

POLİMER KOMPOZİT YAPRAK YAY TASARIMI

2011

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ**

Oğuzhan BİLDİK

POLİMER KOMPOZİT YAPRAK YAY TASARIMI

Oğuzhan BİLDİK

**Karabük Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Makine Mühendisliği Anabilim Dalında
Yüksek Lisans Tezi
Olarak Hazırlanmıştır**

KARABÜK

Eylül 2011

Oğuzhan BİLDİK tarafından hazırlanan “POLİMER KOMPOZİT YAPRAK YAY TASARIMI” başlıklı bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

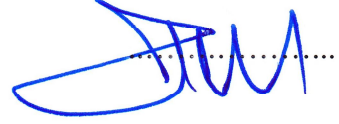
Yrd. Doç. Dr. Birhan IŞIK

Tez Danışmanı, Makine Eğitimi Anabilim Dalı



Doç. Dr. Refik POLAT

Tez Danışmanı, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı



Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile Makine Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir. 09/ 09/ 2011

Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)

İmzası

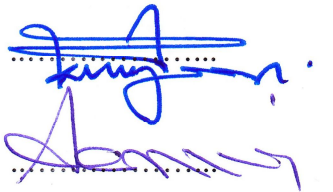
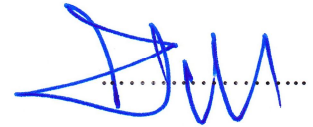
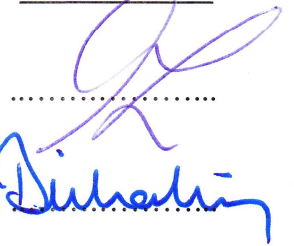
Başkan : Doç. Dr. Cevdet GÖLOĞLU (KBÜ)

Üye : Yrd. Doç. Dr. Birhan IŞIK (KBÜ)

Üye : Doç. Dr. Refik POLAT (KBÜ)

Üye : Yrd. Doç. Dr. Naci KURGAN (KBÜ)

Üye : Yrd. Doç. Dr. Halil İbrahim Demirci (KBÜ)

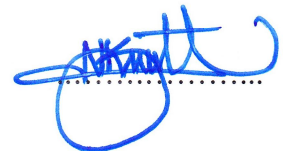


.../.... /2011

KBÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu, bu tez ile, Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Doç. Dr. Nizamettin KAHRAMAN

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü



“Bu tezdeki tüm bilgilerin akademik kurallara ve etik ilkelere uygun olarak elde edildiğini ve sunulduğunu; ayrıca bu kuralların ve ilkelerin gerektirdiği şekilde, bu çalışmadan kaynaklanmayan bütün atıfları yaptığımı beyan ederim.”

Oğuzhan BİLDİK

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

POLİMER KOMPOZİT YAPRAK YAY TASARIMI

Oğuzhan BİLDİK

Karabük Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanları:

Yrd. Doç. Dr. Birhan IŞIK

Doç. Dr. Refik POLAT

Eylül 2011, 91 sayfa

Bu tezde cam elyaf keçe, cam elyaf dokuma, cam elyaf fitil malzemeler, farklı reçine oranlarında bir araya getirilerek el yatırması yöntemiyle polimer kompozit yaprak yay üretilmiştir. Elde edilen farklı polimer kompozit yaprak yaylar, frezede işlenerek belirlenen test numunesi ölçülerine getirilmiştir. Hazırlanan numuneler çentik darbe deneyi, çekme deneyi, basma deneyi, üç nokta eğme deneyi ve sürünme deneylerine tabi tutularak mekanik dayanımları incelenmiş, ayrıca elde edilen polimer kompozit yaprak yaylar sonlu elemanlar yöntemi ile analiz edilmiştir. Çentik darbe ve basma deneylerinden elde edilen sonuçlar istatistik programı ile analiz edilerek, ANOVA tablosu oluşturularak verilerin anlamlılığa bakılmıştır. Elde edilen sonuçlar kıyaslanmış, 0-90° açığa sahip cam dokuma elyafın mekanik olarak dayanımının daha yüksek olduğu ve fiber oranının artması ile mekanik dayanımın arttığı tespit edilmiştir.

Anahtar Sözcükler : Polimer kompozit, yaprak yay, el yatırması yöntemi, sonlu elemanlar yöntemi.

Bilim Kodu : 914.1.913

ABSTRACT

M.Sc. Thesis

DESIGN OF POLYMER COMPOSITE LEAF SPRING

Oğuzhan BİLDİK

Karabük University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Mechanical Engineering

Thesis Advisors:

Asst. Prof. Dr. Birhan IŞIK

Assoc. Prof. Dr. Refik POLAT

September 2011, 91 pages

In this thesis, polymer composite leaf springs were produced by bringing fiber felt, fiber glass textile, fiber glass wick materials in together with different resin rates by hand lay-up method. The obtained different polymer composite leaf springs were brought to the determined test sample size by milling. The mechanical strengths of the prepared samples were examined being subject to notch impact test, tension test, compression test, three point bend test, and creep test, and the obtained polymer composite leaf springs were analyzed using Finite Elements Method (FEM). The obtained results from notch impact and compression tests were analyzed by using statistical program and test results were evaluated in respect to their meaningfulness by the established ANOVA table. The obtained results of tests were compared and it is understood that the fiber glass textile having 0-90° angle is better mechanical properties and is also found that mechanical strength increases in parallel with the increase in fiber rate.

Key Words : Polymer composite, leaf spring, hand lay-up method, FEM.
Science Code : 914.1.913

TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmamda danışmanlarım Yrd. Doç. Dr. Birhan IŞIK ve Doç. Dr. Refik POLAT' a teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmamda yapmış olduğu yardımlardan dolayı Doç. Dr. Cevdet GÖLOĞLU' na teşekkür ederim.

Malzemelerin tedariki ve bilimsel araştırmalara göstermiş oldukları önem ve hassasiyetlerinden dolayı Cam Elyaf Sanayi A.Ş.' ye özellikle de yurt içi satış müdürü Hakan KUŞ bey' e çok teşekkür ederim.

Deneysel çalışmalar sırasında yardımlarını esirgemeyen ve deney cihazlarını kullanıma açan Karabük Üniversitesi Mobilya Dekorasyon bölümü öğretim elemanlarına, özellikle de Arş. Gör. Raşit ESEN' e, Metal Eğitimi Bölümü, Makine Eğitimi Bölümü Öğretim Elemanlarına tezime katkılarından dolayı teşekkür ederim.

Sürünme deneylerinin yapılmasında yardımlarını esirgemeyen, Marmara Üniversitesi Metalürji Malzeme Mühendisliği Öğretim Elemanı Arş. Gör. İsmail TOPÇU' ya teşekkür ederim.

Yüksek lisans tezini yaparken yanımda olan arkadaşlarıma ve beni sevenlere, teşekkürü bir borç bilirim.

Maddi ve manevi olarak yardımlarını esirgemediğim yanımda oldukları için biricik aileme tüm kalbimle teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL	ii
ÖZET	iv
ABSTRACT	vi
TEŞEKKÜR	viii
İÇİNDEKİLER	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ	xiii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xvi
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xvii
BÖLÜM 1	1
GİRİŞ	1
BÖLÜM 2	3
SÜSPANSİYON SİSTEMİNDE YAPRAK YAYLAR VE KOMPOZİT MALZEMELER	3
2.1. SÜSPANSİYON SİSTEMLERİ	4
2.2. YAYLAR	5
2.2.1. Yayların Görevleri	6
2.2.2. Yayların Etkime Şekilleri	6
2.2.2.1. Titreşimler	7
2.2.2.2. Düşey Yaylanma, Yalpalama ve Baş Sallama Hareketleri	7
2.3. YAY ÇEŞİTLERİ	7
2.3.1. Helisel Yaylar	8
2.3.2. Burulma Yayları	8
2.3.3. Yaprak Yaylar	8
2.4. KOMPOZİT MALZEMELER VE GELİŞİMİ	12
2.5. KOMPOZİT MALZEMENİN TANIMI	15
2.6. KOMPOZİT MALZEMELERİN SINIFLANDIRILMASI	19

	<u>Sayfa</u>
2.6.1. Matris Malzemelerine Göre Kompozitler	20
2.6.1.1. Metal Matrisler	21
2.6.1.2. Seramik Matrisler	21
2.6.1.3. Polimer Matrisler	21
2.6.2. Yapım Formuna Göre Kompozitler	24
2.6.2.1. Elyaf (Fiber) Takviyeli Kompozit Malzemeler	25
2.6.2.2. Parçacık Takviyeli Kompozit Malzemeler	27
2.6.2.3. Tabakalı Kompozit Malzemeler	27
2.6.2.4. Karma(hibrit) Kompozit Malzemeler	29
2.7. KOMPOZİT MALZEMELERDE TAKVİYE ELEMANLARI (ELYAFLAR)	29
2.7.1. Cam Elyaf lar	30
2.7.2. Karbon Elyaf lar	33
2.7.3. Aramid Elyaf lar	34
2.7.4. Bor Elyaf lar	34
2.7.5. Yüksek Sıcaklık Elyaf ları	34
2.8. KOMPOZİT MALZEMELERERİN ÜRETİM YÖNTEMLERİ	35
2.8.1. El Yatırması Yöntemi(hand lay-up)	35
2.8.2. Sprey (püskürme) Kalıplama Yöntemi	36
2.8.3. Vakum Yöntemi	37
2.8.4. İplik Sarma Yöntemi	37
2.8.5. Pultrüzyon Yöntemi	38
2.8.6. Hazır Kalıplama Yöntemi	38
 BÖLÜM 3	 39
LİTARATÜRDE YAPILAN ÇALIŞMALAR	39
 BÖLÜM 4	 42
POLİMER KOMPOZİT YAPRAK YAY'IN ÜRETİLMESİ	42
4.1. POLİMER KOMPOZİT YAPRAK YAY'IN İMALATINDA KULLANILAN MALZEMELER	42
4.1.1. Reçine	42
4.1.2. Cam Elyaf ı	43

	<u>Sayfa</u>
4.1.3. Hızlandırıcı	45
4.1.4. Serleştirici	45
4.1.5. Kalıp Ayırıcı	46
4.1.6. Aseton.....	46
4.2. POLİMER KOMPOZİT YAPRAK YAY'IN İMALAT AŞAMALARI	46
BÖLÜM 5	52
MEKANİK DENEYLER	52
5.1. ÇENTİK DARBE DENEYİ.....	52
5.1.1. Çentik Darbe Deneyinin Uygulanması	55
5.2. ÇEKME DENEYİ	56
5.2.1. Çekme Deneyinin Uygulanması	58
5.3. BASMA DENEYİ	60
5.3.1. Basma Deneyinin Uygulanması.....	61
5.4. ÜÇ NOKTA EĞME DENEYİ	62
5.4.1. Üç Nokta Eğme Deneyinin Uygulanması	63
5.5. SÜRÜNME DENEYİ VE UYGULANMASI	64
5.6. POLİMER KOMPOZİT YAPRAK YAY İLE AĞIRLIK KAZANIMI	65
BÖLÜM 6	66
DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA.....	66
6.1. ÇENTİK DARBE DENEYİNİN SONUÇLARI.....	66
6.2. ÇEKME DENEYİNİN SONUÇLARI	68
6.3. BASMA DENEYİNİN SONUÇLARI	68
6.4. ÜÇ NOKTA EĞME DENEYİNİN SONUÇLARI	70
6.5. SÜRÜNME DENEYİNİN SONUÇLARI	71
BÖLÜM 7	74
SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİ İLE ANALİZ.....	74
BÖLÜM 8	79
SONUÇLAR VE ÖNERİLER	79

	<u>Sayfa</u>
KAYNAKLAR.....	81
ÖZGEÇMİŞ	85
EK AÇIKLAMALAR A. SÜRÜNME DENEY CİHAZI ÖZELLİKLERİ	86
EK AÇIKLAMALAR B. DENEYLERE AİT GRAFİKLER	88
EK AÇIKLAMALAR C. CN 266 N REÇİNE VE KCR2(M) CAM ELYAF SERTİFİKA RAPORU	90

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Şekil 2.1. Treyler şasisi üzerinde süspansiyon sistemi	5
Şekil 2.2. Taşıtlarda oluşan titreşim türleri	6
Şekil 2.3. Yaprak yay ve montaj elemanları	9
Şekil 2.4. Yaprak yay	9
Şekil 2.5. Simetrik yüklenen tek yaprak yay	10
Şekil 2.6. Eşit kalınlıktaki ve farklı boylardaki yaprak katları	11
Şekil 2.7. Yapısında kompozit malzeme kullanılan helikopter	14
Şekil 2.8. Kompozit malzemenin fazları	16
Şekil 2.9. Polimer kompozit malzeme gerilme gerinim eğrisi	17
Şekil 2.10. Kompozit malzemelerde farklı matrislerin sıcaklık ve yoğunluk özellikleri	20
Şekil 2.11. Malzemelerinin gerilme gerinim eğrileri	21
Şekil 2.12. Takviye elemanının özelliğine göre kompozitler	24
Şekil 2.13. Elyaf ve reçine kullanarak kompozit malzemenin üretilmesi	26
Şekil 2.14. Farklı lif yönlenmeleriyle oluşturulmuş tabakalı kompozit yapı	28
Şekil 2.15. Cam elyafın üretimi	31
Şekil 2.16. El yatırması yöntemi	36
Şekil 2.17. Püskürtme metodu	36
Şekil 2.18. İplik sarma yöntemi	37
Şekil 2.19. Pultrüzyon üretim yöntemi	38
Şekil 3.1. H.A.AL –quehi çalışma sonrası elde ettikleri grafik	40
Şekil 3.2. Similasyonda kullanılan örnek sistem	41
Şekil 4.1. KCR2(M) çok uçlu fitil	43
Şekil 4.2. MAT8 cam elyaf keçe	44
Şekil 4.3. Cam dokuma elyafı	45
Şekil 4.4. Polimer kompozit yaprak yay kalıbı üç görünüş	46
Şekil 4.5. Kalıp ayırıcı vaksın kalıba uygulanması	47
Şekil 4.6. Kalıp Hazırlama	47

Sayfa

Şekil 4.7. Cam elyaf keçenin kalıba uygulanması	48
Şekil 4.8. Cam dokuma uygulaması	48
Şekil 4.9. Çok uçlu cam elyaf fitil uygulaması	49
Şekil 4.10. El yatırması yöntemi hava alma işlemi	49
Şekil 4.11. Kurumaya bırakılan MAT8 cam elyaftan üretilen yaprak yay	50
Şekil 4.12. Polimer kompozit yay' ın el yatırması kalıbından çıkarılmış hali	50
Şekil 4.13. Üretilen polimer kompozit yaprak yay' ın ölçüleri.....	51
Şekil 5.1. X (yatay), Y (düşey) eksen görünümü	52
Şekil 5.2. Çentik darbe deneyi sembolik gösterimi	53
Şekil 5.3. Deneylerde kullanılan çentik darbe cihazı ve numune.....	56
Şekil 5.4. Polimer kompozit yaprak yay numunesinin kalınlığının ASTM D638-4 standardına indirilmesi	59
Şekil 5.5. ASTM D 638 numune şekli	59
Şekil 5.6. Hazırlanan polimer kompozit yaprak yay çekme numunesi.....	59
Şekil 5.7. Çekme deney işlemi	60
Şekil 5.8. Polimer kompozit yaprak yay basma deneyi	62
Şekil 5.9. Üç nokta eğme deney test düzeneği	64
Şekil 5.10. Sürünme deneyi test düzeneği	64
Şekil 6.1. Çentik darbe deneyi yatay kesit sonuç grafiği	66
Şekil 6.2. Çentik darbe deneyi düşey kesit sonuç grafiği	67
Şekil 6.3. Çekme deneyi sonuç grafiği	68
Şekil 6.4. Basma deneyi yatay kesit sonuç grafiği	69
Şekil 6.5. Basma deneyi düşey kesit sonuç grafiği.....	69
Şekil 6.6. Üç nokta eğme deneyi sonuç grafiği	71
Şekil 6.7. Sürünme deneyi genel sonuçları	72
Şekil 6.8. Numunelere göre sürünme deneyi sonuçları	73
Şekil 7.1. Tabakaların örnek gösterimi	74
Şekil 7.2. Polimer kompozit yay' ın mesh uygulanmış görünümü.....	75
Şekil 7.3. Polimer kompozit yay sınırları ve yük uygulama yönü	75
Şekil 7.4. Sonuçta görülmesi istenen değerlerin seçimi.....	76
Şekil 7.5. 5000 N yük altında oluşan Von Mises gerilmesi	77
Şekil EK.A.1. Sürünme deney cihazı.....	87

	<u>Sayfa</u>
Şekil EK.B.1. Sürünme deneyine ait grafikler	89
Şekil EK.C.1. Üretimde kullanılan bazı malzemelerin analiz sertifikası.....	91

ÇİZELGELER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 2.1. Önerilen yaprak boyutları	11
Çizelge 2.2. Kompozitlerin genel sınıflandırılması	19
Çizelge 2.3. Termoset ve Termoplastik reçinelerin genel açıdan kıyaslanması.....	24
Çizelge 2.4. Kompozit malzemelerde kullanılan bazı elyafların özellikleri.....	32
Çizelge 2.5. Bazı kompozitlerin sıcaklık dayanımları.....	35
Çizelge 4.1. CE 266 N12 Polyester reçine özellikleri	43
Çizelge 4.2. KCR2(M) çok uçlu fitil özellikleri.....	44
Çizelge 4.3. MAT8 cam elyaf keçe özellikleri.....	44
Çizelge 4.4. Cam elyaf dokuma özellikleri	45
Çizelge 4.5. Üretilen cam-fiber takviyeli kompozit yaprak yay kombinasyonu.....	51
Çizelge 5.1. Çentik darbe deneyi ANOVA tablosu	67
Çizelge 5.2. Basma deneyi ANOVA tablosu	70
Çizelge EK.A.1. İnstron 8861 test cihazı özellikleri	87

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

SİMGELER

M_b	: Eğilme Momenti
F	: Kuvvet
L	: Yay uzunluğu
E	: Elastikiyet Modülü
σ	: Gerilme
w	: Yay genişliği
t	: Kalınlık
I_a	: Yaprak yayların düzlemsel atalet momenti
n	: Yaprak sayısı
E_k	: Kinetik enerji
E_p	: Potansiyel enerji
m	: Ağırlık
v	: Hız
g	: Yer çekim ivmesi
h	: Yükseklik
E_{d0}	: Darbe öncesi enerji
E_{ds}	: Darbe sonrası enerji
E_{num}	: Kompozit numune tarafından soğurulan enerji
δ	: Uzama
L_S	: Son ölçü uzunluğu
L_O	: İlk ölçü uzunluğu
S_o	: İlk kesit alanı
S_s	: Son kesit alanı
ϵ_b	: Kırılmada çekme uzaması
ΔL	: Numunenin boyundaki değişimi

L_0	: Orijinal(ilk) ölçüm uzunluğu
S	: Eğilme gerilmesi
P	: Yük
L_m	: Mesnetler arası mesafe
b	: Numunenin eni
d	: Numunenin derinliği
θ	: Tabakalı kompozit yönlenme açısı

KISALTMALAR

ASTM	: American Society for Testing and Materials
CTP	: Cam Takviyeli Plastik
FRC	: Fiber Reinforced Composite
FW	: Filament Winding
MMC	: Metal Matrix Composite
CMC	: Ceramic Matrix Composite
FRP	: Fiber Reinforced Polymer
SMC	: Sheet Moulding Compound
BMC	: Bulk Moulding Compound
CDK	: Cam Dokuma

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Teknoloji de meydana gelen gelişmeler mühendislik malzeme sektöründe malzeme seçiminde de kendini göstermiş, araştırmacılar özellikle otomotiv sektörünün gelişiminde dış ve iç donanımın yanı sıra, mekanik gelişim ve yeni malzemeler için arayış içerisine girmişlerdir. Özellikle malzeme teknolojilerindeki gelişime paralel olarak daha hafif, daha az korozif özelliklere sahip ve bunların yanında da istenilen mekanik özellikleri barındıran malzemeler önem kazanmıştır. Oluşan bu gelişmeler karşısında otomotiv süspansiyon sistemleri de farklı malzeme tipleri ile üretilmeye çalışılmaktadır. Aranılan bu özellikler kompozit malzemelerin geliştirilmesi ve bu malzemelerin özelliklerinin geliştirilmesi ile aşılmaya çalışılmaktadır.

Otomotiv sektöründe araçların özellikle fazla ağırlığa sahip olmasının hem yakıt açısından, hem de aracın ivmelenmesi açısından bir problem oluşturduğu araştırmacılar tarafından değerlendirilmekte ve alternatif olarak çeşitli malzemeler araştırılmaktadır. Aynı zamanda otomotiv sektöründe ilk yıllardan itibaren ağırlıklı olarak kullanılan çelik malzemelerin ağırlığının yanı sıra korozyon özelliğinin yüksek oluşu, bazı alaşımlı çelik malzemelerin tamirinin zor oluşu, elektrik ve ısı iletkenlikteki problemler ve tasarımda görsellik oluşturmadaki, imalatındaki zorluklar malzeme yönünden farklı malzemelerin denenmesini gerekli kılmıştır.

Polimer kompozit malzemeler; sağladığı korozyon dayanımı, hafiflik, elektrik iletkenliği, tasarım esnekliği, onarım imkânı, üretim maliyetinin gün geçtikçe azalması ve mekanik özelliklerindeki iyileştirmeler neticesinde otomotiv ve diğer sektörlerde metal malzemelere alternatif oluşturmaktadır [1].

Bu gelişmeler ve özellikler işığında bu tezin amacı polimer kompozit malzemedен yaprak yay üretilerek, elik malzeme olarak kullanılan yaprak yay' a oranla daha hafif, korozyon dayanımı yüksek, tamir edilebilir bir yaprak yay yapısı elde etmektir.

BÖLÜM 2

SÜSPANSİYON SİSTEMİNDE YAPRAK YAYLAR VE KOMPOZİT MALZEMELER

Otomotiv sektörünün gelişimi sadece dış ve iç tasarımda gerçekleşmemiş, mekanik özelliklerde gelişim ve yeni malzeme arayışları hız kazanmıştır. Özellikle malzeme teknolojilerindeki gelişime paralel olarak daha hafif, daha az korozyif özelliklere sahip ve bunların yanında da yeterli derecede mukavemete sahip malzemeler önem kazanmıştır. Oluşan bu gelişmeler karşısında otomotiv süspansiyon sistemleri de üretim ve tasarım aşamalarında farklı malzeme tipleri ve farklı tasarımlarla üretilmeye çalışılmıştır. Bunun yanı sıra yol yapım standartlarındaki gelişmelerle birlikte araçlardaki konfor seviyesi süspansiyon sistemleri geliştirilerek artırılmaya çalışılmaktadır [2].

Özellikle yoldan gelen titreşimleri sönmölemek için geliştirilen süspansiyon sistemleri insanların maruz kaldığı titreşimleri azaltıp daha konforlu bir yolculuk geçirmelerini sağlamaktadır. Seyir konforu taşıt tasarımında en önemli etkenlerden birisi olduğundan taşıt süspansiyonlarının daha etkin hale getirilmesi otomotiv endüstrisinin önemli problemlerinden biri olarak ele alınmaktadır. Süspansiyonlar, temel olarak yoldan gelen etkilerin sebep olduğu enerjiyi üzerinde toplayan bir yay ve bu enerjiyi ısı enerjisine çevirerek sönmöleyen bir sönmöleyiciden (amortisör) meydana gelir [2 ,3] .

Günümüz modern taşıt teknolojisi, özellikle konforu ve yol sürüş güvenliğini sağlamak için taşıtlardaki titreşimlerin sebeplerinin üzerine önemle durmaktadır. Taşıtlar seyir konforunu olumsuz yönde etkileyen çeşitli titreşimlere maruz kalmaktadırlar. Bu titreşimlerin bir kısmı motordan ve aktarma organlarından, büyük bir çoğunluğu ise yoldan kaynaklanmaktadır. Bu titreşimler sönmölenmedikleri

takdirde sürücü ve yolcuların konforunu olumsuz yönde etkileyebileceği gibi taşıtın güvenli bir seyir yapmasına da engel teşkil ederler ve taşıttaki birçok mekanik aksamın yıpranmasına, zaman içerisinde de metal yorgunluğundan dolayı mukavemet kayıplarının oluşumuna sebebiyet vermektedirler. Bu nedenle taşıtların tasarımında en önemli konulardan biri seyir konforu ve seyir güvenliğinin sağlanabilmesidir. Bunun sağlanabilmesi, taşıt süspansiyon sistemlerinin en etkin bir şekilde tasarlanması ve kullanımı neticesinde gerçekleşebilmektedir [2, 3].

Çalışmalar neticesinde hem ticari hem de bilimsel alanda çok önemli gelişmeler kaydedilmiştir. Özellikle sistem kalitesinin artırılmasıyla ilgili farklı malzemeler (özellikle kompozit) ve bu malzemelerin bileşenleri de kullanılarak konfor, hafiflik ve dolayısı ile hem üretim tasarrufu hem de yakıt tasarrufu gibi etmenler önem kazanmıştır. Ticari çalışmalar, otomotiv üreticilerinin ürünlerinin performansını ve kalitesini artırma isteklerinden kaynaklanmaktadır.

2.1. SÜSPANSİYON SİSTEMLERİ

Taşıt sistemlerinde, yoldan ya da sürüşten kaynaklanan titreşimleri sürüş güvenliğini azaltmadan sönmek için süspansiyon sistemlerinden faydalanılmaktadır. Bu sistemlerin tamamı değişik özellikte elemanlardan oluşabilmesine rağmen sonuç olarak aynı amaca hizmet etmektedir. Süspansiyon sistemleri taşıt üzerinde tekerlek grubu ile taşıt gövdesi arasında yerleştirilerek titreşimlerden kaynaklanan etkilerin azaltılmasına çalışılmaktadır. Bununla birlikte bu sistemler farklı görevleri de aynı anda yerine getirmektedirler [2].

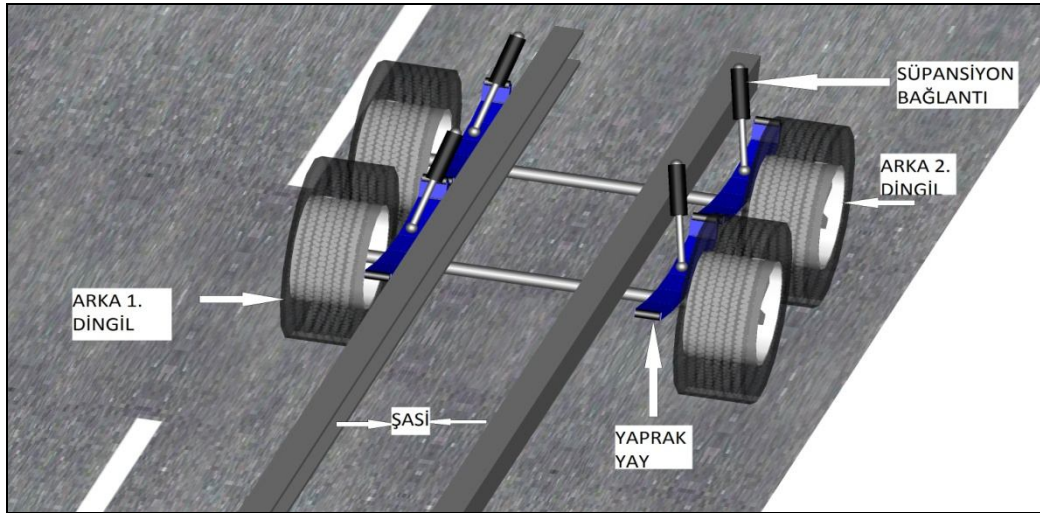
Bir taşıt süspansiyon sisteminin sağlaması gereken özellikler [3];

- İyi bir yol konforu sağlamak için yol bozukluklarından taşıt gövdesinin etkilenmesini kabul edilebilir sınırların altına çekilmesini sağlamak: Sürüş konforunun taşıt gövdesinin düşey ivmelenmesiyle ilgili olduğu kabul edilmektedir. İyi tasarlanmış bir süspansiyonun varlığı akslardan taşıt gövdesine iletilen titreşim kuvvetlerini azaltarak bu izolasyonu sağlar. Diğer bir deyişle bir taşıtta süspansiyon sisteminin temel görevi, yol tarafından

uygulanan kuvvetler sonucunda taşıt üzerinde oluşan ivmeleri kabul edilebilir düzeylerde tutmasının sağlanması,

- Aks ile yol arasındaki esnemelerin aracın yol tutuşunu etkilemeyecek düzeyde tutulmasının sağlanması, aracı kullanırken yapılan manevralarda kararlılığı ve kontrolü sağlamak böylece seyir konforunu gerçekleştirilmesinin sağlanabilmesi,
- Taşıt gövdesi ile aks arasındaki mesafenin belirli ölçülerde tutulmasının sağlanmasıdır [3].

