



**DOĞAL ELYAF TAKVİYELİ POLİMER KÖPÜK
ÇEKİRDEKLİ TABAKALI KOMPOZİTLERİN
ENERJİ SÖNÜMLEME YETENEKLERİNİN
İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ
Kenan BUDAK

Danışman
Dr. Öğr. Üyesi İbrahim YAVUZ

İkinci Danışman
Öğr. Gör. Dr. Ercan ŞİMŞİR

OTOMOTİV MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Temmuz 2023

AFYON KOCATEPE ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**DOĞAL ELYAF TAKVİYELİ POLİMER KÖPÜK ÇEKİRDEKLİ
TABAKALI KOMPOZİTLERİN ENERJİ SÖNÜMLEME
YETENEKLERİNİN İNCELENMESİ**

Kenan BUDAK

Danışman

Dr. Öğr. Üyesi İbrahim YAVUZ

İkinci Danışman

Öğr. Gör. Dr. Ercan ŞİMŞİR

OTOMOTİV MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Temmuz 2023

TEZ ONAY SAYFASI

Kenan BUDAK tarafından hazırlanan “Doğal Elyaf Takviyeli Polimer Köpük Çekirdekli Tabakalı Kompozitlerin Enerji Sönümleme Yeteneklerinin İncelenmesi” 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

İkinci Danışman : Öğr. Gör. Dr. Ercan ŞİMŞİR

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

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

Üye : Dr.Öğr. Üye. 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

Kenan BUDAK

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

DOĞAL ELYAF TAKVİYELİ POLİMER KÖPÜK ÇEKİRDEKLİ TABAKALI KOMPOZİTLERİN ENERJİ SÖNÜMLEME YETENEKLERİNİN İNCELENMESİ

Kenan BUDAK

Afyon Kocatepe Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Otomotiv Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Dr. Öğr.Üyesi İbrahim YAVUZ

İkinci Danışman: Öğr. Gör. Dr. Ercan ŞİMŞİR

Kompozit malzemelerin gelişimi, farklı endüstriyel uygulamalarda büyük bir ilerleme kaydetmiştir. Bu gelişim, daha iyi mukavemet, düşük ağırlık, yüksek sertlik, kimyasal dayanıklılık gibi özelliklere sahip malzemelerin üretilmesine olanak tanımıştır. Bu özelliklerinden dolayı uçak ve uzay endüstrisi, otomotiv sektörü, denizcilik, gibi birçok alanda kullanılmaktadır.

Bu çalışmada otomotiv sektörü için, doğal elyaf takviyeli polimer köpük çekirdekli tabakalı kompozitlerin üretimi yapılmıştır. Doğal elyaf olarak koyunyünü kullanılmıştır. 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 bir ve iki kat olmak üzere toplamda iki ve dört 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 sönmleme yeteneklerinin analiz etmek için basma testleri, üç nokta eğme testleri ve düşük hızda darbe deneyleri yapılmıştır.

Deneyler sonucunda toplam dört katlı olan numunelerin iki katlı olanlara göre daha iyi performans sağladığı tespit edilmiştir. Diğer bir sonuç ise XPS köpük numunelerin EPS

ye göre daha iyi performans sergilediği görölmüştür. Darbe testlerinde çift katlı olan numunelerde 10 J darbe testlerinde geri sekme meydana gelmiş, 20 J olan deneylerde ise delinme veya saplanmalar tespit edilmiştir.

2023, xii + 65 + sayfa

Anahtar Kelimeler: Doğal kompozit, Koyunyünü, Tabakalı kompozit, Darbe Testi



ABSTRACT

M.Sc. Thesis

INVESTIGATION OF THE ENERGY DISPOSAL CAPABILITIES OF NATURAL FIBER REINFORCED POLYMER FOAM CORE LAYERED COMPOSITES

Kenan BUDAK

Afyon Kocatepe University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Automotive Engineering

Supervisor: Asst. Prof. Üyesi İbrahim YAVUZ

Co-Supervisor: Inst. Dr. Ercan ŞİMŞİR

The development of composite materials has made significant progress in various industrial applications. This advancement has enabled the production of materials with improved strength, reduced weight, high rigidity, and chemical resistance. Due to these properties, composite materials are used in many fields such as the aerospace industry, automotive sector, and marine industry.

In this study, the production of natural fiber-reinforced polymer foam core sandwich composites was carried out specifically for the automotive sector. Sheep wool was used as the natural fiber. Two different types of polymer foam, XPS (Extruded Polystyrene) and EPS (Expanded Polystyrene), were used as the core materials. The fibers were bonded to the top and bottom sides of the foams using resin. Two types of samples were produced, with one and two layers on each side, resulting in a total of two and four-layered composites. The production process was carried out using the hand lay-up method and vacuum bagging technique. After the production, the samples were cut into standard sizes for testing. Compression tests, three-point bending tests, and low-velocity impact tests were conducted to analyze the energy dissipation capabilities of the produced samples.

As a result of the experiments, it has been determined that the samples with a total of four floors provide better performance than those with two floors. Another result was that XPS

foam samples performed better than eps. In the double-layered samples in the impact tests, rebound occurred in the 10 J impact tests, and punctures or stabs were detected in the 20 J tests.

2023, xii + 65 + pages

Keywords: Natural composite, Sheep Wool, Layered composite, Impact Test



TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmanın başlangıcından bitişine kadar ilgisini, bilgisini, tecrübesini ve samimiyetini zaman kavramına bağlı kalmaksızın esirgemeyen değerli Danışman hocam Dr.Öğr. Üyesi İbrahim YAVUZ, ikinci Danışman Öğr. Gör. Ercan ŞİMŞİR'e teşekkür ediyorum. Varlıkları ile neşe kaynağım olan ve dünyanın en güzel hediyesi olan çocuklarım Ecenur ve Ahmet BUDAK'a manevi desteğini daima yanımda hissettiren ve tez sürecinde bu desteklerini eksik etmeyen değerli eşim Tuğba BUDAK'a sonsuz sevgi ve teşekkürlerimi sunuyorum.

Kenan BUDAK
Afyonkarahisar 2023

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

	Sayfa
ÖZET	i
ABSTRACT	iii
TEŞEKKÜRLER.....	v
İÇİNDEKİLER DİZİNİ.....	vi
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	ix
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xi
RESİMLER DİZİNİ	xii
1. GİRİŞ.....	1
2. LİTERATÜR BİLGİLERİ	4
2.1 Kompozit Malzeme.....	5
2.2 Kompozit Malzemelerin Teknolojik Gelişimi	7
2.3 Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması	9
2.3.1 Elyaf (Fiber) Takviyeli Kompozit Malzemeler	12
2.3.2 Yapay Elyaf Kompozitler	12
2.3.3 Doğal Elyaflı Kompozitler.....	15
2.3.4 Bitkisel Elyaf lar	17
2.3.5 Hayvansal Elyaf lar	18
3. MATERYAL ve METOT	20
3.1 Kullanılan Malzemeler	20
3.1.1 Epoksi Reçine ve Reçine Sertleştirici	20
3.1.2 Poliüretan Köpük (XPS-EPS)	21
3.1.3 Koyun Yünü.....	23
3.1.4 Vakum Torbası.....	24
3.1.5 Vakum Pompası	25
3.2 Metot.....	26
3.2.1 Elle Yatırma Yöntemi	27
3.2.2 Vakum Torbalama Yöntemi.....	30
3.2.3 Darbe Test Cihazı ve Deneyi	30
3.2.4 Basma Test Cihazı ve Deneyi	32
3.2.5 Üç Nokta Eğme Test Cihazı ve Deneyi	34
4. BULGULAR	35

4.1 Koyunyünü Tabakalı Kompozit Darbe Test Sonuçları.....	35
4.1.1 Katman Kalınlığının Darbe Dayanımına Etkisi	37
4.1.2 Tabaka Malzemesinin Darbe Dayanımına Etkisi.....	40
4.1.3 Enerji Yoğunluğunun Darbe Dayanımına Etkisi	43
4.2 Koyun Yünü Tabakalı Kompozit Basma Test Sonuçları.....	46
4.2.1 Katman Kalınlığının Basma Dayanımına Etkisi	47
4.2.2 Tabaka Malzemesinin Basma Dayanımına Etkisi.....	48
4.3 Koyun Yünü Tabakalı Kompozit 3 Nokta Eğme Test Sonuçları	50
4.3.1 Katman Kalınlığının Üç Nokta Eğme Dayanımına Etkisi	51
4.3.2 Tabaka Malzemesinin Üç Nokta Eğme Dayanımına Etkisi.....	53
5. TARTIŞMA ve SONUÇ	55
6. KAYNAKLAR.....	57
ÖZGEÇMİŞ.....	65

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler

J	Joule
mm	Milimetre

Kisaltmalar

ASTM	Amerikan Test ve Malzeme Kurumu (American Society for Testing and Materials)
BMC	Toplu kalıplama bileşiği
CTP	Cam takviyeli plastik
EPS	Expanded Polistiren Köpük
FRP	Fiber Takviyeli Polimerler
FVF	Lif hacim oranı
KY-Ç-EPS	Koyunyünü çift kat expanded polistiren köpük
KY-Ç-XPS	Koyunyünü çift kat ekstrude polistiren köpük
KY-T-EPS	Koyunyünü tek kat expanded polistiren köpük
KY-T-XPS	Koyunyünü tek kat ekstrude polistiren köpük
MS	Milat'tan Sonra
NFPC	Doğal elyaf polimer kompozitler
SMC	Levha kalıplama bileşiği
TOGG	Türkiye'nin Otomobili Girişim Grubu
TÜİK	Türkiye İstatistik Kurumu
XPS	Ekstrude Polistiren

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 2.1	Kompozitlerin genel sınıflandırılma durumu (Callister ve Rethwisch 2007)...	9
Şekil 2.2	Bileşenlerine ve şekillerine göre kompozitlerin sınıflandırılması (Altenbach vd. 2004).....	11
Şekil 2.3	Üretim yöntemine göre kompozitlerin sınıflandırılması (Callister ve Rethwisch 2007).....	11
Şekil 3.1	EPS tabakalı köpük.	22
Şekil 3.2	XPS tabakalı köpük.....	22
Şekil 3.4	Elle yatırma yöntemi ile kompozit malzeme üretimi.	27
Şekil 3.5	Polimer köpük çekirdek tabakalı numuneler	29
Şekil 4.1	10 J darbe enerjisi altında KY-C-EPS ve KY-T-EPS kuvvet-deformasyon grafiği.	37
Şekil 4.2	20 J darbe enerjisi altında KY-C-EPS ve KY-T-EPS kuvvet-deformasyon eğrisi.	38
Şekil 4.3	10 J darbe enerjisi altında KY-C-XPS-ve KY-T-XPS kuvvet-deformasyon eğrisi.	38
Şekil 4.4	20 J darbe enerjisi altında KY-C-XPS ve KY-T-XPS kuvvet-deformasyon eğrisi.	39
Şekil 4.5	10 J darbe enerjisi altında KY-C-EPS ve KY-C-XPS kuvvet-deformasyon eğrisi.	40
Şekil 4.6	20 J darbe enerjisi altında KY-C-EPS ve KY-C-XPS kuvvet-deformasyon grafiği.	41
Şekil 4.7	10 J darbe enerjisi altında KY-T-EPS ve KY-T-XPS kuvvet-deformasyon grafiği.	41
Şekil 4.8	20 J Darbe enerjisi altında KY-T-EPS ve KY-T-XPS kuvvet-deformasyon grafiği.	42
Şekil 4.9	10 J ve 20 J darbe enerjisi altında KY-C-EPS ve KY-C-EPS kuvvet-deformasyon grafiği.	43
Şekil 4.10	10 J ve 20 J darbe enerjisi altında KY-T-EPS kuvvet-deformasyon eğrisi...	44
Şekil 4.11	10 J ve 20 J darbe enerjisi altında KY-C-XPS kuvvet-deformasyon grafiği.	44
Şekil 4.13	EPS tek ve çift katlı kuvvet-deformasyon grafiği.	47
Şekil 4.14	XPS tek ve çift katlı kuvvet-deformasyon grafiği.	48
Şekil 4.15	XPS-EPS tek katlı kuvvet-deformasyon grafiği.	49
Şekil 4.16	XPS-EPS çift kat kuvvet-deformasyon grafiği.	49
Şekil 4.17	EPS tek ve çift katlı kuvvet-deformasyon grafiği.	51

Şekil 4.18 XPS tek kat kuvvet-deformasyon grafiği.	52
Şekil 4.19 XPS-EPS tek katlı kuvvet-deformasyon grafiği.	53
Şekil 4.20 XPS-EPS çift kat kuvvet-deformasyon grafiği.	53



ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa
Çizelge 3.1 Epoksi reçine özellikleri.....	21
Çizelge 3.2 Koyunyünün teknik özellikleri.....	23
Çizelge 3.3 Vakum pompası Rocker 300 teknik özellikleri.....	26



RESİMLER DİZİNİ

	Sayfa
Resim 3.1 Epoksi reçine ve sertleştiricileri.....	21
Resim 3.2 Koyunyünü a: koyundan kırılmış ham hali b: kumaş hali	23
Resim 3.3 Çalışmada kullanılan vakum naylonu.....	25
Resim 3.4 Vakum pompası	25
Resim 3.5 Koyunyünde yapılan kumaşın, kalınlığı a ve boyutu b kesim görseli.	28
Resim 3.6 Epoksi reçine karıştırma işlemi ve hassas tartı.	29
Resim 3.7 Numune üretimi için vakum torbalama işleminin görseli.....	30
Resim 3.8 Çalışmada tercih edilen darbe test cihazın görseli.....	31
Resim 3.9 Darbe testi için üretilen numuneler.....	32
Resim 3.10 Basma deneyinde kullanılan cihaz.....	33
Resim 3.11 Basma testi için üretilen numuneler.....	33
Resim 3.12 Üç nokta eğme testi için üretilen numuneler.	34
Resim 4.1 Darbe deneyi testin uygulanması.....	35
Resim 4.2 Darbe testi EPS numune sonuçları.....	36
Resim 4.3 Darbe testi XPS numune sonuçları.	36
Resim 4.4 Basma deneyi test aşaması.....	46
Resim 4.5 Basma testi sonucu numunede oluşan hasar görseli.	47
Resim 4.6 Üç nokta eğme test aşaması.	50
Resim 4.7 Üç nokta eğme test sonucu.	51

1. GİRİŞ

Sanayileşme ve teknolojiye bağlı olarak ulaşım sektörüne çarpıcı şekilde ve giderek artan bir ivmeyle yoğun bir trafiğin ortaya çıktığı bir dünyaya doğru dönüşmektedir. Bunun sonucu olarak, trafik kazalarında giderek artmaktadır. Trafik kazaları; tek araç, zincirleme, yaya-arac ve araç nesne vb. şekillerde olmaktadır. Her ne kadar bu kazaların önlenmesine yönelik kaza öncesi eğitimler ve kaza anındaki koruyucu önlem alınsa da kazaların olması kaçınılmaz fiziksel bir gerçekliktir. Bunun doğal sonucu olarak gerek metalürjik gerek yöntemsel yeni arayış ve inovasyonlar hız kesmeden devam etmektedir. 2021-2023 Karayolları Trafik Güvenliği Eylem Planında Güvenlik önlemleri aktif ve pasif olarak ifade edilmiştir (İnt.Kyn.1). Ulaşım ve Altyapı Bakanlığının yayınlamış olduğu akıllı ulaşım sistemleri terimleri sözlüğünde (İnt.Kyn.2); aktif güvenlik “*Sürüş esnasında kazadan kaçınmak için uyarı ve müdahaleyle sürücüye yardımcı olan güvenlik sistemi.*” ve pasif güvenli “*Bir kazanın olumsuz sonuçlarını azaltan güvenlik sistemleri.*” olarak tanımlanmıştır. Aktif güvenlik önlemleri, sensörlü uyarı sistemi algoritması, pasif güvenlik ise, malzeme değişikliği ve malzeme iyileştirmesi olarak tarif edilebilir.

Türk Dil Kurumu sözlüğünde çarpışmak “Birbirine çarpmak, tokuşmak” olarak tanımlanmıştır (İnt.Kyn.3). Otomobillerde çarpışmanın durumunu ise bir veya birden çok aracın ya da engelle şiddetle yüzeysel enerji aktarımlarına maruz kalma durumudur. Otomotiv mühendisliğinde çarpışmaya karşı dayanıklılık, taşıtın içindeki yolcuları sert darbelerde yaralamalara ve ölümlere karşı koruma direncidir. Otomobillerde çarpışmada deforme etme ve kinetik enerjiyi tüketerek, taşıtın yer değiştirme ve dış kaportanın değişimini sağlar.

Dünya’da teknolojinin hızla gelişmesi ile birlikte, sürdürülebilir bir çevreyle ilgili farkındalık ve iyileştirme için araştırmacılara, etkili ve yeni teknolojiler geliştirme imkânı sunmaktadır. Buna yönelik otomotiv sektöründe de hafif, dayanıklı, doğa dostu kompozit malzemelerin üretimi ile ilgili imalatlar hızla geliştirilmektedir.

Otomotiv endüstrisinde yeşil kompozit için, CO₂ azaltması kapsamında başta Avrupa ülkeleri olmak üzere, süreç içerisinde tüm ülkeler mevzuatlarında teşvik edici

düzenlemeler yapılmaktadır. Taşıt imalatçıları için ortaya çıkan bu durum, aynı zamanda yeni maliyet demektir. Ancak, bu yenilikleri birçok avantaja dönüştürmek mümkündür. Bunların başında, taşıtların ağırlıklarını azaltmanın yanı sıra çarpışmaya karşı dayanıklı malzeme üretimine imkân vermektedir. Bunun için, otomotivde gelişen, değişen güvenliği sürdürmek amacıyla, kompozit malzemelerin potansiyel faydaları araştırılmaya devam edilmektedir.

Ülkemizde de elektrikli araç olarak üretilen TOGG marka araçta olduğu gibi gelecekteki yeni nesil araçlar için daha hafif uygulanabilir, sürdürülebilir ağırlığa özgü daha iyi mekanik özelliğe sahip kompozit malzeme üretmek kaçınılmazdır. Özellikle binek araçlarında kompozit malzemenin enerji soğurma gücü, yolcunun hayatta kalması için malzemenin çarpışmaya karşı dayanıklılığı çok önemlidir. Öncelikle üretilen kompozit malzeme, taşıt kazası esnasında darbeyi azaltarak, can güvenliğini sağlaması için tasarlanmalıdır.

Bu güvenlik değerini sağlayan eleman dayanımlarının maliyet, mukavemet ve kolayca erişim imkânı sunmaları da, üretimden pazarlamaya kadar geçen süreçte her zaman dikkat edilen bir faktördür. Tüm üretim unsurları dikkate alındığında, günümüz teknolojisinde otomotiv sektörü için kompozit malzemelerin tercihi öne çıkarak, yaygınlaşmaya devam etmektedir.

Mühendislik malzemelerinde kullanım alanlarına göre esneklik, hafiflik darbe dayanımı, yüksek korozyona karşı direnç, eğilme dayanımları, enerji sönmleme ve ısıl dayanım gibi özellikler aranmaktadır. Bu ihtiyaca karşılık vermek üzere, yeni kompozit malzemeler geliştirmeye başlanmış ve kullanma alanları gün geçtikçe yaygınlaşmıştır (Ehrenstein 2012).

Gelişmiş kompozitler, belirli bir tasarıma uygunluklarını belirlemek için farklı yönlerde mekanik test uygulamalarına tabi tutulmaktadır. Genel olarak bu testleri çekme, basma, kesme, darbe testlerinden sonra basma, yorulma ve yüksek gerinim oranı testleri olarak ifade etmek mümkündür (İnt.Kyn.4).

Hayvansal elyafların sanayi sektöründe yaygınlaşarak, imalatlarda üretim kabiliyetinin artırılmasının yanı sıra ülke hayvancılığın gelişmesi için katma değer üretmektedir. Doğal elyaflı takviyeli kompozitler, mekanik ve fiziksel özellikleri bakımından hafif, düşük ekonomik maliyeti, sürdürülebilir gelişime açık ve çevre dostu olması nedeniyle, gelişmiş ve sanayileşmiş ülkelerde, otomotiv sektöründe birçok alanda kullanılmaktadır. Bu kullanım alanların biri doğal elyaflarla takviye edilen kompozit malzeme ile taşıtlarda darbe emilimi sağlayabileceği düşünülmektedir.

Bu çalışmada doğal elyaflı polimer köpüklü çekirdek tabakalı kompozitlerin enerji sönmeme yeteneğinin incelenmeye çalışılmıştır. Çalışmada elyaf olarak koyunyünü kullanılmış olup, XPS ve EPS olmak üzere iki farklı çekirdek yapısı tercih edilmiştir. Üretilen numuneler üzerine basma ve üç nokta eğme testleri Afyon Kocatepe Üniversitesi laboratuvarında bulunan universal çekme basma test cihazı, darbe testleri ise Hitit Üniversitesi Bilimsel Teknik Uygulama ve Araştırma Merkezi Laboratuvarında gerçekleştirilmiştir.

2. LİTERATÜR BİLGİLERİ

Koyunyünü, son yıllarda kompozit malzeme üretimi için dikkat çeken bir alternatif olarak incelenmektedir. Ülkemizde, 46.122.627 koyun bulunmaktadır (TÜİK 2022). Koyunyünü ülkemizde yaygın olarak kompozit malzemelerde kullanılmamaktadır. Ancak, hayvansal doğal elyaflar, endüstrinin birçok alanında kullanılmaktadır. Bu alanda yapılan deneysel çalışmalar, koyunyünün mekanik özelliklerinin iyileştirilmesi ve çeşitli uygulamalarda kullanılabilmesi için büyük potansiyel taşıdığını göstermektedir.

Waddar vd. (2019), koyunyünü ve polimer matrisin birleşiminden oluşan kompozit malzemelerin üretimini incelemişlerdir. Bu çalışmada, koyunyünü liflerinin mekanik özellikleri üzerindeki etkileri araştırılmış ve elde edilen sonuçlar umut verici bulunmuştur. Koyunyünün kompozit malzemelerin mukavemetini artırabileceğini ve aynı zamanda hafiflik sağlayabileceğini belirtmişlerdir.

Fiero vd. (2020) yapmış olduğu çalışmada, koyunyünü ve termoplastik polimerlerin kombinasyonundan oluşan kompozit malzemelerin termal iletkenlik özellikleri araştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar, koyunyünün termal yalıtkan sağlama yeteneği üzerinde olumlu bir etkisi olduğunu ortaya koymuştur. Bu çalışma, koyunyünü kompozit malzemelerin inşaat sektöründe yalıtım uygulamaları için potansiyel bir çözüm olabileceğini göstermiştir.

Koyunyünü kompozit malzemelerin biyo-yenilenebilirlik özelliği de araştırmacıların dikkatini çeken bir konudur. Sun vd. (2023) çalışmasında, koyunyünün çevresel açıdan sürdürülebilir bir seçenek olduğunu ortaya konmuştur. Koyunyünü ve doğal reçine kombinasyonundan oluşan kompozit malzemelerin üretimi üzerine, bir dizi deneysel çalışma yapılmıştır. Çalışmasının sonucu olarak koyunyünü temelli kompozit malzemelerin biyo-yenilenebilir ve çevre dostu bir seçenek olabileceğini belirtilmiştir.

