaki Elyaf Takviyeli
EPS-12-300	Genleştirilmiş Polistiren Köpük 12 Katlı 300 gram Yoğunluğundaki Elyaf Takviyeli
EPS-8-200	Genleştirilmiş Polistiren Köpük 8 Katlı 200 gram Yoğunluğunda Elyaf Takviyeli
EPS-8-300	Genleştirilmiş Polistiren Köpük 8 Katlı 300 gram Yoğunluğundaki Elyaf Takviyeli
GFRO	Glass Fiber Reinforced Concrete
HVAC	Isıtma, Havalandırma ve Klima
MGs H285	Laminasyon Epoksi Sertleştirici
MGs L285	Laminasyon Epoksi Seti
PAN	Poliakrilonitril
XPS	Ekstrüzyon Polistiren Köpük
XPS-12-200	Ekstrüzyon Polistiren Köpük 12 Katlı 200 gram Yoğunluğundaki Elyaf Takviyeli
XPS-12-300	Ekstrüzyon Polistiren Köpük 12 Katlı 300 gram Yoğunluğundaki Elyaf Takviyeli
XPS-8-200	Ekstrüzyon Polistiren Köpük 8 Katlı 200 gram Yoğunluğundaki Elyaf Takviyeli
XPS-8-300	Ekstrüzyon Polistiren Köpük 8 Katlı 300 gram Yoğunluğundaki Elyaf Takviyeli

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 2.1 Kompozit malzemelerin sınıflandırılması.....	6
Şekil 2.2 Elyaf takviyeli kompozit malzemenin oluşumu	9
Şekil 2.3 Katmanlı kompozitler farklı katmanlardan oluşur	16
Şekil 2.4 Elyafların yerleştirilme yönleri	17
Şekil 2.5 Sandviç kompozitin temel elemanları	18
Şekil 3.1 EPS köpük	20
Şekil 3.2 XPS köpük	21
Şekil 3.3 El yatırma işleminin şematik gösterimi	27
Şekil 3.4 Instron ceast 9350 cihazı.....	28
Şekil 3.5 Darbe testi sonucu kuvvet – yer değiştirme eğrileri.....	28
Şekil 4.1 Katman kalınlığının basma dayanımına etkisi (EPS, 200 gr.).....	32
Şekil 4.2 Katman kalınlığının basma dayanımına etkisi (EPS, 300 gr.).....	32
Şekil 4.3 Katman kalınlığının basma dayanımına etkisi (XPS, 200 gr.).....	34
Şekil 4.4 Katman kalınlığının basma dayanımına etkisi (XPS, 300 gr.).....	35
Şekil 4.5 Elyaf yoğunluğunun basma dayanımına etkisi (EPS, 8 kat).....	36
Şekil 4.6 Elyaf yoğunluğunun basma dayanımına etkisi (EPS, 12 kat).....	37
Şekil 4.7 Elyaf yoğunluğunun basma dayanımına etkisi (XPS, 8 kat).	38
Şekil 4.8 Elyaf yoğunluğunun basma dayanımına etkisi (XPS, 12 kat).	39
Şekil 4.9 Tabaka malzemesinin basma dayanımına etkisi (8 kat, 200 gr.).....	40
Şekil 4.10 Tabaka malzemesinin basma dayanımına etkisi (12 kat, 200 gr.).....	41
Şekil 4.11 Tabaka malzemesinin basma dayanımına etkisi (8 kat, 300 gr.).....	42
Şekil 4.12 Tabaka malzemesinin basma dayanımına etkisi (12 kat, 300 gr.).....	43
Şekil 4.13 Katman kalınlığının darbe dayanımına etkisi (EPS, 200 gr.).....	44
Şekil 4.14 Katman kalınlığının darbe dayanımına etkisi (EPS, 300 gr.).....	45
Şekil 4.15 Katman kalınlığının darbe dayanımına etkisi (XPS, 200 gr.).....	46
Şekil 4.16 Katman kalınlığının darbe dayanımına etkisi (XPS, 300 gr.).....	46
Şekil 4.17 Elyaf yoğunluğunun darbe dayanımına etkisi (EPS, 8 kat).	47
Şekil 4.18 Elyaf yoğunluğunun darbe dayanımına etkisi (EPS, 12 kat).	48
Şekil 4.19 Elyaf yoğunluğunun darbe dayanımına etkisi (XPS, 8 kat).....	48
Şekil 4.20 Elyaf yoğunluğunun darbe dayanımına etkisi (XPS, 12 kat).....	49

Şekil 4.21	Tabaka malzemesinin darbe dayanımına etkisi (200 gr., 8 kat).....	50
Şekil 4.22	Tabaka malzemesinin darbe dayanımına etkisi (200 gr., 12 kat).....	50
Şekil 4.23	Tabaka malzemesinin darbe dayanımına etkisi (300 gr., 8 kat).....	51
Şekil 4.24	Tabaka malzemesinin darbe dayanımına etkisi (300 gr., 12 kat).....	52
Şekil 4.25	Katman kalınlığının üç nokta eğme dayanımına etkisi (EPS, 200 gr.).	53
Şekil 4.26	Katman kalınlığının üç nokta eğme dayanımına etkisi (EPS, 300 gr.).	54
Şekil 4.27	Katman kalınlığının üç nokta eğme dayanımına etkisi (XPS, 200 gr.).	54
Şekil 4.28	Katman kalınlığının üç nokta eğme dayanımına etkisi (XPS, 300 gr.).	55
Şekil 4.29	Elyaf yoğunluğunun üç nokta eğme dayanımına etkisi (EPS, 8 kat).....	56
Şekil 4.30	Elyaf yoğunluğunun üç nokta eğme dayanımına etkisi (EPS, 12 kat).....	57
Şekil 4.31	Elyaf yoğunluğunun üç nokta eğme dayanımına etkisi (XPS, 8 kat).	57
Şekil 4.32	Elyaf yoğunluğunun üç nokta eğme dayanımına etkisi (XPS, 12 kat).	58
Şekil 4.33	Tabaka malzemesinin üç nokta eğme dayanımına etkisi (8 kat, 200 gr.).	59
Şekil 4.34	Tabaka malzemesinin üç nokta eğme dayanımına etkisi (12 kat, 200 gr.). ..	59
Şekil 4.35	Tabaka malzemesinin üç nokta eğme dayanımına etkisi (8 kat, 300 gr.).	60
Şekil 4.36	Tabaka malzemesinin üç nokta eğme dayanımına etkisi (12 kat, 300 gr.). ..	60

ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa
Çizelge 2.1 Karbon elyaf mekanik özellikleri	10
Çizelge 2.2 Cam elyaf çeşitlerinin fiziksel özellikleri	12
Çizelge 2.3 Cam elyaf çeşitlerinin fiziksel özellikleri.	12
Çizelge 2.4 Cam çeşitlerinin % ağırlık olarak bileşenleri	13
Çizelge 2.5 Bazı kompozitler ve metallerin karşılaştırmaları	13
Çizelge 2.6 Piyasada bulunan aramid elyafların mekanik özellikleri.	14



RESİMLER DİZİNİ

	Sayfa
Resim 3.1 Cam elyaf.....	23
Resim 3.2 Epoksi ve reçine.....	25
Resim 3.3 Vakum torbalama yöntemi.....	26
Resim 3.4 Tabakalı kompozit malzemeye basma testi.	29
Resim 3.5 Üç nokta eğilme test düzeneği.	30
Resim 4.1 EPS-8-200 ve EPS-12-200 numunelerinin basma testi.	31
Resim 4.2 EPS-8-300 ve EPS-12-300 numunelerinin basma testi.	33
Resim 4.3 XPS-8-200 ve XPS-12-200 numunelerinin basma testi.	34
Resim 4.4 XPS-8-300 ve XPS-12-300 numunelerinin basma testi.	35
Resim 4.5 EPS-8-200 ve EPS-8-300 numunelerinin basma testi.	37
Resim 4.6 EPS-12-200 ve EPS-12-300 numunelerinin basma testi.	38
Resim 4.7 XPS-8-200 ve XPS-8-300 numunelerinin basma testi.	39
Resim 4.8 XPS-12-200 ve XPS-12-300 numunelerinin basma testi.	40
Resim 4.9 EPS/XPS-8-200 numunelerinin basma testi.	41
Resim 4.10 PS/XPS-12-200 numunelerinin basma testi.....	42
Resim 4.11 EPS/XPS-8-300 numunelerinin basma testi.	43
Resim 4.12 EPS/XPS-12-300 numunelerinin basma testi.	44
Resim 4.13 EPS köpük çekirdekli numunesinin basma test sonu görünüşü.....	53
Resim 4.14 XPS köpük çekirdekli numunesinin basma test sonu görünüşü.	55

1. GİRİŞ

Kompozit malzemeler, geçtiğimiz yüzyılda giderek artan bir ilgi ve talep görmüştür. Bu ilgi, malzemelerin geniş bir kullanım alanı bulmasına ve endüstrilerde önemli bir yer edinmesine sebep olmuştur. Geleneksel malzemelerin sınırlamaları ve yeni gereksinimlerin ortaya çıkmasıyla birlikte, insanlar daha hafif, dayanıklı, korozyona karşı dirençli ve yüksek ısıl dayanıma sahip malzemelere olan ihtiyaçlarını artırmışlardır.

Kompozit malzemeler, mevcut konvansiyonel malzemelerin belirli ihtiyaçları karşılamada yetersiz kalması sonucu geliştirilmiş ve yaygın olarak kullanılan malzemeler haline gelmiştir. Bu malzemelerin mekanik özelliklerini geliştirmek için sürekli olarak araştırma ve geliştirme çalışmaları yapılmaktadır. Temel amaç, yüksek dayanım/yoğunluk oranı ve yüksek elastik modül/yoğunluk oranı sağlayabilmektir. Bu hedefe ulaşmak için farklı fazlardaki malzemelerin özel bir düzenlemesiyle oluşturulan çok fazlı kompozit malzemeler kullanılmaktadır. Bu özel yapıları sayesinde, kompozit malzemeler yüksek fiziksel ve mekanik özelliklere sahip olabilmektedir.

Kompozit malzemeler, farklı sektörlerdeki çeşitli mekanik ihtiyaçları karşılamak için giderek artan bir şekilde kullanılmaktadır. Bu durum, kompozit malzemeler üzerinde yapılan araştırma ve geliştirme çalışmalarının yoğunlaşmasına yol açmıştır. Bu çalışmaların odak noktalarından biri, kompozit malzemelerin dayanıklılığını artırmak için takviye elemanları geliştirmektir (Gellert 1999).

Bu malzemelerin üretimi, malzemelerin doğru kombinasyonunu bulmayı gerektirir. Farklı malzemelerin belirli bir düzenlemeyle birleştirilmesi, birbirlerinin avantajlarını birleştirerek oluşan malzeme üzerinde istenilen özelliklerin elde edilmesini sağlar. Örneğin, bir polimer matris içinde karbon fiber takviyeli bir kompozit, yüksek mukavemet, düşük ağırlık ve korozyona karşı dayanıklılık gibi özelliklere sahip olabilir. Bu şekilde, kompozit malzemeler, farklı sektörlerde kullanılan birçok ürünün geliştirilmesinde büyük bir rol oynamaktadır.

Kompozit malzemelerin avantajları sadece mekanik özelliklerle sınırlı değildir. Ayrıca,

yüksek sıcaklık dayanımı, kimyasal direnç, yüksek titreşim emilimi gibi özelliklere de sahip olabilirler. Bu nedenle, havacılık, otomotiv, savunma, spor malzemeleri ve yapı sektörü gibi birçok alanda kompozit malzemelerin kullanımı hızla artmaktadır.

Sonuç olarak, kompozit malzemeler, geleneksel malzemelerin sınırlamalarını aşabilen ve daha üstün özelliklere sahip olan malzemelerdir. Araştırma ve geliştirme çalışmalarıyla sürekli olarak ilerleyen kompozit malzemeler, farklı endüstrilerde kullanılan ürünlerin performansını ve verimliliğini artırmaya yönelik potansiyel sunmaktadır. Gelecekte, daha da gelişmiş kompozit malzemelerin keşfedilmesi ve kullanımının yaygınlaşması beklenmektedir.

Yapılan bu tez çalışmasının amacı literatürden farklı olarak polimer köpük çekirdekli tabakalı kompozit üretilmiştir. Çekirdek yapısı olarak XPS (Ekstrüzyon Polistiren) ve EPS (Genleştirilmiş Polistiren) köpükler kullanılmıştır. Kompozit tabaka üretiminde çekirdek kısmında köpük, altta ve üstte cam elyaf kumaşlarının katmanlı olarak epoksi reçine ve vakum torbalama metoduyla üretilmiştir. Numunelerin mekanik özelliklerini belirlemek için basma, üç nokta eğme ve darbe testleri yapılmıştır.

2. LİTERATÜR BİLGİLERİ

CTP'ler (Cam elyaf takviyeli polimer kompozitler), hafiflikleri ve korozyona dayanıklılıkları nedeniyle denizcilik sektöründe yaygın bir şekilde kullanılmaktadır (Rubino vd. 2020). Bu malzemeler, ilk olarak 1940'lı yıllarda donanma personel teknelerinde kullanılmaya başlanmış ve zamanla yatlarda, hobi araçlarında ve performans teknelerinde de kullanım alanı bulmuştur (Ertuğ, 2013).

CTP'ler, olağanüstü özelliklere sahip olsalar da çevresel şartlara maruz kaldıklarında bazı zayıflıklar gösterebilirler. Özellikle denizcilik sektöründe kullanıldıklarında, aşırı sıcaklık, alkalın ortamlar, UV radyasyonu, donma/çözülme döngüleri ve hidrotermal koşullar gibi faktörler performanslarını ve kullanım ömürlerini olumsuz etkileyebilir (Bazlı vd. 2019). Bu nedenle, CTP'lerin yapısal olmayan elemanlarda, ikincil yapılarında ve mevcut yapıların rehabilitasyonu ve güçlendirilmesinde özellikle taşıma ve depolama gibi alanlarda sert çevresel koşullara dayanma yetenekleri sınırlı olabilir (Ma vd. 2018).

Düşük sıcaklıklarda donma ve çözülme döngülerine maruz kalan CTP'ler, su emilimi etkisiyle matris çatlamlarıyla karşılaşabilir ve bu durum kompozitlerin dayanım değerlerinin azalmasına neden olabilir. Bu durumun temel sebebi, reçine ve elyaf arasındaki termal genleşme katsayılarının farklı olmasıdır (Koller vd. 2007). Farklı termal genleşmeler, kompozitin matris-elyaf arayüzlerinde gerilmelerin artmasına ve elyaf/reçine ayrışmasına yol açabilir. Dolayısıyla, donma/çözülme döngüsünün etkisi, belirli bir düşük sabit sıcaklığın etkisinden daha fazla olabilir (Karbhari vd. 2003). Ayrıca, sıfırın altındaki sıcaklıklar, mikro çatlakların oluşumuna yol açabilir ve bu da reçine hidrolizini, plastikleşmeyi ve reçine matrisine nem girişini artırarak CTP'lerin mekanik özelliklerinin daha da azalmasına neden olabilir. Yani, döngü sıcaklık evresinde (ıslak döngü) nemin reçine çatlakları tarafından emilmesi ve sıkışması gerçekleşirken, sıcaklık düştüğünde donma meydana gelir ve genleşmeye neden olarak çatlakların büyümesine ve elyaf/reçine arayüzüne zarar verir (Karbhari vd. 2002).

2.1 Kompozit Malzemeler

1900'lerin ortalarından itibaren, metallerin yoğun kullanımının ardından plastiklerin kullanımına başlanmıştır. Plastiklerin kullanım alanları, yüksek yüzey kalitesi, düşük yoğunluğa sahip olması, korozyona karşı dayanıklılığı ve kolay şekil verilebilmesi gibi önemli avantajları sayesinde önemli ölçüde artmıştır. Ancak, plastiklerin sertlik ve mukavemeti düşüktür. Bu nedenle, plastikleri daha güçlü bir malzeme haline getirmek için çalışmalara başlanmış ve 1950'lerde polimer esaslı kompozit malzemeler ortaya çıkmıştır. Kompozit malzemelerin başlıca özellikleri arasında aşınmaya karşı dayanıklılık, sertlik, termal, boyutsal kararlılık ve yüksek mukavemet bulunmaktadır. Bugün, enerji tasarrufu göz önünde bulundurulduğunda, daha hafif malzemeler tercih edilmektedir. Kompozit malzemeler, tüm bu özellikleriyle pek çok alanda avantaj sağlamaktadır (Solmaz ve Gür 2007).

- **Yüksek Mukavemet:** Fiber takviyeli kompozit malzemeler, metal malzemelerle karşılaştırıldığında çekme, bükme ve basma mukavemeti açısından yüksek bir performans sergilemektedir. Fiber takviyeli kompozitler, içerdikleri liflerin yönlendirilmesiyle istenen yönde en yüksek mukavemeti sağlayabilmektedir. Bu da daha dayanıklı ve güçlü yapılar oluşturmayı mümkün kılar.
- **Hafiflik:** Kompozit malzemeler, genellikle hafif bir matris malzemesiyle birleştirildiği için düşük yoğunluğa sahiptir. Bu özellik, yapısal bileşenlerde kullanıldığında ağırlığı azaltır ve taşıma kolaylığı sağlar.
- **İyi Özgül Mukavemet:** Kompozit malzemeler, birim ağırlığına karşı yüksek mukavemete sahiptir. Bu özellik, uygulamalarda daha ince ve hafif yapılar oluşturmayı mümkün kılar.
- **Yüksek Elastisite:** Kompozit malzemeler, yüksek elastik modülüne sahiptir. Bu, malzemenin elastik gerilme altında nasıl davrandığını ve deformasyon direncini ifade eder. Yüksek elastisite, kompozitlerin sertliğini ve dayanıklılığını artırır.
- **Kimyasal Dayanıklılık:** Kompozit malzemeler, genellikle kimyasal maddelere dayanıklıdır. Matris malzemesi ve takviye bileşeni, çeşitli kimyasal ortamlara karşı direnç gösterebilir. Bu özellik, kompozit malzemelerin endüstriyel kimya, denizcilik ve otomotiv gibi uygulamalarda tercih edilmesini sağlar.

Bir malzeme, kompozit olarak kabul edilebilmesi için bazı özelliklere sahip olmalıdır;

- En az iki farklı malzemenin kimyasal olarak birleştirilmesiyle oluşturulmalıdır.
- Üretilebilirliği kolay olmalıdır.
- Kompozit malzemelerin birleşmesini sağlayan kaynaklar, en az üç boyutlu olacak şekilde birleşmelidir.
- Bu malzemeler, bileşenlerinin özelliklerinden çok daha yüksek bir performans sergilemelidir. Yani, içerdği bileşenler ile kendi özellikleri dışında özellikler elde etmelidir.

Son yıllarda, kompozit malzemelerin özellikleri metallere kıyasla farklılık gösterdiği için büyük ilgi görmektedir. Bu malzemeler, öz kütlesinin düşük olması nedeniyle hafiflik gerektiren yapılar için önemli bir alternatif olmuştur. Özellikle, fiber takviyeli kompozit malzemelerin paslanmazlık özellikleri ve iyi izolasyon sağlaması da dikkat çekmektedir.

- Farklı sayılarda üretim yöntemleri vardır.
- Üretmek istenen diğer malzemelerle uygulanabilmektedirler.
- Talebe göre ışıgı geçiren özellikte üretilebilme imkânı vardır (Kayrak 1999).
- Farklı katmanlar veya kombinasyonlar kullanılarak istenilen özelliklere sahip kompozit malzemeler elde edilebilir. Bundan dolayı çeşitli mekanik özellikler elde edilebilir.
- Hafif olmalarının yanı sıra çok yüksek sertlik değerlerine sahipler.
- Darbe, çekme, basma ve yorulma katsayıları çok yüksektir.
- Kimyasal direnç ve antikorozyon özellikleri polimer kaplama sayesinde iyidir. Isı dayanımlar yüksektir.
- Bu kompozitlerin titreşim ve gürültü iletimi düşük olduğundan dolayı metallere göre daha iyi performans sergilerler. Bu yüzden, uçakların kanat kısımlarında ve golf sopalarına kadar kullanabilecek alanları geniştir.
- Elektriksel özellikleri malzemeye bağlı olarak değişebilir, yalıtkan veya iletken özellik gösterebilirler.
- Otomobil ve uçaklarda kullanımında ağırlık azalttığı için yakıttan verimlilik sağlar.

2.2 Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması

Kompozit malzemeler matris malzemenin yapısına göre;

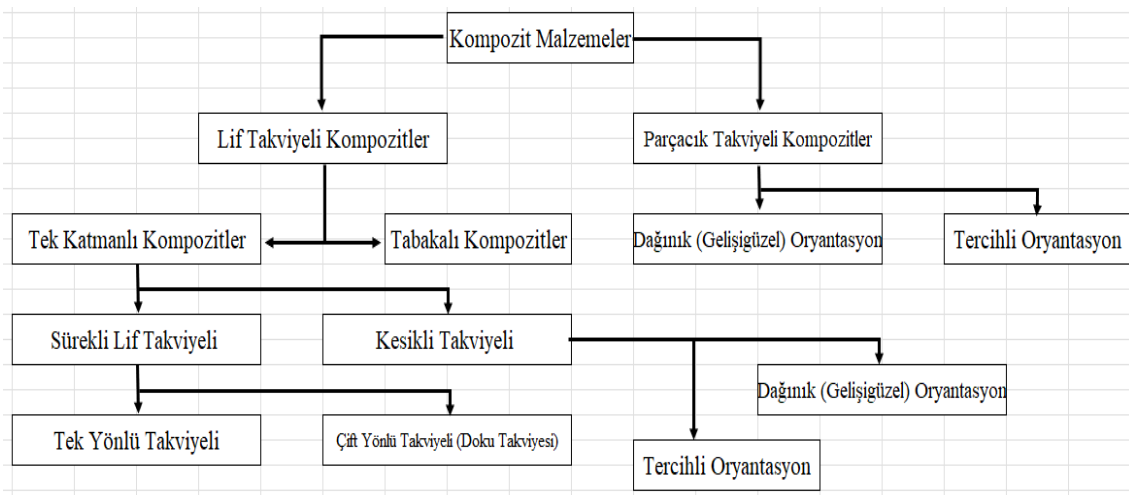
- Metal matrisli kompozit malzemeler
- Seramik matrisli kompozit malzemeler
- Polimer matrisli kompozit malzemeler (Erdoğan 1999).

Yapısındaki bileşenlerinin şekline göre;

- Elyaf takviyeli kompozit malzemeler
- Parçacık takviyeli kompozit malzemeler
- Tabaka yapılı kompozit malzemeler
- Karma kompozit malzemeler olarak sınıflandırılmaktadır (Baccar vd. 2017).

Kompozit malzemelerde kullanılan ikincil fazlar aşağıdaki gibidir;

- Kompozit yapıda kullanılan sünek malzemeler
- Faz dönüşümünü gerçekleştirebilen malzemeler
- Insitu yöntemleri kullanılarak, kompozit yapıda çubuksu tanelerin gelişimi sağlanabilir.
- Çeşitli formlardaki (parçacık, visker ve sürekli fiber) destekleyici malzemelerdir (Fukunaga vd. 1984).



Şekil 2.1 Kompozit malzemelerin sınıflandırılması (Werber1980).

2.2.1 Metal Matrisli Kompozit Malzemeler

Bu kompozit malzemelerin yapılarının iyileştirilmesinde, en az matris malzemesi kadar takviye elemanlarının da yeri ve önemi büyüktür. Takviye elemanları, kompozit malzeme üzerindeki yükün büyük bir kısmını taşımaktan sorumludur. Metal matrisli kompozitlerde sıkça kullanılan ilave malzemeler arasında C, WC, B₄C, MgO, TiB₂, TiC, Al₂O₃, W, SiC gibi malzemeler yanı sıra grafen ve karbon nanotüpler gibi karbon bazlı malzemeler bulunmaktadır. (Erdoğan 2005).

2.2.2 Seramik Matrisli Kompozit Malzemeler

Bu malzemelerin bazı özellikleri, yapısal uygulamalarda kullanılmalarını sınırlayan faktörler oluşturur. Bu kompozitlerin kırılgan olması, düşük çekme gerilimlerine ve çarpma yüklerine karşı dayanıklılık gösterememeleri, metallerde olduğu gibi plastik deformasyon sergileyememeleri ve ani mekanik ve ısısal değişikliklere karşı düşük direnç göstermeleri gibi faktörler göz önünde bulundurulmalıdır. Ancak, seramik malzemelerin en belirgin dezavantajı, kırılmalara karşı dayanıksız olmalarıdır. Bu nedenle, seramik malzemelerin kırılma tokluğunu artırma amacı ile farklı yollar bulunmuştur. Bu yöntemlerin temel amacı, kırılma sırasında enerji Emilimi sağlayarak ikinci bir fazın kırılma seramik matrise homojen olarak dağıtılmasını sağlamaktır. Bu şekilde, enerjinin soğurulmasını sağlayan mekanizmalar oluşturulur ve seramik malzemelerin kırılma tokluğu artırılır.

2.2.3 Polimer Matrisli Kompozit Malzemeler

Geçtiğimiz 25-30 yılda polimer malzemeler ciddi ilerlemeler kaydetmiş hem gündelik yaşamımızda hem de endüstrinin çoğu dalında yaygın olarak kullanılan malzemeler haline gelmiştir. Bu malzemelerin tercih edilmesini sağlayan en önemli nedenleri şunlardır;

- Düşük yoğunluğa sahip malzemeler olmasıdır.
- Kitle üretim yöntemleri ile ekonomik, kolay ve hızlı olarak üretilmektedir.
- Birçok kimyasal maddeye ve atmosferik korozyona karşı yüksek bir direnç

gösterirler.

