

**T.C.
PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
OTOMOTİV MÜHENDİSLİĞİ**

**KATKILI KOMPOZİT YAPRAK YAYLARIN MEKANİK
DAVRANIŞLARI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

FURKAN KAVLA

DENİZLİ, AĞUSTOS - 2019

**T.C.
PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
OTOMOTİV MÜHENDİSLİĞİ**



**KATKILI KOMPOZİT YAPRAK YAYLARIN MEKANİK
DAVRANIŞLARI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

FURKAN KAVLA

DENİZLİ, AĞUSTOS - 2019

KABUL VE ONAY SAYFASI

FURKAN KAVLA tarafından hazırlanan "KATKILI KOMPOZİT YAPRAK YAYLARIN MEKANİK DAVRANIŞLARI" adlı tez çalışmasının savunma sınavı 19.08.2019 tarihinde yapılmış olup aşağıda verilen jüri tarafından oy birliği / ~~oy çokluğu~~ ile Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Otomotiv Mühendisliği Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmza

Danışman
Prof. Dr. Hasan ÇALLIOĞLU




Üye
Prof. Dr. Osman ASİ
Uşak Üniversitesi



Üye
Doç. Dr. Metin SAYER
Pamukkale Üniversitesi



Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun
28/08/2019 tarih ve 34/25... sayılı kararıyla onaylanmıştır.



Prof. Dr. Uğur YÜCEL

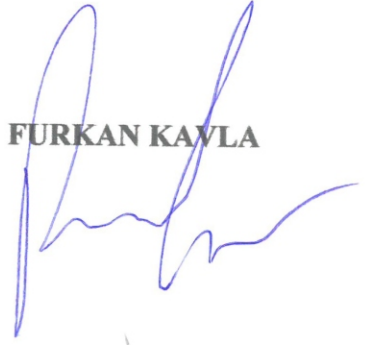
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

✓.

**Bu tez alışması PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ BİLİMSEL
ARAŐTIRMA PROJELERİ KOORDİNASYON BİRİMİ (BAP) tarafından
2017 FEBE052 nolu proje ile desteklenmiştir.**

Bu tezin tasarımı, hazırlanması, yürütülmesi, araştırmalarının yapılması ve bulgularının analizlerinde bilimsel etiğe ve akademik kurallara özenle riayet edildiğini; bu çalışmanın doğrudan birincil ürünü olmayan bulguların, verilerin ve materyallerin bilimsel etiğe uygun olarak kaynak gösterildiğini ve alıntı yapılan çalışmalara atfedildiğine beyan ederim.

FURKAN KAVLA



ÖZET

**KATKILI KOMPOZİT YAPRAK YAYLARIN MEKANİK
DAVRANIŞLARI
YÜKSEK LİSANS TEZİ
FURKAN KAVLA
PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
OTOMOTİV MÜHENDİSLİĞİ**

(TEZ DANIŞMANI: PROF. DR. HASAN ÇALLIOĞLU)

DENİZLİ, AĞUSTOS - 2019

Günümüz otomotiv sektöründe hayati öneme sahip süspansiyon sistemleri, yol koşullarından kaynaklanan ani şok darbelerini sönmleyen ve konfor sağlayan otomotiv parçalarıdır. Enerji tüketimini azaltmak ve emisyon salınımını düşürmek için ağırlıktan kazanç otomotiv sektörü için hayati bir öneme sahiptir. Bu nedenle bu çalışmada, ağırlıkça farklı katkı oranlarına ve farklı takviye açılara sahip tabakalı kompozit yaylar değişken yükler altında nümerik olarak analiz edilerek uygun iyileştirme şartları tespit edilmeye çalışılmıştır. Kitosan, karbon nanotüp ve bunların karışımından oluşan farklı katkı oranlarında, tek yönlü cam elyaf/epoksi kompozit plakalar prepreg yöntemi ile biri katkısız olmak üzere on adet plaka imal edilmiştir. Mekanik özelliklerinin tespit edilmesi için su jeti ile plakalardan standart numuneler çıkartılmış ve çekme ve basma testleri icra edilmiştir. Her mekanik özelliğin tespiti için beş standart numune kullanılmıştır. Farklı katkı oranlarına sahip numunelerin mekanik özellikleri birbirleriyle kıyaslanmıştır.

Elde edilen mekanik özellikler, ANSYS ACP PRE&POST analiz programında malzeme özellikleri olarak kullanılmıştır. Kompozit yay kalınlığı 12 mm olup 60 tabakadan oluşmaktadır. Beş farklı tabaka diziliminde modellenen kompozit yaylara 1000 N, 2000 N, 3000 N ve 3750 N kuvvet uygulanarak statik analizleri yapılmıştır. Statik analizlerde kompozit yayların çökmesi, yayda oluşan normal gerilme ve şekil değiştirmeler incelenmiştir.

Analizler sonucunda katkısız kompozit yaprak yayın katkılı muadillerine göre daha mukavemetli olduğu tespit edilmiştir. Fiber yönü ile kompozit yaprak yayın yatay eksenini aynı doğrultuda seçilmiş olan Tabaka Düzeni 1 (TD1) $[(0^\circ)]_{60}$ ile diğer tabaka dizilimleri kıyaslandığında TD1'li kompozit yayın eğilmeye karşı daha rijit olduğu tespit edilmiştir. ACP POST programıyla Tsai-Wu ve Hashin kriterlerine göre hasar analizleri yapılarak en çok deformasyonun yayın uç noktalarında meydana geldiği görülmüştür. En büyük hasar miktarı 3750 N kuvvet altındaki $[(0^\circ_5/90^\circ_5/45^\circ_{10}/-45^\circ_{10})_s]$ tabaka dizilimli TD5 yaprak yayında Tsai-Wu kriterine göre olmuştur. Ayrıca kompozit yaprak yaylar, günümüzde kullanılan aynı ebatlı, tek yapraklı çelik muadili ile kıyaslandığında, daha hafif olmaktadır.

ANAHTAR KELİMELELER: Kompozit, Yaprak Yay, Karbon Nanotüp, Kitosan, Cam Fiber

ABSTRACT

MECHANICAL BEHAVIORS OF COMPOSITE LEAF SPRINGS WITH ADDITIVE

MSC THESIS

FURKAN KAVLA

PAMUKKALE UNIVERSITY INSTITUTE OF SCIENCE
AUTOMOTIVE ENGINEERING

(SUPERVISOR: PROF.DR. HASAN ÇALLIOĞLU)

DENİZLİ, AUGUST 2019

Suspension systems are automotive parts which absorb sudden impacts caused by roads and providing comfort have an essential role in the automotive sector. Reducing weight is a fundamental way to decrease energy consumption and emission release. This study establishes improvement conditions by analysing layered composite springs which have different compositions and different support angles under various weights. Ten plates which made with various compositions chitosan and carbon nanotubes, also one-way glass fiber/epoxy composite plates with prepreg method and one neat plates were produced. Standard samples were extracted by water jet and tensile test were applied to identify mechanical properties. Five standard samples were used to identify each mechanical property. Mechanical properties of samples with different compositions were compared.

Identified mechanical properties were used as material properties at the ANSYS ACP PRE&POST analysis program. Composite spring thickness were 12 mm and it is composed of 60 layers. Static analysis of composite springs modelled with five different layer order was done by applying 1000 N, 2000 N, 3000 N and 3750 N force. Deflection, stress and shape changes of composite springs were examined at static analyzes.

Analyzes show that unalloyed composite leaf spring is more resistant than its counterparts. When Layer Order 1 (TD1) $[(0^\circ)]_{60}$ with the same direction for fiber and horizontal axis of composite leaf spring is compared with others, it is seen that composite spring with TD1 is more rigid against bending. Damage analyzes was done with ACP POST program according to Tsai-Wu and Hashin criteria and it is seen that end points of springs were mostly damaged. Most damaged one is the TD5 leaf spring with $[(0^\circ_5/90^\circ_5/45^\circ_{10}/-45^\circ_{10})_s]$ layer order under 3750 N according to Tsai-Wu standard. In addition to that, composite leaf springs were lighter than mostly used one leaf steel counterparts.

KEYWORDS: Composite, Spring Leaf, Carbon Nanotube, Chitosan, Glass Fiber

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
İÇİNDEKİLER	iii
ŞEKİL LİSTESİ	v
TABLO LİSTESİ	vii
Sembol Listesi	viii
ÖNSÖZ	ix
1. GİRİŞ	1
1.1 Ön Bilgi	1
1.2 Tezin Amacı	1
1.3 Literatür Özeti	2
1.3.1 Yaylar.....	2
1.3.2 Yaprak Yaylar	3
1.3.3 Çelik Yaprak Yaylar	3
1.3.4 Kompozit Yaprak Yaylar	5
1.3.5 Katkı Malzemeleri	7
1.3.5.1 Karbon Nanotüp (KNT)	7
1.3.5.2 Kitin ve Kitosan:	9
1.3.6 Kompozit Malzemeler	9
1.3.6.1 Kompozit Malzemelerin Genel Özellikleri	9
1.3.6.2 Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması.....	10
1.3.6.3 Matris Malzemeleri	10
1.3.7 Genel Literatür Taraması	11
2. KOMPOZİT PLAKALARIN İMALATI VE NUMUNELERİN HAZIRLANMASI	21
2.1 Kompozit Plakaların İmalatı	21
2.2 Numune Hazırlanması	25
3. MEKANİK ÖZELLİKLERİN BELİRLENMESİ	28
3.1 Mekanik Deneylerin Yapılması.....	28
3.1.1 Elastisite Modülü ve Kopma Mukavemeti Testleri	29
3.1.2 Basma Mukavemeti Testi	30
3.1.3 Kayma Modülü ve Tabakalararası Kayma Mukavemetinin Belirlenmesi	32
3.2 Mekanik Testlerle Elde Edilen Sonuçlar	33
4. NÜMERİK ANALİZLER	42
4.1 Yaprak Yayların Geometrilere ve Boyutları	42
4.1.1 Çelik Yaprak Yayın Geometrisi	42
4.1.2 Kompozit Yaprak Yayın Geometrisi	43
4.2 Nümerik Analiz Parametreleri.....	44
4.2.1 Çelik Yay Nümerik Analizleri	44
4.2.2 Kompozit Yaprak Yayın Analizleri	45
4.3 Kompozit Yaprak Yayların Analiz Sonuçları	49
4.3.1 Kompozit Yayların Sonuçlarının ACP Post ile Ele Alınması	58
4.3.2 Çözüm Kısmı	59
4.3.3 Hasar Kriteri Belirleme Kısmı	59

5. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME	69
6. KAYNAKLAR.....	73
7. ÖZGEÇMİŞ.....	78

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1 Çok Katmanlı Çelik Yaprak Yayın Geometrisi(Shankar ve Vijayarangan 2005)	4
Şekil 1.2 Cam elyaf karbon elyaf epoksi kompozit yaprak yay (Henkel firması 2017).....	7
Şekil 1.3 Karbon Yapıları (Örs; 2017).....	8
Şekil 1.4 Tek katmanlı karbon naotüp (KNT) (Wikipedia, 2017)	8
Şekil 2.1 Kitosan (K) ve karbon nanotüp'ün (KNT) hasas terazi ile tartımı	21
Şekil 2.2 Karıştırma işlemi öncesi hazırlanmış katkılı reçineler.....	22
Şekil 2.3 Karıştırma işlemi esnasında sıcaklığın kontrol altında tutulması	23
Şekil 2.4 Karıştırma işlemi a) Soğutma su sirkülatörlü ultrasonik karıştırıcı, b) Reçine içerisine dolguların eklenmesi sonrası karıştırma	23
Şekil 2.5 Cam fiber kumaşların serilmesi	24
Şekil 2.6 Cam fiber kumaşlara reçinenin sürülmesi işlemi.....	24
Şekil 2.7 Deney numunelerinin su jetinde kesilen boyutları	25
Şekil 2.8 Su jeti ile standart numunelerin kompozit plakadan kesilerek çıkartılması	26
Şekil 2.9 Deney numunelerinin ön ve arka görünüşleri.....	26
Şekil 2.10 Tabaklararası kayma mukavemeti numunesinin görünüşleri	27
Şekil 3.1 Deney numunelerine ait geometriler (Sayer 2009).....	29
Şekil 3.2 Deney numunesine çekme testinin uygulanması	30
Şekil 3.3 Deney numunesinin geometrik şekilleri (Sayer 2009).....	31
Şekil 3.4 Deney numunesine basma testinin uygulanması	31
Şekil 3.5 Deney numunesinin geometrik şekilleri (Sayer 2009).....	32
Şekil 3.6 Deney numunesinin geometrik şekilleri (Sayer 2009).....	32
Şekil 3.7 Çentikli numuneye çekme testinin uygulanması	33
Şekil 3.8 Fiber doğrultusundaki numunelerin elastisite modülü değişimi.....	35
Şekil 3.9 Fibere dik doğrultudaki numunelerin elastisite modülü değişimi.....	36
Şekil 3.10 Kayma modülünün değişimi	37
Şekil 3.11 Poisson oranı değişimi	37
Şekil 3.12 Fiber doğrultusundaki numunelerde çekme mukavemeti değişimi .	38
Şekil 3.13 Fiber doğrultusundaki numunelerde basma mukavemeti değişimi .	38
Şekil 3.14 Fibere dik doğrultudaki numunelerin çekme mukavemeti değişimi	39
Şekil 3.15 Fibere dik doğrultudaki numunelerin basma mukavemeti değişimi	40
Şekil 3.16 Tabakalararası kayma mukavemeti değişimi.....	41
Şekil 4.1 Katı modelleme programı ile modellenmiş yaprak yayın görüntüsü.	43
Şekil 4.2 Kompozit yaprak yayın kabuk modeli	43
Şekil 4.3 Kompozit yaprak yayın tabakalı şekilde modeli.....	44
Şekil 4.4 Çelik yay mesh atılmış hali.....	44
Şekil 4.5 Çelik yay kuvvet altındaki görüntüsü.	45
Şekil 4.6 ACP Pre programının görüntüsü.....	46
Şekil 4.7 Kompozit yay mesh görüntüsü	47
Şekil 4.8 Kompozit plaka fiber yönü ve tabaka yönü görünümü.....	48
Şekil 4.9 Kompozit yaprak yayın modellendikten sonraki hali	49
Şekil 4.10 Değişken yüklerde katkısız kompozit yaprak yayın çökme grafiği.	51

Şekil 4.11 Değişken yüklerde katkısız kompozit yaprak yayda oluşan gerilme grafiği	51
Şekil 4.12 Değişken yükler altında çelik ve katkısız kompozit yaprak yayda oluşan çökme miktarlarının karşılaştırılması	52
Şekil 4.13 Değişken yükler altında çelik ve katkısız kompozit yaprak yayda oluşan gerilme miktarlarının karşılaştırılması.....	53
Şekil 4.14 3750 N kuvvet altında P1-P2-P3-P4 numaralı yaylara ait çökme miktarları	53
Şekil 4.15 3750 N kuvvet altında P1-P2-P3-P4 numaralı yaylara ait gerilme miktarları.	54
Şekil 4.16 3750 N kuvvet altında P1-P5-P6-P7 numaralı yaylara ait çökme miktarları.	55
Şekil 4.17 3750 N kuvvet altında P1-P5-P6-P7 numaralı yaylara ait gerilme miktarları.	56
Şekil 4.18 3750 N kuvvet altında P1-P8-P9-P10 numaralı yaylara ait çökme miktarları.	57
Şekil 4.19 3750 N kuvvet altında P1-P8-P9-P10 numaralı yaylara ait gerilme miktarları.	58
Şekil 4.20 ACP POST, PRE ve statik yapı alt programlarının birbiri ile olan bağlantıları.....	58
Şekil 4.21 ACP POST programının nümerik analiz yapılan kısmı.....	59
Şekil 4.22 Tsai-Wu kriterine göre TD1 durumundaki hasar analizi.	60
Şekil 4.23 Hashin kriterine göre TD1 deki hasar analizi	61
Şekil 4.24 Tsai-Wu kriterine göre TD2 deki hasar analizi.....	62
Şekil 4.25 Hashin kriterine göre TD2 deki hasar analizi	63
Şekil 4.26 Tsai-Wu kriterine göre TD3 deki hasar analizi.....	64
Şekil 4.27 Hashin kriterine göre TD3 deki hasar analizi	65
Şekil 4.28 Tsai-Wu kriterine göre TD4 deki hasar analizi.....	66
Şekil 4.29 Hashin kriterine göre TD4 deki hasar analizi	67
Şekil 4.30 Tsai-Wu kriterine göre TD5 deki hasar analizi.....	67
Şekil 4.31 Hashin kriterine göre TD5 deki hasar analizi	68

TABLO LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Tablo 3.1 Plakalar ve katkı oranları	33
Tablo 3.2 Plaka 1 ait mekanik özellikler.....	34
Tablo 3.3 Plaka 2-3-4 e ait mekanik özellikler	34
Tablo 3.4 Plaka 5-6-7 ye ait mekanik özellikler	34
Tablo 3.5 Plaka 8-9-10 a ait mekanik özellikler	35
Tablo 4.1 Çelik yayın nümerik analiz sonuçları	45

Sembol Listesi

KNT	:	Karbon Nanotüp
S	:	Şekil Değişirme Enerjisi
σ	:	Normal Gerilme (MPa)
ρ	:	Yoğunluk (g/cm^3)
E	:	Elastisite Modülü (MPa)
K	:	Kitosan
$^{\circ}\text{C}$:	Santigrat Derece
E_1	:	Fiber Doğrultusundaki Elastisite Modülü (MPa)
X^t	:	Fiber Doğrultusundaki Çekme Mukavemeti (MPa)
ν	:	Poisson Oranı
E_2	:	Fibere Dik Doğrultudaki Elastisite Modülü (MPa)
Y^t	:	Fibere Dik Doğrultudaki Çekme Mukavemeti (MPa)
E_x	:	Eksen Dışı Elastisite Modülü (MPa)
S_i	:	Tabakalararası Kayma Mukavemeti (MPa)
X^c	:	Fiber Doğrultusundaki Basma Mukavemeti (MPa)
Y^c	:	Fibere Dik Doğrultudaki Basma Mukavemeti (MPa)
mm	:	Milimetre
Vf	:	Fiber Hacimsel Oranı
ρ_c	:	Kompozitin Yoğunluğu (g/cm^3)
G_{12}	:	Kayma Modülü (MPa)
dak	:	Dakika
TD1	:	$[0^{\circ}]_{60}$
TD2	:	$[[0^{\circ}]_{15}/[90^{\circ}]_{15}]_s$
TD3	:	$[[0^{\circ}]_{10}/[90^{\circ}]_{10}/[0^{\circ}]_5/[90^{\circ}]_5]_s$
TD4	:	$[[0^{\circ}]_{10}/[90^{\circ}]_{10}/[45^{\circ}]_5/[-45^{\circ}]_5]_s$
TD5	:	$[[0^{\circ}]_5/[90^{\circ}]_5/[45^{\circ}]_{10}/[-45^{\circ}]_{10}]_s$
s	:	Simetri İndisi
F	:	Kuvvet (N)
hm	:	Hashin
tw	:	Tsai-Wu

ÖNSÖZ

Yüksek lisans çalışmam boyunca gerek proje aşamasında iken gerek sonuçların elde edilmesi konusunda bana bilgi ve tecrübeleri ile destek olan danışmanım Sayın Prof. Dr. Hasan ÇALLIOĞLU'na sonsuz teşekkürlerimi bir borç bilirim. Kıymetli ailem ve saygıdeğer arkadaşlarıma bu süreç içerisinde karşılaştığım zorluklara karşı beni yalnız bırakmadıkları için çok teşekkür ederim. Ayrıca süreç içerisinde numunelerin hazırlanmasında yardımcı olan Mikrofab Ltd. Şti. sahibi Sayın Özkur KURAN'a desteğinden ötürü teşekkürlerimi sunuyorum.

1. GİRİŞ

1.1 Ön Bilgi

Günümüz otomotiv üretim teknolojisinin de daha dayanıklı, daha hafif ve düşük maliyetli parçalar üretmek üzerine odaklanmıştır. Bu konuda birçok bilimsel çalışma yürütülmektedir. Çünkü otomotiv sektörü birçok sanayi dalının lokomotifidir. Bu sektörde yapılacak iyileştirmeler diğer sektörlerle de maddi imkân sağlayacaktır. Çalışmalar arasında en önemli unsur hafifliktir. Hafiflik sayesinde araçlarda emisyon azalması ve yakıt tasarrufu sağlamaktadır.

Yaprak yaylar, şaside bulunan ve yoldaki bozukluklardan dolayı meydana gelen doğrusal titreşimleri absorbe etmeye yarayan otomobil parçalarıdır (Kumar ve Vijayarangan 2007). Bu çalışma da günümüzdeki teknolojik ilerlemelere katkıda bulunmak adına, katkılı kompozit yaprak yaylara üç nokta eğme testleri nümerik olarak yapılacak ve sonuçlar birbirleri ile kıyaslanacaktır.

1.2 Tezin Amacı

Katkısız cam elyaf ve belirli oranlarda karbon nanotüp (KNT) ve/veya kitosan katkılı elyaf takviyeli kompozit plakalar üretilecek ve kompozit plakaların mekanik özelliklerinin tespiti için standartlara göre çekme ve bası testleri icra edilecektir.

Bir ticari program kullanılarak yaprak yay modelleneyecek ve malzemenin elde edilen mekanik özellikleri bu programda girilerek üç nokta eğme testinin nümerik analizi yapılacaktır. Nümerik analizlerde farklı fiber takviye açısı, tabaka dizilimi ve katkı oranları için bir iyileştirme yapılacaktır.

İyileştirme sonrasındaki veriler kullanılarak katkısız kompozit yaprak yaylar ve tokluğunu ve mukavemetini arttırmak amacıyla ağırlıkça belli oranlarda katılmış katkı oranlarının etkisi irdelenecektir. Katkılı ve katkısız yaprak yayların nümerik sonuçları elde edilerek katkı malzemesinin ve katkı oranlarının etkisi birbirleriyle kıyaslanacaktır.

1.3 Literatür Özeti

Günümüz otomotiv üretim teknolojisi daha dayanıklı, daha hafif ve düşük maliyetli parçalar üretmek üzerine odaklanmıştır. Otomotiv sektörü birçok sanayi dalının lokomotif konumunda olduğundan dolayı bu konular üzerine birçok bilimsel çalışma yapılmaktadır. Bu sektörde yapılacak iyileştirmeler diğer sektörlerle de maddi imkân sağlayacaktır. Çalışmalar arasında en önemli unsur hafifliktir. Hafiflik sayesinde araçlarda emisyon azalması ve yakıt tasarrufu sağlanmaktadır.

Yaprak yaylar, şaside bulunan ve yoldaki bozukluklardan dolayı meydana gelen doğrusal titreşimleri absorbe etmeye yarayan otomobil parçalarıdır (Kumar ve Vijayarangan 2007). Bu çalışmada günümüzdeki teknolojik ilerlemelere katkıda bulunmak adına, kompozit yaprak yay, nümerik olarak üç nokta eğme testleri yapılarak sonuçlar birbirleri ile kıyaslanacaktır.