Taşıt gövdesinin hareketlerinin iyi incelenebilmesi için süspansiyon sistemi üzerinde yaptığı hareketin özelliklerinin belirlenmesi gerekmektedir.



Şekil 2.1. Treylar şasisi üzerinde süspansiyon sistemi [4].

2.2. YAYLAR

Yaylar, üzerlerinde enerji depolayan elemanlardır. Seyir halindeki bir taşıta yoldan gelen darbeler, tekerlekler aracılığıyla çok kısa bir süre içerisinde yaylara kinetik enerji olarak iletilmektedir, çok kısa bir süre içerisinde sıkışmak suretiyle bu enerjiyi üzerlerine alan yaylar enerjiyi potansiyel enerji olarak depolamış olmaktadır. Yaylar depolamış oldukları bu enerjiyi bir süre sonra bir salınım hareketiyle kinetik enerjiye dönüştürerek açığa çıkartırlar. Böylece yoldan gelen darbeler yaylar üzerinde yumuşatılmış olmaktadır [2].

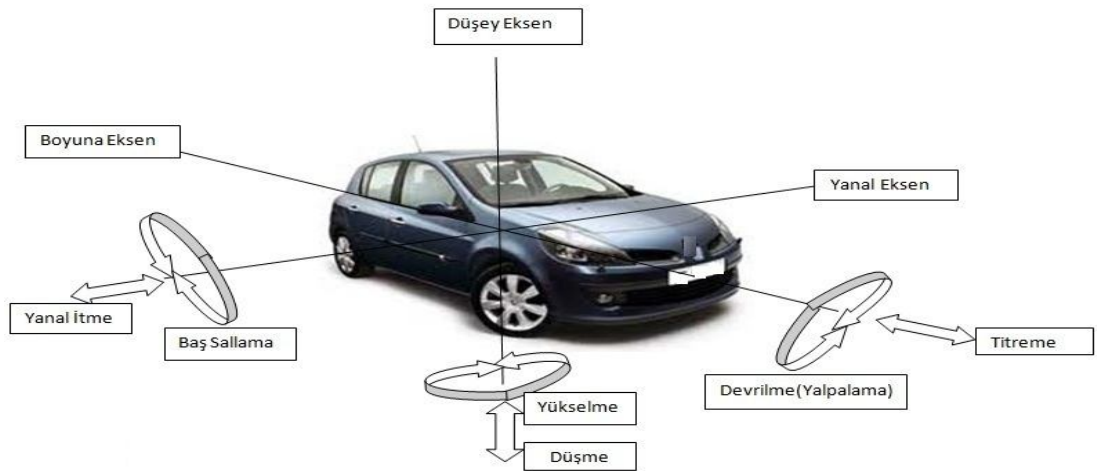
2.2.1. Yayların Görevleri

Süspansiyon sistemlerinin önemli parçaları arasında yer alan yaylar yapı itibari ile çeşitli görevler yerine getirmektedir. Bu görevler özetlenecek olursa [2] ;

- Tekerlekler hariç aracın bütün yükünü üzerinde taşır. Dolayısıyla araca ait ağırlık ve yük kuvvetlerini kendi üzerine alarak aracı dengeye getirmeye yardımcı olur.
- Tekerleklerin yol üzerinde bulunan yol bozukluklarına (çukur ve tümsek) temas etmesi halinde veya aracın yük durumuna göre, tekerleklerin şasiye yaklaşmasına veya uzaklaşması hareketine olanak sağlar.
- Yol üzerinde bulunan bozulmalardan oluşan titreşim ve vuruntuları üzerine alır, yumuşatır ve yaylanma halinde fasılalarla araç gövdesine geçmesini sağlar.
- Sürüş güvenliği için tekerleklerin yol yüzeyi ile temasının kesilmemesini sağlar.

2.2.2. Yayların Etkime Şekilleri

Yol darbeleri dışında tahrik kuvvetleri, fren kuvvetleri, rüzgâr kuvvetleri, merkezkaç kuvvetleri gibi diğer kuvvetlerin de araca etkimesi söz konusu olduğu için, hacimsel olarak her üç eksen yönünde hareketler ve titreşimler ortaya çıkar [5].



Şekil 2.2. Taşıtlarda oluşan titreşim türleri.

2.2.2.1. Titreşimler

Sürüş esnasında araçta oluşan titreşimlerin kabul edilebilir düzeyden çok büyük olması durumunda yol durumu ve bununla bağlantılı olarak seyir emniyeti olumsuz yönde etkilenir. Araç süspansiyon sistemi oluşan bu titreşimleri sönmüler.

Aracın seyir özellikleri yaylandırılmamış veya çok az yaylandırılmış kütlelerin, (Akslar, tekerlekler, askı sistemleri) yaylandırılmış kütlelere (şasi, karoseri, motor, askı donanımının bir kısmı, yolcu kabini ve yük) oranı tarafından belirlenir. Tüm yükleme durumları için aynı kalan ve titreşimlerin düzgün şekilde sönmülenmesi için tasarlanmış yay, aracın yol alış özelliklerini olumlu yönde etkiler [5].

Yol pürüzleri tekerlekleri düzensiz olarak etkilemekte ve yaylanma, kuvvetli darbeleri yakalayamazsa, şaside karoser ve tahrik sisteminde hasarlar ve zamanından önce aşınmalara sebep olacak gerilmeler ortaya çıkmaktadır [5].

2.2.2.2. Düşey Yaylanma, Yalpalama ve Baş Sallama Hareketleri

Tüm araçlarda yumuşak bir yaylanma istenir. Yumuşak yaylarda, yükleme nedeniyle araç ağırlığında çok az bir değişim büyük bir yay çökmesine sebep olur. Bu yay çökmesi yükü değişken araçlarda, örneğin römorklarda, istenen bir durum değildir. Lineer karakteristikli yayların kullanılması durumunda, yay çökmesi yükün ağırlığı ile orantılıdır [5].

Başka bir istenmeyen durum ise yalpa hareketidir. Bu hareket virajlarda yatay kuvvetlerin etkisiyle karoserin yana yatmasıdır. Baş sallama hareketi ise kendini frenleme etkisi ile gösterir [5].

2.3. YAY ÇEŞİTLERİ

Askı sisteminde genellikle 3 çeşit yay kullanılır. Bunlar;

- Helisel yaylar,

- Burulma çubuklu yaylar,
- Yaprak yaylar,

2.3.1. Helisel yaylar

Özellikle hafif araçlar için kullanılır. Burulmaya zorlanırlar, doğrusal karakteristiğe sahiptirler. Farklı sarım adımları, konik form veya farklı kalınlıktaki telin sarılmasıyla değişik karakteristiğe ulaşmak mümkündür [5]. Helisel yaylar tekerleğe enine yönde etkiyen hiçbir kuvveti taşımazlar.

2.3.2. Burulma Yayları

Yay çeliğinden yapılmış burulma yayı tekerleğin yataklandığı bir kol üzerinden burulmaya zorlanır. Burulma çubukları genelde çok az yer işgal ederler, uygun olan yere monte edilebilirler ve özel bir bakım gerektirmezler [5].

2.3.3. Yaprak yaylar

Yaprak yaylar, yol koşulları nedeniyle ani olarak şasi ve aktarma organlarına gelen yüklerin oluşturduğu enerjiyi üzerinde depolayıp, daha sonra açığa çıkararak sürüş konforu ve emniyeti sağlayan süspansiyon elemanlarıdır.

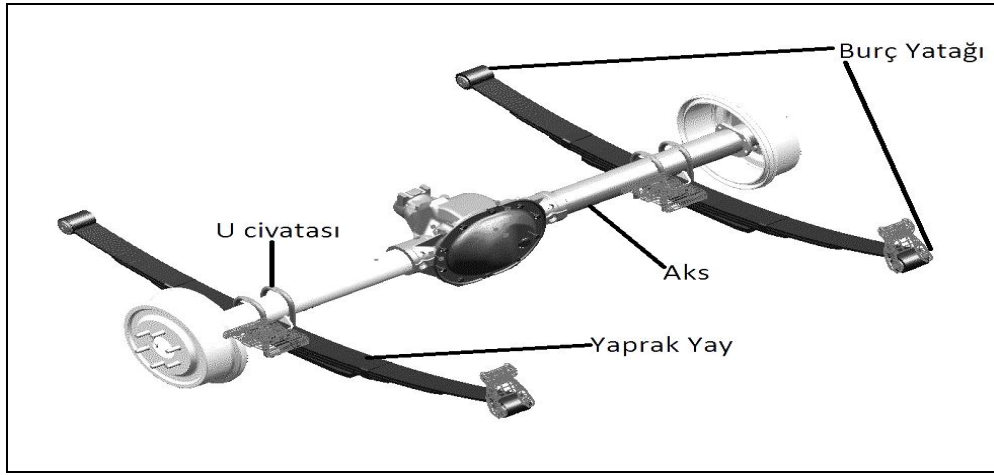
Özellikle II. Dünya Savaşı sırasında gelişen tank ve taşıma araçlarında gelişen teknoloji ile süspansiyon sistemleri de gelişme göstermiştir. Eski model binek arabaları, yük taşımacılığı yapan kamyonlar, treylerler ve benzeri araçların ön ve arka askı sistemlerinde kullanılır.

Boyları birbirinden farklı, lama şeklindeki parçaların üst üste konmasıyla meydana getirilir. Parçaların tümü, bir merkez civatasıyla birbirine bağlanır. Yayların dağılmasını önlemek için saç kelepçeler veya kılıflar kullanılır. Ana yaprağın her iki ucu kıvrılarak yay bağlantı gözleri oluşturulur. Ön askı sisteminde ön dingile , arka askı sisteminde arka köprüye U civatalarıyla bağlanır. Parabolik yaprak yaylar ise

kesitleri parabolik olarak değişen bunun yanı sıra en az bir en çok üç kattan oluşabilen yaprak yaylara verilen isimdir.

Yaylanma sırasında yaprak yaylar birbirleri üzerinde sürtünerek kayma işlemi gerçekleştirmektedir. Bu sürtünme işleminin en aza inmesi için yay yaprakları arasında sürtünmeyi azaltıcı malzemeler konulabilmektedir.

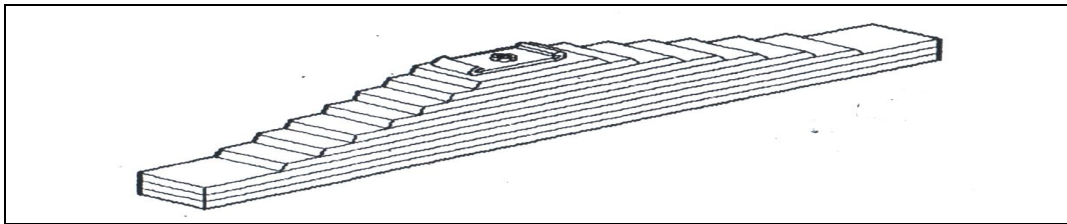
Şekil 2.3.'de bir kamyon şasesi üzerinde yaprak yayların bağlantı şekli gösterilmiştir.



Şekil 2.3. Yaprak yay ve montaj elemanları [7].

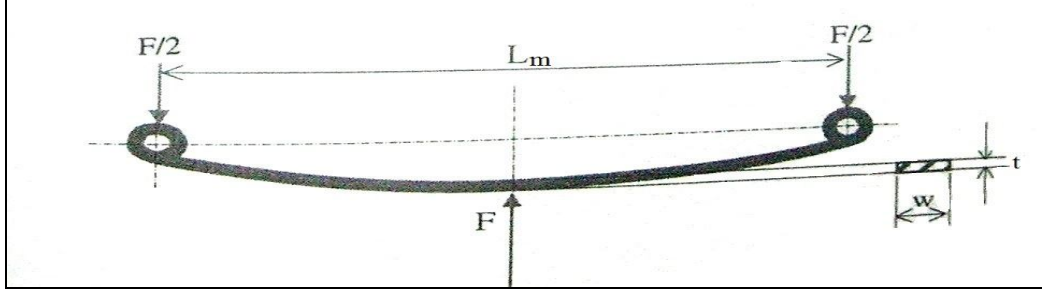
Bir aracın şasesi, araca bindirilmiş olan yük ile birlikte tüm aktarma organlarını ve motoru taşımaktadır. Şasi çerçevesi ise yaylar ve diğer bağlantı elemanları aracılığıyla tekerleklere bindirilmektedir. Dolayısı ile yaylar bir taşıt üzerinde yaylı ve yaysız kütlelerin arasına yerleştirilmektedir [6].

Konvansiyonel yaprak yaylar, boyları belirli bir kademedede değişen en az üç kattan meydana gelen yaprak yaylara verilen isimdir (Şekil 2.4).



Şekil 2.4. Yaprak yay.

Yaprak yaylar A ve B desteklerine oturan ve ortasında F yükü ile yüklenmiş bir ters kirişe benzetilebilir (Şekil 2.5) [6].



Şekil 2.5. Simetrik yüklenen tek yaprak yay [6].

Şekil 2.5'te görülen simetrik yüklenen tek yaprak yay için, maksimum eğilme momenti aşağıdaki gibi hesaplanabilir:

$$M_b = \frac{L_m \cdot F}{8}, \quad (1.1)$$

ve ortadaki sehim

$$s = \frac{F \cdot L_m^3}{4 \cdot E \cdot w \cdot t^3} \approx \frac{F \cdot L_m^3}{77 \cdot E \cdot I_a} \quad (1.2)$$

bulunur. Burada;

F: Yaprak yaya gelen yük, N

L_m : Mesnetler arası mesafe, mm

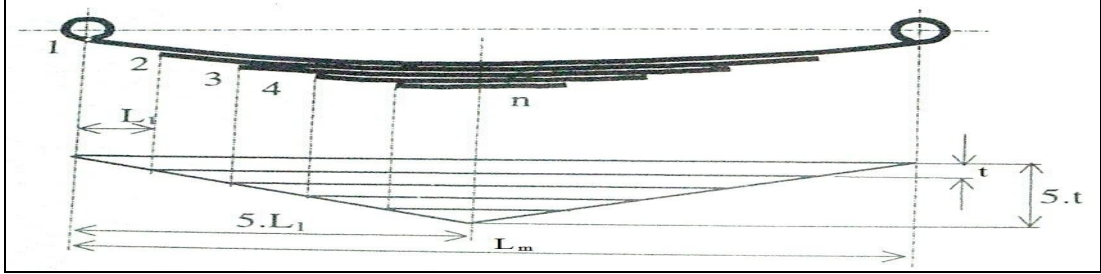
w: Yaprakların genişliği, mm

t: Yaprak kalınlığı, mm

I_a : Yaprak yayların düzlemsel atalet momenti

E: Elastikiyet modülü, N/mm²

Eşit genişlik ve kalınlıkta ve muhtelif boylardaki yapraklar ise Şekil 2.6’da görülmektedir.



Şekil 2.6. Eşit kalınlıktaki ve farklı boylardaki yaprak katları [6].

Yaprak yaylara ait eğilme momenti ve gerilme değerleri sırasıyla [6].

$$M_{b1} = \frac{F}{2} L_1 \dots \dots M_{bn} = \frac{F}{2} (L_1 + \dots + L_n) \quad (1.3)$$

$$\sigma_{b1} = \frac{3F \cdot L_1}{wt^2}, \dots, \sigma_{bn} = \frac{3F(L_1 + \dots + L_n)}{nwt^2} \quad (1.4)$$

Yaprakların genişliği minimum 50 mm’ den maksimum 140 mm’ ye kadardır. Yaprakların kalınlığı 6 mm ve 22 mm arasındaki bir tam sayı ile gösterilmektedir. Yaprakların kalınlığı için, genişliğin 1/5’ini aşmaması önerilmektedir. Önerilen yaprak yay boyutları Çizelge 2. 1’de verilmiştir [6]. Örneğin 60 mm genişliğindeki bir yaprak yay için 6 mm ’den 12 mm ‘ye kadar kalınlık seçilebilmektedir.

Çizelge 2.1. Önerilen yaprak boyutları [6].

Genişlik [mm]		Kalınlık [mm]				
40	6	8	10			
50	6	8	10			
60	6	8	10	12		
70		8	10	12	14	
80		8	10	12	14	16
100		8	10	12	14	16
120		8	10	12	14	16
140		8	10	12	14	16

2.4. KOMPOZİT MALZEMELER VE GELİŞİMİ

Günümüzde teknolojinin gelişimine paralel olarak insan ihtiyaçları artmış ve artan insan ihtiyaçlarını karşılayabilmek amacıyla malzeme teknolojileri de üretim ile gerekli ihtiyaçları karşılayabilmek için yeni malzeme arayışları içerisine girmiştir. Fakat bu gelişim, yeryüzünde bulunan hammadde halindeki malzemelerin sınırlı olmasından dolayı teknolojinin gelişimine uyum sağlayamamıştır.

Uzay teknolojileri ve hava taşımacılığının gelişmesi ile de kullanılan malzemelerin hem ekonomik hem de daha uygun malzemelerden üretimi yolu zorunlu kılınmıştır. Dolayısıyla ekonomik, istenilen mukavemet değerlerine uygun ve çok hafif malzemelerin geliştirilmesi için yapılan çalışmalar yoğunlaştırılmıştır. Yapılan çalışmalar neticesinde polimer kompozit malzemeler keşfedilmiştir.

Bilimsel alanda varlıkları 1930'da kabul edilen polimer malzemeler; kolay biçim verilebilir olmaları, metallere oranla düşük yoğunlukta olmaları, üstün yüzey kaliteleri ve korozyona karşı dayanımları gibi özelliklerine rağmen düşük dayanım ve sertlikleri yüzünden bazı uygulamalar için elverişli değildir. Polimerlerin uygulama alanını genişletmek ve bu eksikliklerini gidermek için 1950'lerin başlarında polimer esaslı kompozit malzemeler üretilmeye başlanmıştır. Son yıllarda polimer kompozit malzemeler, malzeme bilim ve teknolojisinin gereksinimine yönelik olarak en uygun malzeme tasarımı ve üretilebilmesi nedeniyle çok önemli bir boşluğu doldurmuştur [8].

Polimer kompozitler yüksek mukavemet, atmosfer özelliklerine dolayısı ile korozyona dayanım, boyut ve termal kararlılık, sertlik, kolay şekillendirilme, aşınmaya karşı dayanıklılık, hafif ağırlık gibi özellikleriyle pek çok avantajlar sunarlar ve dolayısıyla bu özellikler polimer kompozitin toplam maliyetini düşürülmesine etki eder.

Kompozit malzemeler doğada da değişik biçimlerde bulunabilmektedir (ahşap malzemeler, kemik v.s). Günümüzde kullanılan kompozitler ise cam fiber reçine

(polyester), tungsten, molibden, takviyeli alüminyum, karbon ve çelik takviyeli plastiklerdir [10].

Kompozit malzemelerin üretiminin bilinçli olarak incelenmesi ve bilimsel yeni malzemelerin geliştirilmesi 1940'lı yıllarda cam takviyeli malzemelerin kullanılması ile başlamıştır. Cam takviyeli plastikler (CTP) elektromanyetik geçirgenlik, hafiflik, atmosfer koşullarına etkilerine karşı dayanıklılık ve mekanik özellikleri nedeni ile bu amaç için kullanılabilir en uygun malzemedir [9].

Özellikle atmosfer özelliklerine ve tuzlu suyun etkilerine gösterdiği direnç yönü ile dikkat çeken CTP malzemeler ilk olarak tekne imalatı için kullanılmaya başlanmış ve CTP' den ilk tekne üretimi 1942 yılında gerçekleşmiştir. Elyaf sarma işleminin patenti de A.B.D' de 1946 yılında alınmıştır [9].

1950 yılına gelindiğinde havacılık sektörünün gelişmesine paralel olarak çelik malzemelere alternatif olarak uçak pervaneleri kompozit malzemedan üretilmeye başlanmıştır. Bugün uçak endüstrisinde yoğun bir şekilde kullanılmakta olan kompozit malzemelere örnek olarak, çeşitli polimerler içerisine gömülmüş karbon lifleri, alüminyum içerisine dağıtılmış boron lifleri veya 1000 °C üzerindeki sıcaklıklarda çalışabilen ve Nikel-Alüminyum alaşımı içerisnde oluşturulmuş Nikel-Neobiyum levhaları ile kuvvetlendirilen kompozitler verilebilir. Bu üstün nitelik ve özelliklere sahip kompozit malzemelerin yanında en geniş kullanım alanına sahip ucuzluğu ve elde edilmesi diğer kompozitlere nazaran daha kolay olan cam elyaf-polyester (CTP) malzemeler oldukça yaygın olarak kullanılmaktadır. Verilen örneklerde de görüldüğü üzere kullanılacak kompozit malzeme istenen mekanik özellikler, çevre şartları karşısında gösterdiği mukavemet, görünüş, maliyet ve benzeri özellikler ile çok çeşitli olabilmekte ve hemen hemen her şartı karşılayabilecek uygun bir takviye-matris çifti oluşturabilmektedir [9].

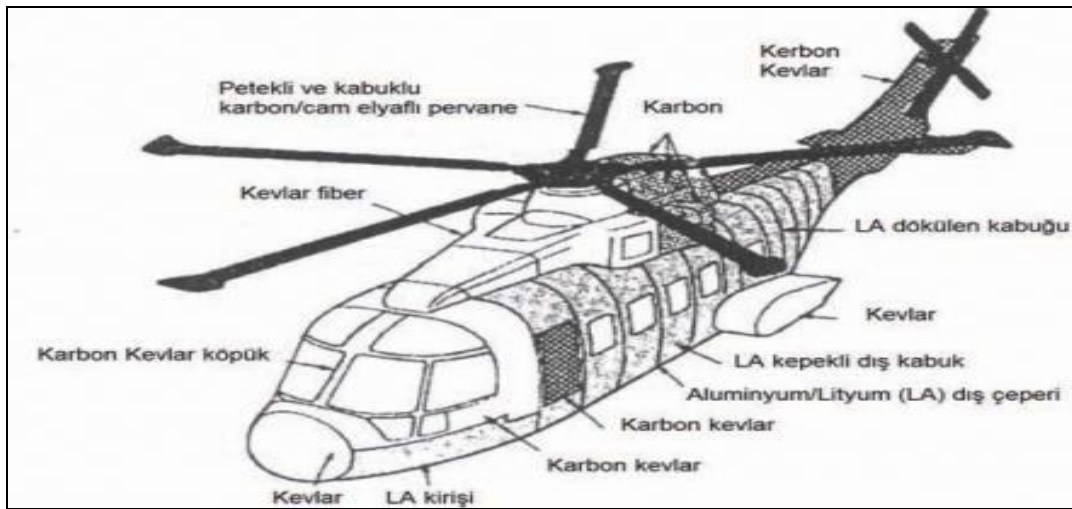
1950'li yıllardan sonra otomotiv sanayisinde kaporta ve aksesuar malzemesi olarak kullanılmaya başlamıştır.

Kimyasal direncinin yüksek olması, su tankları, zirai ilaçlama aletleri, kimyasal madde deposu ve borularının imalatı için kullanımını mümkün kılmıştır. Elektrik yalıtım özelliğinden dolayı elektrik endüstrisinde de kullanımına yaygın olarak yer verilmekte ve gün geçtikçe önemini artırmaktadır [8].

Görüş estetiğinden, istenilen her tür rengin oluşturulabilmesinden, kolay şekil verilebilen bir malzeme olmasından dolayı ve ısı yalıtım özelliğinin de bulunması neticesinde kimyasal malzeme nakillerinde araçlarda yalıtım kaplama malzemesi olarak kullanılmaya başlanmıştır. Korozyona karşı göstermiş oldukları dayanımın fark edilmesi ile kimya sektöründe depolama tanklarında kullanımına da başlanmış özellikle kimyasallarla temas eden yapılarda tercih edilmeye başlamıştır.

Özellikle savaş teknolojileri gelişimi kompozit malzemelerin gelişim hızını artırmış ve birçok ülke birbirleri ile büyük bir yarışa girişmiştir. Bu rekabet çerçevesinde son yıllarda helikopterde ileri kompozit malzemeler kullanılmaktadır. Bu malzemelere örnek olarak karbon, aramid, cam elyaf verilebilir.

Aşağıdaki Şekil 2.7’ de cam elyaf ve diğer kompozit malzemeler kullanılarak üretilmiş bir helikopter resmi görünmektedir. Günümüz helikopter teknolojisinde halen daha, daha hafif ve mukavemetli kompozit malzemelerin araştırılması ve incelenmesi devam etmektedir.



Şekil 2.7. Yapısında kompozit malzeme kullanılan helikopter [13].

1980’li yıllara gelindiğinde otomotiv sektöründe Japonya, Almanya, İngiltere ve Amerika’ da kompozit malzemedan direksiyon mili üretimiştir. Bu üretim ve araştırmalar daha sonra yaygınlaşmış ve kaportadan diğer aksamlara kadar birçok yedek parçanın kompozit malzemedan üretimi denenmiş ve birçok malzemedde başarılı sonuçlar sağlanmış ve araştırma-geliştirme işlemleri günümüzde halen daha da güncel bir şekilde devam etmekte ve önemini her geçen gün artırmaktadır.

2.5. KOMPOZİT MALZEMENİN TANIMI

Kompozit malzeme, istenen amaç için tek başlarına uygun olmayan farklı iki veya daha fazla malzemenin istenen özellikleri sağlayacak şekilde belirli şartlar ve oranlarda fiziksel olarak bir araya getirilmesiyle elde edilen malzeme grubudur. Üç boyutlu bu bir araya getirmede amaç, bileşenlerin hiçbirinde tek başına mevcut olmayan bir özelliğin elde edilmesidir. Diğer bir deyişe, amaçlanan doğrultuda bileşenlerinden daha üstün özelliklere sahip bir malzeme üretilmesi hedeflenmektedir. Kompozit malzemeye, “Çok Bileşenli Malzeme”, “Çok Fazlı Malzeme”, “Donatılı Malzeme” ve “Pekiştirilmiş Malzeme” gibi adlar da verilmektedir [14, 15].

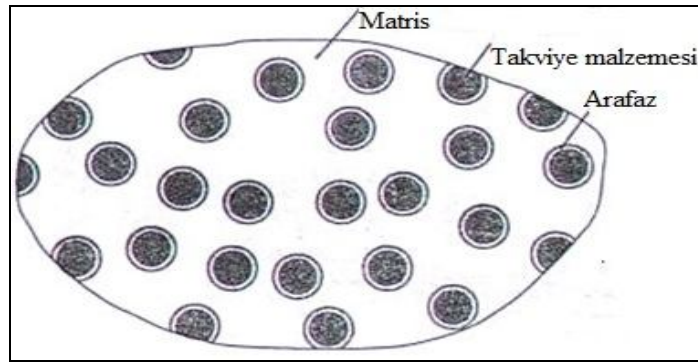
Kompozit malzemeler, doğrudan doğruya istenilen maksatta kullanılmayan en az iki ayrı malzemedan belli olan bir özelliği elde edebilmek için, bu malzemelerin belli şartlar altında ve belli bir oranda fiziksel olarak birleştirilmesiyle elde edilirler. Bir kompozit malzeme genelde düşük modül ve dayanıma sahip reçine veya metalik matris ana fazı ile bunun içinde dağılmış daha az oranda kullanılan tali fazı olan takviye elemanından oluşmaktadır. Ancak, molekölsele ve atomsal düzeyde birleştirilen malzemeler alaşımlar mikroskobik olarak homojen olduklarından kompozit malzeme olarak sınıflandırılmamaktadır, bu nedenle molekölsele ve atomsal düzeyde birleştirilen malzemeler kompozit olarak anılmazlar [11].

Kompozit malzemeler genellikle matris adı verilen ana faz ile fiber olarak adlandırılan ikincil fazların istenilen oranda ve tertipte fiziki karışımı ile üretilirler. Bu iki malzeme gurubundan çekirdek olarak kullanılan fiber malzeme, kompozit malzemenin mukavemet ve yük taşıma özelliğini sağlamaktadır. Matris malzeme ise

plastik deformasyona geçişte oluşabilecek çatlak ilerlemelerini önleyici rol oynamakta ve kompozit malzemenin kopmasını geciktirmektedir [17].