Koyunyünü üzerine çalışılan bir diğer konu ise, alev ve tutuşma üzerine yapılmıştır. Lee ve Choi (2023) yapmış oldukları çalışmada, koyunyünü ve alev geciktirici polimerlerin birleşiminden oluşan kompozit malzemelerin yangına dayanıklılığını araştırmışlardır. Çalışmada, koyunyünü katkılı kompozit malzemelerin yangın sırasında duman ve zehirli

gaz salınımını azaltabileceği ve böylece yangın güvenliğini artırabileceği belirtilmiştir.

Bunun yanı sıra, koyunyünü kompozit malzemelerin akustik özellikleri de incelenmiştir. Borlea vd. (2020) tarafından, koyunyünün ses emilim özelliğini geliştirmek amacıyla kompozit malzemelerde kullanılmasını araştırmışlardır. Yapılan deneylerde, koyunyünü katkılı kompozit malzemelerin yüksek frekanslı ses dalgalarını etkili bir şekilde emebildiği ve böylece akustik performansı artırdığı gözlemlenmiştir. Bu çalışma, koyunyünü kompozit malzemelerin ses yalıtımı ve akustik düzenleme uygulamalarında kullanılabilme potansiyelini göstermektedir.

Koyunyünü kompozit malzemelerin üretim süreci de araştırmacıların ilgi odağı olmuştur. Singha vd. (2022) tarafından, koyunyünü liflerini uygun polimer matris ile birleştirmek için farklı üretim tekniklerini incelemişlerdir. Çalışmada, presleme, enjeksiyon kalıplama ve elyaf sarma gibi yöntemlerin kullanılmasıyla elde edilen kompozit malzemelerin yapısal bütünlüğü ve performansı üzerine odaklanılmıştır. Sonuçlar, farklı üretim tekniklerinin koyunyünü kompozit malzemelerin özelliklerini farklı şekillerde etkileyebileceğini göstermiştir. Bu bulgular, üretim sürecinin kompozit malzemenin son özelliklerine olan etkisini anlamak ve optimize etmek için önemli bir bilgi sağlamaktadır.

2.1 Kompozit Malzeme

"Kompozit" kelimesi genellikle iki veya daha fazla ayrı malzemenin makroskopik ölçekte birleşmesi olup "kompozit malzeme" ise malzeme bileşenlerinin her biri farklı termal, mekanik, elektriksel, manyetik, optik ve kimyasal özelliklere sahip çeşitli mühendislik uygulamalarında kullanılan yapısal bir birim anlamını içermektedir.

Kompozit malzemeler "tek tek bileşenlerin kendi başlarına elde edemedikleri özellikleri elde etmek için farklı malzemelerin yapay olarak bir araya getirilmesiyle elde edilen çok fazlı malzemeler olarak tanımlanmaktadır. Kompozit malzemelerin farklı türevleri vardır. Bunları metal, seramik ve organik malzemeler şeklinde üç ana grupta sınıflandırmak da mümkün olduğu gibi yapılarına göre sürekli elyaf kompozitler, karbon-karbon kompozitler, çimento-matriks kompozitler ve işlenmelerine göre ise polimer-matriks

kompozitler, metal-matriks kompozitler, karbon-matriks kompozitler, seramik-matriks kompozitler, çimento-matris kompozitleri olarak gruplandırmıştır (Chung 2010).

Bunlar, farklı fazların doğal olarak reaksiyonlar, faz dönüşümleri tarafından oluşturulduğu çok fazlı malzemeler değildir. Karbon elyaf takviyeli polimer gibi bileşenlerini, oranlarını, dağılımlarını, morfolojilerini, kristallik derecelerini, kristalografik dokularını ve bileşenler arasındaki ara yüzün yapısını ve bileşimini uygun şekilde seçerek çeşitli özelliklere göre uyarlamaktadır. Örneğin, havacılık, otomobil, elektronik, inşaat, enerji, biyomedikal ve diğer endüstrilerle ilgili teknolojilerin ihtiyaçlarını karşılamak üzere tasarlanarak, sanayi ticari ve mühendislik malzemesini oluşturmaktadır.

Bilinen bir ifadeyle, farklı malzemelerin bileşiminden oluşan bir kompozit yapı performansları bağımsız hareket eden bileşen malzemelerden üstün nitelikler göstererek üretim başarısı sağlamaktadır.

Kompozit malzemeler, kompoziti tek tek oluşturan bileşenlerine veya yüksek dirençli metal parçalarına kıyasla bazı avantajlara sahip olup kompozit malzeme oluşurmasıyla geliştirilebilecek malzeme özellikleri şu şekilde belirtilmiştir (Jones 1999):

- Mukavemet
- Sertlik
- Aşınma direnci
- Ağırlık
- Yorulma ömrü (Malzeme ataleti)
- Aşırı sıcaklık tepkisi
- Isı yalıtımı veya iletimi
- Elektrik yalıtımı veya iletimi
- Akustik yalıtım veya iletim
- Nükleer, X-ışını veya manyetik radyasyona yanıt
- Bir ortama kimyasal tepki veya etkisizlik (korozyon direnci)
- Elektromanyetik ve radar yalıtımı veya iletimi

- Çatlak (kırılma) direnci ve yalama
- Maliyet
- İmalat
- Sıcaklığa bağlı davranış
- Çekicilik

Eskiden beri insanlar, malzemelerin birleştirmenin olumlu sonuçları olacağını düşünmüş ve çamur ile samanı birleştirerek kullanmıştır. Örneğin: Türklerde eski zamanlardan beri kullanımı bilinen ve ayrıca Çin, Mısır gibi medeniyetler tarafından da kullanılan, kompozitler, farklı malzemelerden üretilmiştir. Kompozit yaylar daha kaliteli ve basit yaylara göre daha avantajlı bir silah olurken, diğer taraftan çağa uygun şekilde gelişen teknoloji ile birlikte gelinen noktada, niteliği itibarıyla geleceğin ekonomi kollarını teşkil eden otomotiv, inşaat, havacılık, sağlık teknolojisi gibi endüstri sektörü alanlarında hızlı gelişim gösteren metalürji konusunu teşkil etmektedir (Loades 2016).

Bir taraftan kompozit malzemenin düşük ağırlık ve yüksek mukavemet oranı, diğer taraftan kimyasallara, yangına, korozyona ve aşınmaya karşı direnç gibi öne çıkan yapısal ve mekanik özellikleri ile kolay üretim ve ekonomikliği malzeme bilimleri alanında kompozit malzemelerin kullanımını her geçen gün artırmaktadır.

2.2 Kompozit Malzemelerin Teknolojik Gelişimi

Kompozitlerin ilk kullanımları M.Ö. 1500'lerden başlayıp Erken Mısırlılar ve Mezopotamyalı yerleşimciler, güçlü ve dayanıklı binalar oluşturmak için çamur ve saman karışımı kerpiç yapılar günümüze kadar uzanmaktadır. Ayrıca, çanak-çömlek ve tekneler de dâhil olmak üzere antik kompozit ürünler günlük yaşamda yer bulmaya ve daha sonra MS 1200'de Moğolların ürettiği tahta, kemik ve "hayvan tutkalı" kombinasyonlu kompozit yaylar, ok atmak için savaş sanayisinde görülmeye başlamıştır (Nagavally 2017, Pasăre vd. 2019).

II. Dünya Savaşı ile birlikte, laboratuvarlarda kompozit malzeme geliştirilmiştir. Bu düzeyde kompozit malzemelerin gelişimi ve ihtiyacı aynı zamanda Fiber Takviyeli

Polimerler (FRP) endüstrisinin oluşumuna da zemin hazırlamıştır. II. Dünya Savaşı sonuna gelindiğinde, öncelikle, askeri uygulamalar olmak üzere çeşitli ürünler için 7 milyon libreden fazla cam elyafı kullanılmıştır (Ngo 2020). Savaşın sonra kompozit malzeme gelişimi yükselmeye devam etmiştir. 1950'lerde hızla büyüyerek günümüze değin otomotiv, havacılık, inşaat ve ulaşım gibi diğer pazarlara kompozitler yerini almıştır.

Bundan çok kısa bir süre sonra FRP kompozitlerinin faydaları, özellikle korozyon direnci, endüstri sektörü tarafından bilinir hale gelmiştir. Tekneler için fayda sağlayan bariz bir ürün olan ilk kompozit ticari tekne gövdesi 1946'da tanıtılmıştır. Komple bir otomobil gövdesi kompozitten yapıp, 1947'de test edilmiştir. Bununla birlikte, otomobil çağı başladıktan sonra, toplu kalıplama bileşiği ve sıkıştırma kalıplama gibi yeni yöntemler geliştirilmiştir. 1953 Chevrolet Corvette'in geliştirilmesinin önünün açılmasıyla, BMC ve SMC ile iki teknik uygulama ile otomotiv endüstrisi ve diğer endüstriler için baskın kalıplama yöntemi olarak ortaya çıkmıştır. 1950'lerin başında, büyük ölçekli filaman sarma, pultrüzyon ve vakumlu torba kalıplama gibi üretim yöntemleri geliştirilmiştir. 1960'larda denizcilik pazarı, kompozit malzemelerin en büyük tüketicisi haline gelmiştir (Johnson 2018).

1961 yılında patendi alınan karbon fiberin, kısa süre sonra pazarlama durumuna gelmiş, devamında 1970 yıllarında kompozit sanayisi dikkate değer bir düzeye ulaşmıştır. Aynı yıllarda kompozit çalışmalarında gelişmiş reçineler ve iyi takviye edici lifler kullanıma sunulmuş ve otomotiv sektöründe denizcilik sektörü dâhil birçok sektörü geride bırakmıştır. Bugünde bu durumu muhafaza ederek, gelişmeye devam etmektedir. 2000'li yılların başlarına gelindiğinde nanomalzemeler, yeni kompozitlerde kullanılan geliştirilmiş elyaflara ve reçinelere dâhil edilmiş ve ticari hayatta yerini almaya başlamıştır. Bunla birlikte, dökme karbon nanotüpler, dökme ürünün mekanik, termal ve elektriksel özelliklerini iyileştirmek için polimerlerde kompozit takviye olarak kullanılır hale gelmiştir (İnt.Kyn.5, İnt.Kyn.6).

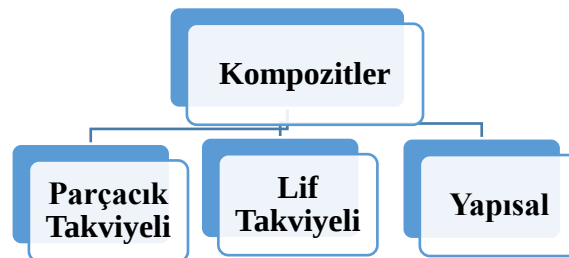
Kompozitler, alt yapı çalışmalarında ilk aşamada, Asya ve Avrupa'da 1970 ve 1980'lerin başlarında kullanılmaya başlanmıştır. Bunun en iyi ve tek örneği, tamamı kompozit

alışması olan 1990'lı yıllarda inşa edilen İskoçya'daki Aberfeldy köprüsü olduğu bilinmektedir. Yine aynı sürecin ilklerinden olan temelde inşa malzemesi olarak kullanılan beton, FRP ile takviye edilmiş olan ve West Virginia eyaletinde tamamen kompozit malzeme kullanarak, Russell araç köprü tabliyesi yapılmıştır (Vanhove 2018).

Günümüzde, kompozit endüstrisi, büyümenin büyük bir kısmının artık yenilenebilir enerji üretiminde kullanılan enerji üretim aracı malzemelerine odaklanmıştır. Özellikle rüzgâr türbini kanatlarının boyutlarının artması ile birlikte, kompozit malzemelerin gerekliliğini artırmıştır. Bu durumda, ısıya, kimyasallara ve hava koşullarına dayanıklılık gibi özellikleri ön plandadır. Ayrıca son yıllarda, artan bir evre bilinci ve sürdürülebilir kalkınma ihtiyacına dair farkındalıkla birlikte, sentetik elyafların yerini alacak kompozitlerde takviye olarak doğal elyafların kullanılmasına olan ilgiyi artırmıştır (Sathishkumar vd 2012, Yuanjian ve Isaac 2007).

2.3 Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması

Kompozit malzemeleri araştırmacılar farklı bulgularla sınıflandırmalara tabi tutulmuş olmakla birlikte, partikül takviyeli kompozitler, fiber benzeri inklüzyonlardan yararlanarak üretilen fiber takviyeli kompozitler ve kompozitlerin bir kombinasyonu olan yapısal kompozitler ve homojen malzemeler, Callister ve Rethwisch (2007) tarafından, şekil 2.1'deki gibi sınıflandırıldığı görülmektedir. Bu gruplar arasındaki belirgin fark, partiküllerin genellikle küre şeklinde olduğu ve fiber tipteki partiküllerin düzensiz ve dağınık faz parçacık geometrisidir.



şekil 2.1 Kompozitlerin genel sınıflandırılma durumu (Callister ve Rethwisch 2007)

Kompozit malzemelerin yapılarda kullanımındaki gelişim süreci, mekanik davranış

modellemek için yapı mekaniğinin geliştirilmesini ve katmanlı veya sandviç kirişler, plakalar ve kabuklar gibi kompozit malzemeden yapılmıştır. Yapısal elemanların analizini gerektirmesiyle, Altenbach vd. (2004) tarafından kompozitlerin sınıflandırılmasında yeni kategoriler oluşturmuş olsa da kompozit malzemeler birkaç temel özelliğe ayrılabilir (Rogov 2012):

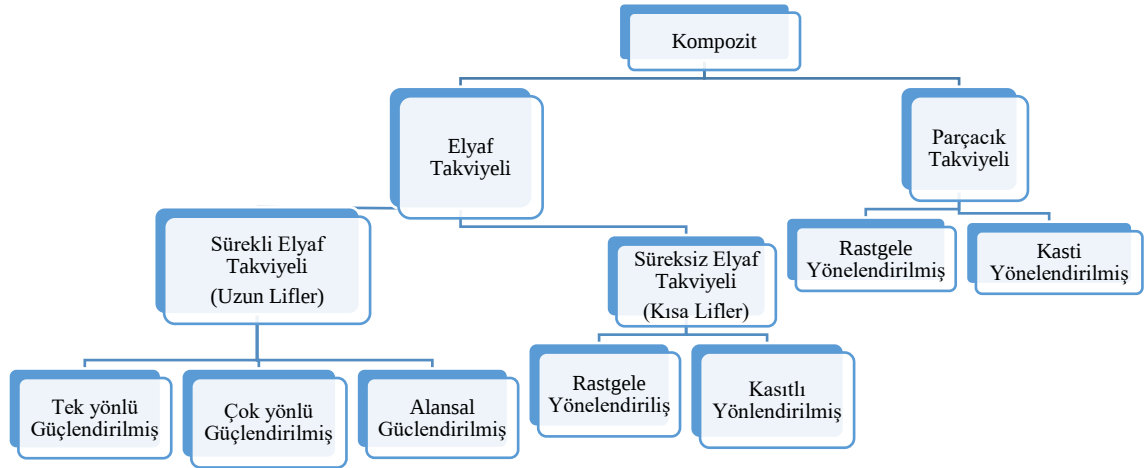
Matris malzemesine ve takviye bileşenlerine göre,

- Yapılarına göre,
- Bileşenlerin geometrisi (morfolojisi) ve düzenine (yapısal bileşenler) göre,
- Elde etme yöntemine göre,
- Uygulama alanlarına göre,

Bununla birlikte, kompozitlerin fizikokimyasal mikro yapılarını oluşturan fazların morfolojisine veya bileşenlerin geometrisi altında,

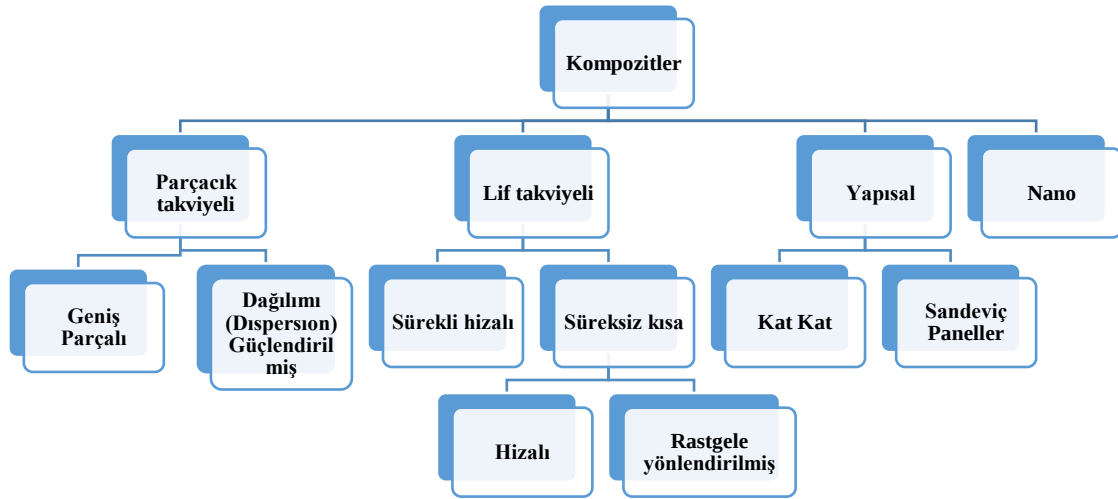
- Lifli kompozit malzemeler,
- Yapıştırma malzemesi, yapışkan malzeme veya bağlayıcı malzemeler,
- Farklı malzeme katmanlarından oluşan lamine (katmanlı) kompozit malzemeler,
- Dispersiyonla güçlendirilmiş kompozit malzemeler,
- İlk üç türün bir kısmının veya tamamının bir kombinasyonu, şeklindeki kompozitlerdir.

Diğer taraftan kompozitler şekillerine ve bileşenlerinin dağılımına göre Şekil 2.2'deki gibi sınıflandırılabilir.



Şekil 2.2 Bileşenlerine ve şekillerine göre kompozitlerin sınıflandırılması (Altenbach vd. 2004).

Kompozit maddelerin nano teknoloji ile üretimi de gerçekleştiriliyor olması ile birlikte bunun da dikkate alınmasıyla Şekil 2.3 gibi sınıflandırılma yapılmaktadır.



Şekil 2.3 Üretim yöntemine göre kompozitlerin sınıflandırılması (Callister ve Rethwisch 2007).

Ahşap, beton, asfalt ve yün gibi doğada bulunan veya uzun yıllardır uygarlıklar tarafından üretilen geleneksel veya doğal kompozitlerin malzeme unsuru tekil üretilmiştir. Yapısal formu oluşturularak imalat sanayilerinde, üretilen modern sistemler olarak da sınıflandırılması mümkündür (İnt.Kyn.7).

2.3.1 Elyaf (Fiber) Takviyeli Kompozit Malzemeler

Kompozitler, matris yapısındaki liflerden oluşur ve lif uzunluğuna göre sınıflandırılabilir. Uzun fiber takviyeli kompozitler ve sürekli fiber takviye olarak adlandırılır. Çimento kompozitler, kısa fiber takviyeli kompozitler, hibrit elyaf takviyeli kompozitler ise süreksiz fiber takviye olarak adlandırılır. Hibrit elyaf takviyeli kompozitler, iki veya daha fazla elyaf türünün bir araya geldiği kompozitler olup etek bir matris yapısında güçlendirilmiştir (Wisnom, 2006). Lifler tek yönlü veya çift yönlü olarak yerleştirilebilir. Sürekli fiber kompozitlerin matris yapısında bulunurlar ve matrinden yükleri alırlar. Elyafı çok kolay ve etkilidir. Süreksiz lifler güçlü bir etki için yeterli uzunluğa sahip olmalıdır. Yük aktarımı sırasında kırılmalıklardan kaçınılması, çatlakların büyümesinin önlenmesi ve sınırlandırılması için matris liflerinin düzenli yönlendirilerek, liflerinin özelliklerinin ve yapısal davranışının iyileştirilmesi gerekir (Hangi 2014, Low 2018).

Kompozit malzeme darbe tokluğu ve yorulma mukavemeti gibi özelliklerin iyileştirilmesi ancak kimyasal olarak işlenmiş, doğal liflerin kullanımı ile sağlanabilir. Örneğin; cam, karbon, bazalt ve aramid lifleri dağılmış fazda geleneksel olarak bir fiberin matris yapısında kullanılmıştır. Bunlar, FRP kompozit malzemelerdir (Richerson ve Lee 2018, Kopeliovich 2014).

2.3.2 Yapay Elyaf Kompozitler

Yapay elyaflar küresel anlamda, oldukça yaygın bir kullanım alanına sahiptir. Öncelikli sebebi olarak, büyük kısmının fosil kaynaklı olması nedeniyle, kolaylıkla elde edilmesidir. Diğer taraftan, hafif ve benzersiz kompozit malzemelere olan talebin artması, mükemmel özellikleri nedeniyle yapay elyaflara olan ihtiyacı artırmaktadır (Ahmad vd. 2022). Son 20 yılda, seramik kumaşlar, karbon elyaflar, cam elyafları, bazalt elyafları ve polimerik elyaflar gibi yapay elyaflara büyük bir ilgi uyanmıştır (Bhudolia vd. 2020). “Yapay elyaflar” yüksek mukavemet ve atalet (malzeme yorgunluğuna) direnç sağladığından, havacılık ve otomotiv sektöründe, gelişmiş kompozit malzemelerin üretilmesi için yaygın olarak kullanılmaktadır (Kirmasha vd. 2020).

Sentetik elyaf kullanımının, elyafa bağı olarak avantajları; seri üretime fayda sağlamaları, üretimin kolay olması, su geçirmezlik özelliklerinin yüksek olması sayesinde tercih edilmesi, doğal liflerle mukayese edildiğinde daha uzun ömürlü ve önemli dayanım ölçülerine sahip olmasıdır. Ayrıca leke tutmaması ve çizilme mukavemeti yüksek olması, kimyasallara karşı dirençli olması, değişken kimyasal bileşenleriyle uygulamalarda kolayca adapte edilebilir ve uyarlanabilir olmasıdır. Dezavantajları ise; sürtünmelerde elektrostatiklerinin yüksek ve zamanla giderek yükseliyor olması, cilde temasın her zaman zararsız olmaması ve reaksiyonlara neden olması, biyolojik parçalanma sürelerinin yüksek olması nedeniyle parçalanma ve bölünmelerinin düşük olması ve parçalanmaları durumunda ise topraklarda tuzluluklara neden olması olarak sayılabilir.

Bazı özellikler arasında mükemmel çekme mukavemeti, elektriksel iletkenlik, olağanüstü mukavemet-ağırlık oranı ve yorulma direnci bulunur (Manteghi vd. 2019). Yapay elyaf takviyeli kompozitler, piyasada en çok ihtiyaç duyulan malzeme haline gelmiştir. Bu kapsamda havacılık, savunma, otomotiv, rüzgâr enerjisi ve boru imalat sanayilerinde, cam, karbon ve aramid elyaf bazlı kompozitler, diğerlerine göre daha fazla talep edilmektedir (Begum vd. 2020). Ancak, yapay elyaflarla güçlendirilmiş her türlü kompozit, farklı endüstriyel uygulama sınıfları için eşit derecede önemlidir (Won vd. 2006).

Yapay elyaf olarak cam elyaf, karbon elyaf, kevlar (aramid), bor elyaf gibi elyaf çeşitleri sanayinin farklı alanlarında yaygın olarak kullanılmaktadır. Cam elyaflar, inorganik bir malzeme olan camın eritilip ince liflere dönüştürülmesiyle elde edilen malzemelerdir. Bu elyaflar, dayanıklı, hafif ve ısıya dayanıklı özelliklere sahiptir. Genellikle yapı malzemelerinde, otomotiv sektöründe, elektronik eşyalarda ve endüstriyel uygulamalarda kullanılırlar. Cam elyaflar, takviye malzemesi olarak kullanılarak plastiklerin ve kompozit malzemelerin mukavemetini artırır ve aynı zamanda izolasyon, akustik düzenleme ve yangın direnci gibi özellikler sağlar.