1.3.1 Yaylar

Yaylar; mekanik enerji depolayan serbest bırakıldığı zaman depo ettiği enerjii aynı şekilde geri veren makine elemanıdır. Yaylardan beklenen en önemli özellik elastikiyettir. Çünkü yayların her baskıya uğradığında şekil bozukluğuna uğramadan eski haline geri gelmesi istenmektedir. Bu sebeple yaylar imal edilirken kullanılan malzemeler ve uygulanan işlemler buna göre seçilir.

Kullanım alanlarına göre farklı şekillerde imal edilen yaylar; helisel yaylar, disk yaylar, bilezik yaylar, kangal yaylar ve yaprak yaylar olmak üzere çeşitleri vardır. Mekanizmalarda hareketin sürekliliğini sağlamak, taşıtlarda yoldan gelen titreşimleri sönmüleyerek konforu sağlamak için kullanılırlar. Yaylar genellikle yay çeliğinden imal edilirler.

1.3.2 Yaprak Yaylar

Yol koşullarından kaynaklanan ani şok darbelerinin enerjisini depolayan ve bu sayede şasi ve aktarma organlarına iletilmesini engelleyen süspansiyon sistemi elemanlarıdır. Depoladıkları enerjiyi geri vererek yaylanmaları minimuma indirir ve maksimum konfor sağlar. Kullanım alanlarına göre tek katlı ya da çok katlı olarak kullanılabilirler. Parabolik yaprak yay, multi-parabolik yaprak yay, konvansiyonel yaprak yay, z tipi makas yay bunlardan bazılarıdır.

Yaprak yaylar, otomobil gibi hafif taşıtlar, ağır yük kamyonları ve demir yolu trenlerinde kullanılmaktadırlar. Süspansiyon görevlerine ek olarak fren torku ve motor torkundan dolayı araç aktarma organlarının karşılaştığı torkları absorbe etmek için de kullanılırlar (Venkateshan ve Devraj; 2012). Yaprak yayların helisel yaylara göre avantajı aracın gövdesi boyunca uzanarak enerji absorbe etmenin yanı sıra gövde elemanı gibi sapmaları da engellemesidir (Khurmi ve Gupta; 2005). Yaprak yaylar görevi gereği yüksek mukavemetli, yüksek yorulma ömürlü, korozyona karşı dirençli ve dayanıklı olmalıdır. Ayrıca çelikten imal edilmelerinden dolayı son zamanlarda yaprak yaylar da aracın hafifletilmesi amacıyla yeni malzeme arayışı sürmektedir. Çünkü çelikten imal edilen yaprak yaylar oldukça ağırdır. Bu dezavantajı ortadan kaldırmak için uygun malzeme arayışı hızla devam etmektedir.

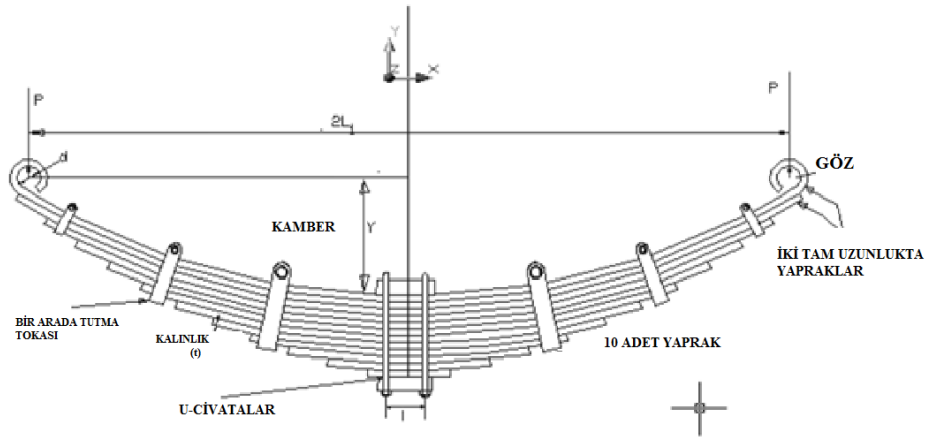
1.3.3 Çelik Yaprak Yaylar

Geçmişten günümüze kadar aktif halde kullanılan ve hala kullanılmaya devam eden parçalardır, tek katlı ve çok katlı yaprak yay olmak üzere 2 çeşidi vardır. Yaprak yaylar aksın sağ ve sol tarafına gelecek şekilde merkezlenerek monte edilirler. Yaprak yay araçlarla aynı doğrultuda olacak şekilde civatalarla aks merkezinden gelen şafta bağlanır. Bu sayede gelen bütün ani şok darbelerini sönmüleyerek aracın sürüşünü daha konforlu hale getirir. Şekil 1.1'de çok

katmanlı çelik yaprak yayın geometrisi görülmektedir.

Çelik yaprak yayların üretim süreci; yay çeliği barları öncelikle ezilerek yassı hale getirilir, sonra merkez delikleri delinir, son şeklini vermek ve ısı işleme tabi tutmak için yaklaşık 1050 derecelik fırınlarda ısıtılır. Yüzey hazırlığı ve yaya gerekli elastikiyeti sağlamak için son ısı işlemlere tabi tutularak yay da göz açmak için ısı işlem tezgâhına gider. Burada sağ ve sol tarafına birer adet göz açılıp montaj aşamasına gönderilerek son kullanıma hazırlanır. Ardından gerekli boya ve koruyucu banyolara sokularak kullanıma hazır hale gelirler (The Automotor Journal; 1912).

Çelik yaprak yaylara yüksek yükleme kapasitesi ve mukavemet kazandırmak için birçok sıcak şekil verme işlemine tabi tutulmaktadır. Çelik yaprak yaylar ısı işlemlerle kazandığı mukavemetten dolayı yüksek esneklik mesafesi ve yorulma dayanımına sahip olurlar. Çelik yaprak yaylar için genellikle %0.9-%1.0 oranında karbonlu çelikler kullanılır (Raghavedra vd.; 2012). Bunlardan bazıları EN45, EN45A, 60Si7, EN47, 50Cr4V2, 55SiCr7 ve 50CrMoCV4'dir (Patunkar ve Dolas; 2011).



Şekil 1.1 Çok Katmanlı Çelik Yaprak Yayın Geometrisi(Shankar ve Vijayarangan 2005)

1.3.4 Kompozit Yaprak Yaylar

Kompozit malzemeler, birden fazla malzemenin kimyasal bağlayıcılarla bir araya getirilmesiyle meydana gelen çok katlı malzemelerdir. Kompozit malzemeler otomotiv sektöründe yeni değildirlir. Uzun zaman önce farklı bölümlerde kullanılmışlardır. Bu malzemelerin yaprak yaylarda kullanılmasının nedeni yüksek mukavemetleri, düşük ağırlıkları, yüksek yorulma ömürleri, korozyon dirençleri ve düşük doğal frekansları ve yüksek yaylanma kapasitelerinden dolayıdır. Kompozit malzemelerin en önemli avantajları ağırlıklarıdır. Bununla birlikte çeliklere göre daha uzun ömürlüdürler. Bu avantajları sayesinde ilk olarak GM (GM, Detroit, Mich.) tarafından 1981 yılında tek katlı cam elyaf katkılı epoxy kompozit yaprak yayı, Chevrolet Corvette C4 otomobilinde kullanılmıştır. Bu sayede 18.6 kg çelik yaprak yayın yerine 3.7 kg kompozit yaprak yay kullanılarak 14.9 kg hafiflik sağlanmıştır.

Yaprak yaylar günümüzde farklı uygulamalar ile ağırlığı azaltılıp daha dayanıklı ve korozyona karşı dirençli malzemelerden üretilmektedir. Kompozit malzemelerin yaprak yaylarda kullanılan çeşitleri; A, C, E, S cam fiber, karbon fiber, kevlar fiber ve bor fiberlerdir.

Ismaeel (2015), polyester ve epoksi reçineli kompozit yaprak yayların statik yükleme analizlerini ve optimizasyonu üzerine çalışmıştır. Shankar ve Vijayarangan (2005) yaprak yaylarda %85 e yakın ağırlıkta azalmanın olduğunu görmüşlerdir ve tek katlı kompozit yaprak yaylar için aşağıdaki şekil değiştirme enerjisi formülünü vermişlerdir: S: Şekil değiştirme enerjisi, σ : Gerilme, ρ : yoğunluk, E: Elastisite modülünü ifade etmektedir.

$$S = \frac{1}{2} \frac{\sigma^2}{\rho E} \quad (1.1)$$

Ağırlıktan kazanç geçtiğimiz yıllar içerisinde otomotiv sektörünün en popüler konusu haline gelmiştir. Bu amaçla kompozit yaprak yaylar üzerine çalışmalar da yoğunlaşmaktadır. Rajagopal vd. (2014) çelik ve E-glass/epoxy yaprak yaylarının ağırlık, çökme ve eğilme gerilmelerini birbirleriyle

karşılaştırmışlardır. Çalışmalar sonucunda kompozit yaprak yayda çelik muadiline göre daha az çökme meydana geldiği ağırlıkça hafiflik sağlandığı tespit edilmiştir.

Al-Qureshi (2001), kompozit malzemelerden imal edilen otomobil yaprak yayları üzerine bir çalışma yapmıştır. Yapılan çalışmada kompozit yaprak yaylar ile çelik malzemeden yapılanlar kıyaslanmış ve kompozit yayların kazandırdığı avantajlar tartışılmıştır. Rajendran ve Vijayarangan (2001), Genetik Algoritma (GA) kullanarak yaprak yay dizaynını boyutsal olarak optimize etmişlerdir. Çelik ve kompozit yaprak yayların çökme ve gerilmeleri birbiriyle kıyaslanmıştır. Optimizasyon sonucunda çelik yaya göre %75.6 hafiflik sağladığı görülmüştür. Shokrieh ve Rezaei (2003), kompozit yaprak yayların analiz ve optimizasyonu bir paket program kullanılarak yapmışlardır ve birçok çalışmada kullanılan SAE-1080, 1095, 5151-60, 6150-60, 9250-60 gibi metal malzemelere göre %80 e yakın hafiflik sağlandığını tespit etmişlerdir. Patunkar ve Dolas (2011) kompozit yaprak yayların Sonlu Eleman Analizi (SEA) kullanarak statik yük altında modelleme ve analizini yapmışlardır. Çalışmada EN45, EN45A, 60Si7, EN47, 50Cr4V2, 55SiCr7 ve 50CrMoCV4 gibi malzemelerden yapılan metal yaylardaki çökme oranları karşılaştırılmıştır. Kumar ve Vijayarangan (2007) hafif taşıtlar için tasarlanan yaprak yayların yorulma ömürleri ve statik analizleri çelik yaprak yaylarla kıyaslanmıştır. Buna göre %67.35 daha az gerilme, %64.95 daha fazla rijitlik, %126.98 daha fazla doğal frekans ve %68.15 hafiflik elde etmişlerdir.

Güneş (2013), kompozit yayların üretim tekniklerinin geliştirilmesi üzerine çalışmıştır. 56 kat cam elyaf 4 kat karbon elyaftan imal edilen yaprak yayların en uygun dizayn olduğunu belirtmiştir. Öztoprak (2013), otomotiv sektöründe kompozit yaprak yay dizaynı için $[(0^\circ)_6G/(0^\circ)_2C/(0^\circ)_22G]_s$ şeklinde dizilen kompozit iki eksenli (örgülü) hibrit yaprak yaylarının en uygun olduğu belirtilmiştir.

Rajesh vd. (2016), düşük frekanslı darbe yüklemelere maruz kalmış yaprak yayların performansını incelemiştir. Karbon elyaflı yaprak yay (CFRP), cam-karbon elyaflı yaprak yay (G-CFRP), cam elyaf katkılı yaprak yay

(GFRP), karbon-cam elyaf katkılı yaprak yay (C-GFRP) ve cam elyaf ile başlayan ve karbon elyaf ile biten yaprak yay olmak üzere 5 farklı kompozit malzemedan üretilmiş yaprak yayların darbeli yükleme durumundaki çökmesi üniversal test cihazı kullanılarak üç nokta eğme testi ile elde edilmiştir. Darbeli yükleme altında kompozit yaprak yayların daha fazla çökmeye uğradığı görülmüştür.

Karpe vd. (2017), karbon/epoksi ve EN 47 çeliğinden yapılmış olan yaprak yayların konsol ve üç nokta eğme deneylerini artan yükler altında yaparak eğilme gerilmesini ve çökmesini karşılaştırmıştır.

2018 yılında piyasaya sürülen Volvo XC90 modeline ait kompozit yaprak yay Şekil 1.2'de görülmektedir. Yay Henkel ve Benteler-SGL firması tarafından üretilmiştir. Hibrit kompozit yaprak yay, cam elyaf ve karbon elyaf ile takviye edilmiş epoksi reçine kullanılarak imal edilmiştir. Volvo firması bu iyileştirme ile araca hafiflik, konfor ve güvenlik kazandırmıştır. (Henkel firması; 2017).



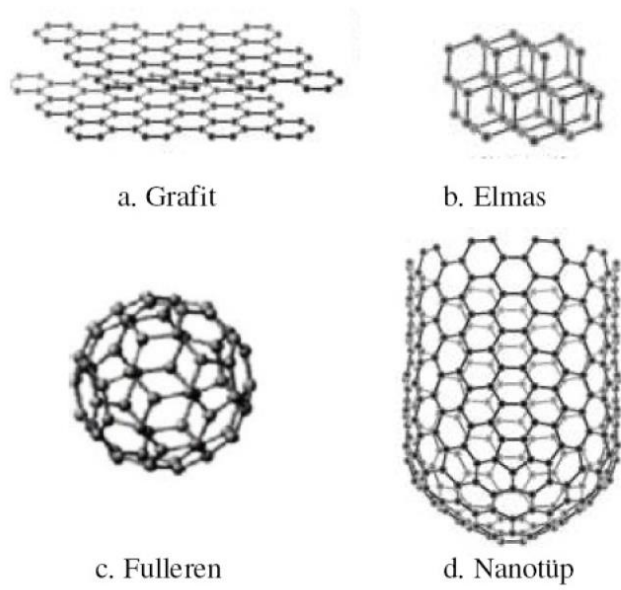
Şekil 1.2 Cam elyaf karbon elyaf epoksi kompozit yaprak yay (Henkel firması 2017)

1.3.5 Katkı Malzemeleri

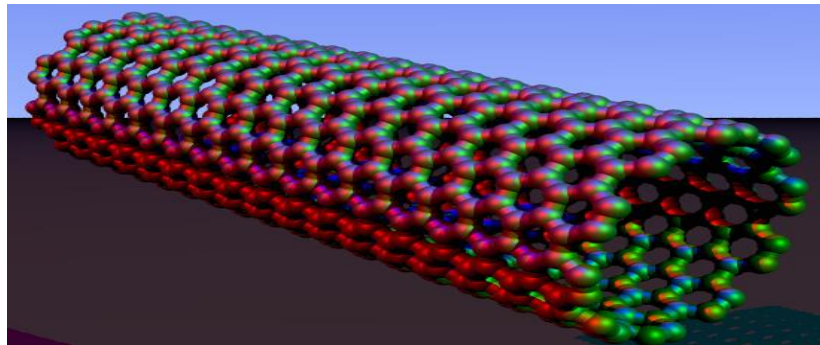
1.3.5.1 Karbon Nanotüp (KNT)

Karbon nanotüpler bilim dünyasıyla ilk defa 1991 yılında Lijima

tarafından tanıtılmıştır. Görüntü itibariyle karbon atomlarının bal peteği şeklinde oluşturduğu levhanın silindirik şekilde sarılmasıyla oluşturulur. Tek duvarlı ve çok duvarlı olmak üzere 2 çeşidi vardır. Çok duvarlıının en büyük avantajı ise üretiminin ucuz olmasıdır (Örs; 2017).Karbon nanotüpler duvar sayılarına göre tek duvarlı, çift duvarlı ve çoğul duvarlı olarak, kristal yapılarına göre ise grafit atomunun kristal yapı çeşitleri olan koltuk, zig-zag, kiral yapıda olmak üzere çeşitlere ayrılmaktadır. (Arı vd; 2012). Şekil 1.3'te grafit, elmas, fulleren ve nanotüplerin kafes yapıları gösterilmiştir. Şekil 1.4'te tek duvarlı karbon nanotüp (KNT) görülmektedir.



Şekil 1.3 Karbon Yapıları (Örs; 2017).



Şekil 1.4 Tek katmanlı karbon nanotüp (KNT) (Wikipedia, 2017)

Malekzadeh ve Shojaee (2013) ağırlıkça %0.11, 0.14 ve 0.17 oranlarında karbon nanotüp katkılı kompozit plakaların burkulma analizini

yapmışlardır.

Griebel ve Hamaekers (2004) ile Han ve Elliott (2007) ise sadece reçinenin özelliklerini geliştirmek için reçine içerisine karbon nanotüp katkı oranını %2-5 olarak almışlardır. Daha fazlasının ise malzemenin özelliklerine negatif özellikler kattığını belirtmişlerdir.

1.3.5.2 Kitin ve Kitosan:

Kitin selülozdan sonra dünyada en çok bulunan biyopolimerdir. Yengeç, istakoz, karides, kabuklu böcekler ve mantarlardan üretilmektedir. Kitin türevleri arasında en popüler olanı kitosandır. Kitosan, kitinin asetil içeriği azaltılmış türevidir ve potasyum hidroksit içerisinde 180° C destilasyona sokularak üretilmektedir. Kitosanın uygulama alanları; eczacılık, medikal, atık su arıtma, biyoteknoloji, kozmetik, gıda, tekstil ve ziraat şeklinde sıralanmaktadır (Demir ve Seventekin; 2009).

1.3.6 Kompozit Malzemeler

Kompozit malzemeler belirli bir amaca yönelik olarak en az iki farklı malzemenin bir araya getirilmesiyle meydana gelen malzeme grubudur. 3 boyutlu nitelikteki bu bir araya getirmede amaç bileşenlerin hiç birinde tek başına mevcut olamayan bir özelliğin elde edilmesidir. Daha basit malzemelerden daha üstün malzemeler elde etme yöntemidir (Yılmaz; 1990).

1.3.6.1 Kompozit Malzemelerin Genel Özellikleri

Uygulamada, kompozit malzeme üretiminde genellikle aşağıdaki özelliklerden birinin veya bir kaçının geliştirilmesi amaçlanmaktadır. Bu özelliklerin birkaçı,

- Mekanik dayanım, basınç, çekme, eğilme, çarpma dayanımı,

- Yorulma dayanımı, aşınma direnci,
- Korozyon direnci,
- Kırılma tokluğu,
- Yüksek sıcaklığa dayanıklılık,
- Isı iletkenliği veya ısı direnci,
- Elektrik iletkenliği veya elektriksel direnci,
- Akustik iletkenlik, ses tutuculuğu veya ses yutuculuğu,
- Rijitlik,
- Ağırlık,
- Görünüm

ve benzeri özellikler şeklinde sıralanabilir.

1.3.6.2 Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması

1. Elyafli Kompozitler
2. Parçacıklı Kompozitler
3. Tabakalı Kompozitler
4. Karma Kompozitler

1.3.6.3 Matris Malzemeleri

Kompozit yapılarda matrisin üç temel fonksiyonu vardır. Bunlar, elyafı birarada tutmak, yükü elyaflara dağıtmak ve elyafı çevresel etkilerden korumaktır. İdeal bir matris malzemesi başlangıçta düşük viskoziteli bir yapıda iken daha sonra elyafı sağlam ve uygun bir şekilde çevreleyebilecek katı forma kolaylıkla geçebilmelidir. Kompozit imalatında kullanılan bazı matris malzemeleri olarak polyeater, epoksi, vinilester, fenolikler, silikon, polyamid, poliüretan sayılabilir (Onat; 2015).

1.3.7 Genel Literatür Taraması

Fan vd. (2010) grafen katkıli kitosan kompozitlerin mekanik özelliklerini ve biyolojik olarak uyumluluğunu test etmişlerdir. Bu çalışmada kitosan kompozitlerin içine %0, 0.1, 0.2, 0.3, 0.6, 2.3 arasında grafen takviyesi yapılmıştır. Bu çalışmada %0.1 ile %0.5 arası değerlerin daha uygun sonuçlar verdiği hatta en iyi sonucun %0.1-0.3 arası numunelerde olduğunu söylemişlerdir. Elasite modülü ve sertlik değerleri karşılaştırılmış ve elde edilen sonuçlarda kitosan içine grafen katkısı yapılmış elastisite modülü %200 artmıştır.

Wang vd. (2005), kitosan/karbon nanotüp (ÇDKNT) reçineli kompozitlerin hazırlanması ve mekanik özelliklerini incelemişlerdir. Bu çalışma sonucunda saf kitosan kompozitlere kıyasla çekme modülü ve mukavemeti yaklaşık olarak %93 ve %99 geliştirilmiştir.

Meatto ve Pilpel (1999) tarafından yapılan çalışmada standart çok yapraklı çelik yaprak yay ile Hibrit tek katlı yaprak yay karşılaştırılmıştır. Yapılan çalışmalarda hibrit yayın mukavemet özellikleri çelik yay ile kıyaslanarak özellikle otomobiller ve hafif ticari araçlarda kullanılması durumunda elde edilecek avantajlar irdelenmiştir. Çalışmanın sonunda hibrit tek katlı kompozit yaprak yayın gerek tasarımsal kazanımlar gerek ağırlık avantajının yanında maksimum çökme noktası, yorulma ve sürünme dayanımının da önemli ölçüde avantaj sağladığı kanıtlanmıştır.

Sancaktar ve Mathieu (1999) tarafından yapılmış çalışmada güneş enerjisi ile çalışan hafif araçların süspansiyon sistemlerinde E cam fiberden imal edilmiş yayların kullanımının avantajları irdelenmiştir. Araçlara özel tasarlanan yay tek yönlü E cam fiber ile imal edilerek araç üzerinde kullanılmıştır. Böylece büyük oranda hafiflik sağlanmıştır.

Yu vd. (2000) yaptıkları çalışmada 15 adet tek duvarlı karbon nanotüp ipliklerine çekme deneyi uygulayarak ortalama değerleri belirlemişlerdir.

Uygulanan modellerle birlikte karbon nanotüp ipliklerinin mukavemet değerleri önceki değerlerle karşılaştırılarak sonuçlar değerlendirilmiştir.

Yu ve Lourie vd. (2000) yaptıkları çalışmada 19 adet çoğul duvarlı karbon nanotüp çekme testi altındaki dayanımlarını karşılaştırmışlardır. Taramalı elektron mikroskopu altında yapılan çekme testleri sonucunda çekme dayanımlarının 11-63 GPa arasında olduğu, çekme testleri sonucu elastisite modüllerinin ise 270-950 GPa olduğu belirlenmiştir.

Qureshi (2001) tarafından yapılan çalışmada otomobil endüstrisinde popülerleşen cam elyaf yaprak yayların günümüz çelik yaylarının yerini alması konusu ele alınmıştır. Öncelikle farklı kalınlıkta ve benzer mekanik özelliklerdeki cam elyaf yaylar çelik yaylarla aynı mekanik testlere sokulup sonuçlar ışığında cam elyaf katkılı tek tabakalı yaprak yay üretilerek yol testine tabi tutulmuştur. Yapılan çalışmada kompozit yaprak yayın çelik yaydan daha iyi yorulma ömrü olduğu tespit edilmiştir. Çalışmada, gereksinimleri sağladığı takdirde kompozit yaprak yayların hafiflik açısından çelik muadilleri yerine kullanılabilceğini göstermiştir.