Kompozit yapı içerisinde matris olarak kullanılan malzemenin bir amacı da fiber malzemeleri yük altında bir arada tutabilmek ve yükü lifler arasında homojen olarak dağıtmaktır. Böylelikle fiber malzemelerde plastik deformasyon gerçekleştiğinde ortaya çıkacak çatlak ilerlemesi olayının önüne geçilmiş olmaktadır [17].

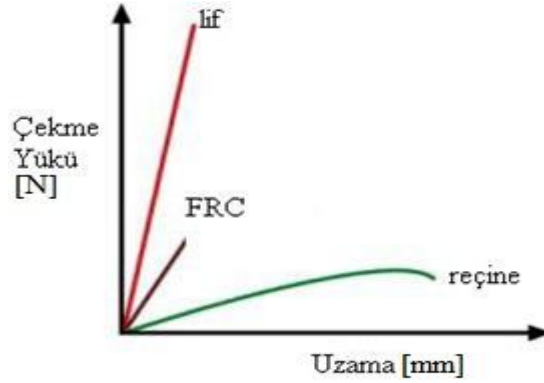
Sekil 2.8’de kompozit malzemenin fazları görülmektedir. Bu fazlarla oluşturulan malzeme kombinasyonu bir araya getirilirken istenilen uzama değerleri ve istenilen mukavemet değerleri dikkate alınarak oransal bir karışım elde edilmeye çalışılır.



Şekil 2.8. Kompozit malzemenin fazları [16].

Kompozitlerin özgül ağırlıklarının düşük olması, yüksek mukavemet göstermeleri, kolay şekillendirilebilmeleri, daha az deformasyona uğramaları ve daha fazla yük taşıyabilmeleri kullanım alanları için büyük bir avantaj sağlamaktadır. Bunun yanında, kompozit malzemelerin üretiminde şu özelliklerin geliştirilmesi hedeflenir. Mekanik dayanım, korozyona karşı direnç, rijitlik, ağırlık, yüksek sıcaklığa dayanım göstermek, ısı iletkenliği, kırılma tokluğu, ses tutuculuğu ve görünüm. Bu özelliklerin birisi veya birkaçı geliştirilirken, kompozit malzemenin zayıf yönleri iyileştirilir. Bu iyileştirme kompoziti oluşturan matris ve fiber elemanların analizi ile mümkündür [15].

Şekil 2.9 da Polimer kompozit malzemelerde liflerin ve reçinelerin çekme uzama eğrileri ile bu malzemelerin bileşimlerinden oluşan kompozit malzemenin çekme uzama eğrisi gösterilmektedir.



Şekil 2.9. Polimer kompozit malzeme gerilme gerinim eğrisi [22].

Kompozit malzemelerin üretim amaçları [9, 17];

- Mukavemeti arttırmak
- Yorulma dayanımı arttırmak
- Korozyon(Aşınma) dayanımını arttırmak
- Kırılma tokluğunu arttırmak
- Ekonomiklik
- Yüksek sıcaklıklardaki özellikleri iyileştirmek
- Isıl iletkenliği arttırmak
- Elektrik iletkenliğini arttırmak
- Akustik özelliği iyileştirmek
- Rijitliği arttırmak
- Ağırlığı azaltmak
- Kolay renklendirilebilir ve estetik tasarım
- Üretim kolaylığı sağlamak

Bu üretim amaçlarının her birinin sağlanması mümkün olmamakla beraber kullanılacak yer ve bizim amacımıza göre daha önemli özellikler belirlenerek, bu

özelliklerin sağlanmasına yönelik kompozit malzeme üretimi gerçekleştirilmeye çalışılır.

Kompozit malzemelerin genel avantajları [17];

- Farklı mekanik özellikler elde etmek için farklı katmanlardan ve farklı bileşkerler kullanılarak kompozit malzeme inşa edilebilir.
- Kompozit malzemeler kimyasallara, korozyona ve hava şartlarına dayanıklılık göstermektedir.
- Karmaşık parçaların tek olarak üretilebilmesinden dolayı parça sayısının azalmasını sağlarlar. Böylece ara birleştirme detay ve parçalarının azalmasıyla üretim süresi kısalmaktadır. Böylece işçilik maliyeti ve süreçte azalma meydana gelecektir.
- Yüksek birim dayanıklılık/ yoğunluk oranı.
- Yüksek modül /ağırlık oranı. Özellikle araçlarda günümüzde araç ağırlığı azaltılarak yakıt tasarrufu sağlanması ve daha düşük hızlanma süreleri istenmesinden dolayı çok önem kazanmıştır.
- Bazı kompozitlerin onarımları diğer mühendislik malzemelerine nazaran kolaydır.

Tüm bu avantajlarının ve kullanım özelliklerinin yanında kompozit malzemelerin bazı dezavantajları ve kullanımlarını sınırlayan bazı problemleri vardır [21].

Dezavantajlar [17];

- Hammaddenin pahalı olması; Uçaklarda kullanılacak kalitede karbon elyafının birim karelik kumaşının maliyeti yaklaşık 50 USD civarındadır.
- Lamine edilmiş kompozitlerin özellikleri her zaman ideal değildir, kalınlık yönünde düşük dayanıklılık ve katlar arası düşük kesime dayanıklılık özelliği bulunmaktadır.
- Malzemenin kalitesi üretim yöntemlerinin kalitesine bağlıdır, standartlaşmış bir kalite yoktur. Bu nedenle standart malzeme özellikleri belirlemek zor ve işçilik el yatırması gibi yöntemlerle yapılan üretimlerde önem kazanmaktadır.

- Kompozitler kırılğan (gevrek) malzeme olmalarından dolayı kolaylıkla zarar görürler, onarılmaları yeni problemler yaratabilir.
- Malzemelerin (özellikle reçinelerin) sınırlı raf ömürleri vardır. Bazı tür kompozitlerin soğutulularak saklanmaları gerekmektedir. Sıcak kurutma gerekmektedir.
- Kompozitler onarılmadan önce çok iyi olarak temizlenmeli ve kurutulmalıdır. Bu durum bazı durumlarda zor olup uzmanlık gerektirmekte ve imalat süresini uzatmaktadır.

2.6. KOMPOZİT MALZEMELERİN SINIFLANDIRILMASI

Bir kompozit malzeme, çekirdek olarak bilinen takviye elemanı ve bunun etrafını çevreleyen matris malzemesinden oluşmaktadır. Amaç; elde edilen üründe mükemmel bir mekanik performans ve özellikler sağlamaktır.

Kompozitler farklı yaklaşımlarla kendi içlerinde gruplandırılabilir; Ancak bunlardan en yaygın kullanılanları Çizelge 2.2’ de gösterilen takviye elemanlarına, matris türüne ve kompozit yapının şekline göre genel olarak gruplandırılmıştır.

Çizelge 2.2. Kompozitlerin genel sınıflandırılması [23].

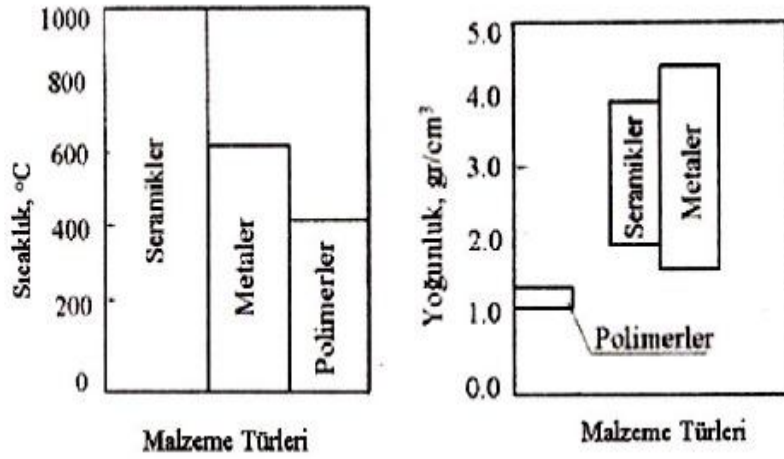
Matris Malzemeleri	Takviye Elemanları	Kompozit Yapının Şekli
Polimerler	Fiberler	Tabakalar
Metaller	Granül	Kaplamalar
Seramikler	Süresiz Fiberler	Film-Folyo

Kompozit malzemeler esas olarak matris ve takviye elemanı denilen iki malzemedir oluşmaktadır. Mekanik özellikler uygun karakteristik özelliklere sahip bu iki ana malzemedir sağlanmaktadır. Takviye elemanının esas görevi yükü taşımaktır. Matrisin esas görevi ise yükü takviye elemanı üzerinde yaymak ve takviye elemanlarını destekleyip korumaktır. Bazı durumlarda bu iki malzemeye ilaveten takviye elemanı ve matris arasında bir ara yapı da oluşabilir [18].

2.6.1. Matris Malzemelerine Göre Kompozitler

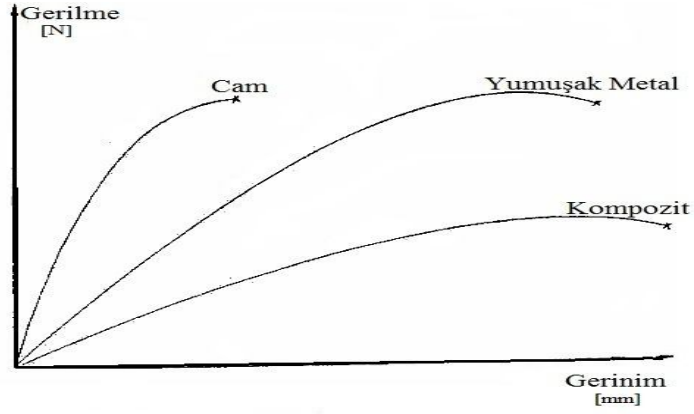
Matrisin kompozit yapıdaki fonksiyonu; takviye elemanına yük ve gerilim aktarımını sağlayabilmek için takviye elemanı ile matrisi bir arada tutmanın yanında, çoğu takviye elemanları çok gevrek ve kırılğan olduğundan onların yüzeylerini dış ve çevresel etkilere karşı korumaktır. Matris yapısı ayrıca, plastiklik ve süneklik üstünlüğü ile elyaflarda kırılğan çatlakların yayılmasını önlemek, plastik deformasyonlar ve çatlaklar varsa elyaflara paralel olarak yönlerini değiştirmek gibi fonksiyonları gerçekleştirebilmektedir [11, 19].

Kompozitlerde matris olarak kullanılmakta olan malzemeler genel olarak polimerler, metaller ve seramikler olmak üzere üç gruba ayrılırlar. Şekil 2.10'da görüldüğü gibi bunların birbirine göre zayıf ve üstün yanları vardır [11].



Şekil 2.10. Kompozit malzemelerde farklı matrislerin sıcaklık ve yoğunluk özellikleri [11].

Şekil 2.11' de kompozit malzemelerin cam ve yumuşak metal malzemelerle gerilme-gerinim açısından kıyaslandığı eğri verilmektedir.



Şekil 2.11. Malzemelerinin gerilme gerinim eğrileri [21].

2.6.1.1. Metal matrisler

Bir metalik fazın bazı takviye malzemeleri ile eritme vakum emdirme, sıcak presleme ve difüzyon kaynağı gibi ileri teknoloji üretim yöntemleri uygulanarak MMC'ler elde edilirler. MMC'ler daha çok uzay ve havacılık alanlarında, örneğin uzay teleskopu, platform taşıyıcı parçaları, uzay haberleşme cihazlarının reflektör ve destek parçaları gibi yerlerde kullanılmaktadır [17].

2.6.1.2. Seramik matrisler

Seramik matris olarak yapısal ve fonksiyonel nitelikli yüksek teknoloji seramikleri kullanılmaktadır. Başlıca seramik matrisler Al_2O_3 , SiC, Si_3N_4 , B_4C , CbN, TiC, TiB, TiN, AlN' dir. Bu bileşikler değişik yapılarda olup amaca göre bir ya da bir kaçını beraber kullanılarak CMC'ler elde edilir. Sandviç zırhlar, birçok askeri amaçlı parçaların imali ile uzay araçları bu ürünlerin başlıca kullanım alanları olarak gösterilebilir [12, 20].

2.6.1.3. Polimer matrisler

Yoğunlukları düşük olmakla birlikte plastiklerle karmaşık şekle sahip olan parçaları üretmek çok kolay olup birbirleriyle ve diğer malzemelerle birleştirilebilirler. Ayrıca talaş kaldırma işlemleri kolaydır. Fakat bir kısmının sıcaklık karşısında göstermiş oldukları mukavemet değerleri düşüktür ve birçoğunun çevresel etkilere karşı

kullanımı tehlikeli olup, düşük mekanik özelliklere sahiptirler. Kompozitler malzemelerin % 90'ı polimer esaslı matrislerle üretilmektedir [20].

Kompozit malzemelerde polimer matris olarak kullanılan genelde iki tip polimer mevcut olup bunlar; termosetler, termoplastiklerdir.

Termoset Polimerler

Termoset polimerler, en çok kullanılan matris malzemesidirler. Termoset polimerler sıvı halde bulunurlar ve ısıtılarak ya da kimyasal tepkimelerle sertleşirler [22].

Polyester reçineler

Kompozit malzemelerde kullanılan iki tür polyester reçine vardır; ortoftalik ve isoftalik polyesterler. Polyester reçineler özellikle denizcilik ve inşaat alanlarında kullanılmaktadır. Polyester reçineler 100 °C sıcaklığın altında mekanik ve kimyasal dayanım bakımından iyi olup, fiyatları düşüktür. Polyesterin sertleşme öncesinde viskozitesi düşüktür ve cam elyafını çok iyi ıslatır. Kompozit malzemelerde matris olarak kullanılırken dolgu malzemeleri katılabilir [22].

Özellikleri [22]

- Kolay kullanım
- Düşük maliyet
- Sertleşme esnasında yüksek oranda çekme
- Stiren gazı yayımı vardır, zehirlidir maske gerektirir
- Orta derecede mekanik özellikler
- Raf ömrü kısadır, hızlı tüketim gerektirir

Epoksi reçineler

Epoksi reçine, gelişmiş kompozitlerde genellikle tercih edilen ve her tür elyaf ile kullanılabilen bir reçinedir. Her türlü elyaf ile genel olarak kullanılabilen bir

reçinedir.. Sertleşme süreleri genellikle 1 saat olup 120 -180 °C sıcaklık aralıklarında ve basınç altında sertleşirler. Sertleşme sırasında kendini çekme sorunu yoktur. Mukavemet değerleri yüksektir, birçok elyaf ile iyi bir bağ oluşturur ve ayrıca kimyasal dayanımları da yüksektir. [24, 25].

Özellikleri [24, 25];

- Yüksek mukavemet değerleri
- Düşük uçuculuk değerleri
- Kür işlemleri sırasında çekmenin düşük olması
- Liflerle oluşturduğu kombinasyonlarda mükemmel tutunma
- Kimyasallara ve solventlere karşı mükemmel dayanım göstermesi,
- Cilde aşırı zararlıdır, doğrudan temas edilmemelidir.

Termoplastik Polimerler

Termoplastik polimerlerinin çeşitlerinin çok fazla olmasına rağmen matris olarak kullanılan polimerler sınırlıdır. Termoplastikler düşük sıcaklıklarda sert halde bulunurlar, ısıtıldıklarında yumuşarlar. Termosetlere göre matris olarak kullanımları daha az olmakla birlikte üstün kırılma tokluğu, hammaddenin raf ömrünün uzun olması, geri dönüşüm kapasitesi ve sertleşme prosesi için organik çözücülere ihtiyaç duyulmamasından dolayı güvenli çalışma ortamı sağlaması gibi avantajları bulunmaktadır. Bunun yanı sıra şekil verilen termoplastik parça işlem sonrası ısıtılarak yeniden şekillendirilebilir. Oda sıcaklığında katı halde bulunan termoplastik soğutucu içinde bekletilmeden depolanabilir. Termoplastikler yüksek sertlik ve çarpma dayanımı özelliğine de sahiptirler [19, 23].

Kompozit malzemelerde özellikle termosetlere oranla termoplastiklerin kullanılmamasının ana nedenleri arasında, oda sıcaklığındaki düşük işleme kalitesinden dolayı üretim zorluğu sağlaması ve yüksek maliyeti gösterilebilir [17]. (Çizelge 2.3) .

Çizelge 2.3. Termoset ve termoplastik reçinelerin genel açıdan kıyaslanması [22].

TERMOPLASTİK REÇİNE	TERMOSET REÇİNE
Isı ve basınç altında şekillendirilebilme	Isı ile bozunma
Yüksek gerilim oranı	Düşük gerilim
Düşük raf ömrü	Uzun raf ömrü
Düşük maliyet	Yüksek maliyet
Kısa kür işlemi	Uzun Kür işlemi
Tekrar İşlenebilirlik	Tekrar işlenememe

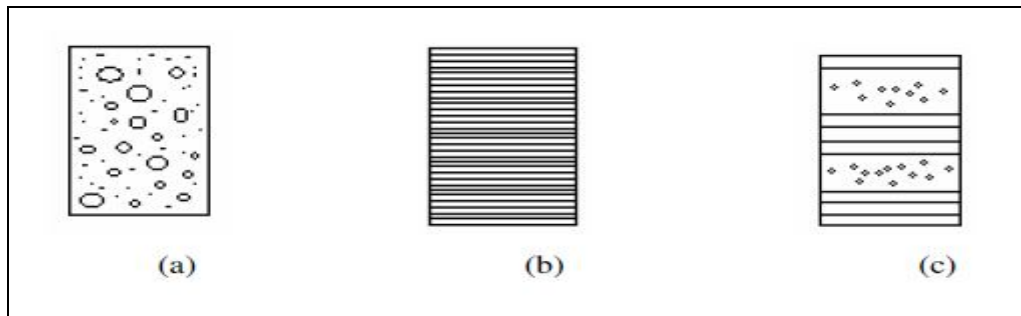
2.6.2. Yapım Formuna Göre Kompozitler

Yapılarında çok sayıda farklı malzeme kullanılabilen kompozitlerin gruplandırılmasında kesin sınırlar çizmek mümkün olmamakla birlikte, yapıdaki malzemelerin formuna göre bir sınıflama yapmak mümkündür.

Kompozit malzemelerin sınıflandırılması (Takviye elemanı özelliğine göre) [25, 26]

- Elyaf takviyeli kompozit malzemeler
- Parçacık takviyeli kompozit malzemeler
- Tabakalı kompozit malzemeler
- Karma kompozit malzemeler

Elyaf takviyeli, parçacık takviyeli ve tabakalı kompozitler gibi kompozit malzemeler; plastik, metal veya seramik matris içerisinde yer alabilirler.



Şekil 2.12. Takviye elemanının özelliğine göre kompozitler a) Parçacık takviyeli, b) Elyaf takviyeli, c) Tabakalı kompozit malzemeler [27].

2.6.2.1. Elyaf (Fiber) Takviyeli Kompozit Malzemeler

Elyaf(fiber) takviyeli kompozit malzemelerde elyafın birinci görevi yükü taşıyarak dayanım ve rijitliği artırmaktır. Bir malzemenin elyaf olarak adlandırılabilmesi için ASTM'ye göre [24, 27]:

- En büyük kesit $\leq 0.05\text{mm}^2$
- En büyük genişlik $\leq 0.25\text{mm}$ olmalıdır.

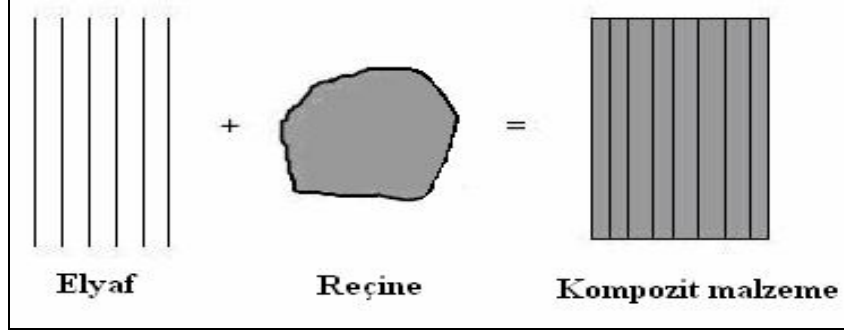
Elyaf takviyeli kompozit malzemelerde yükü taşıyan ana kısmı elyaflar oluşturmaktadır. Kompozit malzemenin gösterdiği mukavemet elyaf eksenine doğrultusunda en büyük değerdedir. Elyaf takviyeli kompozitlerde elyafa dik doğrultuda ise daha düşük mukavemet değerlerine sahiptirler.

Fiber yapısının hatasız olması mukavemet açısından çok önemlidir. Ayrıca, fiberlerin uzunluk/çap oranları arttıkça matris tarafından fiberlere iletilen yük miktarı artmaktadır. Kompozit yapının mukavemetinde önemli olan diğer bir unsur ise fiber - matris arasındaki bağın yapısıdır. Matris yapıda boşluklar söz konusu ise fiberlerle temas azalacaktır ve böylece fiberlere yük aktarımı homojen olarak gerçekleştirilemeyecektir. Nem absorpsiyonu da fiber ile matris arasındaki bağı bozan olumsuz bir özelliktir. Cam fiberler teknolojide kullanılan en eski fiber tiplerindedir. Son yıllarda geliştirilmiş olan bor, karbon, silisyum karbür ve aramid elyaflar ise gelişmiş kompozit yapılarda kullanılan fiber tipleridir [28] .

Elyaf genellikle üç guruba ayrılır [9, 27];

- Doğal elyaflar (yün, pamuk vs.)
- Rejenere elyaf (Doğada bulunan uzun makro moleküllerden yararlanılarak elde edilirler, rayon gibi)
- Yapay elyaf (nylon, kevlar)

Aşağıdaki Fiber (Elyaf) malzemenin reçine ile birleşerek elyaf takviyeli bir kompozit malzemeyi meydana getirişi basit olarak gösterilmektedir (Şekil 2.13).



Şekil 2.13. Elyaf ve reçine kullanarak kompozit malzemenin üretilmesi [29].

Mekanik özellik olarak iyileşme sağlayabilmek açısından fiber yapıları kompozit malzemelerde, fiber yapılarının daha küçük çaplarda üretimi gerçekleştirilmiş ve bu üretim sayesinde daha büyük kütleli yapılara nazaran yapısal hata olasılıkları minimum düzeyde tutulmaya çalışılmıştır.

Elyaf takviyeli kompozitlerin yüksek performanslı mühendislik malzemeleri olmalarının nedenleri arasında aşağıdaki nedenler gösterilebilir. Bunlar [27];

- Üstün mikro yapısal özellikler, tane boyutlarının daha küçük olması ve küçük çapta üretilebilmesi.
- Boy/çap oranı arttıkça matris malzeme tarafından elyaflara iletilen yük miktarının artması.
- Elastiklik modülünün oldukça yüksek olması.
- Yapısal hata oranının az olması.

Elyaf takviyeli kompozit malzemeler [27];

- Sürekli elyaf takviyeli kompozit malzemeler
- Kesikli elyaf takviyeli kompozit malzemeler
- Rastgele düzlemsel olarak yönlendirilmiş kompozit malzemeler olarak sınıflandırılabilir.

2.6.2.2. Parçacık Takviyeli Kompozit Malzemeler

Bir matris malzeme içinde başka bir malzemenin parçacıklar halinde bulunması ile elde edilirler. Yapının mukavemeti parçacıkların sertliğine bağlıdır. İzotrop yapıya sahiptirler. Yaygın olarak polimer matris içinde yer alan metal parçacıklı olanlar kullanılmaktadır. Metal parçacıklar ısı ve elektrik iletkenlik sağlar. Seramik matris içeren yapıların sertlik değerleri ve yüksek sıcaklıklarda gösterdikleri mukavemet değerleri yüksektir [27].

Parçacık dolgulu malzemede performansı etkileyen çok farklı unsurlar bulunmaktadır. Bunların içinde, parçacık boyutları boyut dağılımları, malzemelerin birbirleri ile iyi yapışma-yapışmama etkisi dolayısı ile oluşan yüzey kuvvetleri, hacimsel oranlar, malzemelerin homojen olarak dağılıp dağılmadıkları, üretim sırasında eksenlerin yönlenme miktarı, tek-tek ve birbirleriyle bağımlı olarak kompozit özelliklerini etkiler [27].

2.6.2.3. Tabakalı Kompozit Malzemeler

Tabakalı kompozitler en az iki farklı tabakanın bir araya getirilmesi ile oluşur. Farklı özelliklerdeki tabakalar bir araya getirilerek en iyi özellik elde edilmeye çalışılır.

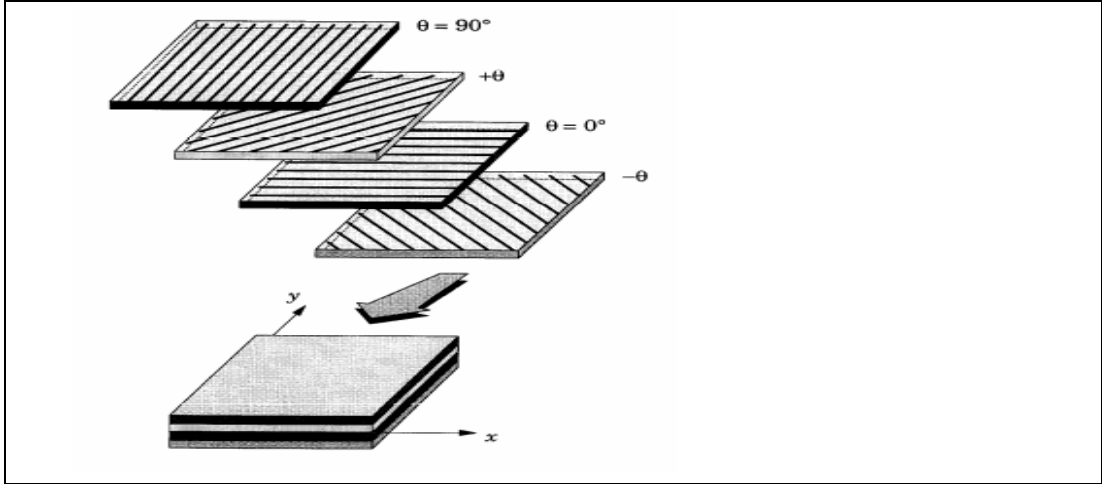
Tabakalı kompozit yapı, en eski ve en yaygın kullanım alanına sahip olan tiptir. Farklı elyaf yönlenmelerine sahip tabakaların bileşimi ile çok yüksek mukavemet değerleri elde edilir. Isıya ve neme dayanıklı yapılardır. Metallerle göre hafif ve aynı zamanda mukavemetli olmaları nedeniyle tercih edilen malzemelerdir. Çok tabakalı kompozit malzeme düşük maliyet, yüksek dayanım, hafiflik, yüksek aşınma dayanımı, güzel estetik görünüm ve mükemmel ısı genleşme özelliklerine sahip olabilmektedir. Bilindiği gibi, statik ve yorulma kırılmasına karşı dayanım, korozyon ve aşınma dayanımı gibi önemli özelliklerin pek çoğu öncelikle kompozit malzemeyi oluşturan elemanlara bağlıdır [17].

Elyaf takviyeli kompozit malzemeler, geniş özelliklerine bağlı olarak tek veya çok katlı tabakalı malzemeler olarak da sınıflandırılabilir. Tek katlı kompozitler birkaç

farklı tabakadan yapılabilir, her tabaka aynı yönelme ve özelliklere sahip, sonuçta tüm yapı tek katlı tabakalı kompozit olarak düşünülebilir. Kesikli elyaf takviye içeren kalıpta üretilen kompozitlerde de elyaf dağılımı kalınlık boyunca uniform olmamasına rağmen farklı yapı mevcut olmaz ve bu nedenle malzeme tek katlı kompozitler olarak sınıflandırılabilir [27].

Yapısal uygulamalarda kullanılan çoğu kompozitler çok katlıdır. Her tabaka, tasarım amaçlarına bağlı olarak değişen elyaf doğrultular ile tek katlı kompozitten oluşabilir. Genellikle her katman çok ince kalınlık yapısında olduğundan dolayı bu şekilde kullanma olanağı elde edilememekte ve bu yapılar birleştirilerek istenilen kalınlıkta katlı yapılar elde edilmektedir. Her kattaki kompoziti oluşturan elemanlar aynı malzemeden ise bunlar ‘izotropik’ olarak adlandırılır. Katlı kompoziti oluşturan malzemeler farklı malzemelerden oluşuyorsa bunlar “ortotropik” veya “karma ve melez yapılar” olarak adlandırılmaktadır [17].