- Moleküler yapılarında farklılıklar yapılarak ve katkı maddeleri ile özellikleri geliştirilebilir.
- Boyar maddeler kullanılarak farklı renklerde üretimi gerçekleştirilebilir.
- Diğer malzemelere oranla daha ekonomik bir malzeme olmalarıdır (Deniz 2005).

2.2.4 Elyaf Takviyeli Kompozit Malzemeler

Günümüzde bilim ve teknolojinin hızla ilerlemesiyle birlikte, malzemelerin farklı ve baskın özelliklere ihtiyaç duyulmaktadır. Bu gereksinimler, kompozit malzemelerin geliştirilmesi alanında büyük bir motivasyon kaynağı olmuştur. Geçmişte yapılan çalışmalar kompozit malzemelerin üretimi ve endüstriyel amaçlı kullanımını arttırmıştır. Elyaf takviyeli polimer kompozit malzemelerin yüksek özgül mukavemet ve rijitlik özelliklerine sahip olmaları, uzay sanayi, otomotiv sektörü ve kimya endüstrisi gibi birçok alanda kullanılmalarını mümkün kılmıştır. Bunun yanı sıra, dişli, kam, tekerlek, fren ve debriyaj balataları, yataklar, muylular gibi aşınma riski olan parçaların imalatında da bu malzemelerin kullanımı giderek yaygınlaşmaktadır (Yaşar vd. 2000).

Elyaf takviyeli kompozit malzemeler, dayanıklı ve esnek elyafların yumuşak bir matris içerisine takviye edilmesiyle oluşturulan malzemelerdir. Bu takviye sayesinde, malzemenin özgül dayanımı, çekme dayanımı ve yorulma dayanımı geliştirilmiş olur. Bu malzemedeki matris, elyaflara uygulanan kuvveti aktararak esneklik ve tokluk sağlar, ancak büyük bir yükü de kendi üzerinde taşır. Kompozit malzemenin dayanımı, çökelme yöntemiyle sertleştirilmiş kompozitlere kıyasla oda sıcaklığında ve yüksek sıcaklıklarda geliştirilebilir. Ayrıca, takviye edilmiş kompozitler genellikle farklı takviye elemanlarından da faydalanır. Elyaf takviyeli kompozitlerde, elyaflar şerit veya örme fitil şeklinde, tabakalar halinde veya yönlendirilmiş elyaflar şeklinde bulunabilir. Elyaf yönlendirildiği için, mekanik özellikleri anizotropik (yönsel bağımlı) olabilir. Sürekli elyaflar, diğer türdeki destek elemanlarına kıyasla daha üstün özelliklere sahip olma eğilimindedir. Farklı elyaf şekillerine sahip kompozit malzemelerin şematik görünüşü Şekil 2.2'de görülmektedir. Elyaf takviyeli kompozit malzemelerde sürekli elyaflar ve tek yönlü elyaflar, parçacık şekilli elyaflar, kesikli elyaflar, ortogonal elyaflar ve rastgele

düzlemsel yönlendirilmiş elyaflar gibi farklı destek tipleri kullanılabilir (Şahin 2006).



Şekil 2.2 Elyaf takviyeli kompozit malzemenin oluşumu (Polat 2019).

Kompozit malzemelerin üretimi için en sık tercih edilen elyaf türleri;

- Cam elyaf
- Karbon elyaf
- Aramid (kevlar) elyaf

2.2.4.1 Karbon Elyaf

Karbon elyaflar, organik fiber olarak da adlandırılan malzemelerdir. Karbon elyafların üretiminde genellikle zift, selüloz ve PAN (poliakrilonitril) gibi ham maddeler tercih edilir. Karbon elyafların en dikkate değer özellikleri, düşük yoğunluğa sahip olmalarının yanı sıra yüksek tokluk ve mukavemet değerlerini de barındırmasındandır. Bu elyaflar neme karşı duyarsızlardır ve sürünme mukavemeti de oldukça yüksektir. Ayrıca hem yorulma hem de aşınma mukavemetleri de fazlasıyla yüksektir (Dongjing vd. 2018).

Karbon elyafların dikkate değer özelliklerinden biri, düşük yoğunluğa sahip olmaları ve aynı zamanda yüksek tokluk ve mukavemet değerleri olmalarıdır. Nemden etkilenmeyen bu elyafların sürünme mukavemetleri oldukça yüksektir. Ayrıca, yorulma dirençlerinin yüksek olduğu gibi aşınma dirençleri de iyidir. Bu nedenle, sivil ve askeriyede kullanılan uçak parçalarında yoğun şekilde kullanılırlar. Grafit elyaflar, epoksi reçinelerle ve çeşitli plastik matrislerle beraber kullanılırlar. Ayrıca metal matrislerden magnezyum ve alüminyumda da tercih edilebilmektedir (Kişeci ve Salancı 2020).

Karbon elyaflar, cam ve aramid elyaflarına kıyasla çok daha üstün mukavemet özelliklerine sahiptir. Bu elyaflar genellikle darbelerin emilmesi ve düşük ağırlıkla rijitlik

sağlanması için kullanılır. Önceleri kırılabilirlik ve düşük uzama seviyeleri gibi sorunlar yaşansa da günümüzde yüksek uzamalı karbon elyafının keşfi ile bu sorunlar çözülmüştür. Bu elyaf, plastik matris içinde ıslanabilirlik özelliklerinin oldukça yüksek olması açısından da önemli bir yere sahiptir (Kolat 2005).

Bu elyaf türleri, piyasada iki farklı şekildedir;

- **Sürekli Elyaf:** Bu tür elyaf, dokuma, örgü, tel bobin uygulamaları gibi çeşitli alanlarda kullanılabilir. Ayrıca, tek yönlü bantlar veya önceden reçine ile emprenye edilmiş elyaf şeklinde de mevcuttur. Bu elyaf, farklı tipteki reçinelerle de birleştirilebilir ve çeşitli malzemelerin üretiminde kullanılabilir.
- **Kırılmış Elyaf:** Bu elyaf genellikle enjeksiyon kalıplamada ve basınçlı kalıplarda kullanılır. Makine parçaları ve kimyasal valf yapımında tercih edilirler. Bu elyaf kullanılarak üretilen ürünler, mükemmel korozyon ve yorgunluk direncine sahip olmanın yanı sıra yüksek dayanıklılık ve sertlik özellikleri gösterirler (Korkmaz vd. 2016). Karbon elyaf mekanik özellikleri Çizelge 2.1’de gösterilmiştir.

Çizelge 2.1 Karbon elyaf mekanik özellikleri (Kaw 2005).

	PAN Temelli	PITCH Temelli	RAYON Temelli
Çekme Modülü (Msi)	33- 56	23- 55	45.174,00
Çekme Dayanımı (Msi)	0,48- 0.35	0.2- 0.25	0.15
Uzama (%)	1,4- 0.6	0,9- 0.4	45.048,00
Yoğunluk (g/cc)	1,8- 1.9	1,9- 2.0	45.078,00
Karbon Oranı (%)	92- 100	97- 99	99,00

2.2.4.2 Cam Elyaf

Bu sektörün ülkemizde gelişmiş olması, cam elyafın maliyeti az ve kolayca temin edilebilmesine olanak sağlamaktadır. Bu durum polyester ve cam elyafın birleşimiyle oluşan kompozit malzemelerin diğer termoset ve elyaf kompozitlere göre daha ekonomik olduğunu göstermektedir. Bu sebeple, cam elyaf takviyeli polyester kompozit malzemelerin gelişimi hız kazanmıştır. CTP, cam elyaf takviyesiyle güçlendirilmiş, fiziksel ve kimyasal dayanımı artırılmış, çeşitli çevresel koşullara dirençli polyester

reçinelerden oluşan bir kompozit malzeme grubudur. CTP malzemelerinin önemli özellikleri arasında esneklik, iyi dielektrik, yüksek korozyon direnci ve hafiflik özellikleri vardır. Bu özellikler sayesinde CTP malzemeleri, inşaat, otomotiv, elektrik-elektronik, havacılık, denizcilik gibi birçok sektörde geniş bir kullanım alanına sahiptir. Bu nedenle, CTP malzemeleri sektörler arasında tercih edilen bir seçenek haline gelmiştir (Sathishkumar vd. 2014).

Cam elyaflarının hem yüksek özelliklere sahip olması hem de ekonomik oluşu, yaygın kullanımlarının önemli nedenlerindendir. Cam elyafların yaygın kullanım alanı olan CTP sanayisi olsa da farklı matris malzemeleri ile birlikte de kullanılabilir. Birleşik krallık’ da 1930’dan beri cam elyafları ticari olarak üretilmeye başlanmış ve 1950’li yıllarda plastik malzemelerle takviye edilmesi uygulaması başlamıştır. Başlangıçta, cam elyaflarının üretiminde "alkali cam" olarak bilinen A-camı kullanılmıştır. Ancak ilerleyen dönemlerde, alkali içeriği daha az olan ve yüksek mekanik ve elektriksel nitelikleri olan borsilikat camı, yani elektrik dayanımlı cam (E-cam), tercih etme eğilimi ortaya çıkmıştır (Çuhadar 2005).

Cam elyafları genellikle dört farklı türde bulunur. A (Alkali) camı, yüksek miktarda alkali içeren bir cam türüdür ve elektrik yalıtımı zayıftır. Ancak, A (Alkali) camı elektrik yalıtımı zayıf olsa da kimyasal direnci oldukça yüksektir ve çok yaygın kullanılan cam türüdür. Kimyasal çözeltilere karşı en yüksek direnci gösteren C (Korozyon) camıdır. Diğer cam türlerine göre düşük alkali içerdiği için E (Elektrik) camı elektrik yalıtımında üstün bir özellik taşır. Aynı zamanda yüksek mukavemet özelliğiyle dikkat çeker ve suya karşı da dirençlidir. Bu nedenle, nemli ortamlarda kullanılan kompozit malzemelerde sıklıkla E camı kullanılır. S (Mukavemet) camı ise iyi mukavemet özelliği olan bir cam türüdür. S camındaki çekme mukavemeti E camına göre %33 daha fazladır ve bu sıcaklıklarda daha iyi bir yorulma direnci gösterir. Bu özellikleri dolayı uzay ve havacılık endüstrisinde kullanılırlar. Cam elyaflar sıklıkla plastik veya epoksi reçinelerle birleştirilerek kullanılır (Sarı 2010). Cam elyaf çeşitlerinin fiziksel özellikleri Çizelge 2.2 ve Çizelge 2.3’te gösterilmiştir.

Çizelge 2.2 Cam elyaf çeşitlerinin fiziksel özellikleri (Gülmez 2018).

	A tipi	C Tipi	D Tipi	E Tipi	Advantex	ECRGlas	AR Tipi	R Tipi	S-2 Tipi
Yoğunluk (g/cc)	2,44	2,52	2,11-2,14	2,55-2,14	2,62	2,68-2,72	2,7	2,54	2,46-2,49
Refrakto İndeksi	1,54	1,533	1,465	1,558	1,561	1,576		1,546	1,521
Yumuşama Noktası °C	705	750	771	846	916	882	773	952	1056
Tavlanma Noktası °C		588	521	657	736				816
Gerilme Noktası °C		522	477	615	691			736	766
23°C Gerilme Mukavemeti, (Mpa)	3310	3310	2415	3445		3445	3241	4135	4890
23°C Young Modülü Gpa	68.9	68.9	51.7	72.3	76.6	80.3	73.1	85.5	86.9
Esneleme %	4,60	4,60	4,60	4,60	4,60	4,80	4,40	4,80	5,70
Spesifik Gerilme Dayanımı x10 ³ m ³		145	125	145		140		180	220
Spesifik Gerilme Modülü			3,0	2,7	3,1		3,3		3,7

Çizelge 2.3 Cam elyaf çeşitlerinin fiziksel özellikleri.

	A	C	E	S
Özgül Ağırlık (gr/cm ³)	18295	17930	19756	17564
Elastik Modül (Gpa)	-	69.0	72.4	85.5
Çekme	3033.0	3033.0	3448.0	4585.0
Isıl Genleşme Katsayısı	727	749	841	970

Bazı cam çeşitlerinin % ağırlık olarak bileşenleri Çizelge 2.4’te verilmiştir. Cam elyaflar, çelikten daha yüksek çekme dayanımına ve birim ağırlığa düşen dayanıma sahiptir. Ancak, ısıl dayanımları çelikten daha düşüktür. Çizelge 2.5’te farklı malzemelerin çekme dayanımı, elastiklik modülü ve yoğunluklarına dair veriler bulunmaktadır. Bu tablo, S-cam elyafı, E-cam elyaf takviyeli ve epoksi matrisli kompozit malzemeleri, epoksi matrisli ve karbon elyaf takviyeli kompozit malzemeleri ile alüminyum, titanyum ve çelik malzemelerin mekanik özelliklerini karşılaştırmak için kullanılmaktadır. Cam elyafların çelikten daha yüksek çekme dayanımına sahip olması, belirli uygulama alanlarında çelik yerine tercih edilebilecek avantajlar sağladığını göstermektedir. Ancak, ısıl dayanımlarının daha düşük olması, yüksek sıcaklık ortamlarında kullanımını sınırlayabilir (Yalçın 2012).

Çizelge 2.4 Cam çeşitlerinin % ağırlık olarak bileşenleri (Yalçın 2012).

Bileşen	E-Cam (%)	C-Cam (%)	S-Cam (%)
SiO ₂	52,4	64,4	64,4
Al ₂ O ₃	14,4	4,1	25
CaO	17,2	13,4	-
MgO	4,6	3,3	10,3
Na ₂ O ₂ K ₂ O	0,8	9,6	0,3
B ₂ O ₃	10,6	4,7	-

Çizelge 2.5 Bazı kompozitler ve metallerin karşılaştırmaları (Yalçın 2012).

	Epoksi/S- Cam Elyaf	Epoksi/E- Cam Elyaf	Epoksi/Karbon- Elyaf	Alüminyum (7075T6)	Titanyum (64Al-4V)	Çelik (4130)
Çekme Dayanımı (N/mm ²)	1751	1103	1482	572	1103	1300
Elastik Modülü (GPa)	59	52	145	69	114	207
Yoğunluk (g/cm ³)	1,99	1,99	1,55	2,76	4,43	8,01

2.2.4.3 Aramid (Kevlar) Elyaf

Aramid elyafı, genellikle Kevlar (DuPont) ve Twaron (Akzo Nobel) gibi ticari isimlerle anılan bir malzemedir. Cam elyaflara göre kevlar elyafları %35 daha hafif olduğu bilinmektedir. Ayrıca, aramid elyaflarının cam elyaflarına benzer bir basınç dayanıklılığına sahip olduğu da bilinmektedir. Bu özellikler aramidlerin tercih edilme nedenlerinden biridir. Kevlar ve Twaron gibi ticari markalar altında sunulan aramid elyafları, yüksek mukavemet ve hafiflik gerektiren uygulamalarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Aramid elyafların mekanik özellikleri Çizelge 2.6'da gösterilmiştir. Aramid elyafların bazı öne çıkan özellikleri;

- Yapısından dolayı yüksek dayanıklılıklara sahiptir.
- Darbe dayanımları diğer elyaf türlerine göre yüksektir.
- Yorulma dayanımlarının yüksek olduğu gibi aşınma dayanımları da yüksektir
- Yüksek kimyasal dayanım
- Genelde sarı renkli olarak bulunurlar
- Yoğunlukları düşüktür (Arıcasoy 2006, Uçsular 2007).

Çizelge 2.6 Piyasada bulunan aramid elyafların mekanik özellikleri.

Elyaf	Karakteristik	Modül (Gpa)	Çekme Dayanımı (Gpa)	Kopma Uzunluğu (%)	Yoğunluk (g/cm ³)
Nomex		17,00	0,6	22,00	13881,00
Fibre-B		128,00	45140,00	5,00	16438,00
Kevlar 29	Normal	70,00	45171,00	4,00	16072,00
Kevlar 49	Yüksek Modül	135,00	45171,00	45140,00	16438,00
Kevlar 129	Yüksek Dayanım	99,00	45019,00	44988,00	16438,00
Kevlar 149	Ultra Yüksek Dayanım	143,00	44987,00	45047,00	17168,00
Tawron		79,00	3,00	44988,00	16072,00
Tawron HM		123,00	45140,00	2,00	16072,00
Technora		70,00	44988,00	44989,00	14246,00

2.2.5 Parçacık Takviyeli Kompozit Malzemeler

Bu tür kompozit malzemeler, takviye malzemesinin boyutları ve özelliklerinin, kompozit malzeme üzerindeki etkisini ayarlar. Bu tür malzemelerde kullanılan parçacıklar genellikle kompozitin sertliğini artırmada etkilidir, ancak dayanıklılığı artırmada çok büyük bir etkiye sahip değildir. Parçacık dolguları genellikle fiziksel ve mekanik özellikleri artırmak için kullanılır, ancak bazı durumlarda maliyeti düşürmek amacıyla da kullanılabilir (Kaya 2016).

Parçacık takviyeli kompozitlerde takviye elemanları, genellikle uzun boyutlara sahip değildir. Takviye malzemesinin boyutları, mekanik özellikler için önem teşkil eder. Örneğin, uzun boyutlu olan takviye elemanları, oluşan dislokasyonların ilerlemesini engelleyebilir. Bu nedenle, elyaflar matrisin kırılma dayanımını artırmak için etkili bir seçenektir. Ancak parçacıklar kırılma dayanımını artırma etkisine sahip değildir. Yine de lastik gibi esnek parçacıklar, kırılma matrisinde kırılma dayanımını artırmak amacıyla kullanılabilir. Parçacıkların doğal olarak sertlik özellikleri olduğundan, matrisin plastik şekil değişiminde bazı kısıtlamalar getirirler. Parçacıklar yükü paylaşırlar, ancak elyafların yükleme eksenine paralel olarak yerleştirildiği kompozitlere kıyasla bu paylaşım düşük seviyede gerçekleşir. Bu nedenle, parçacıklar kompozit malzemelerin sertliğini artırma konusunda etkili olsa da mukavemeti artırmada aynı derecede etkili değildir. Parçacık dolguları genellikle maliyeti azaltmak amacıyla tercih edilirken, ısı ve elektrik iletkenliğini değiştirmek, sıcaklık performansını iyileştirmek, yüzey sertliğini

artırmak ve çekmeyi azaltmak gibi bazı özellikleri değiştirmek için kullanılabilirler. Parçacık dolgulu malzemelerde mekanik performansı etkileyen birçok faktör bulunmaktadır. Bunlar arasında parçacık boyutları, yüzey enerjileri tarafından etkilenen yapışma, hacimsel oranlar, parçacıkların homojen dağılımı ve eksen uzunlukları arasındaki oran, kompozit özelliklerini etkiler (Sevinç 2019).

2.2.6 Tabakalı Kompozit Malzemeler

Bu malzeme türleri, farklı özelliklere sahip tabakaların birleştirilmesiyle oluşturulan malzemelerdir. Bu malzemelerin tabakaları, suya, farklı mukavemet, yüzey sertliği, ağırlık, ısı iletimi, gözeneklilik veya diğer dış etkilere karşı direnç gibi özelliklere sahip olabilir. Tabakalı kompozitlerde genellikle tabakalar, kompozitin iki yönde katmanları oluşturacak şekilde yerleştirilir. Bu tabakalar, çeşitli yöntemler veya yapıştırıcılar kullanılarak bir araya getirilir (Ersoy 2001).

Tabakalı kompozit malzemelerin yapısında tabakalar arasındaki farklılık, malzemenin istenen özelliklerini sağlamak için önemlidir. Örneğin, bir tabaka yüksek mukavemet sağlarken, diğer tabaka ısı iletimini azaltabilir veya suya karşı direnci artırabilir. Bu şekilde, farklı tabakaların kombinasyonu ile istenen sonuç elde edilir.

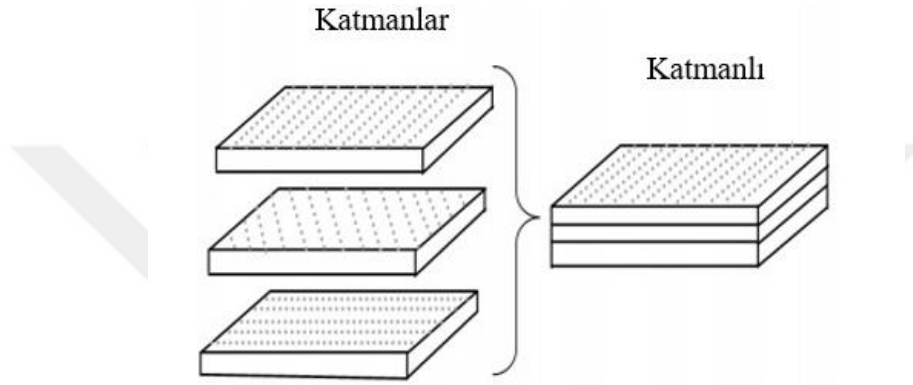
Tabakalar genellikle lif takviyeli malzemeler, polimer matrisler, metal veya seramik malzemeler gibi farklı bileşenlerden oluşur. Örneğin, karbon elyaf takviyeli polimer matrisli kompozitlerde, karbon elyaf tabakaları mukavemeti artırırken, polimer matris tabakaları esneklik sağlar.

Tabakalı kompozit malzemelerin üretimi, tabakaların bir araya getirilmesi sürecini içerir. Bu işlemde tabakalar genellikle sıkıştırılır veya yapıştırıcılar kullanılarak birbirine bağlanır. Bu şekilde, tabakalar birbirleriyle sağlam bir bağ oluşturur ve bir bütün halinde tutulur.

Tabakalı kompozit malzemeler, farklı mukavemet değerlerine sahip matris malzemeleriyle örgü veya çubuk şeklindeki fiber malzemelerin bir araya getirilerek oluşturulur. Bu malzemeler, en az iki farklı kompozit malzemenin birleşimiyle meydana

gelir. Kullanılan bu kompozit malzemeler en çok kullanılan malzeme türlerindendir (Yüce 2007).

Havacılık, otomotiv, denizcilik, yapı malzemeleri ve spor ekipmanları gibi çeşitli sektörlerde kullanılmaktadır. Yüksek mukavemet, hafiflik ve istenilen özellikleri sağlama kabiliyeti, tabakalı kompozit malzemeleri tercih edilen bir seçenek haline getirmektedir. Tabakalı kompozitlerin katmanları Şekil 2.3'te gösterilmiştir.



Şekil 2.3 Katmanlı kompozitler farklı katmanlardan oluşur (Ye 2002).

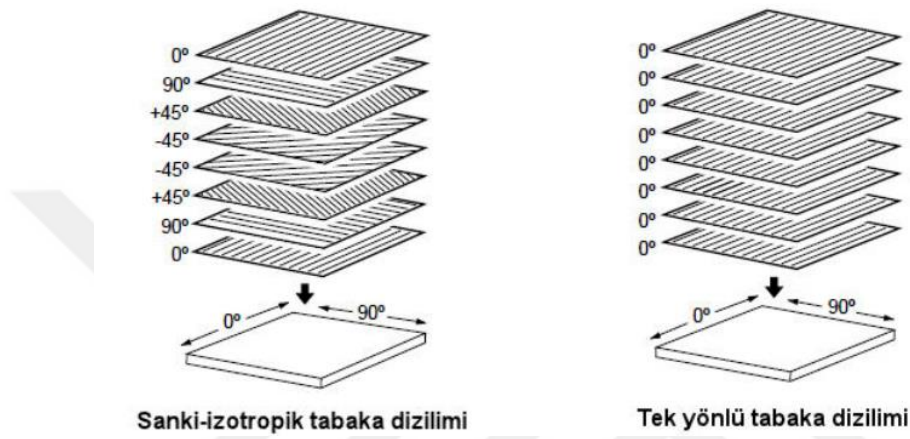
Tabakalı kompozit malzemelerin üretilmesi için farklı türden veya tek bir türden malzeme kullanılabilir. Bu malzeme türlerinden yola çıkılarak;

- Malzeme türleri farklı olan kompozit malzemeler,
- Tek bir malzeme türünden olan kompozit malzemeler, olarak iyi farklı grupta birleştirmek mümkündür.

Diğer yandan tabakalı kompozit malzemeler;

- Metal tabakalı kompozit malzemeler
- Cam tabakalı kompozit malzemeler
- Polimer esaslı tabakalı kompozit malzemeler
- Ahşap tabakalı kompozit malzemeler
- Tabakalı lifli kompozit malzemeler olarak da 5 şekilde sınıflandırılabilir (Yüce 2007).

Tabakalı kompozitlerde, farklı sayıda tabaka üst üste konulur. Bu tabakaların düzeni ve yönelimi malzemenin özelliklerini etkiler. Fiberlerin farklı yönlerde yerleştirilmesi, malzemenin mekanik özelliklerini geliştirir ve yüksek mukavemet değerlerine ulaşılmasını sağlar. Örneğin, tabakaların çeşitli açılarda yerleştirilmesiyle malzemenin aksenal, çekme, bükülme veya darbe dayanıklılığı artırılabilir. Elyafların yerleştirilme yönleriyle alakalı görsel Şekil 2.4'te gösterilmiştir.