Karbon elyaflar, karbon elementinin yüksek sıcaklıkta polimerize edilerek elde edilen ince liflerdir. Bu liflerin özellikleri arasında yüksek mukavemet, düşük ağırlık, yüksek rijitlik ve kimyasal dayanıklılık bulunur. Karbon elyaflar, havacılık, otomotiv, spor

malzemeleri, savunma sanayii ve uzay endüstrisi gibi alanlarda geniş bir kullanım alanına sahiptir. Özellikle hafif ve güçlü olmaları nedeniyle uçak ve uzay araçlarının yapısal parçalarında kullanılırlar. Aynı zamanda otomobil sektöründe yakıt verimliliğini artırmak ve ağırlığı azaltmak amacıyla kullanılan karbon elyaflar, rüzgâr türbinleri, bisikletler, golf sopaları gibi spor malzemelerinin üretiminde de tercih edilen bir malzemedir. Karbon elyaflar, dayanıklılığı ve performansı artıran özellikleriyle yenilikçi ve ileri teknoloji ürünlerinin imalatında yaygın olarak kullanılmaktadır.

Aramid elyaflar, sentetik polimerlerden olan aramidlerin özel bir işlemle elde edilerek liflere dönüştürülmesiyle elde edilen malzemelerdir. Aramid elyafların başlıca özellikleri yüksek mukavemet, yüksek sıcaklık dayanıklılığı ve düşük ağırlıktır. Bu elyaflar genellikle yüksek performans gerektiren uygulamalarda kullanılmaktadır. Otomotiv sektöründe, uçaklarda, gemilerde ve spor malzemeleri üretiminde de yaygın olarak tercih edilmektedir.

Bor elyaflar, bor karbür veya bor nitrür gibi bor bileşiklerinin yüksek sıcaklıkta işlenmesiyle elde edilen ince liflerdir. Bu elyaflar, yüksek sıcaklık dayanıklılığı, düşük yoğunluk ve yüksek mukavemet gibi özelliklere sahiptir. Bor elyaflar, genellikle havacılık, uzay endüstrisi ve nükleer enerji gibi alanlarda kullanılır. Yüksek sıcaklık uygulamalarında termal izolasyon sağlamak, süpersonik uçaklarda ısı kalkanları, yanma odaları ve roket motorlarında kullanılan yalıtım malzemeleri olarak kullanılırlar. Ayrıca bor elyaflar, yangına dayanıklı giysiler, termal koruyucu malzemeler ve yüksek performanslı kompozitlerin üretiminde de kullanılan bir malzemedir. Bor elyafların benzersiz özellikleri, dayanıklılığı ve hafifliği sayesinde ileri teknolojili uygulamalarda önemli bir rol oynamaktadır.

Son yıllarda, yapay elyafların çeşitli uygulamalara yönelik artan talebi ve kullanım alanlarının olması, ayrıca fiber takviyeli kompozitlerde de kullanılması nedeniyle geleneksel yüksek yoğunluklu maddelere kıyasla daha farklı avantajları bulunmakta olup her geçen gün gelişmektedir (Agarwal vd. 2020).

2.3.3 Doğal Elyaflı Kompozitler

Doğal elyaf, bitkilerden veya hayvanlardan elde edilen doğal malzemelerdir. Örnek olarak pamuk, keten, yün gibi bitkisel veya hayvansal kökenli elyaflar doğal elyaf olarak kabul edilir. Doğal elyafların önemi birkaç farklı açıdan değerlendirilebilir. İlk olarak, doğal elyaflar çevre dostudur. Çünkü yenilenebilir kaynaklardan elde edilirler ve genellikle biyolojik olarak parçalanabilirler. İkinci olarak, doğal elyaflar kompozitler, insan cildiyle uyumlu ve nefes alabilen yapılardır.

Doğal bir lif, “selüloz” ve selüloz ile çapraz bağlanma molekülleri oluşturarak hücrenin ana yapısal bileşenini oluşturan “hemiselüloz”, hemiselüloz-selüloz ağı üzerinde ek güç ve bağlantı sağlar. Bazı durumlarda koruyucu bir bariyer görevi gören “lignin” olmak üzere üç ana kimyasal bileşeni barındırmak suretiyle pek çok uygulamada, pektin ile birbirine bağlı lifler demetleri halinde kullanılır. Ancak pektin ile birbirine bağlı lifler daha az işlem gerektirmelerine rağmen tek liflerden daha düşük mukavemet kapasitesine sahiptir (Stamboulis vd. 2000).

Doğal elyaf esaslı kompozitler, otomotiv sanayi sektöründe gözenekli elastikiyet malzemeler olarak en yaygın olanıdır. Daha yüksek ayrıcalıklı mekanik özelliklerine ek olarak; doğal kompozitler, sentetik poliüretan köpük ve ticari taş yünü liflerine benzer şekilde, araç kabini içindeki akustik gürültü seviyesini etkili bir şekilde azaltabilir (Dunne vd. 2017, Kong vd. 2016).

Doğal elyaf bazlı kompozitler, iyi akustik emiciler, ısı yalıtkanları ve nem önleyici oldukları için, farklı endüstrilerde çok sayıda uygulamaya sahip ve iç duvarların yapısında doğal kompozit kaplamalar ve tabakalar halinde kullanılarak, bina içi nem ve gürültü düzenleyici olarak kullanılabilirler (Zhou vd. 2018, Belakroum vd. 2017).

Doğal elyaf takviyeli kompozitlerin uygulama alanında avantajları; düşük ağırlık, uygun maliyet, kolay işlenebilirlik, esneklik, biyolojik olarak parçalanabilirlik ve çevre dostu lifler olmasıdır. Doğal kompozitlerin özellikleri temel olarak takviye elyafının

özelliklerine ve matris ile elyaf arasındaki yapışmaya bağlıdır (Malkapuram vd. 2009, Céline vd. 2014).

Ayrıca, Liang ve Hota (2011)'e göre; doğal elyafın, özgül ağırlığı ile orantılı olarak, daha yüksek mukavemet ve sertlik, yorulma mukavemeti ve darbe enerjisi emme kapasitesi yüksektir. Ayrıca korozyona, yangına, asitlere ve doğal olarak tehlikeli ortamlara karşı daha iyi direnç; daha uzun hizmet ömrü ve daha düşük yaşam döngüsü maliyetleri, iletken olmama ve toksik olmama gibi bir dizi faktör nedeniyle, geleneksel otomotiv ve inşaat malzemeleri gibi diğer sektörler içerisinde de alternatifler oluşturmıştır.

Doğal fiber otomotiv bileşenleri yapmak için selüloz, çimen, tohum, bitki kökleri, yün ve bitki lifleri kullanılmaktadır (Shalwan ve Yousif 2013). Otomotiv sektöründe teknik iyileştirmenin yanı sıra artık otomotiv firmalarının şimdi ana odak alanı olarak doğal liflerin kullanılmasıyla, uygulamalarda taşıt ağırlıklarının azaltılmasıdır (Puglia vd. 2005). Örneğin; Almanya Devleti otomotiv mühendisliğinde olağanüstü bir mükemmelliğe sahip ve bu alanda dünyada baskındır. Otomotiv bileşenlerinde doğal liflerin kullanılmasında, Koronis vd. (2013) çalışmalarında öncü olan Mercedes-Benz jüt-epoksi matrisini, kompoziti E sınıfı seri araçların kapı panellerinde kullanmıştır. Benzer şekilde şeker kamışından elde edilen eko plastik malzemeler, Toyota tarafından otomobil iç mekânları için geliştirilmiştir (Mirza vd. 2009).

Farklı fiziksel ve kimyasal özelliklere sahip, doğal kompozitlerde kullanılmak üzere araştırılan çok çeşitli malzemeler vardır. Her "doğal" ürün, sınıflandırmalarının gösterdiği kadar çevre dostu değildir. Biyolojik olarak çözülen doğal malzemelerden yapılan ürünlerle, doğrudan örtüşmek zorunda olmadığından bazı sentetik malzemeler biyolojik olarak parçalanmasına rağmen bunların bazıları doğal değildir. Ancak, ideal bir doğal bileşik, yalnızca kısa döngülü yenilenebilir bitki kaynaklarından oluşması nedeniyle, kontrol edilebilir koşullar altında tamamen biyolojik olarak parçalanabilir (Mohanty vd. 2001). Bu durumda doğal elyaflar, bitkisel ve hayvansal elyaflar olarak iki başlık altında incelenebilir.

2.3.4 Bitkisel Elyafklar

Bitkisel elyafklar, bitki kaynaklı doğal malzemelerdir. Birçok endüstriyel uygulamada kullanılmaktadır (Pickering vd. 2016). Bu elyafklar, bitkilerin gövde, yaprak veya köklerinden elde edilebilir ve genellikle lifli yapıya sahiptirler (Chen vd. 2018). Bitkisel elyafklar, biyolojik olarak çözünebilir olmaları ve sürdürülebilir bir kaynak olmaları nedeniyle, çevre dostu bir seçenek olarak öne çıkmaktadır (Kamarudin vd. 2022).

Bitkisel elyafklar, tekstil endüstrisinde yaygın olarak değerlendirilmektedir. Örneğin, pamuk, kenevir ve keten gibi bitkilerden elde edilen elyafklar, kumaş üretiminde kullanılmaktadır (Li vd. 2018). Bu bitkisel elyafklar, dayanıklı yapıları ve doğal lifli yapısı nedeniyle tekstil ürünlerinde kullanılan sentetik elyafkların bir alternatifi olarak tercih edilmektedir (Lau ve Hung 2017).

Ayrıca, bitkisel elyafklar, kompozit malzeme üretiminde önemli bir rol oynamaktadır. Bitkisel elyafklar, kompozit malzemelerde güçlendirici olarak kullanılmaktadır. Özellikle polimer matrisli kompozitlerde, bitkisel elyafkların eklenmesi, malzemenin mekanik özelliklerini artırırken aynı zamanda ağırlık azalmasına da katkı sağlar (Zhou vd. 2022). Bu nedenle, otomotiv, havacılık ve yapı endüstrilerinde, bitkisel elyafkları kompozit malzemelerde kullanımı giderek artmaktadır (Sathishkumar vd. 2014).

Bitkisel elyafklar, otomotiv sanayisinde kompozit malzeme olarak kullanılmaktadır. Otomotiv sanayisinde hafif ve güçlü malzemelere olan talep arttıkça, bitkisel elyafklar kompozit malzemelerin üretiminde önemli bir rol oynamaktadır. Özellikle doğal elyaf takviyeli plastikler (NFRP), bitkisel elyafkların plastik matris ile birleştii malzemelerdir. Bu tür kompozit malzemeler, kaputlar, kapı panelleri, gövde parçaları gibi yapısal bileşenlerde kullanılarak aracın ağırlığını azaltmaya ve yakıt verimliliğini artırmaya yöneliktir.

Ayrıca, bitkisel elyafklar İç tasarım malzemesi olarak, otomobil iç mekânlarında dekoratif ve döşeme malzemeleri olarak kullanılır. Ses yalıtımı ve yankı kontrolü, otomobil iç mekânlarında ses yalıtımı ve yankı kontrolü için kullanılır. Motor bölmesi, kapı panelleri

ve tavan gibi bölgelerde kullanılarak gürültüyü azaltır ve sürüş konforunu artırır. Bitkisel elyaflar, ses dalga yansımalarını emerek iç mekândaki yankıyı azaltır ve daha sessiz bir sürüş deneyimi sunar. Halı ve koltuk dolgusu olarak, bitkisel elyaflar, otomobil iç mekânında halı ve koltuk dolgusu olarak da kullanılır.

Bitkisel elyaflar, nem emici özellikleri sayesinde, koltuklarda ve zemin kaplamalarında oluşan nem ve kötü koku sorunlarını azaltmaya yardımcı olur. Kaput İzolasyonu olarak, motor kaputlarının izolasyonunda kullanılan malzemelerdir. Motor bölmesi izolasyonu, ısı ve ses yalıtımını sağlamak için kullanılır. Bitkisel elyaflar, bu izolasyon malzemelerinde etkili bir şekilde kullanılarak motor bölmesinin ısını azaltır ve motor gürültüsünü sınırlar.

Bitkisel elyafları otomotiv sanayisinde kullanımı, sürdürülebilir ve çevre dostu malzemelerin tercih edildiği günümüzde giderek artan bir trendir. Bu elyaflar, hafiflik, dayanıklılık, ses yalıtımı gibi önemli özelliklere sahiptir. Otomotiv sektöründe çevresel etkileri azaltmaya yardımcı olur.

2.3.5 Hayvansal Elyaflar

Hayvansal elyaflar, hayvanlardan elde edilen doğal elyaflardır. Kompozit sanayisinde çeşitli uygulamalarda kullanılmaktadır. Bu elyaflar, özellikle tekstil, inşaat ve otomotiv gibi alanlarda çeşitli avantajlar sunmaktadır (Huda ve Widiastuti 2021).

Hayvansal elyaflar, otomotiv sanayisinde çeşitli uygulamalarda kullanılan malzemelerdir. Hayvansal elyaflar otomotiv sanayisinde, dayanıklılığı, yumuşak dokusu ve estetik görünümü nedeniyle, otomobil koltuklarında, direksiyon kaplamalarında ve diğer iç tasarım unsurlarında kullanılır. Yün Yalıtımı olarak, motor bölmesi, kapı panelleri ve tavan gibi bölgelerde kullanılarak, gürültüyü azaltır.

Ayrıca, hayvansal elyaflar, fren malzemelerinde, yüksek performanslı araçlarda, hayvansal elyaflar içeren organik fren balataları kullanılarak yüksek ısı direnci, dayanıklılık ve sürtünme özellikleri sağlamaktadır. Otomobillerin, iç mekânlardaki

gürültü seviyesini azaltmak ve yol sesinin sürücü ile yolculara ulaşmasını engellemek için motor bölmesi, kapı panelleri ve zemin izolasyonunda hayvansal elyafların kullanımı yaygındır. Kaput altında veya motor bölmesinde yer alan elektrik kabloları, sıcaklık dayanıklılığı ve yanmazlık gibi özellikler nedeniyle hayvansal elyaflarla izole edilmektedir.

Yün, en yaygın kullanılan hayvansal elyaf türlerinden biridir. Yün elyaflarının elastikiyeti, dayanıklılığı ve yüksek sıcaklık direnci gibi özellikleri, kompozit malzemelerin üretiminde tercih edilmelerini sağlamaktadır. Bu elyaflar, ses yalıtımı, termal yalıtım ve yapısal takviye gibi çeşitli uygulamalarda kullanılmaktadır (Hearle ve Morton 2008, Faruk vd. 2012).

Koyunyünü genellikle ısı yalıtımı açısından oldukça iyi bir üründür. Ancak yün lifi, bazı alkalilere karşı çok hassastır. Bunun nedeni, disülfid bağlantılarını parçalaması ve lifi zayıflatan keratin özelliği olmasından kaynaklıdır (Liu vd. 2004). Genel olarak, yün lifleri bakterilere karşı oldukça dirençlidir. Keratin bıyıkları, keratin filmlerin mekanik özelliklerini etkili bir şekilde geliştirebilir. %3 Keratinin koyunyünü lifi ile birleşmesi, kompozitlerin mekanik özelliklerinin geliştirilmesine katkı sağlar (Liu vd. 2010).

Yaygın olarak kullanılan bir hayvansal elyaf türü olan ipek de, kompozit sanayisinde kullanılmaktadır (Nguyen vd. 2019). İpek elyafları, yüksek mukavemet, hafiflik ve iyi termal performans gibi özelliklere sahiptir. Bu özellikler, kompozit malzemelerin dayanıklılığını artırmak ve ağırlığı azaltmak için kullanılmalarını sağlamaktadır (Tandon vd. 2020).

Hayvansal elyafların kompozit sanayisinde kullanımı, doğal kaynakların sürdürülebilir şekilde kullanılmasını ve çeşitli uygulamalarda çevresel etkiyi azaltmayı desteklemektedir (Rangappa vd. 2022). Ayrıca, bu elyafların biyo-uyumluluğu ve biyolojik olarak parçalanması gibi özellikleri, çevre dostu malzemelerin geliştirilmesine katkı sağlamaktadır (Bledzki vd. 2010).

3. MATERYAL ve METOT

Bu çalışmada, doğal elyaf olarak koyunyünün çekirdek malzeme (XPS ve EPS) kullanılarak mekanik özelliklerin belirlenmesini amaçlanmıştır. XPS ve EPS içerikli köpük çekirdek tabakaları üzerine yerleştirilen koyunyünü oda sıcaklığında ve vakum işlemiyle tabaka haline getirilmiştir. Bu çalışmada dayanıklılık, esneklik ve mukavemet gibi önemli mekanik nitelikleri araştırılarak, deneysel olarak incelenmiştir.

Basma testi numuneleri, malzemenin dayanıklılığını ve mukavemetini ölçmek amacıyla hazırlanmıştır (Waddar vd. 2019). Üç nokta eğilme testi numuneleri, malzemenin esneklik ve çatlak direncini değerlendirmek için kullanılmıştır. Darbe testi numuneleri ise malzemenin ani yüklemelere karşı dayanıklılığını belirlemek amacıyla kullanılmıştır (Bhowmick vd. 2012).

3.1 Kullanılan Malzemeler

Çalışmada kullanılan ana malzemeler, 5 başlık altında incelenmiştir.

- MGS LR 285 epoksi reçine ve LH 285 epoksi sertleştirici
- Koyunyünü elyaf kumaş
- Poliütren Köpük (XPS-EPS)
- Vakum torbası
- Vakum pompası

3.1.1 Epoksi Reçine ve Reçine Sertleştirici

Matris malzeme olarak, Şekil 3.1’de gösterilen MGS LR 285 epoksi reçine ve LH 285 epoksi sertleştirici tercih edilmiştir. Reçinelerin, 25°C’deki teknik özellikleri Çizelge 3.1’de verilmiştir (İnt.Kyn.8).



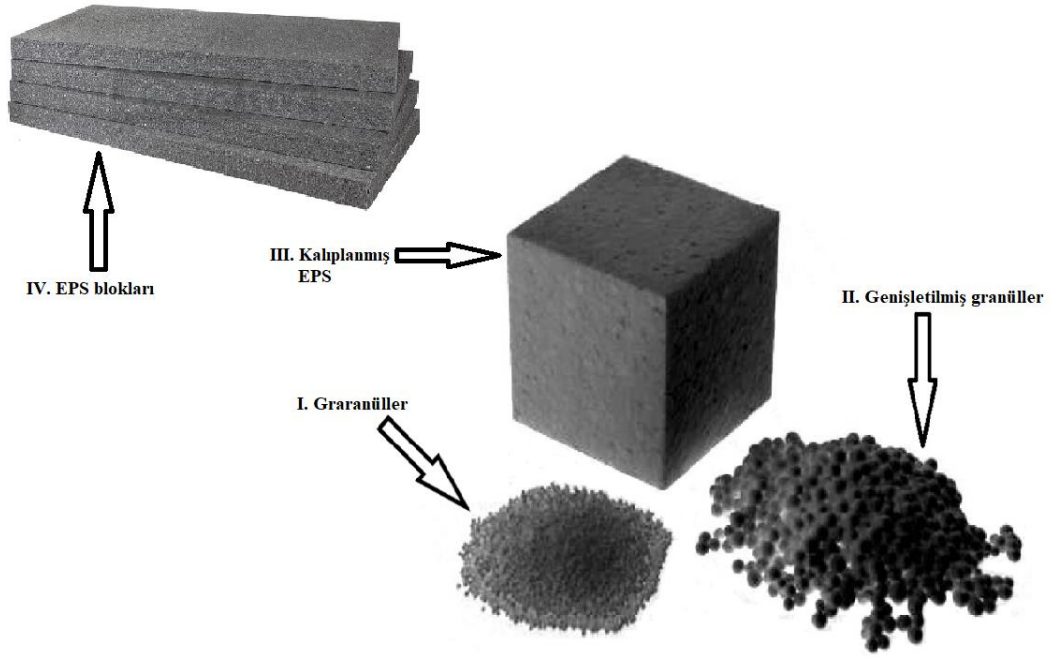
Resim 3.1 Epoksi reçine ve sertleştiricileri.

Çizelge 3.1 Epoksi reçine özellikleri (İnt.Kyn.8).

Laminasyon reçinesi L 285	
Ölçüm koşulları [°C / °F]	25 °C / 77 °F
Yoğunluk [g/cm ³]	1,18 - 1,23
Viskozite [mPas]	600 - 900
Epoksi eşdeğeri [g/equivalent]	155 - 170
Epoksi değeri [equivalent/100g]	0,59 - 0,65
Refrakter indeksi	1,525 - 1,5300

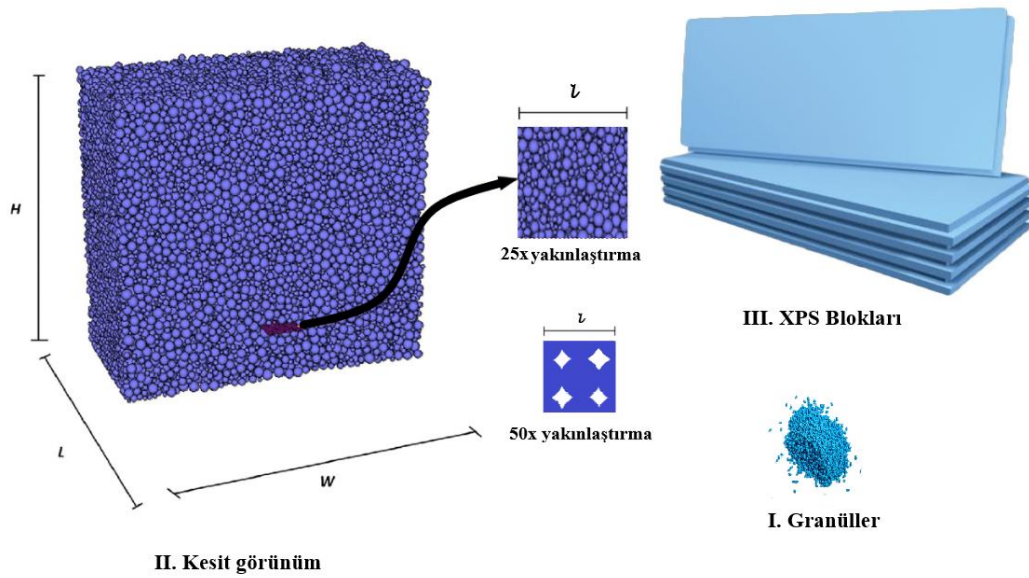
3.1.2 Poliüretan Köpük (XPS-EPS)

Tabaka malzemesi olarak 5 mm kalınlıktaki TS EN 13164+A1 ve En 13163 standarta uygun XPS ve EPS malzemesi tercih edilmiştir. Kapalı hücreli, düşük yoğunluğa ve yüksek rijitliğe sahip bir malzeme olan köpük esaslı bir malzemelerdir.(Mohamed vd. 2016). Bu malzeme düşük nem çekme özelliğine, sıkıştırılabilirlik, basma sünmesi, belirli boyutta sıcaklıkta boyut kararlılığı, termal iletkenliğe ve ısı ile şekil verilebilme özelliğine sahiptir. Ayrıca, kimyasal direnci oldukça iyidir. Hafif ve rijit bu tür tabakalar, çekirdek malzemesi olarak kullanımı yaygındır. Tabakalı köpükler, otomotiv sektöründe başta tampon olmak üzere birçok alanda kullanılmaktadır (Ellouze vd.2020). Otomobillerde güvenlik önemli bir faktördür. EPS ve XPS köpükler, darbe emilimi özellikleri sayesinde çarpışma sırasında enerjiyi dağıtarak yolcuları korumaya yardımcı olabilir (Masso-Moreu ve Mills 2003).