Şekil 2.15’ de farklı lif yönlemeleri ile oluşturulan tabakalı kompozit yapının şekli gösterilmektedir.



Şekil 2.14. Farklı lif yönlendirilmeleriyle oluşturulmuş tabakalı kompozit yapısı [30].

Tabaka yapısındaki malzemelere göre tabakalı kompozitler aşağıdaki gibi farklı olarak da incelenebilmektedir.

2.6.2.4. Karma (Hibrit) Kompozit Malzemeler

Aynı kompozit yapıda iki ya da daha fazla elyaf çeşidinin bulunması durumudur. Bu tip kompozitler hibrit kompozitler olarak da adlandırılmaktadır. Bu kompozit malzeme türü yeni tip kompozitlerin geliştirilmesine uygun bir alan oluşturmaktadır. Örneğin, kevlar ucuz ve tok bir elyafdır, ancak basma mukavemeti düşüktür. Grafit ise düşük tokluğa sahip bir kompozittir maliyeti yüksektir. Ancak basma mukavemeti yüksek olan bir elyaf türüdür. Bu iki elyafın kompozit malzeme oluşturması durumunda, meydana gelen karma kompozitin tokluğu grafit kompozitten daha iyi, maliyeti düşük ve basma mukavemeti de kevlar elyaflı kompozitlerden daha yüksek olmaktadır [27].

2.7. POLİMER KOMPOZİT MALZEMELERDE TAKVİYE ELEMANLARI (ELYAFLAR)

Matris malzeme içerisinde yer alan elyaflar kompozit yapının temel mukavemet elemanlarıdır. Düşük yoğunluk özelliklerinin yanı sıra yapısal sertlikleri, kimyasal ve diğer korozyon etkilerine karşı göstermiş oldukları dayanım özellikleri ile dikkat çekmektedir. Takviye elemanı olarak kullanılan elyaflar cam, karbon, aramid ve bor elyaflarıdır.

Günümüzde polimer kompozit yapılarda kullanılan en önemli takviye malzemeleri sürekli elyaflardır. Bu elyaflar özellikle modern kompozitlerin oluşturulmasında önemli bir yer tutarlar. Elyaf tipleri içerisinde kökeni eneksi olan ve daha yaygın olarak kullanılan elyaf tipi olarak cam elyaf özellikle dikkat çekmektedir. Cam elyafa göre daha yeni olan ve son yıllarda hızla geliştirilmekte olan bor, karbon, silisyum karbür ve aramid elyaflar ise gelişmiş polimer kompozit yapılarda kullanılan elyaf tipleridir. Elyafların ince çaplı olarak üretilmeleri ile büyük kütleli yapılara oranla, yapısal hata olasılıkları en aza indirilmiş bulunmaktadır. Bu nedenle üstün mekanik özellikler gösterirler. Ayrıca, elyafların yüksek performanslı mühendislik malzemeleri olmalarının nedenleri aşağıda verilen özelliklere de bağlıdır [27].

- Nano teknolojinin de gelişimine paralel olarak tane boyutlarının küçük olusu ve küçük çapta üretilmeleri.
- Korozyona karşı göstermiş oldukları yüksek dayanım.
- Boy/çap oranı arttıkça matris malzeme tarafından elyaflara iletilen yük miktarının artması.
- Değişik mekanik özelliklerin elde edilmesine olanak sağlayan karma yapı.
- Elastiklik modülünün yüksek değerde olması.

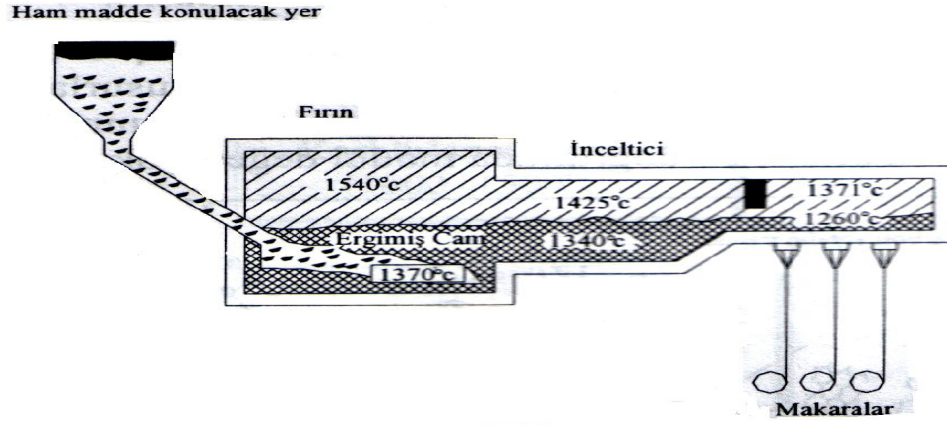
Polimer kompozit malzemelerin üretiminde kullanılan başlıca elyaf tipleri aşağıdaki gibi sınıflandırılabilir [27].

- Cam elyafı
- Karbon elyafı
- Bor elyafı
- Aramid elyaflar
- Yüksek sıcaklık elyafları

2.7.1. Cam Elyaflar

Cam elyafın esansı, silis-kum (SiO_2) oluşturmakla beraber belirli oranlarda sodyum, kalsiyum, alüminyum, bor ve demir gibi elementlerin oksitlerinden oluşmaktadır. Takviye elemanları içerisinde en ucuz olanıdır. Cam elyafı elyaf takviyeli kompozitler arasında en fazla bilineni ve kullanılanıdır [20],[24]. Cam elyaflar, sıradan bir şişe camından yüksek saflıktaki kuartz camına kadar pek çok tipte imal edilirler. Cam amorf bir malzemedir ve polimerik yapıdadır [27].

Silisyum metalik olmayan hafif bir malzemedir, Doğada genellikle oksijenle birlikte silis (SiO_2) şeklinde bulunur. Cam elde edilmesi işi için silis kumu, katkı malzemeleri ile birlikte kuru halde iken elektrik fırınında 1200-1500 °C civarına ısıtılır ve soğutma bölgelerinden geçirilerek bırakıldığında sert bir yapı elde edilir.



2.15. Cam elyafın üretimi [11].

Cam elyafların bazı özellikleri aşağıdaki gibi özetlenebilir [27];

- Birim ağırlık başına düşen mukavemet değerleri yüksektir.
- Isıl dirençleri düşüktür. Yanmazlar, ancak yüksek sıcaklıkta yumuşama gösterirler.
- Korozyona karşı dirençleri yüksektir.
- Üretimleri kolay ve bağdaşma özellikleri yüksektir.
- Elektriği iletmezler. Bu özellik sayesinde elektriksel yalıtımın önem kazandığı yerlerde kullanıma uygundur.
- Hafif malzemelerdir ağırlığın önem kazandığı durumlarda tercih edilebilirler.

Farklı kimyasal bileşimlerden oluşmuş olan cam elyafların tipleri ve özellikleri kısaca aşağıda özetlenmiştir.

A (Alkali) Camı: A camı yüksek oranda alkali içeren bir camdır. Bu nedenle elektriksel yalıtkanlık özelliği kötüdür. Kimyasal malzemelere karşı korozyon direnci yüksektir [27].

C (Korozyon) Camı: Kimyasal çözeltilere direnci çok yüksektir. Ancak mekanik özellikleri biraz düşüktür. Özellikle depolama tanklarında kullanılırlar [20].

E (Elektrik) Camı: Alkali olmayan boron silikattan oluşup elektriksel yalıtkanlığı diğer cam tiplerine göre çok iyidir. Mukavemeti oldukça yüksektir. Suyu karşı

direnci de diğer cam elyaflar gibi oldukça iyidir. Nemli ortamlar için geliştirilen kompozit malzemelerde genellikle E camı kullanılır [20].

S (Mukavemet) Camı: Yüksek mukavemetli bir cam çeşididir. Çekme mukavemeti E camına oranla daha yüksektir. Ayrıca yüksek sıcaklıklarda oldukça iyi bir yorulma direncine sahiptir. Bu özellikleri nedeniyle özellikle uçak ve uzay endüstrisinde tercih edilmektedir [27].

Cam elyaflar genellikle plastik veya epoksi reçinelerle birlikte kullanılırlar. Cam elyafları polimer kompozitlerde en çok kullanım alanına sahip elyaflardır. Bugün termoset reçinelerle birlikte kullanılan takviye elyaflarının 2/3' ünden fazlası cam elyaflarıdır. Çizelge 2.4' de farklı cam elyaf türlerinin özellikleri verilmektedir. Cam liflerinin erime noktaları yaklaşık 840°C' dir. Cam elyaflarının ana maddesi silikadır [27].

Çizelge 2.4. Kompozit malzemelerde kullanılan bazı elyafların özellikleri [27].

Malzeme cinsi	Yoğunluk [kg/cm³]	Elyaf çapı [µm]	Elastiklik Modülü[Gpa]	Çekme dayanımı[Gpa]
E-camı	2500	12	70	1,5-2,0
S-camı	2600	10	90	4,6
Karbon	1800	7-10	400	2,0-2,8
Boron	2600	140-160	400	3,4
Al ₂ O ₃	3300	3	300	2,0
SİC	2250	12	200	2,5

Elyaflarının özellikleri değişik malzemelerin eklenmesi ile farklı kimyasal ve mekanik özelliklere ayarlanabilir. Düşük maliyeti, yüksek gerilim mukavemeti, yüksek kimyasal direnci ve mükemmel yalıtma özellikleri cam elyaflarının avantajları arasındadır. Düşük gerilim modülü, yüksek yoğunluğu, kullanım esnasında aşınmaya karşı olan duyarlılığı, düşük yorulma direnci ve yüksek sertliği de dezavantajlarıdır. Cam elyaflarının diğer takviye liflerinden farklı olarak izotropik bir yapıya sahiptirler [27].

Cam elyafı, termoset ve termoplastik bazlı kompozitlerin takviyesinde kullanılan malzemelerin içerisinde en fazla kullanılan takviye elemanı olarak bilinmektedir. Cam elyafı, yüksek çekme mukavemeti ve düşük uzama oranına sahip olması nedeniyle, kompozit malzemelerde eğilme, çekme ve darbelere karşı dayanımını artırır ve yüksek elastik modülü özelliği kazandırır. Ayrıca, düşük su çekme özelliği nedeniyle, iyi boyutsal durağanlık ve iklim koşullarına karşı yüksek dayanım kazandırmaktadır [28].

Cam elyafı ürünlerinin, üretim proseslerine ve kullanım amaçlarına bağlı olarak [9, 27];

- Çok uçlu fitil (kırılabilir fitil)
- Tek uçlu fitil (direk sarma fitili)
- Keçe (sıvı bağlayıcı keçe, toz bağlayıcı keçe)
- Dokunmuş kumaş
- Kırılmış demet şeklinde üretimleri bulunmaktadır.

2.7.2. Karbon Elyafı

Karbon elyafı karbonun allotropik formundan biridir. Karbon elyafı, organik maddelerden üretildiği için “organik fiber” olarak da adlandırılmaktadır. Karbon, yoğunluğu $2,268 \text{ gr/cm}^3$ olan kristal yapıda bir malzemedir. Karbon elyafı cam elyafından daha sonra gelişen ve çok yaygın olarak kullanılan bir elyaf grubudur. Hem karbon hem de grafit elyafı aynı esaslı malzemeden üretilirler. Genellikle epoksi reçine ve polyester reçineler ile yaygın olarak kullanılırlar. Karbon elyafı metallerle göre oldukça düşük yoğunluktadır [31].

Karbon elyafında mukavemet / ağırlık ve elastisite modülü / ağırlık oranları çok yüksektir. Isıya karşı boyutsal durağanlık, yüksek yorulma mukavemeti, yüksek erime noktası ve yüksek katıllıkları onların avantajlarıdır. Düşük ani darbe direnci, yüksek elektrik iletkenliği karbon elyafının dezavantajlarıdır [25].

2.7.3. Aramid Elyaf lar

Aramid elyaf ı piyasada daha çok ticari isimleri Kevlar (DuPont) ve Twaron (Akzo Nobel) olarak bilinmektedir. Farklı uygulamaların ihtiyaç larını karşılamak için birç ok farklı özelliklerde aramid elyaf ı ü retilmektedir [17].

Aramidin mekanik özellikleri grafit elyaf larinkine benzer özellik gösterir. Mekanik özelliğ i elyaf eksenine doç rultusunda çok iyi iken elyaf lara dik doç rultuda çok zayıftır. Aramid elyaf lar düşük ağ rlık, yüksek çekme mukavemeti ve düşük maliyet özelliklerine sahiptir [17].

2.7.4. Bor Elyaf lar

Bor elyaf lar aslında kendi içlerinde kompozit yapıdadırlar. Ç ekirdek olarak adlandırılan ince bir flamanın üzerine bor kaplanarak imal edilirlir [25].

Bor elyaf lar yüksek dayanımlı elyaf lar olmalarının yanında maliyetleri bakımından, diğer elyaf türlerine nazaran daha pahalıdır. Bu yüksek maliyetinden dolayı hem de bor elyaf ının yüksek dayanımlarından da faydalanmak amacı ile bor elyaf lar diğer elyaf türleri ile ortak kullanılmaktadır [27].

2.7.5. Yüksek Sıcaklık Elyaf ları

Alüminyum oksit(Al_2O_3) ve Silisyum karbür (SiC) gibi malzemelerden elde edilen elyaf türleridir. Bunlar özellikle yüksek sıcaklıklarda mekanik özelliklere sahip olan yerlerde kullanılır. Alüminyum oksit ve silisyum karbür elyaf ların oksidasyon direnç leri de yüksektir. Özellikle SiC elyaf metal matrisler için dayanım ve fiyat bakımından uygun bir elyaf türüdür. SiC'e olan ilgi ekonomikliğ i nedeni ile artmaktadır [24, 25].

Çizelge 2.5. Bazı kompozitlerin sıcaklık dayanımları [20].

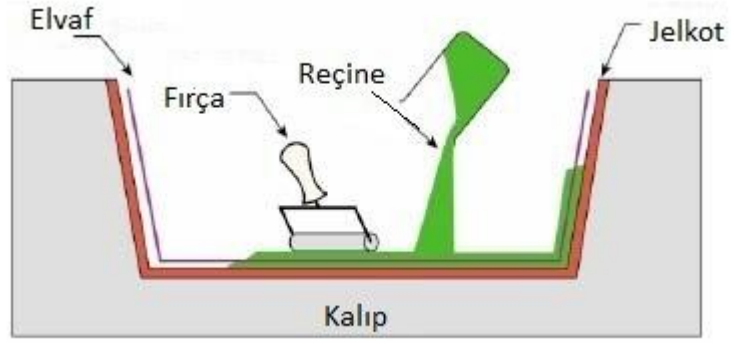
Elyaf Takviyeli Kompozit Malzemeler	Maksimum Çalışma Sıcaklığı [°C]	ÖzgülAğırlık [kg/dm ³]
Karbon/epoksi	180	1400
Boron /epoksi	180	2100
Borsik/alüminyum	310	2800
Karbon/polimid	310	1400
Boron polimid	310	2100
Karbon/poliminokslene	350	1400
Karbon/nikel	930	5300

2.8. KOMPOZİT MALZEMELERİN ÜRETİM YÖNTEMLERİ

2.8.1. El Yatırması Yöntemi (hand lay-up)

Dokuma veya kırılmış elyaflarla hazırlanmış takviye kumaşları hazırlanmış olan kalıp üzerine elle yatırılarak üzerine sıvı reçine elyaf katmanlarına emdirilir. Elyaf yatırılmadan önce kalıp temizlenerek isteğe bağlı olarak renklendirici jelkot sürülebilir. Jelkot sertleştikten sonra elyaf katları yatırılır. Reçine ise kompozit malzemenin hazır olması için en son sürülür. Bu işlemde elyaf kumaşına reçinenin iyi nüfuz etmesi önemlidir.

Yöntem; bir kalıba elle yerleştirilen kumaşlara (elyaf) bir rulo veya fırça ile reçinenin emdirilmesi esasına dayanmakla birlikte daha sonra reçine emdirilmiş kumaşlar oda sıcaklığı ve atmosferik basınç altında veya farklı sıcaklık ve basınçlar altında pişmeye/kurumaya bırakılır. Reçineler kumaşlara kat kat yedirilebildiği gibi kumaşın özelliklerine bağlı olarak çok katmana aynı anda da reçine sürülebilmektedir.



Şekil 2.16. El yatırması yöntemi [29].

El yatırma tekniğinde en çok kullanılan polyester ve epoksi'nin yanı sıra vinil ester ve fenolik reçineler de tercih edilmektedir. Elle yatırma yoğun işçilik gerektirmesine rağmen düşük sayıdaki üretimler için çok uygundur [9].

2.8.2. Sprey (Püskürtme) Kalıplama Yöntemi

Yöntemde bir tabanca ile sürekli fiberler kırılmış halde reçine ve sertleştirici ile karıştırılarak kalıp içersine püskürtülür. Reçine olarak daha çok polyester kullanılır. Takviye malzemesi olarak demet halindeki lifler kullanılır. Püskürtme işlemi sonrasında bir rulo ile yüzey düzeltmesi yapılabilmektedir. Açık kalıpta şekillendirme yöntemleri içerisinde yer alan bu yöntemde makaradan çekilen fiber püskürtme tabancasından kısa boylu fiberler olarak kesilir, reçine deposundan çekilen reçine ile birlikte kalıba püskürtülür. Yüzey kalitesini artırabilmek için püskürtme öncesi jelkot uygulaması yapılabilir. Katılaşma işlemini hızlandırmak için ısı kullanılabilir [22].



Şekil 2.17. Püskürtme metodu [29].

2.8.3. Vakum Yöntemi

Bu yöntem “hand lay-up (el yatırması)” yönteminin devamı şeklinde düşünülebilir. Tek fark elle reçine sürülmüş tabakalı yapının devamında vakum ortamına alınmasıdır. Bu yöntem özellikle epoksi reçine kullanımına uygundur. Çünkü vakum, polyester ve vinilester gibi reçinelerin uygulamalarında fazla oranda sitilenin reçineden çıkarılmasına sebebiyet verebilir. Bu da polimerleşmeyi engelleyici bir faktör olarak karşımıza çıkabilir.

Vakumla sıkıştırma yöntemi, atmosferik basıncı kullanarak lamine edilmiş parçanın kürleşene kadar basınç altında sıkıştırılması işlemidir. Yenilenen teknoloji ile birlikte modern oda sıcaklığında kürleşebilen reçinelerin üretilmesiyle, bu yöntem eskisi gibi pahalı ve karışık donanımlara gerek duymadığından, küçük boyutlardaki bir atölyede bile kullanılabilir. Vakumla sıkıştırma yönteminde her türlü elyaf, reçine ve köpük birleşiminden oluşan malzemelerle kompozit ürünler elde edilebilir [32].

2.8.4. İplik Sarma Yöntemi

Bu yöntem özel şekillere sahip olan malzemelerin kompozit malzemelerle üretilmesi İşleminde kullanılır. Bu yöntemle reçine ile ıslatılan sürekli elyaf lifleri dönen bir kalıp üzerine sarılır. Liflerin farklı açılar ile kalıba sarılmasıyla mekanik özellikleri farklı ürünlerin elde edilmesi sağlanabilir. Elyafın sarım işleminin gerçekleşip, reçinenin sertleşmesinden sonra kalıp ayrılır [22].

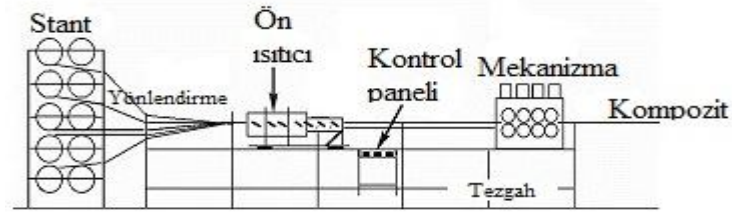


Şekil 2.18. İplik sarma yöntemi [33].

Bu yöntemle yapılan ürünler daha çok dairesel ürünler olup yüksek basınçlı kaplar, yat direkleri ve borular bu malzemelere örnek olarak gösterilebilir.

2.8.5. Pultrüzyon Yöntemi

Bu yöntem ismini pull ve ekstrüzyon kelimelerinden türemiştir. Bu üretim yönteminde 120-150 °C sıcaklıklarda ısıtılan krom kalıplardan geçirilen reçine banyosundan geçirilmiş fiberlerle üretim yapılır. Fiberlerin sürekli olarak beslenmesi sayesinde fiber yönünde yüksek mekanik mukavemet değerleri elde edilir [33].



Şekil 2.19. Pultrüzyon üretim yöntemi [33].

2.8.6. Hazır Kalıplama (SMC- BMC)

Hazır kalıplama yöntemi sıkıştırma kalıplama yöntemi olup önceden hazırlanmış bileşimin, basınç altında ve genellikle ısı kullanarak kapalı kalıp içerisinde şekillendirilmesi işlemine dayanmaktadır.

Bu yöntem kullanılan kompozitin şeklinden dolayı iki farklı isimle adlandırılır. Hazır kalıplama bileşimleri levha için pestil biçiminde ise SMC (Sheet Moulding Compound) veya toplu kalıplama için hamur biçiminde ise BMC (Bulk Moulding Compound) olarak isimlendirilir [33].

Bu yöntemle çok karmaşık şekiller üretilebilmekte fakat kalıp masraflarından dolayı yöntemin maliyeti yüksektir [33].

BÖLÜM 3

LİTERATÜRDE YAPILAN ÇALIŞMALAR

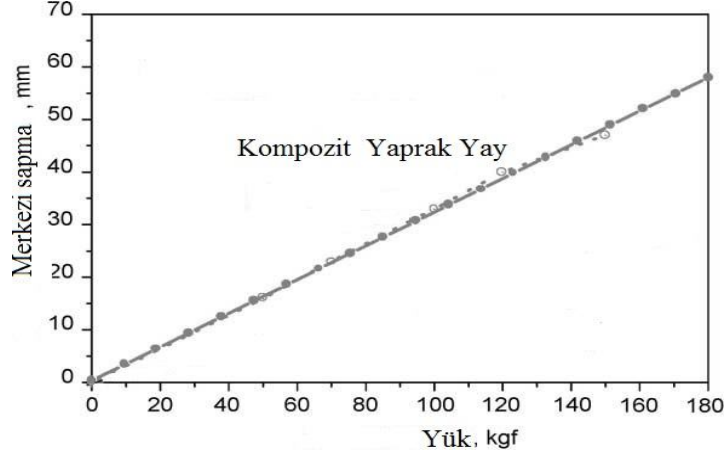
Kompozit malzemeler II. Dünya savaşından sonra yeni malzeme arayışları içerisinde geliştirilmiş ve üzerinde birçok araştırma yapılarak geliştirilen bir malzeme türü olarak karşımıza çıkmaktadır. Günümüzde özellikle son yıllarda kompozit malzemeler üzerine yapılan çalışmalar hızla artmış olup, birçok ürün diğer malzemelere alternatif kompozit malzemedan üreilmeye başlanmış ve üretilen malzemelerin araştırma-geliştirme işlemleri önem kazanmıştır. Bizimde üzerinde çalışmış olduğumuz kompozit malzeme (yaprak yay) gibi otomotiv alanında birçok çalışma yapılmış ve halen yoğun olarak çalışmalara devam edilmektedir.

Mahmood vd. [34], kompozit yaprak yayların analizi ve optimizasyonu konusunda çalışma yapmışlar ve bu çalışmalarında sonlu elemanlar yönteminden faydalanmışlardır. Çalışmalarında çelik yaprak yay nazaran %80 oranında ağırlık kazanımı sağlamışlardır. Özellikle yoldan gelen rezonansı önleyebilmek için çalışma yapmışlardır.

Vijayarangan vd. [36] otomotiv sektöründeki bir çok parçanın cam elyaf kompozit malzemedan yapımını incelemiş, bu parçaların ve tasarımlarının iyileştirilmesi çalışmalarında bulunmuşlar ve genetik algoritmalarından faydalanmışlardır. Yaptıkları çalışma sonucunda yaprak yay ağırlığında çelik yaprak yay' a oranla %75,6 daha az ağırlık elde etmişlerdir. Bu da yakıt ve benzeri durumların günümüzde önemini giderek artırmasından dolayı önemli bir azalmadır.

Kaushik ve arkadaşları [43] yaptıkları çalışmalarda epoksi cam elyaf kompozitleri incelemişlerdir. Cam elyaf kompozitlerin mekanik karakterizasyonunu çekme ve basma testleri ile incelemişler, cam elyaf oranının artması ile mekanik özelliklerin geliştiğini gözlemlenmiştir.

Qureshi [35], yaptığı çalışmada kompozit malzemeden otomotiv yaprak yaylarını incelemiş, kompozit malzeme olarak da cam elyaf kompozit malzemeden üretilen yaprak yayı tercih etmiştir.

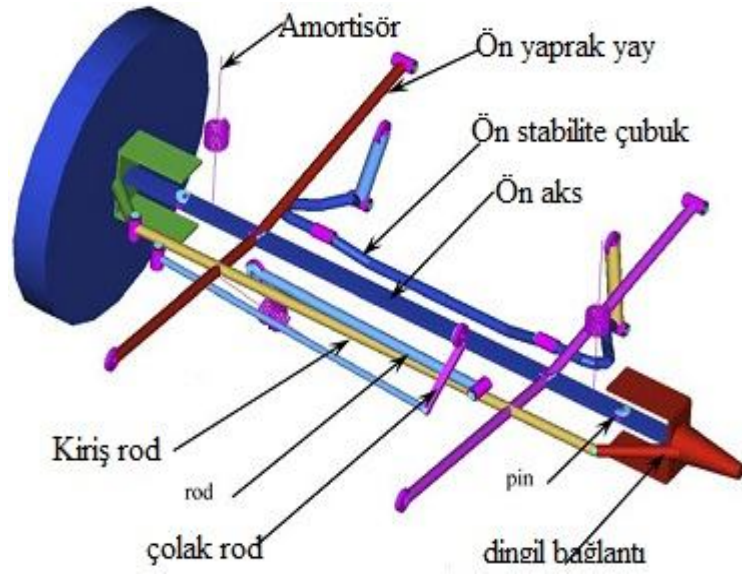


Şekil 3.1. H.A. Al-quehi çalışması sonrası elde ettikleri grafik [35].

Sancaktar ve Gratton [37] yapmış oldukları çalışmada cam elyaf yaprak yay çalışmasında FEM yöntemini de kullanmış, bu yöntemle farklı kuvvetler uygulamışlar ve sonuçlarını inceleyip yükler karşısında göstermiş olduğu davranışı incelemişlerdir. Yapmış oldukları çalışmada üretim yöntemi olarak el yatırması tekniğini kullanmışlar ve sonuç olarak aşağıdaki değerleri elde etmişlerdir.

- E-sınıfı cam fiber: 0,64 mm kalınlık,
- Genişlik: 1,6 cm, ağırlık 746 g/m²,
- Fiber kuvveti: 3,45 GPa,
- Uzama: % 4,88,
- Çekme dayanımı: 81,4 GPa.

Sugiyama ve arkadaşları [38] yapmış oldukları çalışmada özellikle arazi araçları için doğrusal elastik yaprak yay modelinin geliştirilmesi üzerine çalışmışlardır. Yaptıkları çalışmada bilgisayar simülasyon sistemi kullanmışlardır. Şekil 3.2'de kullanılan simülasyonun şematik olarak resmi gösterilmektedir.



Şekil 3.2. Simülasyonda kullanılan örnek sistem [38].

Thomason ve arkadaşlarının yapmış oldukları çalışmalarda cam elyaf takviyeli propilen malzemede elyaf boyu ve konsantrasyonunun etkilerini incelemişler ve kompozit darbe dayanımının artan elyaf oranıyla arttığını göstermişlerdir. Aynı zamanda yaptıkları çalışmada Charpy deneyi ve çekme deneyleri yapmışlar yüksek hız darbe özelliklerinin elyaf boyunun artması ile arttığını gözlemlemişlerdir [42].

BÖLÜM 4

POLİMER KOMPOZİT YAPRAK YAY'IN ÜRETİLMESİ

Bu tez çalışmasında cam elyaf esaslı keçe, çok uçlu fitil ve hasır şeklindeki malzemelerden el yatırması yöntemi ile polimer kompozit yaprak yay elde edilmiş elde edilen malzemelerden alınan numunelere çeşitli mekanik test yöntemleri uygulanmıştır. Kompozit yapının elde edilmesinde kullanılan cam elyafı malzemeler ve polyester reçineler Cam Elyaf A.Ş.'den temin edilmiştir.