Shokrieh and Rezaei (2003) yaptıkları çalışmada hafif bir ticari araçta kullanılmak üzere üretilmiş 4 yapraklı çelik yaprak yayla Cam fiberden ve epoksi reçineden üretilen kompozit yaprak yay karşılaştırılmıştır. ANSYS® programında analiz edilerek özellikleri belirlenen ve dizaynı gerçekleştirilen yaprak yay benzer mekanik testlere tabi tutularak metal yaprak yayla kıyaslanmıştır. Testler sonucunda optimum yay genişliği hiperbolik olarak azaldığı ve aks gözlerine doğru kalınlığının doğrusal olarak arttığı görülmüştür. Çelik yayla kıyaslandığında kompozit yayda daha az gerilme oluştuğu, daha fazla doğal frekans oluştuğu ve %80 oranında ağırlıkta hafifleme olduğu tespit edilmiştir.

Gojny vd. (2004) yaptıkları çalışmada çift duvarlı karbon nanotüp katkılı epoxy kompozitlerin sertlik ve kırılma mukavemetinin iyileştirilmesini irdelemişlerdir. Karbon nanotüp katkısı %0,1 olarak elle yatırma yöntemiyle kompozitler imal edilmiştir. Bu kadar az katkı oranına rağmen elastisite modülü

ve gerilmede iyileşme gözlenmiştir. Buna ilaveten nanotüp katkısı sayesinde kırılma tokluğunda da iyileşme gözlemlenmiştir.

Gojny vd. (2005) yaptıkları çalışmada çeşitli tiplerdeki nanotüplerin epoksi kompozitler üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Çalışmadaki odak noktası farklı tipteki nanotüplerin yüzey fonksiyonelliğine olan etkisidir. Ayrıca bu çalışma ile epoksi bazlı kompozitlerin mekanik özelliklerinde farklı tipte nanotüp kullanılmasının da etkileri irdelenmiştir. Nanotüp katkılı olarak imal edilmiş epoksi kompozitlerin dayanımı, sertliği ve kırılma tokluğunun geliştirildiği yapılan çalışmada gözlemlenmiştir.

Shankar ve Viyayarangan (2006) yaptıkları çalışmada elle yatırma yöntemi ile imal ettikleri tek yönlü cam fiber takviyeli kompozit yaprak yayı çelik yaprak yayla kıyaslayarak avantajlarını tespit etmişlerdir. Bu çalışmanın amacı maliyeti düşük tek parça imal edilmiş kompozit yaprak yay ile muadil çelik yayı kıyaslamaktır. Çelik yayla benzer parametrelerde ve değişken kalınlıkta cam fiber katkılı kompozit yaprak yay imal edilmiştir. Analizler için C dilinde sabit bilgisayar algoritmaları kullanılmıştır. Çalışma sonucunda yayın kalınlığı hiperbolikliği düşürmekte ve kalınlığı doğrusallığı sağlamaktadır. ANSYS® analizleri çökme ve gerilme sonuçları analitik ve deneysel yöntemlerle benzerlik göstermektedir. Dizaynın gerilme, hasar kriterlerinde ve yer değiştirmede etkili olduğu gözlemlenmiştir. Çelik yayla kıyaslandığında kompozit yay daha az gerilmeye maruz kalmakta, doğal frekansı daha yüksek ve %85 oranında hafiflik sağlamaktadır.

Patunkar ve Dolas (2011) yaptıkları çalışmada ağırlık avantajları ve dayanıklılıkları yüzünden kompozit yaprak yayların avantajlarını irdelemişlerdir. Çalışmada günümüz çelik yayların yerini alan kompozit yaprak yayların mekanik analizleri yapılmıştır. Bunun için de öncelik cam elyaf katkılı kompozit yay imal edilmiştir. Ardından analizleri yapabilmek için ANSYS® yazılımı kullanılmıştır. Statik yüklemelere tabi tutulan çelik yayın sonucu tasarımı yapılan kompozit yay ile kıyaslanmıştır. Sonuçlara göre kompozit yaprak yayların çelik yaylara göre çökme miktarı daha azdır. Yapılan tartımlar sonucu ağırlıkta %84,40 oranında hafiflik sağlanmıştır. Maksimum ve

minimum statik yükler altındaki kompozit yaprak yay, daha iyi karakteristik özellikler göstermiştir. Analizler sonucunda kompozit yaprak yay düzgün ve yüksek performans istenen yollarda kullanılabilirken bozuk ve çakıllı yollarda düşük direnç yüzünden tercih edilmeyebilir.

Kumar ve Teja (2012) yaptıkları çalışmada çelik yaprak yayla E cam fiberden imal edilmiş epoksi kompozit yaprak yayı kıyaslamıştır. İmal edilecek yay kıyaslama yapılacak çelik yay ile aynı parametrelerde seçilerek Pro/E programında modellenmiş ve ANSYS® Metafizikte analizleri yapılmıştır. Yapılan analizler sonucunda kompozit yay ile çelik yaydaki çökme miktarları hemen hemen aynıdır. Dolayısıyla benzer eğilme rijitlik değerlerine sahip oldukları söylenebilir. Ayrıca ağırlık kıyaslaması yapıldığında kompozit yaprak yay %60,48 oranında hafiflik sağlamıştır. Yapılan analizlerde doğal frekans seviyesi konforlu bir yolculuk yapabilmek için 1,7444 ve 1,7449 Hz seviyesinde çıkmıştır. Ayrıca yayın boyuna doğrusal yönde imal edilmesi hem sağlamlığı hem de güvenlik faktörü açısından fayda sağladığı gözlemlenmiştir.

Mahesh vd. (2012) yaptıkları çalışmada iki adet tek katlı yaprak yayı Maruti 800 aracında deneyerek sonuçları karşılaştırmışlardır. Kompozit ve çelik malzemelerden imal edilen yaprak yayların araç üzerinde kullanıldığında sağladığı avantajlar irdelenmiştir. Sağlamlık ve maliyet yönünden en avantajlı yöntemler seçilerek imal edilen yaprak yay özellikle hafiflik konusunda avantajlı durumda olduğu gözlemlenmiştir. Çalışmalar sonucunda kompozit yaprak yayın hem daha sağlam hem de daha ekonomik olduğu gözlemlenmiştir. Sonuç olarak EN47 den imal edilmiş çelik yaprak yay kompozit malzemedan imal edilmiş yaprak yayla kıyaslanmış kalınlık faktörünün etkili olduğu tespit edilmiştir.

Venkatesan ve Devaraj (2012) hafif araçlara uygun kompozit yaprak yayların dizaynı ve analizi üzerinde çalışmışlardır. Çalışmada çelik yerine E cam fiberden imal edilmiş kompozit yaprak yayın yük taşıma kapasiteleri, sertlikleri ve hafiflikleri karşılaştırılmıştır. Yapılan analizler sonucunda kompozit yay çelik yayla kıyaslandığında %67,35 daha az gerilme, %64,95 daha sert ve %126,98 daha fazla doğal frekansı olduğu tespit edilmiştir. Yapılan

testler sonucunda kompozit yaprak yayın çelik yaydan %76,4 daha hafif olduğu tespit edilmiştir.

Soner vd. (2012) yaptıkları çalışmada günümüzde kullanılan çelik yaprak yaylar ile kompozit yaprak yayları karşılaştırmışlardır. Özellikle hafifletme, mekanik performansları ve yorulma ömürlerinden dolayı günümüz çelik yaylarının yerini alması gerektiğini çalışmalarında belirtmişlerdir. Çalışmada özellikle yorulma ömürleri kıyaslanarak irdelenmiştir. Oldukça popüler olan bu konu ile ilgili üretici firmalarında gelecekteki çalışmaları ve kompozit yaprak yayın günümüzde yaygınlaştırılması adına yapılmış bir çalışmadır.

Narayana (2012) yaptığı çalışmada tek parça kompozit yaprak yayın dizayn ve analizini irdelenmiştir. Çalışmanın asıl amacı kompozit malzemelerin çelik muadillerine göre sağladığı hafiflik avantajı ve dayanıklı yapılarıdır. Bu iki olgu üzerinden muadil çelik yay ile kıyaslamaları yapılmıştır. Mevcut çelik yaprak yayın yerini alabilmesi adına kompozit yaprak yayın sahip olması gereken tüm özellikler ANSYS® programında analiz edilmiştir. Bu çalışmada asıl amaç mevcut çelik yaprak yayın yerini alarak hafiflikten kazanç sağlayabilmektir. Tek yapraklı E cam fiber epoksi kompozit yaprak yay dizayn parametreleri muadil çelik yayla aynı alınarak Pro/E programı vasıtasıyla modellenmiş ve ANSYS® programında analizleri tamamlanarak çelik muadili ile kıyaslanmıştır. Analizler sonucunda kompozit yaya en uygun yükleme tipi, levha kalınlığı ve tabakaların fiber takviye açıları belirlenmiştir. Analizler sonucunda kompozit yayda meydana gelen çökme miktarı ve gerilmeler kabul edilebilir seviyede ve iyi bir güvenlik faktöründe olduğu tespit edilmiştir. Katmanları oluştururken fiber yönünün yaprak yayın boylamasına olması yaya sağlamlık kattığı tespit edilmiştir. Optimum katman dizisi yaprak yayın boylamı boyunca ve tek yönlü şekilde olması gerektiği tespit edilmiştir. Ağırılıkta hafifletme yönünden E cam fiber epoksi kompozit yaprak yay çelik yaprak yay göre %72,4 oranında avantajlıdır.

Roy ve Saha (2013) yaptıkları çalışmada yaprak yayların yer değiştirme tepkilerinin serbest uçta enine yüklerin sapmalarının sayısal analizleri ile

ilgilidir. Farklı malzeme özellikleri ve uzunluklara sahip çubukların serbest uçtaki çökmeleri, toplam potansiyel enerjiyi azaltma tekniği ile gerilme, şekil değiştirme ve eğilme momenti değişimi analiz edilmiştir. Farklı matematik formülleri kullanılarak farklı yüklemelerde üstel ve parabolik dağılım metodları ile MATLAB’ da analiz edilmiştir. Serbest uç yer değiştirmesi ve deneyde kullanılan çubuğun boyunun kısaltılması elastisite modülü değerindeki değişikliklerden büyük ölçüde etkilendiği gözlemlenmiştir.

Saini vd. (2013) hafiflik ve sağlamlığı arttırmak adına çelik yaprak yay yerine kompozit yaprak yay kullanımı üzerinde çalışmışlardır. E cam fiberden imal edilmiş epoksi kompozit yaprak yay yanında, karbon epoksi ve grafit epoksi kullanılarak üretilmiş kompozit yayların çelik yaprak yayla kıyaslanması gözlemlenmiştir. Rijitlik dizayn şartı olarak alınmıştır. Yüksek dayanımları, düşük ağırlık oranları ve yüksek korozyon direnci yüzünden kompozit malzemeler tercih edilmiştir. Kompozit malzemelerdeki yer değiştirmelerin çelik yaydan daha fazla olduğu gözlemlenmiştir. Von Mises gerilmeleri kıyaslandığında sadece grafit epoksi kompozit yayın çelik yaydan daha yüksek sonuç verdiği gözlemlenmektedir. Çalışmanın ana konusu olan ağırlık hafifletme sırasıyla E cam fiber de %81,22, %91,95 grafit epoksi de ve %90,51 karbon epoksi de görülmektedir.

Kingston vd. (2014) polimer kompozitlerin çoğul duvarlı karbon nanotüp katkılı hale getirildikten sonra çevreye nano partikül salınımlarını incelemişlerdir. Özellikle çoğul duvarlı karbon nanotüp sağladığı mekanik özelliklerdeki gelişme ve iletkenlik gibi artıları yüzünden popüler olarak kullanılmaktadır. Bu çalışmada 5 farklı polimer tipini, epoksi, polyamid, poliüretan, polietilen ve polikarbonatın çoğul duvarlı karbon nanotüple kompozit hale getirilmesi sonucu oluşan polimer bozukluklarını irdelemişlerdir. Sonuç olarak çoğul duvarlı karbon nanotüplerin tipik salınımlarının, ilgililer tarafından çok fazla talep görmeyeceği belirtilmiştir.

Krall ve Zemann (2015) karbon fiber takviyeli kompozit yaprak yayların dinamik davranışları ile ilgilenmişlerdir. Ayrıca deneysel modal analizde yapılarak 2 farklı yöntemde ele alınmıştır. Yapılan çalışmada kullanılan çelik ve

kompozit yaprak yayların rezonans frekanslarını test etmek için sallama ve darbe testlerini kullanmışlardır. Yapılan çalışmanın sonucu olarak çalkalama uyarımı yöntemi malzeme özelliklerinin tayin edilmesi ve dinamik karakteristiğın belirlenmesi için kompozit yaprak yaylar gibi hafif malzemeler için en iyi yöntem olduğunu belirtmişlerdir.

Kumar ve Aggarwal (2015) yaptıkları 3 katlı çelik parabolik yaprak yayın yorulma ömrünü tayin edebilmek için 3 farklı analiz yöntemi kullanmışlardır. Ayrıca Goodman yaklaşımı ile hasar analizi yapılmıştır. Çalışmada öncelikle 3 katlı çelik yaprak yay ömür test makinasında teste tabi tutulmuştur. Ön görülen değerleri nümerik olarak test etmek için Ansys yazılımı kullanılmıştır. Sonuç olarak kullanılan 3 yöntem ile nümerik analizler kıyaslandığında, SAE analizinde ömür değerlerinde yaklaşık %3,66 fark olduğu ve kabul edilebilir bir değer olduğu görülmektedir. CAE analizinde ise ömür değerinde yaklaşık olarak %6,54 fark olduğu ve kabul edilebilir bir değer olduğu görülmektedir. Eşdeğer değişken gerilmenin CAE analiz yönteminde 705,97 MPa olduğu ve güvenli bölgenin altında olduğu belirtilmiştir.

Karupiah vd. (2015) yaptıkları çalışmada hafifletmenin yanı sıra kompozit yaprak yayların sağlamlığını nanopartiküller ile desteklemeyi irdelenmiştir. Cam fiber, epoksi reçine ve nanokil katkılı kompozit yaprak yay günümüz çelik yayı ile yükleme kapasiteleri, sertlik ve hafiflik miktarları üzerinden karşılaştırılmıştır. Yapılan testler ile katkılı kompozit yayların katkı oranlarının etkisi irdelenmiştir. Çalışma sayesinde kompozit yayın sonlu elemanlar modeli geliştirilmiştir. Kompozit malzemeler ile imal edilen yaprak yaylar çelik muadillerine göre daha iyi sonuçlar vermiştir. Fiziksel testlerle yayların statik yükleme kapasiteleri, nümerik metot ile gerilme ve çökme oranları kıyaslanmıştır. Yaklaşık olarak %85 oranında hafiflik sağlanmıştır. Bunun yanında kompozit yaprak yayda çeliğe göre oldukça az gerilme meydana gelmektedir.

Qian vd. (2017) kompozit yaprak yayların yorulma güvenilirliği test etmişlerdir. Kompozit yaprak yay ömür testine tabi tutulmak için temel kumaş kat düzeni temeline göre optimize edilmiştir. Sonuçlarda görüldüğü kadarıyla

kumaş kat düzeni değiştirilerek kompozit yaprak yayın yorulma ömrü geliştirilebilmektedir. Sonuç olarak kat sırası, eğer kompozit yaprak yayın test esnasında meydana gelen yorulma çatlakları üzerinde değiştirilip optimize edilirse yorulma ömrüne önemli ölçüde etkisi olduğu görülmektedir. Nümerik analizlerle belirlenen çatlak noktaları yine nümerik yöntemlerle kat sırası revize edildiğinde o kısımlarda meydana gelen yorulma çatlaklarının önüne geçildiği için yorulma ömrü iyileştirildiği yapılan çalışmalarda gözlemlenmiştir. Yapılan kat düzenlemelerinde sertlik değeri etkilenmiş olup önceki hale göre % 0,58 farklı sonuç elde edilmiştir. Deneysel hasarlar göz önüne alındığında bu değer oldukça az olduğu için kat sıralamasında meydana gelecek değişikliklerin etkisi olmadığı fikrine varılmıştır. 540.000 yüklemeden sonra ömür test cihazında, hiçbir çatlak, delaminasyon ve kırılma gözlemlenmemiştir. Bunun sebebi katların sırasında yapılan değişikliklerdir. Yapılan testlerden sonra yorulma test cihazında, yapılan değişiklikler sebebi ile 50.000 defa daha fazla tekrar yapıldığı görülmüştür.

Gopalakrishnan vd. (2017) yaptıkları çalışmada E cam fiber, karbon epoksi ve grafit epoksiden 3 farklı yaprak yay imal etmişlerdir. Üretilen kompozit yaylar vakum infüzyon yöntemi ile üretilmiştir. Sonuçlar irdelendiğinde yaprak yayın kumaş tipi yayın sertliğine oldukça etki etmektedir. Elastisite modülü farkları ile bu gözlemlenebilmektedir. Yapılan çalışmada üretilen hibrit yaprak yayın E cam fiberin yanında karbon ve grafit fiberleri takviyesi sayesinde yayın rijitliği iyileştirilmiştir. Üretilen hibrit yayın katkılarının fiber açıları, sertliğin yanında plakalararası kayma mukavemetine etki ettiği yapılan çalışmada gözlemlenmiştir.

Thippesh (2018) hibrit kompozit yayın çökme, hafiflik ve dayanıklılık parametrelerini irdelenmiştir. Hibrit kompozit yaprak yay imal edilirken elle yatırma yöntemi kullanılmış ve ahşap kalıp kullanılmıştır. Kompozit yayın yapılan tek noktadan basma testinde çelik yaya göre daha az çökme miktarının olduğu gözlemlenmiştir. Kompozit yay çelik yayla kıyaslandığında %80 e yakın hafiflik sağlamıştır. Üç nokta eğme testinde 7,7 kN kuvvet altında daha az eğilme ve daha az çökme olduğu tespit edilmiştir.

Palani vd. (2018) karbon epoksi kompozit malzemelerinden imal edilmiş kompozit yaprak yayın, çelik yaprak yaya göre kıyaslaması bir askeri jeep üzerinde test edilmiştir. Çalışmanın asıl amacı 2 farklı kompozit malzeme olan E cam fiber epoksi ve karbon epoksiden imal edilmiş kompozit yaprak yayların çelik muadillerine göre kıyaslanmasıdır. Dayanıklılık, hafiflik ve ömürleri test edilmiştir. Çelik yerine kompozit malzemelerin kullanılması %85 oranında hafiflik sağlamıştır. Yapılan numerik analizler sonuç olarak kompozit yayın tek katlı olmasına rağmen yeterli dayanıklılığa sahip olup oldukça yüksek oranda hafiflik sağladığı tespit edilmiştir. Von Mises gerilme miktarı E cam fiberden imal edilmiş kompozit yaprak yayda çelik muadiline göre az olduğu görülmüştür. Ayrıca bu malzeme sayesinde %84 oranında hafiflik sağlamıştır. Yorulma analizleri sonucundan E cam fiber kompozit yaprak yayın kullanım faktörünün oldukça minimum değerde olduğu gözlemlenmiştir.

Ashwini ve Rao (2018), birden fazla farklı varyasyonda kompozit malzemedan cam ve karbon tabanlı ya da hibrit kompozit yaprak yaylar imal ederek onları hem fiziksel test makinalarında hem de nümerik analizlerini yaparak muadil çelik yaylar ile kıyaslamışlardır. Yapılan çalışmalarda ağırlıkta, gerilmede, titreşimde azalma ve mukavemetinde, yorulma ömründe ve sürüş konforunda artış gözlemlenmiştir. Çalışmalar sonucunda kompozit malzemelerden imal edilmiş yaprak yayların çelik muadillerine göre oldukça iyi sonuç gösterdiği görülmektedir.

Adesina vd.(2019), doğal fiber katkısının kompozit malzemeler üzerindeki mekanik etkisini araştırmışlardır. Yapılan çalışmada çeşitli varyasyonlar da katkı malzemeleri ve doğal fiber katkıları, otomotiv sektörünün aradığı hafifliğin aslında çevre kirliliğini azalttığı kadar doğal fiber kullanımı sayesinde insan sağlığına zararsız, düşük yoğunluk, geri dönüştürülebilir olması konusunda da etkisi olduğu görülmektedir. Üretilen kompozit tampon kirişi plastik muadiline göre daha çevreci daha az maliyetli daha az sağlığa zararlı olduğu ayrıca geri dönüştürülebilir olduğu çalışmadan çıkarılan sonuçlar arasındadır. Yapılan çalışmalarda sertleştirme katkılarının doğal fiber kompozitlerde muadil plastik ve yapay malzemelere göre daha az etki edip daha az sertlik sağladığı görülmüştür. Ancak çarpma testlerinin nano kompozit

malzemelerin darbe noktaları incelendiğinde daha iyi sonuçlar verdiği görülmüştür.

Çallıoğlu ve Kavla (2019) yaptıkları çalışmada katkılı ve katkısız kompozit yaprak yayların mekanik davranışlarını incelemiştir. Öncelikle katkılı ve katkısız kompozit plakalar üretilmiştir. Ardından plakalar ASTM standartlarına göre mekanik testlere tabi tutulmuştur. Test sonuçlarından elde edilen bilgiler nümerik analizlerde kullanılacak yaprak yayların malzeme özellikleri olarak kullanılmıştır. Nümerik analizler sonucunda katkısız kompozit yayların katkılı kompozit yaylardan daha mukavemetli olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca çelik muadiline göre daha hafif olduğu tespit edilmiştir.

2. KOMPOZİT PLAKALARIN İMALATI VE NUMUNELERİN HAZIRLANMASI

2.1 Kompozit Plakaların İmalatı

Katkılı kompozit plakalar, F-RES 21 epoksi reçine, tek YÖNLÜ cam kumaş ve ağırlıkça farklı oranlarda Kitosan (K) ve Karbon nanotüp (KNT) dolgu malzemeleri kullanılarak imal edilmişlerdir. K için dolgu oranları %1 artış ile %1'den %3'e kadar iken KNT için ise %0,1 artış ile %0,1 ve %0,3 aralığındadır. K ve KNT nin birlikte olduğu hibrit dolgu oranı ise %1 K-%0,3 KNT, %2 K-%0,3 KNT ve %3 K-%0,3 KNT'dir. Şekil 2.1'de katkı malzemelerinin hasas terazi ile tartımı gösterilmiştir. Katkısız kompozitlerin mekanik özellikleri ile katkılı kompozitlerin mekanik özelliklerini karşılaştırmak için kompozit plakalar imal edilmiştir.



Şekil 2.1 Kitosan (K) ve karbon nanotüp'ün (KNT) hasas terazi ile tartımı

Kullanılan malzemelerin özellikleri ve kompozit plaka imalatı aşağıda açıklanmıştır:

Katkı malzemeleri, %88 deasitilatlı, yüksek yoğunluklu, 1-2 µm tanecik boyutlu karides kabuğundan çıkartılmış kitosan (Sigma-Aldrich, USA) ve küçük çok duvarlı karbon nanotüp (KNT) (S-MWCNT-OH) (Ege nanotek aracılığı ile alınmıştır, Türkiye). KNT %98 saflığa, ağırlıkça %1.76 -OH içeriğine, 10-20 nm dış çapa, 5-1- nm iç çapa ve 0,5-2,0 boya sahiptir.