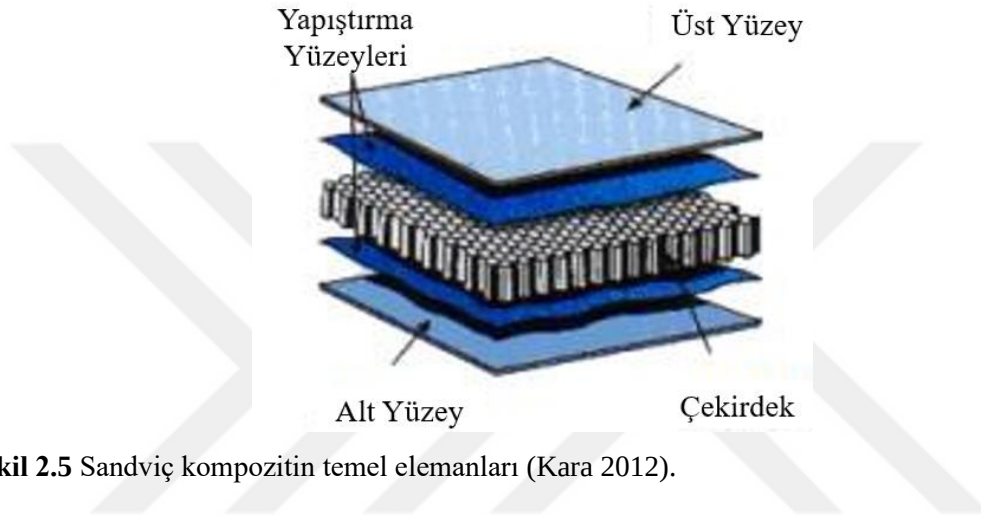
Şekil 2.4 Elyafların yerleştirilme yönleri (Akbulut 2018).

Sandviç yapılar, iki adet ince ve rijit malzemeden kesilerek elde edilen alt ve üst yüzey tabakalarının arasına kalın ve hafif bir çekirdek malzemesinin yerleştirilmesiyle oluşturulur. Bu yapı, çeşitli kullanım alanlarına uygun olarak tasarlanır ve çekirdek malzemesi genellikle bal peteği, köpük veya kafes şeklinde olabilir. Çekirdek malzemesi seçimi, yapıya istenen özellikleri kazandırmak amacıyla yapılır. Bal peteği veya köpük gibi hafif malzemeler, yapıya düşük yoğunluk sağlayarak genel ağırlığı azaltırken, kafes şeklindeki çekirdek yapılar daha yüksek mukavemet ve eğilme direnci sağlar. Kafes yapılar genellikle iki kompozit tabakanın arasında kullanılır ve yapıya ekstra dayanıklılık katmak için tercih edilir (Sevinç 2019).

Bu yapı, farklı malzemelerin özelliklerini birleştirerek avantajlar sağlar. Örneğin, dış tabakalar yüksek mukavemete sahip olabilirken, içerideki çekirdek malzemesi hafifliği sayesinde yapıya düşük yoğunluk kazandırır. Bu şekilde, sandviç kompozitler yüksek mukavemet, hafiflik, termal ve akustik yalıtım gibi özellikleri bir arada sunar.

Sandviç kompozitlerin uygulama alanları oldukça geniştir. Özellikle havacılık, otomotiv,

denizcilik ve inşaat sektörlerinde sıklıkla kullanılır. Havacılıkta uçak gövdeleri, kanatlar, iç mekân panelleri gibi birçok parçada sandviç kompozit malzemeler tercih edilir. Otomotiv sektöründe araç gövdeleri, kaputlar ve yan paneller gibi parçalarda kullanılırken, denizcilikte tekne gövdeleri ve deniz platformları için tercih edilir. Ayrıca inşaat sektöründe de cephe panelleri, çatı kaplamaları ve yalıtım malzemeleri gibi uygulamalarda sandviç kompozitler kullanılır. Sandviç kompozitin temel elemanları Şekil 2.5’te gösterilmiştir.



Şekil 2.5 Sandviç kompozitin temel elemanları (Kara 2012).

Sandviç yapılarında, yüzeyler önemli bir role sahiptir çünkü basma ve çekme gerilmelerini taşırlar. Bu yüzden genellikle çelik, paslanmaz çelik, alüminyum gibi geleneksel malzemeler yüzey elemanı olarak tercih edilir. Ancak, cam veya fiber takviyeli plastikler gibi malzemelerin de yüzey malzemesi olarak kullanılması uygun olabilir. Bu tür malzemelerin kullanımı kolaydır ve çeşitli uygulamalara uyum sağlayabilirler. Bunun yanı sıra yüzeyler bölgesel basınçları da taşır. Özellikle yüksek bölgesel basınç durumlarında, yüzeyler kayma kuvvetlerine dayanacak şekilde kullanılmalıdır (Kara 2012).

Yüzey malzemesinin seçimi, uygulama alanına, gereksinimlere ve maliyet faktörlerine bağlı olarak yapılır. Örneğin, yüksek mukavemet ve sertlik gerektiren uygulamalarda çelik veya alüminyum gibi konvansiyonel malzemeler tercih edilebilir. Ancak, hafiflik ve dayanıklılık ön planda olduğunda, cam veya fiber takviyeli plastikler daha uygun bir seçenektir.

Çekirdek, sandviç yapının önemli bir bileşenidir ve çeşitli fonksiyonlara sahiptir. İlk olarak, çekirdek, yüzeyler arasındaki mesafeyi korumak için yeterince kalın olmalıdır. Bu, sandviç yapının düzgün bir şekilde çalışabilmesi ve istenen kalınlıkta kalabilmesi için önemlidir. Rijit bir çekirdek, yüzeylerin arasındaki mesafeyi sabit tutarak deformasyonu engeller. Ayrıca, çekirdek, yüzeylerin birbirleri üzerinde kaymasını önlemek için kayma direncine sahip olmalıdır. Yüzeyler arasındaki kayma durumunda, çekirdek kayma direnciyle karşı koyarak yüzeylerin birbirleriyle hareket etmesini zorlar. Bu da sandviç yapının bütünlüğünü ve sertliğini korur. Eğer çekirdek kayma durumunda zayıf bir yapıya sahipse, yüzeyler birlikte hareket etmeyebilir ve sandviç yapının sertliği etkilenebilir (Kara 2012).

Sonuç olarak, sandviç yapıların yüzeyleri, yapıya dayanıklılık sağlayan ve bölgesel basınçları taşıyan önemli bileşenlerdir. Malzeme seçimi ve boyutlandırma, yüzeylerin performansını ve dayanıklılığını etkileyen faktörlerdir. Uygulama gereksinimlerine ve tasarım parametrelerine bağlı olarak uygun yüzey malzemesi seçilmeli ve yapısal bütünlük sağlanmalıdır.

3. MATERYAL ve METOT

Bu çalışmada kalınlıkları aynı polimer XPS ve EPS köpükleri kullanılarak yoğunlukları farklı cam elyaflar ile takviye edilerek kompozit malzeme üretimi yapılmıştır. Takviye edilen cam elyaflar 200 gr/m^2 ve 300 gr/m^2 özelliğinde polimer içerikli reçine ile vakum torbalama yöntemi ile birleştirilmiştir. Üretilen numunelere mekanik özelliklerinin tespiti için, üç nokta eğme, basma ve darbe testleri uygulanmıştır.

3.1 EPS (Genleştirilmiş Polistiren) Köpük

EPS köpük, polistiren polimerinin genleştirilmesiyle elde edilen bir polimer köpük malzemesidir. EPS köpüğün hafif, sert ve yalıtkan özellikleri bulunmaktadır. EPS köpükler binalarda ısı yalıtımı sağlamak, enerji verimliliğini artırmak ve sıcaklık kontrolünü optimize etmek için kullanılır. Aynı zamanda ambalaj endüstrisinde, taşıma sırasında ürünlerin korunmasında da kullanılırlar. EPS köpükler üretimi ve kullanımı, sürdürülebilirlik çabalarına da katkıda bulunur, çünkü bu malzemeler geri dönüştürülebilir. Şekil 3.1’de EPS köpük gösterilmiştir.



Şekil 3.1 EPS köpük (İnt. Kyn. 1).

EPS köpüğün bazı özellikleri şunlardır;

- Hafiflik: EPS köpük, düşük yoğunluğuyla bilinir. Hafif olması, taşıma kolaylığı sağlar ve yapıların ağırlığını azaltır.
- Yüksek Yalıtım: EPS köpük, düşük ısı iletkenliği özelliği sayesinde etkili bir ısı

yalıtım malzemesidir. Isı köprülerini engeller ve enerji tasarrufuna yardımcı olur.

- **Mekanik Dayanıklılık:** EPS köpük, hücresel yapısı sayesinde iyi bir darbe direncine sahiptir. Bu özelliği, malzemenin deformasyon ve çarpışmalara karşı dayanıklılığını artırır.
- **Su Direnci:** EPS köpük, kapalı hücre yapısı sayesinde su emme özelliği düşüktür. Bu özellik, malzemenin nemden etkilenme riskini azaltır.
- **Ses Yalıtımı:** EPS köpük, ses dalgalarını emebilen ve yansıtabilen bir malzemedir. Bu özelliği, ses yalıtımı için ideal bir seçenek yapar.
- **Düşük Maliyet:** EPS köpük, düşük üretim maliyeti ve kolay şekillendirilebilirliği sayesinde ekonomik bir malzemedir.
- **Geri Dönüşüme Uygunluk:** EPS köpük, geri dönüşüme uygun bir malzemedir. Doğru geri dönüşüm süreçleriyle yeniden kullanılabilir veya yeni ürünlerde kullanılabilir.

3.2 XPS (Ekstrüzyon Polistiren) Köpük

XPS köpük, farklı endüstrilerde ve uygulamalarda yaygın olarak kullanılır. İnşaat sektöründe, yapıların termal izolasyonunda, soğuk hava depolarında ve HVAC (Heating, ventilation and air conditioning) sistemlerinde kullanılır. Ambalaj endüstrisinde, hassas ürünlerin korunması için kullanılan bir malzemedir. Ayrıca otomotiv sektöründe, araçların ses ve ısı yalıtımında da tercih edilir. Şekil 3.2’te XPS köpük gösterilmiştir.



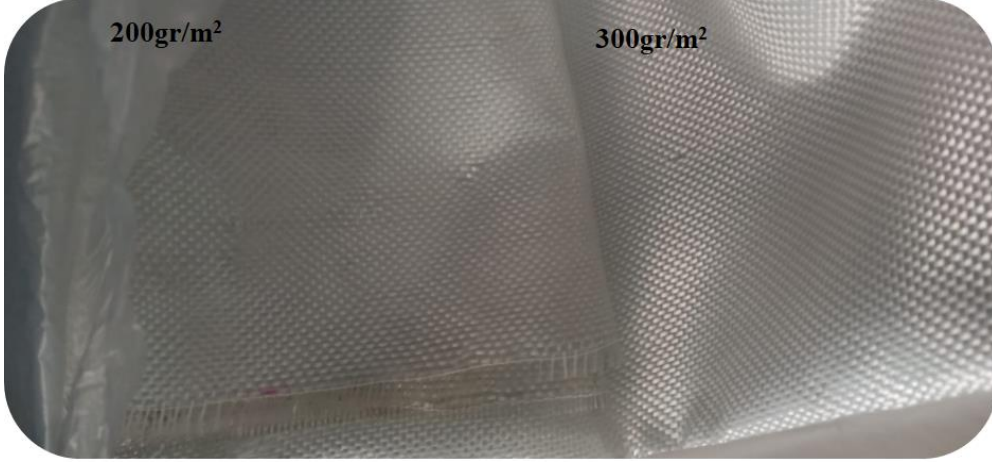
Şekil 3.2 XPS köpük (İnt. Kyn. 2).

XPS köpüğün bazı özellikleri:

- **Yüksek Yoğunluk:** XPS köpük, yüksek yoğunluğa sahip bir malzemedir. Yoğunluğu genellikle 28-45 kg/m³ arasında değişir. Bu yüksek yoğunluk, malzemenin dayanıklılığını artırır ve sıkıştırma ve çekme kuvvetlerine karşı direnç sağlar.
- **Termal İzolasyon:** XPS köpük, yüksek termal izolasyon özelliklerine sahiptir. Hücreli yapısı ve kapalı hücreler arasındaki gaz dolgusu, ısı transferini engeller. Bu özellik, binalarda ve yapıların dış duvarlarında, çatılarında ve zeminlerinde termal izolasyon sağlamak için yaygın olarak kullanılır.
- **Su Direnci:** XPS köpük, su direnci gösterir. Hücre yapısı, su emilimini azaltır ve malzemenin suya dayanıklı olmasını sağlar. Bu özellik, suya maruz kalma riski olan uygulamalarda kullanımını destekler.
- **Yüksek Darbe Dayanımı:** XPS köpük, yüksek darbe dayanımına sahiptir. Malzeme, darbelere ve çarpmalara karşı direnç gösterir. Bu özellik, özellikle ambalaj ve taşıma uygulamalarında kırılabilir ürünlerin korunması için önemlidir.
- **Kimyasal Direnç:** XPS köpük, birçok kimyasal maddeye karşı dirençlidir. Asitler, bazlar, yağlar ve çözücüler gibi çeşitli kimyasallara karşı dayanıklılık gösterir. Bu özellik, çeşitli endüstrilerde ve uygulamalarda kullanımını destekler.
- **Yüksek Sıkıştırma Dayanımı:** XPS köpük, yüksek sıkıştırma dayanımına sahiptir. Bu özellik, malzemenin sıkıştırma ve yükleme altında deformasyona karşı direnç göstermesini sağlar.

3.3 Cam Elyaf

Cam elyaf, cam iplikleri bir araya getirilerek oluşturulan bir malzemedir. Cam elyafın dayanıklı, hafif ve yüksek mukavemet özellikleri nedeniyle geniş bir endüstriyel uygulama yelpazesinde kullanılmaktadır. Resim 3.1’de tez çalışmasında kullanılan 200gr/m² ve 300gr/m² özelliğindeki cam elyaflar gösterilmiştir.



Resim 3.1 Cam elyaf

Bazı avantajları şunlardır;

- Yüksek satış değeri, farklı tiplerde ve farklı ihtiyaçlara uygun hale getirilmesine olanak sağlar.
- Cam elyafların fiyatları diğer elyaflara göre daha ucuzdur.
- Cam elyafların çekme mukavemeti oldukça yüksektir, bu da malzemenin dayanıklılığını artırır.
- Cam elyaf iyi bir elektrik yalıtıcısıdır, yani elektriği iyi bir şekilde yalıtır ve iletmez.
- Bu elyaflar korozyif ortamlarda kullanılabilmesi için kimyasal dirençleri yüksektir.
- Cam elyaflar uygun olarak termal dirençlere sahiptir (İnt. Kyn. 3).
- Farklı kimyasal maddeler karşısında dirençler gösterebilirler.
- Cam elyaflarının çekme mukavemeti oldukça iyidir ve birim ağırlık başına düşen dayanıklılığı çelikten bile daha fazladır.

Bazı dezavantajları şunlardır;

- Cam elyafları nispeten kırılgandır ve kabadır.
- Cam elyaflar taşıma esnasında yıpranmaya karşı hassastır.
- Bu elyafların yorulma dirençleri düşüktür.
- Isıl direnç kat sayıları düşüktür ve cam elyafları yanmaya karşı dirençlidir, ancak

yüksek sıcaklıklarda yumuşayabilirler.

- Cam elyafları nemi absorbe etmez veya tutmaz. Ancak cam elyaflı kompozit malzemelerde, matriks ile cam elyaf arasında nemden dolayı çözülme sorunu olabilir. Bu sorunu önlemek için özel elyaf kaplama işlemleri uygulanır.
- Cam elyafları elektrik iletkenliği göstermez, tam tersine yalıtkan özelliklere sahiptirler. Bu özellikleri sayesinde yalıtkan malzemelerin gerektiği uygulama alanlarında kullanılan elyaflı malzemeler tercih edilebilir (Aslan 2017).

3.4 Epoksi ve Reçine

Epoksi, iki bileşenli bir polimer malzemedir. Genellikle sıvı bir reçine ve sertleştirici olarak adlandırılan bir katalizör içerir. Bu iki bileşen karıştırıldığında kimyasal reaksiyona girer ve sertleşir, sonucunda dayanıklı ve sert bir plastik malzeme oluşur. Epoksi reçinelerin bazı önemli özellikleri şunlardır;

- Yüksek mukavemet: Epoksi reçineler, yüksek mukavemet özelliklerine sahiptir. Bu nedenle, sağlam ve dayanıklı yüzeyler oluşturmak için tercih edilirler.
- Kimyasal direnç: Epoksi reçineler, kimyasal etkilere karşı dayanıklıdır. Asitler, bazılar, çözücüler ve diğer agresif maddelere karşı direnç gösterirler.
- Yüksek yapışma özelliği: Epoksi reçineler, birçok farklı yüzeye mükemmel bir şekilde yapışabilirler. Ahşap, metal, beton, seramik ve plastik gibi malzemelerle iyi bir şekilde uyum sağlarlar.
- Düşük darbe emilimi: Epoksi reçineler, darbeye karşı iyi bir direnç gösterirler. Bu özellikleri, kompozit malzemelerin üretiminde kullanıldıklarında yapısal güvenlik sağlar.

Epoksi reçinelerin kullanımı genellikle aşağıdaki adımları içerir:

- Hazırlık: İki bileşenli epoksi reçineler genellikle belirli oranlarda karıştırılmalıdır. Üretici talimatlarına uygun olarak doğru miktarlarda reçine ve sertleştirici hazırlanmalıdır.
- Karıştırma: Reçine ve sertleştirici bir karıştırma kabında iyice karıştırılmalıdır.

Bu, kimyasal reaksiyonun başlaması için gereklidir. Karıştırma işlemi genellikle bir spatula, karıştırma çubuğu veya karıştırıcı bir cihaz kullanılarak yapılır.

- Uygulama: Karıştırılan epoksi reçine, uygulama yapılacak yüzeye dökülür veya sürülür. Bu noktada, reçine, uygulama yöntemine bağlı olarak bir fırça, rulo veya sprey ile düzgün bir şekilde yayılmalıdır.

Kürleşmesi için reçine karışımını oluşturan bir kimyasallardır. Tabaka yapılı malzemelerin üretimi esnasında MGS L285 epoksi malzemesi ve MGS H285 sertleştiricisi karıştırılarak uygulanmıştır. Resim 3.2'de ise bu üretim sürecinde kullanılan epoksi ve reçine gösterilmiştir (Şimşir 2020).



Resim 3.2 Epoksi ve reçine.

3.5 Üretim Yöntemleri

3.5.1 Vakum Torbalama Yöntemi

Vakum torbalama, kompozit yapıların üretiminde kullanılan bir yöntemdir. Bu yöntemde, kompozit kumaş malzeme bir kalıp içerisine el ile yerleştirilir ve reçine el ile kalıp içine dağıtılır. Vakum torbalama üretim metodu, el ile yerleştirme yöntemiyle kompozit yapı üretiminin dezavantajlarını ortadan kaldırarak dayanıklı ve hafif kompozit yapıların üretilmesini sağlar. Vakum torbalama yönteminde negatif basınç uygulanması, reçine ve kompozit kumaş arasındaki havanın dışarıya çekilmesini sağlar. Hava kabarcıklarından arınmış katmanlı yapılar üretilir. Aynı zamanda vakum sayesinde reçine, bütün katmanlara tam olarak nüfuz edebilir. Bu da kompozit yapının içindeki hava

kabarcıklarını minimize ederek çatlak oluşumunu engeller ve yapının mukavemetini artırır. Vakum uygulaması sonucunda fazla reçine emilerek, yapının lif-reçine oranı artar. Reçinenin tüm katmanlar arasında homojen bir şekilde yayılması sağlanır ve bu sayede homojen bir karışım yapılmış olur. Aynı zamanda, vakum uygulaması sırasında katmanlar birbirlerine baskı uygularlar, bu da katmanların birleşim mukavemetini artırır (Turgut vd.2007).

Sonuç olarak, vakum torbalama yöntemi, kompozit yapıların üretiminde kullanılan etkili bir tekniktir. Bu yöntem, hava kabarcıklarından arınmış ve homojen bir yapı elde etmeyi sağlar. Aynı zamanda, yapıların daha sağlam, hafif ve mukavemetli olmasını sağlar. Vakum torbalama yöntemi, kompozit yapı üretiminde tercih edilen bir yöntemdir. Vakum torbalama yöntemi Resim 3.3'te gösterilmiştir.

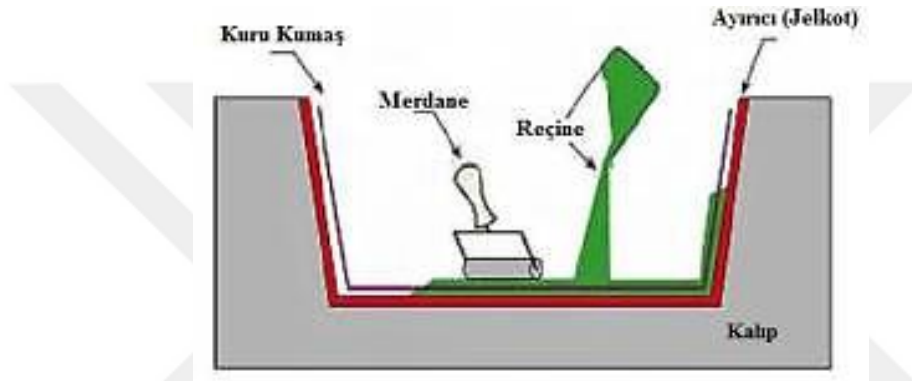


Resim 3.3 Vakum torbalama yöntemi.

3.5.2 El Yatırma Yöntemi

El yatırma yöntemi, düşük ve orta hacimli temas kalıplama işlemlerinde kullanılan basit bir yöntemdir ve genellikle büyük boyutlu yapısal parçaların üretiminde tercih edilir. Bu teknik, kayık teknesi, tanklar, sandıklar gibi parçaların üretiminde sıklıkla kullanılır. El yatırma tekniğinde, keçe veya dokuma şeklindeki elyaf malzeme, hazırlanan bir kalıp üzerine veya içine yerleştirilir ve fiber malzeme reçine ile ıslatılır. İstenilen kalınlığa ulaşılan kadar bu işlem tekrarlanarak çok katmanlı bir kompozit yapılır. Reçine içindeki hava kabarcıklarının oluşmasını engellemek için bir rulo yardımıyla çıkarılır. Sertleştirici, oda sıcaklığında reçineyi sertleştirerek malzemenin dayanıklılığını artırır. El yatırma tekniğinde, en yaygın olarak kullanılan reçine türleri polyester ve epoksidir (Deniz 2005).

Elle yatırma yöntemi, diğer yöntemlere göre daha kolay ve pratik olan bir üretim yöntemidir. Bu yöntemde, önceden hazırlanan kalıp içerisine yerleştirilen kumaş halindeki karbon fiberler, bir fırça yardımıyla reçine ile kaplanır ve fiberlerin üzerinde boşluk kalmayacak şekilde düzgün bir şekilde yayılır. El yatırma yönteminde, genellikle epoksi ve polyester gibi uygun reçineler kullanılır. Ayrıca fenolik ve vinil ester reçineler de tercih edilebilir. Reçine ve fiber arasında yapışmayı önlemek için jelkot (ayırıcı) uygulanır. Şekil 3.3'te el yatırma işleminin şematik gösterimi şematik olarak gösterilmektedir.



Şekil 3.3 El yatırma işleminin şematik gösterimi (İnt.Kyn.4).

3.6 Test Yöntemleri

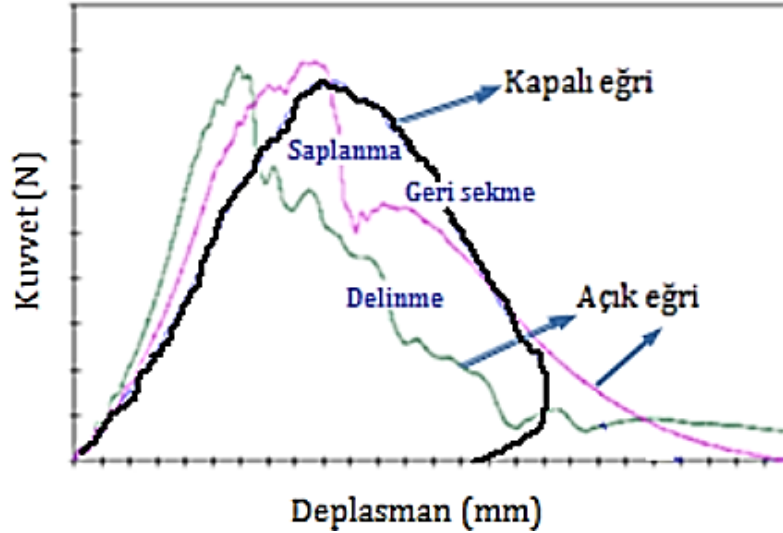
3.6.1 Darbe Test Yöntemleri

Tabakalı kompozit malzemelerin darbe direncini değerlendirmek için çeşitli testler kullanılır. Bu testler, malzeme üzerine uygulanan darbe simülasyonlarıyla yapılan ölçümler aracılığıyla gerçekleştirilir. Farklı test teknikleri darbe oluşturmak için kullanılabilir. Ancak, kompozit malzemelerin darbe davranışını karakterize etmek için evrensel kabul görmüş bir standart test tekniği veya yöntem bulunmamaktadır. Bu durum, farklı kaynaklardan elde edilen sonuçların karşılaştırılmasında zorluklar ortaya çıkarabilir ve uygun bir darbe modeli geliştirmeyi zorlaştırabilir. Buna rağmen, kompozit malzemelerin darbe direncini belirlemek için test yöntemi ve cihazı yaygın olarak kullanılmaktadır. Şekil 3.4'te test yönteminde kullanılan Instron Ceast 9350 cihazı gösterilmektedir.



Şekil 3.4 Instron ceast 9350 cihazı.