Şekil 3.1 EPS tabakalı köpük.

Epoksi reçine MGS L285 sistemi, diğer reçinelerle birlikte kullanılabileceği gibi polyester, vinilester, farklı epoksi ve yapıştırıcılarla da uyumlu bir yapıdadır. Şekil 3.1 EPS, Şekil 3.2’de ise XPS’in moleküler dağılımı granüller ve tabaka hali gösterilmektedir.



Şekil 3.2 XPS tabakalı köpük.

3.1.3 Koyun Yünü

Mevcut çalışmanın amacı, koyunyününün üretilen saf kumaşın deneylerle, mekanik özelliklerini incelemektir. Ülkemizde, yetişen koyunlardan kırılan lifler, doğal bir şekilde üretilen ve kumaş haline getirilmiş malzemeden temin edilmiştir.

Lif halinde bulunan koyunyünün kıyılmışı Resim 3.2 a’da, kumaş haline getirilmiş numunesi de Resim 3.2 b’de gösterilmektedir. Koyunyünü kumaşın, epoksi esaslı malzemelerle birleştirilerek, kompozitler oluşturulmuştur.



Resim 3.2 Koyunyünü a: koyundan kırılmış ham hali b: kumaş hali

Ülkemizde yetiştirilen bazı koyun türlerine ait yünlerinin ortalama teknik özellikleri Çizelge 3.2’de gösterilmektedir.

Çizelge 3.2 Koyunyünün teknik özellikleri (Koyuncu vd. 1996).

Özellikler	Merinos	Kıvrıcık	Türkgeldi
Kirli yapağı (kg)	3,20	2,7	2,4
Lif inceliği (mikron)	20,40	25,7	24,1
Lüle Uzunluğu (cm)	5,90	8,8	8,3
Mukavemet (g)	7,60	15,2	18,3
Plastikiyet (%)	32,50	39,3	41,5
Randıman (%)	51,30	41,5	46,7
Ondülasyon (adet)	15,60	7,5	5,2

Koyun yünü otomotiv sektöründe değişik uygulamalarda kullanılan doğal bir malzemedir. Bu yumuşak, dayanıklı ve yalıtım özelliklerine sahip doğal lif, bazı otomobil parçalarının ve iç mekanların yapımında kullanılır (Olfaz 2015). Bu sebeple çalışmada kullanılması tercih edilmiştir.

3.1.4 Vakum Torbası

Tez çalışmasında, tercih edilen vakum naylonu; FLM120/150VS vakum torbası ve vakum filmi olarak da adlandırılır. Vakum torbası; ortam sıcaklığında, epoksi reçineler ve fiber takviyeler kullanarak kompozit parçalar üretilirken kullanılan standart bir sarf malzemedir. Vakum naylonu FLM120 genellikle kullanım alanları; Vakum torbalama yöntemi kompozit imalatları, elle yatırma yöntemi, kompozit imalatları, Infüzyon yöntemi kompozit üretimlerinde sıklıkla yüksek performanslı vakum naylonlarıdır. Esnek yapısı; kompleks ve gergin ürünlerin kalıplanmasında önemli katkı sağlar. Kompozit üretilen imalathaneler için, standart haline gelmiş bir malzemedir. Ekonomik olarak, fiyat avantajı da tercih sebebidir. Vakum naylonu FLM120 teknik özellikleri, Çizelge 3.3'te gösterilmektedir.

Çizelge 3.3 Vakum Naylonu FLM120 Teknik Özellikleri (İnt.Kyn.9).

Malzemesi	Polietilen
Kalınlığı	75 micron
Renk	Yeşil
Uzama	330%30 ±15
En:	150 cm (VS formundadır)
Rulo En	75 cm
Açıldığında En	150 cm
Çekme Dayanımı	MD 33 N/mm ² ±15% - D 25 N/mm ² ±15%

Vakum naylonun, esneklik, hava geçirgenliği, sızdırmazlık, yüksek dayanaklık, sahiptir. Çalışmada kullanılan vakum naylonu Resim 3.3'de verilmiştir.



Resim 3.3 Çalışmada kullanılan vakum naylonu

3.1.5 Vakum Pompası

Vakum pompası, vakumlama işleminin gerçekleştirilerek vakum naylonu içerisindeki numunenin dış çeperleri ile naylon arasındaki havanın yok edilmesine yönelik kullanılan ve motor gücüyle hava emilimi sağlayan bir araçtır. Teknik bir ifadeyle “boşluk” içerisinde basınç olmayan “hacim” ve “gazsız ortam” anlamlarını taşır. Kısaca “basıncı atmosferik basınçtan düşük olan kapalı hacim” şeklinde tarif edilebilir (Chambers 2004).



Resim 3.4 Vakum pompası

Tez çalışmasında, vakum torbası içerisindeki havayı çekmek için Resim 3.4'teki Rocker 300 vakum pompası kullanılmıştır. Vakum pompasının teknik özellikleri ise Çizelge 3.3'te gösterilmektedir.

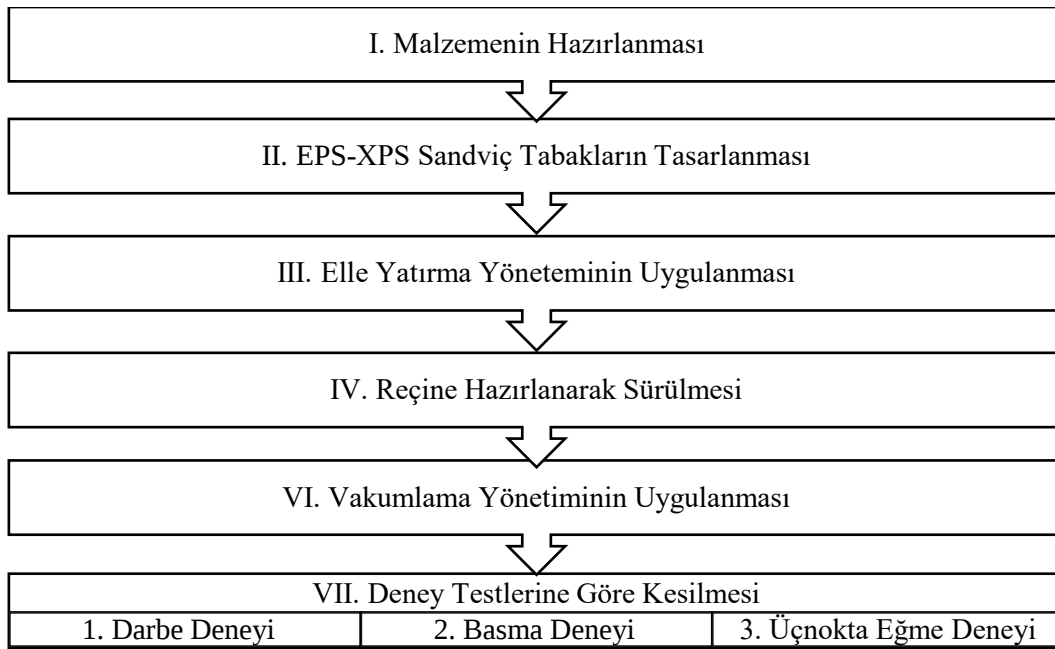
Çizelge 3.3 Vakum pompası Rocker 300 teknik özellikleri (İnt.Kyn.10).

Teknik Özellikleri	
Maksimum Güç	60 W
Maksimum Akım	0.3 A
Maksimum Vakum	99 mbar
Maksimum Akış Miktarı	20 l/min
Motor Rotasyonu	1450 rpm
Beygir Gücü	1/8 HP
Gürültü Seviyesi	50.0 dB
Hava Deliği	8 mm
Net Ağırlık	4.1 kg
Boyutlar	26.8 x 13.5 x 20.4 (u x g x y)
Uluslararası Sertifikasyonu	CE, CSA, IP 30 koruma sınıfı

3.2 Metot

Numuneler, polimer köpük çekirdek tabakalı kompozitler, elle yatırma yöntemi kullanılarak bir araya getirilmiştir. Sonrasında vakum torbalama yöntemiyle numuneler hazırlanmıştır.

Bu çalışmada gerekli olan numunelerin üretimi ve test edilmesi sürecindeki iş ve işlem akışı Şekil 3.3'te gösterilmiştir.



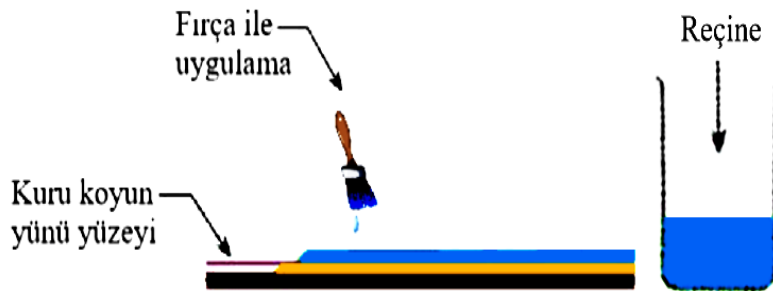
Şekil 3.3 Koyunyünü takviyeli polimer köpük çekirdekli tabaka numune üretme işlem akışı.

Numune üretimi için MGS LR 285 epoksi reçine ve LH 285 epoksi sertleştirici olarak uygun oranlarda karıştırılmıştır. XPS ve EPS malzemelerin her iki yüzeyi koyunyünü kumaşı ile kaplanmıştır. Hazırlanan numuneler darbe deneyi, basma deneyi ve üç nokta deneyi olmak üzere, deney testleri uygulanması için kesilmiştir.

Tez çalışmasında, kompozit üretimi için yukarıda belirtilen yöntemler içerisinde iki yöntem kullanılmıştır: Polimer köpük çekirdek tabakalı kompozitler, elle yatırma yöntemi ile bir araya getirilerek, vakum torbalama yöntemiyle numuneler hazırlanmıştır.

3.2.1 Elle Yatırma Yöntemi

Elle yatırma yöntemi, kompozit malzemelerin imalatındaki teknik çalışmalarda, bir çok alanda kullanılmaktadır. Bu yöntemin avantajları oldukça fazladır. El işçiliği ile yapılmaktadır. En önemlisi, özellikli ekipman gerektirmediği için maliyeti düşüktür. Çalışma esnasında esneklik sağlar, istenilen şekile ve ebatlarda kompozit malzemelerin imalatı yapılmasına imkan tanır. Elle yatırma yöntemiyle üretilen parçalar, yüksek mukavemet, düşük ağırlık, kimyasal direnç gibi özelliklere sahiptir. Elyaf ya da kumaş halinde olan takviye malzemesi kalıp üzerine yönlendirme ile yerleştirilir. Polimerik reçine ile matris malzemesi, takviye malzemesinin üzerine uygulanır. Şekil 3.4’de gösterildiği gibi reçine matris malzemesinin sağlıklı şekilde takviye malzemesi ile birleşmesi ve nüfuz etmesini sağlar.



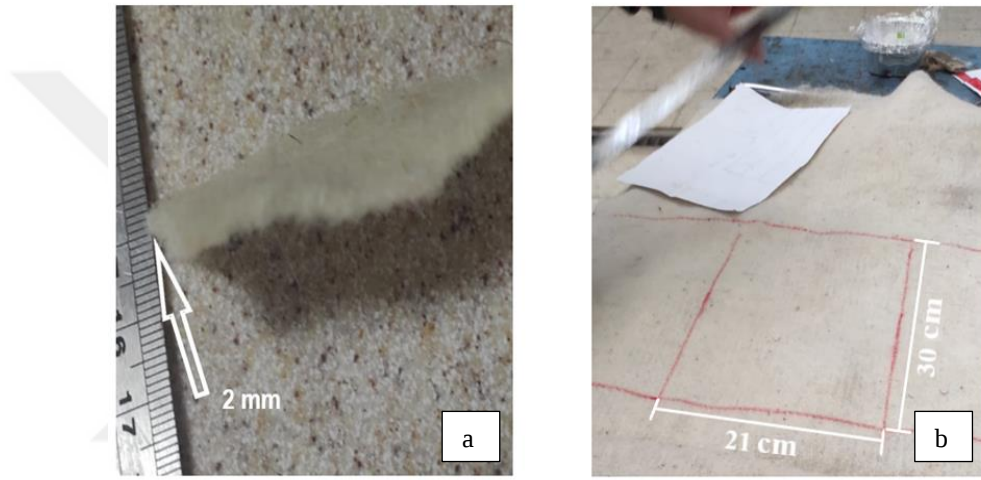
Şekil 3.4 Elle yatırma yöntemi ile kompozit malzeme üretimi.

Tez çalışmasında, koyun yününden elde edilen kumaşın polimer köpük çekirdekli tabakalı kompozit malzeme üzerine, tek katlı ve çift katlı olarak EPS ve XPS üzerine elle

yatırılmıştır. Tabakalı kompozit üretim aşamaları şu adımları içerir:

1. Koyunyünü kumaşlarının hazırlanması,

Koyunyününden yapılmış kumaş tabakaları, 2 mm kalınlıkta düz prüzsüz olanlar tercih edilmiştir. Kumaşın kalınlık boyutları Resim 3.5 a'da gösterilmiştir. Deneylerde kullanılması için, koyun kumaşı Resim 3.5 b'de gösterildiği A4 boyutunda (21-30 cm ebadında) kesilmiştir.



Resim 3.5 Koyunyünde yapılan kumaşın, kalınlığı a ve boyutu b kesim görseli.

XPS ve EPS köpük çekirdekli tabakaların her iki yüzeyi üzerine, tek ve çift katlı koyunyünü kumaşı, çekirdek tabakalı kompozitlerin kesilmesi işleminden sonra serilmiştir.

2. Çekirdek tabakalı XPS ve EPS'lerin Kesilmesi:

Polimer köpük çekirdekli tabakalar, yüksek mukavemet ve düşük yoğunluk gibi özelliklere sahip birçok uygulama için tercih edilen bir malzeme türüdür. Bu çalışmada, EPS ve XPS çekirdekli tabakalar, koyunyünü kumaşı ölçüsünde A4 boyutunda (21-30 cm ebadında) kesilmiştir.

3. Reçine hazırlama:

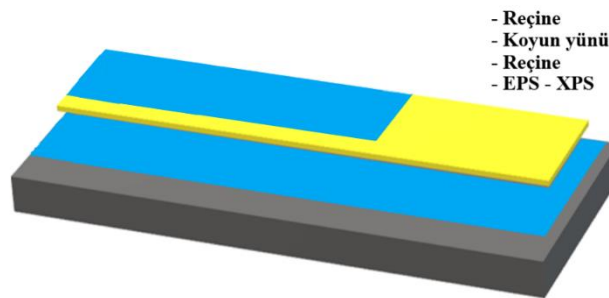
Reçine sistemi, üretici tarafından belirtilen oranlarda (100/40 reçine/sertleştirici) hassas tartıyla hazırlanarak, karışımın homojen bir şekilde karışması için karıştırıcı makinesi ile karıştırıldı. Bu işlemler, Resim 3.6’da verilen hassas tartı ve karıştırıcı ile yapılmıştır.



Resim 3.6 Epoksi reçine karıştırma işlemi ve hassas tartı.

4. Reçinin yün elyafa sürülmesi:

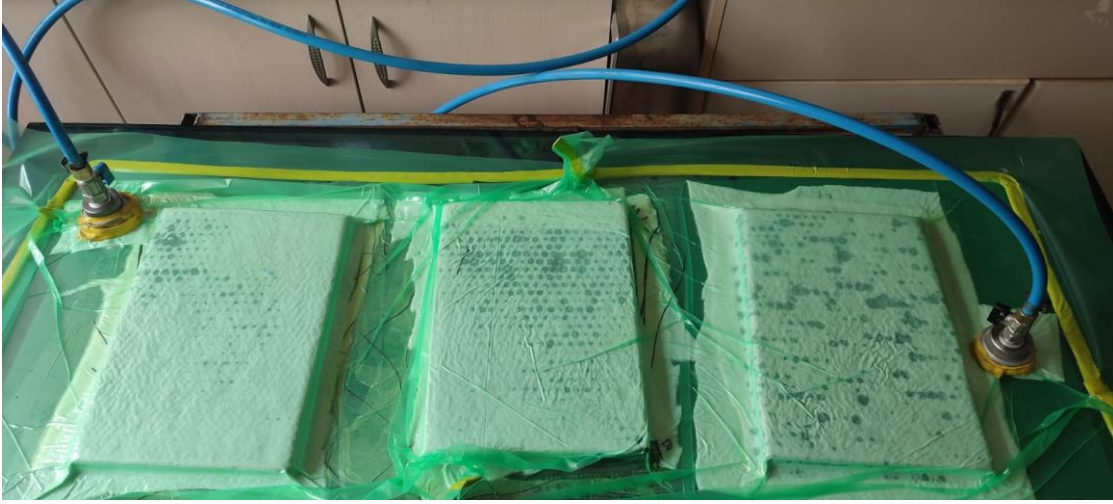
- Hazırlanan reçine karışımı, koyunyünü kumaşı kompozit malzeme üretmek için kullanılacak olan yünlere ve XPS ve EPS’lere uygulanmıştır.
- Yün elyaf, reçineye sürülürken malzemenin homojen bir dağılımı olması sağlanmıştır.
- XPS ve EPS köpük çekirdekli tabakaların ve tek ve çift katlı koyunyünü kumaşı alt ve üst yüzeyleri üzerine sürülerek üretim gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.5 Polimer köpük çekirdek tabakalı numuneler

3.2.2 Vakum Torbalama Yöntemi

Vakum torbalama yöntemi, kompozit malzemelerin üretiminde reçine ve hava akışını optimize etmek için kullanılan etkili bir yöntemdir (Asdrubali vd. 2012). Bu yöntem, başlangıçta vakum pompası aracılığıyla istenen vakum seviyesinin oluşturulmasını sağlar (Rana ve Fanguero 2016). Vakum yöntemi, reçine enjeksiyon hatlarına uygulanan vakum sayesinde, reçine tüm boşlukları dolduracak şekilde homojen bir halde yayılır. Hava kabarcıklarını uzaklaştırarak, dışarı çıkmasını sağlar (McIlhagger vd. 2020). Bu adımlar tamamlandıktan sonra, vakum pompası kapatılır. Sonrasında, reçine akıtma hatları kelepçelenerek, reçinenin istenen bölgelerde tutulması sağlanır (Yeole vd. 2021).



Resim 3.7 Numune üretimi için vakum torbalama işleminin görseli.

Vakum torbalama yöntemi, kompozit malzeme üretiminde kullanılan bir tekniktir. Bu yöntem, reçine ile koyunyünü kumaşı arasındaki hava boşluklarını ortadan kaldırarak daha yüksek bir malzeme kalitesi elde etmeyi amaçlamaktadır. Yöntemin uygulanması, Resim 3.7’de gösterilmiştir. Tez çalışmasında, vakum torbalama yöntemiyle, 20 bar basınç altında 2 saat oda sıcaklığında malzemelerin kürlenmesi sağlanmıştır.

3.2.3 Darbe Test Cihazı ve Deneyi

Darbe deneyi, malzeme testlerinde kullanılan bir yöntemdir. Malzemenin darbelere karşı davranışını incelemek için kullanılır (Sadighi vd. 2012, Park vd. 2001). Malzemenin darbe enerjisi altında nasıl davrandığını anlamak için malzeme numunesine kontrollü bir

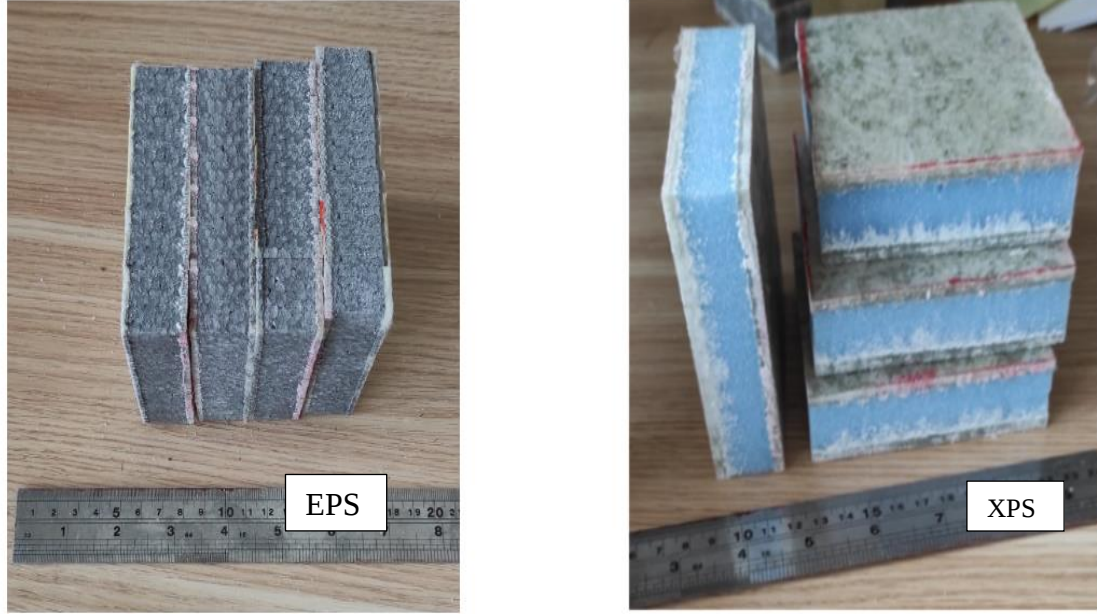
darbe uygulayan bir test yöntemidir. Düşük hızlı darbe deneyleri, malzemenin deformasyon ve enerji emme kapasitesini değerlendirmek için kullanılırken, yüksek hızlı darbe deneyleri genellikle malzemenin kırılma ve çatlamaya karşı davranışını inceler (Callister ve Rethwisch, 2020). Bu test, malzemenin darbe dayanıklılığını, kırılma direncini ve çatlamaya karşı davranışını değerlendirmek için önemli bir araçtır. Darbe deneyleri, genellikle düşük hızlı ve yüksek hızlı darbe testleri olarak iki kategoriye ayrılır (Johnson 2018).

Darbe deneylerinde Hitit Üniversitesi Bilimsel Teknik Uygulama ve Araştırma Merkezinde bulunan Resim 3.8’de yer alan Marka / Model: Instron / Ceast 9350 cihazı kullanılmıştır. Test cihazında yapılan işlemler: Çekme darbesi, Delme, Uygulanan Enerji Miktarı 0,59 - 757 J arası, Veri Eldesi ise, 2 MHz’e kadardır (İnt.Kyn.10). Test cihazın vurucu ucu çelik yarım küreye benzer olup 12,7 mm çapındadır. Testler oda sıcaklığında çalışılmıştır. 10 J ve 20 J enerji değerinde testler yapılmıştır. Darbe cihaz ile büyük enerjilerden (1800 J), küçük enerji (2-3J) değerlerine kadar test yapabilme imkânı bulunmaktadır. Testler, ASTM D3763 standardına uygundur. Darbe yapılırken, vurucu ucun sıçrama sonrası tekrar numuneye etki etmemesi için fren sistemi özelliği bulunmaktadır. Cihazdaki pnömatik bir düzenek ile numunelerin ankastre sınırına uygun testler yapılmıştır.