Tek eksenli cam kumaşlar 330 gr/m² alansal ağırlığa (0° doğrultusunda 1200 tex cam fibere, 90° doğrultusunda 68 tex cam fibere ve 76 dtex dikiş fiberine sahiptir).

Solvent tipli prepreg reçine F-RES 21 (Fibermak Kompozit, Türkiye) matris olarak kullanmıştır. O düşük viskoziteye ve yüksek fiber ıslatma özelliğine sahiptir ve bunlara ek olarak 90 °C den 150 °C ye kadar geniş bir kütleme aralığına sahiptir. Sertleştirici olarak F-HARD 22 (Fibermak Kompozit, Türkiye) kullanılmıştır. Reçine ve sertleştirici olarak ağırlıkça karıştırma oranı 21/100'dür. Jelleştirme süreci 80°C'de 30-60 dakikadır.

Karıştırma işlemi öncesi reçine, sertleştirici, aktivatör ve dolgu (katkı malzemeleri) şeffaf plastik kaplara alınmışlardır (Şekil 2.2).



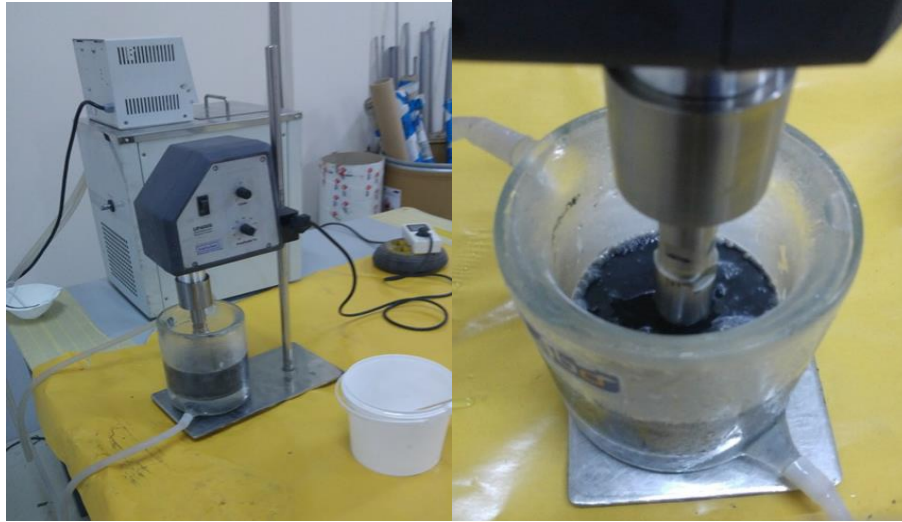
Şekil 2.2 Karıştırma işlemi öncesi hazırlanmış katkıli reçineler

Dolgular ultrasonik karıştırma işleminde yapısal olarak birlikte olma eğiliminde oldukları için epoksi reçine içine eklenen dolgular, bir ultrasonik karıştırıcı (Hielscher Ultrasound Technology UP400S, Almanya) ile epoksi reçine içerisinde homojen olarak dağıtılmıştır. Topaklanan dolgular, ses dalgaları ile epoksi reçine içerisinde dağıtılmış ve ayrılmıştır. Karıştırma esnasında oluşan ısı reçine içerisindeki dolguların homojen dağılımını engellemektedir. Bu nedenle, karıştırmada oluşan ısı soğuk sulu bir sirkülatör (Labo SM3, Türkiye) kullanılarak önlenmiştir ve böylece, dolguların homojen

bir dağılımda olması sağlanmıştır. Karıştırma işlemi esnasında, dolgulu reçinelerin sıcaklıkları 45 °C'yi geçmeyecek şekilde Şekil 2.3 te görüldüğü üzere ısı ölçerle kontrol altında tutulmuştur. Bu nedenle, Şekil 2.4'de görüldüğü gibi karıştırma işlemi 15 dakika karıştırma, 5 dakika bekleme ve sonra tekrar 15 dakika karıştırma şeklinde uygulanmıştır. Ultrasonik karıştırıcının Saykıl değeri: 1, Amplitude: %65 olarak ayarlanmıştır.



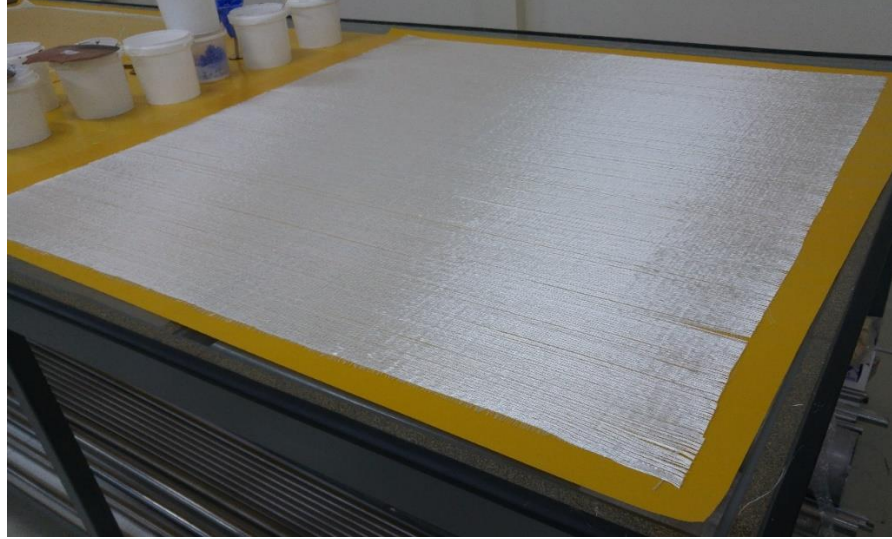
Şekil 2.3 Karıştırma işlemi esnasında sıcaklığın kontrol altında tutulması



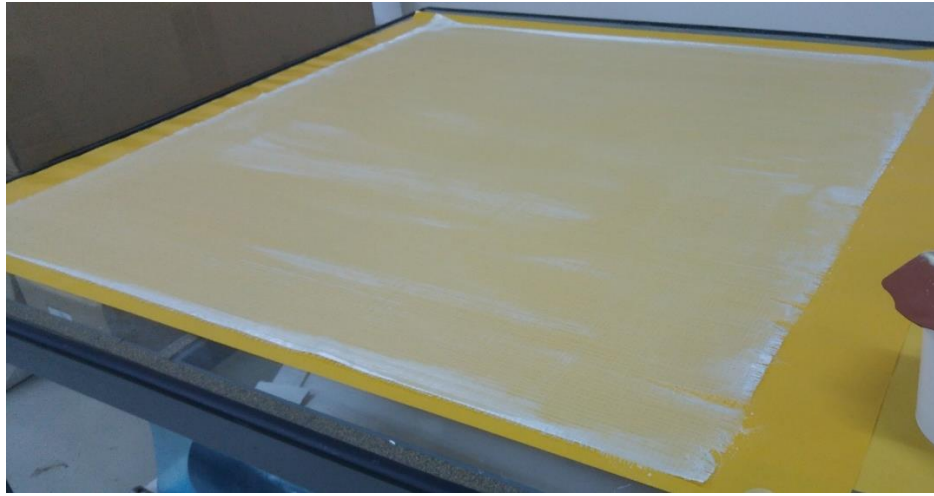
Şekil 2.4 Karıştırma işlemi a) Soğutma su sirkülatörlü ultrasonik karıştırıcı, b) Reçine içerisine dolguların eklenmesi sonrası karıştırma

Altına silikonlu kâğıt konan cam fiber kumaşlar 1250mm x 1250mm ebatlarında kesilerek masa üzerine Şekil 2.5 de görüldüğü gibi serilmiştir. Cam fiber kumaşlara reçineler el yatırması yöntemi ile sürülmüştür ve böylece

prepregler oluşturulmuştur. Şekil 2.6 reçine sürülmüş kumaş görülmektedir.



Şekil 2.5 Cam fiber kumaşların serilmesi



Şekil 2.6 Cam fiber kumaşlara reçinenin sürülmesi işlemi

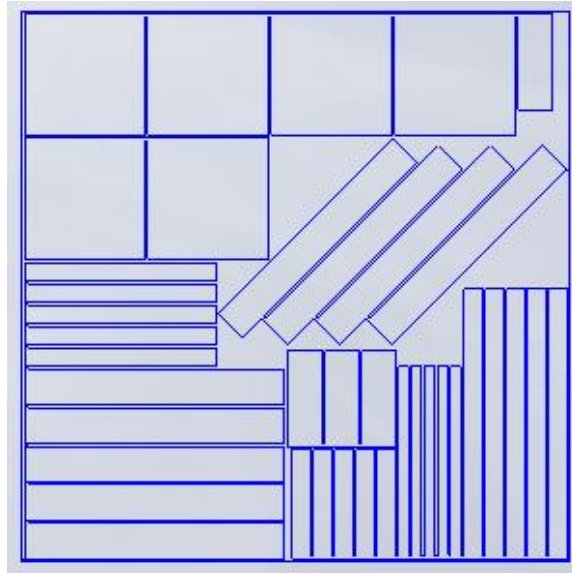
Prepregler oda sıcaklığında 5 gün tutulmuştur ve arzu edilen ölçülerde (400 mm x 400 mm) kesilmişlerdir. Kesilmiş prepreg kumaşların alt ve üst yüzeylerindeki silikonlu kâğıtlar ayrılmıştır. Aynı büyüklük ve fiber doğrultulu kumaşlar 2 mm kalınlık elde etmek için üst üste dizilmiştir. Silikon kağıdı ile kaplanmış prepreg plakalar hidrolik pres altına yerleştirilmiştir. Plakalar, 1 saat boyunca 120 °C'de 6 bar basınç altında kürlenmiştir. Sonra ısı sistemi kapatılmıştır ve preste kompozit plakalarda çarpılma oluşmaması için pres

sıcaklığının oda sıcaklığına kadar soğuması için yaklaşık 1 saat kadar daha beklenmiştir. Bu şekilde, 9 tabakalı, 400 mm x 400 mm ebatlarında yaklaşık 2 mm kalınlıkta kompozit plakalar, farklı katkı oranlarında üretilmişlerdir. Kompozit plakaların kenarlarındaki çapaklar dairesel bir testere ile kesilmiştir ve sonra numune boyutlarının standartlara uygun ve birbirleriyle tamamen aynı olması için kompozit plakalardan numuneler su jeti kullanarak çıkartılmıştır.

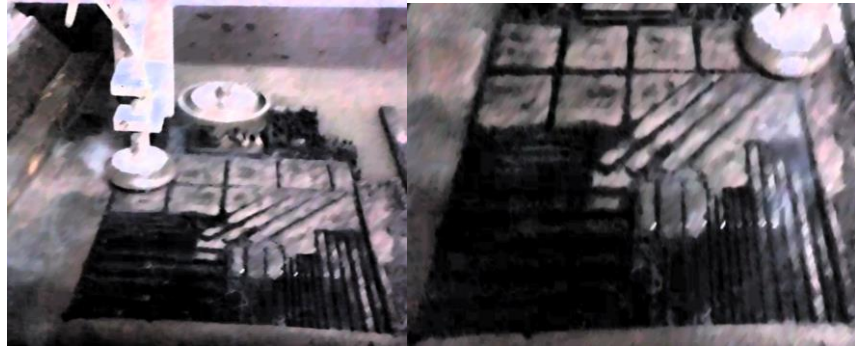
Katkısız ve farklı katkı oranlarına sahip 10 adet kompozit plaka üretilmiş olup, bu kompozit plakaların malzeme özelliklerinin tespiti için çekme deney numuneleri, basma deney numuneleri ve tabakalararası kayma deney numuneleri hazırlanmıştır. Her deney için 5'er adet numune hazırlanmıştır.

2.2 Numune Hazırlanması

Üretim aşaması tamamlandıktan sonra 400 mm x 400 mm lik plakalardan ilgili testlerde kullanılacak olan standart numuneler su jeti ile Şekil 2.7 ve Şekil 2.8 de belirtilen boyut ve şekillerde kesilmiştir.



Şekil 2.7 Deney numunelerinin su jetinde kesilen boyutları



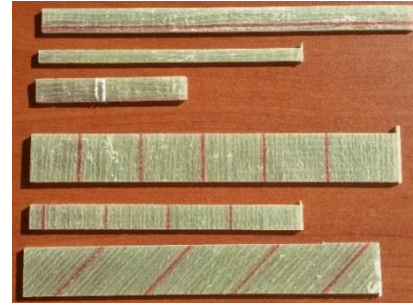
Şekil 2.8 Su jeti ile standart numunelerin kompozit plakadan kesilerek çıkartılması

Çekme deneyi ile fiber doğrultusundaki (1) elastisite modülü (E_1), çekme mukavemeti (X_t), poisson oranı (ν_{12}), fibere dik doğrultudaki (2) elastisite modülü (E_2), çekme mukavemeti (Y_t), eksen dışı elastisite modülü (E_X) ve tabakalararası kayma mukavemeti (S_i) belirlenecektir. Basma deneyi ile (1) doğrultusundaki basma mukavemeti (X_c) ve (2) doğrultusundaki basma mukavemeti (Y_c) değerleri belirlenecektir. Bu nedenle her bir deney için 5er tane deney numunesi su jeti vasıtasıyla elde edilmiştir.

Elde edilen deney numuneleri Şekil 2.9’da görülmektedir, numuneler üzerindeki kırmızı çizgiler fiber yönünü göstermektedir.



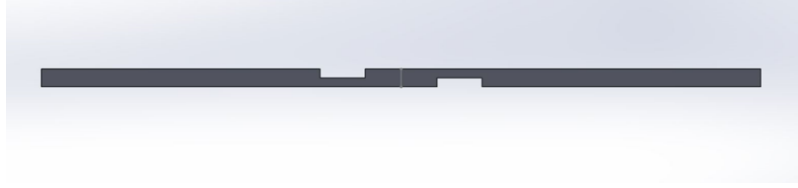
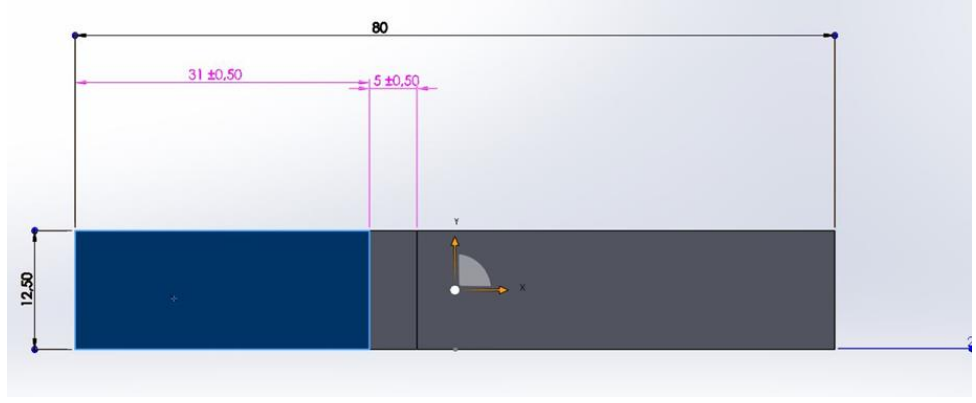
(a) Ön görünüş



(b) Arka görünüş

Şekil 2.9 Deney numunelerinin ön ve arka görünüşleri

Tabakalararası kayma mukavemetinin belirlenmesi amacıyla Şekil 2.10 da görüldüğü gibi numunenin tam orta kısmının alt ve üst yüzeyinde olmak üzere 5 mm genişlikte ve 1 mm derinlikte iki adet kanal açılmıştır.



Şekil 2.10 Tabaklararası kayma mukavemeti numunesinin görünüşleri

3. MEKANİK ÖZELLİKLERİN BELİRLENMESİ

3.1 Mekanik Deneylerin Yapılması

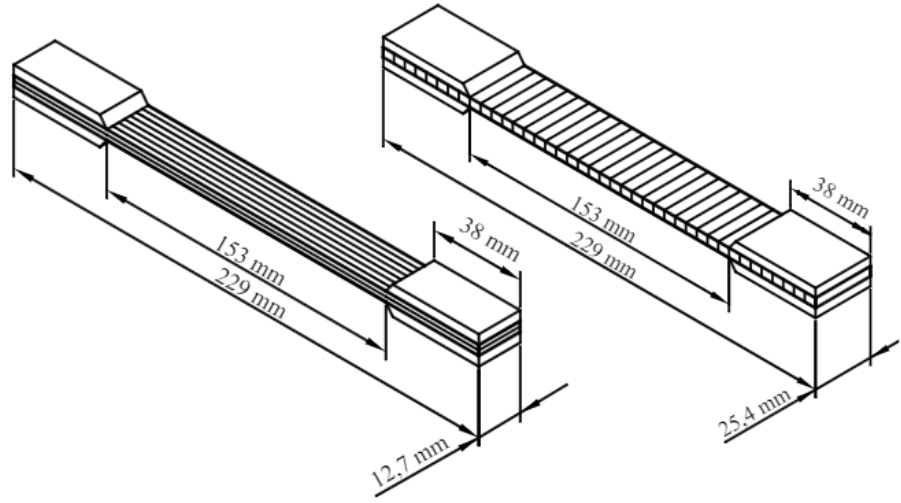
Üretimi yapılan deney numunelerinin mekanik özellikleri ve rijitlik değerlerinin belirlenebilmesi için ASTM (American Society for Testin and Materials) standartlarında testlere tabi tutulmuşlardır. Numuneler ASTM D3039 test standartlarına göre hazırlanmıştır. Yapılacak olan testler için Dokuz Eylül Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü bünyesinde bulunan test cihazları kullanılmıştır. Çekme ve basma testleri SHIMADZU marka 100 kN kapasiteye sahip AUTOGRAPH AG-X test cihazında icra edilmiştir. Numuneler oda sıcaklığında ($20\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$) 1 mm/dak hız ile çeki-bası testlerine tabi tutulmuşlardır.

Bu testler kompozit malzemenin mekanik özelliklerini tayin etmek amacıyla yapılmaktadır. Bahsi geçen mekanik özellikler şu şekildedir;

- Elastisite modülü, E_1 (GPa)
- Elastisite modülü, E_2 (GPa)
- Kayma modülü, G_{12} (GPa)
- Poisson oranı, ν_{12}
- Kopma mukavemeti, X_t (MPa)
- Kopma mukavemeti, Y_t (MPa)
- Basma mukavemeti, X_c (MPa)
- Basma mukavemeti, Y_c (MPa)
- Tabakalararası kayma mukavemeti, S_i (MPa)
- Fiber hacimsel oranı, $\%V_f$
- Kompozitin yoğunluğu, ρ_c (g/cm^3)

3.1.1 Elastisite Modülü ve Kopma Mukavemeti Testleri

İmal edilen 10 adet plakadan hazırlanan çekme numuneleri Şekil 3.1 te görülmektedir. ASTM D3039-76 test standartlarına göre fiber yönü doğrultusunda çekme testine tabi tutulmuştur. Test neticesinde plakaların Elastisite Modülü, Kopma Mukavemeti ve Poisson oranı belirlenmiştir.



Şekil 3.1 Deney numunelerine ait geometriler (Sayer 2009).

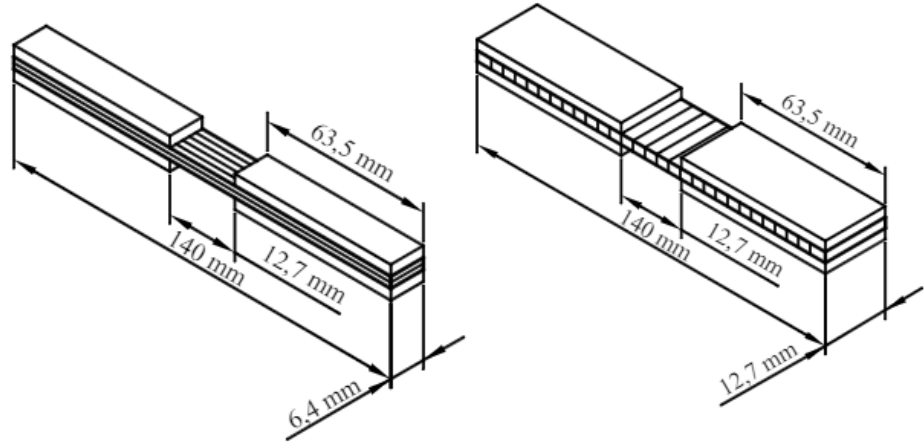
Çekme testleri oda sıcaklığında ve 1 mm/dak hız ile uygulanmıştır. Çekme testlerinde 5 adet numune kullanılmıştır. Çekme cihazına bağlanması Şekil 3.2 te görülmektedir.



Şekil 3.2 Deney numunesine çekme testinin uygulanması

3.1.2 Basma Mukavemeti Testi

Numunelerin basma mukavemetlerinin tayin edilmesi için fiber yönü doğrultusunda ve fiber yönüne dik doğrultuda basma yükü uygulanmıştır. Testler ASTM D3410-87 standardına göre hazırlanarak, oda sıcaklığında 1 mm/dak hızla uygulanmıştır. Numunelerin boyutları Şekil 3.3 de görülmektedir.



Şekil 3.3 Deney numunesinin geometrik şekilleri (Sayer 2009).

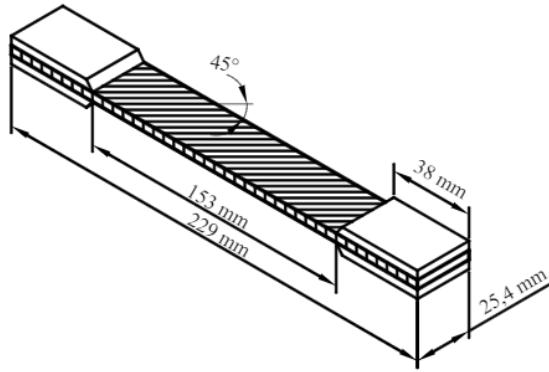
Test numunelerinin basma test cihazına bağlanması Şekil 3.4 de görülmektedir.



Şekil 3.4 Deney numunesine basma testinin uygulanması

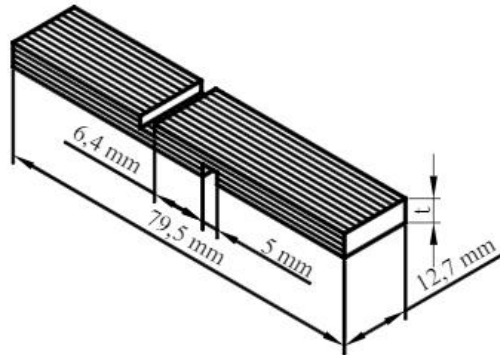
3.1.3 Kayma Modülü ve Tabakalararası Kayma Mukavemetinin Belirlenmesi

Kompozit plakaların kayma modülünün hesaplanmasında kullanılacak olan eksen dışı elastisite modülünün belirlenebilmesi için tek yönlü plakalar fiber yönüne 45 ° olacak şekilde numuneler haline getirilmiş ve çekme testine tabi tutulmuştur. Numunenin geometrik boyutları Şekil 3.5 de verilmektedir.



Şekil 3.5 Deney numunesinin geometrik şekilleri (Sayer 2009).