Charpy darbe testi, izod darbe testi ve çekme darbe testi gibi yöntemler, genellikle tek bir darbe sonucunda numune tarafından absorbe edilen enerji miktarını ölçmek için kullanılır. Instron / Ceast 9350 Hızlı Darbe Test Cihazı ise çekme darbesi, delme, Izod ve Charpy gibi çeşitli darbe testlerinde, kompozit malzemelerden nihai ürünlere kadar birçok numunenin test edilmesi için kullanılmaktadır.



Şekil 3.5 Darbe testi sonucu kuvvet – yer değiştirme eğrileri (Öndürücü ve Karacan 2018).

Darbe testlerinde genellikle geri sekme, nüfuziyet ve delinme olmak üzere üç hasar modu oluşur. Şekilden görüldüğü üzere, düşük enerjili darbelerde (örneğin geri sekme eğrisi gibi), eğri parabolik bir eğridir ve dağa benzeyen bir şekle sahiptir. Uygulanan

darbe enerjisinin artmasıyla meydana gelen kuvvet de artmakta, saplanma ve delinme eğrilerinde de görüldüğü üzere maksimum kuvvet değeri de hemen hemen sabit bir değer olmaktadır. Numunede delinme meydana geldiğinde kuvvetin sıfır olması gerekir fakat vurucu ve numune arasındaki sürtünme nedeniyle eğrinin uç kısmı yatay eksene paralel şekilde ilerler (Öndürücü vd. 2018). Şekil 3.5'te darbe testi sonucu kuvvet–yer değiştirme eğrileri gösterilmektedir.

3.6.2 Sandviçin Kenarı Doğrultusunda (Edgewise) Basma Test Yöntemi

Bu test yöntemi uygulanırken ASTM C393-00 standardı kullanılmıştır. Bu standarta göre, numunelere uygulanan yük hareketli çene ile 1 mm/dakika ilerlemektedir (Kara 2012). Standarta uygun olarak hazırlanan numuneler, SHMADZU AUTOGRAPH AG-100 evrensel test cihazında kenarları boyunca basma testine tabi tutulmuştur. Resim 3.4'te tabakalı kompozit malzemeye basma testi örneği gösterilmektedir.



Resim 3.4 Tabakalı kompozit malzemeye basma testi.

3.6.3 Üç Nokta Eğilme Test Yöntemi

Bu test yöntemi uygulanırken ASTM C393-00 standardı kullanılmıştır. Bu standarta göre, numunelere uygulanan yük hareketli nokta ile 1 mm/dakika ilerletilir. Standarta uygun olarak hazırlanan numuneler, SHMADZU AUTOGRAPH AG-100 evrensel test cihazında üç nokta eğme testine tabi tutulmuştur. Bu test yönteminde, çekirdek malzemesi olarak kullanılan EPS ve XPS köpüklerin boyutları 180x30x20 mm belirlenmiştir. Üç nokta eğme test düzenek ise Resim 3.5'te gösterilmiştir.



Resim 3.5 Üç nokta eğilme test düzeneği.

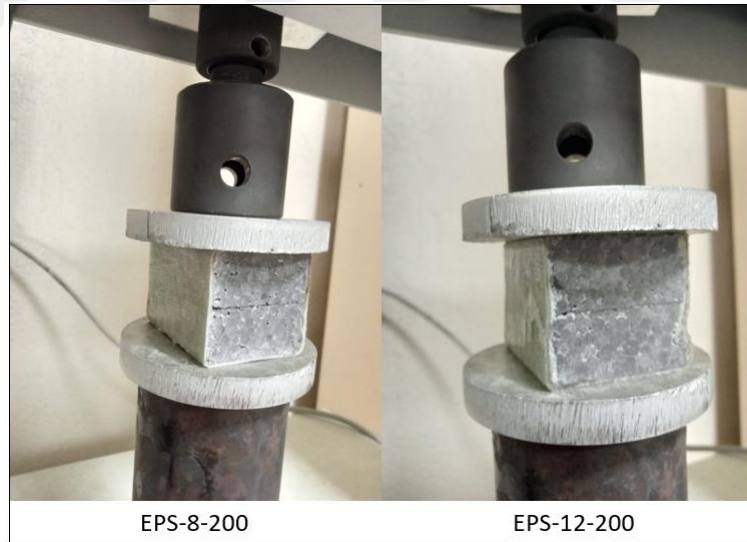
4. BULGULAR

Bulgular basma testleri, üç nokta eğme testleri ve darbe testleri olarak üç ana kısımdan oluşmaktadır.

4.1 Basma Test Sonuçları

Basma testlerinde katman kalınlıkları, elyaf yoğunlukları ve tabakaların (XPS ve EPS köpüklerin) kıyaslaması olarak üç kısımda incelenmiştir. Basma testlerinde 1mm/dk. ilerleme hızı kullanılmıştır. Katman tabakaları iki tarafa eşit olacak şekilde (dört alta dört üste olmak üzere toplam sekiz ve altı alta altı üste olmak üzere toplam on iki katmanlı) numuneler üretilmiştir. Basma testleri %50 deformasyona kadar sürdürülmüş ve sonrasında deney sonlandırılmıştır. Her deneyden 3 adet numune test edilmiş ve ortalamaları alınarak grafikler çizilmiştir.

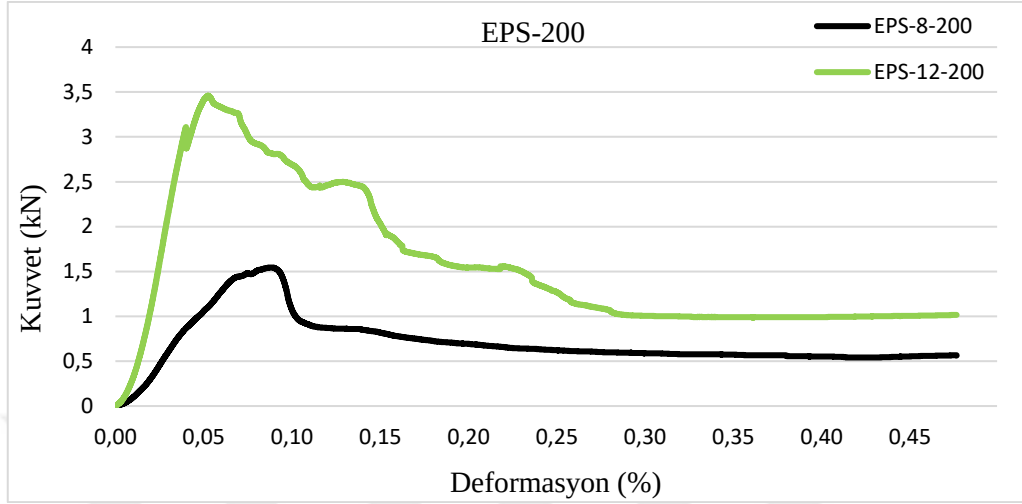
4.1.1 Katman Kalınlığının Basma Dayanımına Etkisi



Resim 4.1 EPS-8-200 ve EPS-12-200 numunelerinin basma testi.

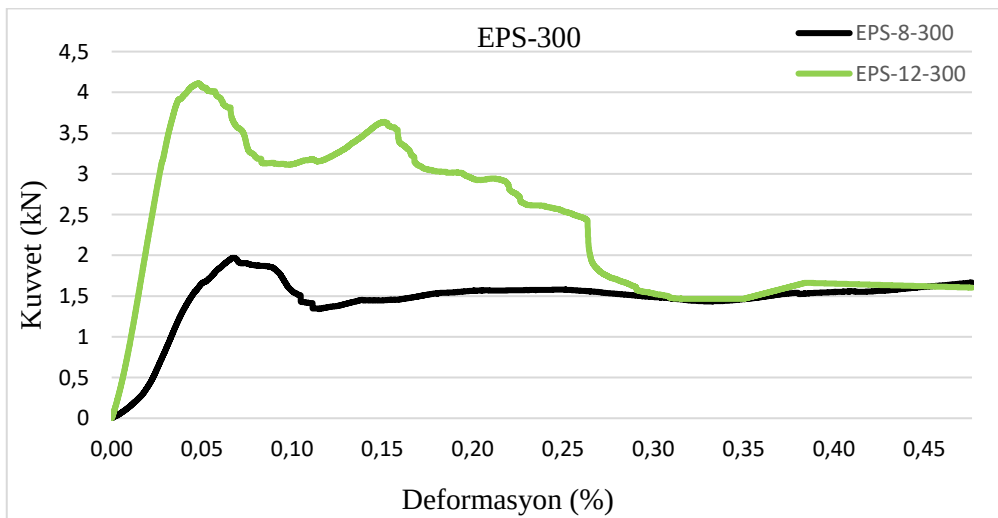
Basma test numuneleri 40x40x50 mm ebatlarında kesilmiştir. Resim 4.1’de EPS-8-200 ve EPS-12-200 numunelerinin basma testi öncesi durumları verilmiştir. Deneyler ASTM C 393-00’a göre 1 mm/dk hızda kuvvet uygulanarak gerçekleştirilmiştir.

Şekil 4.1’de EPS köpük çekirdekli 200gr/m² özelliğindeki cam elyaf katkılı numunelerin katman kalınlığının basma dayanıma etkisi incelenmiştir.



Şekil 4.1 Katman kalınlığının basma dayanımına etkisi (EPS, 200 gr.).

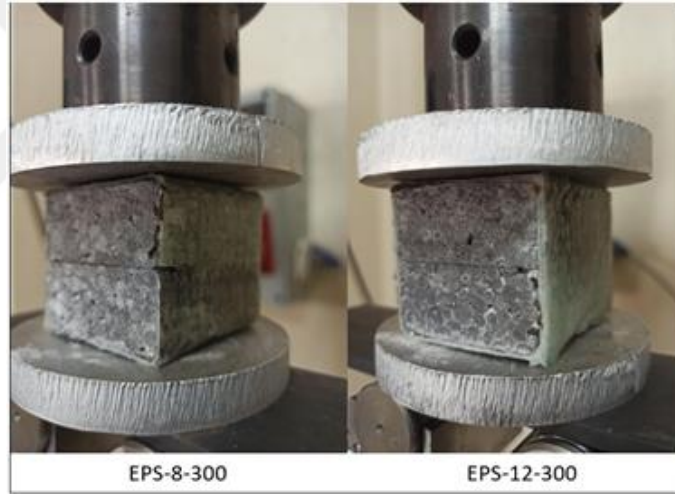
EPS-12-200 ve EPS-8-200 numunelerine basma testi uygulandığında yaklaşık olarak sırası ile 3500 N ve 1500 N maksimum kuvvette kadar çıktığı görülmüştür. Bu kuvvet değerlerinde yaklaşık olarak EPS-12-200’de %6, EPS-8-200’de %10 deformasyonda gerçekleşmiştir. Kuvvet uygulanmaya devam etmesine rağmen elyaf tabakalarda kırılmalar meydana gelmesinden dolayı numune üzerine uygulanan kuvvet azalmış ve gözenekli malzemelerin basma test grafiklerine benzer şekilde yatay olarak devam etmiştir. Sonuç olarak EPS-12-200 kompozit malzemesinin EPS-8-200 malzemesine göre daha iyi performans gösterdiği tespit edilmiştir.



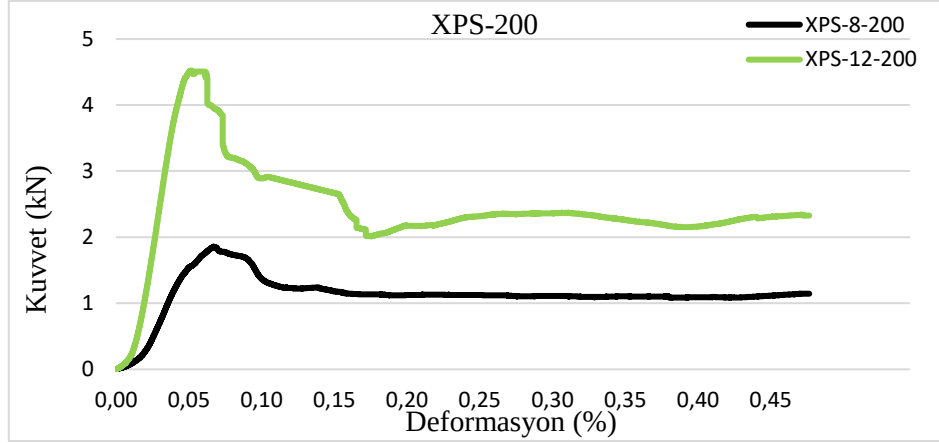
Şekil 4.2 Katman kalınlığının basma dayanımına etkisi (EPS, 300 gr.).

Şekil 4.2’de EPS köpük çekirdekli 300gr/m² özelliğindeki cam elyaf katkılı numunelerin katman kalınlığının basma dayanıma etkisi incelenmiştir. Grafik incelendiğinde EPS-12-300 ve EPS-8-300 numunelerine basma testi uygulandığında yaklaşık olarak sırası ile 4100 N ve 2000 N kuvvette kadar çıktığı görülmüştür. EPS-8-300’de %6, EPS-12-300’de %8 deformasyon değerinde maksimum kuvvete ulaşılmıştır. Test devam ettirilmiş olup yaklaşık %30 deformasyonda 1500 N değerinde kuvvetler eşitlenerek devam etmiştir. %50 deformasyon değerine gelince test sonlandırılmıştır. Sonuç olarak EPS-12-300 kompozit malzemesinin EPS-8-300 kompozit malzemesine göre kuvvet uygulandığında daha dayanıklı olduğu tespit edilmiştir.

Resim 4.2’de EPS-8-300 ve EPS-12-300 numunelerinin basma testi öncesi durumları verilmiştir. Numune üzerine 1 mm/dk hızda kuvvet uygulanarak test gerçekleştirilmiştir.



Resim 4.2 EPS-8-300 ve EPS-12-300 numunelerinin basma testi.

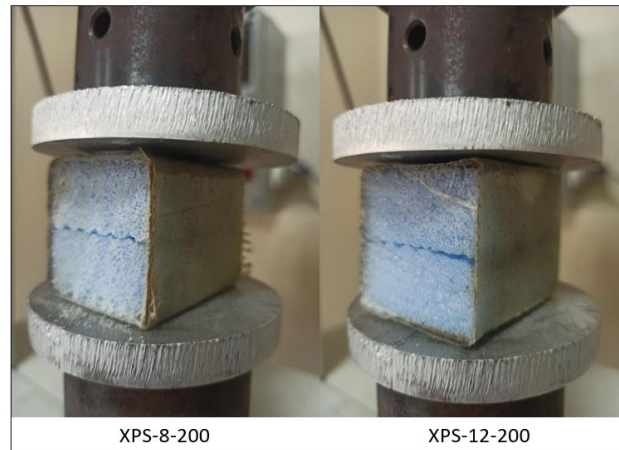


Şekil 4.3 Katman kalınlığının basma dayanımına etkisi (XPS, 200 gr.).

Şekil 4.3’de XPS köpük çekirdekli 200gr/m² özelliğindeki cam elyaf katkılı numunelerin katman kalınlığının basma dayanıma etkisi incelenmiştir.

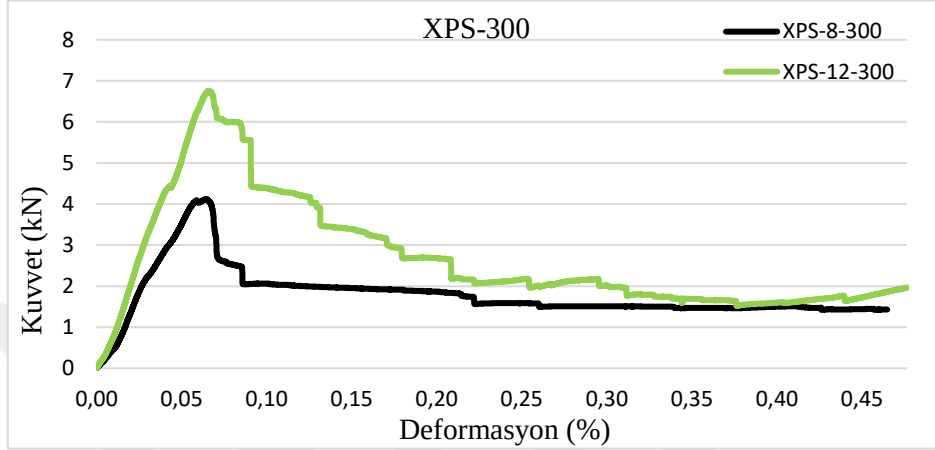
XPS-12-200 ve XPS-8-200 numunelerine basma testi uygulandığında yaklaşık olarak sırası ile 4500 N ve 1800 N kuvvet değerine kadar çıktığı görülmüştür. XPS-12-200 ve XPS-8-200’de maksimum kuvvet değerlerine yaklaşık olarak %5 civarında deformasyon değerinde ulaşılmıştır. Test devam ettirilmesi durumunda %20 deformasyondan sonra kuvvet değerleri XPS-12-200 numunesinde ortalama 2200 N, XPS-8-200 numunesinde ise 1000 N civarında paralel olarak devam etmiştir. Sonuç olarak 12 katlı numunenin 8 katlı numuneye oranla dahi iyi performans gösterdiği sonucuna varılmıştır.

Resim 4.3'te EPS-8-200 ve EPS-12-200 numunelerinin basma testi öncesi durumları verilmiştir. Numune üzerine 1 mm/dk hızda kuvvet uygulanarak test gerçekleştirilmiştir



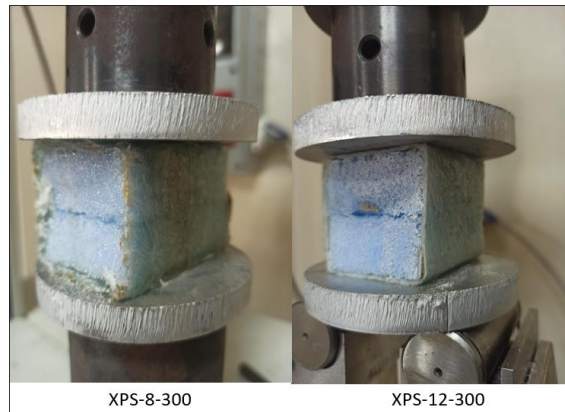
Resim 4.3 XPS-8-200 ve XPS-12-200 numunelerinin basma testi.

Şekil 4.4'te XPS köpük çekirdekli 300gr/m² özelliğindeki cam elyaf katkıli numunelerin katman kalınlığının basma dayanıma etkisi incelenmiştir. Şekil 4.4'teki grafik incelendiğinde XPS-12-300 ve XPS-8-300 numunelerine her iki numunede de maksimum kuvvet yaklaşık olarak deformasyonun %7'de gerçekleştiği görülmüştür.



Şekil 4.4 Katman kalınlığının basma dayanımına etkisi (XPS, 300 gr.).

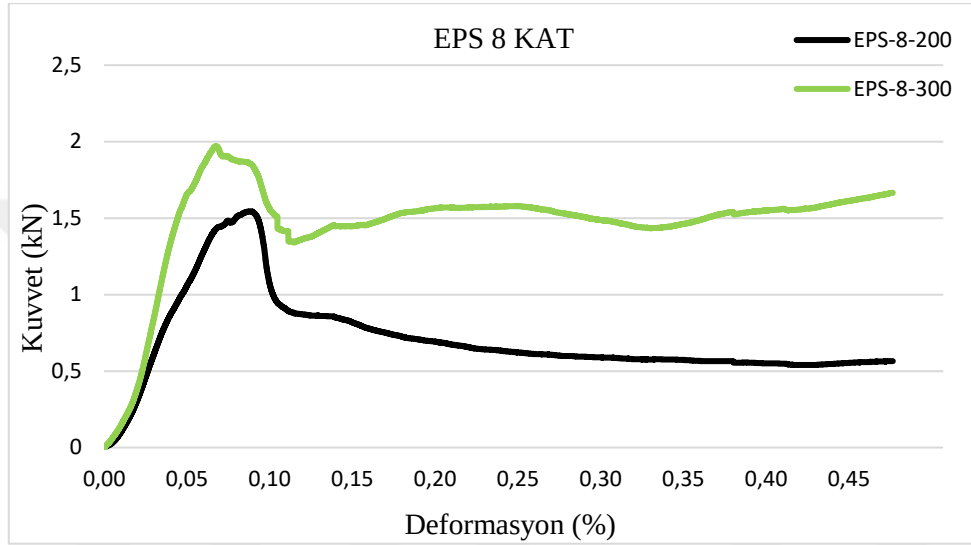
Yaklaşık olarak XPS-12-300'de 6800 N ve XPS-8-300'de 4100 N kuvvet değerlerine ulaşıldığı görülmüştür. Kuvvet uygulanmaya devam etmesine rağmen elyaf tabakalarda kırılmalar meydana gelmesinden dolayı numune üzerine uygulanan kuvvet azalmıştır. Test devam ettirilmiş olup yaklaşık %35 deformasyonda 1500 N değerinde kuvvetler eşitlenerek devam etmiştir. Sonuç olarak XPS-12-300 kompozit malzemesinin XPS-8-300 kompozit malzemesine göre kuvvet uygulandığında daha dayanıklı olduğu tespit edilmiştir. Resim 4.4'te XPS-8-300 ve XPS-12-300 numunelerinin basma testi öncesi durumları verilmiştir.



Resim 4.4 XPS-8-300 ve XPS-12-300 numunelerinin basma testi.

4.1.2 Elyaf Yoğunluğunun Basma Dayanımına Etkisi

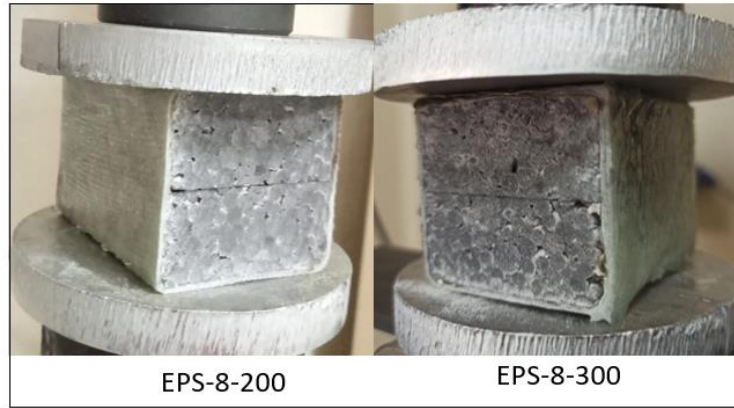
Çalışmada katman sayısı ve köpük çekirdek kısımları aynı bırakılarak 200gr/m² ve 300gr/m² özelliğindeki kumaş kullanılarak üretilen numuneler kıyaslanmıştır. Şekil 4.4’de EPS köpük çekirdekli 8 katlı numunelerin 200gr/m² ve 300gr/m² özellikli numuneler kıyaslanmıştır.



Şekil 4.5 Elyaf yoğunluğunun basma dayanımına etkisi (EPS, 8 kat).

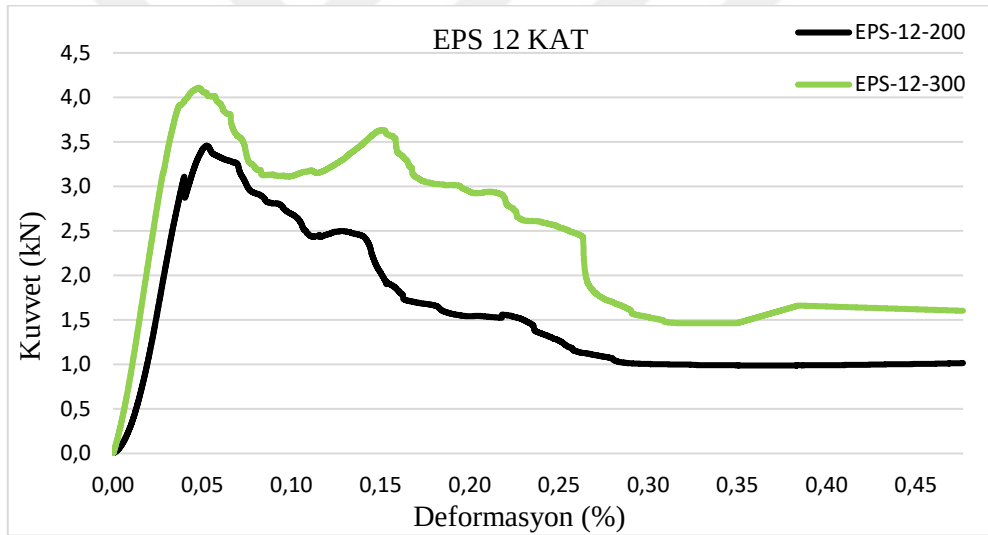
Şekil 4.4’teki grafik incelendiğinde EPS-8-300 numunesi yaklaşık olarak 2000 N ve EPS-8-200 numunesi yaklaşık olarak 1600 N kuvvet değerlerine ulaştığı gözlemlenmiştir. EPS-8-300’de %6, EPS-8-200’de %9 deformasyon gerçekleştiği gözlemlenmiştir. Yaklaşık %20 deformasyondan sonra EPS-8-200, 600 N, EPS-8-300 ise 1500 N civarında sabit olarak ilerlemiştir. Sonuç olarak EPS-8-300 kompozit malzemesinin EPS-8-200 kompozit malzemesine göre kuvvet uygulandığında daha mukavemetli olduğu tespit edilmiştir.

Resim 4.5’te EPS-8-200 ve EPS-8-300 numunelerinin basma testi öncesi durumları verilmiştir.