4.1. POLİMER KOMPOZİT YAPRAK YAY'IN İMALATINDA KULLANILAN MALZEMELER

Çentik darbe, çekme, basma, üç nokta eğme, yorulma testlerine tabi tutulan numunelerin alındığı polimer kompozit yaprak yay malzemesi el yatırması yöntemiyle üretilmiştir. Polimer kompozit yaprak yay imalatı için aşağıda özellikleri verilen malzemeler kullanılmıştır.

4.1.1. Reçine

Yapılan el yatırması yönteminde reçine olarak, Cam Elyaf A.Ş.'den temin edilen CE 266 N12 tipi el yatırması, püskürtme, elyaf sarma metotlarına uygun makine parçaları ve özel ürünlerin yapımına uygun polyester reçine tercih edilmiştir. Çizelge 4.1' de kullanılan polyester reçinenin özellikleri görülmektedir.

Sağladığı olanaklar [44];

- Yüksek mekanik dayanım değerleri sağlar.
- Neme ve asidik ortamlara dayanıklıdır.

Çizelge 4.1. CE 266 N12 Polyester Reçine Özellikleri [44].

Özellikler	Birim	Spesifikasyon Değerleri
Görünüm		Berrak
Viskozite	cps	400±50
Asit Sayısı	MgKOH/g	10±2
Katı Madde Miktarı	%	Min.50
Jelleşme Süresi(25°C)	dakika	12±2
Egzoterm Pik(25 °C)	□C	205±15
Stabilite	ay	3

4.1.2. Cam Elyafı

El yatırması yönteminde kullanmak üzere KCR2 (M) çok uçlu fitil, MAT8 cam elyaf keçe ve CDK (cam elyaf dokuma) kullanılmıştır. Kullanılan tüm elyaf türleri CAMELYAF A.Ş.'den temin edilmiştir. Şekil 4.1'de kullanılan çok uçlu fitil görünmektedir.

KCR2 (M) çok uçlu fitil sağladığı avantajlar [44];

- Bobinden düzgün çözünme.
- İyi ve kolay kırılma.
- Düzgün dağılma.
- Çok düşük statik elektrik.
- İyi ıslanma ve kolay işlenebilirlik.
- Düşük reçine tüketimi.



Şekil 4.1. KCR2 (M) çok uçlu fitil [44].

Çizelge 4.2' de kullanılan çok uçlu fitile ait özellikler verilmektedir.

Çizelge 4.2. KCR2 (M) çok uçlu fitil özellikleri [44].

Cam Tipi	E	Kızdırma Kaybı	1,15±0,15
Fitil Teksi(g/1000m)	2400±%5	Bağlayıcı Türü	Silan
Split Teksi(g/1000m)	Nom. 50	Reçine Uyumu	Polyester
Elyaf Çapı(μ)	Nom. 12	Islanma	Çabuk
Nem Miktarı(%)	Max. 0,1		

MAT8 cam elyaf keçenin sağladığı avantajlar [44];

- Ağırlık dağılımının uygun olması.
- Çabuk ve kolay ıslanma.
- Elyaf yapısı sayesinde reçine tüketiminin düşük seviyede olması.
- Kalıba yatırma işleminin kolay olması.
- Çok kolay işlenebilir olması.

Şekil 4.2' de kullanılan keçenin resmi görülmektedir.



Şekil 4.2. MAT8 cam elyaf keçe [44].

Çizelge 4.3' te kullanılan cam elyaf keçe özellikleri verilmektedir.

Çizelge 4.3. MAT8 Cam elyaf keçe özellikleri [44].

Cam Tipi	E	Reçine Uyumu	Polyester
Elyaf Çapı(μ)	Nom.12	Birim Alan Ağırlığı(g/m ²)	225±%7
Split Teksi(g/1000m)	30	Islanma	Çabuk
Bağlayıcı Türü	Silan	Kırpık Demet Uzunluğu(mm)	50

CDK elyafın sağladığı avantajlar [44];

- Mekanik özelliklerinin yüksek seviyede olması.

- Kalıplanmasının kolay olması.
- Çabuk ıslanma özelliği, polyester tüketiminin düşüklüğü.

Şekil 4.3' de kullanılan cam dokuma elyafın resmi verilmektedir.



Şekil 4.3. Cam dokuma elyafı [44].

Çizelge 4.4' de Cam elyaf dokumaya ait özellikler verilmektedir.

Çizelge 4.4. Cam elyaf dokuma özellikleri [44].

Birim Alan Ağırlığı(g/m ²)	500±%7	Bağlayıcı Türü	Silan
Miğfer İç Çapı(mm)	123	Reçine Uyumu	Polyester, Vinilester
Dokuma Türü	Bez ayak-Dimi		

4.1.3. Hızlandırıcı

Kobalt olarak % 6' lık kobalt naftanat kullanılmıştır. Bu hızlandırıcı türü polyester sertleşmesinde MEK-P tipi sertleştiriciler ile birlikte çalışmaktadır. Bu nedenle sertleştirici seçimi de buna uygun olarak yapılmaktadır. Polyester firmasının tavsiyesi üzerine 100 gr reçineye 25 °C' de % 0,25 oranında % 6' lık kobalt naftanat kullanılmıştır.

4.1.4. Sertleştirici

Sertleştirici olarak kobalt naftanat ve kullanılan CE 216 N12 polyester reçineye uyumlu Metil Etil Keton Peroksit (MEK-P) kullanılmıştır. Kullanılan sertleştirici metil etil keton peroksit 50 mm çapında bir beherglasa konan 100 gr polyester reçineye % 2 oranında uygulanmıştır.

Kompozit malzemeler için kullanılan sertleştirici, hızlandırıcı ve diğer katkı maddelerinin özelliklerinde firmalar tam ve kesin değerler belirleyememektedir. Çünkü kalıplama uygulamalarında değişik polyester hazırlama oranları kullanılabilir. Genel olarak bu miktarlar tavsiye ve deneme yanılma metodu ile belirlenmektedir.

4.1.5. Kalıp Ayırıcı

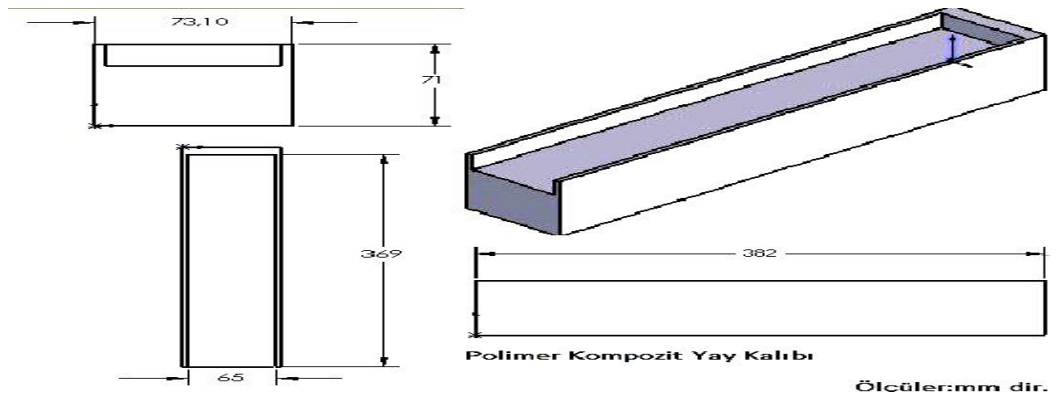
Üretilen polimer kompozit yaprak yayı kalıptan ayırabilmek için işlem uygulanmadan önce krem şeklinde vaks kullanılmıştır. Vaks bir bez aracılığı ile kalıbın tüm yüzeyine özellikle köşe noktalara uygulanmıştır.

4.1.6. Aseton

Kalıp, fırçaların, hava alma rulosu ve polimer reçinenin temas ettiği diğer kısımları polyesterden temizlemek için kullanıldı. Asetonun görevini tam yapabilmesi için polyester reçinenin tam olarak kurumaması gerekir.

4.2. POLİMER KOMPOZİT YAPRAK YAY'IN İMALAT AŞAMALARI

El yatırması yöntemi uygulayarak hazırlanan kompozit yaprak yay kalıp malzemesi olarak 100×100×450 mm ebatlarında çelik malzeme kullanılmıştır. Malzeme Şekil 4.13 de verilen yaprak yay ölçüsünde işlenerek el yatırması yöntemi ile kompozit yaprak yay üretimine hazır hale getirilmiştir.



Şekil 4.4. Polimer kompozit yaprak yay kalıbı üç görünüş.

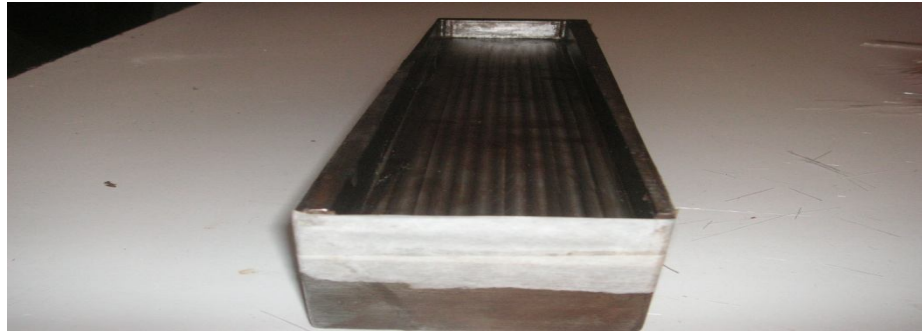
İmalat yöntemi olarak, el yatırması yöntemi tercih edilmiş olup Şekil 4.4. de ölçüleri verilen kalıp kullanılmıştır.

El yatırması yöntemi ile kalıpta polimer kompozit yaprak yay üretilirken aşağıdaki basamaklar uygulanmıştır;

- Öncelikle kalıp yüzeyi ve kalıp asetonla temizlenmiştir.
- Asetonun tamamen kuruması için 1-2 dakika beklenmiştir.
- Kalıp içi boşluğu, özelliklede kalıbın köşe yüzeyleri bir bez aracılığı ile şekil 4.5' de görüldüğü üzere polimer kompozit yay'ın rahat kalıptan ayrılabilmesi için her kısmına yedirilerek kalıp ayırıcı vaks sürülerek uygulama yapılmıştır.
- Kalıp yaklaşık 10 dakika süre ile kuruması için beklenmiştir.
- Kalıp ön kısmı şeklin düzgün olması için Şekil 4.6 da görüldüğü gibi özel bir bantla yapıştırılmıştır.

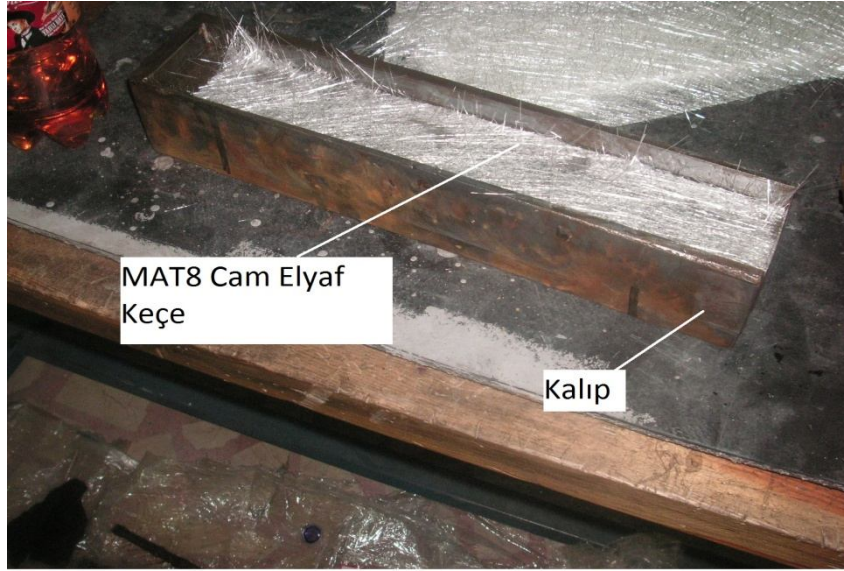


Şekil 4.5. Kalıp ayırıcı vaksın kalıba uygulanması.



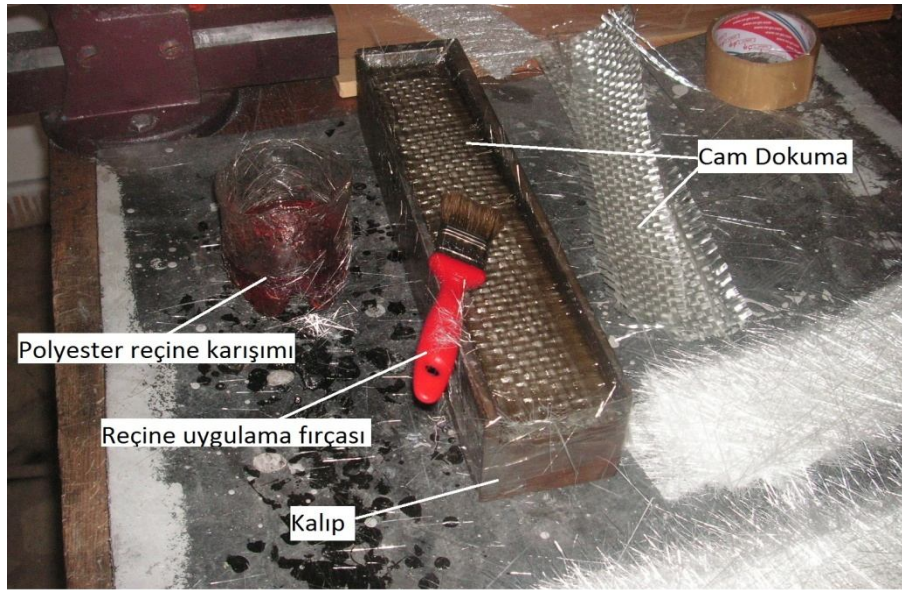
Şekil 4.6. Kalıp hazırlama.

Daha önce keserek hazırlamış olduğumuz cam elyaf lifleri, keçeleri ve hasırları değişik kombinasyonlar halinde kalıp boşluğuna yerleştirildi (Şekil 4.7). Oluşturulan bileşimler çizelge 4.5' de verilmiştir.



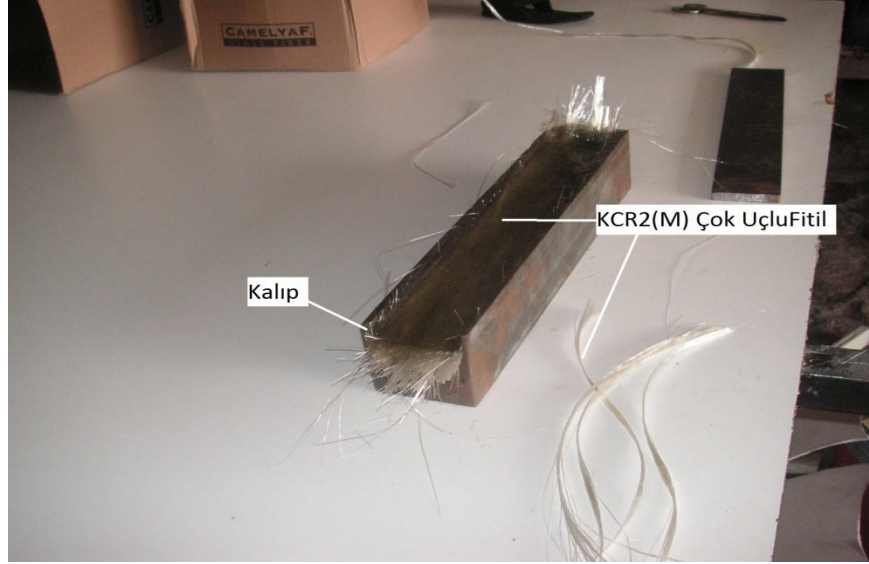
Şekil 4.7. Cam elyaf keçenin kalıba uygulanması.

Polyester reçineye belirtilen oranlarda sertleştirici ve hızlandırıcı dâhil edilerek, el yatırması yöntemi ile Şekil 4.8' de görülen polyester reçine karışımı uygulanmıştır.



Şekil 4.8. Cam dokuma uygulaması.

Şekil 4.9’ da KCR2(M) cam elyaf kullanılarak hazırlanan yaprak yayın kalıplanması gösterilmektedir.



Şekil 4.9. Çok uçlu cam elyaf fitil uygulaması.

Kalıp içerisinde oluşan hava tabakasını engellemek için uygulama sırasında Şekil 4.10’ da gösterilen özel kanallı rulo ile hava tabakasının uzaklaştırılması işlemi yapılır. Bu işlem yapılmadığı takdirde tabaklar arası hava tabakası oluşumu gerçekleşir buda malzemenin mekanik özelliklerini (çekme, basma v.b.) olumsuz yönde etkilemektedir.



Şekil 4.10. El yatırması yöntemi hava alma işlemi.

Kalıplama işlemi tamamlandıktan sonra kalıp içerisinde Şekil 4.11’ de gösterildiği üzere malzemenin tamamen kuruması beklenmiştir. Yapılan işlemler cam elyaf keçe, çok uçlu fitil ve cam elyaf dokuma malzemeler kullanılarak farklı polimer kompozit yaprak yay malzemeleri yapılmıştır.



Şekil 4.11. Kurumaya bırakılan MAT8 cam elyaf keçeden üretilen yaprak yay.

Şekil 4.12’ de kuruma işlemi tamamlanıp kalıptan yeni çıkarılmış polimer kompozit yaprak yay görülmektedir.



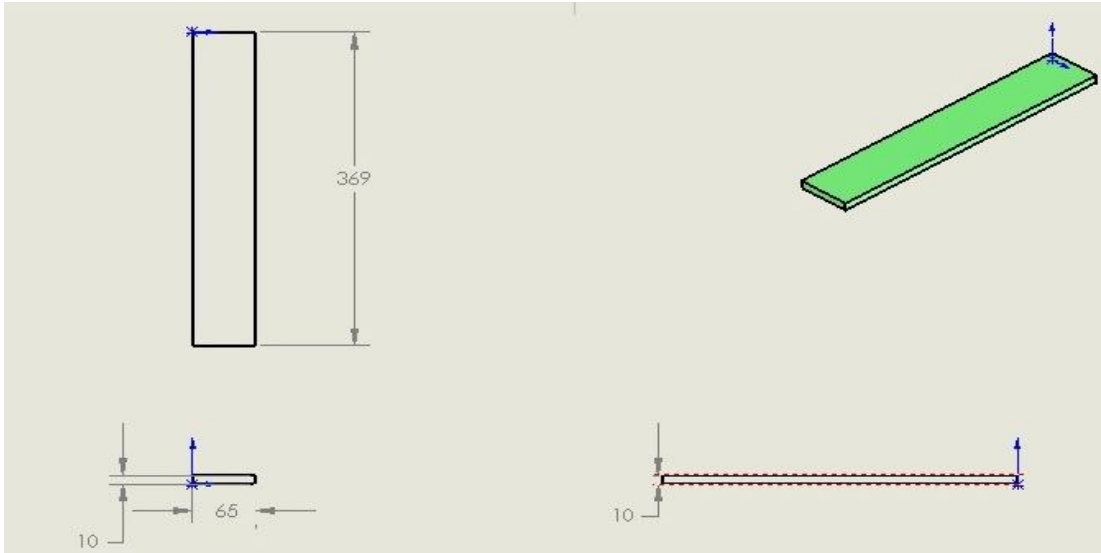
Şekil 4.12. Polimer kompozit yayın el yatırması kalıbından çıkarılmış hali.

Çizelge 4.5'te Üretilen Polimer kompozit yaprak yayların kombinasyonları verilmektedir.

Çizelge 4.5. Üretilen cam-fiber takviyeli kompozit yaprak yayların kombinasyonları.

Malzeme Adı ve Kodu	Cam Fiber Hacmi	Cam-Fiber Kombinasyonu
Numune 1 (N1)	%36	Cam elyaf Keçe (4 kat) Çok Uçlu fitil
Numune 2 (N2)	% 38	Çok Uçlu Fitol
Numune 3 (N3)	%41	Cam Dokuma (4 kat) Cam Elyaf Keçe (8 kat)
Numune 4 (N4)	%42	Cam Elyaf Keçe (6 kat) Çok Uçlu Fitol
Numune 5 (N5)	%40	Cam Elyaf Keçe (13 kat)

Kuruma işlemi tamamlandıktan sonra kalıplarda bulunan kompozit malzeme bir spatula yardımıyla kalıptan ayrılmıştır ve kalıp yeni üretim için hazır hale getirilmiştir. Şekil 4.13' de üretilen polimer kompozit yayın ölçüleri verilmektedir.

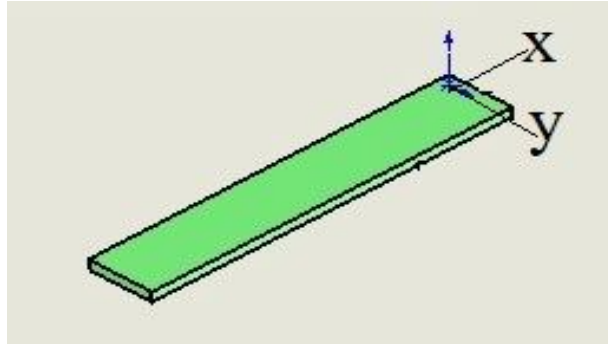


Şekil 4.13. Üretilen polimer kompozit yaprak yay'ın ölçüleri.

BÖLÜM 5

MEKANİK DENEYLER

Deneysel çalışmalar sonucunda kompozit malzemelerin malzeme içerisinde, farklı yönlerde farklı mekanik özellik göstermesinden dolayı y ekseninde numune ölçüsü uygunluğu dikkate alınarak çentik darbe ve basma deneylerinde numune alınmış Şekil 5.1 de görüldüğü üzere x eksenini yönündeki deney numuneleri yatay kesit, y eksenini yönündeki numuneler düşey kesit olarak isimlendirilmiştir. 50CrV4 Çelik yaprak yay malzemesi en yaygın kullanılan malzeme olarak, çentik darbe ve çekme dayanımı olarak üretilen yaprak yaylarla kıyaslanmıştır.

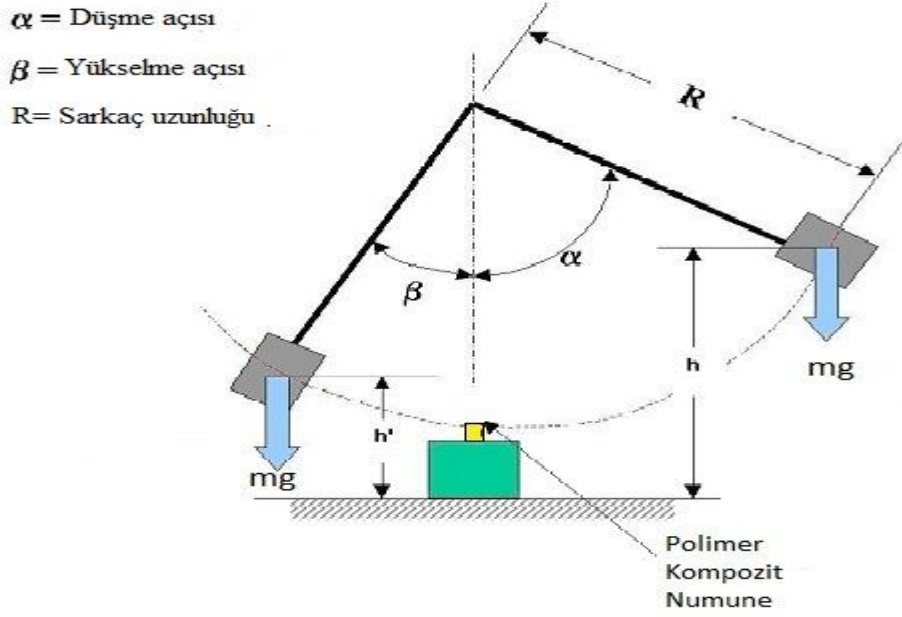


Şekil 5.1. X (yatay), Y (düşey) eksen görünümü.

5.1. Çentik Darbe Deneyi

Kompozit malzemelerde bir darbe sonucunda oluşan hasar, çarpmanın türüne göre darbeye maruz kalmayan yüzeyde meydana gelebilir, içyapıda oluşan delaminasyonlar (tabakalar arasında ayrılma) şeklinde başlayabilir [39].

Plastik matrisli kompozit malzemelerin hemen hemen tamamı kırılğan bir yapıya sahiptir, bu nedenle enerjiyi sadece elastik deformasyon ve bazı hasar mekanizmaları (matris kırılması, delaminasyon, fiber kopması v.b) sayesinde soğurabilirler [39].



Şekil 5.2. Çentik darbe deneyi sembolik gösterimi [39].

Darbe testleri sadece malzemenin ani yüklemeler altında soğurabildiği enerjiyi ölçmek için yapılmaz. Bunun yanı sıra, malzemenin sünek halden gevrek hale geçiş sıcaklığının belirlenmesinde de darbe testlerine başvurulur.

Standart bir sarkaçlı darbe cihazında ucunda bir kütleyle (m) sahip çekiç belirli bir yükseklikte (h) tutulur. Çekiç serbest bırakılmadan önce potansiyel enerjisi:

$$E_p = m \cdot g \cdot h \quad (5.1)$$

Çekicinin numuneye çarpma anındaki kinetik enerjisi:

$$E_k = \frac{1}{2} m \cdot v^2 \quad (5.2)$$

Kaybedilen potansiyel enerji kinetik enerjiye dönüşecektir. Buradan (5.1) ve (5.2) denklemleri eşitlenerek çarpışma hızı şöyle elde edilir:

E_k : Kinetik enerji, joule

E_p : Potansiyel enerji, joule

m: Ağırlık, kg

v: Hız, m/s

g: Yer çekim ivmesi, m/s²

h: Yükseklik, m [39]

$$E_k = E_p$$

$$1/2m.v^2 = m.g.h \quad (5.3)$$

$$v = \sqrt{2g.h} \quad (5.4)$$

Darbe öncesi ve sonrası yükseklikleri sarkaç uzunluğu, düşme ve yükselme açıları cinsinden şöyle ifade edilebilir:

$$h=R(1-\cos\alpha) \quad (5.5)$$

$$h'=R(1-\cos\beta) \quad (5.6)$$

Buna göre, darbe öncesi enerjisi ve darbe sonrası enerjisi aşağıdaki gibi olacaktır.

$$E_{dö} = mgr(1-\cos\alpha) \quad (5.7)$$

$$E_{ds} = mgr(1-\cos\beta) \quad (5.8)$$

Kompozit numune tarafından soğurulan enerji, darbe öncesi ve sonrası enerjilerinin farkı olacaktır.

$$E_{num} = E_{dö} - E_{ds} = mg(a-b) \quad (5.9)$$

Burada;

E_{num} : Numune tarafından soğurulan enerji

$E_{dö}$: Darbe öncesi enerji

E_{ds} : Darbe sonrası enerji [39]

5.1.1. Çentik Darbe Deneyinin uygulanması

Deneyde kullanmış olduğumuz çentik darbe deney cihazı Şekil 5.3' de gösterilen DEVOTRANS marka ve CDC 1070001 seri numaralı olup, Charpy deney işlemine başlamadan önce ve deney sırasında aşağıdaki işlemler uygulanmıştır.

- Makinenin düz zeminde terazide olmasına dikkat edildi ve terazi ile düzlemselliği kontrol edilmiştir.
- Kırılacak parça standart numune ölçüsü olan 45° açılı ve çentikli malzeme haline getirildi.
- Kırılacak malzeme makineye çentikli kısmı terste kalacak şekilde bağlandı.
- Yük 150° lik açıda sabitlendi.
- Makine göstergesi sıfırlandı.
- Parmaklara dikkat edilerek yük serbest bırakıldı.
- Yük malzemeyi kırdıktan sonra frenleme mekanizması kullanılarak frenleme yapıldı.
- Gösterge malzemenin kırılma enerji değerinde sabit kaldığı gözlemlendi.
- Gösterge okunurken uygulanan yüke uygun gösterge çizelgesinden elde edilen değerler okundu.



Şekil 5.3. Deneylerde kullanılan çentik darbe cihazı ve numune.

5.2. ÇEKME DENEYİ

Çekme deneyi, malzemelerin statik yük altındaki mekanik özelliklerini belirleyebilmek ve malzemelerin belirlenen özelliklerine göre sınıflandırılma yapılmasını sağlamak amacıyla uygulanan, mühendislik açısından oldukça önemli bir mekanik deneydir.