Kompozit plakaların tabakalararası kayma mukavemetini de test etmek için yine çekme testi olan ASTM D3846-79 uygulanmıştır. Bu test standardını uygulayabilmek için Şekil 3.6 daki çift çentikli deney numunesi bilgisayar kontrollü bir dik işlem tezgâhında Mikrofab Ltd. Şti. bünyesinde hazırlanmıştır. Yapılan testler Şekil 3.7 da görüldüğü gibi test cihazına bağlanarak numunelerin dayanabileceği maksimum kuvvetler belirlenmiş ve çentikler arası yüzey alanına oranlayarak tabakalararası kayma mukavemet değerleri belirlenmiştir.



Şekil 3.6 Deney numunesinin geometrik şekilleri (Sayer 2009).



Şekil 3.7 Çentikli numuneye çekme testinin uygulanması

3.2 Mekanik Testlerle Elde Edilen Sonuçlar

Tablo 3.1’de, katkı oranları ve bu oranlara bağlı olmak üzere verilen plaka numaraları görülmektedir.

Tablo 3.1 Plakalar ve katkı oranları

P1	Katkısız
P2	% 1 kitosan
P3	% 2 kitosan
P4	% 3 kitosan
P5	%0,1 karbonnanotüp
P6	%0,2 karbonnanotüp
P7	%0,3 karbonnanotüp
P8	%1kitosan+%0,3 karbonnanotüp
P9	%2kitosan+%0,3 karbonnanotüp
P10	%3kitosan+%0,3 karbonnanotüp

Bu kısımda mekanik testlerden elde edilen 10 plakaya ait sonuçlar Tablo 3.2 - 3.5 de verilmektedir.

Tablo 3.2 Plaka 1 ait mekanik özellikler

Malzeme Özellikleri	P1
E_1 (MPa)	42400
E_2 (MPa)	13984
G_{12} (MPa)	3985
ν_{12}	0,239
X_t (MPa)	698
X_c (MPa)	618
Y_t (MPa)	92
Y_c (MPa)	200
S_i (MPa)	18,62

Tablo 3.3 Plaka 2-3-4 e ait mekanik özellikler

Malzeme Özellikleri	P2	P3	P4
E_1 (MPa)	38200	31665	36735
E_2 (MPa)	13395	13090	12590
G_{12} (MPa)	3249	3687	3879
ν_{12}	0,241	0,247	0,249
X_t (MPa)	673	583	621
X_c (MPa)	633	614	608
Y_t (MPa)	91	81	86
Y_c (MPa)	107	136	171
S_i (MPa)	12,84	10,21	12,9

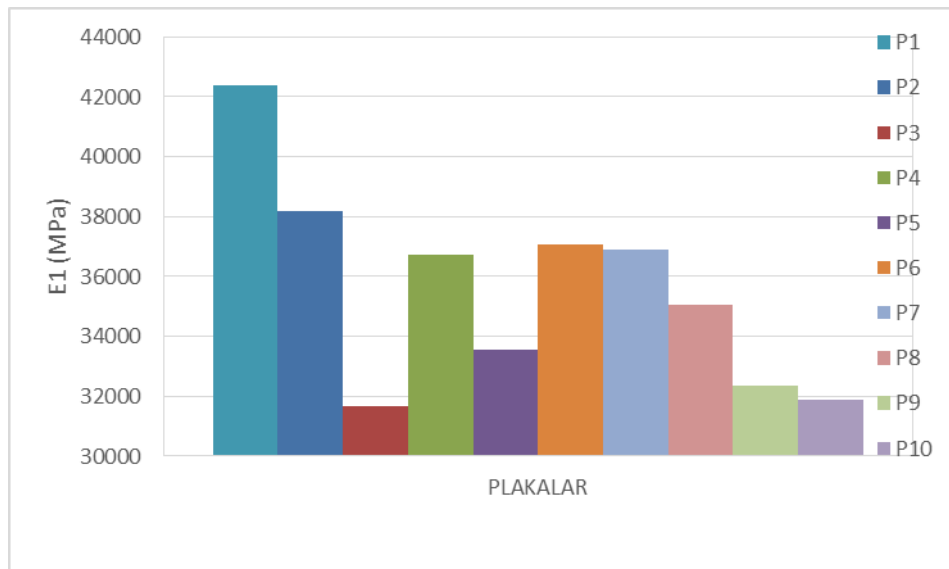
Tablo 3.4 Plaka 5-6-7 ye ait mekanik özellikler

Malzeme Özellikleri	P5	P6	P7
E_1 (MPa)	33540	37065	36905
E_2 (MPa)	14540	15265	13730
G_{12} (MPa)	3064	3722	3251
ν_{12}	0,247	0,247	0,248
X_t (MPa)	552	590	600
X_c (MPa)	596	650	568
Y_t (MPa)	96	90	107
Y_c (MPa)	190	157	212
S_i (MPa)	18,3	18,4	6,15

Tablo 3.5 Plaka 8-9-10 a ait mekanik özellikler

Malzeme Özellikleri	P8	P9	P10
E_1 (MPa)	35060	32360	31868
E_2 (MPa)	9934	10590	11440
G_{12} (MPa)	3535	3193	3100
ν_{12}	0,246	0,247	0,252
X_t (MPa)	629	533	538
X_c (MPa)	684	638	521
Y_t (MPa)	89	86	84
Y_c (MPa)	160	167	168
S_i (MPa)	4,54	4,2	4,52

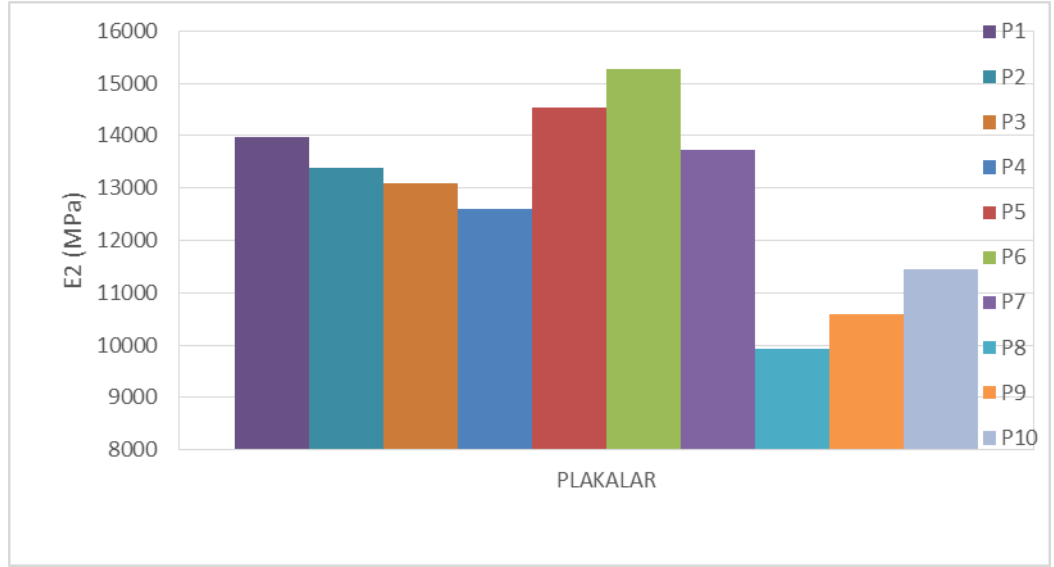
Mekanik testler sonucu elde edilen ağırlıkça farklı oranlarda kitosan, karbon nanotüp ve kitosan+karbon nanotüp (hibrit) katkılı kompozitlerin fiber doğrultusundaki elastisite modüllerinin değişimleri Şekil 3.8 de gösterilmiştir. Grafik incelendiğinde bir numaralı plakanın en yüksek elastisite modülüne sahip olduğu görülmektedir. Ayrıca %1 kitosan katkılı plakanın en yüksek katkılı kompozitler arasındaki değeri verdiği grafikten görülebilmektedir. Ayrıca karbon nanotüp miktarının artması ile elastisite modülünün de arttığı görülmektedir. Hibrit katkılı kompozit incelendiğinde katkı oranı arttıkça elastite modülünün gittikçe düştüğü görülmüştür.



Şekil 3.8 Fiber doğrultusundaki numunelerin elastisite modülü değişimi

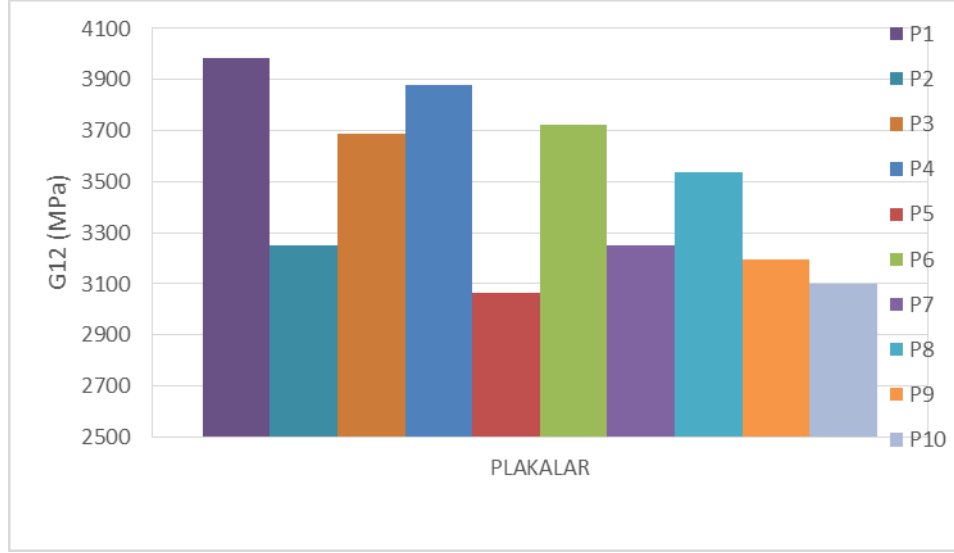
Şekil 3.9 da fibere dik doğrultudaki elastite modülü değerlerinin değişimi gösterilmektedir. Grafiğe göre KNT(karbon nanotüp) katkılı plakaların en yüksek değerleri verdiği tespit söylenebilmektedir. Ayrıca katkı oranı arttıkça hibrit

kompozitlerin elastisite modülü değerlerinin azaldığı görülmektedir. En yüksek değer % 0,2 oranında KNT katkılı 6 numaralı plakadan alındığı grafikten tespit edilmektedir. En düşük elastite modülü değerinin 8 numaralı plakada olduğu grafiklerden tespit edilmiştir.



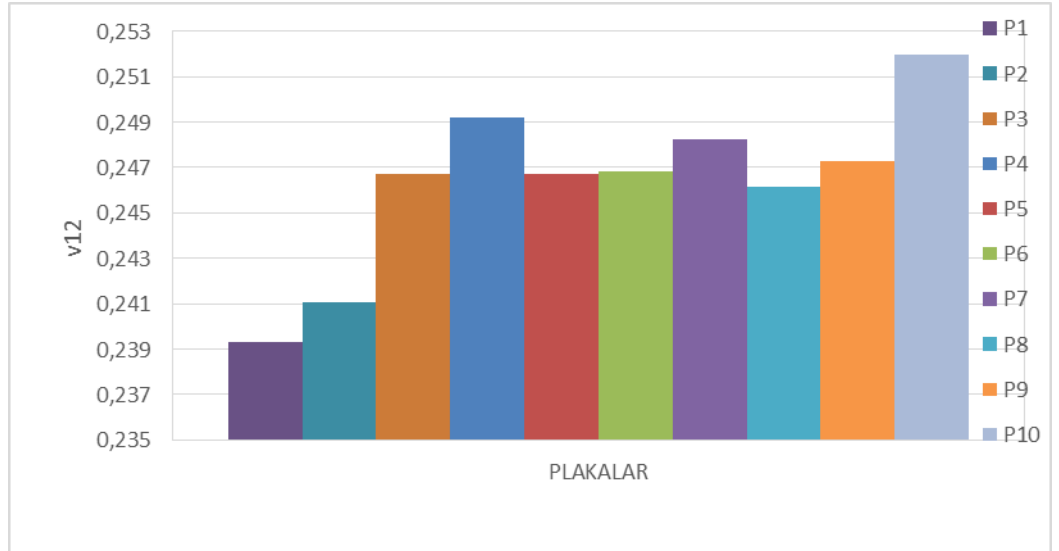
Şekil 3.9 Fibere dik doğrultudaki numunelerin elastisite modülü değişimi

Kayma modülünün hesabı için kullanılan formüldeki elastisite modülleri çekme deneyleri ile belirlenmiş ve ilgili formülde kullanılarak kayma modülleri elde edilmiştir. Şekil 3.10 da kayma modüllerinin değişimleri gösterilmiştir. Grafik incelendiğinde en yüksek kayma modülü değeri katkısız prepreg olarak imal edilen plaka 1 de olduğu görülmüştür. Öte yandan plaka 4 te diğer katkılı kompozitlerden daha yüksek kayma modülü değeri elde edilmiştir. En düşük kayma modülü değerinin plaka 5 te olduğu görülmektedir. Grafik incelendiğinde hibrit plakalar olan KNT+kitosan katkılı plakalarda katkı oranı arttıkça kayma modülü değerinin azaldığı tespit edilmektedir. Karbon nanotüp katkılı plakalar incelendiğin en yüksek kayma modülü değeri % 0,2 değerinde KNT katkılı plaka 6 da olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 3.10 Kayma modülünün değişimi

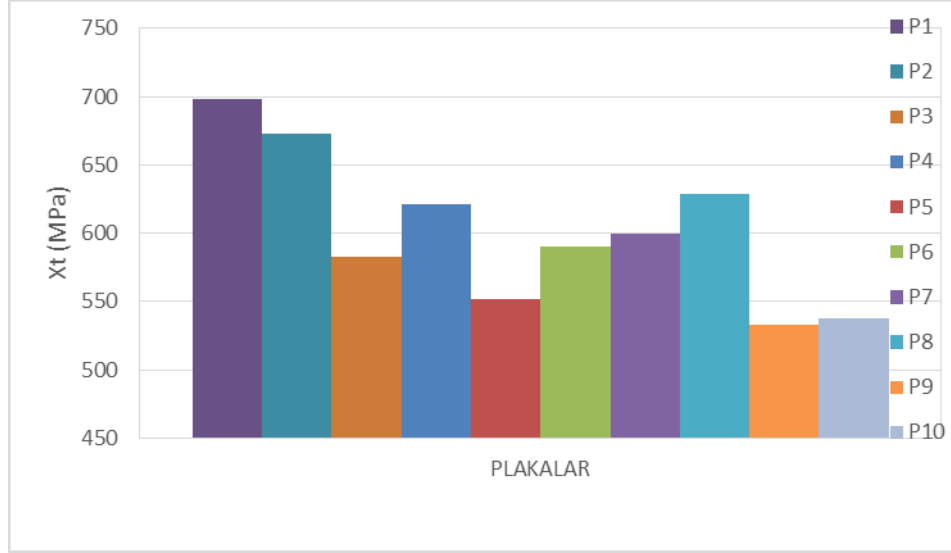
Elastisite modüllerinin tespit edilmesi sonucu Maxwell eşitliği de kullanılarak kompozit plakaların poisson oranları hesaplanmıştır. Poisson oranı değişimleri Şekil 3.11 de grafik haline getirilmiştir. Bu şekil incelendiğinde en düşük Poisson oranı katkısız plaka 1 de oluşmuştur. Hemen hemen tüm plakalarda katkı oranı arttıkça poisson oranı da artmıştır. En yüksek Poisson oranı ise 10 numaralı plakada meydana gelmiştir. Yine de Poisson oranlarının değerlerinde pek fazla bir değişim olmamıştır.



Şekil 3.11 Poisson oranı değişimi

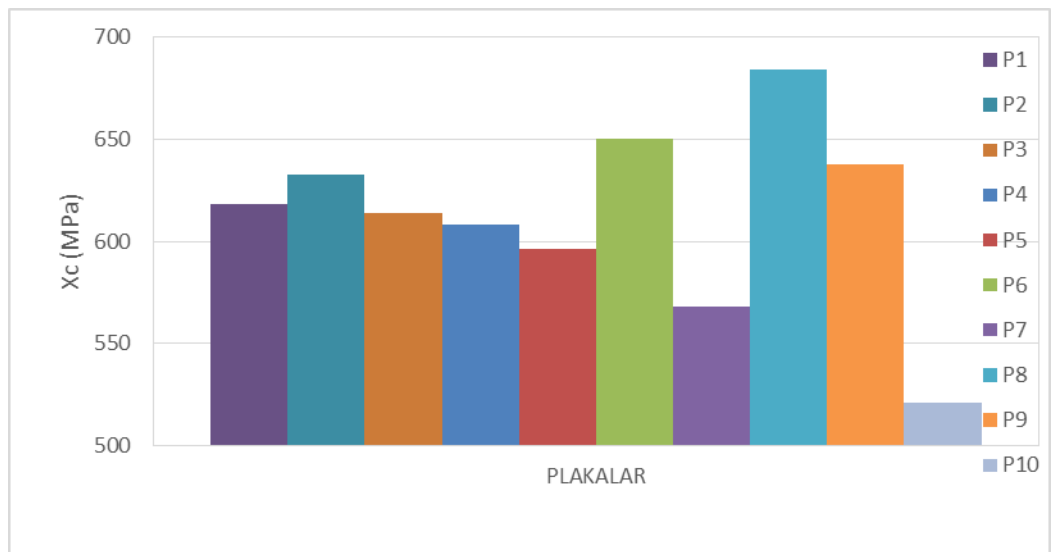
Fiber doğrultusundaki çekme mukavemetini belirlemek için yapılan test verileri Şekil 3.12 de grafik haline getirilmiştir. Grafik incelendiğinde en yüksek

çekme mukavemeti katkısız plaka 1 ve kitosan katkılı plaka 2 de meydana gelmiştir. Kitosan oranı arttıkça çekme mukavemeti azalmıştır. En düşük çekme mukavemeti değeri 9 ve 10 numaralı plakalarda olmaktadır.



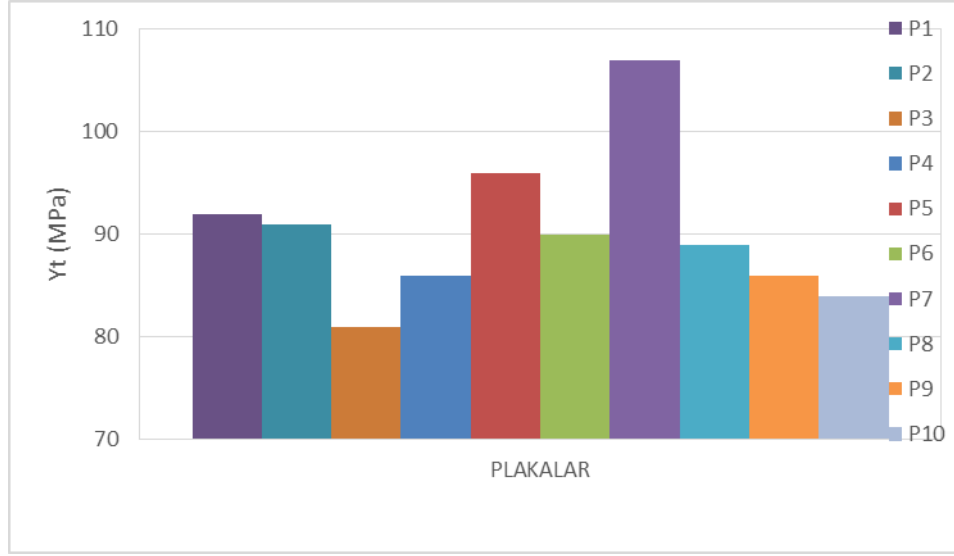
Şekil 3.12 Fiber doğrultusundaki numunelerde çekme mukavemeti değişimi

Şekil 3.13 te fiber doğrultusundaki basma mukavemetinde oluşan değişimler gösterilmiştir. Grafik incelendiğinde en yüksek basma mukavemeti plaka 8 de meydana gelmektedir. En düşük değer ise plaka 10 da meydana gelmektedir. KNT katkılı plakalar arasında en yüksek basma mukavemeti değeri plaka 6 da meydana gelmektedir.



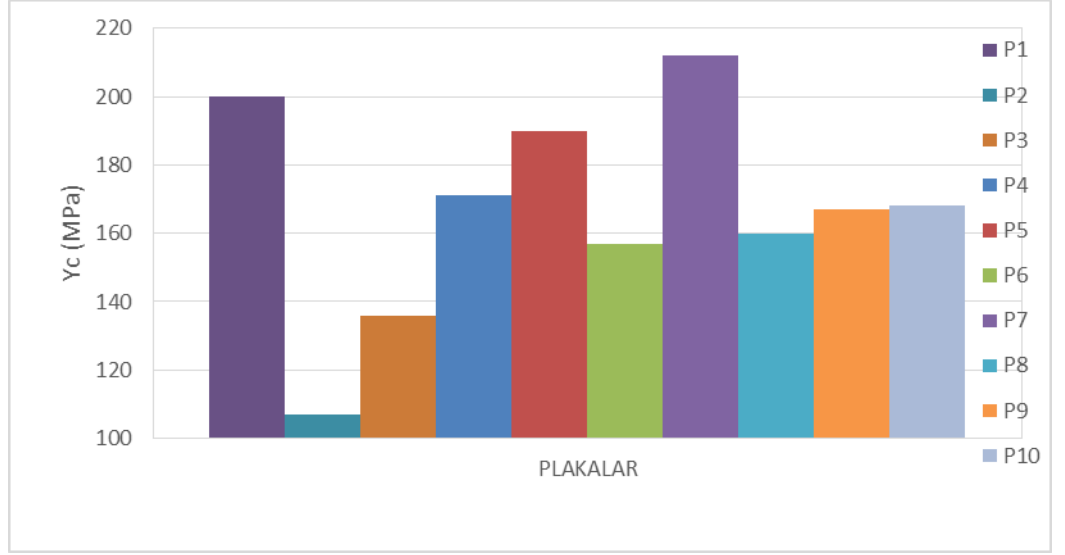
Şekil 3.13 Fiber doğrultusundaki numunelerde basma mukavemeti değişimi

Fibere dik doğrultudaki çekme mukavemeti değerleri Şekil 3.14 de görülmektedir. Grafik incelendiğinde %0,3 oranında KNT katkılı plaka 7 de en yüksek çekme mukavemeti olduğu görülmektedir. En düşük değer ise plaka 3 te meydana gelmektedir. Her iki katkı malzemesinin karıştırıldığı hibrit plakalarda ise katkı oranı arttıkça çekme mukavemeti azalmaktadır.