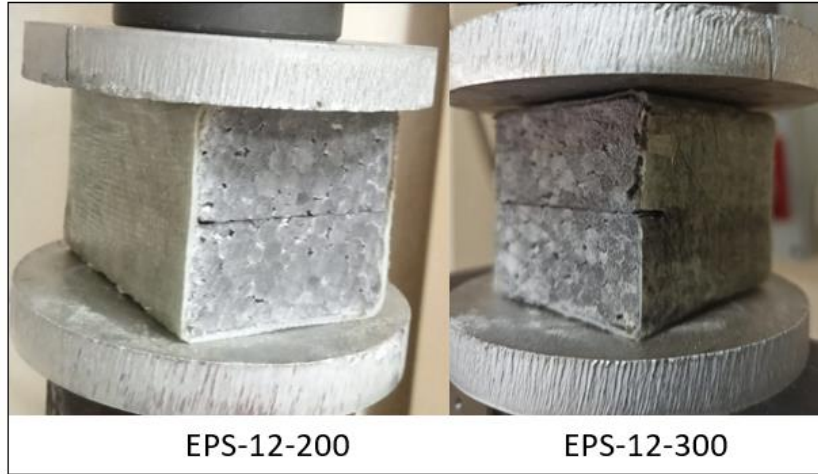
Resim 4.5 EPS-8-200 ve EPS-8-300 numunelerinin basma testi.

Şekil 4.6'da EPS köpük çekirdekli 12 katlı numunelerin 200gr/m² ve 300gr/m² özelliklileri kıyaslanmıştır.



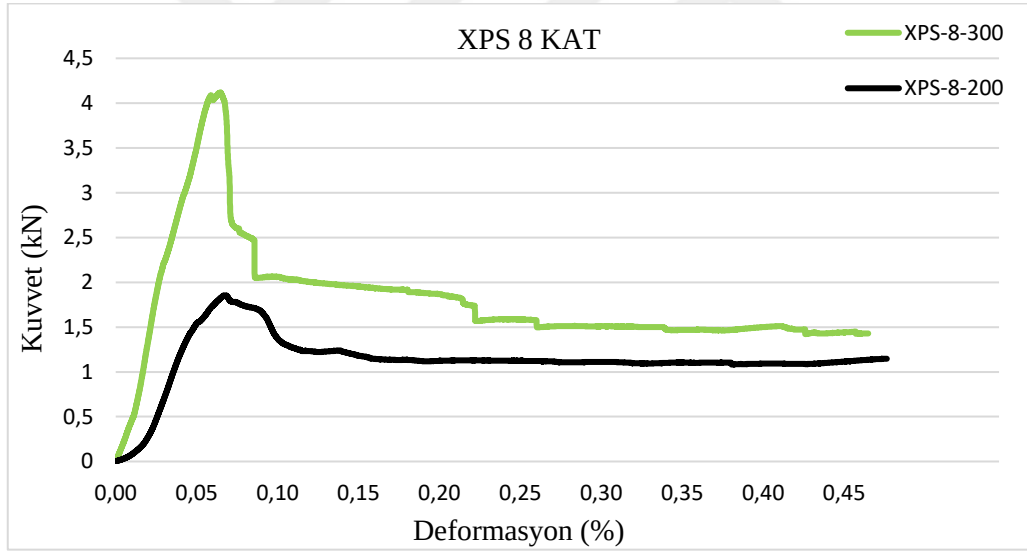
Şekil 4.6 Elyaf yoğunluğunun basma dayanımına etkisi (EPS, 12 kat).

Şekil 4.6'da grafik incelendiğinde benzer bir deformasyon eğrisi göstermiş olup EPS-12-300 yaklaşık olarak 4150 N ve EPS-12-200'de yaklaşık olarak 3500 N kuvvetlere ulaşıldığı gözlemlenmiştir. Maksimum kuvvetler yaklaşık olarak EPS-12-300'de %5 ve EPS-12-200'de %7 deformasyon gerçekleştiği gözlemlenmiştir. Sonuç olarak EPS-12-300 kompozit malzemesinin EPS-12-200 kompozit malzemesine göre kuvvet uygulandığında daha dayanıklı olduğu tespit edilmiştir. Deney öncesi görüntüleri Resim 4.6'da verilmiştir.



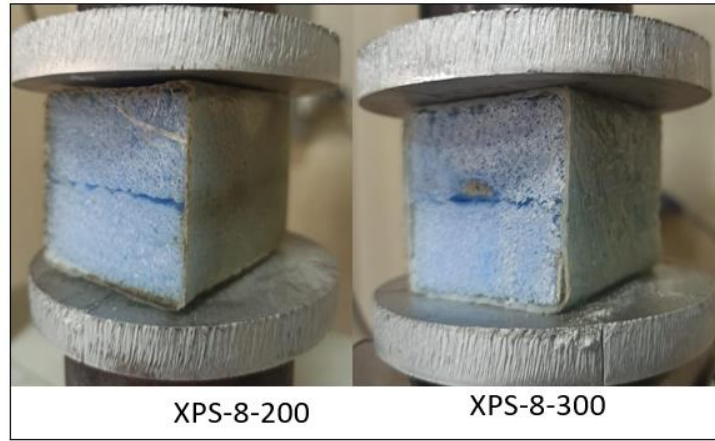
Resim 4.6 EPS-12-200 ve EPS-12-300 numunelerinin basma testi.

Şekil 4.7’de XPS köpük çekirdekli, 8 katlı numunelerin, 200gr/m² ve 300gr/m² özellikleri kıyaslanmıştır.



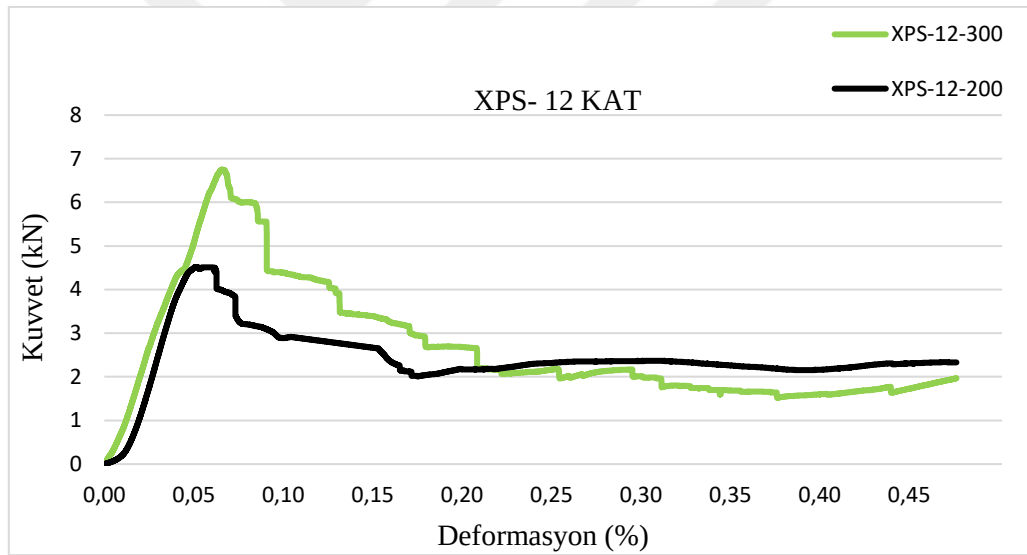
Şekil 4.7 Elyaf yoğunluğunun basma dayanımına etkisi (XPS, 8 kat).

Şekil 4.7’deki grafik incelendiğinde benzer bir deformasyon eğrisi göstermiş olup maksimum kuvvet değerleri XPS-8-300 için yaklaşık olarak 4200 N ve XPS-8-200 için ise yaklaşık olarak 1800 N olarak ölçülmüştür. Bu değerlere XPS-8-300’de %5 ve XPS-8-200’de %7 deformasyon değerlerinde ulaşmıştır. Deney sonucunda XPS-8-300 kompozit malzemesinin XPS-8-200 kompozit malzemesine göre daha dayanıklı olduğu tespit edilmiştir. Deney öncesi görüntüleri Resim 4.7’de verilmiştir.



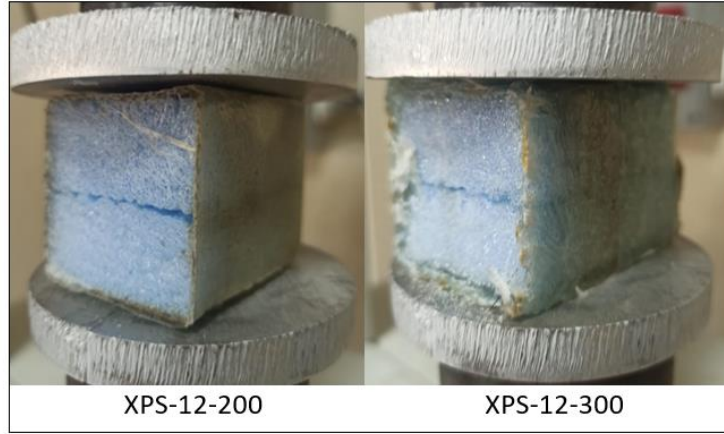
Resim 4.7 XPS-8-200 ve XPS-8-300 numunelerinin basma testi.

Şekil 4.8’de XPS köpük çekirdekli, 12 katlı numunelerin, 200gr/m² ve 300gr/m² özellikleri kıyaslanmıştır.



Şekil 4.8 Elyaf yoğunluğunun basma dayanımına etkisi (XPS, 12 kat).

Şekil 4.8’deki grafik incelendiğinde XPS-12-300 yaklaşık olarak 6850 N ve XPS-12-200’de yaklaşık olarak 4550 N maksimum kuvvet değerlerine ulaşıldığı gözlemlenmiştir. Bu değerlere XPS-12-300’de %5 ve XPS-12-200’de %7 deformasyon civarında ulaşıldığı gözlemlenmiştir. Sonuç olarak XPS-12-300 kompozit malzemesinin XPS-12-200 kompozit malzemesine göre kuvvet uygulandığında daha dayanıklı olduğu tespit edilmiştir.

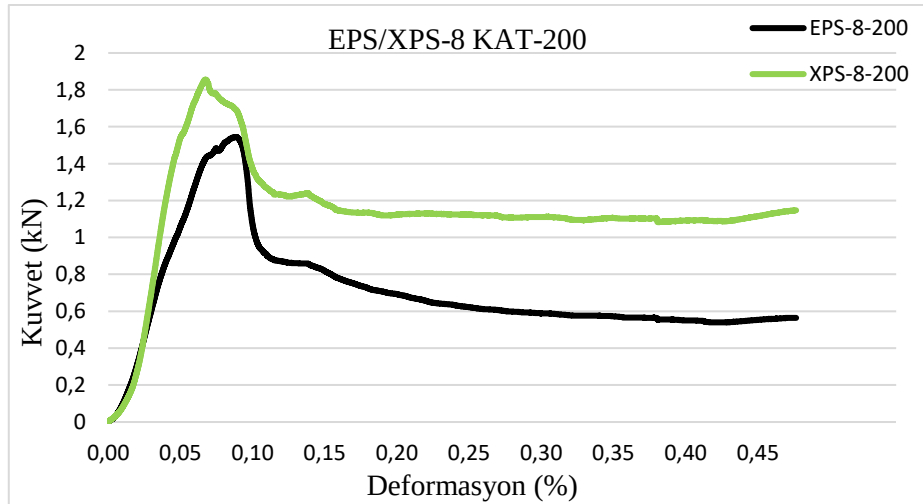


Resim 4.8 XPS-12-200 ve XPS-12-300 numunelerinin basma testi.

Resim 4.8'de XPS-12-200 ve XPS-12-300 numunelerinin basma testi öncesi durumları verilmiştir.

4.1.3 Tabaka Malzemesinin Basma Dayanımına Etkisi

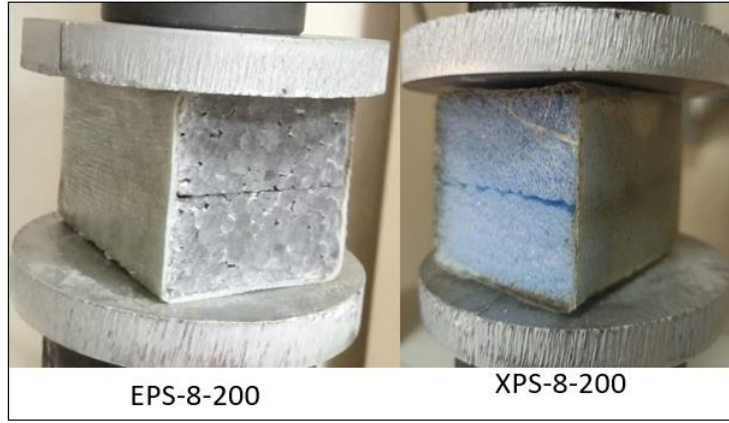
Çalışmada katman sayısı ve cam elyaf kumaş özellikleri sabit bırakılarak farklı köpük çekirdek kullanılarak üretilen numuneler kıyaslanmıştır. Şekil 4.9'da 8 katlı 200gr/m² özelliğindeki numunelerin XPS ve EPS köpük çekirdekleri kıyaslanmıştır.



Şekil 4.9 Tabaka malzemesinin basma dayanımına etkisi (8 kat, 200 gr.).

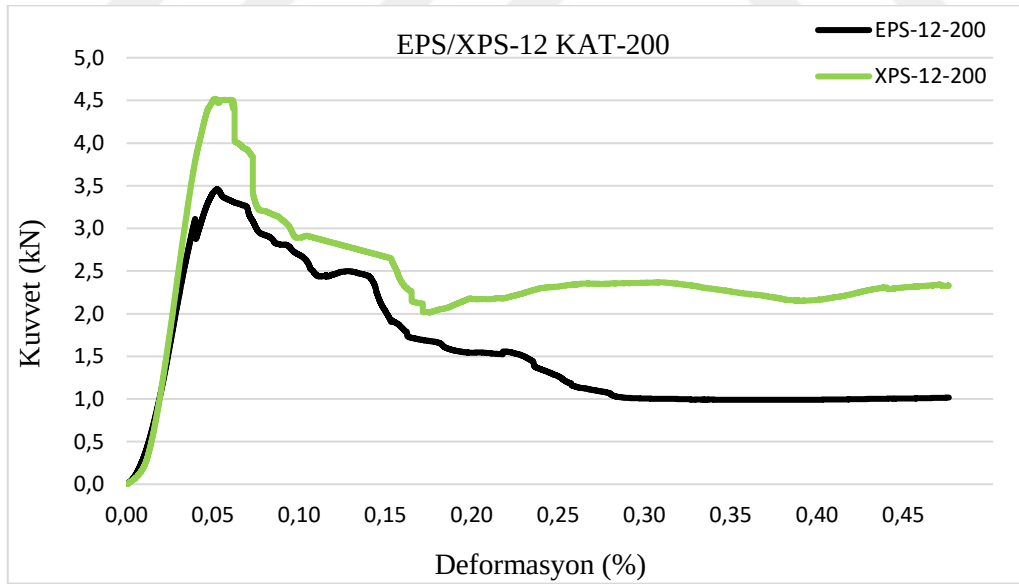
Şekil 4.9'daki grafik incelendiğinde XPS-8-200 yaklaşık olarak 1900 N ve EPS-8-200'de yaklaşık olarak 1600 N değerlerine ulaşıldığı gözlemlenmiştir. Bu değerlere yaklaşık olarak XPS-8-200'de %6 ve EPS-8-200'de %9 deformasyon gerçekleştiği

gözlemlenmiştir. Deneyden elde edilen bulgular doğrultusunda XPS-8-200 malzemesinin EPS-8-200 malzemesine göre daha dayanıklı olduğu sonucuna varılmıştır. Deney öncesi görüntüleri Resim 4.9'da verilmiştir.



Resim 4.9 EPS/XPS-8-200 numunelerinin basma testi.

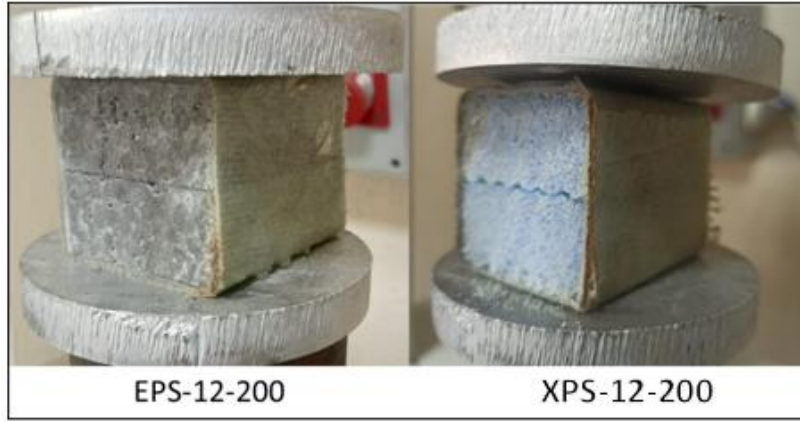
Şekil 4.10'da 12 katlı 200gr/m² özelliğindeki numunelerin XPS ve EPS köpük çekirdekleri kıyaslanmıştır.



Şekil 4.10 Tabaka malzemesinin basma dayanımına etkisi (12 kat, 200 gr.).

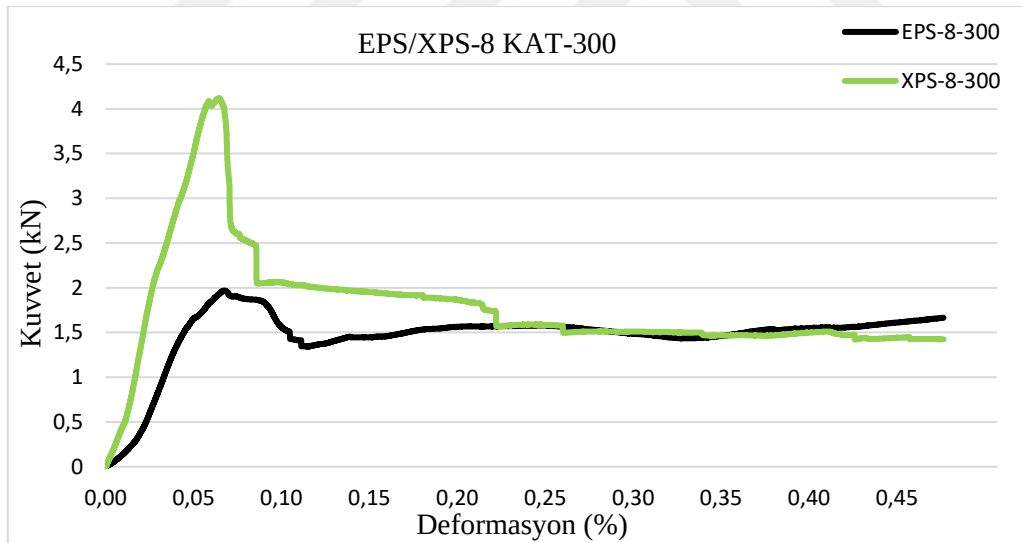
Şekil 4.10'daki grafik incelendiğinde maksimum kuvvet değerleri XPS-12-200 yaklaşık olarak 4500 N ve EPS-12-200'de yaklaşık olarak 3500 N olarak tespit edilmiştir. Bu kuvvet değerlerine XPS-12-200'de %5 ve EPS-12-200'de %6 deformasyon civarında gerçekleştiği gözlemlenmiştir. Deneyler sonucunda benzer deformasyon eğrileri elde

edilmiş olup elde edilen veriler doğrultusunda XPS-12-200 numunelerinin EPS-12-200 numunelerine göre dayanıklı olduğu tespit edilmiştir.



Resim 4.10 PS/XPS-12-200 numunelerinin basma testi.

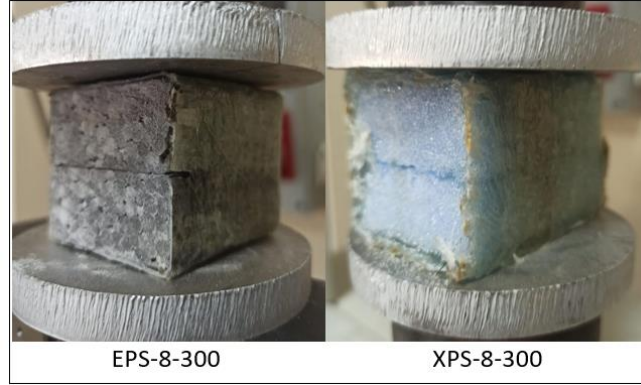
Resim 4.10'da EPS-12-200 ve XPS-12-200 numunelerinin basma testi öncesi durumları verilmiştir.



Şekil 4.11 Tabaka malzemesinin basma dayanımına etkisi (8 kat, 300 gr.).

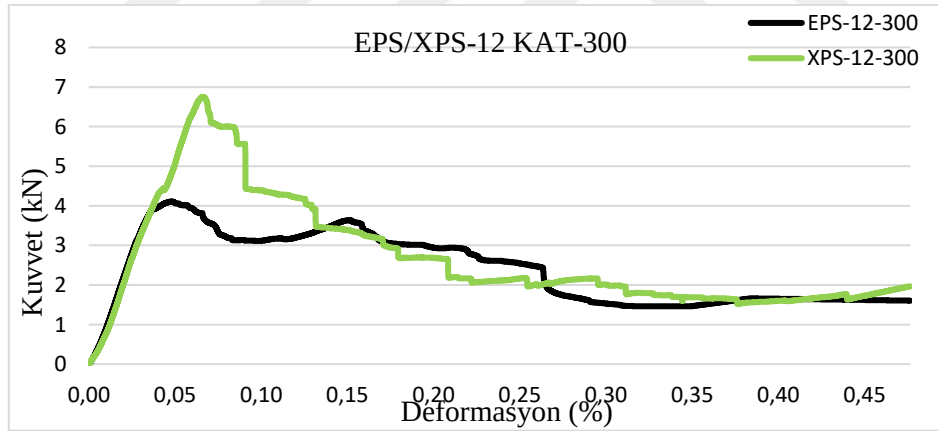
Şekil 4.11’de 8 katlı 300 gr/m² özelliğindeki numunelerin XPS ve EPS köpük çekirdekleri kıyaslanmıştır. Grafik incelendiğinde yaklaşık olarak XPS-8-300’de 4100 N ve EPS-8-300’de 2000 N maksimum kuvvetlere ulaşıldığı gözlemlenmiştir. Bu kuvvetlere XPS-8-300’de ve EPS-8-300’de yaklaşık olarak %7 deformasyon gerçekleştiği gözlemlenmiştir. Her iki numunede de %20 deformasyondan sonra kuvvetler 1500N da sabitlenmiş ve

paralel olarak devam etmiştir. Grafikten elde edilen bulgular doğrultusunda XPS-8-300 numunesinin EPS-8-300'e göre daha dayanıklı olduğu tespit edilmiştir. Resim 4.11'de EPS-8-300 ve XPS-8-300 numunelerinin basma testi öncesi durumları verilmiştir.



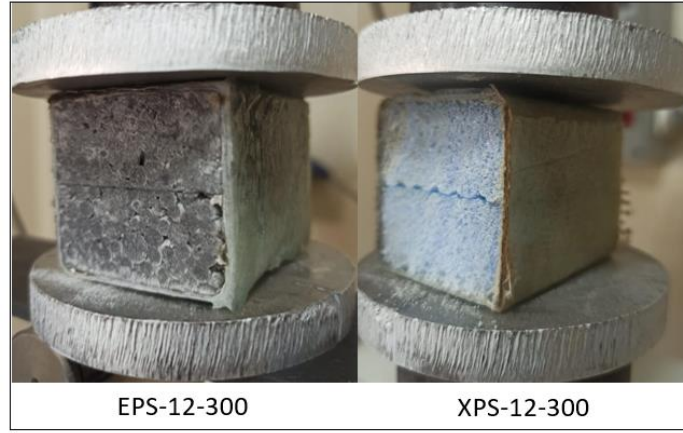
Resim 4.11 EPS/XPS-8-300 numunelerinin basma testi.

Şekil 4.12'de 12 katlı 300 gr/m² özelliğindeki numunelerin XPS ve EPS köpük çekirdekleri kıyaslanmıştır.



Şekil 4.12 Tabaka malzemesinin basma dayanımına etkisi (12 kat, 300 gr.).

Şekil 4.12'deki grafik incelendiğinde XPS-12-300 yaklaşık olarak 6900 N ve EPS-12-300'de yaklaşık olarak 4050 N maksimum kuvvetlere ulaşıldığı gözlemlenmiştir. Bu kuvvetlerin yaklaşık olarak XPS-12-300'de %5 ve EPS-12-300'de %7 deformasyonda gerçekleştiği gözlemlenmiştir. Deneyler sonunda %15 deformasyondan sonra benzer deformasyon eğrileri elde edilmiştir. Deneylerden elde edilen veriler doğrultusunda XPS-12-300 numenlerinin EPS-12-300'e göre daha dayanıklı olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Deney öncesi görseller Resim 4.12'de verilmiştir.



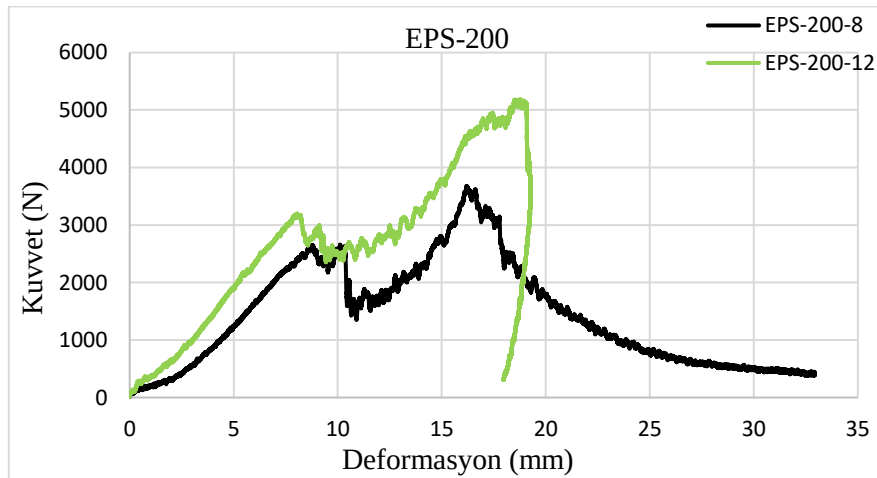
Resim 4.12 EPS/XPS-12-300 numunelerinin basma testi.