Resim 3.8 Çalışmada tercih edilen darbe test cihazın görseli (İnt.Kyn.12).

Çalışmada, darbe deneyi testi için, tabakalardan, çift, tek katlı EPS ve XPS numuneler üretilmiştir. Bu numuneler, genişliği 100 mm, yüksekliği 100 mm, kalınlığı 24 mm olarak kesilmiş olup, Resim 3.9’da görseli verilmiştir.



Resim 3.9 Darbe testi için üretilen numuneler.

3.2.4 Basma Test Cihazı ve Deneyi

Basma test cihazı, çerçeve, hareketli tablo, yük hücresi, sıfırlama sistemi ve veri toplama sistemi gibi temel bileşenlerden oluşur. Malzeme numunesi, çerçevenin arasına yerleştirilir. Sonrasında, yük hücresi, numuneye yük uygular. Numunenin yük altında deformasyonu ölçülür ve sonuçlar veri toplama sistemi tarafından kaydedilir. Numune, bir baskı veya makine tarafından sıkıştırılırken, üzerine uygulanan kuvvet ölçülür ve numunenin gerilme miktarı kaydedilir. Bu veriler, gerilme eğrileri, grafiksel olarak ölçülür.

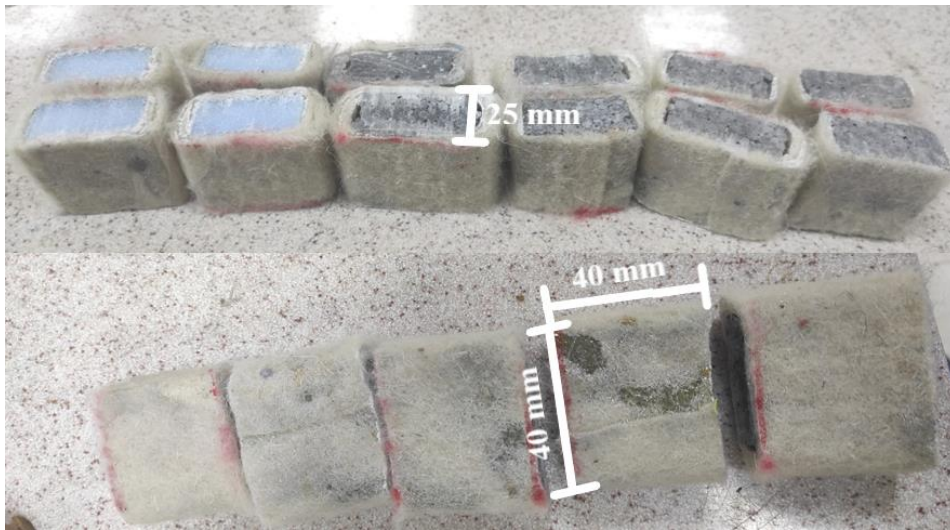
Basma deneyi, özellikle gevrek ve yarı gevrek malzemelerin sünekliğini değerlendirmek için basma deneyi oldukça verimlidir. Basma deneyinin diğer bir avantajı ise çok küçük numunelerin bile kullanılabilmesidir. Bu avantaj, bilhassa çok pahalı malzemelerle çalışıldığında veya çok az miktarda malzeme bulunduğu durumlarda çok faydalıdır.

Basma test cihazları, çeşitli standartlara uygun olarak tasarlanmıştır. Çalışmada, basta testleri için, Afyon Kocatepe Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Laboratuvarlarında bulunan Resim 3.10’da gösterilen cihaz kullanılmıştır. Testler ASTM D3763 standartlarına uygun olarak 1 mm ilerleme hızı kullanılmıştır.



Resim 3.10 Basma deneyinde kullanılan cihaz.

Çalışmada, basma test deneyi için, çift katlı numunelerden yüksekliği 40 mm, genişliği 40 mm, kalınlığı 27 mm, tek kat için ise, yüksekliği 40 mm, genişliği 40 mm, kalınlığı 25 mm ebatlarında EPS ve XPS koyun kumaşına uygun kompozit tabakası kesilmiştir. Basma testi için hazırlanan koyunyünü kaplanmış, tek ve çift katlı EPS ve XPS numuneler, Resim 3.11’de gösterilmektedir.



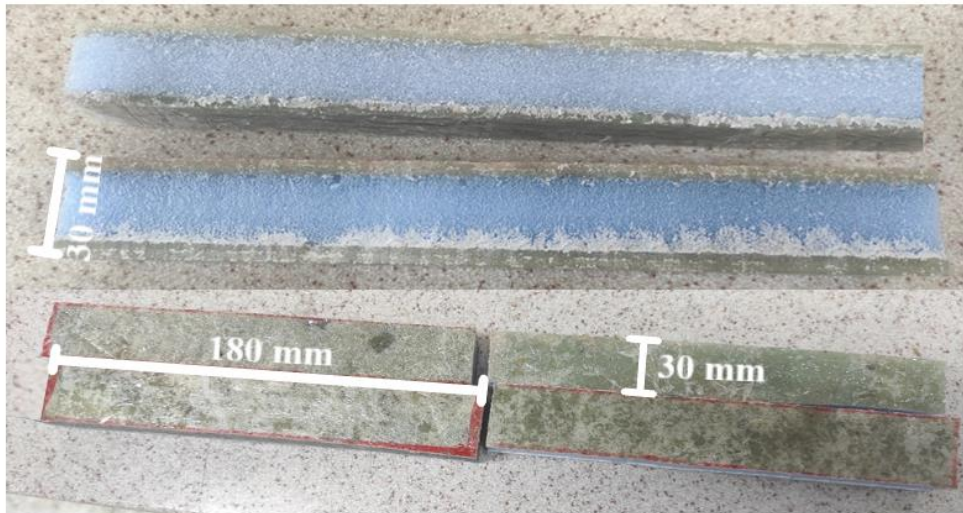
Resim 3.11 Basma testi için üretilen numuneler.

3.2.5 Üç Nokta Eğme Test Cihazı ve Deneyi

Üç nokta eğme test deneyleri, basma test cihazında yapılmıştır. Genel olarak, test için kullanılan cihaz, bir malzeme numunesinin iki noktası arasında uygulanan bir yük ile numunenin orta noktasında eğilme kuvveti oluşturur. Üç nokta eğme deneyi, malzeme özelliklerinin belirlenmesinde kullanılan bir test yöntemidir.

Bu deneyde, test numunesi genellikle bir çubuk şeklindedir ve iki sabit destek noktası arasına yerleştirilir. Üçüncü bir nokta, numunenin orta noktasında yer alır ve yük uygulanması için kullanılır. Numunenin orta noktasına yük uygulanarak numunenin eğilmesi sağlanır. Bu esnada, gerekli veriler toplanır. Bu test, bir malzemenin elastik ve plastik özelliklerini belirlemek için kullanılır.

Bu çalışmada, üç nokta eğme deneyleri için koyunyünü takviyeli XPS ile EPS polimer köpük çekirdekli tabakalı kompozitler tek katlı ve çift katlı numuneler kesilmiştir. Tek katlı numuneler, yüksekliği 25 mm, genişliği 30 mm, uzunluğu (boyu) 180 mm, çift katlı numuneler ise yüksekliği 28 mm, genişliği 30 mm, uzunluğu (boyu) 180 mm ebadları'nda koyunyününden yapılan kumaş takviyeli kompozit tabakalar kesilerek, üretilmiştir. Çift katlı üretilen numunenin görseli Resim 3.12'deki verilmiştir.



Resim 3.12 Üç nokta eğme testi için üretilen numuneler.

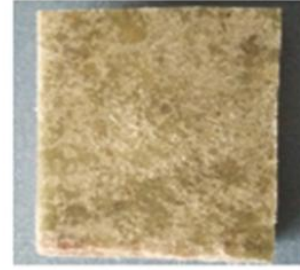
4. BULGULAR

4.1 Koyunyünü Tabakalı Kompozit Darbe Test Sonuçları

Yün takviyeli numuneler, test cihazına yerleştirilme suretiyle tek ve çift katı numuneler halinde test makinasına yerleştirilerek, test aşamaları Resim 4.1’de verilmiştir.



b) Testin uygulanması



a) Test öncesi numune



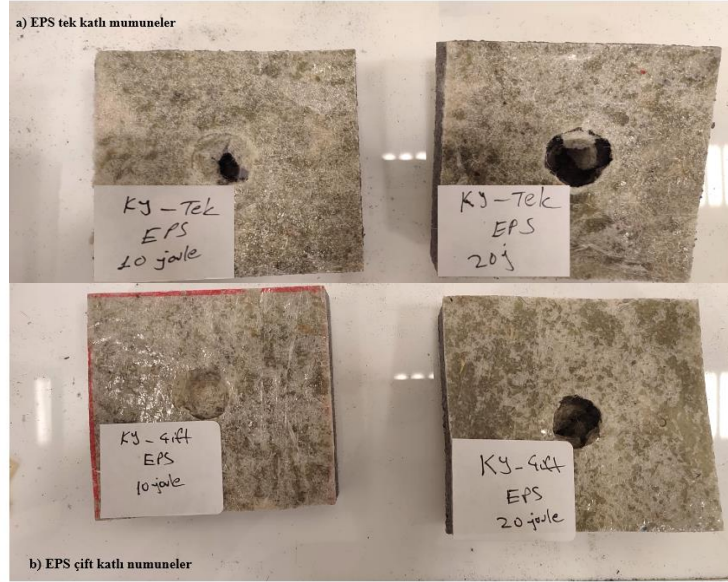
c) Test sonu

Resim 4.1 Darbe deneyi testin uygulanması

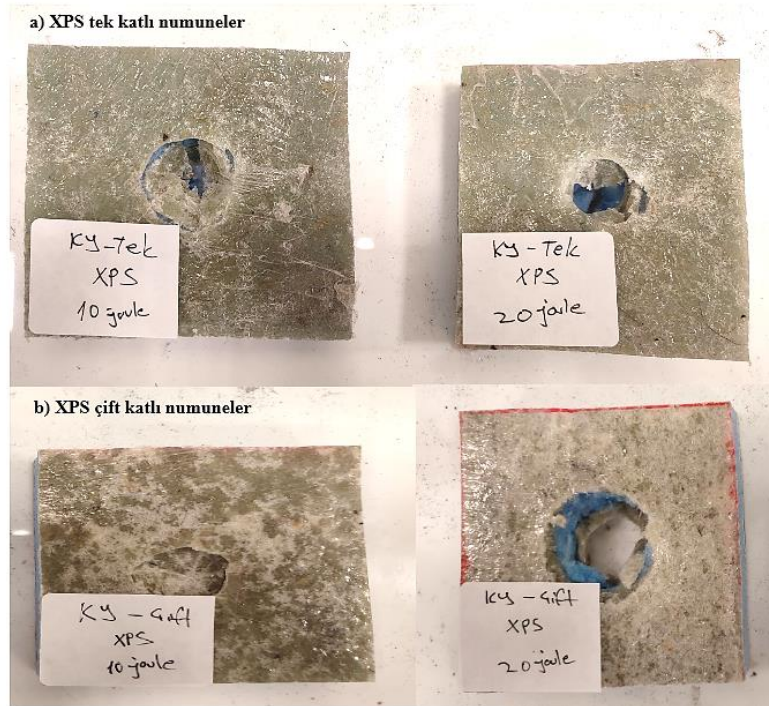
Numuneler, darbe uygulandığında farklı oranlarda deformasyonlar göstermiştir. Bu numunelerin, enerjiyi absorbe etme yeteneklerini ve darbeye karşı dirençlerini göstermektedir.

Numunelerin iç ve dış tabaka malzemeleri arasındaki bağlantının darbe dayanımı üzerinde önemli bir rol oynadığı tespit edilmiştir. Yün takviyeli numunelerde tek ve çift katlı tabaka birleşimi, numunelerin daha yüksek darbe dayanımı sergilemesine ve deformasyonun daha homojen dağılmasına yol açmıştır. Bununla birlikte, yün takviyeli numunelerde tek tabaka birleşimi, numunelerde delaminasyon ve debonding (ayrılma)

gibi sorunlara neden olmuş ve darbe dayanımını azaltmıştır. 10 J (joule) ve 20 J enerji altında EPS tek ve çift katlı numunelerin darbe deneyi sonrasında tabakaların ön yüzeylerinin deformasyon durumu Resim 4.2’de XPS çekirdekli numunelerin görüntüleri ise Resim 4.3’de verilmiştir.



Resim 4.2 Darbe testi EPS numune sonuçları.

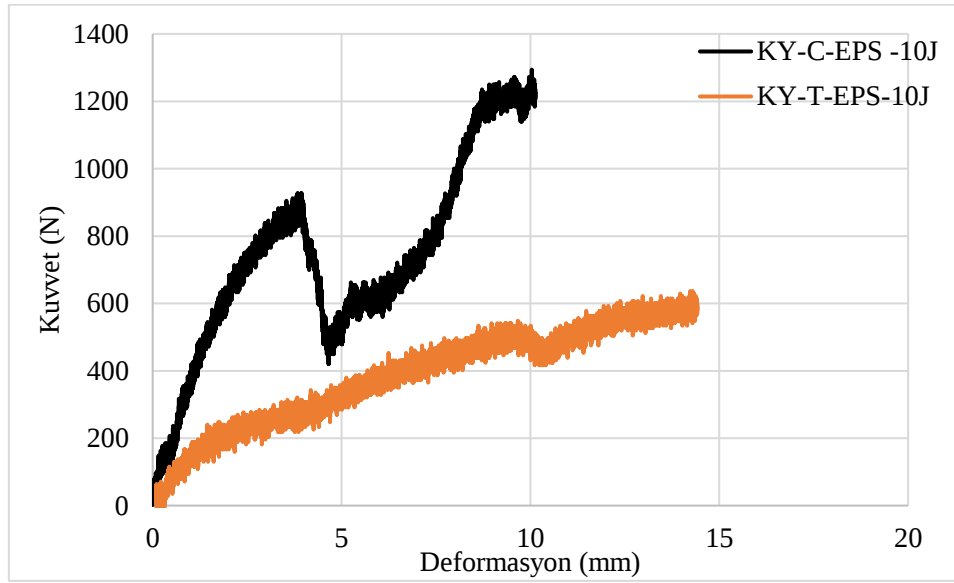


Resim 4.3 Darbe testi XPS numune sonuçları.

4.1.1 Katman Kalınlığının Darbe Dayanımına Etkisi

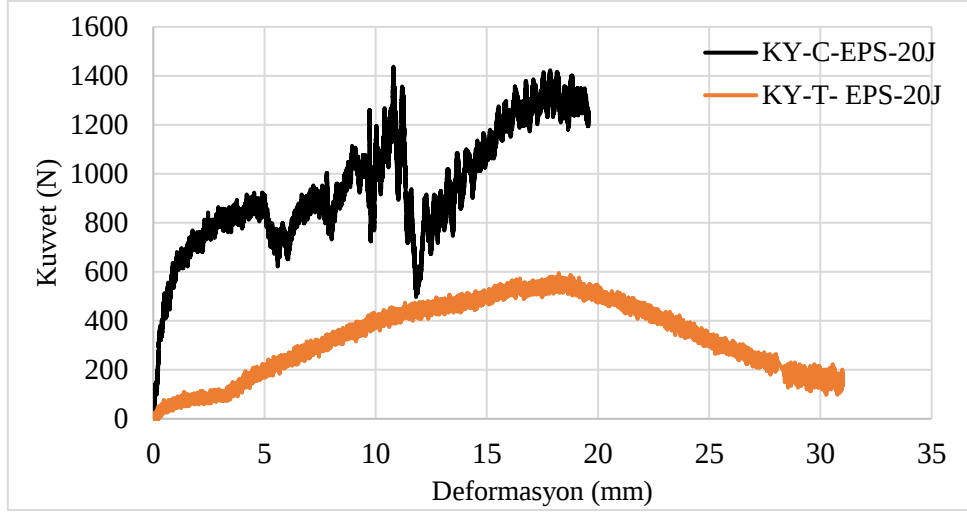
Çalışmanın bu kısmında köpük çekirdekler ve enerji miktarları sabit tutulmuş olup katman kalınlıklarının deformasyona etkisi incelenmiştir.

Şekil 4.1’de EPS çekirdekli tek ve çift katlı numunelerin 10 J enerji sonucundaki kuvvet-deformasyon grafiği verilmiştir.



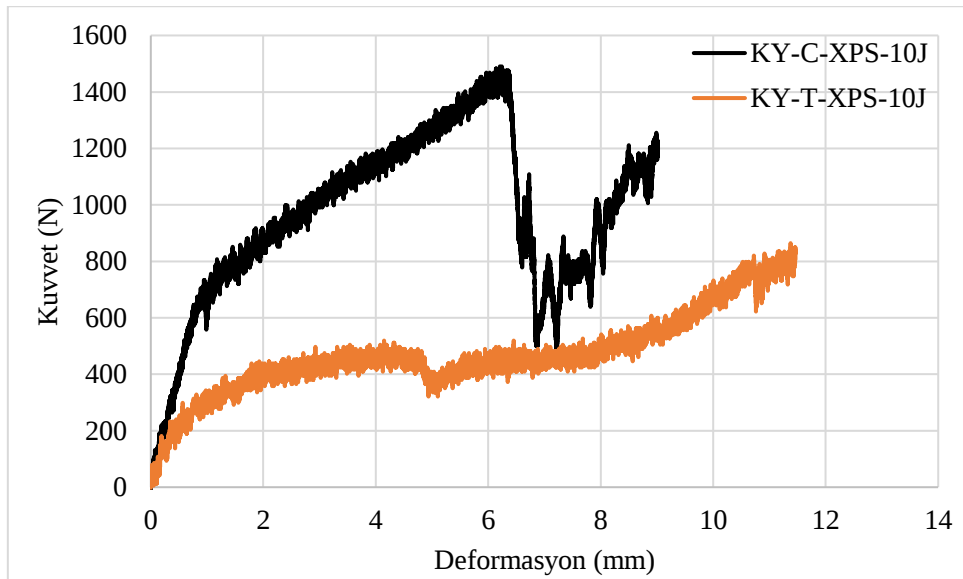
Şekil 4.1 10 J darbe enerjisi altında KY-C-EPS ve KY-T-EPS kuvvet-deformasyon grafiği.

10 J enerji değerinde KY-C-EPS numunesi üst katmanı delindiği, alt katmana kadar ilerleyemeyip köpüğün enerjiyi absorbe etmesi ile geri sektiği tespit edilmiştir. KY-T-EPS numunesinde ise hem üst katmanı tamamen delip çekirdek köpüğe de hasar vermiş ve köpük içerisine saplanarak kalmıştır. İki katlı numunede yaklaşık 1300 N’luk bir kuvvete dayanım gösterirken tek katlı numunede yaklaşık 600N civarındadır. Çift katlı numunede deformasyon yaklaşık 10 mm olarak tespit edilmiş olup tek katlı numunelerde deformasyon 15 mm ye kadar ulaşmaktadır.



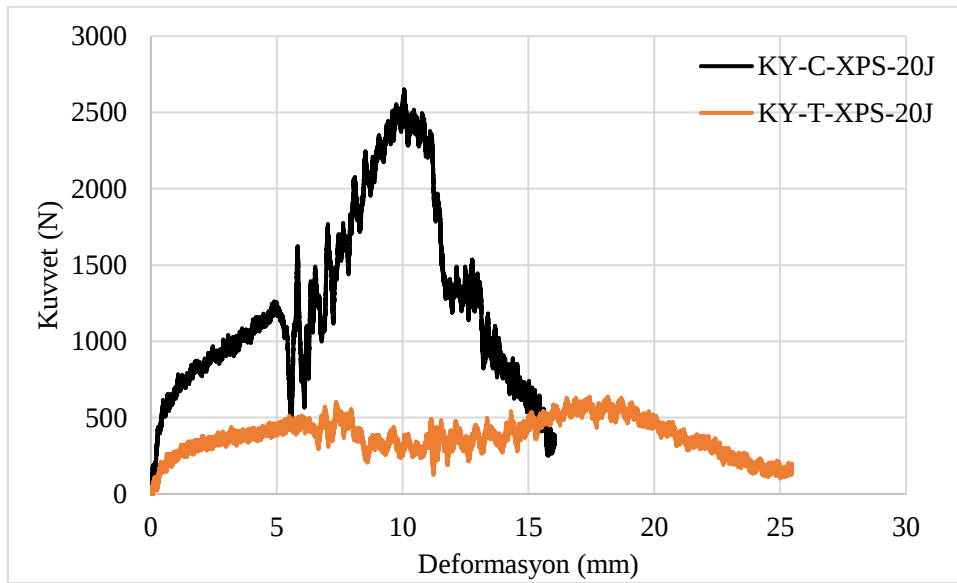
Şekil 4.2 20 J darbe enerjisi altında KY-C-EPS ve KY-T-EPS kuvvet-deformasyon eğrisi.

Şekil 4.2’de EPS çekirdekli tek ve çift katlı numunelerin 20 J enerji sonucundaki kuvvet-deformasyon grafiği verilmiştir. Darbe testi sonucunda çift katlı numunelerde ilk katman tamamen delinip vurucu uç ikinci katmana kadar gelmiş ve numuneye saplanmıştır. Yaklaşık deformasyon 20 mm civarında olup 1400 N’luk bir kuvvete dayanım göstermiştir. Tek katlı numunelerde ise vurucu uç her iki katmanı da delip geçmiştir. Bu durum Şekil 4.2’deki grafik incelendiğinde deformasyon miktarından da (30 mm) görülebilmektedir. Tek katlı numunelerin maksimum kuvvet dayanımı 600 N civarında olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 4.3 10 J darbe enerjisi altında KY-C-XPS-ve KY-T-XPS kuvvet-deformasyon eğrisi.

Şekil 4.3’de XPS çekirdekli tek ve çift katlı numunelerin 10 J enerji sonucundaki kuvvet-deformasyon grafiği verilmiştir. 10 J enerji değerinde çift katlı numunede üst katmanı delindiği, alt katmana kadar ilerleyemeyip köpüğün enerjii absorbe etmesi ile geri sektiği tespit edilmiştir. Tek katlı numunesinde ise hem üst katmanı tamamen delip çekirdek köpüğe de hasar vermiş ve köpük içerisine saplanarak kalmıştır. İki katlı numunede yaklaşık 1500 N’luk bir kuvvete dayanım gösterirken tek katlı numunede yaklaşık 800N civarındadır. Çift katlı numunede deformasyon yaklaşık 9 mm olarak tespit edilmiş olup tek katlı numunelerde deformasyon 12 mm ye kadar ulaşmaktadır.