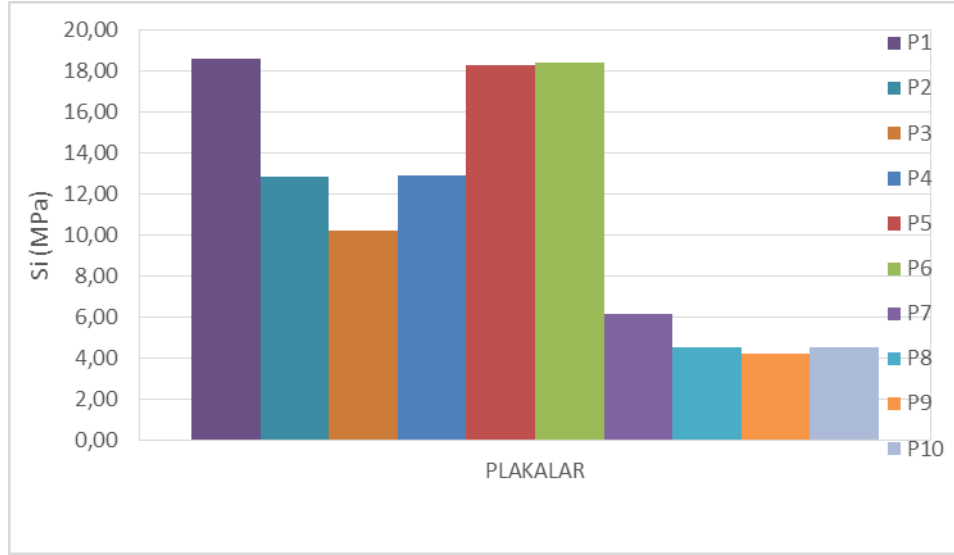
Şekil 3.14 Fibere dik doğrultudaki numunelerin çekme mukavemeti değişimi

Fibere dik doğrultudaki numunelerde yapılan basma testi ile elde edilen basma mukavemeti değişimleri Şekil 3.15 de gösterilmiştir. Grafik incelendiğinde en yüksek basma mukavemeti 0,3 oranında KNT katkılı 7 nolu plakada meydana gelmiştir. Plaka 7 de meydana gelen yüksek basma ve çekme mukavemetleri 0,3 oranının KNT için belirlenen oranlar arasında en sağlıklı sonuç veren oran olduğunu göstermektedir. En düşük basma mukavemeti değeri ise plaka 2 de meydana gelmiştir.



Şekil 3.15 Fibere dik doğrultudaki numunelerin basma mukavemeti değişimi

Tabakalararası kayma mukavemetinin tespitinde iki farklı çekme testi uygulanmaktadır. Bunlardan bir tanesi; numunenin alt ve üst yüzeylerine numunenin ortasına eşit miktar uzaklıkta iki adet kanal açılarak hazırlanan numuneye çekme testi uygulanmasıdır. Tabakalararası kayma mukavemetinin tespit edilmesinde bu yöntem tercih edilmiştir. Çekme deneyinden elde edilen maksimum kuvvetler tabakalar arasındaki yüzey alanına oranlanarak bu kayma mukavemeti belirlenmiştir. Tabakalararası kayma mukavemeti değişimleri Şekil 3.16 da gösterilmiştir. 2 tür katkının da kullanıldığı hibrit numunelerde ve % 0,3 KNT katkılı numunelerde tabakalararası mukavemetin oldukça az olduğu tespit edilmiştir. Plaka 1 ve %0,1 ve 0,2 KNT katkılı kompozit plakalarda en yüksek kayma mukavemeti değerleri elde edilmiştir. Ayrıca grafik irdelendiğinde oluşan kayma mukavemeti değerlerinin oldukça düşük olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 3.16 Tabakalararası kayma mukavemeti değişimi

4. NÜMERİK ANALİZLER

Bu bölümde, mekanik testler sonucunda elde edilen plakaların mekanik özellikleri bir bilgisayar paket programı ile malzeme kütüphanesine eklenerek nümerik analizleri yapılmıştır. Katkılı kompozit yay imal edilmeden bilgisayarlı modelleme programı ile önce modellenmiştir. Ardından model başka bir paket analiz programına atılarak mekanik özellikleri belirlenmiş malzemeler ile analiz edilmiş ve sonuçlar irdelenmiştir. Ayrıca bu kısımda kompozitten imal edilen yayın günümüzde kullanılan muadili olan çelik yayla kıyaslanarak avantaj/dezavantajları irdelenmiştir. Nümerik analizlerden elde edilen sonuçlara göre çelik yayla kıyaslandığında yaprak yay ağırlık ve mukavemet yönünden ne kadar yeterli olduğu bu kısımda belirlenmiştir.

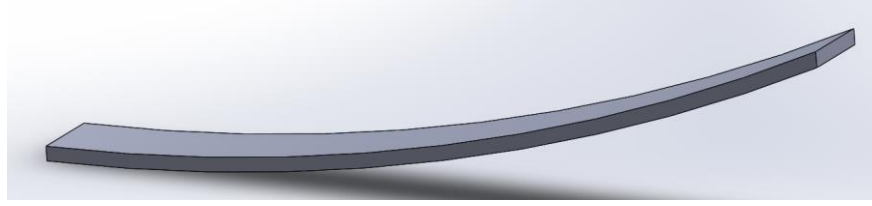
Tez çalışmasının nümerik analizinde ANSYS 18.2 programı kullanılmıştır. Yine bu programın içinde kompozit malzemelerin malzeme özellikleri tayin edilip daha detaylı sonuçlar alınabilmesi adına ACP 18.2 kullanılmıştır. Bu alt program kendi içinde Pre(Ön) ve Post(Son) olarak ikiye ayrılır. ACP Pre malzemenin tüm özelliklerinin yanında ilgili analize hazır hale gelmeden önceki tüm tanımlamaların yapıldığı kısımdır. Post ise gerekli tüm malzeme özellikleri belirlenmiş malzemenin hasar kriterlerinin girilip nümerik analizlerinin yapıldığı kısımdır. Fakat analizlerde Static Structural alt programından faydalanılarak analiz yapmakta mümkündür.

4.1 Yaprak Yayların Geometrileri ve Boyutları

4.1.1 Çelik Yaprak Yayın Geometrisi

Analizi hızlandırmak amacıyla yükleme ve yapının sınır şartlarındaki simetrisinden dolayı yaprak yayın yarısı bir katı modelleme programı kullanılarak modellenmiştir. Analiz edilecek olan yaprak yaya ait geometrik ölçüler şu şekildedir; kalınlık $t = 12$ mm, genişlik $= 60$ mm ve tam boy $L = 1400$ mm olup analiz için $L/2 = 700$ mm olacaktır. Muadil olarak kullanılacak olan çelik yay malzemesi 51Si7

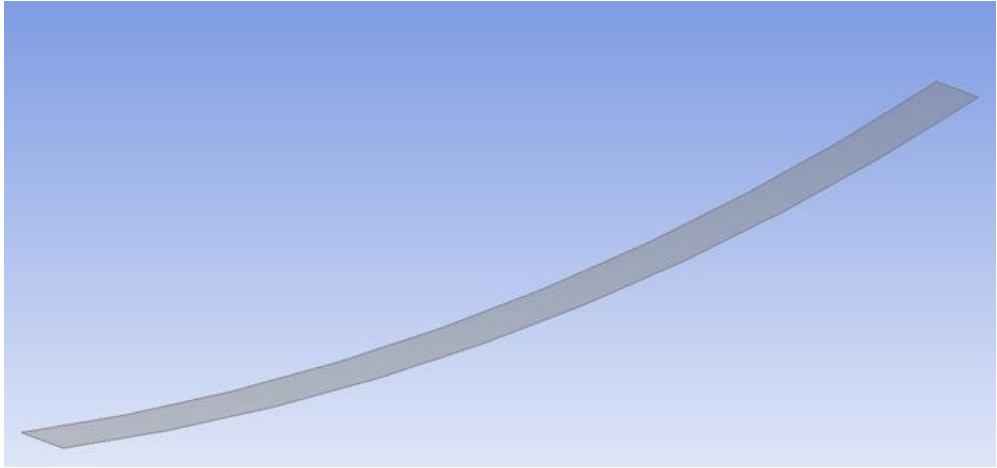
seçilmiştir. Yaprak yay çelik malzemede verilen ölçülere göre Şekil 4.1 de gösterildiği gibi Solid Works programında modellenmiştir.



Şekil 4.1 Katı modelleme programı ile modellenmiş yaprak yayın görüntüsü

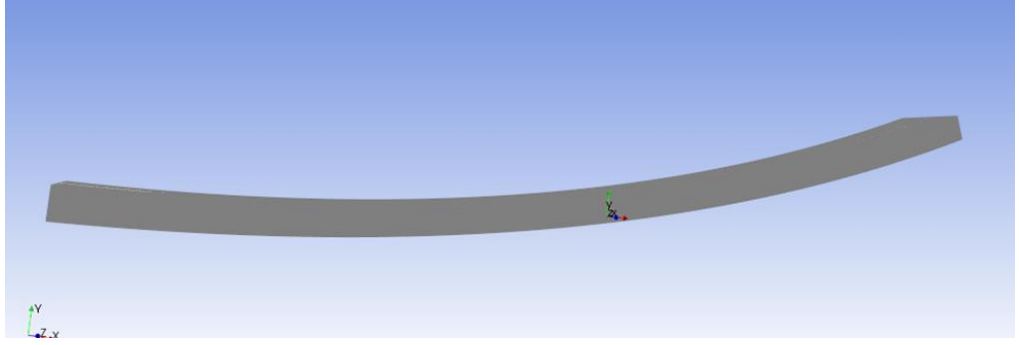
4.1.2 Kompozit Yaprak Yayın Geometrisi

Kompozit plaka aynı çelik yay gibi yarım olarak modellenmiştir. Kompozit yay, daha önceden belirlenen mekanik özelliklerle 10 farklı malzeme kombinasyonu ve farklı fiber takviye açıları ile modellenmiştir. Yaprak yay öncelikle katı modelleme programı ile kabuk eleman (yüzey) olarak Şekil 4.2 de gösterildiği gibi modellenmiştir.



Şekil 4.2 Kompozit yaprak yayın kabuk modeli

Kompozit yayın kabuk modelinin boyutları da çelik yayla aynı olup kalınlık değeri şu şekildedir; tabaka 0,2 mm, kumaş tabaka sayısı 60 adettir. Toplam geometri kalınlığı ise 12 mm'dir. Şekil 4.3 te ACP Pre programında oluşturulmuş geometri görülmektedir.

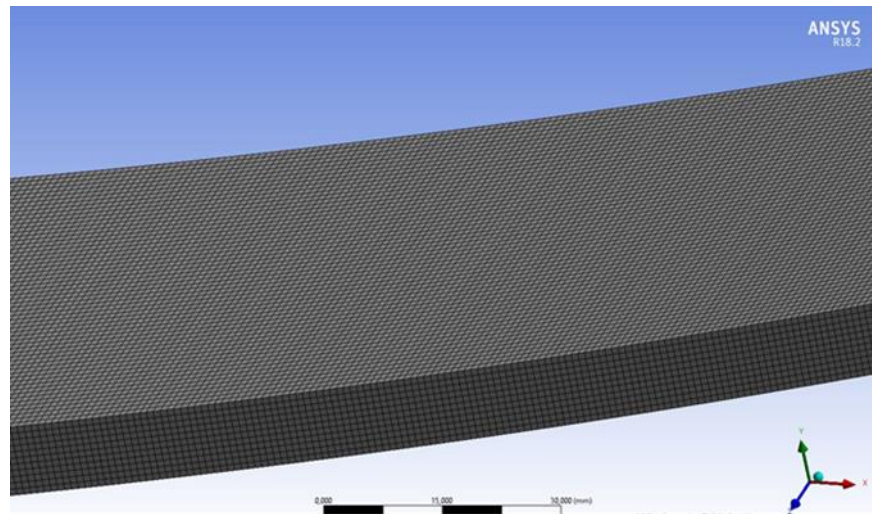


Şekil 4.3 Kompozit yaprak yayın tabakalı şekilde modeli

4.2 Nümerik Analiz Parametreleri

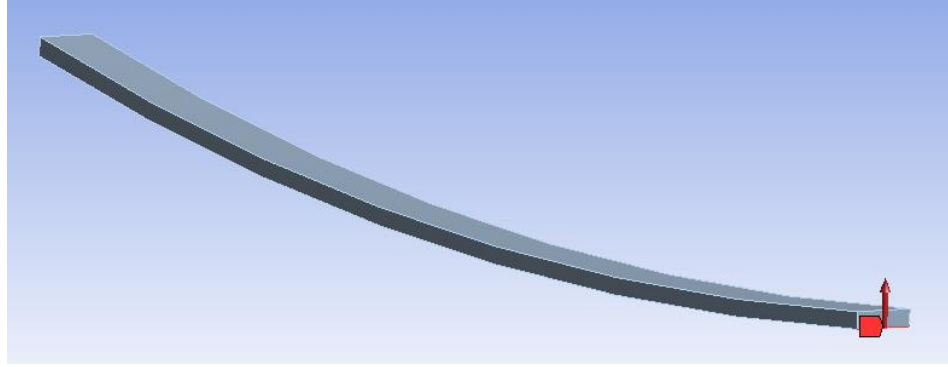
4.2.1 Çelik Yay Nümerik Analizleri

Bu kısımda çelik yayın nümerik analiz parametreleri ile ilgili bilgiler verilmiştir. Daha önceden belirlenen mekanik özellikler sayesinde 51Si7 yay çeliğinin mukavemet değerleri ANSYS programının malzeme kütüphanesine eklenmiştir. Ardından çizilen model ANSYS programına yüklenmiş ve gerekli meshleme (ağ örgüsü) işlemleri yapılmıştır. Mesh parametreleri; 3 mm boyutunda kaba mesh olarak uygulanmıştır. Mesh'lenen yaprak yaydan bir kesit Şekil 4.4 te gösterilmiştir.



Şekil 4.4 Çelik yay mesh atılmış hali

Nümerik analizler ANSYS programı altında çalışan alt programlardan biri olan statik yapılar alt programında yapılmıştır. Yayın bir ucu sabit diğer ucu ise y yönünde hareketli olacak şekilde desteklenmiştir. Parçaya Şekil 4.5 te gösterildiği gibi F kuvveti yayın bir ucundan yukarı doğru verilerek ilgili nümerik analizler yapılmıştır.



Şekil 4.5 Çelik yay kuvvet altındaki görüntüsü.

Analizlerin oda şartlarında icra edildiği kabul edilerek 1000 N, 2000 N, 3000 N ve 3750 N değişken kuvvetler uygulanarak statik analiz tamamlanmıştır. Analiz sonuçları Tablo 4.1 de gösterilmektedir.

Tablo 4.1 Çelik yayın nümerik analiz sonuçları

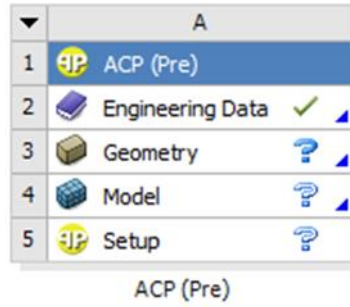
F (N)	Çökme (mm)	Normal Gerilme (MPa)	Normal Şekil Değişirme (mm/mm)
1000	3,2061	93,068	3,762e-004
2000	6,4121	186,14	7,5239e-004
3000	9,6182	279,2	1,1286e-003
3750	12,023	349,01	1,4107e-003

4.2.2 Kompozit Yaprak Yayın Analizleri

Bu kısımda nümerik analizler için modellenen kabuk yay geometrisi ANSYS programı altında çalışan ACP PRE&POST programı ile oluşturulmuştur. ACP paket programı tamamen kompozit modelleme üzerine yoğunlaşmış bir alt programdır. ANSYS bünyesinde çalışan bu program sayesinde kumaş seçimleri, rozet seçimleri,

fiber doğrultuları, fiber takviye aılları, katman sayıları, katı model oluşturma ve kesit alma gibi özellikleri değişken bir şekilde kullanabilmek mümkündür. Farklı katkı oranlarındaki mekanik özellikleri belirlenen malzemeler ACP Postta yay malzemesi olarak kullanılıp çeşitli analizler yapılmıştır. Bu alt program kendi içinde Pre (n) Post (Son) olarak ikiye ayrılır. ACP Pre malzemenin tüm özelliklerinin yanında ilgili analize hazır hale gelmeden önceki tüm tanımlamaların yapıldığı kısımdır. Post ise gerekli tüm analizleri tamamlanmış modellerin hasar kriterlerinin girilip nümerik analizlerinin yapıldığı kısımdır. Fakat analizlerde statik yapı alt programından faydalanılarak analiz yapmakta mümkündür.

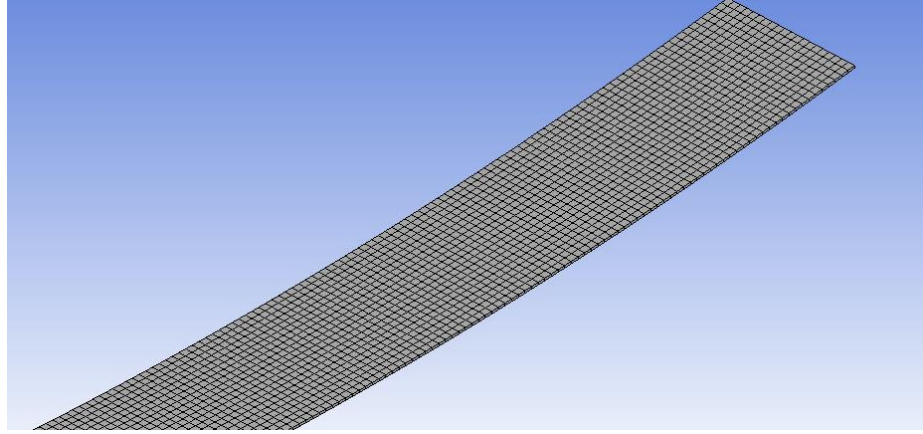
Öncelikle ANSYS 18.2 programında workbench kısmı açılır, ardından sol taraftaki program ağacından component system alt başlığından ACP pre seçilir. ACP pre programının alt başlıkları şekil 4.6 da gösterilmiştir.



şekil 4.6 ACP Pre programının görüntüsü

Öncelikle malzeme özellikleri tayini için engineering data kısmından malzeme özellikleri tayin edilir. Tablo 3.2-3.5 te belirtilen mekanik özellikler malzeme kütüphanesine eklenir. Geometri kısmına ise şekil 4.2 de gösterilen kabuk olarak modellenmiş kompozit yay parasolid uzantısı ile yüklenmiştir.

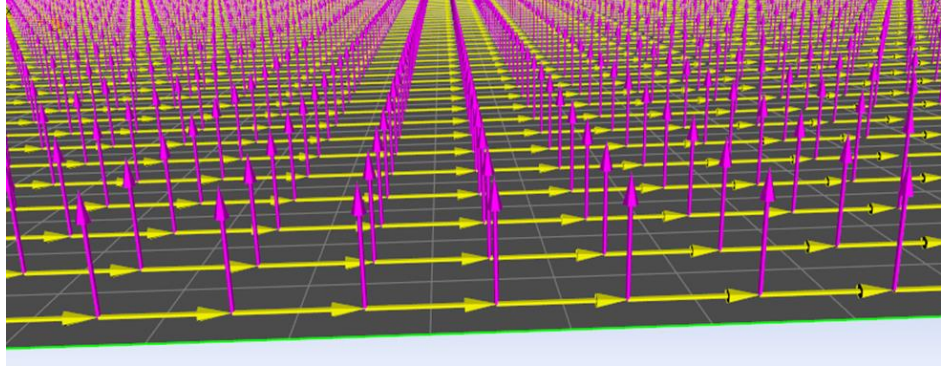
Yüklenen geometriye mesh oluşturmak için model kısmının içine girilerek yüzey mesh'leme işlemleri gerçekleştirilmiştir. Mesh boyutu olarak 3 mm belirlenmiştir. Mesh türü olarak kaba mesh seçilmiştir. Bu seçimler kullanılan bilgisayarın sistem yeterliliğine ve zamana göre değiştirilebilir. Mesh atılmış yaprak yay görüntüsü şekil 4.7 de verilmiştir.



Şekil 4.7 Kompozit yay mesh görüntüsü

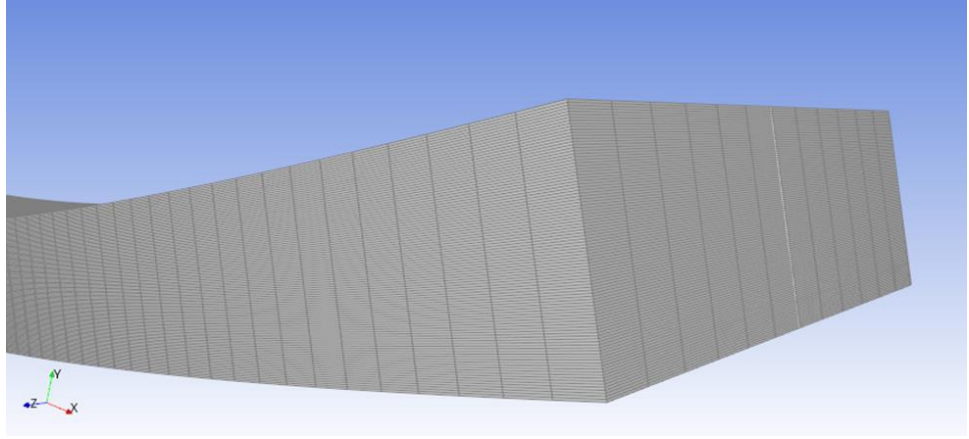
Setup kısmı ise malzeme seçiminin yapıldığı, fiber yönlerinin, hasar kriterlerinin ve diğer fiber özelliklerinin belirlendiği kısımdır. Bu kısımda analiz işlemleri şu sırayla devam etmiştir:

- Önce materyal özellikleri kısmında Kumaşlar alt başlığına oradan kumaş oluştur seçeneğine tıklanmıştır. Ardından gelen ekranda malzeme özellikleri ve daha önceden atanmış malzeme kütüphaneden çağrılmıştır. Bu kısımda malzeme kalınlığı 0,2 mm olarak seçilmiştir.
- Özellikleri belirlenen kumaş ardından malzeme üzerine koyulacak kumaş yönü fiber yönü tayini için malzeme üzerinde rastgele bir noktada rozet atanmıştır. Bu rozet fiber yönü tabaka yönü gibi hususları tayin etmektedir.
- Fiber ve katman yönü belirlenmiş shell malzeme üzerinde yapılacak fiber takviye açısı ve onların tayini için Oriented Selection Sets (fiber takviye açısı seti seçimi) kısmından fiber takviye açısı yönü tayin edilmiştir. Şekil 4.8 de gösterilen pembe ok, plaka üzerine koyulacak kumaşın yönünü belirtmektedir. Yani, hangi yönde katmanlar koyularak tabakalı kompozit oluşturulacaksa bu kısımda belirlenmektedir. Fiber takviye açısına ait yön tayin edildikten sonra programın sağ üst kısmında fiber yönü ve tabaka yönü açılmıştır. Şekil 4.8 de yaprak yay üzerinden bir kesit gösterilmektedir. Mor renk kumaşın tabaka yönü, sarı kumaşın fiber yönünü göstermektedir.