4.2 Darbe Test Sonuçları

Darbe testlerinde çok farklı üretim parametreleri olması sebebi ile 50 Joule tek enerjide testler yapılmıştır. Test sonuçları olarak kuvvet deformasyon eğrileri dikkate alınarak üretim parametreleri kıyaslanmıştır. Numune boyutları 100 mm x 100 mm kare şeklinde üretimler yapılmıştır. Her deneyden 3 adet numune test edilmiş ve ortalamaları alınarak grafikler çizilmiştir.

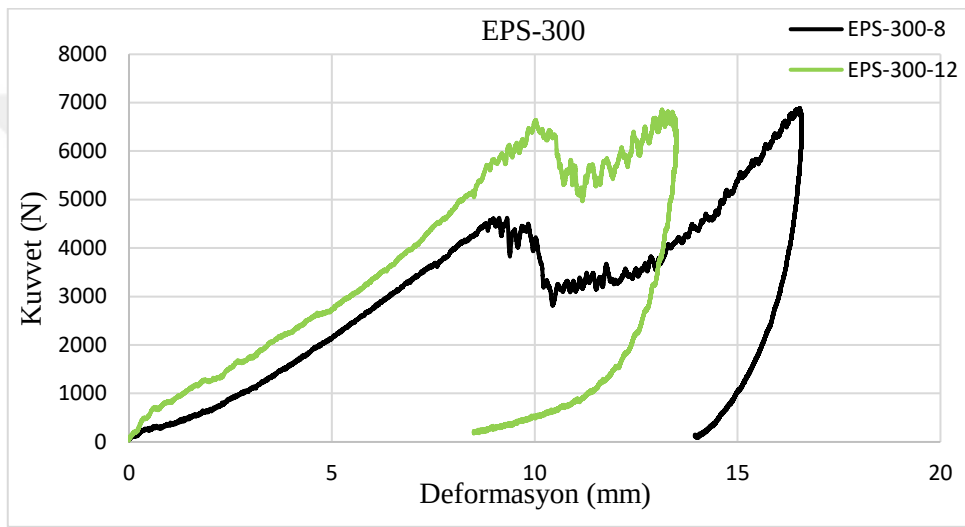
4.2.1 Katman Kalınlığının Darbe Dayanımına Etkisi

Şekil 4.13'te EPS-8-200 ve EPS-12-200 numunelerinin kuvvet-deformasyon grafiği verilmiştir. Numunelerde meydana gelen delinme ve geri sekme grafikte görülmektedir.



Şekil 4.13 Katman kalınlığının darbe dayanımına etkisi (EPS, 200 gr.).

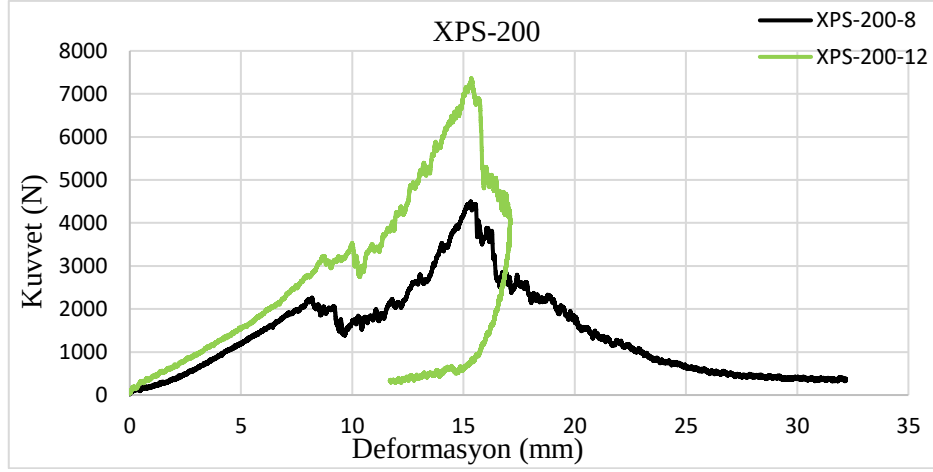
Darbe enerjisinden dolayı EPS-8-200 numunesinde delinme meydana gelmiştir. EPS-12-200 numunesinde ise geri sekme gözlemlenmiştir. EPS-8-200 maksimum kuvvet noktasındaki yaklaşık olarak 3300 N olarak gözlemlenmiş ve bu noktada oluşan maksimum deformasyon yaklaşık olarak 16 mm olarak tespit edilmiştir. EPS-12-200’de ise maksimum kuvvet yaklaşık olarak 5056 N olarak gözlemlenmiştir. Bu noktada oluşan maksimum deformasyon yaklaşık olarak 19 mm olarak tespit edilmiştir. Sonuç olarak EPS-12-200 numuneleri EPS-8-200 numunelerine göre daha iyi bir performans göstermiştir.



Şekil 4.14 Katman kalınlığının darbe dayanımına etkisi (EPS, 300 gr.).

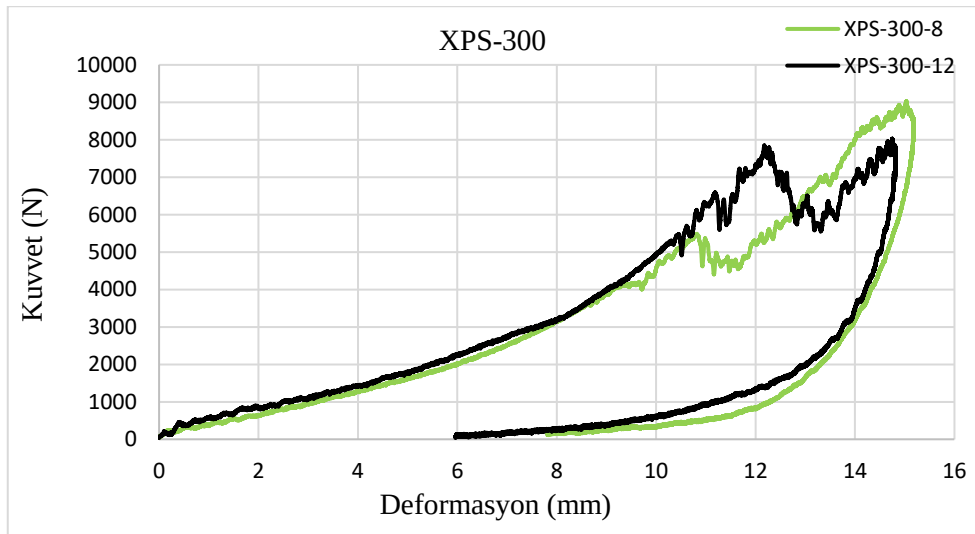
Şekil 4.14’te EPS-8-300 ve EPS-12-300 numunelerinin kuvvet-deformasyon grafiği verilmiştir. Darbe testi sonunda EPS-8-300 ve EPS-12-300 numunelerinin her ikisinde de geri sekme meydana gelmiştir. EPS-8-300 için darbe enerjisi uygulandığında, maksimum noktadaki kuvvet değeri yaklaşık olarak 6542 N olarak ölçülmüş ve bu noktada yaklaşık olarak 16,5 mm deformasyon meydana gelmiştir. EPS-12-300 için darbe enerjisi uygulandığında, maksimum noktadaki kuvvet değeri yaklaşık olarak 6750 N olarak tespit edilmiş ve bu noktada yaklaşık olarak 13,5 mm deformasyon meydana gelmiştir. Grafikten elde edilen veriler doğrultusunda EPS-12-300 numunelerinin EPS-8-300 numunelerine göre daha dayanıklı olduğu tespit edilmiştir.

Şekil 4.15’te XPS-8-200 ve XPS-12-200 numunelerinin kuvvet-deformasyon grafiği verilmiştir.



Şekil 4.15 Katman kalınlığının darbe dayanımına etkisi (XPS, 200 gr.).

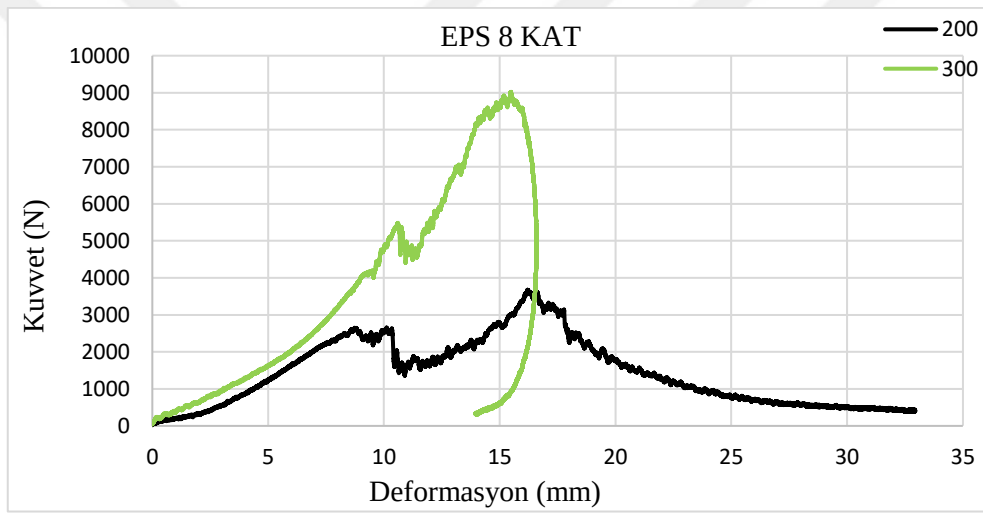
Şekil 4.15'teki grafikte, numunelerin çekirdek yapıları ve kullanılan elyaf yoğunlukları aynıdır fakat farklı katman sayılarına sahip olduklarını gösterilmektedir. XPS-8-200 numunesinde delinme meydana gelirken, XPS-12-200 numunesinde geri sekme gözlemlenmiştir. XPS-8-200 numunesinde, maksimum noktadaki enerji değeri yaklaşık olarak 4380 N olarak ölçülmüş ve bu noktada yaklaşık olarak 15,4 mm deformasyon meydana gelmiştir. XPS-12-200 numunesinde ise maksimum noktadaki enerji değeri yaklaşık olarak 7120 N olarak tespit edilmiş ve bu noktada maksimum yaklaşık olarak 15,45 mm deformasyon meydana gelmiştir. Grafikten elde edilen veriler doğrultusunda XPS-12-200 numunelerinin XPS-8-200 numunelerine göre daha iyi performans gösterdiği tespit edilmiştir.



Şekil 4.16 Katman kalınlığının darbe dayanımına etkisi (XPS, 300 gr.).

Şekil 4.16'daki kuvvet-deformasyon grafiğinde XPS-8-300 ve XPS-12-300 numunelerinin her ikisinde de geri sekme meydana gelmiştir. XPS-8-300 numunelerinde maksimum noktadaki kuvvet değeri yaklaşık olarak 8780 N olarak ölçülmüş ve bu noktada yaklaşık olarak 15 mm deformasyon meydana gelmiştir. XPS-12-300 numuneleri için maksimum noktadaki kuvvet değeri yaklaşık olarak 7810 N olarak tespit edilmiş ve bu noktada yaklaşık olarak 14,8 mm birimlik deformasyon meydana gelmiştir. Grafikten elde edilen veriler doğrultusunda XPS-12-300 numunelerinin XPS-8-300 numunelerine göre daha iyi performans gösterdiği tespit edilmiştir.

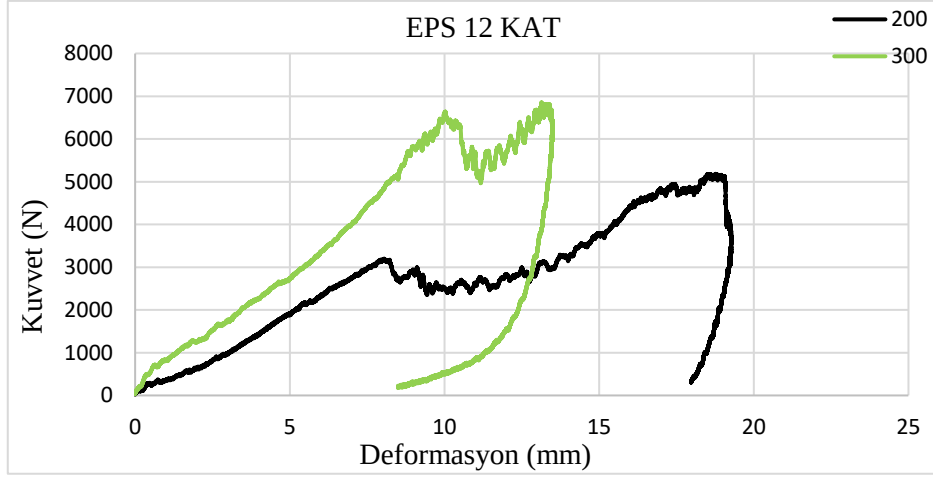
4.2.2 Elyaf Yoğunluğunun Darbe Dayanımına Etkisi



Şekil 4.17 Elyaf yoğunluğunun darbe dayanımına etkisi (EPS, 8 kat).

Şekil 4.17'deki kuvvet-deformasyon grafiği incelendiğinde EPS-8-200 numunesinde delinme meydana gelirken, EPS-8-300 numunesinde geri sekme gözlemlenmiştir. EPS-8-200 numunelerinde maksimum noktasındaki kuvvet değeri yaklaşık olarak 3920 N olarak ölçülmüş ve bu noktada yaklaşık olarak 16,5 mm deformasyon meydana gelmiştir. EPS-8-300 numunelerinde maksimum noktasındaki kuvvet değeri yaklaşık olarak 8800 N olarak tespit edilmiş ve bu noktada yaklaşık olarak 15,65 mm deformasyon meydana gelmiştir. Grafikten elde edilen veriler doğrultusunda EPS-8-300 numunelerinin EPS-8-200 numunelerine göre daha iyi performans gösterdiği tespit edilmiştir.

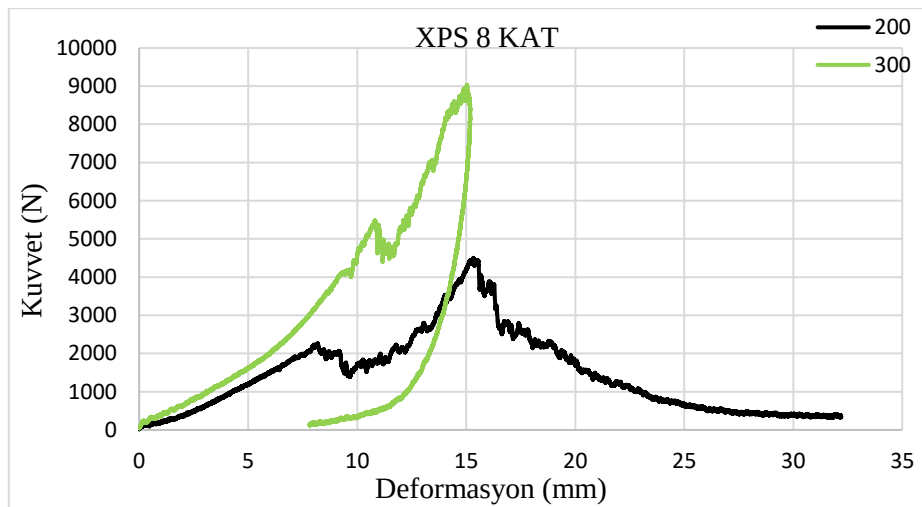
Şekil 4.18 de EPS 12-200 ve EPS 12-300 darbe testleri sonucunda elde edilen kuvvet-deformasyon eğrileri kıyaslanmıştır.



Şekil 4.18 Elyaf yoğunluğunun darbe dayanımına etkisi (EPS, 12 kat).

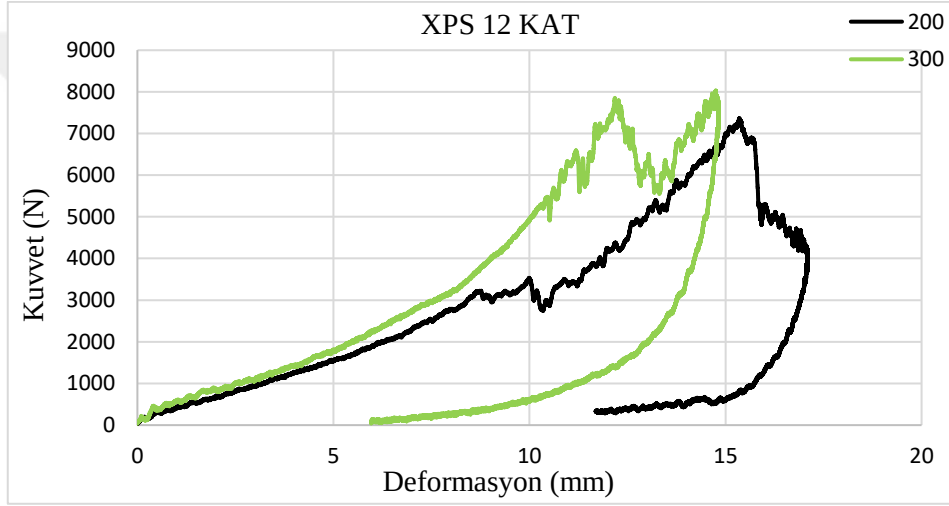
Şekil 4.18'deki grafikte EPS-12-200 ve EPS-12-300 numunelerinin her ikisinde de geri sekme meydana gelmiştir. EPS-12-200 için maksimum noktadaki kuvvet değeri yaklaşık olarak 5120 N olarak ölçülmüş ve bu noktada yaklaşık olarak 19 mm deformasyon tespit edilmiştir. EPS-12-300 için ise maksimum noktadaki kuvvet değeri yaklaşık olarak 6760 N olarak belirlenmiş ve bu noktada yaklaşık olarak 13,5 mm deformasyon meydana gelmiştir. Grafikten elde edilen veriler doğrultusunda EPS-12-300 numunelerinin EPS-12-200 numunelerine göre daha iyi performans gösterdiği tespit edilmiştir.

Şekil 4.19'da XPS 8-300 ve XPS 8-200 numunelerinin kuvvet-deformasyon grafiği verilmiştir.



Şekil 4.19 Elyaf yoğunluğunun darbe dayanımına etkisi (XPS, 8 kat).

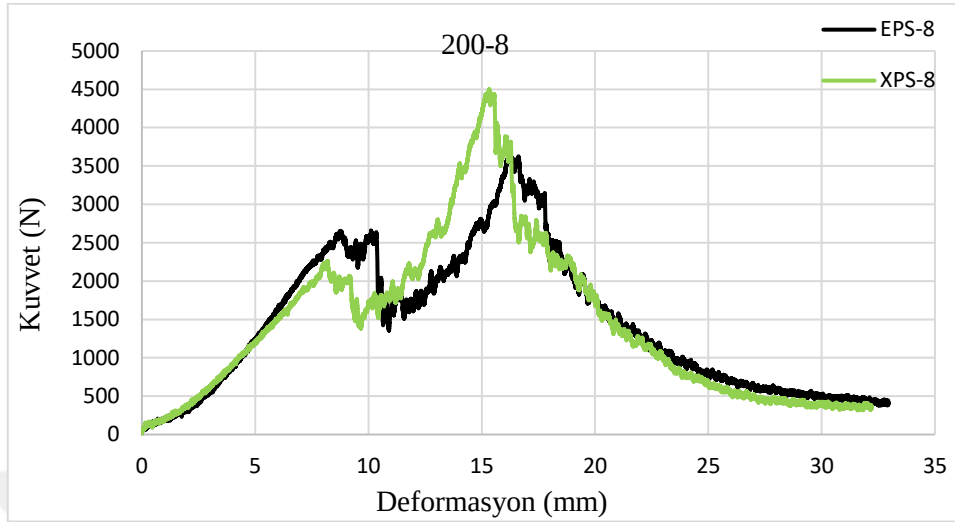
Şekil 4.19'daki kuvvet-deformasyon grafiğinde, çekirdek yapıları ve katman sayıları aynı, elyaf yoğunlukları farklı olan numuneler karşılaştırılmıştır. XPS-8-200 numunesinde delinme meydana gelirken, XPS-8-300 numunesinde geri sekme gözlemlenmiştir. XPS-8-200 numunesinde maksimum noktadaki enerji değeri yaklaşık olarak 4600 N olarak ölçülmüş ve bu noktada yaklaşık olarak 14,5 mm deformasyon meydana gelmiştir. XPS-8-300 numunesinde ise maksimum noktadaki enerji değeri yaklaşık olarak 8850 N olarak tespit edilmiş ve bu noktada yaklaşık olarak 15 mm deformasyon meydana gelmiştir. Sonuç olarak XPS-8-300 numunelerinin XPS-8-200 numunelerine göre daha iyi performans gösterdiği tespit edilmiştir.



Şekil 4.20 Elyaf yoğunluğunun darbe dayanımına etkisi (XPS, 12 kat).

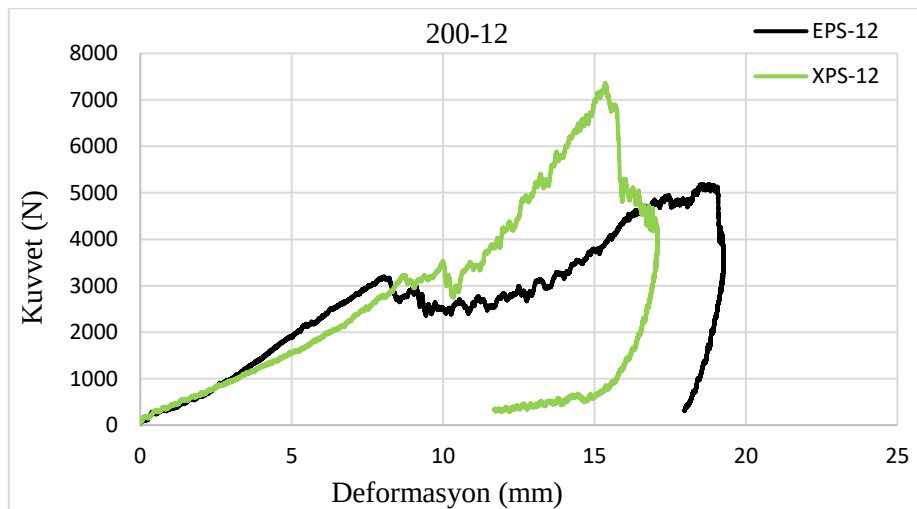
Şekil 4.20'de XPS 12-200 ve XPS 12-300 darbe testleri sonucunda elde edilen kuvvet-deformasyon eğrileri kıyaslanmıştır. Grafiklerin kapalı eğri şeklinde görülmesi her iki numune de geri sekme meydana geldiğinin göstergesidir. XPS-12-200 numunelerinin maksimum noktadaki kuvvet değerinin yaklaşık olarak 7116 N olduğunu ve bu noktada yaklaşık olarak 15,5 mm deformasyon meydana geldiğini göstermektedir. XPS-12-300 numunelerinin maksimum noktadaki kuvvet değerinin yaklaşık olarak 8000 N olduğunu ve bu noktada yaklaşık olarak 14,75 mm deformasyon meydana gelmiştir. Sonuç olarak XPS-12-300 numunelerinin XPS-12-200 numunelerine göre daha dayanıklı olduğu tespit edilmiştir.

4.2.3 Tabaka Malzemesinin Darbe Dayanımına Etkisi



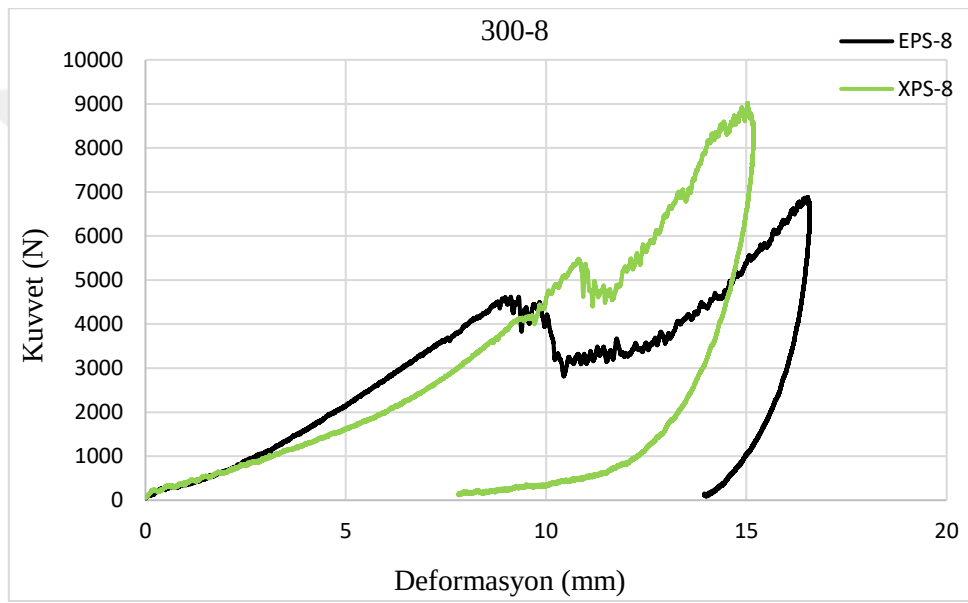
Şekil 4.21 Tabaka malzemesinin darbe dayanımına etkisi (200 gr., 8 kat).