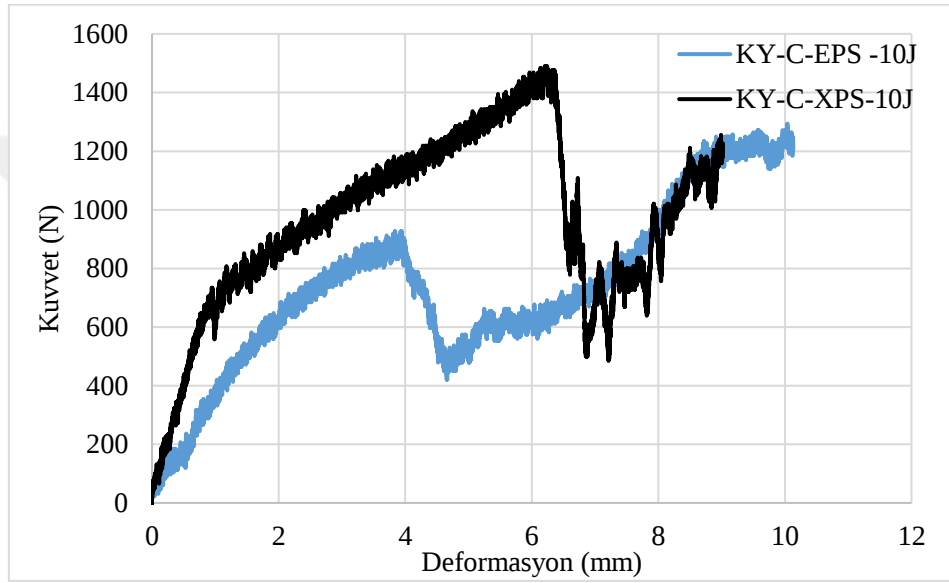
Şekil 4.4 20 J darbe enerjisi altında KY-C-XPS ve KY-T-XPS kuvvet-deformasyon eğrisi.

Şekil 4.4’de XPS çekirdekli tek ve çift katlı numunelerin 20 J enerji sonucundaki kuvvet-deformasyon grafiği verilmiştir. Darbe testi sonucunda çift katlı numunelerde ilk katman tamamen delinip vurucu uç ikinci katmana kadar gelmiş ve numuneye saplanmıştır. Kuvvet grafiğindeki aşağı doğru iniş köpüğün enerjii absorbe ettiğinin bir sonucudur. Yaklaşık deformasyon 16 mm civarında olup maksimum kuvvet 2500 N’a kadar ulaşmıştır. Tek katlı numunelerde ise vurucu uç her iki katmanı da delip geçmiştir. Vurucu ucun numune içerisindeki ilerleme miktarı yaklaşık 25 mm, maksimum kuvvet dayanımı ise 500N civarında olup Şekil 4.4’deki grafikte görülmektedir.

4.1.2 Tabaka Malzemesinin Darbe Dayanımına Etkisi

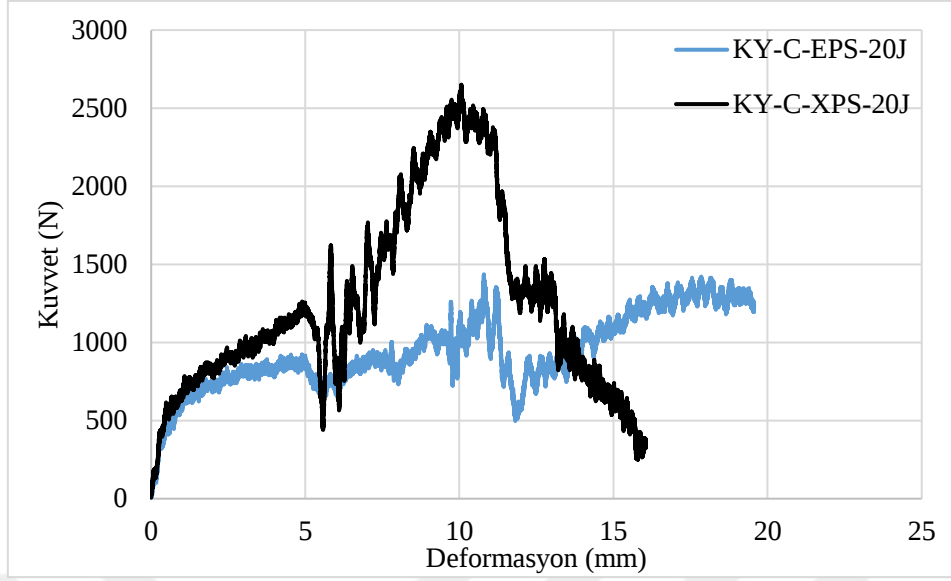
Çalışmada enerji miktarları ve katman kalınlıkları sabit bırakılarak çekirdek malzemelerinin deformasyona etkisi incelenmeye çalışılmıştır.

Şekil 4.5'te 10 J enerji miktarındaki iki katlı numunelerin kuvvet deformasyon grafiği verilmiş olup XPS ve EPS köpük malzemeleri kıyaslanmıştır.



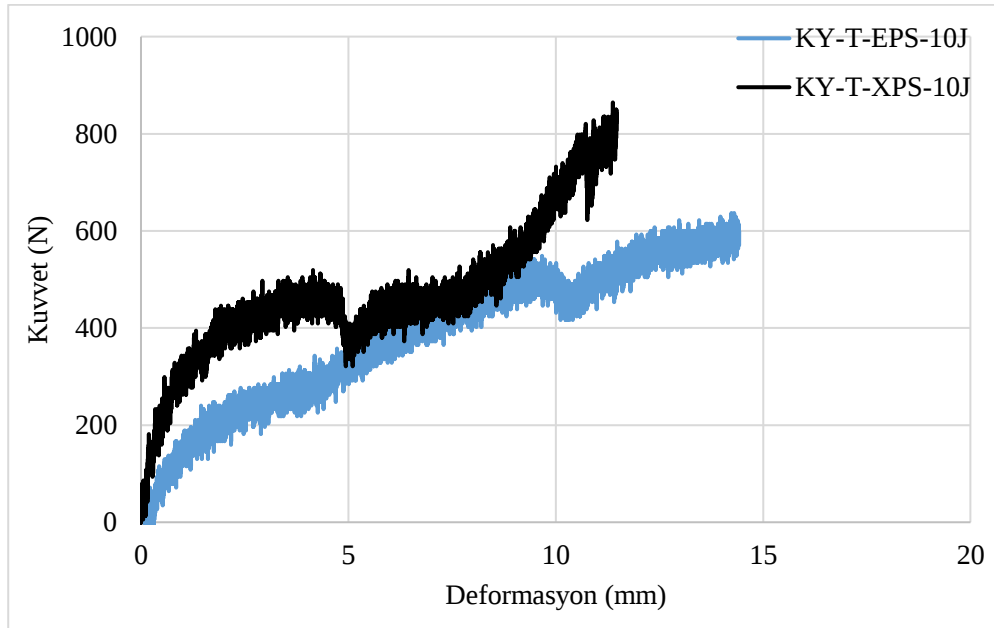
Şekil 4.5 10 J darbe enerjisi altında KY-C-EPS ve KY-C-XPS kuvvet-deformasyon eğrisi.

Şekil 4.5 incelendiğinde her iki numunede benzer doformasyon miktarları ölçülmüş olup EPS köpük çekirdekli numunede yaklaşık 10 mm, XPS köpük çekirdekli numunede ise yaklaşık 9 mm lik bir deformasyon meydana gelmiştir. Her iki numunede de ilk katmanlar delinerek köpük kısımları enerjiyi absorbe etmiş ikinci katmanlara gelmeden geri sekme oluşmuştur. XPS köpük içeren numunelerde ilk katmanın dayanım kuvveti 1500 N civarına kadar ulaşırken EPS köpük numuneler de ise 900 N da kalmıştır. XPS çekirdekli numunede daha iyi bir dayanım sergilediği görülmektedir. Maksimum kuvvet dayanımı EPS köpükte 1200 N a kadar ulaşmış ve ikinci elyaf bölgesinde kırılma meydana gelmeden geri sekme şeklinde deney sonlanmıştır.



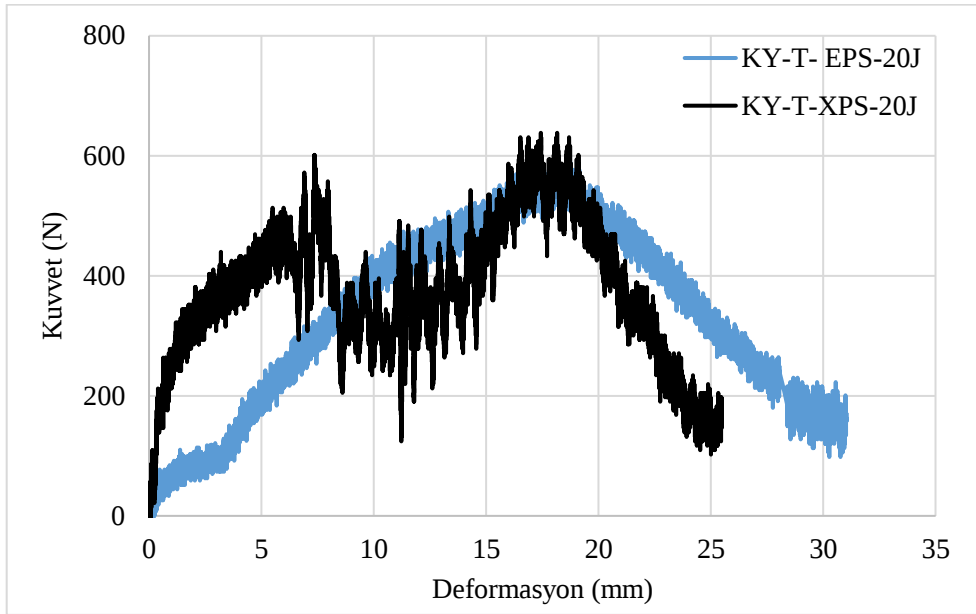
Şekil 4.6 20 J darbe enerjisi altında KY-C-EPS ve KY-C-XPS kuvvet-deformasyon grafiği.

Şekil 4.6 da 20 J enerji altında çift katlı numunelerin köpük çekirdekleri kıyaslanmıştır. Grafik incelendiğinde her iki numunede de saplanma şeklinde deneyler sonuçlanmıştır. XPS köpük çekirdekli numunede maksimum kuvvet 2500N civarında olup deformasyon ise 16 mm olarak tespit edilmiştir. EPS köpük çekirdekli numune de ise maksimum kuvvet dayanımı 1500 N civarında iken deformasyon 20mm civarında kalmıştır. XPS köpük EPS ye göre daha iyi bir performans sergilemiştir.



Şekil 4.7 10 J darbe enerjisi altında KY-T-EPS ve KY-T-XPS kuvvet-deformasyon grafiği.

Şekil 4.7’de 10 J enerji altında tek katlı numunelerin köpük çekirdekleri kıyaslanması için darbe testi sırasındaki kuvvet-deformasyon grafiği verilmiştir. Grafik incelendiğinde her iki numunede de saplanma şeklinde deneyler sonuçlanmıştır. XPS köpük çekirdekli numunede maksimum kuvvet 900N civarında olup deformasyon ise 12 mm olarak tespit edilmiştir. EPS köpük çekirdekli numune de ise maksimum kuvvet dayanımı 600 N civarında iken deformasyon 15mm civarında kalmıştır. XPS köpük enerjiyi daha az deformasyon ile durdurması sebebi ile EPS ye göre daha iyi bir performans sergilemiştir.



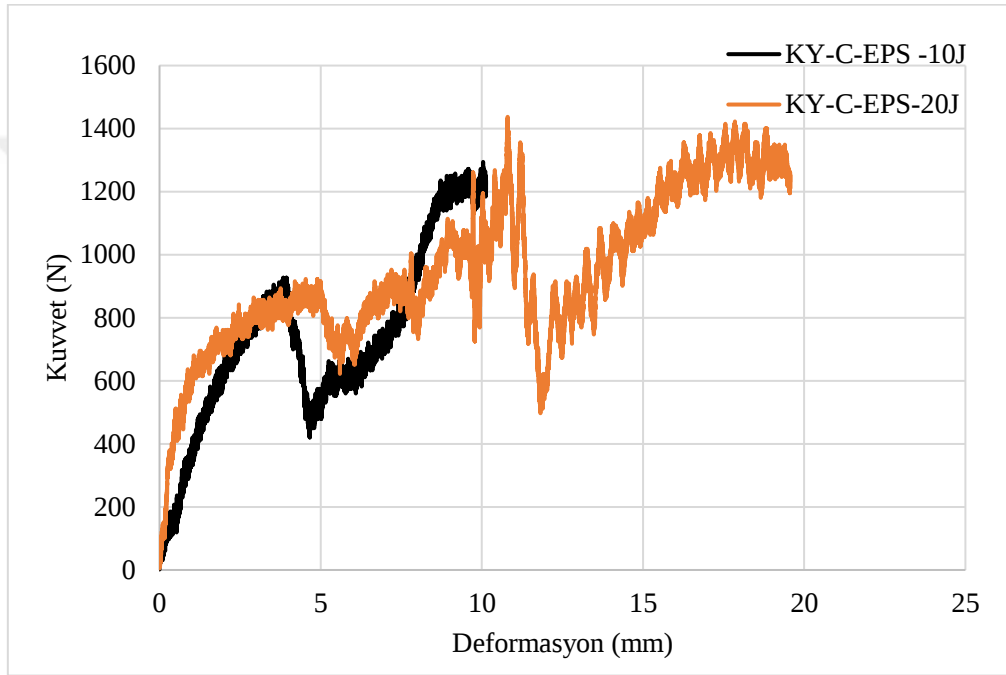
Şekil 4.8 20 J Darbe enerjisi altında KY-T-EPS ve KY-T-XPS kuvvet-deformasyon grafiği.

Şekil 4.8 de 20 J enerji altında tek katlı numunelerin köpük çekirdekleri kıyaslanmıştır. Grafik incelendiğinde her iki numunede de vurucu uç numuneleri delip geçtiği görülmektedir. Her iki köpük çekirdekli numunede maksimum kuvvet 600N civarındadır. XPS çekirdekli numunede olup vurucu uç numuneyi komple delerek ilerleme miktarı 25 mm olarak tespit edilmiş olup EPS köpük çekirdekli numunede daha fazla ilerleme miktarı tespit edilmiş ve 30 mm civarında deney sonuçlanmıştır. Deformasyon miktarları göz önüne alındığında XPS köpük EPS ye göre daha iyi bir performans sergilediği sonucuna varılmıştır.

4.1.3 Enerji Yoğunluğunun Darbe Dayanımına Etkisi

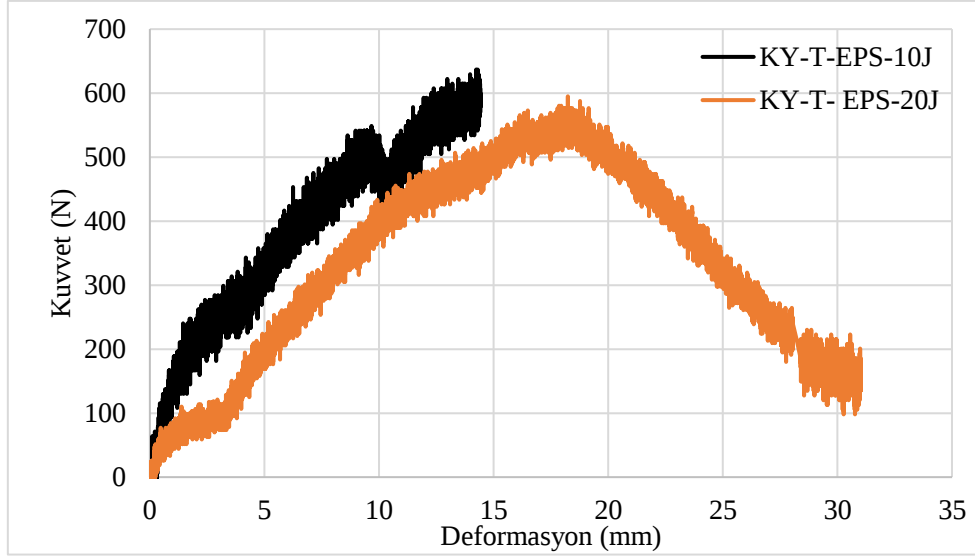
Çalışmada katman kalınlıkları ve köpük katmanlar sabit bırakılarak farklı enerji miktarlarının malzemelerinin deformasyona etkisi incelenmeye çalışılmıştır.

Şekil 4.9’da çift katlı EPS köpük çekirdekli numunelerin 10 J ve 20 J lik enerji miktarının kıyaslaması yapılmıştır.



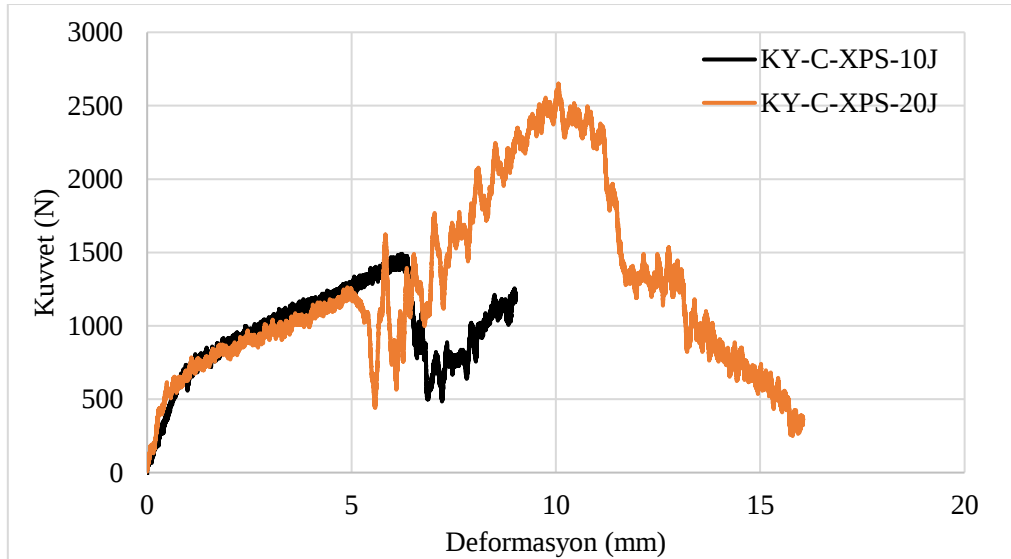
Şekil 4.9 10 J ve 20 J darbe enerjisi altında KY-C-EPS ve KY-C-EPS kuvvet-deformasyon grafiği.

Şekil 4.9 incelendiğinde maksimum enerji miktarları 10 J de 1200 N iken 20 J enerjide yaklaşık 1400N olarak ölçülmüştür. Çift katlı numunelerin her iki deneyinde de delinme meydana gelmemiştir. 10J testte vurucu uç geri sekmiş ve deformasyon yaklaşık 10mm de kalmıştır. 20 J deneyde ise vurucu uç numune içerisinde saplanmış ve yaklaşık deformasyon 20 mm civarında kalmış ve deney tamamlanmıştır.



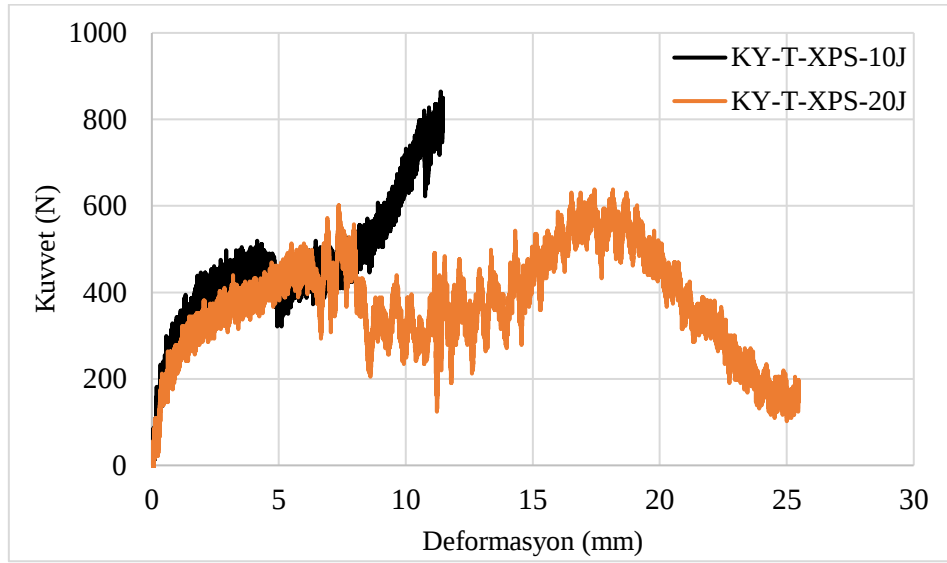
Şekil 4.10 10 J ve 20 J darbe enerjisi altında KY-T-EPS kuvvet-deformasyon eğrisi.

Şekil 4.10’da EPS köpük çekirdekli tek katlı numunelerin 10 ve 20 J enerji altında deformasyonları kıyaslanmıştır. Tek katlı 20 J numune deneylerinde vurucu uç her iki katmanı da delip geçmiştir. Bu durum Şekil 4.10’deki grafik incelendiğinde deformasyon miktarından da (30 mm) görülebilmektedir. EPS 10J deneyi incelendiğinde numunede de saplanma şeklinde deney sonuçlanmış olup deformasyon 15mm civarında kalmıştır. Tek katlı numunelerin her iki enerji yoğunluğundaki maksimum kuvvet dayanımı 600 N civarında olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 4.11 10 J ve 20 J darbe enerjisi altında KY-C-XPS kuvvet-deformasyon grafiği.

Şekil 4.11 da XPS köpük çekirdekli çift katlı numunelerin 10 ve 20 J enerji altında deformasyonları kıyaslanmıştır. XPS 20 deneylerinde numunede saplanma şeklinde deney sonuçlanmıştır. 10 J enerji değerinde çift katlı numunede üst katmanı delindiği, alt katmana kadar ilerleyemeyip köpüğün enerjiyi absorbe etmesi ile geri sektiği tespit edilmiştir. 20 J deneylerde maksimum kuvvet 2500N civarında olup deformasyon ise 16 mm olarak tespit edilmiştir. 10 J deneylerinde ise numunede yaklaşık 1500 N’luk bir kuvvete dayanım göstermiş olup deformasyon yaklaşık 9 mm olarak tespit edilmiştir



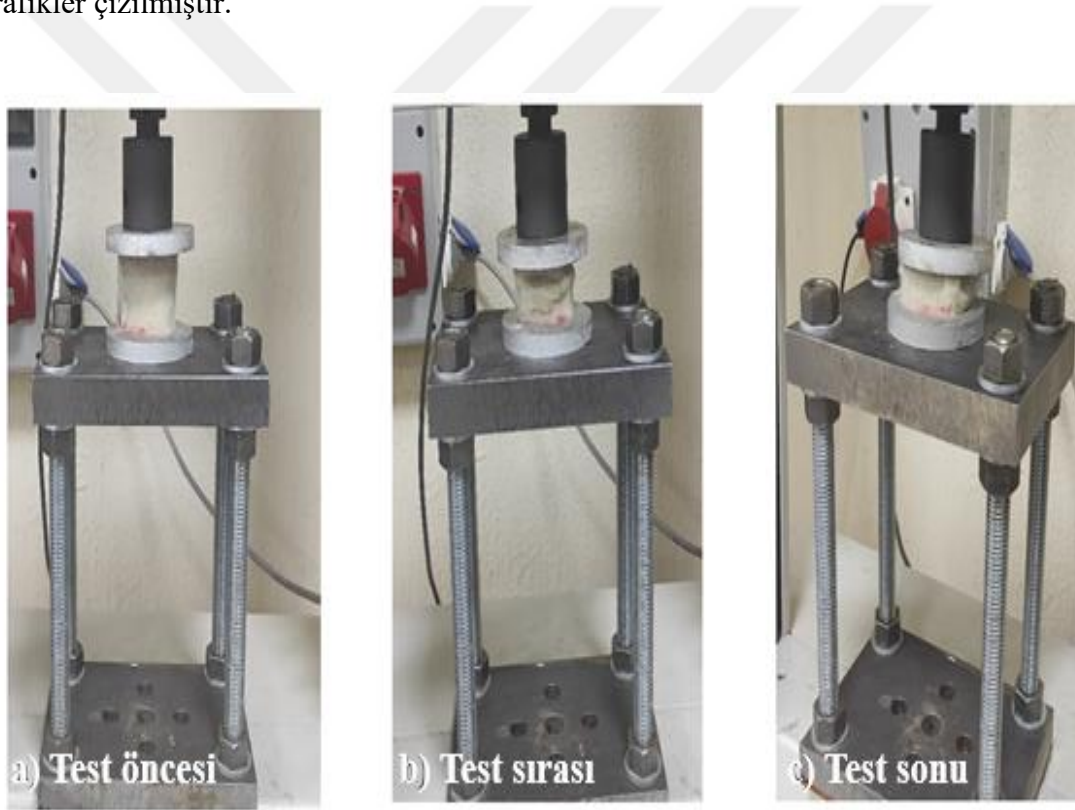
Şekil 4.12 10 J ve 20 J darbe enerjisi altında KY-T-XPS kuvvet-deformasyon grafiği.