Şekil 4.8 Kompozit plaka fiber yönü ve tabaka yönü görünümü

- Tabaka dizilimi yönü ve fiber takviye açısı yönü belirlenen malzemenin artık modellenmesi için kumaş yönü ve kumaş tabaka sayısı modelleme grubu kısmından tayin edilir. Analiz edilecek olan metal yaprak yay 12 mm kalınlığında olması dolayısıyla kompozit yayın aynı kalınlıkta olması için 60 kat kumaştan oluştuğu düşünülerek modelleme yapılmıştır. Modelleme grubu seçeneği alt başlığı olarak sağ tıklanıp oradan ply/katman oluştur seçilmiştir. Buradan tabaka dizilimi ve katman sayısı belirlenmiştir.
- Plakalardaki açılar, fiber materyalleri, katman sayıları değiştirilmek üzere programın sol tarafındaki menü ağacında gösterilmiştir.
- Sonraki adım olarak plakalar oluşturulmadan önce section cut seçeneği sayesinde plakaların kesitini alabilmek mümkündür. Bu menüde bulunan scale factor seçeneği “1.00” talep ettiğimiz oranda değiştirilerek görünürlüğü etkileyebilmektedir. Scale factör seçeneği “10.00” yapıldığı takdirde plakaların görünürlüğü artmaktadır.
- Son olarak katı model oluşturma kısmına gelerek yaprak yayın katı modelini, Dropp-off materyali olarak epoxy reçine seçerek katı modeli Şekil 4.9 da görüldüğü gibi oluşturulmuştur.



Şekil 4.9 Kompozit yaprak yayın modellendikten sonraki hali

ACP Pre kısmında oluşturulan kompozit yaprak yay artık analiz yapılmak üzere statik yapı analiz alt programına atılır. Bu programda kuvvet ve sınır şartları belirlenip analiz kabulleri yapıldıktan sonra sırayla toplam çökme, y yönündeki çökme, x yönündeki normal şekil değiştirme ve normal gerilme değerlerini belirlemek için analiz işlemleri yapılmıştır.

4.3 Kompozit Yaprak Yayların Analiz Sonuçları

Bu kısımda 10 farklı plaka için 3 farklı fiber takviye açısı seçilerek oluşturulan 5 farklı tabaka dizilimine sahip kompozit yaprak yaylar üzerine 4 değişken yük uygulanarak nümerik analizleri yapılmıştır. Katkılı kompozit yayların çeşitli malzeme varyasyonları denenme sebebi en uygun katkı oranında doğru katkı malzemesi ile çelik muadilinin yerini alabilmesini sağlamaktır. Ayrıca kumaş katmanlarının fiber yönlerinin değiştirilmesi farklı fiber takviye açılarının kompozit yaprak yaya etkisini göstermiştir. Bunun yanında değişken yükler altında nümerik analizler yapılarak farklı yüklerin etkisi tespit edilerek konfor konusunda da yorum yapılmıştır. Kompozit yaylar nümerik olarak modellenirken 5 farklı fiber takviye açısı denenmiştir, bunlar şu şekildedir;

1. Tabaka dizilimi (TD1): $[0^\circ]_{60}$
2. Tabaka dizilimi(TD2) : $[[0^\circ]_{15}/[90^\circ]_{15}]_s$
3. Tabaka dizilimi(TD3) : $[[0^\circ]_{10}/[90^\circ]_{10}/[0^\circ]_5/[90^\circ]_5]_s$

4. Tabaka dizilimi (TD4): $[[0^\circ]_{10}/[90^\circ]_{10}/[45^\circ]_5/[-45^\circ]_5]_s$

5. Tabaka dizilimi (TD5): $[[0^\circ]_5/[90^\circ]_5/[45^\circ]_{10}/[-45^\circ]_{10}]_s$

Bu farklı fiber takviye açıları yanında değişken kuvvetlerle yüklemelerde yapılmıştır. Bunlar $F=1000$ N, 2000 N, 3000 N, 3750 N olarak belirlenmiştir. 3750 N kuvvet değerinin belirlenme sebebi, günümüzde kullanılan hafif ticari bir aracın arka dingil ağırlık kapasitesinin dingillerine olan dağılımının, yarısı olarak ele alınmıştır. Çünkü nümerik analizlerde yaprak yay yarım olarak düşünülüp ona göre analizler tamamlanmıştır. Hafif ticari araca ait bilgiler şu şekildedir: 3500 kg azami yüklü ağırlık, yürür vaziyette kütlesi 2000 kilogramdır. İstiap haddi 1500 kilogramdır. İstiap haddinin arka 2 dingile dağılımı 750 kilogramdır. Tam yaprak yaya gelen ağırlığın yarısı 375 kilogramdır. Buradan nümerik analizlerde kullanılması gereken kuvvet değeri 3750 N olarak belirlenmiştir.

Nümerik analizler sonucunda çeşitli grafikler çizdirilerek kompozit ve çelik yaprak yaylar birbiri ile kıyaslanmıştır. Ayrıca katkılı ve katkısız yaprak yaylarda birbiri ile kıyaslanmıştır. Çelik yaprak yay kompozit muadillerine göre daha az çökme miktarına sahip olup daha az gerilme değerine sahiptir. Yoğunluk değerlerine göre kompozit yaprak yay çelik yaydan daha hafiftir. Şekil 4.10 da kompozit katkısız yaprak yayın değişken yükler altındaki çökme miktarı görülmektedir. Çökme miktarı ayrıca bize kompozit yaprak yayın yol şartlarında konfor sağlayabileceğini göstermektedir. Şekil 4.10 incelendiğinde kuvvet miktarı arttıkça yayda meydana gelen çökme miktarı da artmaktadır.



Şekil 4.10 Değişken yüklerde katkısız kompozit yaprak yayın çökme grafiği

Şekil 4.11 de yer alan grafik incelendiğinde 1 numaralı plakadan imal edilen kompozit yaprak yayda gerilme analizi yapıldıktan sonra değişken kuvvetler altında doğru orantılı şekilde gerilmenin de arttığı görülmektedir. Kompozit yaprak yaylarda oluşan gerilme miktarı çelik muadiline göre fazla olduğu yapılan nümerik analizlerde tespit edilmiştir. Şekil 4.11 de yer alan grafik TD1'e göre imal edilmiş yaprak yayın sonucunu göstermektedir.



Şekil 4.11 Değişken yüklerde katkısız kompozit yaprak yayda oluşan gerilme grafiği

Şekil 4.12 de yer alan grafik çelik yaprak yay ile TD1'e göre imal edilmiş katkısız kompozit yaprak yayın çökme miktarlarının karşılaştırılmasıdır. Bu grafiğe

bakılarak Şu Şekilde bir yorum yapabilmek m¼mk¼nd¼r; elik yaprak yaylar uygulanan kuvvetler altında g¼sterdiđi ¼kme miktarından dolayı daha y¼ksek kuvvetlere dayanabileceği için daha ağır Şartlarda alıŐan araçlarda kullanımı uygun olacaktır. Öte yandan kompozit yaprak yay hafif ticari araç ve otomobillerde kullanılması durumunda önemli ölç¼de konfor sağlayarak kullanıcıların rahat etmesini sağlayabilecektir.



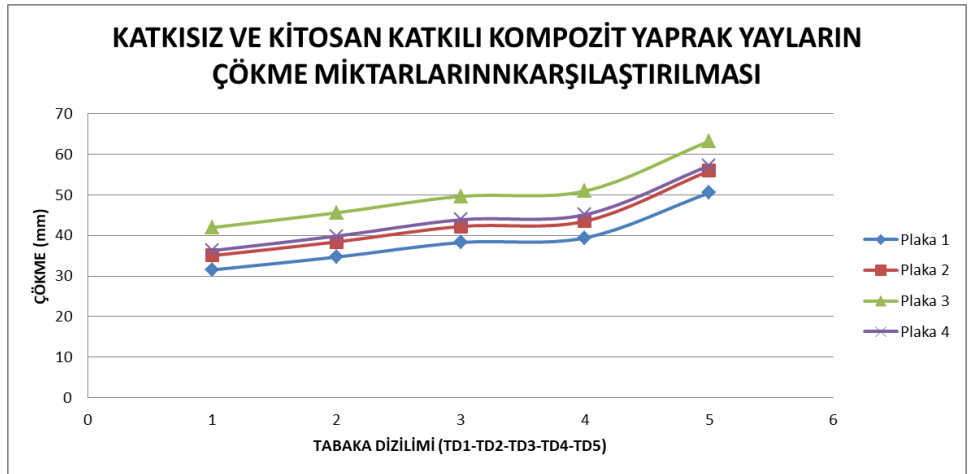
Şekil 4.12 Değişken y¼kler altında elik ve katkısız kompozit yaprak yayda oluşan ¼kme miktarlarının karşılaştırılması

Şekil 4.13 de yer alan grafik, elik ve katkısız kompozit yayın uygulanan kuvvetler sonucunda oluşan gerilme miktarlarının karşılaştırılmasını g¼stermektedir. Bu grafik, birbirine yakın miktarlarda oluşan gerilmeler neticesinde elik yayın kompozite g¼re daha az gerilmeye sahip olduğunu g¼stermektedir. Kompozit yayın yatay eksenini doğrultusunda oluşan gerilmenin fazla olması mevcut katı halinin bozulmasına sebep olabilecektir. Öte yandan n¼merik analizlerde yayın test sabitleri ve y¼kleme, destek noktalarının yerleri deđiŐtiđinde yaydaki gerilme miktarları da oldukça azaltılmaktadır. Yayın araç üzerine takılmasında kullanılan g¼zlerde yayın üzerinde oluşan gerilmeyi oldukça azaltmadır.



Şekil 4.13 Değişken yükler altında çelik ve katkısız kompozit yaprak yayda oluşan gerilme miktarlarının karşılaştırılması

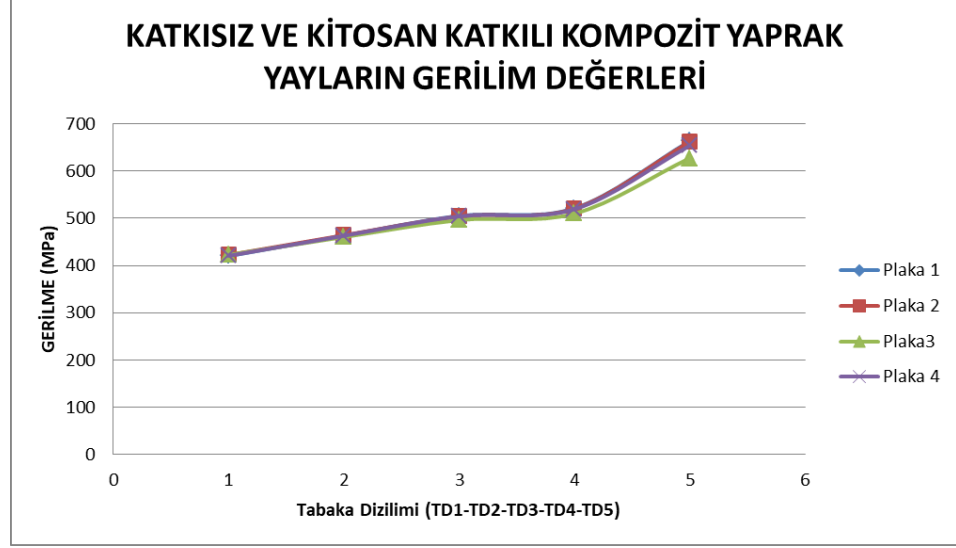
Şekil 4.14 de yer alan grafik kitosan katkılı ve katkısız kompozit yaprak yayların çökme miktarlarını göstermektedir. 3750 N kuvvet altında çeşitli tabaka dizilimlerinin yaprak yayın çökme miktarı üzerindeki etkisi belirtilmektedir. Grafik bize çeşitli tabaka dizilimlerinin yayın çökme miktarını arttırdığını göstermektedir. Kitosan katkısı arttıkça yaydaki çökme miktarı da artmaktadır. Kitosanın yayın çökme miktarına doğrudan etkisinin olduğu tespit edilmiştir. %2 den fazla kitosan ilavesi çökmeye oldukça fazla etki etmektedir.



Şekil 4.14 3750 N kuvvet altında P1-P2-P3-P4 numaralı yaylara ait çökme miktarları

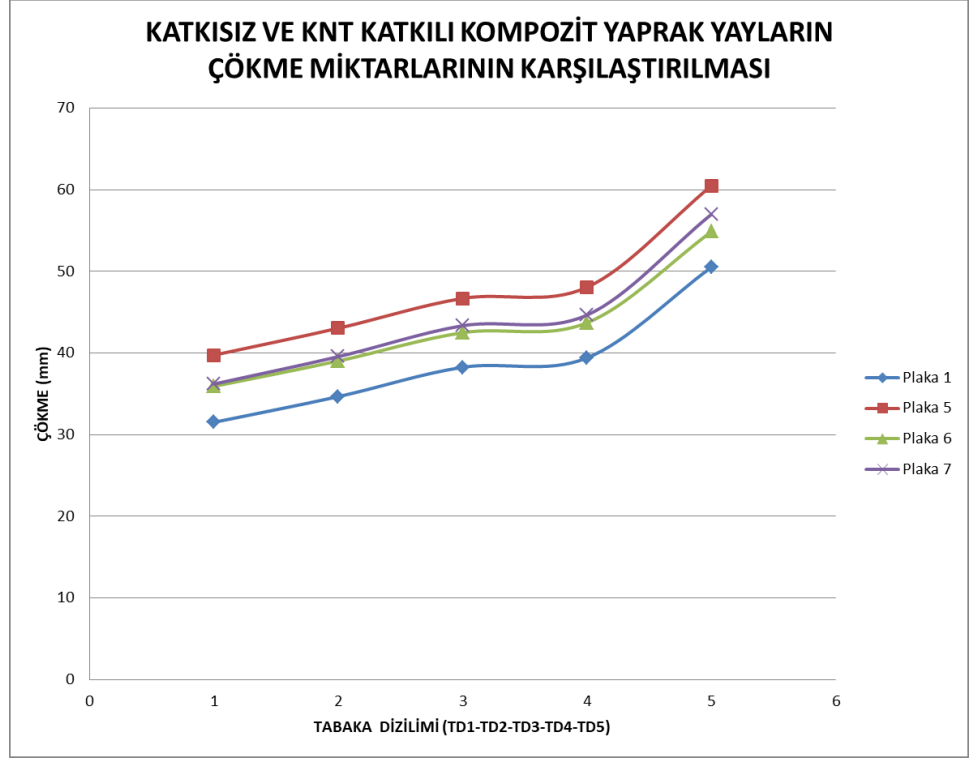
Şekil 4.15 de yer alan grafik kitosan ilavesinin yayın gerilmesine olan etkisini göstermektedir. Kitosan ilavesinin artması yayın gerilme miktarını değiştirmektedir.

Öte yandan tabaka dizilimi de yayın gerilme miktarını etkilemektedir. Kitosan miktarı en fazla olan plaka 4 katkısızaya yakın bir sonuç vermiştir. En düşük gerilme miktarı ise %2 oranında kitosan katkısı olan plaka 3 te görülmüştür.



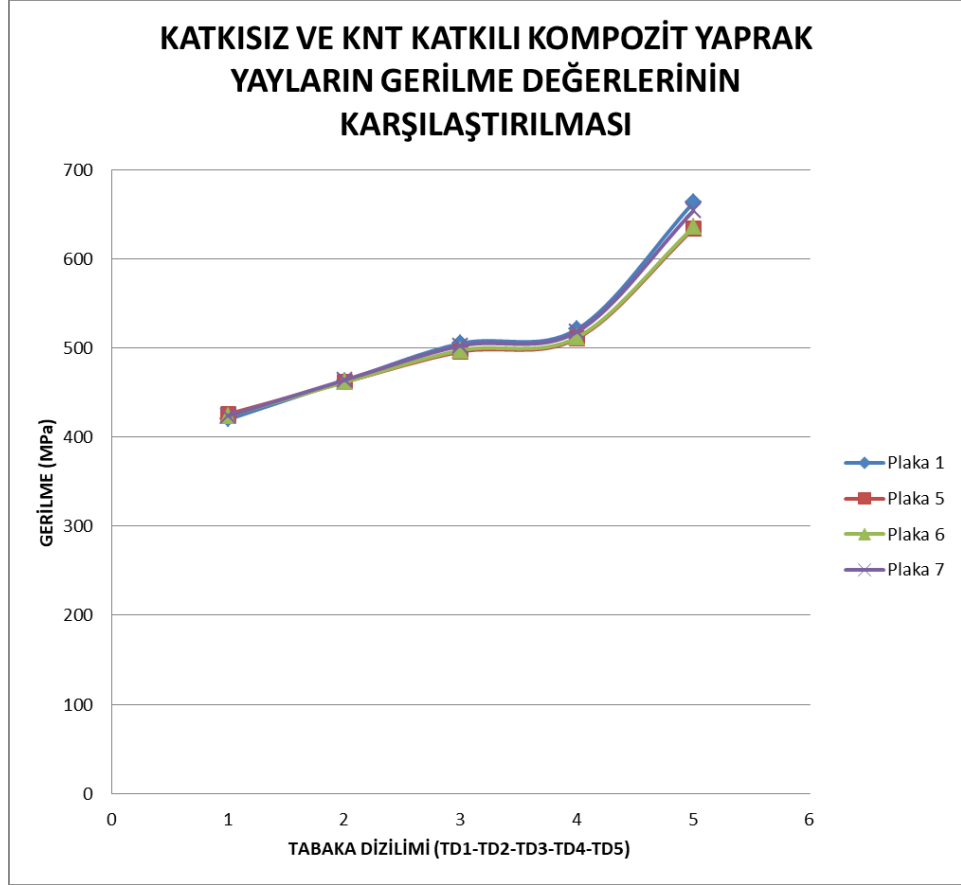
Şekil 4.15 3750 N kuvvet altında P1-P2-P3-P4 numaralı yaylara ait gerilme miktarları.

Şekil 4.16 da görülen grafikte KNT katkısının yayın çökme miktarına etkisi irdelenmiştir. Katkısız yayın diğer katkılı yaylara göre çökme miktarının daha az olduğu tespit edilmiştir. En yüksek çökme miktarı %0,1 oranında KNT katkılı 5 numaralı yaprak yayda meydana gelmiştir. KNT katkılı yaylar arasında en az çökme %0,2 oranında KNT katkılı plaka 6 da gerçekleşmiştir. Tabaka diziliminin yayların çökme miktarına olumsuz etkisi grafik üzerinde gözlemlenmiştir.



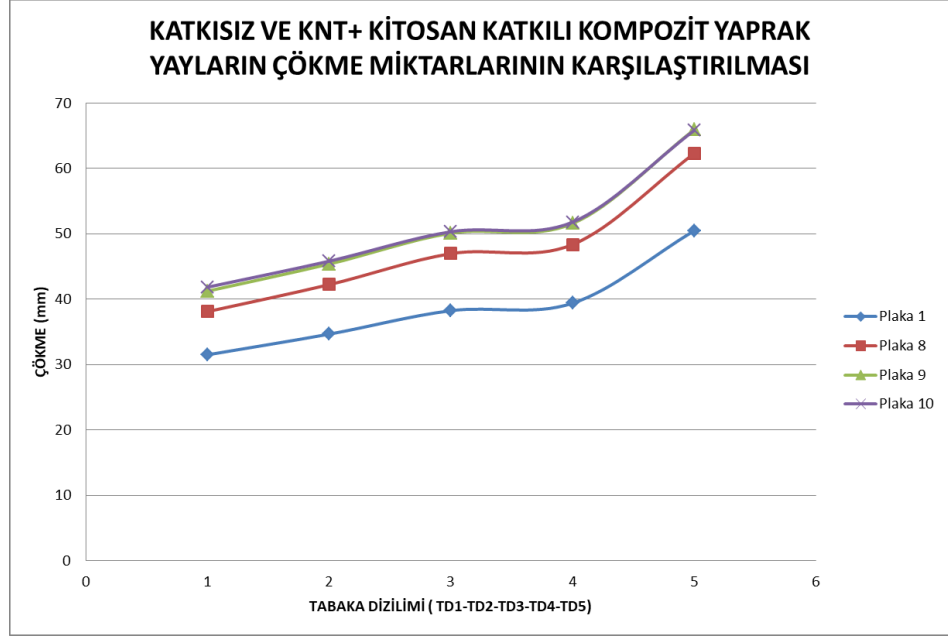
Şekil 4.16 3750 N kuvvet altında P1-P5-P6-P7 numaralı yaylara ait çökme miktarları.

Şekil 4.17 de görülen grafikte KNT katkısının yayların gerilme miktarlarına olan etkisi karşılaştırılmıştır. Bu grafiğe istinaden katkıli yayların gerilme miktarının katkısiz yaya oranla daha az olduğu söylenebilir. %0,1 ve %0,2 oranında KNT katkıli yaprak yayların gerilme miktarlarının katkısiz ve %0,3 oranda katkıli yaydan daha az olduğu tespit edilmiştir. KNT oranının belirli bir seviyeden sonra gerilme miktarına olumsuz etkisi tespit edilmiştir. Farklı tabaka dizilimlerinin de KNT katkıli ve katkısiz yaprak yaylara olan olumsuz etkisi tespit edilmiştir.



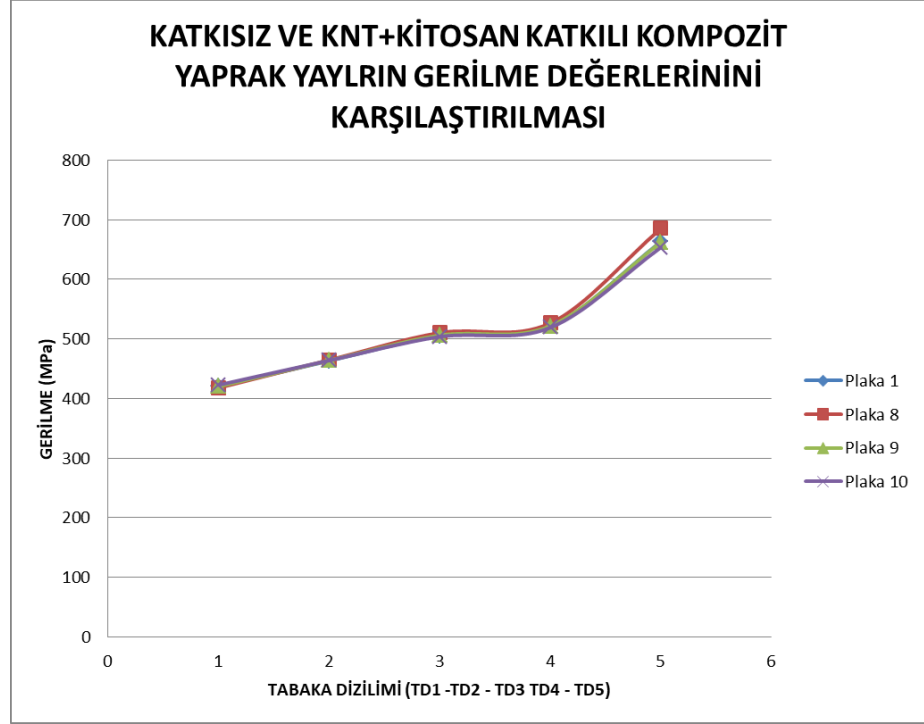
Şekil 4.17 3750 N kuvvet altında P1-P5-P6-P7 numaralı yaylara ait gerilme miktarları.

Şekil 4.18 de yer alan grafik her iki katkı türüne de sahip hibrit plakaların katkısız yayla çökme miktarlarının karşılaştırılmasını göstermektedir. Nümerik analizler sonucu 3750 N kuvvet altında farklı tabaka dizilimlerinin kompozit yayın çökme miktarına olumsuz etkisi tespit edilmiştir. KNT+kitosan katkısı arttıkça çökme miktarı da artmaktadır. Nümerik testlerden alınan sonuçlara göre KNT ve kitosan beraber kullanıldığı takdir de kompozit yaprak yayların çökme miktarına herhangi bir olumlu etkisi görülemedi. Bu iki madde beraber kullanıldığı takdirde ayrı ayrı kullanıldıkları şartlara göre daha fazla çökme meydana gelmiştir.