Şekil 4.21’ de EPS 8-200 ve XPS 8-200 numunelerinin darbe testi sonucunda elde edilen kuvvet-deformasyon eğrileri verilmiştir. Şekil 4.21 incelendiğinde EPS-8-200 ve XPS-8-200 numunelerin her ikisinde de delinme meydana geldiği görülmektedir. EPS-8-200 numunelerinin maksimum noktadaki kuvvet değerinin yaklaşık olarak 3515 N olduğunu ve bu noktada yaklaşık olarak 16 mm deformasyon meydana geldiğini göstermektedir. XPS-8-200 numunelerinin maksimum noktadaki kuvvet değerinin yaklaşık olarak 4500 N olduğunu ve bu noktada yaklaşık olarak 15,5 mm deformasyon meydana geldiğini göstermektedir. Sonuç olarak XPS-8-200 numunelerinin EPS-8-200 numunelerine göre daha iyi olduğu tespit edilmiştir.



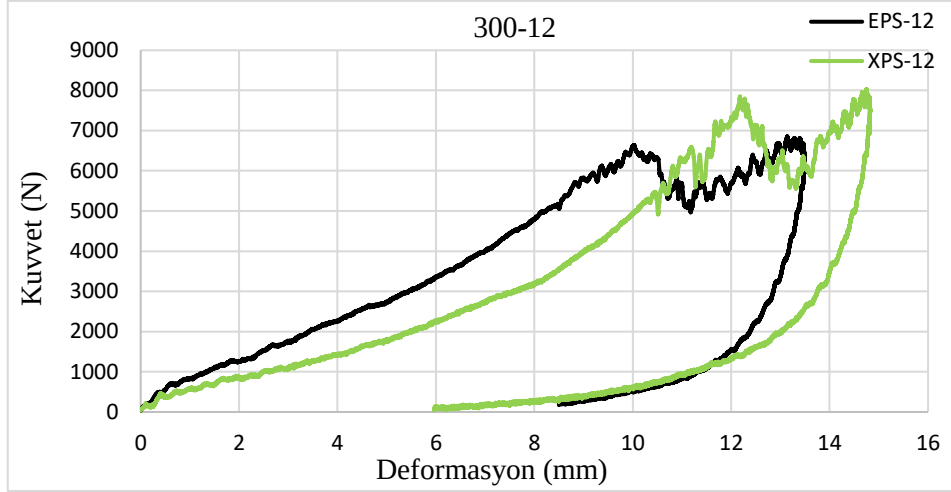
Şekil 4.22 Tabaka malzemesinin darbe dayanımına etkisi (200 gr., 12 kat).

Şekil 4.22'de katman kalınlığı ve elyaf yoğunluğu sabit bırakılmış olup çekirdek malzemeleri kıyaslanmıştır. Grafik incelendiğinde EPS-12-200 numunelerinin maksimum noktadaki kuvvet değerinin yaklaşık olarak 5056 N olduğunu ve bu noktada yaklaşık olarak 18,1 mm deformasyon meydana geldiğini göstermektedir. XPS-12-200 numunelerinin maksimum noktadaki kuvvet değerinin yaklaşık olarak 7150 N olduğunu ve bu noktada yaklaşık olarak 15,73 mm deformasyon meydana geldiğini göstermektedir. Sonuç olarak XPS-12-200 numunelerinin EPS-12-200 numunelerine göre daha dayanıklı olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 4.23 Tabaka malzemesinin darbe dayanımına etkisi (300 gr., 8 kat).

Şekil 4.23'te grafikte EPS-8-300 ve XPS-8-300 numunelerinin her ikisinde de geri sekme gözlemlenmiştir. EPS-8-300 numunelerinin maksimum noktadaki kuvvet değeri yaklaşık olarak 6950 N olduğunu ve bu noktada yaklaşık olarak 16,8 mm deformasyon meydana geldiğini göstermektedir. XPS-8-300 numunelerinin maksimum noktadaki kuvvet değeri yaklaşık olarak 9000 N olduğunu ve bu noktada yaklaşık olarak 15 mm deformasyon meydana geldiğini göstermektedir. Sonuç olarak XPS-8-300 numunelerinin EPS-8-300 numunelerine göre daha dayanıklı olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 4.24 Tabaka malzemesinin darbe dayanımına etkisi (300 gr., 12 kat).

Şekil 4.22'deki grafikte EPS-12-300 ve XPS-12-300 numunelerinde her ikisinde de geri sekme gözlemlenmiştir. EPS-12-300 numunelerinin maksimum noktadaki kuvvet değerinin yaklaşık olarak 6900 N olduğunu ve bu noktada yaklaşık olarak 13,8 mm deformasyon meydana geldiğini göstermektedir. XPS-12-300 numunelerinin maksimum noktadaki kuvvet değerinin yaklaşık olarak 8000 N olduğunu ve bu noktada yaklaşık olarak 14,7 mm deformasyon meydana geldiğini göstermektedir. Sonuç olarak XPS-12-300 numunelerinin EPS-12-300 numunelerine göre daha dayanıklı olduğu tespit edilmiştir.

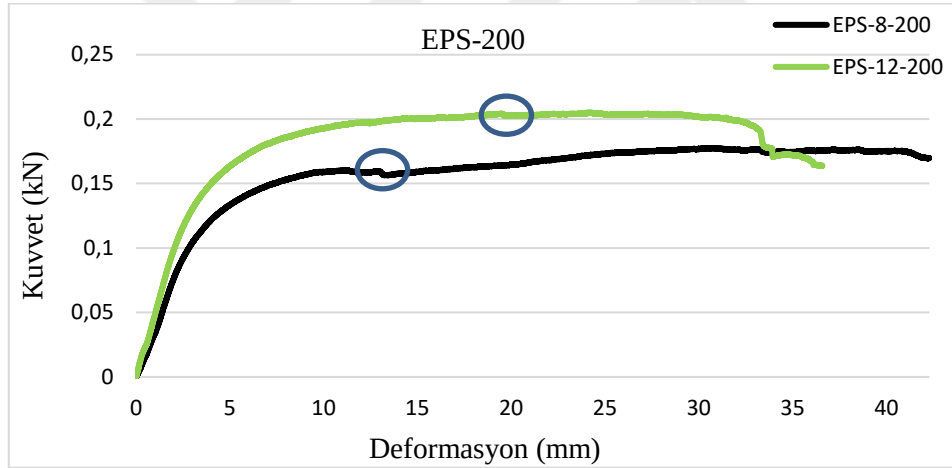
4.3 Üç Nokta Eğme Test Sonuçları

Üç nokta eğme testleri katman kalınlığı, elyaf yoğunlukları, çekirdek tabaka malzemeleri olmak üzere 3 başlık altında incelenmiştir. Üretilen numune boyutları boy en ve kalınlık şeklinde 180x30x23 mm boyutlarında hazırlanmıştır. Cihaz ilerleme hızı 1mm/dk. olarak seçilmiştir. Deneylerde alt tabakanın kırılmasını tespit edebilmek için ortalama 40 mm civarında deformasyon uygulanmıştır. Her deneyden 3 adet numune test edilmiş ve ortalamaları alınarak grafikler çizilmiştir.

4.3.1 Katman Kalınlığının Üç Nokta Eğme Dayanımına Etkisi

Şekil 4.25'te EPS-8-200 ve EPS-12-200 numunelerine ait üç nokta eğme testi sırasında elde edilen kuvvet-deformasyon grafiği verilmiştir.

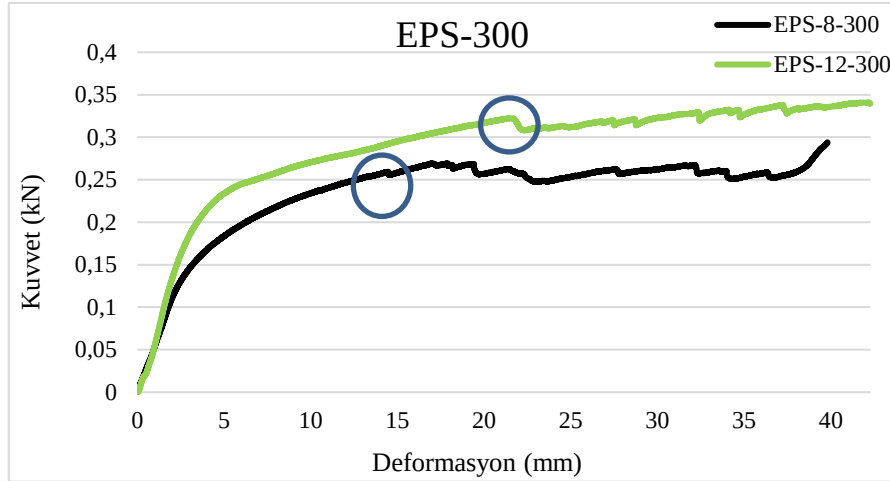
EPS-8-200 numunesinde ilk tabaka kırılması yaklaşık 14 mm civarında deformasyonda meydana gelmiş olup buradaki maksimum kuvvet 160 N civarındadır. EPS-12-200 numunede ise yaklaşık 20 mm civarında ilk katman kırılması meydana gelmiş ve 200 N civarında bir kuvvete dayanım göstermiştir. Kuvvet eğrilerinin sıfıra düşmemesinin sebebi aradaki çekirdek tabakanın gözenekli yapıda olmasından kaynaklanmaktadır. Grafiğin sonunda meydana gelen düşüş katmanların kırılmasından ziyade köpük yapının yırtılmasından kaynaklanmaktadır (Resim 4.13). Test sonucunda EPS-12-200 numunesi EPS-8-200'e göre daha iyi sonuçlar vermiştir.



Şekil 4.25 Katman kalınlığının üç nokta eğme dayanımına etkisi (EPS, 200 gr.).

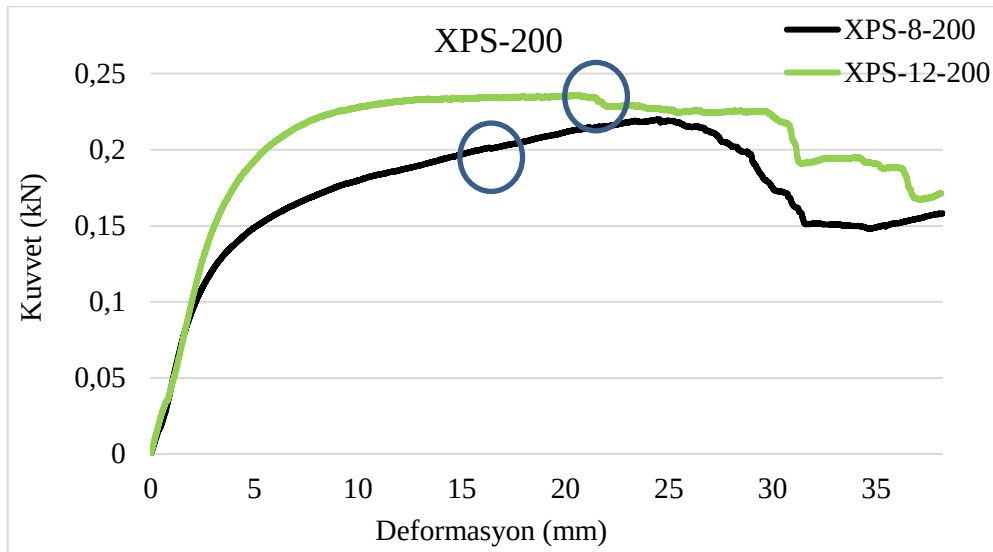


Resim 4.13 EPS köpük çekirdekli numunesinin basma test sonu görünüşü.



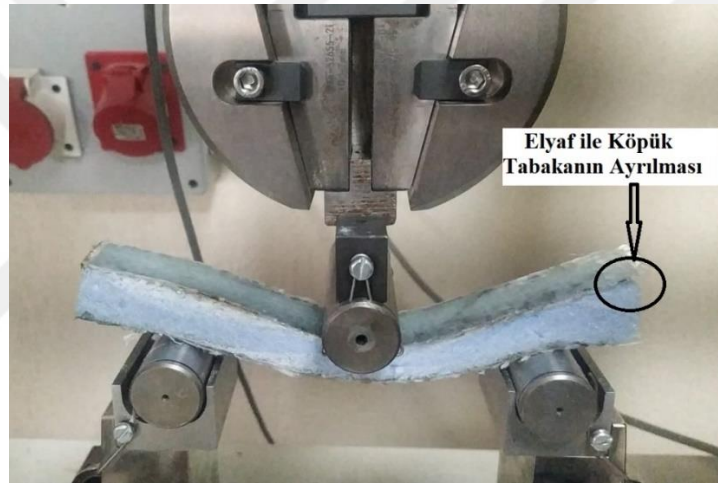
Şekil 4.26 Katman kalınlığının üç nokta eğme dayanımına etkisi (EPS, 300 gr.).

Şekil 4.26’da EPS-8-300 ve EPS-12-300 numunelerine ait üç nokta eğme testi sırasında elde edilen kuvvet-deformasyon grafiği verilmiştir. EPS-8-300 numunesinde ilk tabaka kırılması yaklaşık 14 mm civarında deformasyonda meydana gelmiş olup buradaki maksimum kuvvet 255 N civarındadır. EPS-12-300 numunede ise yaklaşık 22 mm civarında ilk katman kırılması meydana gelmiş ve 320 N civarında bir kuvvete dayanım göstermiştir. Test sırasındaki eğrilerdeki iniş çıkışlar 300gr/m² yoğunluğundaki kumaşın kalın olması ve bu sebepten katmanların daha gevrek bir yapıda olmasından kaynaklanmaktadır. Test sonucunda EPS-12-300 numunesi EPS-8-300’e göre daha iyi sonuçlar vermiştir.

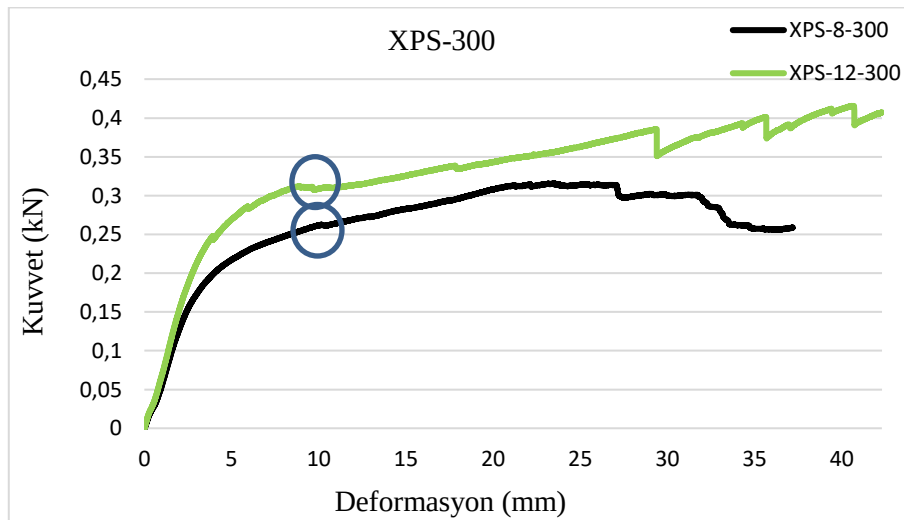


Şekil 4.27 Katman kalınlığının üç nokta eğme dayanımına etkisi (XPS, 200 gr.).

Şekil 4.27’de XPS-8-200 ve XPS-12-200 numunelerine ait üç nokta eğme testi sırasında elde edilen kuvvet-deformasyon grafiği verilmiştir. XPS-8-200 numunesinde ilk tabaka kırılması yaklaşık 17 mm civarında deformasyonda meydana gelmiş olup buradaki maksimum kuvvet 200 N civarındadır. XPS-12-200 numunede ise yaklaşık 22 mm civarında ilk katman kırılması meydana gelmiş ve 230 N civarında bir kuvvete dayanım göstermiştir. Kuvvet eğrilerinin sıfıra düşmemesinin sebebi aradaki EPS köpükteki gibi çekirdek tabakanın gözenekli yapıda olmasından kaynaklanmaktadır. Grafiğin sonunda meydana gelen düşüş katmanların kırılmasından ziyade elyaf tabaka ile köpük yapının ayrılmasından kaynaklanmaktadır (Resim 4.14). Test sonucunda XPS-12-200 numunesi XPS-8-200’e göre daha iyi sonuçlar vermiştir.



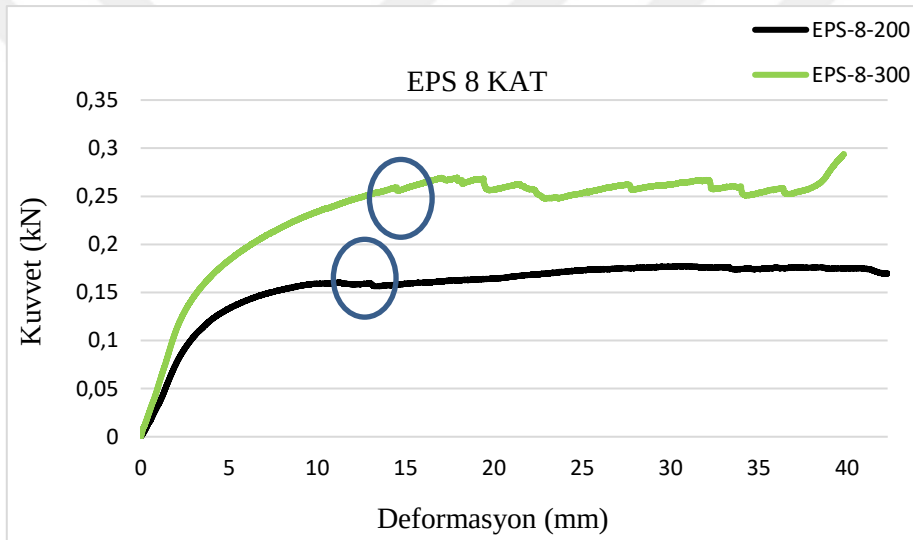
Resim 4.14 XPS köpük çekirdekli numunesinin basma test sonu görünüşü.



Şekil 4.28 Katman kalınlığının üç nokta eğme dayanımına etkisi (XPS, 300 gr.).

Şekil 4.28’de XPS-8-300 ve XPS-12-300 numunelerine ait üç nokta eğme testi sırasında elde edilen kuvvet-deformasyon grafiği verilmiştir. XPS-8-300 numunesinde maksimum kuvvet 255 N civarında iken XPS-12-300 numunede 320 N civarında bir kuvvete dayanım göstermiştir. Her iki numunede de bu kuvvetler yaklaşık 10 mm lik deformasyonda oluşmuştur. Test sırasındaki eğrilerdeki iniş çıkışlar 300gr/m² yoğunluğundaki kumaşın kalın olması ve bu sebepten katmanların daha gevrek bir yapıda olmasından kaynaklanmaktadır. Test sonucunda XPS-12-300 numunesi XPS-8-300’e göre daha iyi sonuçlar vermiştir.

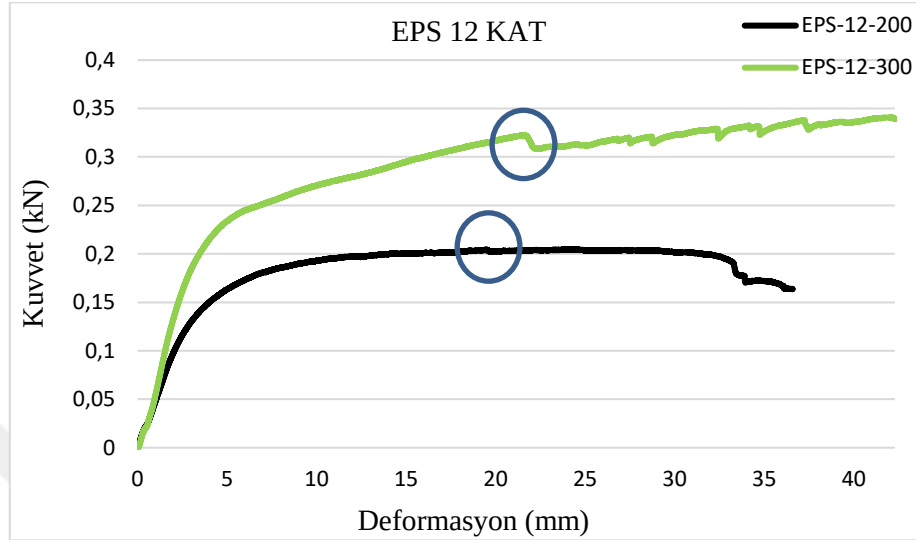
4.3.2 Elyaf Yoğunluğunun Üç Nokta Eğme Dayanımına Etkisi



Şekil 4.29 Elyaf yoğunluğunun üç nokta eğme dayanımına etkisi (EPS, 8 kat).

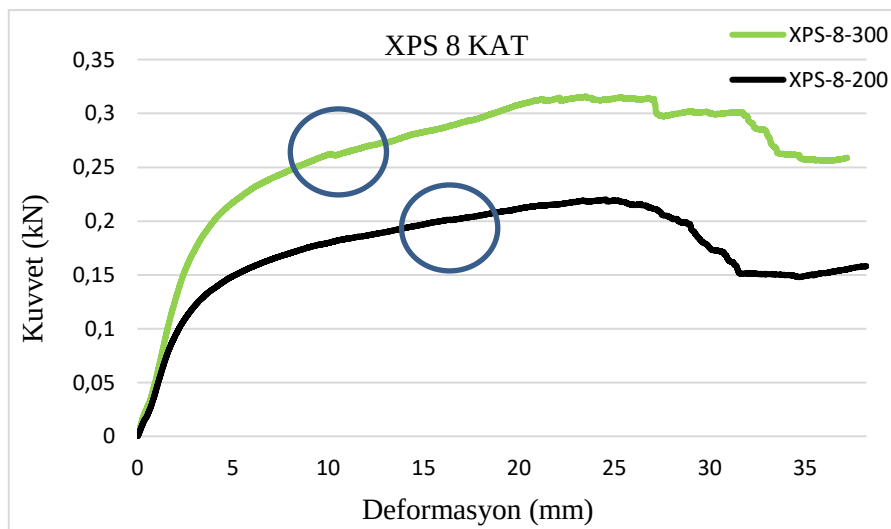
Şekil 4.29’daki grafikte EPS-8-200 ve EPS-8-300 numunelerine ait üç nokta eğme testi sırasında elde edilen kuvvet-deformasyon grafiği verilmiştir. EPS-8-200 numunesinde ilk tabaka kırılması yaklaşık 14 mm civarında deformasyonda meydana gelmiş olup buradaki maksimum kuvvet 160 N civarındadır. EPS-8-300 numunesinde ilk tabaka kırılması yaklaşık 14 mm civarında deformasyonda meydana gelmiş olup buradaki maksimum kuvvet 255 N civarındadır. Test sırasındaki 200gr/m² grafiği yatayda daha stabil giderken 300gr/m² numunede eğrilerde iniş çıkışlar şeklinde görülmüştür. Bunun sebebi 300gr/m² yoğunluğundaki kumaşın kalın olması ve bu sebepten katmanların daha gevrek bir yapıda olmasından kaynaklanmaktadır. Test sonucunda EPS-12-300 numunesi EPS-8-300’e göre daha iyi sonuçlar vermiştir.

Şekil 4.30’da EPS-12-200 ve EPS-12-300 numunelerine ait üç nokta eğme testi sırasında elde edilen kuvvet-deformasyon grafiği verilmiştir.



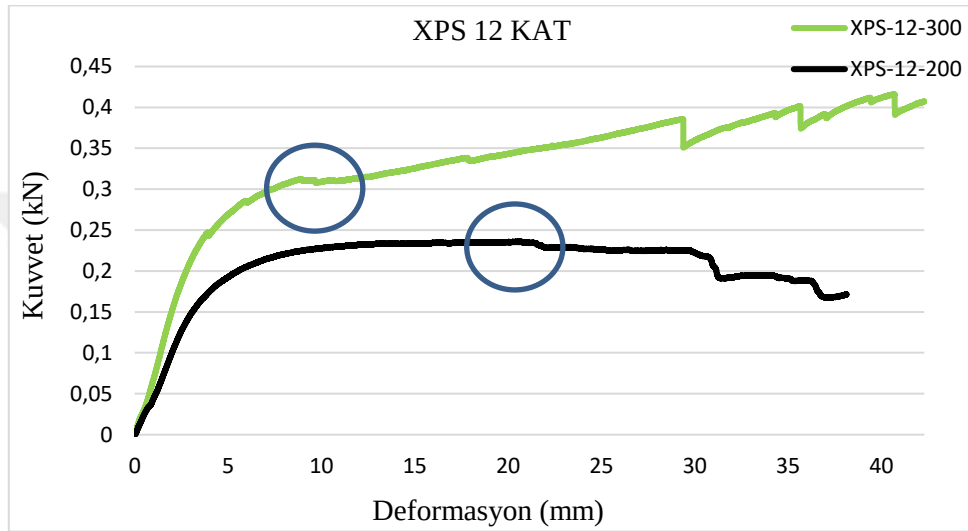
Şekil 4.30 Elyaf yoğunluğunun üç nokta eğme dayanımına etkisi (EPS, 12 kat).

Şekil 4.30’daki grafik incelendiğinde EPS-12-200 numunede ise yaklaşık 20 mm civarında ilk katman kırılması meydana gelmiş ve 200 N civarında bir kuvvete dayanım göstermiştir. EPS-12-300 numunede ise yaklaşık 22 mm civarında ilk katman kırılması meydana gelmiş ve 320 N civarında bir kuvvete dayanım göstermiştir. Bu verilere dayanarak EPS-12-300 numuneleri EPS-12-200 numunelerine göre daha iyi sonuçlar vermiştir.