Deney, çekme deney cihazına bağlanan numunenin mekanik özellikleri belirleyebilmek amacıyla bir deney parçasının, genellikle kopuncaya kadar, gerilmesini kapsar.

Belirlenecek mekanik özellikler;

- Elastisite katsayısı
- Çekme dayanımı (Maksimum gerilme)
- Elastiklik sınırı
- Uzama (%)
- Rezilyans
- Kesit daralması (%)
- Akma gerilmesi bunlar arasında gösterilebilir .

a)Elastiklik sınırı: Elastik şekil değişiminin görüldüğü en yüksek gerilme değerine denir [40].

b)Rezilyans (u_f): Elastik şekil değişimi esnasında numunenin depoladığı enerji anlamına gelmektedir [40].

c)Çekme Dayanımı (Maksimum gerilme): Numunenin kopmadan dayanabileceği ve diyagramdaki en yüksek gerilme değeri olarak görünür [40].

d)Uzama (%): Son ölçü uzunluğu ile ilk ölçü uzunluğunun farkının ilk ölçü uzunluğuna oranının yüzde olarak ifadesidir [40].

$$\delta\% = \frac{L_s - L_0}{L_0} \cdot 100 \quad (5.10)$$

δ : Uzama

L_s : Son ölçü uzunluğu

L_0 : İlk ölçü uzunluğu [40]

e)Kesit daralması (%): İlk kesit alanı ile son kesit alanı farkının ilk kesit alanına oranının yüzde olarak ifade edilmesidir [40].

$$\text{Kesit daralması \%} = \frac{S_0 - S_s}{S_0} \cdot 100 \quad (5.11)$$

S_0 : İlk kesit alanı

S_s : Son kesit alanı

f)Akma Gerilmesi: Uygulanan çekme kuvvetinin yaklaşık olarak sabit kalmasına rağmen plastik şekil değişiminin önemli ölçüde arttığı ve çekme diyagramının düzgünlük gösterdiği gerilme değerine verilen teknik isimdir [40].

g)Elastisite katsayısı (E): Gerilme (σ) ile birim şekil değişimi (ϵ) arasındaki ilişkiyi belirleyen malzemenin temel özelliği olan sabit [40].

$$\sigma = E \cdot \epsilon \quad (5.12)$$

h)Kırılmada çekme uzaması: Kırılma noktasında meydana gelen boyut değişimi uzama olarak adlandırılır. Kırılmada çekme uzaması Eş. 5.13' de gösterildiği gibi hesaplanır [40].

$$\epsilon_b = \Delta L / L_0 \quad (5.13)$$

Burada;

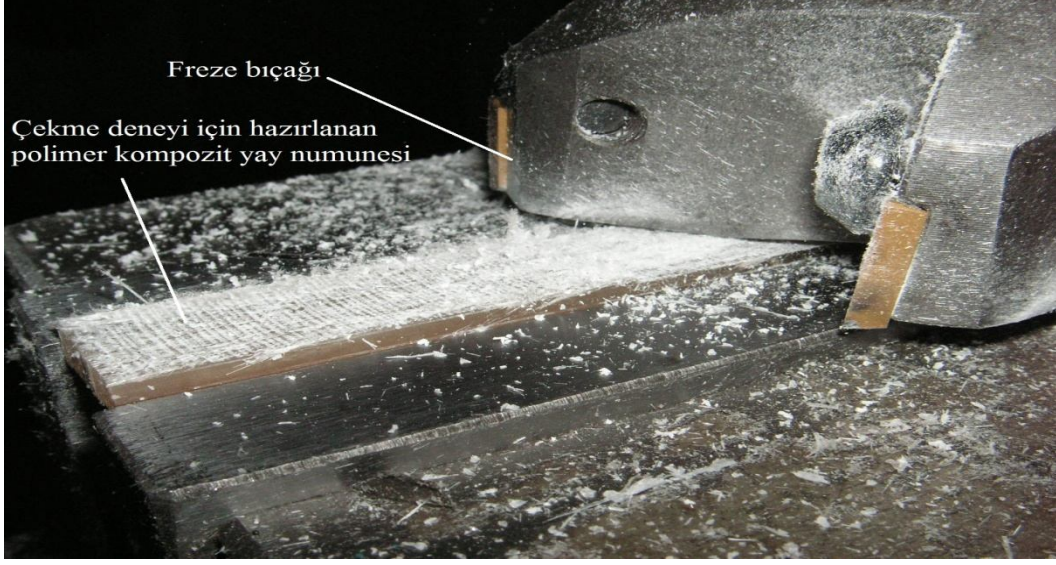
ϵ_b = kırılmada çekme uzaması

ΔL = deformasyon sonucu numunenin boyundaki değişimi ($L - L_0$)

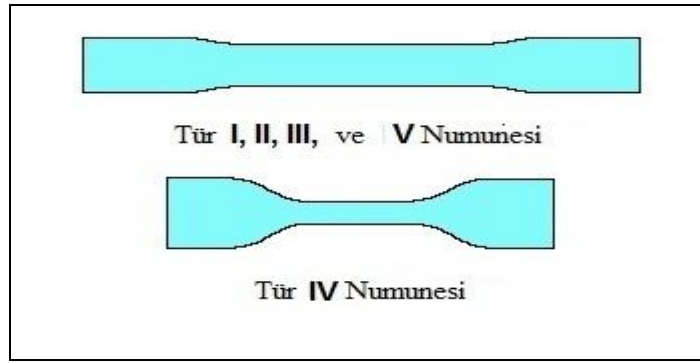
L_0 = ölçülen ilk uzunluk [40]

5.2.1. Çekme Deneyinin Uygulanması

Numunenin iki ucu, standart deney sisteminde çeneler arasına sıkıştırılır, çeneler birbirinden seçilen belirli sabit bir hızla uzaklaştırılırken örnek iki ucundan bu belirli hızla gerdirilir. Gerdirme hızları denenen malzemenin türüne göre seçilir. Deneyimizde öncelikle numunemizi ASTM D 638-4 (Şekil 5.5) türüne göre numune hazırlanmıştır [40]. Numune Karabük Üniversitesi talaşlı imalat atölyesinde işlenerek standart ölçülerine getirilmiştir (Şekil 5.4 ve Şekil 5.6).

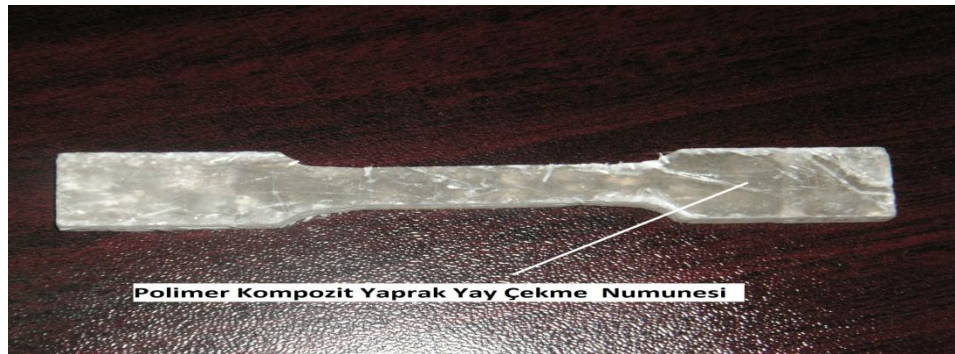


Şekil 5.4. Polimer kompozit yaprak yay numunesinin kalınlığının ASTM D638-4 standartına indirilmesi.



Şekil 5.5. ASTM D 638 numune şekli [42].

Şekil 5.6' da ilgili standartlarda hazırlanan numune şekli görünmektedir.



Şekil 5.6. Polimer kompozit yaprak yay çekme numunesi.

Deney Karabük Üniversitesi Metal bölümü laboratuvarlarında bulunan Şekil 5.7' de gösterilen Shimadzu Autograph AG-IS 50 kN' luk cihazda 23°C sıcaklıkta yapılmış hesaplamalar bilgisayar kontrollü belirtilen cihazın programı aracılığı ile yapılmış ve gözlenmiştir.



Şekil 5.7. Çekme deney işlemi.

5.3. BASMA DENEYİ

Basma deneyi işlem itibarı ile çekme deneyinin tamamen tersidir. Çekme testi yapan deney cihazlarında aynı zamanda basma testide yapmak mümkün olabilmektedir. Basma kuvvetlerinin uygulandığı malzemeler genellikle basma deneyi ile muayene edilir.

Basma deneyi bilhassa gevrek ve yarı gevrek malzemelerin sünekliliğini ölçmek için fayda sağlamaktadır çünkü bu malzemelerin sünekliliği çekme deneyi ile hassas olarak ölçmek mümkün olmamaktadır. Bu malzemelerin çekmede % uzama ve % kesit daralması değerleri sıfıra yakındır.

Basma deneyinde numune olarak çok küçük numuneler bile kullanılabilir. Bu özelliği sayesinde bilhassa çok pahalı malzemelerle çalışıldığında veya çok az miktarda malzeme bulunduğu durumlarda fayda sağlamaktadır.

Basma gerilmesi, basma yükünün numunenin orijinal kesit alana bölünmesiyle mühendislik basma gerilmesi hesaplanır.

$$\sigma = F/ A_0 \quad (5.14)$$

Basma deneyinde % şekil değişimi;

$$\% \varepsilon = \frac{h_s - h_0}{h_0} .100 \quad (5.15)$$

Burada;

% ε : Yüzde şekil değişimi

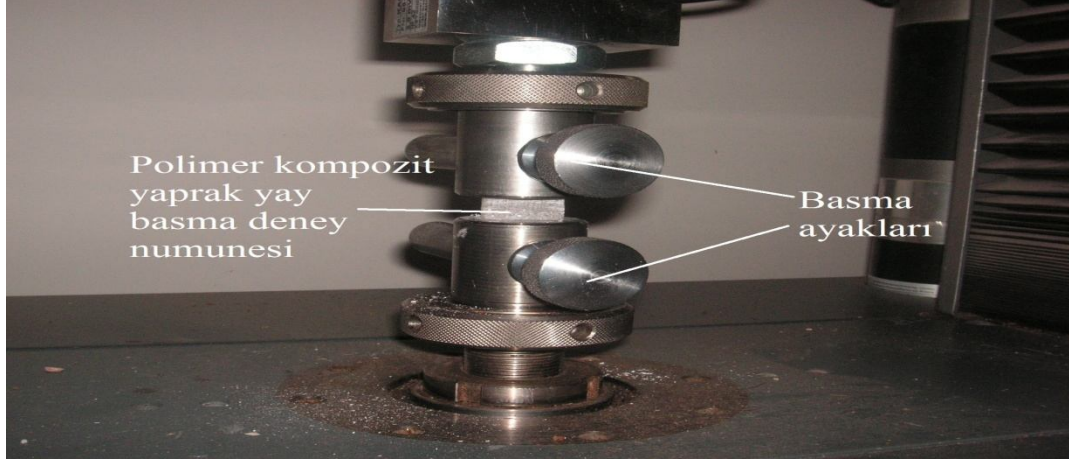
h_s : Numunenin deney sonrası yüksekliği,

h_0 : Numunenin orijinal yüksekliği.

5.3.1. Basma Deneyinin Uygulanması

Bu deneyde daha çok yüksekliğinin (h_0) çapına (d_0) oranı 1,5 ila 10 arasında değişen, yani $1,5 \leq h_0/d_0 \leq 10$ olan numuneler tercih edilir. Deneyde kullanılan numuneler silindirik veya prizma şeklinde olabilmektedir. Yapmış olduğumuz deney ASTM D 695 standardında ve Zwick/Roell Z050 deney cihazında yapılmıştır.

Şekil 5.8' de görüldüğü üzere basma test numunesi sabit alt tablaya yerleştirilir ve deney standartlarına uygun bir şekilde hareketli üst tabla ivmelendirilerek numuneye basma kuvveti uygulanır.



Şekil 5.8. Polimer kompozit yaprak yay basma deneyi.

5.4. ÜÇ NOKTA EĞME DENEYİ

Üç nokta eğme testinde, çubuk şeklinde bir numune mesnetlerin ortasına yerleştirilir. Daha sonra örneğin ortasına, standart bir başlıkla ve belirli bir hızla; örnek kırılana kadar, yük uygulanır. Çubuğun kırılmasına neden olan güç, örneğin en yüksek esneme (eğilme) gücü olarak kayıt edilir [19].

Deney sırasında kullanılan örnekler, hem "gerilme" etkisine hem de "basma" etkisine maruz kalmaktadır.

Eğilme dayanımı: Numuneye basma kuvveti uygulandığı anda elde edilen maksimum gerilme değeridir.[43]

$$S = \frac{3PL_m}{2bd^2} \quad (5.16)$$

S 'nin maksimum değeri eğilme dayanımını verir.

Burada denklemde;

S = Eğilme gerilmesi, MPa

P = yük, N

L_m = mesnetler arası mesafe, mm

b = numunenin eni, mm

d = numunenin derinliği, mm [41]

Eğilme modülü: Numuneye uygulanan gerilmenin karşılık gelen uzamaya oranıdır. Gerilme-uzama eğrisinin eğiminden elde edilebileceği gibi, Eşitlik 5.17' de gösterildiği gibi hesaplanabilir [41].

$$E_b = \frac{L_m^3 \cdot m}{4bd^3} \quad (5.17)$$

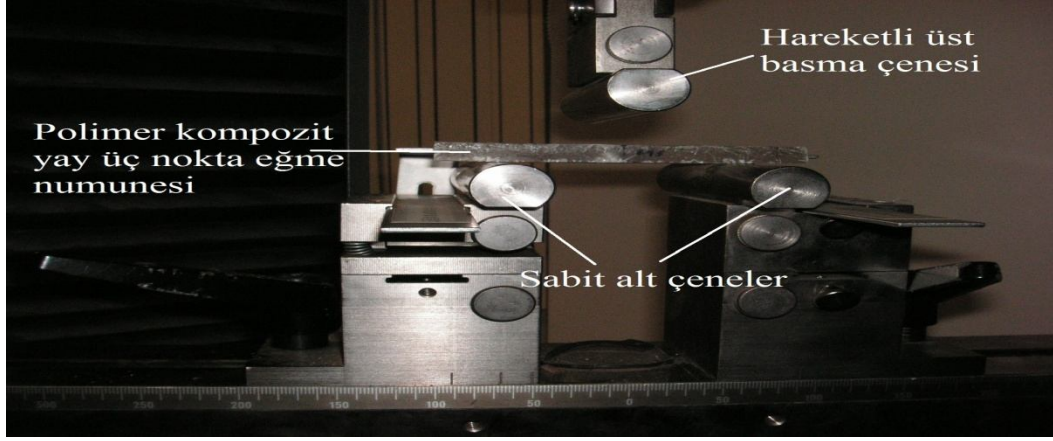
Bu eşitlikte;

E_b = Eğilme modülü, MPa

m = yük-uzama eğrisinin düz olan kısmına çizilen teğetin eğimi, N/mm [41]

5.4.1. Üç Nokta Eğme Deneyinin Uygulanması

Üç nokta eğme deneyi ASTM D 2344 standardı temel alınarak Şekil 5.9' da gösterilen deney düzeneğinde Zwick/Roell Z050 deney cihazı kullanılarak yapılmıştır. Deneyde polimer kompozit yaprak yay numunesi sabit alt çenelere yerleştirilir ve hareketli üst çene ile kuvvet uygulanır.

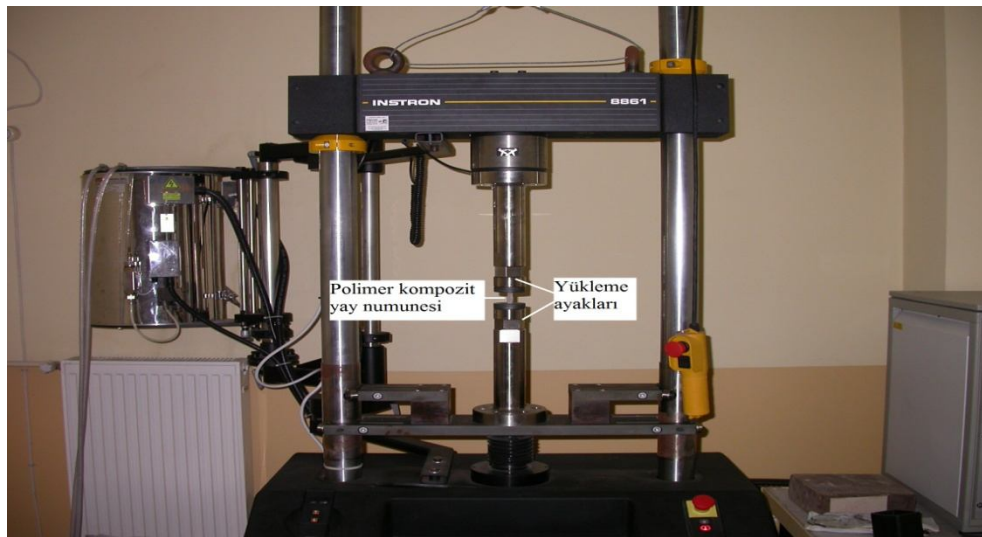


Şekil 5.9. Üç nokta eğme deneyi düzeneği.

5.5. SÜRÜNME DENEYİ VE UYGULANMASI

Sürünme testi, bir numuneye sabit bir yük uygulanmasıyla oluşan uzama veya gerinme miktarının zamana göre değişiminin incelenmesiyle yapılabilir. Ölçülen uzama veya birim uzamanın, basma yapıyor ise kısalmanın zamana göre değişimini gösteren eğriler çizilir. Başka bir deyişle sürünme, sabit yük altında, zamana bağlı olarak ilerleyen plastik şekil değiştirmedir.

Yapmış olduğumuz deney 60MPa yükte ve 23°C de yapılmıştır. Deneyde Şekil 5.10' da gösterilen INSTRON 8861 sürünme test cihazı kullanılmıştır.



Şekil 5.10. Sürünme deney düzeneği.

5.6. POLİMER KOMPOZİT YAPRAK YAY İLE AĞIRLIK KAZANIMI

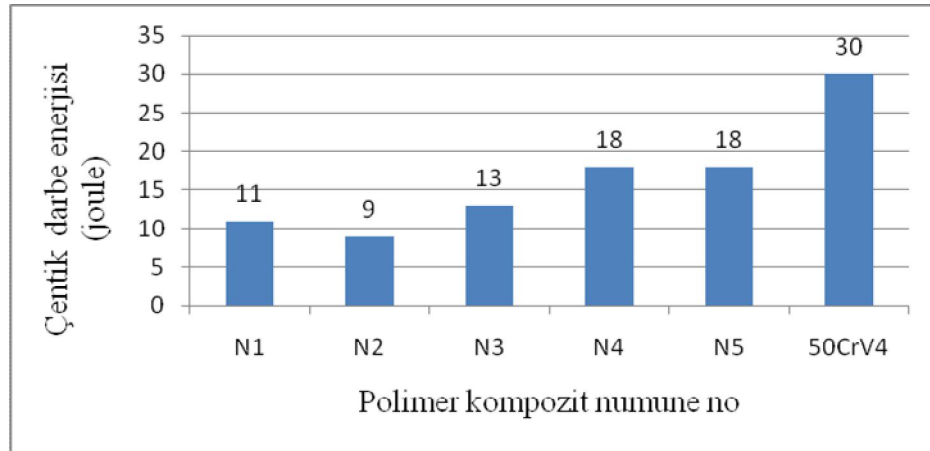
El yatırması yöntemi kullanarak imal edilen polimer kompozit yaprak yay' ın ağırlık olarak numune ortalamasının 370 gr olduğu, aynı boyutlardaki 50CrV₄ yay çeliğinin ağırlığının ise 1840 gr olduğu görülmüş, kullanılan polimer kompozit malzemenin % 79,89 oranında malzeme ağırlığında hafiflik sağladığı tespit edilmiştir.

BÖLÜM 6

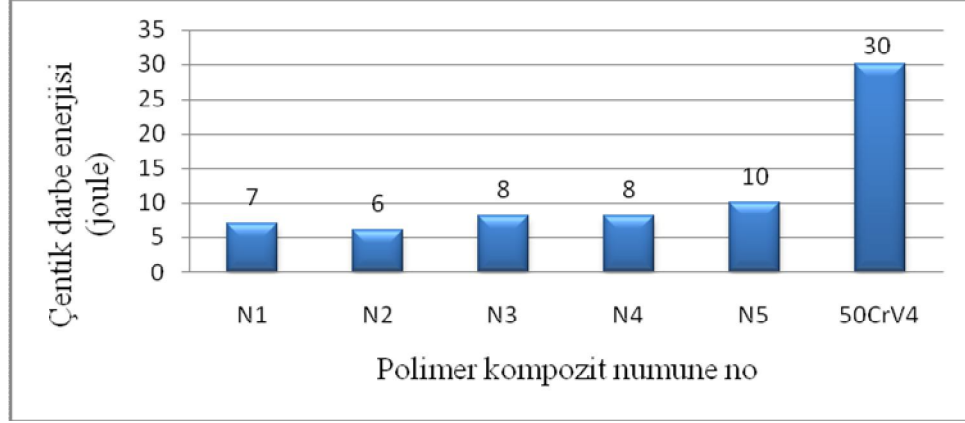
DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA

6.1. ÇENTİK DARBE DENEY SONUÇLARI

Şekil 6.1 ve Şekil 6.2’ de çentik darbe deneyinin yatay ve düşey kesitteki sonuçları verilmiştir. Bilindiği gibi çentik darbe deneyi sonuçları mühendislik hesaplamalarında doğrudan kullanılmayan ancak malzeme hakkında bilgi veren değerler içerir, elde edilen değerlere göre değeri yatay ve düşey kesitlerde fiber oranının yükselmesine bağlı olarak 6 kat cam elyaf keçe- çok uçlu fitil (N4) ve 13 kat cam elyaf keçe (N5) numunelerinde daha yüksek değerler görülmüş, en düşük değerler ise tek başına çok uçlu fitil yapısına sahip olan (N2) numunesinde tespit edilmiştir. Numuların tümünde yatay çentik değerlerinin daha yüksek olduğu görülmektedir. Bu ise malzemenin x eksenindeki kuvvetlerde daha iyi bir mekanik davranış sergileyeceğini göstermektedir. 50CrV4 yay çeliğinin polimer kompozit malzemelere göre yatay ve düşey ekseninde homojen bir davranış göstererek daha fazla (30 joule) enerji sönümlendiği gözlenmektedir [45].



Şekil 6.1. Çentik darbe deneyi yatay kesit sonuç grafiği.



Şekil 6.2. Çentik darbe deneyi düşey kesit sonuç grafiği.

Polimer kompozit yaprak yaydan alınan numunelerden yapılan Çentik darbe deneyinin yatay kesit numunelerin birbirleri ile olan etkileşiminin Çentik darbe deneyi üzerinde etkisinin anlamlı olup olmadığını tespit etmek için ANOVA testi uygulanmıştır. Elde edilen test sonuçları Çizelge 6.1’ de verilmiştir. Uygulanan istatistik yönteminde %95 güvenilirlik düzeyi tercih edildiği için $p < 0,05$ değerinden küçük çıkan değerler anlamlı bir sonuç ifade etmektedir [46].

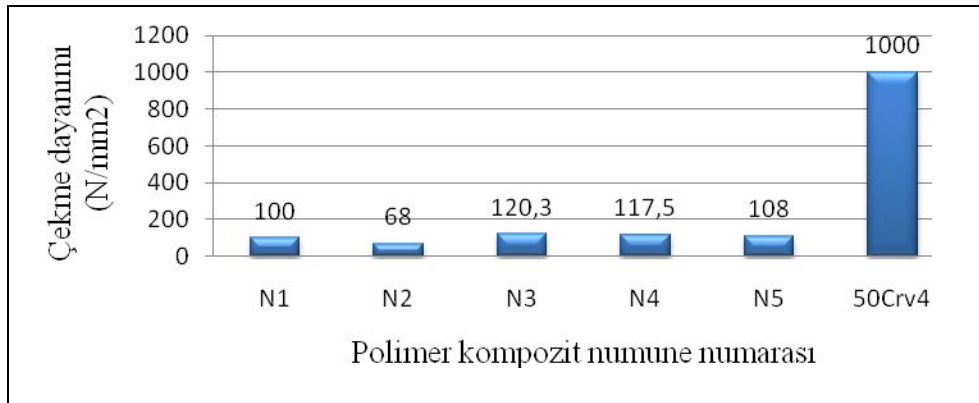
Çizelge 6.1. Çentik darbe deneyi ANOVA tablosu.

Varyans Kaynakları	Kareler Toplamı	Serbeslik Derecesi	Ortalama Kareler	F Hesap	Anlamlılık Düzeyi($p < 0,05$)
Düzeltilmiş Model	174,400	4	43,600	4,573	0,02
Sabit Model	2720,267	1	2720,267	285,343	0,00
Kompozit numune türü	174,400	4	43,600	4,573	0,02
Hata	95,333	10	9,533		
Toplam	2990,000	15			
Düzeltilmiş Toplam	269,733	14			

Çizelge 6.1’ de elde edilen ANOVA analiz sonuçlarına göre kompozit numune türleri birbirleri ile karşılaştırıldığında ($p=0,02$) anlamlı sonuç elde edilmiştir. Kompozit numunelerin karşılaştırılmasından elde edilen “p” değeri 0,05’ den küçük olduğu için deney sonucunda kompozit numune türleri arasında kullanılan malzemelerin çentik darbe üzerine anlamlı etkisi vardır [46].

6.2. ÇEKME DENEY SONUÇLARI

Şekil 6.3' de Çekme deneyi sonuç grafiği görülmektedir grafikte elde edilen değerlere göre 4 kat cam dokuma elyaf-8 kat cam elyaf keçeden oluşan (N3) numunenin çekme dayanımının diğer numunelere oranla daha yüksek olduğu gözlenmiş buna neden olarak ta cam elyaf dokumada bulunan 0-90° açığa sahip yapının malzemenin çekmeye karşı dayanımını artırdığı, N4 ve N5 numunelerinin de çekme dayanımlarının N1 ve N2 numaralı numunelere göre yüksek olduğu buna neden olarak da cam elyaf oranının artması ve bunun sonucunda numunelerin çekme mukavemet değerlerinde artış meydana geldiği görülmektedir. 50CrV4 Yay çeliğinde ise çekme dayanımının polimer kompozit malzemelere oranla 1000N/mm² değerle oldukça yüksek olduğu görülmüş buna etken olarak da uzun ısıl işlem süreleri gösterilebilir [45].

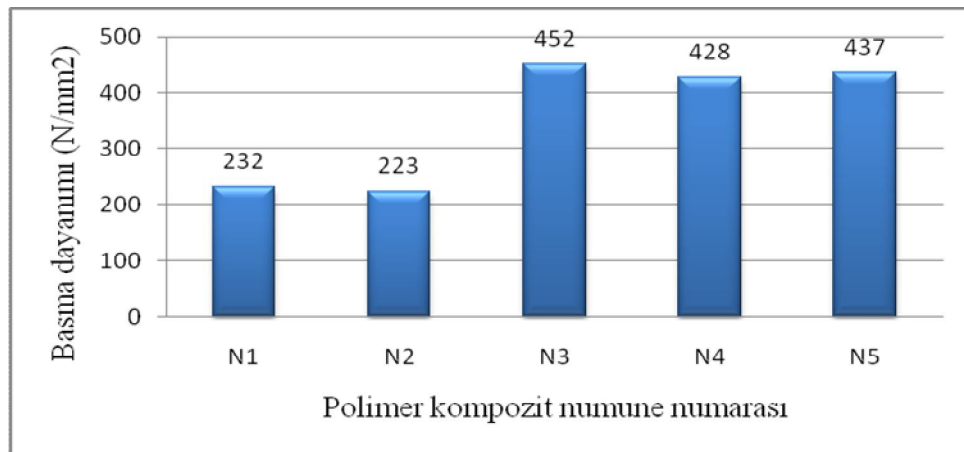


Şekil 6.3. Çekme deney sonuç grafiği.