Şekil 4.11 da XPS köpük çekirdekli tek katlı numunelerin 10 ve 20 J enerji altında deformasyonları kıyaslanmıştır.

Grafik incelendiğinde 20 J enerji altında tek katlı numunelerde vurucu uç numuneleri delip geçtiği tespit edilmiştir. Maksimum kuvvet yaklaşık 600N civarında olup vurucu uç numuneyi komple delerek ilerleme miktarı 25 mm olarak tespit edilmiştir. 10 J enerji altında yapılan test numunelerinde ise saplanma şeklinde deneyler sonuçlanmıştır. Deneylerde maksimum kuvvet 900N civarında olup deformasyon ise 12 mm olarak tespit edilmiştir.

4.2 Koyun Yünü Tabakalı Kompozit Basma Test Sonuçları

Basma makinelerinde yün kompozit, basma plakaları arasına, alt ve üst yüzeyleri, düşey eksene dik ve birbirine paralel olacak şekilde basama test cihazına yerleştirilmiştir. Resim 4.4'deki gibi numune test esnasındaki görüntüler verilmiştir. Basma testlerinde katman kalınlıkları ve tabakaların (XPS ve EPS köpüklerin) kıyaslaması olarak iki kısımda incelenmiştir. Katman tabakaları iki tarafa eşit olacak şekilde (bir alta bir üste olmak üzere toplam iki ve iki alta iki üste olmak üzere toplam dört 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.



Resim 4.4 Basma deneyi test aşaması.

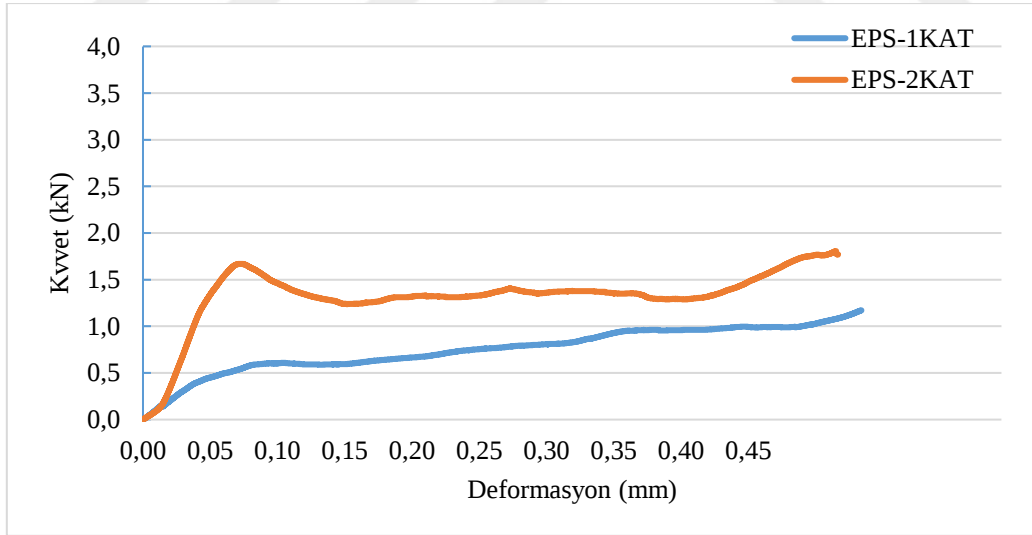
Basma deneyinde, koyunyünü kumaşı takviyeli malzemenin tek ve çift katlı basma deneyi sonrası kesiti artmıştır. Testin sonunda deformasyonun yükseldiği gerilmenin de arttığı görülmüştür.



Resim 4.5 Basma testi sonucu numune görselleri.

4.2.1 Katman Kalınlığının Basma Dayanımına Etkisi

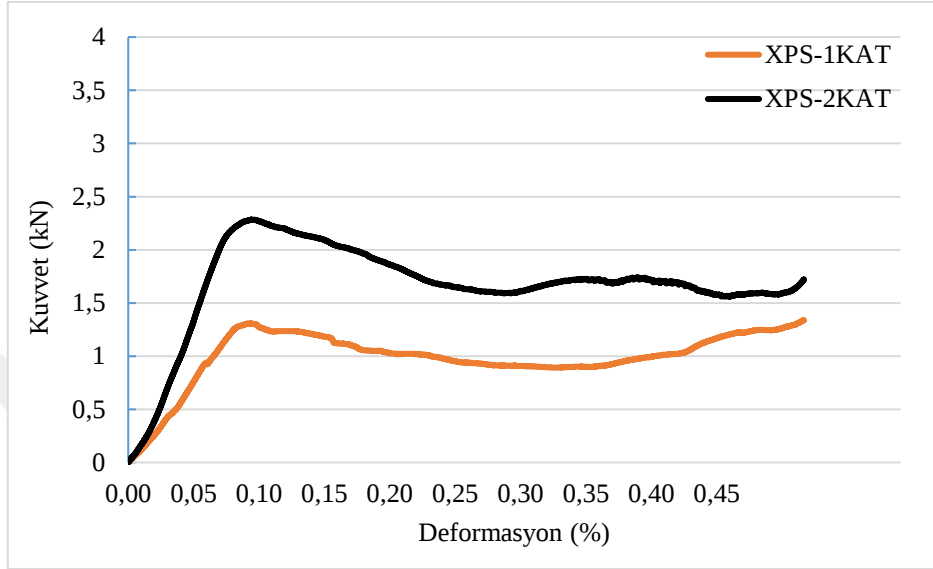
Basma test numuneleri 20x40x40 mm ebatlarında kesilmiştir. Resim 4.5’de numunelerinin basma testi sonrası durumları verilmiştir. Deneyler ASTM C 393-00’a göre 1 mm/dk hızda kuvvet uygulanarak gerçekleştirilmiştir.



Şekil 4.13 EPS tek ve çift katlı kuvvet-deformasyon grafiği.

Şekil 4.13’te EPS tek ve çift katlı kuvvet-deformasyon grafiği verilmiştir. Grafik incelendiğinde EPS çekirdekli kompozit malzemelerde yapılan basma testi sonuçları incelendiğinde, plastik yıkım değerleri yaklaşık EPS-2 KAT numunelerinde 1600 N ve EPS-1 KAT numunelerinde ise 600N civarında olduğu görülmüştür. Kuvvet devam

ettirildiğinde bir miktar düşerek gözenekli yapıların basma eğrilerine benzer bir şekilde yatayda devam etmiştir. Yaklaşık %50 deformasyondan gözeneklerin kapanması sebebi ile kuvvet yükselişe geçmiş ve deney bu noktada sonlandırılmıştır.

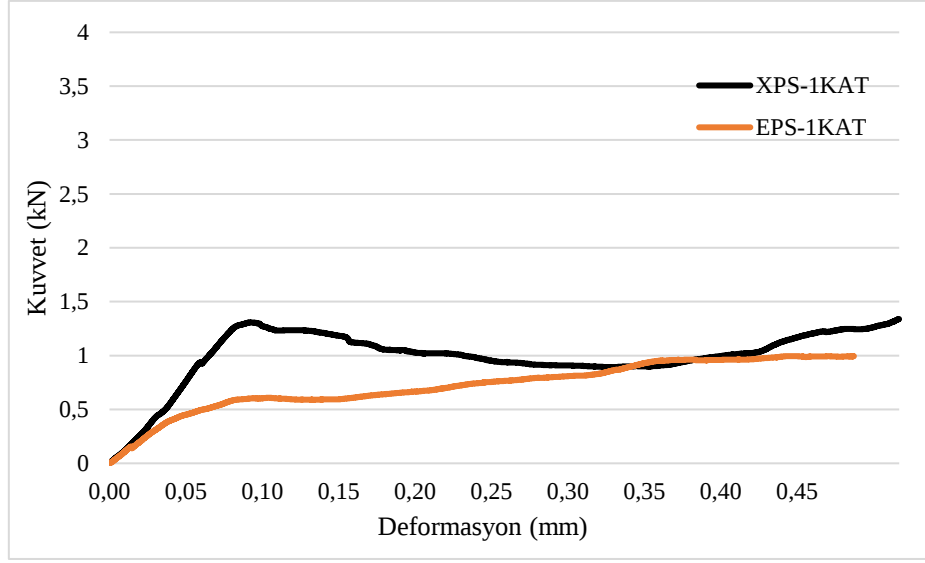


Şekil 4.14 XPS tek ve çift katlı kuvvet-deformasyon grafiği.

Şekil 4.14'te XPS tek ve çift katlı kuvvet-deformasyon grafiği verilmiştir. Grafik incelendiğinde XPS çekirdekli kompozit malzemelerde yapılan basma testi sonuçları incelendiğinde, plastik yıkım değerleri yaklaşık XPS-2 KAT numunelerinde 2200 N ve XPS-1 KAT numunelerinde ise 1300N civarında olduğu görülmüştür. Eğriler birbirine paralel olarak devam etmekle birlikte bir miktar düşerek gözenekli yapıların basma eğrilerine benzer bir şekilde yatayda devam etmiştir. Yaklaşık %50 deformasyondan gözeneklerin kapanması sebebi ile kuvvet yükselişe geçmiş ve deney sonlandırılmıştır.

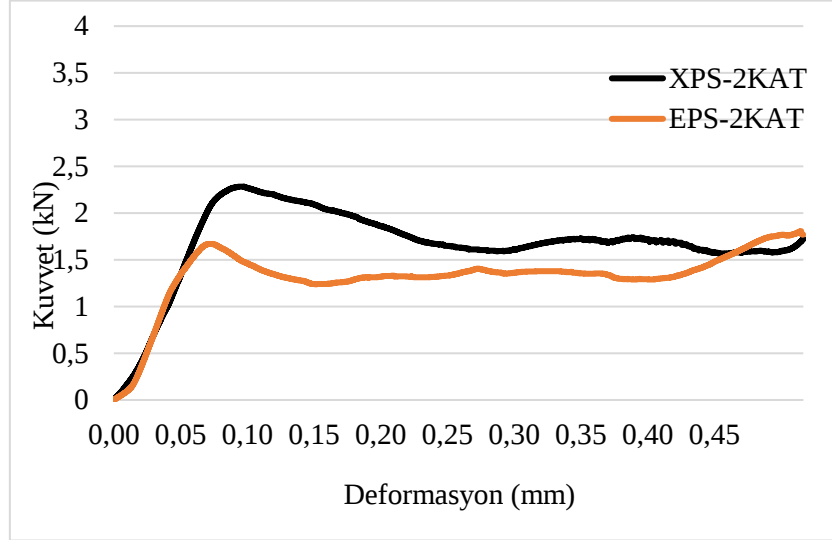
4.2.2 Tabaka Malzemesinin Basma Dayanımına Etkisi

Çalışmada katman sayısı ve cam elyaf kumaş özellikleri sabit bırakılarak farklı köpük çekirdek kullanılarak üretilen numuneler kıyaslanmıştır. Şekil 4.15'de tek katlı numunelerin XPS ve EPS köpük çekirdekleri kıyaslanmıştır.



Şekil 4.15 XPS-EPS tek katlı kuvvet-deformasyon grafiği.

Şekil 4.15'deki grafik incelendiğinde XPS numunesinde yaklaşık olarak 1300 N ve EPS-de ise yaklaşık 600 N değerlerine ulaşıldığı gözlemlenmiştir. Bu değerlere yaklaşık olarak XPS'de %8 ve EPS'de %6 deformasyonda gerçekleştiği gözlemlenmiştir. Deneyden elde edilen bulgular doğrultusunda XPS köpük kullanılarak üretilen numuneler EPS numunelerine göre daha dayanıklı olduğu sonucuna varılmıştır.



Şekil 4.16 XPS-EPS çift kat kuvvet-deformasyon grafiği.

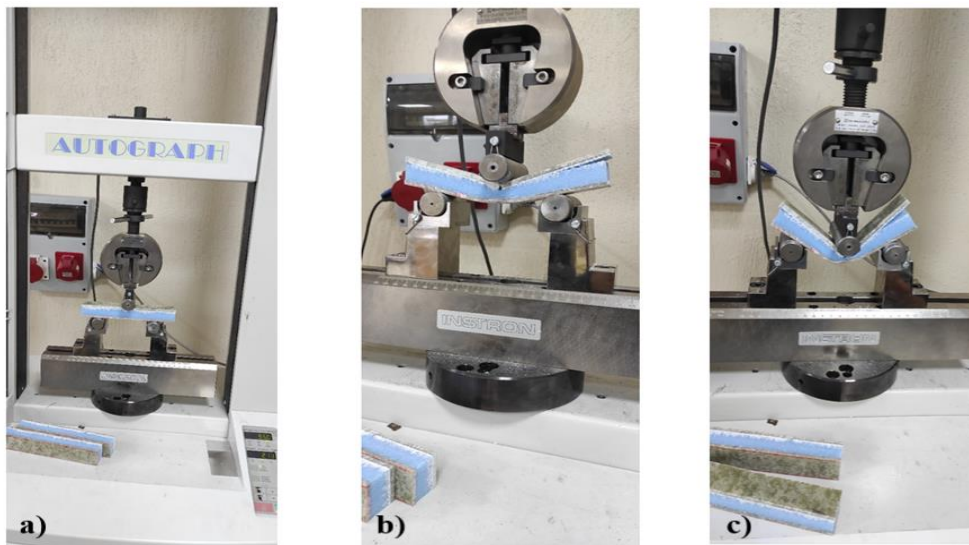
Şekil 4.16'daki grafik incelendiğinde XPS numunesinde yaklaşık olarak 2280 N ve EPS-de ise yaklaşık 1650 N değerlerine ulaşıldığı gözlemlenmiştir. Bu değerlere yaklaşık

olarak XPS’de %8 ve EPS’de %6 deformasyonda gerçekleştiği gözlemlenmiştir. EPS köpük olan numuneler yaklaşık %45 deformasyondan sonra artış gösterirken, EPS köpük olan numuneler ise %50 deformasyondan sonra artış göstermiştir. Deneyden elde edilen bulgular doğrultusunda XPS köpük kullanılarak üretilen numuneler EPS numunelerine göre daha dayanıklı olduğu sonucuna varılmıştır.

4.3 Koyun Yn Tabakalı Kompozit 3 Nokta Eğme Test Sonuçları

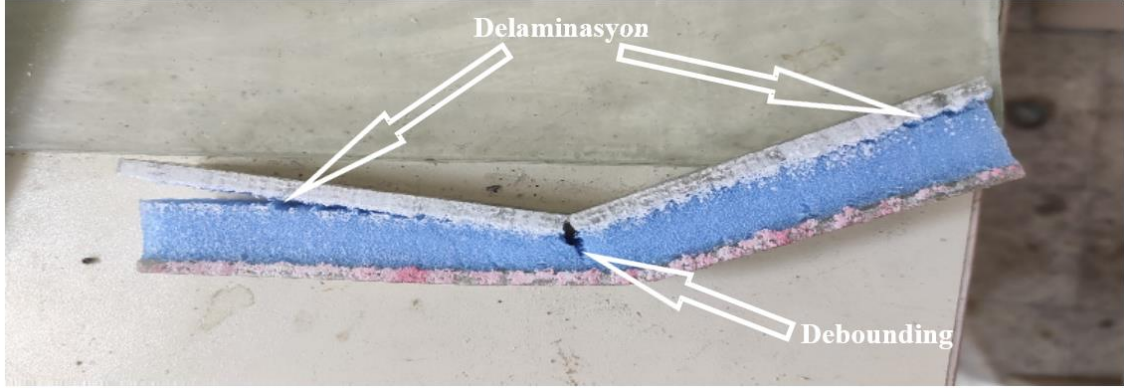
Üç nokta eğme testleri, katman kalınlığı ve çekirdek tabaka malzemeleri olmak üzere iki farklı kategoride incelenmiştir. Numuneler, 180x30x23 mm boyutlarında hazırlanmış ve cihaz ilerleme hızı olarak 1 mm/dk seçilmiştir. Deneylerde alt tabakanın kırılmasını tespit edebilmek için numunelere yaklaşık 30 mm civarında bir deformasyon uygulanmıştır. Her deneyden üç adet numune test edilmiş ve elde edilen sonuçların ortalamaları alınarak kuvvet-deformasyon grafikleri çizilmiştir.

Araştırma, sandviç kirişin yüzey levhalarında tek yönlü cam elyaf kumaş yerine karbon elyaf kumaşın kullanılmasının üç nokta eğilme testi altında kirişin taşıyabileceği yk değerini artırdığını göstermektedir. Ayrıca, yn elyaf kumaşın da sandviç kirişin davranışını etkilediği test sonuçlarından anlaşılmaktadır. Bu bulguların, literatürdeki önceki çalışmalarla uyumlu olduğu tespit edilmiştir.



Resim 4.6 üç nokta eğme test aşaması.

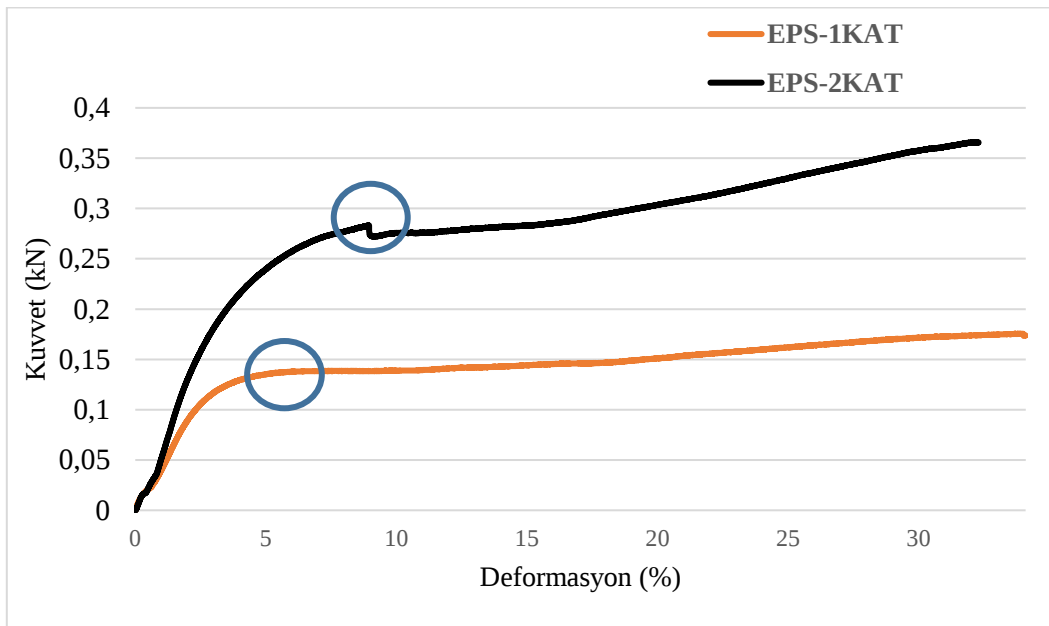
Üretilen kompozit kesitlerde, Resim 4.6’da belirtilen yün elyaf türü ve elyaf dizilimi (tek kat/çift kat) konfigürasyonuna bağlı olarak, kirişin eğilme altındaki davranışları 3(üç) aşaması gösterilmektedir. Resim 4.6’da numunenin ilk hali, b’de eğilme ve c’de deplasman oluşturduğu gözlenmiştir. Deney için kesilen numunenin test öncesi durumu Resim 4.7’de sonrası ise oluşan debonding ve delimasyon durumu b’deki gibidir.



Resim 4.7 Üç nokta eğme test sonucu.

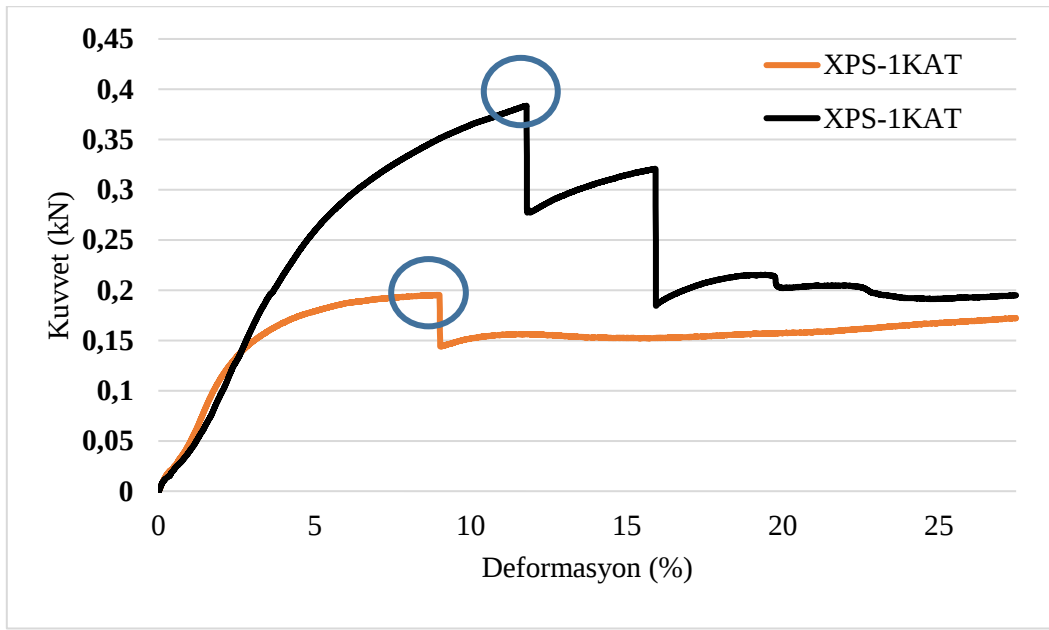
4.3.1 Katman Kalınlığının Üç Nokta Eğme Dayanımına Etkisi

Şekil 4.17’de EPS-1 KAT ve EPS-2 KAT’a ait üç nokta eğme testlerinden elde edilen kuvvet-deformasyon grafikleri gösterilmektedir.



Şekil 4.17 EPS tek ve çift katlı kuvvet-deformasyon grafiği.