Şekil 4.31 Elyaf yoğunluğunun üç nokta eğme dayanımına etkisi (XPS, 8 kat).

Şekil 4.31’de XPS 8-200 ve XPS 8-300 numunelerine ait üç nokta eğme testi sırasında elde edilen kuvvet-deformasyon grafiği verilmiştir. XPS-8-200 numunesinde ilk tabaka kırılması yaklaşık 17 mm civarında deformasyonda meydana gelmiş olup buradaki maksimum kuvvet 200 N civarındadır. XPS-8-300 numunesinde maksimum kuvvet 255 N civarında yaklaşık 10 mm’lik deformasyonda oluşmuştur. Bu verilere dayanarak, XPS-8-300 numuneleri XPS-8-200 numunelerine göre daha iyi sonuçlar vermiştir.



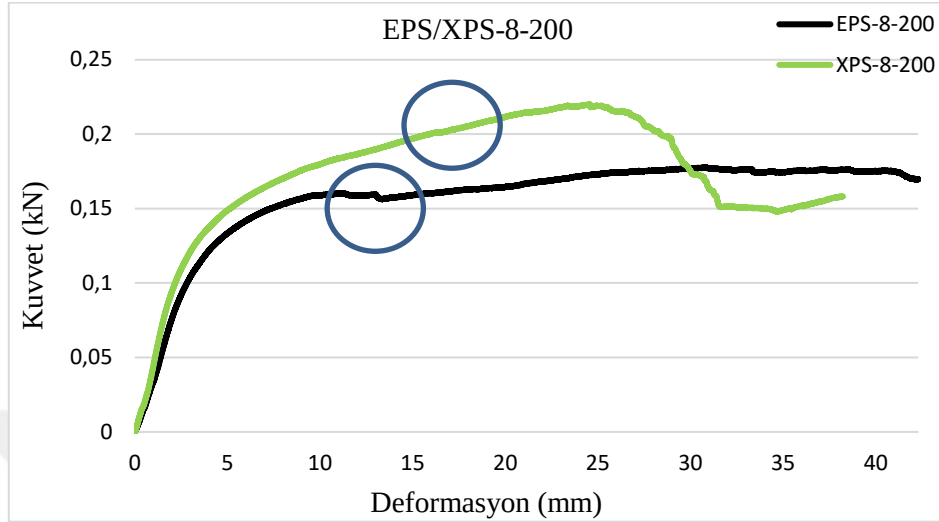
Şekil 4.32 Elyaf yoğunluğunun üç nokta eğme dayanımına etkisi (XPS, 12 kat).

Şekil 4.32’de gösterilen XPS-12-300 ve XPS-12-200 ait olan üç nokta eğme testinden elde edilen kuvvet-deformasyon grafiği gösterilmiştir. XPS-12-300 numunesinde yaklaşık 10 mm civarında ilk katman kırılması meydana gelmiş ve 320 N civarında bir kuvvete dayanım göstermiştir. XPS-12-200 numunede ise yaklaşık 22 mm civarında ilk katman kırılması meydana gelmiş ve 230 N civarında bir kuvvete dayanım göstermiştir. Test sonucunda XPS-12-300 numunesi XPS-12-200’e göre daha iyi sonuçlar vermiştir.

4.3.3 Tabaka Malzemesinin Üç Nokta Eğme Dayanımına Etkisi

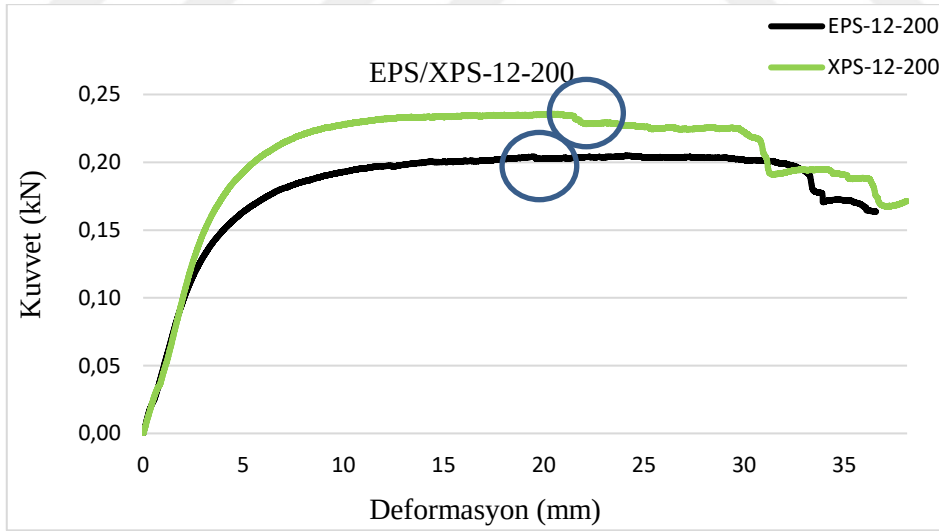
Şekil 4.33’te gösterilen EPS-8-200 ve XPS-8-200 ait olan üç nokta eğme testinden elde edilen kuvvet-deformasyon grafiği gösterilmiştir. EPS-8-200 numunesinde ilk tabaka kırılması yaklaşık 14 mm civarında deformasyonda meydana gelmiş olup buradaki maksimum kuvvet 160 N civarındadır. XPS-8-200 numunesinde ilk tabaka kırılması yaklaşık 17 mm civarında deformasyonda meydana gelmiş olup buradaki maksimum

kuvvet 200 N civarındadır. XPS-8-200 numunelerinin EPS-8-200 numunelerine göre daha yüksek mukavemete sahip olduğu görülmüştür.



Şekil 4.33 Tabaka malzemesinin üç nokta eğme dayanımına etkisi (8 kat, 200 gr.).

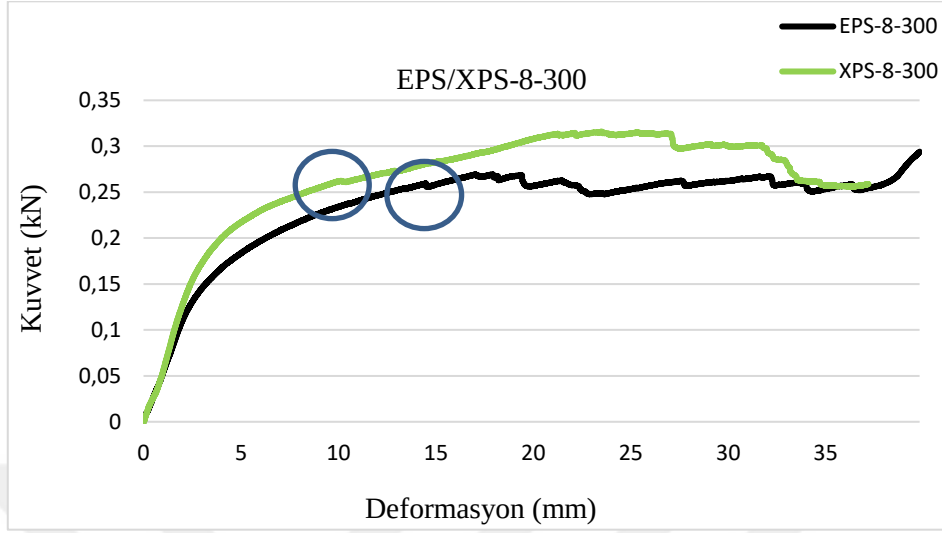
Şekil 4.34'te gösterilen EPS-12-200 ve XPS-12-200 ait olan üç nokta eğme testinden elde edilen kuvvet-deformasyon grafiği gösterilmiştir.



Şekil 4.34 Tabaka malzemesinin üç nokta eğme dayanımına etkisi (12 kat, 200 gr.).

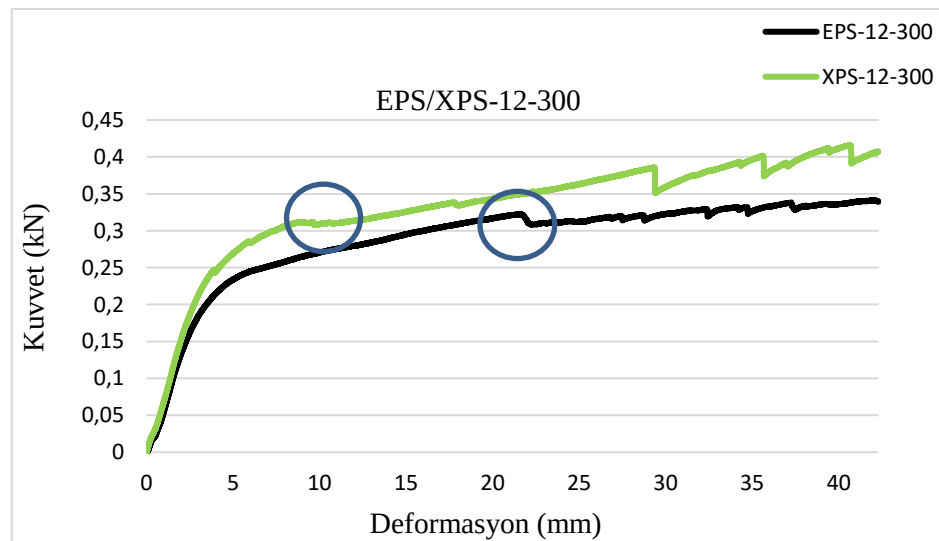
EPS-12-200 numunede ise yaklaşık 20 mm civarında ilk katman kırılması meydana gelmiş ve 200 N civarında bir kuvvete dayanım göstermiştir. XPS-12-200 numunede ise yaklaşık 22 mm civarında ilk katman kırılması meydana gelmiş ve 230 N civarında bir kuvvete dayanım göstermiştir. Bu verilere dayanarak, XPS numunelerinin EPS

numunelerine göre daha yüksek bir mukavemete sahip olduğu görülmektedir.



Şekil 4.35 Tabaka malzemesinin üç nokta eğme dayanımına etkisi (8 kat, 300 gr.).

Şekil 4.35'te gösterilen EPS-8-300 ve XPS-8-300 ait olan üç nokta eğme testinden elde edilen kuvvet-deformasyon grafiği gösterilmiştir. EPS-8-300 numunesinde ilk tabaka kırılması yaklaşık 14 mm civarında deformasyonda meydana gelmiş olup buradaki maksimum kuvvet 255 N civarındadır. XPS-8-300 numunesinde maksimum kuvvet 255 N civarında yaklaşık 10 mm lik deformasyonda oluşmuştur. Bu verilere dayanarak, XPS numunelerinin EPS numunelerine göre daha yüksek bir mukavemete sahip olduğu görülmektedir.



Şekil 4.36 Tabaka malzemesinin üç nokta eğme dayanımına etkisi (12 kat, 300 gr.).

Şekil 4.36’da gösterilen EPS-12-300 ve XPS-12-300 ait olan üç nokta eğme testinden elde edilen kuvvet-deformasyon grafiği gösterilmiştir. XPS-12-300 numunesinde yaklaşık 10 mm civarında ilk katman kırılması meydana gelmiş ve 330 N civarında bir kuvvete dayanım göstermiştir. EPS-12-300 numunede ise yaklaşık 22 mm civarında ilk katman kırılması meydana gelmiş ve 315 N civarında bir kuvvete dayanım göstermiştir. Bu verilere dayanarak, XPS numunelerinin EPS numunelerine göre daha yüksek bir mukavemete sahip olduğu görülmektedir.



5. TARTIŞMA ve SONUÇ

Bu çalışmada cam elyaf takviyeli polimer köpüklerin mekanik özelliklerinin karşılaştırılması yapılmıştır. Takviye malzemesi olarak cam elyafın 200 gr/m² ve 300 gr/m² tercih edilmiştir. Oluşturulan kompozit malzemelerin çekirdek kısmında ise EPS ve XPS köpükler kullanılmıştır.

- Basma testlerinde 8 ve 12 katmanlı numunelerine katmanlar arasında %50 fark varken basma dayanımlarında iki katından fazla artmıştır.
- Basma testlerinde yoğunluklar kıyaslandığında dayanımlarda yaklaşık %50 civarında bir artış oluşmuştur.
- Basma testi tabaka malzemeleri karşılaştırılmasında da XPS ve EPS köpük çekirdekli numuneler kıyaslandığında XPS köpük çekirdekli numuneler EPS ye göre daha iyi performans sergilemişlerdir.
- Darbe testlerinde 200 gr/m² özelliğindeki cam elyafı kompozitlerin 8 katlı numunelerde (XPS, EPS) delinme 12 katlı olanlarında ise geri sekme meydana gelmiştir.
- 300 gr/m² özelliğindeki cam elyafı kompozitlerin (XPS, EPS) 8 katında 12 katlı olan numunelere göre daha fazla deformasyon meydana gelse de her iki katmanlı numunede de deneyler geri sekme olarak sonuçlanmıştır.
- XPS ve EPS köpük çekirdekli numuneler kıyaslandığında XPS köpük çekirdekli numuneler EPS ye göre daha iyi performans sergilemişlerdir.
- Üç nokta eğme testlerinde 300gr/m² eğrilerdeki iniş çıkışlar oluşmuştur bu kumaşın yoğunluğu sebebi ile daha kalın olması ve bu sebepten katmanların daha gevrek bir yapıda olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.
- Üç nokta eğme testlerinde EPS tabakalı numunelerin kuvvet eğrileri daha stabil ve yatay şeklindedir. Bu EPS köpüğün yoğunluğunun XPS köpüğe oranla daha düşük olmasından kaynaklanmaktadır.
- XPS tabakalı kompozitlerin üç nokta eğme test sonlarına doğru elyaf tabaka ile köpük yapının ayrılmalara görülmüştür. Bu durum tabaka ile elyafı birleştiren reçinenin yeteri derecede birleştirememesinden kaynaklandığı düşünülmektedir.
- Her iki tabakalı (XPS-EPS) numunede de üç nokta eğme testi sonunda alt elyaf

tabakalarında deformasyon meydana getirilememiştir. Bu durum köpük tabakaların enerji absorbe etmesinden kaynaklanmaktadır.

- Üç nokta eğme testlerinde de darbe testlerine benzer sonuçlar elde edilmiştir. 12 katlı olan numuneler de 8 katlı olan numunelere göre daha yüksek dayanımlar elde edilmiştir.
- Üç nokta eğme testlerinde 300 gr/m² özelliğindeki elyaf tabakalı kompozit numuneler 200 gr/m² özelliğindeki numunelere göre daha iyi performans sergilemiştir.
- Üç nokta eğme testlerinde tabaka malzemeleri karşılaştırılmasında da XPS ve EPS köpük çekirdekli numuneler kıyaslandığında XPS köpük çekirdekli numuneler EPS ye göre daha iyi performans sergilemişlerdir. Bu XPS köpüğün yoğunluğunun EPS ye göre daha yüksek olmasından kaynaklanmaktadır.

Çalışmaya öneri olarak;

- Bu çalışmada kullanılan cam elyaf yerine doğal elyaflar kullanılarak kompozit malzeme üretimini geliştirilebilir ve bu sayede daha çevreci malzeme kompozit malzemeler üretiminde yol alınabilir.
- Yapılan kompozit malzelerden farklı olarak elyaf yapısında karbon elyaf kullanılabilir. Yapılan karbon takviyeli tabakalı kompozit malzeme için farklı hızlarda ve farklı enerjilerde testler uygulanabilir.
- Cam elyaf takviyeli tabakalı kompozit malzemelerin katman kalınlıkları değiştirilerek test sonuçları gözlemlenebilir.
- Yapılan çalışmadan farklı olarak çekirdek yapısında kullanılan malzemeler farklı değiştirilerek testler gerçekleştirilebilir.
- Çalışmada kullanılan XPS ve EPS tabaka yapılar için cam-karbon-cam gibi hibrit tabaka yapıları kullanılabilir ve yapılan tabakalar için test sonuçları karşılaştırılabilir.

6. KAYNAKLAR

- Akbulut G, 2018, Sürekli Karbon Elyaf Takviyeli Termoplastik Monokompozit Filament Esaslı Kafes Geometrilili Çekirdek Yapıların Kullanıldığı Hafif Sandviç Paneller Geliştirilmesi ve Statik ve Dinamik Yükler Altında Performansının Deneysel Olarak Belirlenmesi, Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 165s, Bursa.
- Arıcasoy O, 2006, ITO Kompozit Sektör Raporu, İstanbul Ticaret Odası İstanbul.
- Aslan V, 2017, Polimerik Kompozit Malzemeleri İnceleme, Balıkesir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 46s, Balıkesir.
- Baccar D, Söffker D, 2017, Identification and classification of failure modes in laminated composites by using a multivariate statistical analysis of wavelet coefficients, Mechanical Systems and Signal Processing, 96, 77-87.
- Bazli M, Ashrafi H, Jafari A, Zhao X L, Raman, R K, Bai Y, 2019, Effect of fibers configuration and thickness on tensile behavior of GFRP laminates exposed to harsh environment. Polymers, 11(9): 1401.
- Çuhadar B, 2005, İçten basınca maruz kapların dizaynı Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü Bitirme Projesi.
- Deniz M E, 2005, Kompozit Malzemelerin Üretim Yöntemleri ve Isıl İşleme Presleme Tekniği Kullanılarak Kompozit Malzeme Üretecek Bir Düzeneginin Tasarım ve İmalatı, Harran Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Şanlıurfa
- Dongjing H, Gang C, Ling T, Lie C, Shiyao L, Ping G, Yang Z, 2018, Research on adhesive properties of polydimethylsiloxane-carbon fiber composite material, International Journal of Adhesion and Adhesives, 86, 35-39.
- Durgun İ, 2014, El Yatırma Yöntemi ile Kompozit Parça Üretimi, 7. Mühendislik ve Teknoloji Sempozyumu, 15-16 Mayıs 2014, Çankaya Üniversitesi, Ankara, 283-287.

- Erdoğan D, 1999, Makine Malzeme Bilgisi. Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları 1507, Ankara.
- Erdoğan M, 2005, Çelik Takviyeli Alüminyum Kompozit Üretimi ve Mekanik Özelliklerinin Deneysel İncelenmesi, Dumlupınar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 65s, Kütahya.
- Ersoy H Y, 2001, Kompozit Malzemeler, Literatür Yayınları, 66, İstanbul.
- Ertuğ B, 2013. Advanced Fiber-reinforced Composite Materials for Marine Applications. In Advanced Materials Research. Trans Tech Publications Ltd., Newyork, 772, 173-177.
- Fukunaga H, Goda K, 1984, Fabrication of fiber reinforced metal by squeeze casting, Bulletin of the Japan Society of Mechanical Engineering, 27, 1245– 1250.
- Gellert E P, 1999, Seawater İmmersion Ageing of Glass-Fibre Reinforced Polymer Laminates For Marine Applications, Science Direct, Composites: Part A, 30 (11), 1259-1265.
- Gülmez S, 2018, Otomotiv Endüstrisinde Kullanılan Polimer Matrisli Kompozit Malzemeler, Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 74s, Denizli.
- Kara M, 2012, Çeşitli Elyaf Dizilimleriyle Oluşturulmuş Metal Köpük Çekirdekli Sandviç Kompozitlerin Mekanik Davranışlarının İncelenmesi, Hitit Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 90s, Çorum.
- Karbhari V M, Chin J, Hunston D, Benkmokrane B, Juska T, Morgan R, Lesko J J, Sorati U, Reynaud A D, 2003. Durability gap analysis for fiber-reinforced polymer composites in civil infrastructure. Journal of composites for construction, 7(3): 238-247.
- Karbhari V M, Rivera J, Zhang J, 2002. Low-temperature hygrothermal degradation of ambient cured E-glass/vinylester composites. Journal of applied polymer science, 86(9): 2255-2260.
- Kaw, A K, 2005, Mechanics of composite materials, CRC pres.

- Kaya A İ, 2016, Kompozit malzemeler ve özellikleri. Putech & Composite Poliüretan ve Kompozit Sanayi Dergisi, 29, 38-45.
- Kayrak M, 1999, Havacılık Kompozitleri ve Mukavemet Analizleri, T.C. Anadolu Üniversitesi Yayınları, 1101.
- Kiçeci E C, ve Salıncı E, 2020, Uçak-Yıldırım Etkileşimi. Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi, 20, 177-187.
- Kolat K, 2005, Farklı Ortamların Sandviç Kompozitlerin Kırılma Tokluğu Üzerindeki Etkisi, Dokuz Eylül Üniversitesi. Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 78s, İzmir.
- Koller R, Chang S, Xi Y, 2007, Fiber-reinforced polymer bars under freeze-thaw cycles and different loading rates, Journal of composite materials, 41(1): 5-25.
- Korkmaz N, Çakmak E, Dayık M, 2016, Dokuma Karbon Elyaf Takviyeli Karbon Nano Tüp- Epoksi Kompozit Malzemelerin Mekanik ve Termal Karakterizasyonu, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 20 (2), 338-353
- Ma G, Yan, L, Shen W, Zhu D, Huang L. and Kasal B, 2018, Effects of water, alkali solution and temperature ageing on water absorption, morphology and mechanical properties of natural FRP composites: Plant-based jute vs. mineral-based basalt, Composites Part B: Engineering, 153: 398-412.
- Öndürcü A, Karacan A, 201, Tabakalı Cam Elyaf / Epoksi Kompozitlerin Darbe Davranışının Deneysel Olarak İncelenmesi, Journal of Engineering Sciences and Design, 6(3), 435-447.
- Polat B, 2019, Cam Takviyeli Polimer Matrisli Termoplastik Kompozitlerin Mekanik Özelliklerinin Araştırılması, İskenderin Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 42s, Hatay.
- Rubino F, Nistico A, Tucci F and Carlone P, 2020. Marine Application of Fiber Reinforced Composites: A Review. Journal of Marine Science and Engineering, 8(1): 26.
- Sarı M K, 2010, Farklı Birleştirilmiş Kompozit Taşıyıcı Kirişlerin Analizi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 116s, İzmir

- Sathishkumar T P, Naveen J, 2014, Glass fiber-reinforced polymer composites-Areview, Journal of Reinforced Plastics and Composites, 33(13): 1258-1275.
- Sayer M, 2009, Hibrit Kompozitlerin Darbe Davranışlarının İncelenmesi. Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 134s., Denizli.
- Sevinç E, 2019, Sürekli Elyaf Takviyeli Termoplastik Kompozit Esaslı Çok Katmanlı Piramit Kafes Çekirdekli Çok Hafif Sandviç Plakaların Statik ve Dinamik İncelemesi, Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 60s, Bursa.
- Solmaz M Y, and Gür M, 2007, Tabakalı Kompozit Plakalarda Takviye Malzemesi Ve Oryantasyon Açısının Gerilme Analizine Etkisi, Doğu Anadolu Bölgesi Araştırmaları, 6 (1), 16-25.
- Şahin Y, 2006, Kompozit Malzemelere Giriş Kompozit Malzemeler İstatiksel Modeller Oluşturması, 2. Baskı Seçkin Yayıncılık, Ankara.
- Şimşir E, 2020, Taşıtlarda Kullanılan Polimer Matrisli Kompozit Yan Darbe Kirişlerinin Tasarımı ve Analizleri, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 164s, Afyon.
- Turgut T, Kayran A, Alemdaroğlu N, Ceylan M, 2007, Vakum Torbalama Yöntemi ile Kompozit Malzemedan Yapı Üretimi Örnek Bir Havacılık Uygulaması, Mühendis ve Makina, 566, 1-8.
- Uçsular İ, 2007, Termoplastik Kompozitlerde Farklı Fiber Örgü Yapılarının Isıl Yükleme Davranışları Üzerindeki Etkileri, Celal Bayar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi., 104s, Manisa.
- Werber F X, 1980, Analysis and performance of fiber composites, BD Agarwal and LJ Broutman, Wiley-Interscience, New York, 355
- Yalçın E, 2012, Farklı Kumaş ve Farklı Yöntemlerle Üretilmiş CTP Kompozitlerin Balistik Davranışlarının İncelenmesi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 137s, İstanbul.
- Yaşar İ, Arslan F, 2000, Sürekli Cam Elyaf Takviyeli Polyester Matrisli Kompozitlerde Elyaf Hacim Oranı ve Elyaf Doğrultusunun Tribolojik Özelliklere Etkisi, Turk J Engin Environ Sci, 24, 181 – 191.

Ye J, 2002, Laminated composite plates and shells: 3D modelling, UK, Springer Science and Business Media.

Yıldızhan İ, 2013, Hibrit Kompozit Malzemelerin Darbe Davranışı, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 96s, Isparta.

Yüce İ, 2007, Dairesel Kompozit Tabakalarda Düşük Hızlı Darbe Hasarının İncelenmesi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 82s, Konya.

İnternet Kaynakları

- 1- <https://www.aterstore.com.tr/urun/mantolama-malzemeleri/mantolama-levhalari/eps/karbonlu-strafor/>, 05.03.2023
- 2- <https://brnizolasyon.com/urun-xps-1582.html>, 06.05.2023
- 3- <https://afzir.com/tr/glassfiber/#:~:text=Cam%20elyaflar%20nakliye%20s%C4%B1ras%C4%B1nda%20y%C4%B1pranmaya,yava%C5%9F%20kesme%20tak%C4%B1mlar%C4%B1na%20neden%20olur>, 11.05.2023
- 4- <http://www.ruzgarsempozyumu.org/wp-content/uploads/2014/08/0161.pdf> , 11.05.2023
- 5- <https://sozluk.gov.tr/>, 06.06.2023
- 6- <https://www.uab.gov.tr/uploads/pages/kutuphane/aus-terimleri-sozlugu.pdf>, 15.05.2023