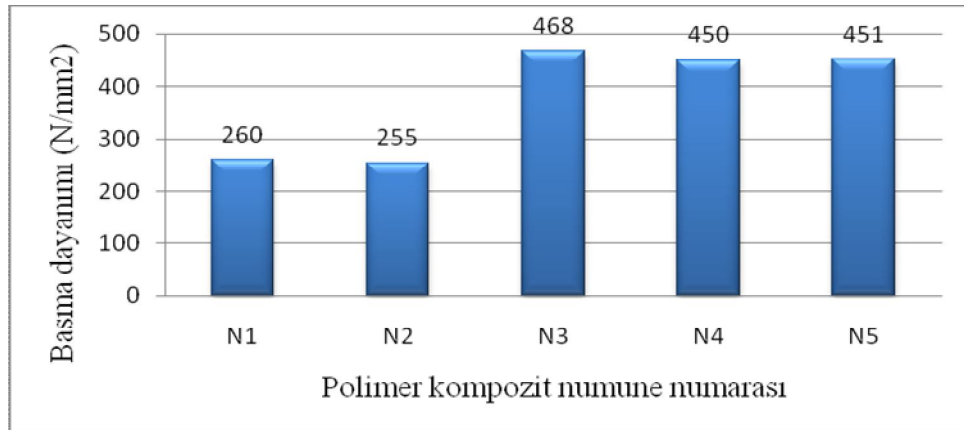
6.3. BASMA DENEY SONUÇLARI

Polimer kompozit yaprak yay özellikle görev yapacağı sistem içerisinde en fazla basma gerilmesine maruz kalacağından deneysel sonuçlar açısından en önemli deneylerden birisi olduğu söylenebilir. Yapmış olduğumuz deneyler neticesinde yatay ve düşey kesitte alınan numunelerden elde edilen sonuçlar Şekil 6.4. ve Şekil 6.5' de verilmektedir. Elde edilen sonuçlara göre en yüksek basma gerilmesine sahip olan numunemiz 4 kat cam dokuma-8 kat cam elyaf keçe oranına sahip numune olan

N3 numunesi olduğu bu değerinde yatayda 452 N/mm^2 düşey de ise 470 N/mm^2 ulaştığı gözlenmektedir. Daha sonra sırası ile 13 kat cam elyaf keçe (N5) ve 6 kat cam elyaf keçe-çok uçlu fitil (N4) numunesin de dayanımın yüksek olduğu görülmüş aynı bileşenlerden oluşan % 36' lık 4 kat cam elyaf keçe-çok uçlu fitil yapının (N1) ve %42' lik (N4) bileşenlerinin reçine oranlarının değişimine bağlı olarak farklı değerler gösterdiği ve fiber oranının artması ile basma mukavemet değerlerinin de arttığı görülmekte, aradaki farkın büyüklüğüne; aynı zamanda döküm koşullarının da etki edebileceği ve kompozit malzemelerde bulunan her noktada aynı özelliğin elde edilememesinin göz ardı edilmemesi gerektiği gözlenmektedir. Deney sonucunda en düşük basma mukavemetine yatay kesitte 223 N/mm^2 ile çok uçlu fiberden üretilen (N2) numunesin de gözlenmiş bu sonuç da hem fiber oran yüzdesinin diğer yapılara oranla düşük oluşunda ve tek yönlü yönlendirilmeden olabileceği düşünülmektedir.



Şekil 6.4. Basma deneyi yatay kesit sonuç grafiği.



Şekil 6.5. Basma deneyi düşey kesit sonuç grafiği.

Polimer kompozit yaprak yaydan alınan numunelerden yapılan basma deneyinin düşey kesit numunelerin birbirleri ile olan etkileşiminin basma deneyi üzerinde etkisinin anlamlı olup olmadığını tespit etmek için ANOVA testi uygulanmıştır. Elde edilen test sonuçları Çizelge 6.2’ de verilmiştir. Uygulanan istatistik yönteminde %95 güvenilirlik düzeyi tercih edildiği için $p < 0,05$ değerinden küçük çıkan değerler anlamlı bir sonuç ifade etmektedir [46].

Çizelge 6.2. Basma Deneyi ANOVA Tablosu.

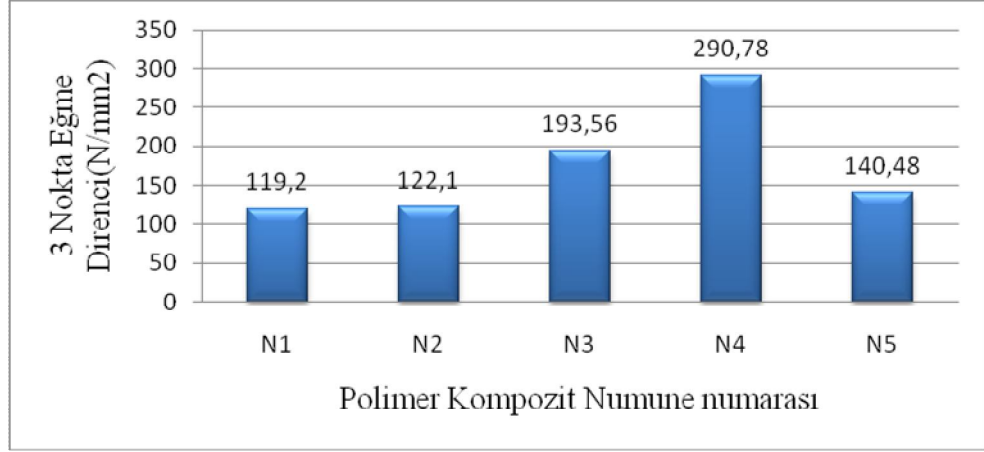
Varyans Kaynakları	Kareler Toplamı	Serbeslik Derecesi	Ortalama Kareler	F Hesap	Anlamlılık Düzeyi($p < 0,05$)
Düzeltilmiş Model	142885,2667	4	35721,31667	54,37724217	0,00
Sabit Model	2129296,817	1	2129296,817	3241,349968	0,00
Kompozit numune türü	142885,2667	4	35721,31667	54,37724217	0,00
Hata	6569,166667	10	656,9166667		
Toplam	2278751,25	15			
Düzeltilmiş Toplam	149454,4333	14			

Çizelge 6.2’ de elde edilen ANOVA analiz sonuçlarına göre kompozit numune türleri birbirleri ile karşılaştırıldığında ($p=0,00$) anlamlı sonuç elde edilmiştir. Kompozit numunelerin karşılaştırılmasından elde edilen “p” değeri 0,05’ den küçük olduğu için deney sonucunda kompozit numune türleri arasında kullanılan malzemelerin çentik darbe üzerine anlamlı etkisi vardır [46].

6.4. ÜÇ NOKTA EĞME DENEYİ SONUÇLARI

Yapılan üç nokta eğme deneyleri neticesinde elde edilen sonuçlar Şekil 6.6’ da verilen grafikte görülmektedir. Grafiğe göre üç nokta eğme gerilmesi altında Yapılan deneylerde 4 kat cam elyaf keçe ve çok uçlu fitilden oluşan (N1) numunede üç nokta eğme dayanımının $119,2 \text{ N/mm}^2$ olduğu, Çok uçlu fitilden oluşan (N2) numunede üç nokta eğme dayanımının $122,1 \text{ N/mm}^2$ olduğu, 13 kat cam elyaf keçeden oluşan (N5) numunede üç nokta eğme dayanımının $140,48 \text{ N/mm}^2$ olduğu, 4 kat cam dokuma-8 kat cam elyaf keçe oranına sahip numune olan N3 numunesinin üç nokta eğme dayanımının $193,56 \text{ N/mm}^2$ olduğu, en yüksek mukavemet değerine

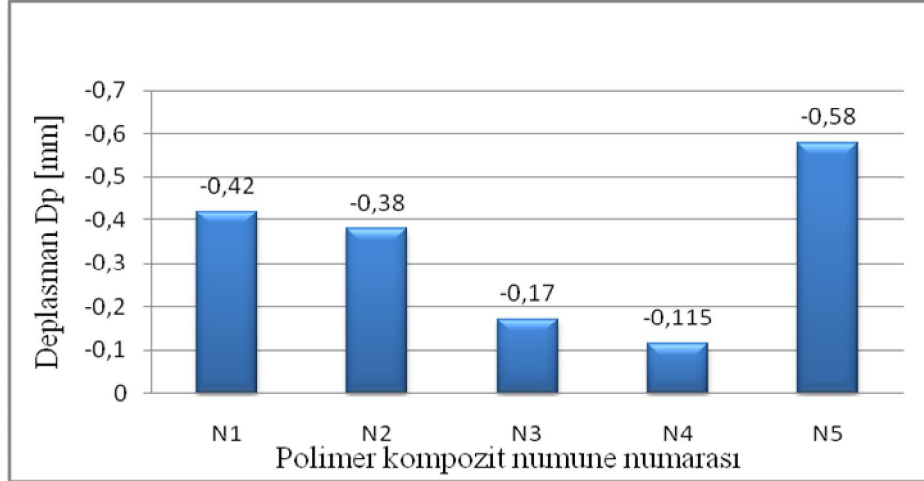
290,78 N/mm² ile 6 kat cam elyaf keçe-çok uçlu fitil (N4) numunesinin sahip olduğu tespit edilmiştir. Elde edilen üç nokta eğme dayanım değerlerine fiber oranının ve yapının bileşim özelliklerinin (cam elyaf türü ve açısı) etki ettiği tespit edilmektedir.



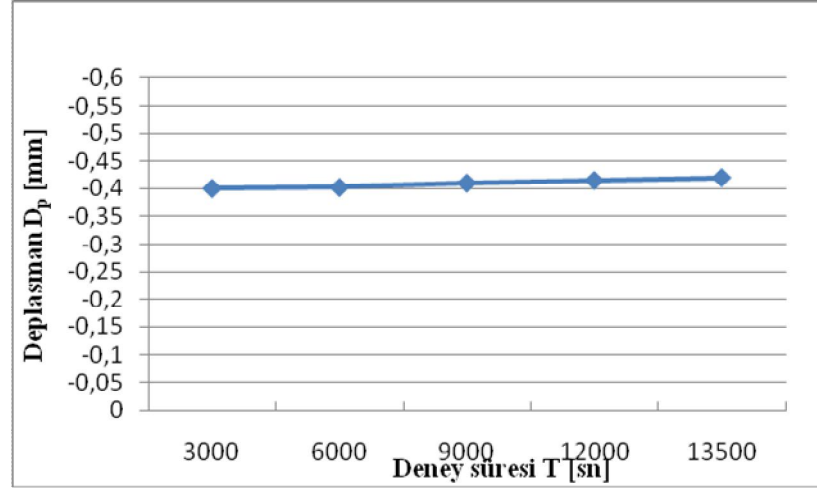
Şekil 6.6. Üç nokta eğme deneyi sonuç grafiği.

6.5. SÜRÜNME DENEYİ SONUÇLARI

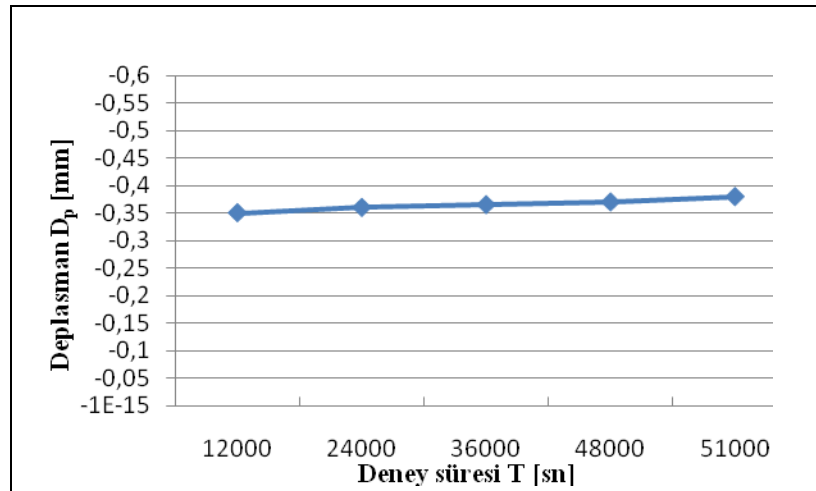
Şekil 6.7' de Sürünme deneyine ait genel sonuçlar Şekil 6.8' de ise numunelere ait ayrı ayrı değerler görülmektedir . Grafiklerde de görüleceği üzere yapılan deney neticesinde 4 kat cam elyaf keçe ve çok uçlu fitilden oluşan (N1) numunesinde 60MPa yükte 13500sn süre sonunda meydana gelen deplasman değeri -0,42mm olduğu gözlenmiş, Çok uçlu fitilden oluşan (N2) numunede meydana gelen deplasman değerinin deplasman değerinin -0,38mm olduğu, 13 kat cam elyaf keçeden oluşan (N5) numunede deplasman değeri -0,58 mm olduğu, 6 kat cam elyaf keçe-çok uçlu fitil (N4) numunesinde 13800 sn süre sonrasında -0,115mm' lik deplasman (yer değiştirme) meydana geldiği. 4 kat cam dokuma-8 kat cam elyaf keçe oranına sahip numune olan (N3) numunesinde 14250 sn süre sonunda -0,017mm' lik deplasman meydana geldiği görülmektedir. Mevcut deplasman (yer değiştirme) basma şeklinde olduğu içinde bu ifade negatif olarak gösterilmektedir. Elde edilen sonuçlar ışığında N3 ve N4 numunesinde birbirine yakın deplasman değerleri elde edildiği ve daha kararlı bir yapı sergiledikleri görülmektedir. Buna neden olarak 0-90° örgü açısı ve fitil oranı miktarının diğer numunelere oranla daha yüksek oluşu gösterilebilir.



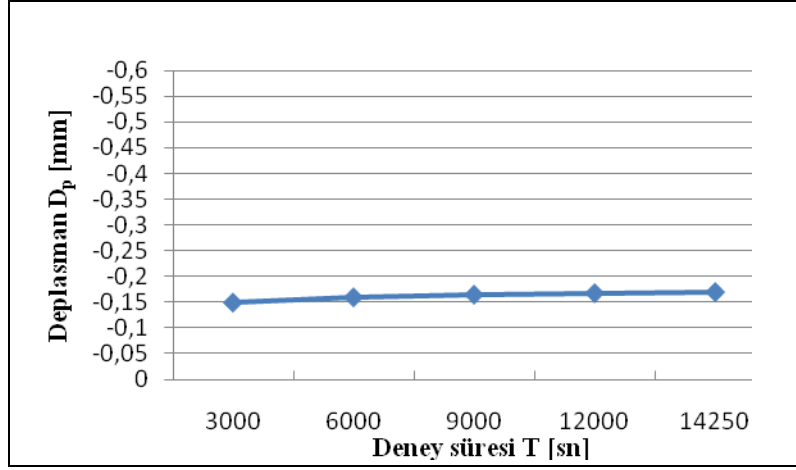
Şekil 6.7. Sürünme deneyi genel sonuçları.



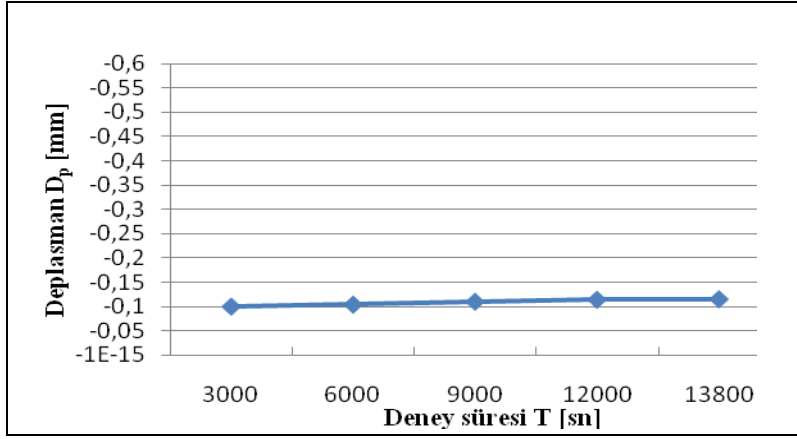
a) 1. numune sonuçları



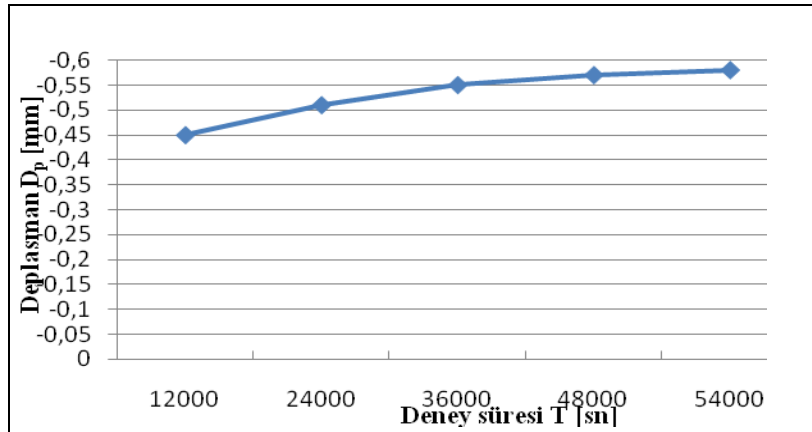
b) 2. numune sonuçları



c) 3. numune sonuçları



d) 4. numune sonuçları



e) 5. numune sonuçları

Şekil 6.8. Numunelere göre sürünme deneyi sonuçları.

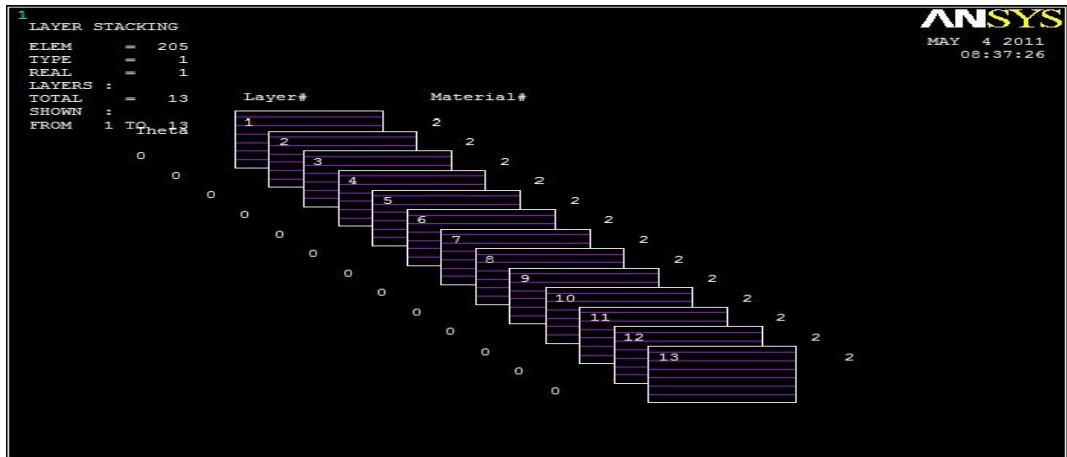
BÖLÜM 7

SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİ İLE ANALİZ

Farklı tabaka sayıları ve farklı konumlanmalar ile oluşturulan polimer kompozit yaprak yay elemanlarının basma yükleri karşısında göstermiş oldukları davranışlar üç nokta eğme deneyi ile karşılaştırmak için ANSYS 12 paket programı kullanılarak incelenmiştir. Bu bölümde yapılan analiz anlatılmıştır.

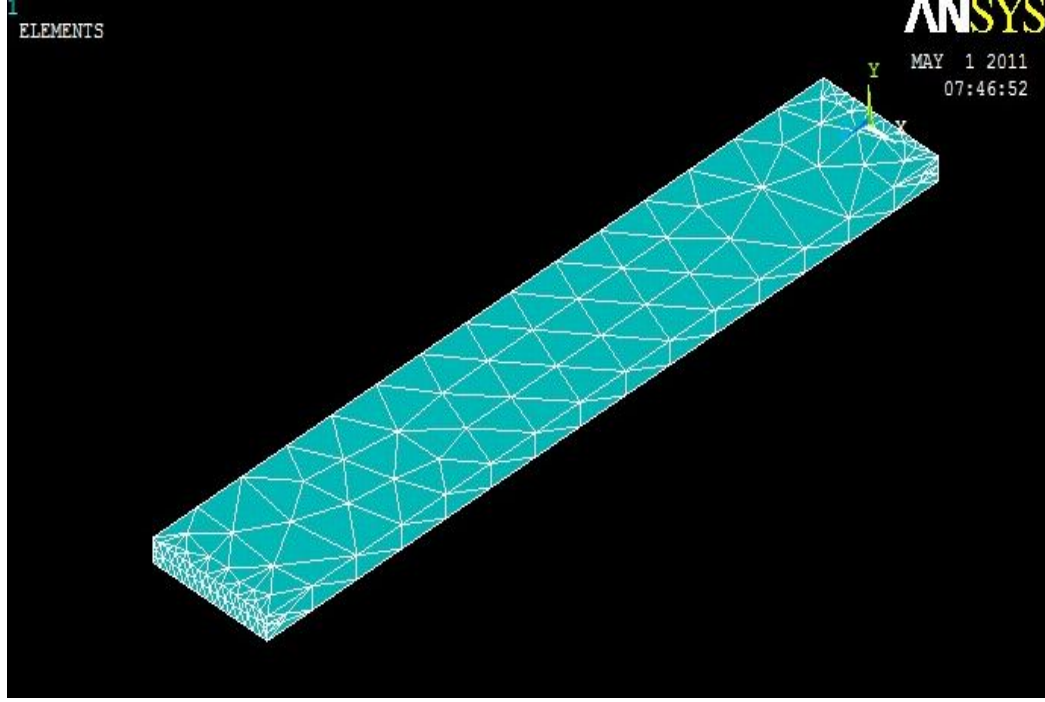
Öncelikle programa Şekil 4.13' de ölçülerin verilen ve Solidworks programı aracılığı ile çizilen yaprak yay modeli ANSYS programına uygun kaydedilerek aktarılmıştır. Sonrasında tabakalı kompozit malzemelere uygun eleman tipi belirlenmiş ve eleman tipi olarak solid layered46 eleman tipi seçilmiştir.

Eleman tipi seçiminden sonra kompozit analizlerinde en önemli kısmı teşkil eden tabakalı yapının şekil (oryantasyon), kalınlık bilgilerini içeren menüden tek tek her numune için kalınlık ve yönleme seçimi yapılır.



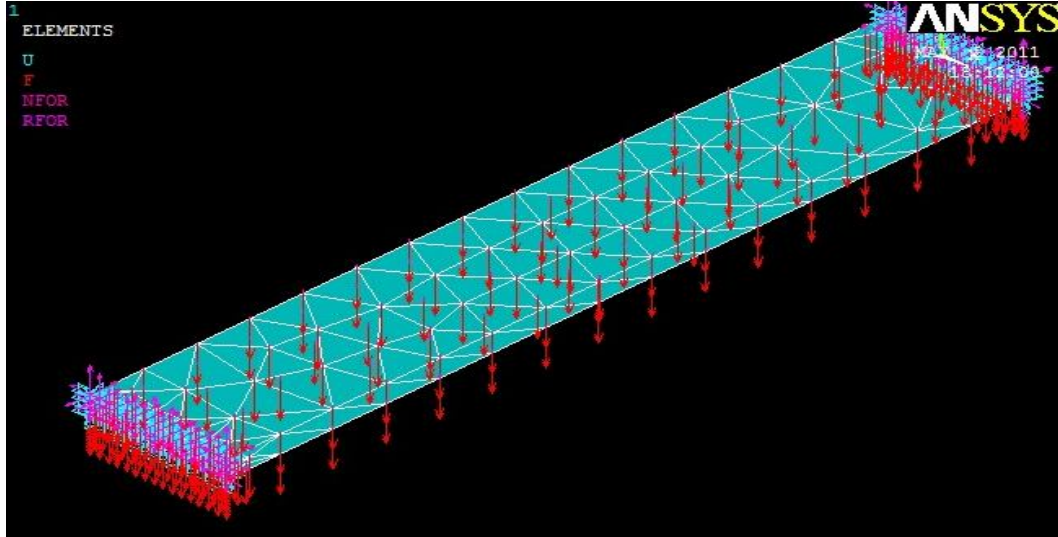
Şekil 7.1. Tabakaların örnek gösterimi.

Malzemeye ait mekanik özelliklerin değerleri girilerek malzeme mesh yapılır ve basma yükü uygulanarak gösterilen davranış incelenir.



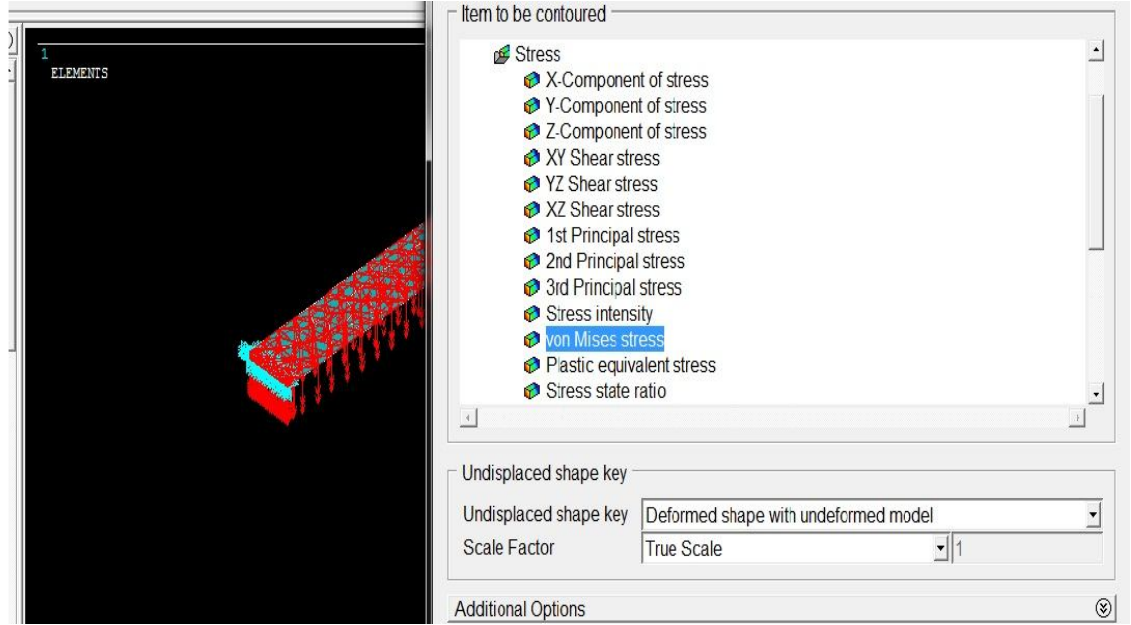
Şekil 7.2. Polimer kompozit yay'ın mesh uygulanmış görünümü.

Malzemeye yük uygulanmadan önce polimer kompozit yaprak yay sınır şartları girilir y ekseninde negatif (-) yönde kuvvetler uygulanır, diğer yönler sabitlenir.

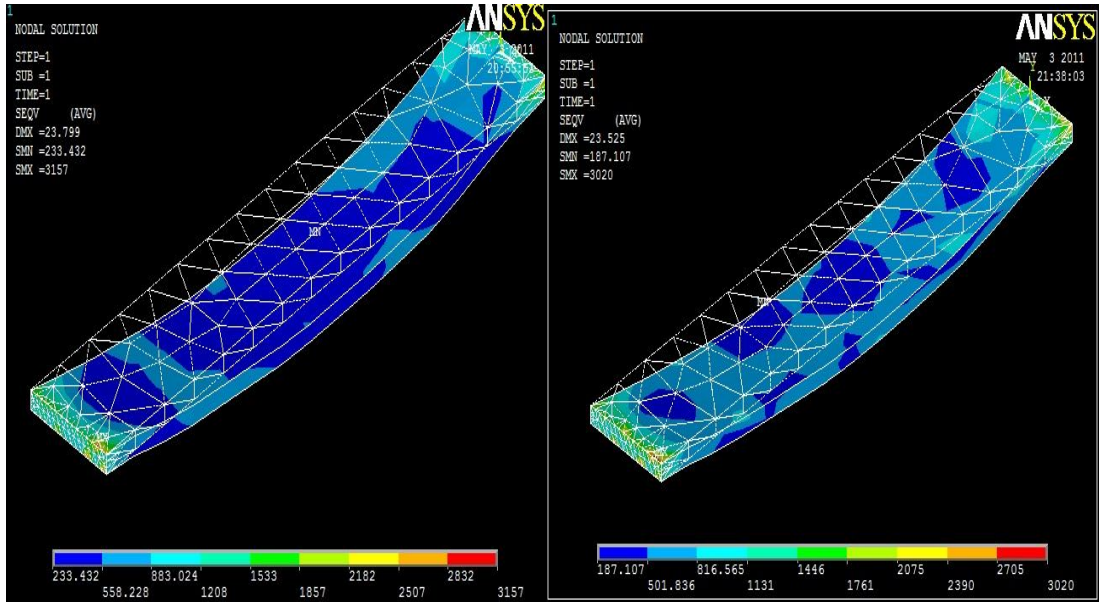


Şekil 7.3. Polimer kompozit yay sınırları ve yük uygulama yönü.