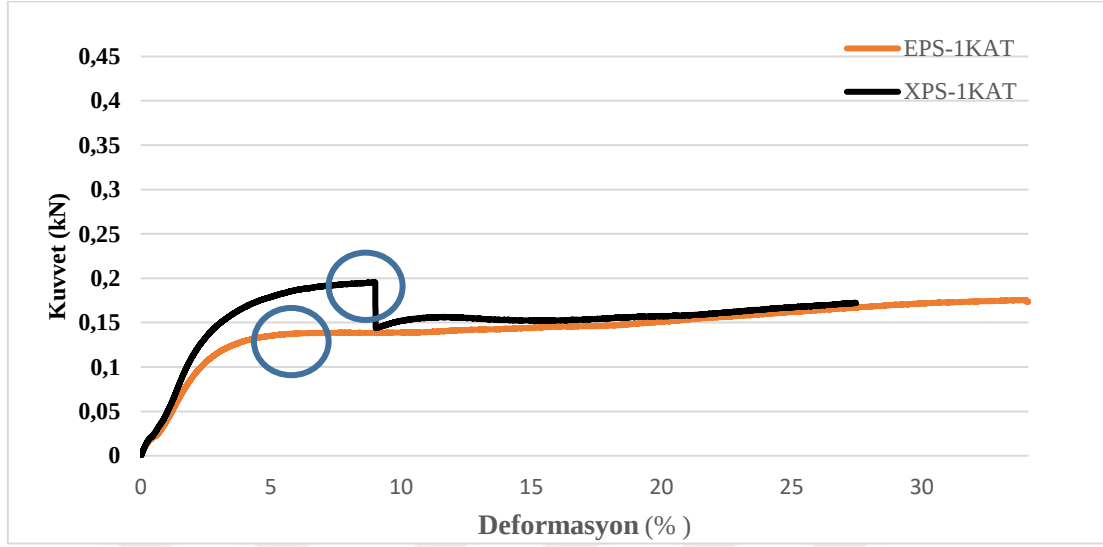
EPS dolgulu koyunyünü için her iki katman için üç ayrı test numunesi kullanılmıştır. EPS-1 KAT numuneleri yaklaşık 6 mm civarında bir deformasyonla ilk katman kırılması yaşamış ve yaklaşık 140 N kuvvetine dayanmıştır. Diğer taraftan, EPS-2 KAT numuneleri yaklaşık 8 mm civarında bir deformasyonla ilk katman kırılması yaşamış ve yaklaşık 260 N kuvvetine dayanmıştır. Bu verilerden yola çıkarak, EPS-2 KAT numunelerinin EPS-1 KAT numunelerine göre daha yüksek bir mukavemete sahip olduğu görülmektedir.



Şekil 4.18 XPS tek kat kuvvet-deformasyon grafiği.

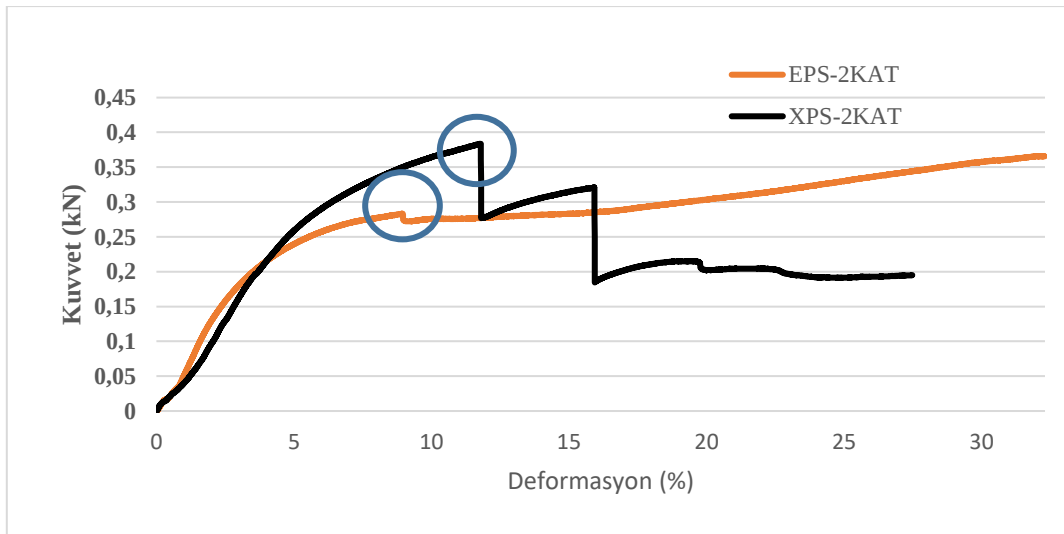
Şekil 4.18'de XPS-1 KAT ve XPS-2 KAT'a ait üç nokta eğme testlerinden elde edilen kuvvet-deformasyon grafikleri gösterilmektedir. XPS dolgulu koyunyünü için her iki katman için üç ayrı test numunesi kullanılmıştır. XPS-1 KAT numuneleri yaklaşık 8 mm civarında bir deformasyonla ilk katman kırılması yaşamış ve yaklaşık 200 N kuvvetine dayanmıştır. Diğer taraftan, XPS-2 KAT numuneleri yaklaşık 12 mm civarında bir deformasyonla ilk katman kırılması yaşamış ve yaklaşık 360 N kuvvetine dayanmıştır. Bu verilerden yola çıkarak, EPS-2 KAT numunelerinin EPS-1 KAT numunelerine göre daha yüksek bir mukavemete sahip olduğu görülmektedir.

4.3.2 Tabaka Malzemesinin Üç Nokta Eğme Dayanımına Etkisi



Şekil 4.19 XPS-EPS tek katlı kuvvet-deformasyon grafiği.

Şekil 4.19'da EPS-1 KAT ve XPS-1 KAT'a ait üç nokta eğme testlerinden elde edilen kuvvet-deformasyon grafikleri gösterilmektedir. XPS-1 KAT numuneleri yaklaşık 9 mm civarında bir deformasyonla ilk katman kırılması yaşamış ve yaklaşık 200 N kuvvetine dayanmıştır. Diğer taraftan, EPS-1 KAT numuneleri yaklaşık 6 mm civarında bir deformasyonla ilk katman kırılması yaşamış ve yaklaşık 140 N kuvvetine dayanmıştır. Bu verilerden yola çıkarak, XPS-1 KAT numunelerinin EPS-1 KAT numunelerine göre daha yüksek bir mukavemete sahip olduğu görülmektedir.



Şekil 4.20 XPS-EPS çift kat kuvvet-deformasyon grafiği.

Şekil 4.20'de EPS-2 KAT ve XPS-2 KAT'a ait üç nokta eğme testlerinden elde edilen kuvvet-deformasyon grafikleri gösterilmektedir. XPS-2 KAT numuneleri yaklaşık 13 mm civarında bir deformasyonla ilk katman kırılması yaşamış ve yaklaşık 380 N kuvvetine dayanmıştır. Diğer taraftan, EPS-2 KAT numuneleri yaklaşık 8 mm civarında bir deformasyonla ilk katman kırılması yaşamış ve yaklaşık 260 N kuvvetine dayanmıştır. Bu verilerden yola çıkarak, XPS-2 KAT numunelerinin EPS-2 KAT numunelerine göre daha yüksek bir mukavemete sahip olduğu görülmektedir.



5. TARTIŞMA ve SONUÇ

Bu çalışmada, koyunyününden üretilen kumaşının XPS ve EPS politren köpük malzeme ile tek ve iki kat şeklinde basma, üç nokta ve darbe deneyleri yapılarak üç konfigürasyonlarda mekanik özelliklerinin karşılaştırmalı olarak analizi yapılmıştır. Darbe davranışını incelemek için 10 j ve 20 j farklı enerji değerlerinde testler uygulanmıştır.

- Basma testlerinde tek ve çift katmanlı numunelerine katmanlar arasında iki katı iken basma dayanımlarında %70 daha fazla artmıştır.
- 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 10J darbe testlerinde tek katlı numunelerde hem EPS hem de XPS ile olan numunelerde saplanma meydana gelmiştir.
- Darbe testlerinde 10J darbe testlerinde çift katlı numunelerde hem EPS hem de XPS ile olan numunelerde Geri Sekme meydana gelmiştir.
- Darbe testlerinde 20J darbe testlerinde tek katlı numunelerde hem EPS hem de XPS ile olan numunelerde delinme meydana gelmiştir.
- Darbe testlerinde 20J darbe testlerinde çift katlı numunelerde hem EPS hem de XPS ile olan numunelerde saplanma meydana gelmiştir.
- 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 doğal elyaflar yerine farklı yapay elyaflar kullanılarak kompozit malzeme üretimini geliştirilebilir ve bu sayede daha çevreci malzeme kompozit malzemeler üretiminde yol alınabilir.
- Yapılan kompozit malzelerden farklı olarak elyaf yapısında jüt, pamuk gibi farklı

doğal elyaflar kullanılabilir.

- Yapılan tabakalı kompozit malzeme için farklı hızlarda ve farklı enerjilerde testler uygulanabilir.
- Tabakalı kompozit malzemelerin katman kalınlıkları, tek yönde elyaf, üç farklı katman vb gibi değiştirilerek test sonuçları gözlemlenebilir.
- Yapılan çalışmadan farklı olarak poliüretan köpük, metal köpük gibi çekirdek yapısında kullanılan malzemeler farklı değiştirilerek testler gerçekleştirilebilir.
- Çalışmada kullanılan XPS ve EPS tabaka yapılar için doğal elyaf-yapay elyaf gibi hibrit tabaka yapıları kullanılabilir ve yapılan tabakalar için test sonuçları karşılaştırılabilir.



6. KAYNAKLAR

- Agarwal K, Sahay R, Baji A, Budiman A S, 2020, Impact-resistant and tough helicoidally aligned ribbon reinforced composites with tunable mechanical properties via integrated additive manufacturing methodologies. *ACS Applied Polymer Materials*, 2(8), 3491-3504.
- Ahmad J, Majdi A, Al-Fakih A, Deifalla A F, Althoey F, El Ouni M H ve El-Shorbagy M A, 2022, Mechanical and durability performance of coconut fiber reinforced concrete: a state-of-the-art review. *Materials*, 15(10), 3601.
- Altenbach H, Altenbach J ve Kissing W, 2004, Classification of Composite Materials. *Mechanics of Composite Structural Elements*, 1–14.
- Begum S, Fawzia S, Hashmi M S J, 2020, Polymer matrix composite with natural and synthetic fibres. *Advances in Materials and Processing Technologies*, 6(3), 547-564.
- Belakroum R, Gherfi A, Bouchema K, Gharbi A, Kerboua Y, Kadja, M ve aLachi M, 2017, Hygric buffer and acoustic absorption of new building insulation materials based on date palm fibers. *Journal of Building Engineering*, 12, 132-139.
- Bhowmick M, Mukhopadhyay S ve Alagirusamy R, 2012, Mechanical properties of natural fibre-reinforced composites. *Textile progress*, 44(2), 85-140.
- Bhudolia S K, Gohel G, Leong KF, Islam A, 2020, Advances in ultrasonic welding of thermoplastic composites: A review. *Materials*, 13(6), 1284.
- Bledzki A K, et al. (2010). Natural and wood fibre reinforcement in polymers. *Rapra Technology Limited*.
- Borlea S I, Tiuc A E, Nemeş O, Vermeşan H, Vasile O, 2020, Innovative use of sheep wool for obtaining materials with improved sound-absorbing properties. *Materials*, 13(3), 694.
- Callister W D, Rethwisch D G, 2007, *Materials science and engineering: an introduction*, 7, 665-715.

- Callister W D ve Rethwisch D G, 2020, Materials science and engineering, London, Wiley.
- Célino A, Gonçalves O, Jacquemin F ve Fréour S, 2014, Qualitative and quantitative assessment of water sorption in natural fibres using ATR-FTIR spectroscopy. Carbohydrate polymers, 101, 163-170.
- Chambers A, 2004, Modern vacuum physics, CRC Press.
- Chen L, Ballarini R, Kahn H ve Heuer A, 2007, Bioinspired micro-composite structure. J. Mater. Res. 22, 124–131.
- Chung D D L, 2010, Tailoring Composite Materials. Composite Materials: Science and Applications, 157-201.
- Dunne R, Desai D ve Sadiku R, 2017, Material characterization of blended sisal-kenaf composites with an ABS matrix, Applied Acoustics, 125, 184-193.
- Ehrenstein G W, 2012, Polymeric materials: structure, properties, applications. Carl Hanser Verlag GmbH Co KG.
- Ellouze A, Jesson D, Ben C R, 2020, The effect of thermal treatment on the properties of expanded polystyrene. Polymer Engineering & Science, 60(11), 2710-2723.
- Hearle J W, Morton W E, 2008, Physical properties of textile fibres (4th ed.), Woodhead Publishing.
- Huda, M K, Widiastuti I, 2021, Natural fiber reinforced polymer in automotive application: A systematic literature review. In Journal of Physics: Conference Series, 1808 (1), 012015.
- Johnson T, 2018, History of composites. The evolution of lightweight composite materials, <https://www.thoughtco.com/history-of-composites-820404> (Erişim, 2023).
- Jones R M, 1999, Mechanics of composite materials. CRC press.
- Kamarudin S H, Mohd Basri M S, Rayung M, Abu F, Ahmad S B, Norizan M N ve Abdullah L C, 2022, A Review on Natural Fiber Reinforced Polymer Composites (NFRPC) for Sustainable Industrial Applications. Polymers, 14(17), 3698.

- Kawasaki T, Kawai S, 2006, Thermal insulation properties of wood-based sandwich panel for use as structural insulated walls and floors. *Journal of wood science*, 52, 75-83.
- Kirmasha Y K, Sharba M J, Leman Z, Sultan M T H, 2020, Mechanical performance of unstitched and silk fiber-stitched woven kenaf fiber-reinforced epoxy composites. *Materials*, 13(21), 4801.
- Kong C, Lee H ve Park H, 2016, Design and manufacturing of automobile hood using natural composite structure. *Composites Part B: Engineering*, 91, 18-26.
- Kopeliovich D, 2014, Advances in the manufacture of ceramic matrix composites using infiltration techniques. *Advances in Ceramic Matrix Composites*, 79–108.
- Koronis G, Silva A ve Fontul M, 2013, Green composites: a review of adequate materials for automotive applications *Compos Part B-Eng*, 44, 120-127.
- Koyuncu M, Tuncel E, Ferik A, 1996, Anadolu Merinosu, Kıvrıcık, Türkgeldi koyunlarının yapağı verim ve özellikleri üzerine bir araştırma, *Uludağ Üniv. Ziraat Fakültesi Dergisi*, 12, 104-106.
- Lau A K T ve Hung A P Y, 2017, Natural fiber-reinforced biodegradable and bioresorbable polymer composites.
- Liang R ve Hota G, 2011, Advanced fiber reinforced polymer composites for sustainable civil infrastructures. In *Proceedings of the International Symposium on Innovation & Sustainability of Structures in Civil Engineering*. Xiamen University.
- Liu X, Wang L ve Wang X, 2004, Evaluating the softness of animal fibers. *Textile Res J*, 74: 535–538.
- Liu Y, Yin R and Yu W, 2010, Preparation and characterization of keratin-K₂Ti₆O₁₃ whisker composite film. *Afr J Biotechnol*, 9: 2884–2890
- Loades M, 2016, *The Composite Bow*, Osprey Publishing, Great Britain
- Low I M, 2018, *Advances in ceramic matrix composites*. Woodhead publishing.

- Malkapuram R, Kumar V ve Negi Y S, 2009, Recent development in natural fiber reinforced polypropylene composites. *Journal of reinforced plastics and composites*, 28(10), 1169-1189.
- Manteghi S, Sarwar A, Fawaz Z, Zdero R, Bougherara H, 2019, Mechanical characterization of the static and fatigue compressive properties of a new glass/flax/epoxy composite material using digital image correlation, thermographic stress analysis, and conventional mechanical testing. *Materials Science and Engineering*, 99, 940-950.
- Masso-Moreu Y, and Mills, N J, 2003, Impact compression of polystyrene foam pyramids, *International journal of impact engineering*, 28(6), 653-676.
- McIlhagger A, Archer E ve McIlhagger R, 2020, Manufacturing processes for composite materials and components for aerospace applications. In *Polymer composites in the aerospace industry*, Woodhead Publishing.
- Mirza F A, Afsar A Md, Kim Byung-Sun, Song J-II, 2009, Recent Developments in Natural Fiber Reinforced Composites.
- Mohanty A K, Misra M ve Drzal L T, 2001, Surface modifications of natural fibers and performance of the resulting biocomposites: An overview. *Composite interfaces*, 8(5), 313-343.
- Mohamed, M., Hussein, R., Abutunis, A., Huo, Z., Chandrashekhara, K., & Sneed, L. H. (2016). Manufacturing and evaluation of polyurethane composite structural insulated panels. *Journal of Sandwich Structures & Materials*, 18(6), 769-789.
- Nagavally R R, 2017, Composite materials-history, types, fabrication techniques, advantages, and applications. *Int. J. Mech. Prod. Eng*, 5(9), 82-87.
- Ngo T D, 2020, Introduction to Composite Materials. *Composite and Nanocomposite Materials- From Knowledge to Industrial Applications*.
- Nguyen T P, Nguyen Q V, Nguyen V H, Le T H, Huynh V Q N, Vo D V N ve Le Q V, 2019, Silk fibroin-based biomaterials for biomedical applications: A review. *Polymers*, 11(12), 1933.

- Olfaz, H T M, 2015, Yapağının alternatif kullanım alanları. Bahri Dağdaş Hayvancılık Araştırma Dergisi, 1, 18-28.
- Park S W, Xia Q ve Zhou M, 2001, Dynamic behavior of concrete at high strain rates and pressures: II. Numerical simulation. International journal of impact engineering, 25(9), 887-910.
- Pasăre M M, Luca L, Dimitrov R ve Constantin B, 2019, Aspects of composite materials evolution. Fiability Durab. /Fiabil. Durabilitate, 2, 55-60.
- Pickering K L, Efendy M A ve Le T M, 2016, A review of recent developments in natural fibre composites and their mechanical performance. Composites Part A: Applied Science and Manufacturing, 83, 98-112.
- Puglia D, Biagiotti J, and Kenny J M, 2005, A review on natural fibre-based composites—Part II: Application of natural reinforcements in composite materials for automotive industry J Nat Fibers 1 23-65.
- Rangappa S M, Siengchin S, Parameswaranpillai J, Jawaid M ve Ozbakkaloglu T, 2022, Lignocellulosic fiber reinforced composites: Progress, performance, properties, applications, and future perspectives. Polymer Composites, 43(2), 645-691.
- Richerson D W ve Lee W E, 2018, Modern ceramic engineering: properties, processing, and use in design. CRC press.
- Rogov V A, Shkarupa M I ve Veliz A C, 2012, Classification of composite materials. RUDN Journal of Engineering Research, 2, 41-49.
- Sadighi M, Alderliesten R C ve Benedictus R, 2012, Impact resistance of fiber-metal laminates: A review. International Journal of Impact Engineering, 49, 77-90.
- Sathishkumar T P, Navaneethakrishnan P ve Shankar S, 2012, Tensile and flexural properties of snake grass natural fiber reinforced isophthallic polyester composites. Composites Science and Technology, 72(10), 1183–1190.
- Sathishkumar T P, Naveen J A ve Satheeshkumar, 2014, Hybrid fiber reinforced polymer composites—a review. Journal of Reinforced Plastics and Composites, 33(5), 454-471.

- Shalwan A ve Yousif B F, 2013, In state of art: mechanical and tribological behaviour of polymeric composites based on natural fibres *Mater Design* 48 14-24.
- Singha K, Maity S ve Pandit P, 2022, Applications of wool composites for construction. In *Wool Fiber Reinforced Polymer Composites*, Woodhead Publishing.
- Stamboulis A, Baillie C A, Garkhail S K, Van Melick H G H ve Peijs T, 2000; Environmental durability of flax fibres and their composites based on polypropylene matrix. *Applied composite materials*, 7, 273-294.
- Sun Y, Li B, Zhang Y, Dou H, Fan W ve Wang S, 2023, The progress and prospect for sustainable development of waste wool resources. *Textile Research Journal*, 93(1-2), 468-485.
- Tandon S, Kandasubramanian B ve Ibrahim S M, 2020, Silk-based composite scaffolds for tissue engineering applications. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 59(40), 17593-17611.
- Vanhove N R, 2018, Composite materials and their integration in bridges (Doctoral dissertation, Universitat Politècnica de València).
- Waddar S, Pitchaimani J, Doddamani M ve Barbero E, 2019, Buckling and vibration behaviour of syntactic foam core sandwich beam with natural fiber composite facings under axial compressive loads. *Composites Part B: Engineering*, 175, 107133.
- Wisnom M R, Gigliotti M, Ersoy N, Campbell M, Potter K D, 2006, Mechanisms generating residual stresses and distortion during manufacture of polymer–matrix composite structures. *Compos Part A Appl Sci Manuf*, 37(4), 522–529.
- Won J P, Lim D H, Park C G, 2006, Bond behaviour and flexural performance of structural synthetic fibre-reinforced concrete. *Magazine of concrete research*, 58(6), 401-410.
- Yeole P, Herring C, Hassen A, Kunc V, Stratton R ve Vaidya U, 2021, Improve durability and surface quality of additively manufactured molds using carbon fiber prepreg. *Polymer Composites*, 42(4), 2101-2111.

- Yuanjian T ve Isaac D H, 2007, Impact and fatigue behaviour of hemp fibre composites. *Composites Science and Technology*, 67(15-16), 3300–3307.
- Zhao J R, Zheng R, Tang J, Sun H J, Wang J, 2022, A mini-review on building insulation materials from perspective of plastic pollution, Current issues and natural fibres as a possible solution. *Journal of Hazardous Materials*, 438, 129449.
- Zhou B, Shi J ve Gian Chen Z, 2018, Experimental study on moisture migration process of zeolite-based composite humidity control material. *Applied Thermal Engineering*, 128, 604-613.
- Zhou J. Liao B, Shi Y, Ning L, Zuo Y ve Jia L, 2020, Experimental investigation of the double impact position effect on the mechanical behavior of low-velocity impact in CFRP laminates. *Composites Part B: Engineering*, 193, 108020.
- Zhou S, Li J, Kang S, Zhang D, Han Y ve Ma P, 2022, Impact properties analysis of bamboo/glass fiber hybrid composites. *Journal of Natural Fibers*, 19, 329-338.

İnternet Kaynakları

1. http://trafik.gov.tr/kurumlar/trafik.gov.tr/01-Haberler/03-2021/2021_2023-Karayolu-Trafik-Guvenligi-Eylem-Plani.pdf /, 06.04.2023
2. <https://www.uab.gov.tr/uploads/pages/kutuphane/aus-terimleri-sozlugu.pdf> /, 06.04.2023
3. <https://sozluk.gov.tr/>, 06.04.2023
4. <https://www.mentissciences.com/An-Introduction-to-6-Different-Types-of-Composite-Testing-1-12896.html> /, 06.04.2023
5. <https://www.mar-bal.com/language/en/applications/history-of-composites/>, 08.04.2023
6. <https://compositeslab.com/composites-101/history-of-composites/>, 08.04.2023
7. https://depo.btu.edu.tr/dosyalar/metalurji/Dosyalar/MME101_Introduction_To_Metallurgy_And_Materials_Engineering_Ayşe_Kalemtas_2.pdf, 08.04.2023
8. <https://m.aircraftspruce.com/catalog/pdf/mgs285tech.pdf> /, 08.04.2023
9. <https://www.kompozit.net/vakum-naylonu-flm-120-75-150vs-en-150cm> /, 01.06.2023
10. <https://www.labor.com.tr/urun/rocker-300-vakum-pompasi/>, 08.04.2023
11. <https://hubtuam.hitit.edu.tr/tr/detay/hizli-darbe-test-cihazi/>, 08.04.2023