Sınır şartları girilip yükleme yapıldıktan sonra solve yapılır ve read results menüsünden last set yapıp, plot result > nodal solution menüsünden von mises gerilmesi incelenir.

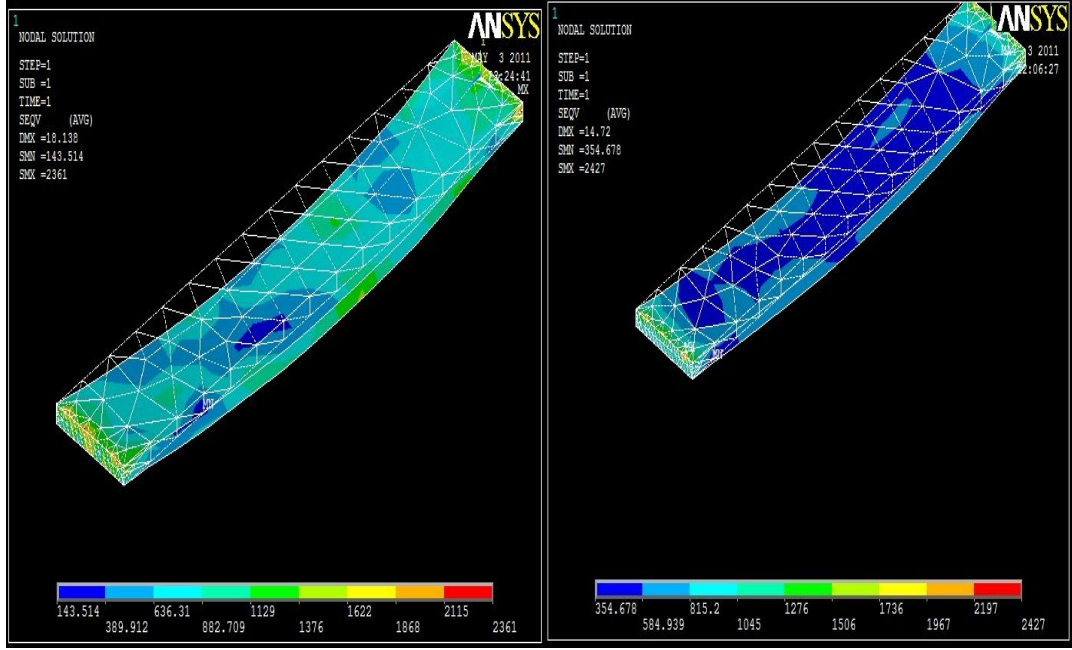


Şekil 7.4. Sonuçta görülmesi istenen değerlerin seçimi.



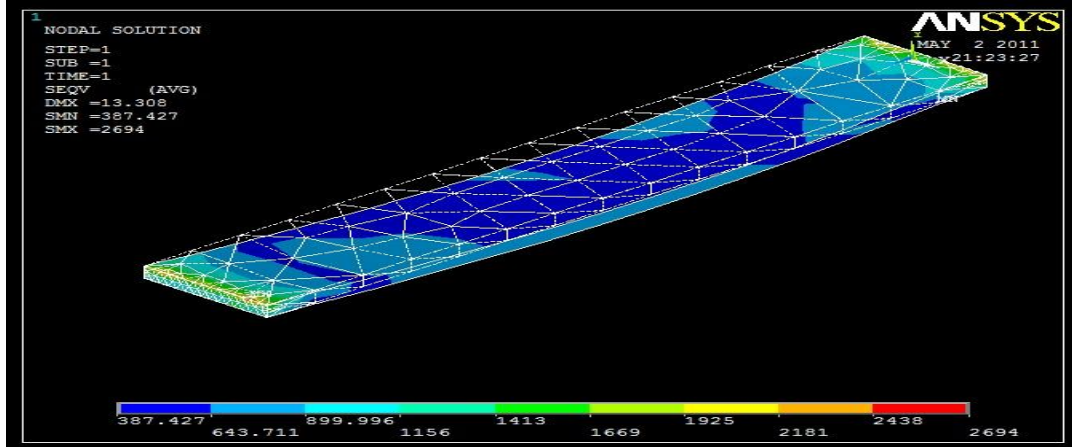
a) Numune 2

b) Numune 3



c) Numune 5

d) Numune 6



e) Numune 7

Şekil 7.5. 5000 N yük altında oluşan von mises gerilmesi.

ANSYS analizi sonucu 5000N yük uygulanarak oluşan değerler de (Şekil 7.5) en az gerilme 0-90° açığına sahip cam elyaf dokuma kompozit (N3) numunede 2361N olarak gözlenmiştir, daha sonra sırası ile cam elyaf keçe ve fitilden üretilen (N4) numunede 2427N olarak ve 13 kat cam elyaf keçe kullanılan (N5) numaralı numunede 2694N olduğu, oluşan en yüksek gerilmenin fiber oranı en düşük olan numunede (N1) 3157N olduğu görünmüş buda fiber oranının azaldığında mekanik dayanımdaki

etkisi görülmüştür bu sonuçlar üç nokta eğme deneyinde elde edilen değerleri desteklemektedir.

BÖLÜM 8

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, kompozit malzemeler arasında yaygın olarak kullanılan, farklı E sınıfı cam elyaf takviyeli kompozit malzemelerden, epoksi reçine kullanılarak, el yatırması yöntemi ile tasarlanan ve üretilen polimer kompozit yaprak yay'ın mekanik performansı çentik darbe, çekme, basma, üç nokta eğme, sürünme deneyleriyle incelenmiştir. Ayrıca ANSYS paket programı ile polimer kompozit yaprak yay'a 5000N yük uygulanmış, bu yük karşısında yaprak yayda meydana gelen Von Misses gerilmesi sonlu elemanlar yöntemi aracılığı ile incelenmiştir.

Çalışmanın sonucunda aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

- El yatırması yöntemi ile üretilen ve ölçüleri Şekil 4.12' de verilen polimer kompozit yaprak yayın verilen ölçülerde tasarlanarak E-sınıfı cam elyaf ile üretilmesi sayesinde ağırlık olarak % 79,89 (aynı ölçülerde 50CrV₄ yay çeliği ağırlığı: 1840 gr, numune ortalaması: 370 gr) hafifleme sağlanmıştır. Bu elde edilen ağırlık kazanımı Mahmood ve arkadaşlarının [34] yapmış oldukları % 80' lik kazanım ve Vijayarangan [36] ve arkadaşlarının yapmış oldukları çalışmalardaki %75,6' lık kazanımla paralellik göstermektedir.
- Farklı E-sınıfı fiberler kullanarak el yatırması yöntemi ile üretilmiş olunan kompozit malzemelerde aynı türde cam elyaf malzeme ve aynı polyester reçine kullanarak üretilen numunelerden N1(4 kat cam elyaf keçe) ve N4 (6 kat cam elyaf keçe) numunelerin her ikisinin de mekanik özelliklerinde farklılık bulunmuştur, Bunun nedeninin fiber oranında ve reçine oranındaki farklılıktan kaynaklandığı düşünülmektedir. Bu farklılık cam elyaf oranı arttığında zaman malzemenin mekanik değerlerinde de artış olduğunu göstermektedir. Bu sonuç Kaushik ve arkadaşlarının [43] yapmış oldukları çalışma ile paralellik göstermektedir.

- Genel numuneler içerisinde en kararlı yapıya sahip numunenin N3 numaralı numune olduğu gözlenmiş, N3 numunesinin ise 0-90° lik açıya sahip cam dokuma kullanılarak üretildiği dikkate alınarak bu durumda fiber oryantasyon açılarının hasar oluşumunda ve malzemenin mukavemet değerlerinin artışında etkili olduğu tespit edilmiştir.
- Yapılmış olunan üç nokta eğme deneyi ile ANSYS analizi sonuçları gerilme dayanımı olarak paralellik göstermiştir.
- Çekme ve çentik darbe deneylerinde 50CrV4 yay çeliğinin polimer kompozit yaprak yaya oranla oldukça yüksek çekme dayanımına sahip olduğu ve yatay ve düşey kesitlerde homojen bir yapıya sahip olmasından dolayı çentik darbe dayanımında herhangi bir farklılığın meydana gelmediği görülmüştür. Bu farklılıklarından dolayı çelik yaprak yay kullanımının özellikle ağır yük sınıfı araçlarda polimer kompozit yaprak yaya oranla daha uygun olduğu el yatırması yöntemi ile üretilen polimer kompozit yaprak yayların daha hafif yük sınıfı araçlarda, daha modern (pultrüzyon v.b.) üretim yöntemleri kullanılarak özellikle hafiflik ve korozyon dayanımı gibi avantajlarından dolayı kullanımı mümkün görülmüştür.

Elde edilen sonuçlar ışığında, bundan sonra yapılacak olan çalışmalarda çalışılması gereken noktalar ve yapılabilecek öneriler aşağıda özetlenmiştir.

- Kullanılan üretim yöntemi değiştirilerek daha stabil ortam şartları oluşturulabilir ve daha yüksek mekanik dayanımlar elde edilebilir.
- Kullanılan reçine türü değiştirilebilir ve reçine türü değişiminin mekanik etkilerine bakılabilir, ayrıca yoğunluk ve tipleri daha farklı cam elyaf türleri ile üretim yapılarak karşılaştırma yapılabilir, karbon ve aramid elyaf tipleri ile de kıyaslanılabilmemesi mümkündür.
- Sonlu elemanlar analizi ile farklı yükleme özellikleri ve ağ yapısı denenerak farklı sonuçlar elde edilebilir.
- Yapılan deneyler farklı sıcaklıklarda tekrar edilerek sıcaklığın malzeme üzerindeki mekanik etkileri incelenebilir.

KAYNAKLAR

- 1- Jones R., “Mechanics of composite materials”, *Taylor&Francis*, USA, 2-3, 36 (1999).
- 2- Düven E., “Taşıtlar için aktif süspansiyon sistemlerinin geliştirilmesi”, Doktora tezi, *Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Bursa, 6-7, 11-12, 31-40 (2007).
- 3- Bodur F. N., “Taşıt süspansiyon sistemlerinin bulanık mantıklı kayan tipli kontrolü”, Doktora tezi, *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Sakarya, 1-3 (2008).
- 4- Philipson N., “Leaf spring modeling”, *Modelica*, Sweden, 5 (2006).
- 5- Kurulay N. S., “Motorlu Taşıtlar”, *T.M.M.O.B.*, 1: 164-168 (2008).
- 6- Çetinkaya S., “Taşıt Mekaniği”, *Nobel Yayın Dağıtım*, Ankara, 197-203 (1999).
- 7- Qin P., Dentel G. and Mesh M., “Multi-Leaf Spring and Hotchkiss Suspension CAE Simulation”, *ABAQUS Users’ Conference*, USA, 7 (2002).
- 8- Karadeniz E., “Elyaf takviyeli plastik kompozitlerin mukavemeti”, Yüksek Lisans Tezi, *Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 1-12 (1989).
- 9- Sakin R., “Düzlemsel rastgele dağılımlı keçe elyafla takviyeli kompozit malzemede kırılma tokluğunun elyaf hacmi, elyaf yönlmesi ve deformasyon hızı ile değişiminin saptanması”, Yüksek Lisans Tezi, *Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Balıkesir, 10-13, 58-60 (1994).
- 10- Aksoy S. ve Sayman O., ”Kompozit malzemeler ders notları”, *Ege Üniversitesi Makine Fakültesi*, İzmir, (2003).
- 11- Şahin Y., “Kompozit malzemelere giriş”, *Seçkin Yayıncılık*, Ankara, 27-35, 135-146 (2006).
- 12- James A. J. and Thomas F. K., “Engineering materials technology”, *Prentice Hall*, USA, 3: 528-534, 547 (1997).
- 13- İnternet: “Helikopterlerin üretim malzemeleri ve tasarımı”, Bileşim Yayıncılık <http://www.bilesim.com.tr/resim/wpucp1y2.jpeg> (2011).
- 14- Ersoy H.Y., “Kompozit malzeme”, *Literatür Yayıncılık Dağıtım Pazarlama San. ve Tic. Ltd. Şti.*, İstanbul, Türkiye, 227 (2001).

- 15- Yağcı E., “Tabakalı kompozit ince plakların plak düzlemine dik yükleme etkisi altındaki eğilme analizi”, Yüksek lisans tezi, **Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Adana, 5-6 (2007).
- 16- Daniel I. M. and Ishai O., “Engineering mechanics of composite materials”, **Oxford University Press**, NewYork 1-20 (1994).
- 17- Alnak Y., “Fiber takviyeli kompozit malzemelerde interlaminar kayma gerilmelerinin nümerik analizi ve dört noktadan eğme testi ile interlaminar kayma mukavemetinin belirlenmesi”, Yüksek lisans tezi, **Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Sivas, 4-7, 20-2 (2007).
- 18- Karakılçık S., “Tek eksenli çekmeye maruz ortasında dairesel delik bulunan kompozit levhada gerilme yığılmasının incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, **Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Ankara, 1, 5 (2006).
- 19- Demircioğlu G., “Kısa cam elyaf takviyeli kompozit malzemelerde epoksi elyaf boyunun etkisi”, Yüksek Lisans Tezi, **Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Ankara, 3-4, 31-36 (2006).
- 20- Sahin, Y., “Kompozit malzemelere giriş”, **Gazi Kitabevi**, Ankara, 1-3, 23, 40-41, 65-66 (2000).
- 21- Reinhart, T.J., “Engineered materials handbook: composites”, **ASM Internation**, USA, 983 (1987).
- 22- İşman N. Y., “Polyester dokuma kumaş takviyeli kompozit malzemelerin darbe ve eğilme davranışının incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, **Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Bursa, 3-5 (2010).
- 23- Yıldızhan H., “Polimer matrisli kompozitlerin mekanik özelliklerinin incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, **Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Isparta, 4-7 (2008)
- 24- Aran A., “Elyaf takviyeli karma malzemeler”, **İ.T.Ü.**, İstanbul, 21-26 (1990).
- 25- Mallick P.K., “Fiber reinforced Ccomposites materials, manufacturing, and design. ”, **Marcel Dekker**, New York, USA, 469 (1993).
- 26- Kollar L. P. and Springer G. S., “Mechanics of composite structures”, **Cambridge University Pres**, 1-12, (2003).
- 27- Asi D., “Cam elyaf takviyeli kompozit malzemelerin aşınma performansının incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, **Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Afyon, Haziran, 4-17 (2008).
- 28- R&G , “Handbook composite materials”, **Fasenverbundworkstaffe GmbH**, Waldenbuch, 18-25 (2003).

- 29- Mazumdar S.K. , “Composites manufacturing: material, product and process engineering. ” **CRC Press**, USA, (2002).
- 30- Reddy. J. N., “Mechanics of laminated composite plates theory and analysis”, **CRC Press**, Newyork, 6-12 (1997).
- 31- Chung D.D.L., “Carbon fiber composites”, **Butterworth-Heinemann**, Boston, USA, 1-5 (1994).
- 32- Brothers G., West Systems Inc., “Vacuum bagging techniques”, **Gougeon Brothers**, USA, 1-11 (1993).
- 33- İnternet: “Gamafrp Kompozit Üretim Yöntemleri”, **www.gamafrp.com/ueretim-yoentemleri** (2011).
- 34- Mahmood M. S. and Davood R., “Analysis and optimization of a composite leaf spring”, **Composite Structures**, 60 (3): 317–325 (2003).
- 35- Al-Qureshi H. A., “Automobile leaf springs from composite meterials”, **Journal of Materials Processing Technology**, 118 (1-3): 58-61 (2001).
- 36- Rajendran I. and Vijayarangan S., “Optimal design of a composite leaf spring using genetic algorithms”, **Computers and Structures** , 79 (11): 1121-1129 (2001).
- 37- Sancaktar E. and Gratton M., “Design, analysis, and optimization of composite leaf springs for light vehicle applications”, **Composite Structures**, 44 (2-3): 195-204 (1999).
- 38- Sugiyama H. , Ahmed A. S. , Mohamed A. O. and Loh W. Y., “Development of nonlinear elastic leaf spring modelfor multibody vehicle systems”, **Comput. Methods Appl. Mech. Engrg.**, , Caterpillar Inc., Technical Center, Ford Motor Company, 195 (50-51): 6925-6941 (2006).
- 39- İnternet: “İstanbul Teknik Üniversitesi DeneY Föyü”, **web.itu.edu.tr/~halit/DeneyMuh/DarbeDeneyFoyu.pdf** (2011).
- 40- American Society for Testing and Materials, “D638M standart test method for tensile properties of plastics”, Annual Book of ASTM Standarts, **ASTM International**, Philadelphia, 174-182 (1993).
- 41- American Society for Testing and Materials, “D790M-92 Standart test methods for flexural properties of unreinforced and reinforced plastics and electrical Insulating materials”, Annual Book of ASTM Standarts, **ASTM International**, Philadelphia, 284-292 (1993).

- 42- Thomason, J. L. and Vlug M. A., “Influence of fibre length and concentration on the properties of glass fibre-reinforced polypropylene: 4. Impact properties”, *Composites: Part A: Applied Science and Manufacturing*, 28 (3): 277-288 (1997).
- 43- Kaushik A., Singh P. and Kaushik J., “The mechanical properties and chemical resistance of short glass-fiber-reinforced epoxy composites”, *International Journal of Polymeric Materials*, 55 (6): 425-440 (2006).
- 44- İnternet: “ Cam Elyaf A.Ş. Ürünler” www.camelyaf.com.products/detay.aspx (2011).
- 45- İnternet: “Material Specification Sheet”, www.saarstahl.de/fileadmin/saarstahl-extranet/images/04-producte/walzstahlsarten/english/8159_51crv4.pdf (2011).
- 46- Beyazıt M. ve Oğuz B., “Mühendisler için istatistik”, **Birsen Yayınevi**, İstanbul, 126-152 (1994).

ÖZGEÇMİŞ

Oğuzhan BİLDİK 1983 yılında Safranbolu’da doğdu. İlk ve orta öğrenimini Karabük’te tamamladı. 2000 yılında Karabük demir çelik lisesinden mezun oldu. 2001 yılında Kocaeli Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü’nde öğrenime başlayıp 2007 yılında mezun oldu. 2006-2008 yılları arasında Kocaeli ilinde Prosis firmasında proje ve uygulama mühendisi olarak göreve başladı aynı zamanda birçok projede şantiye şefliği görevini yaptı. 2008-2010 yılları arasında Karabük İl Özel İdare Müdürlüğünde Atölye şefi olarak görev yaptı. 2009 yılında KÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı’nda Yüksek Lisans eğitime başlamıştır. 2010 yılından itibaren Karayolları 15.Bölge Müdürlüğünde çalışmaktadır.

ADRES BİLGİLERİ

Adres : Karabük Üniversitesi

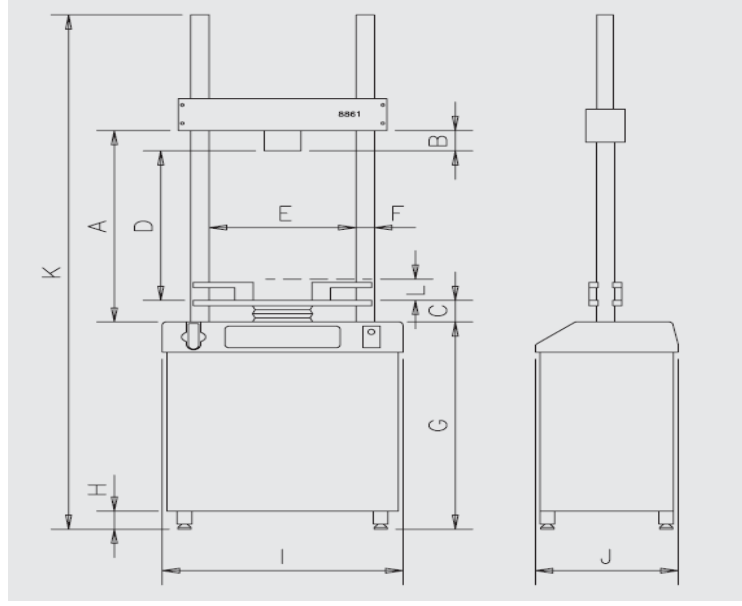
Fen Bilimleri Enstitüsü

Balıklar kayası Mevkii / KARABÜK

Tel : (505) 302 2575

E-posta : bildikmakina@hotmail.com

EK AÇIKLAMALAR A.
SÜRÜNME DENEY CİHAZI ÖZELLİKLERİ

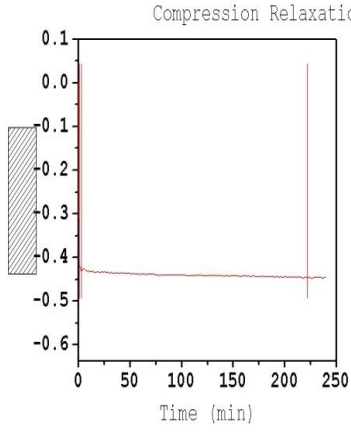


Şekil EK.A.1. Sürünme deney cihazı.

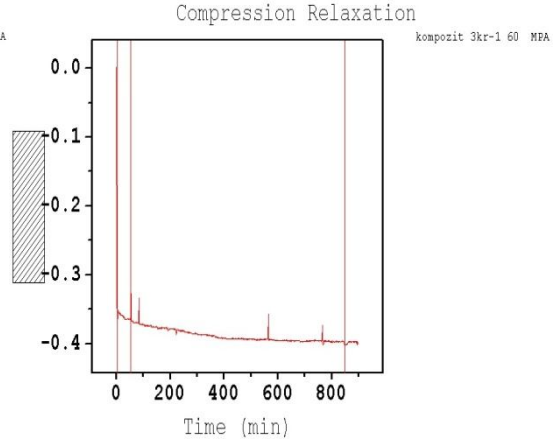
Çizelge EK.A.1 İNSTRON 8861 sürünme test cihazı özellikleri.

İNSTRON 8861 sürünme test cihazı teknik özellikleri:	
A	1198 mm
B	96 mm
C	109 mm
D	943 mm
E	562 mm
F	70 mm
G	945 mm
H	55 mm
I	920 mm
J	587 mm
K	2296 mm
Güç gereksinimi	35 kN da 0.3 kva
Desteklenen frekans	45-65 hz
Kullanıcı arayüzü	GPİB (HS488)
Güç tüketimi (max)	800VA
Yük kapasitesi	35 kN
Yükleme şekilleri	Statik, dinamik

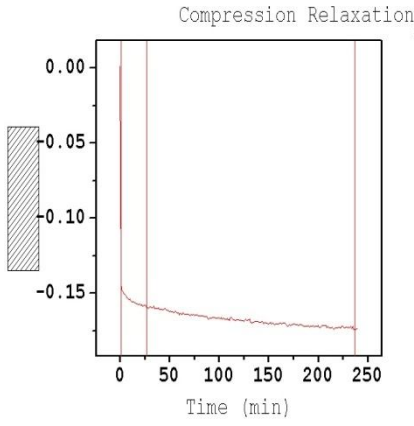
EK AÇIKLAMALAR B.
DENEYLERE AİT GRAFİKLER



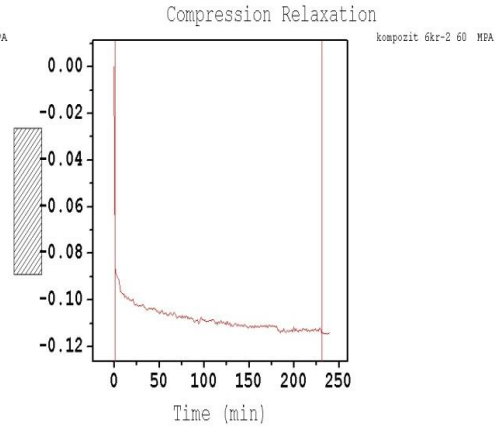
a) Numune 2



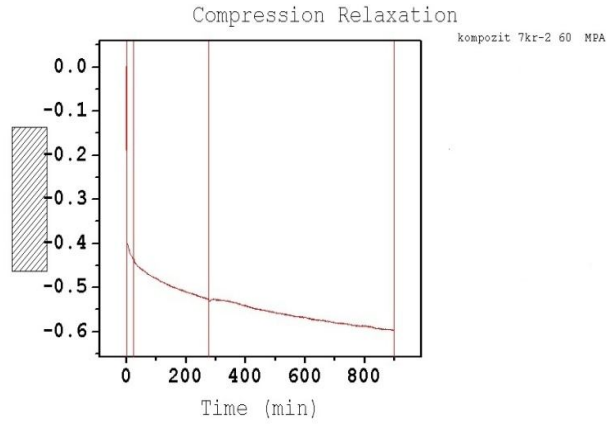
b) Numune 3



c) Numune 5



d) Numune 6



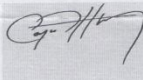
e) Numune 7

Şekil EK.B.1. Sürünme deneyine ait grafikler.

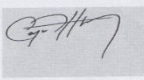
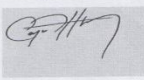
EK AÇIKLAMALAR C.

CE 266 N REÇİNE VE KCR2(M) CAM ELYAF

SERTİFİKA RAPORU

CERTIFICATE OF ANALYSIS / ANALIZ SERTIFIKASI				
Product Name / Urun Adi	: CE 266 N 12 (T)			
Manufacturer / Uretici	: CAM ELYAF SANAYII A.S. GEBZE/KOCAELI			
Customer / Sevk Edilen Firma	: KARABUK UNV.TEKNIK EGITIM FAKULTESI			
Invoice No- Cust.Order No / Fatura No- Musteri Sip. No	: 2737 -			
Batch No / Parj No	: 30690			
Pallet No / Palet No	: 26336913			
PROPERTIES AND TEST RESULTS / TEST SONUCLARI				
Properties / Ozellikler	Units / Birim	Specification Values / Spesifikasyon		Test Results/ Test Sonucları
		Min.	Max.	
Viskozite/ Viscosity (25 oC, 20 Rpm)	cps.	350	450	390
Katı Madde Miktarı/ Solid Content	%	50.0	-	58.1
Asit Sayısı/ Acid Number	mg.KOH/g.	8.0	12.0	11.6
Jelleşme Süresi/ Gel Time (25 oC)	dak-sr/min-sec	10-00	14-00	12-05
Ekzoterm Pik/ Exotherm Peak	oC	190	220	213
Shipping Date / Sevk Tarihi	: 09/06/2010			
Quality Approval/Kalite Onayı	: 			

a)CE 266 N

CERTIFICATE OF ANALYSIS / ANALIZ SERTIFIKASI				
Product Name / Urun Adi	: KCR2(M)B-2400(02)-12(50)			
Manufacturer / Uretici	: CAM ELYAF SANAYII A.S. GEBZE/KOCAELI			
Customer / Sevk Edilen Firma	: KARABUK UNV.TEKNIK EGITIM FAKULTESI			
Invoice No- Cust.Order No/ Fatura No- Mus.Siparis No	: 2737 -			
Production Dates / Uretim Tarihi	: 30/04/2010 2/05/2010			
Pallet No / Palet No	: 26120642,26104988			
PROPERTIES AND TEST RESULTS / TEST SONUCLARI				
Properties / Ozellikler	Units / Birim	Specification Values / Spesifikasyon		Test Results/ Test Sonucları
		Min.	Max.	
Filament Diameter / Elyaf Çapı	Micron/Mikron	11.0	13.0	12.3
Tex / Tex Sayısı	g/1000m	2280	2520	2433
Moisture Content / Nem Oranı	%	-	0.10	0.02
Fuzz / Fuzz Miktarı	%	-	0.010	0.005
Apparent Density / Görünür Dansite	cm	-	9.0	5.9
Dispersion / Dağılım-Puskurtme	Grade/Puan	4	-	4
Loss on Ignition / Kıydırma Kaybı	%	1.00	1.30	1.17
Choppability / Kırpılabilirlik	Grade/Puan	B+	-	A
St.Elec.Generation / St.Elekt.Oluşumu	Grade/Puan	B	-	A
Shipping Date / Sevk Tarihi	: 09/06/2010			
Signature / İmza	: 			
Quality Approval/Kalite Onayı	: 			

b)KCR2(M)

Şekil EK.C.1 Üretimde kullanılan bazı malzemelerin analiz sertifikası.