Şekil 4.18 3750 N kuvvet altında P1-P8-P9-P10 numaralı yaylara ait çökme miktarları.

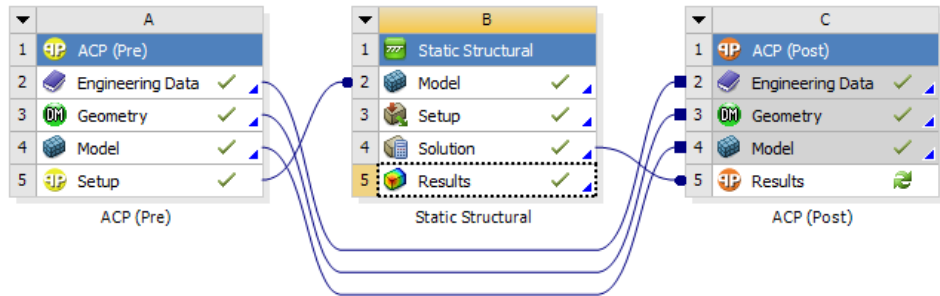
Şekil 4.19 da yer alan grafikte KNT+kitosan katkıli ve katkısiz yaprak yayların gerilme miktarları karşılaştırılmıştır. En yüksek gerilme miktarı plaka 8 de görülmektedir. Diğer yaylar katkısiz yaya yakın miktarda gerilme değerleri vermiştir. İki katkının beraber kullanıldığı kompozit yaylar katkısiz ve sadece kitosan, sadece KNT kullanılan yaylara yakın değerler vermiştir. 3750 N kuvvet altında yaylarda meydana gelen gerilme değeri tabaka diziliminden olumsuz etkilenmiştir. En düşük gerilme değerleri tabaka dizilimi 1 de meydana gelmiştir. Dolayısıyla buradan yapacağımız çıkarım, yaprak yayın yatay doğrultusu dışında ele alınan tüm açılar yayın gerilme miktarına olumsuz etki etmektedir.



Şekil 4.19 3750 N kuvvet altında P1-P8-P9-P10 numaralı yaylara ait gerilme miktarları.

4.3.1 Kompozit Yayların Sonuçlarının ACP Post ile Ele Alınması

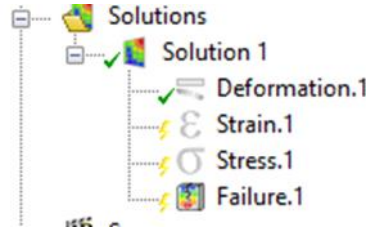
Bu kısımda, kompozit yay analizi için kullanılan ACP alt programı sonuçları POST kısmındaki hasar analizleri ele alınarak irdelenmiştir. ACP POST post proses denilen analiz sonuçlarının zenginleştirilmesi için kullanılan kompozit odaklı bir programdır. ACP PRE kısmına ek olarak Çözüm kısmı ve Hasar kriteri belirleme kısımları mevcuttur. ACP ve Statik yapı programlarının birbirleri ile olan bağlantı Şekil 4.20 de gösterilmiştir.



Şekil 4.20 ACP POST, PRE ve statik yapı alt programlarının birbiri ile olan bağlantıları

4.3.2 Çözüm Kısmı

Bu kısımda, ACP POST içerisinde tercihe göre eğer statik yapılar alt programı kullanılmak istenmez ise Şekil 4.21 de gösterildiği gibi bu tez için yapılmak istenen analizler bu kısımda da ele alınabilmektedir. ACP POST statik yapılar ile aynı sonuçları vermesine rağmen görsel zenginlikler ekleyerek analizin daha detaylı irdelenmesini sağlayabilmektedir.



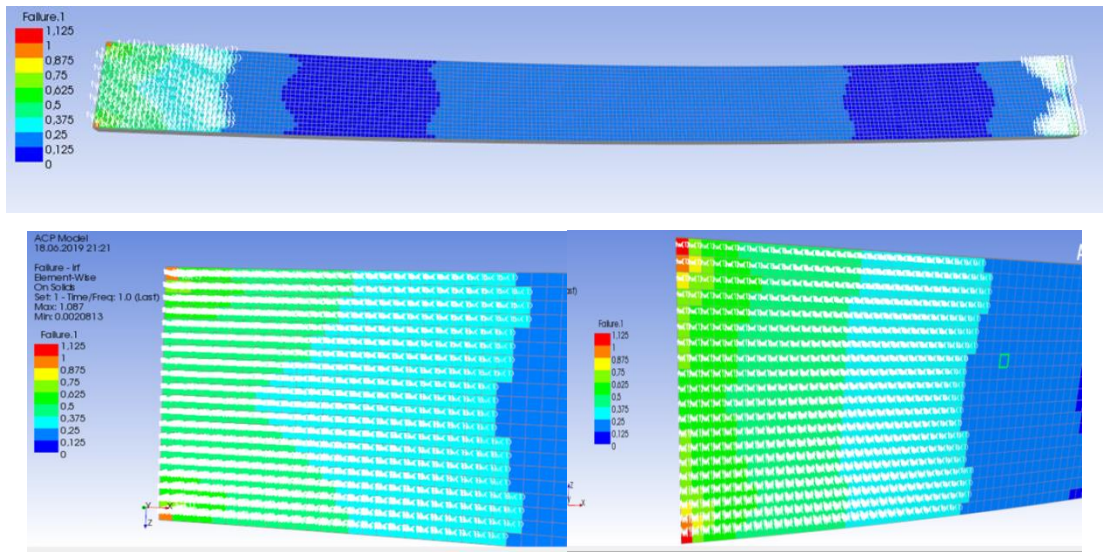
Şekil 4.21 ACP POST programının nümerik analiz yapılan kısmı

4.3.3 Hasar Kriteri Belirleme Kısmı

Çözüm kısmında hasar analizinin yapılması için hasar kriterleri başlığı içinden tüm kriterleri ekleyerek mevcut model üzerinde bu hasarların nerelerde olduğu gözlemlenebilmektedir.

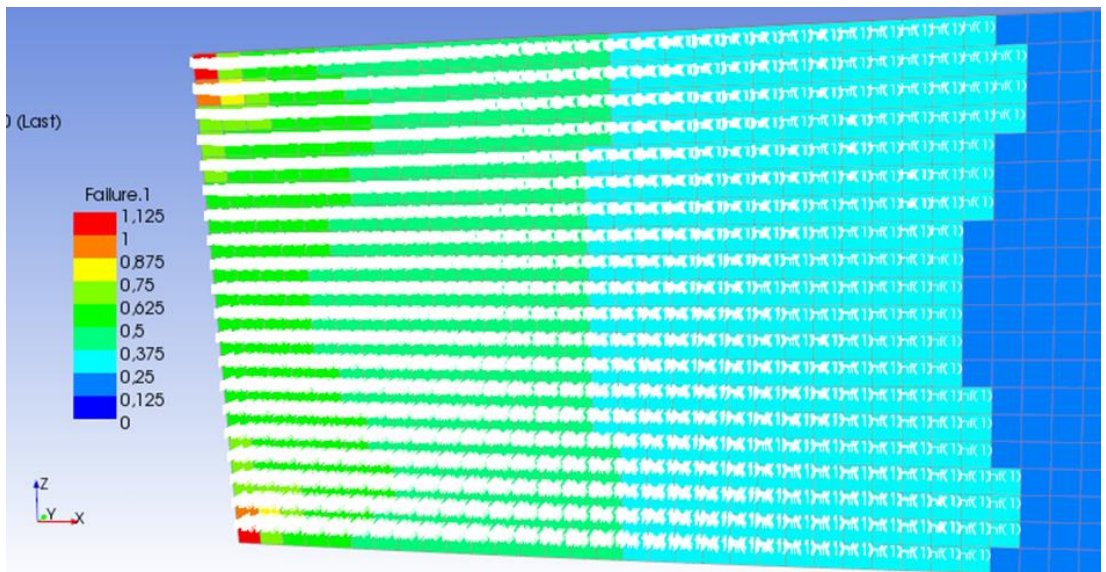
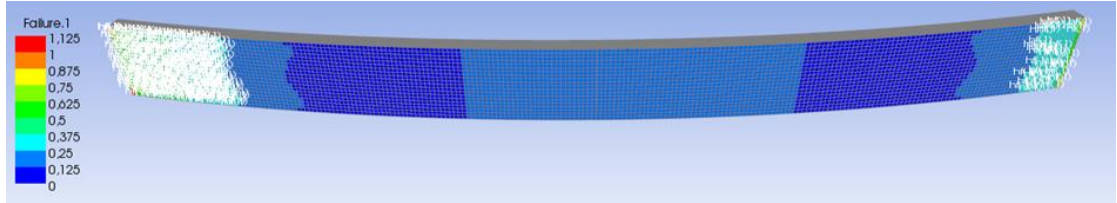
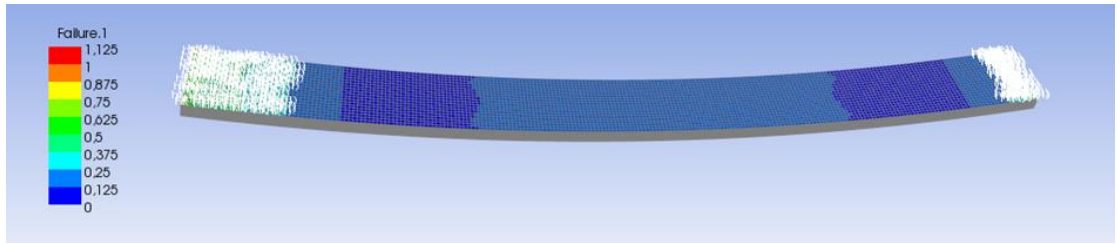
Kompozit yayın ACP POST programında vasıtasıyla elde edilmiş Tsai-Wu ve Hashin hasar kriterleri yayın en çok çökme meydana gelen yerlerinde oluşmaktadır. Yaprak yayın 3750 N yük altında, Hashin ve Tsai-Wu kriterleri uygulanarak elde edilen sonuçları 5 farklı tabaka dizilimi denenerek elde edilmiştir. Bunun uygulanma sebebi her iki kriter için tabaka diziliminin parça üzerindeki etkisini gözlemlemektir. Analizlere başlanmadan önce malzeme seçimi yapılmıştır. Statik yapılar kısmından alınan çökme verilerine göre en uygun malzeme Plaka 1 ile imal edilmiş katkısız kompozit yaprak yay olacağı düşünülmüştür. Tsai-Wu hasar kriteri analizi yapılmadan önce mevcut malzemeye bağlama sabiti verilir. XY-YZ-XZ yönlerinde “-1” alınarak analizler gerçekleştirilmiştir. Analizlerden elde edilen sonuçlarda görülen beyaz kısımlar, Hashin’e ait ise “hw”, Tsai-Wu ya ait se “tw” olarak parça üzerindeki yazan yazılardır. Bu kısımlarda oluşan deformasyonlar yanda görülen hata baremi üzerinde 0-1,125 arasındaki değerlerle birlikte renklerle ifade edilmiştir.

Şekil 4.22 de “-1” bağlama sabiti ile Tsai-Wu kriteri uygulanan katkısız kompozit yaprak yayın hasar analizi gösterilmiştir. Özellikle plakanın uç kısımlarında analiz esnasında destek atandığı için bu kısımlarda yüksek miktarda hasar meydana gelmiştir. TD1’e göre analizi yapılan yaprak yay, fiber yönü yaprak yay doğrultusunda olduğu için yayın orta noktasında hasar toleransın altında kalmıştır. Öte yandan nümerik analiz esnasında desteklerin yeri ve şartları değiştirilerek daha farklı sonuçlar elde edilebilir. TD1 e göre ortalama hasar miktarı 0,5 ile 0,75 arasında meydana gelmiştir. Yayın üst görünüşü ve hasar oluşan noktaların yakından görülen hali Şekil 4.22 de verilmiştir.



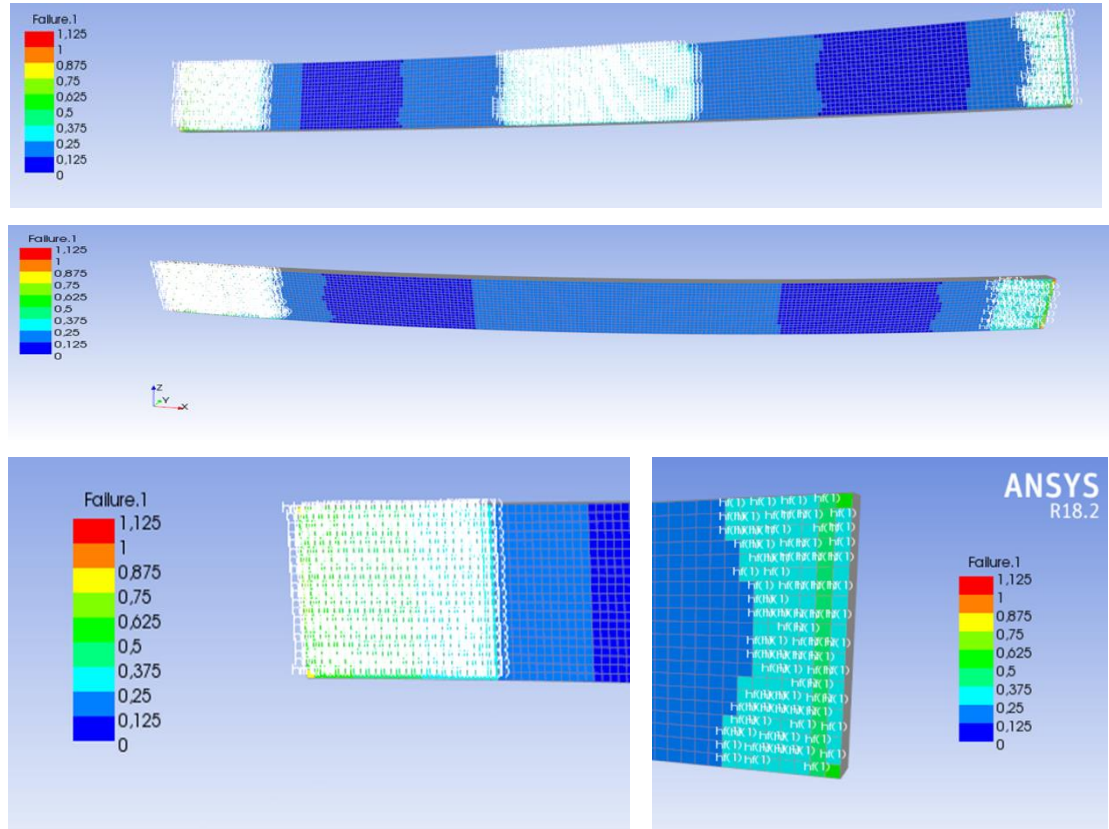
Şekil 4.22 Tsai-Wu kriterine göre TD1 durumundaki hasar analizi.

Şekil 4.23 de Hashin kriterine göre yaprak yaydaki hasar analizi görülmektedir. Analiz TD1 e göre imal edilmiş katkısız kompozit yaprak yay üzerinde yapılmıştır. Tsai-Wu kriterinde olduğu gibi Hashin kriterinde de yayın orta noktasında deformasyon meydana gelmemiştir. 3750 N yük altında bu deformasyonun meydana gelmeme sebebi fiber yönü ile yayın doğrultusunun aynı olmasıdır. Yay yapısı gereği analiz şartlarında sağ ve sol kısımlardan destek noktaları koyulduğu için bu kısımlarda hasar oranı daha fazladır. Hasar analizleri yayın en üst ve en altında bulunan katmanlar üzerinde gösterilmektedir. 1. ve 60. tabaka aynı fiber doğrultusunda aynı kalınlıkta olduğu için hasar oranları birbirine yakındır. Yaklaşık hasar sağda verilen renkli baremde görüldüğü gibi 0,5-0,75 arasında gerçekleşmiştir. Şekil 4.23 de görüldüğü üzere 60. tabaka en çok hasar gören tabakadır.



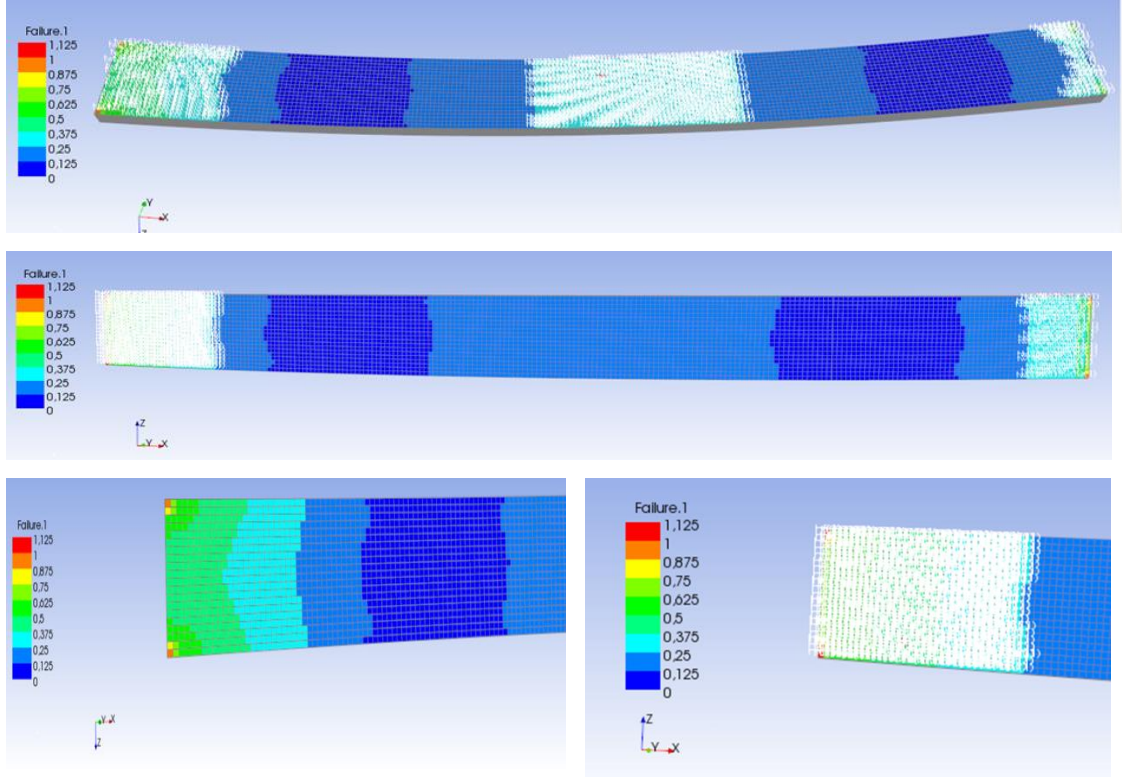
Şekil 4.23 Hashin kriterine göre TD1 deki hasar analizi

Şekil 4.24 de “-1” bağlama sabiti ile Tsai-Wu kriteri uygulanan kompozit yaprak yayın hasar analiz görüntüsü verilmiştir. Tabaka diziliminin hasar oranına etkisini inceleyebilmek adına gene plaka 1 in malzeme özellikleri kompozit yay TD2 için analiz edilmiştir. Nümerik analizler sonucu hasar oranı yayın üst orta kısmında yoğunlaşmaktadır. Kuvvetin uygulanışı ve desteklerden ötürü uç kısımlar ve orta kısımlarda hasar oranı daha fazladır. Fiber yönünün yay ile farklı doğrultuda olması yayın orta noktasında oluşan çökme miktarını artırmaktadır.



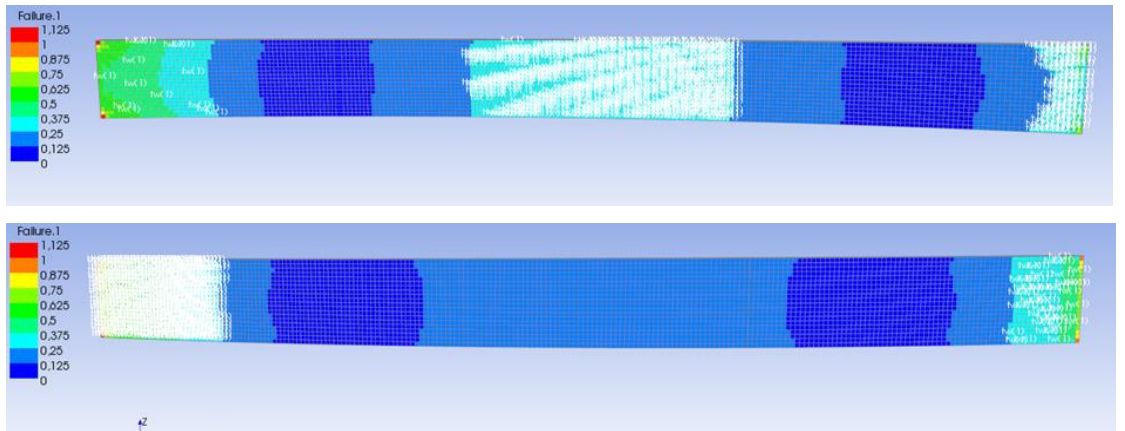
Şekil 4.24 Tsai-Wu kriterine göre TD2 deki hasar analizi

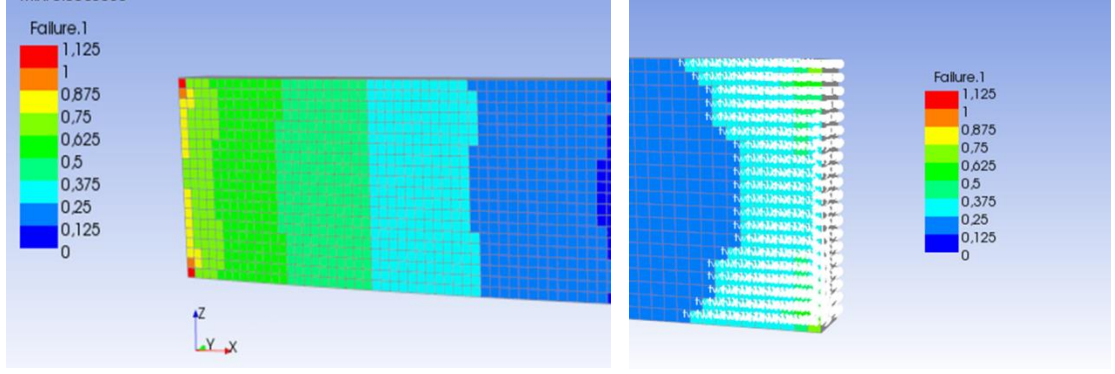
Şekil 4.25 de Hashin kriterine göre hasar analizi yapılmış katkısız kompozit yaprak yay görülmektedir. TD2 ye göre analiz yapılma sebebi fiber doğrultusunun yayın hasar oranına etkisidir. 3750 N altında katkısız kompozitin malzeme özellikleri kullanılarak modellenen farklı tabaka dizilimlerine sahip kompozit yaprak yayların çökmeleri incelendiğinde TD1 e göre diğer tabaka dizilimli yaprak yaylarda daha fazla çökme oluşmaktadır. TD2 li yaprak yay diğer takviye doğrultularında olduğu gibi nümerik analizde kuvvetin uygulandığı yer ve desteklerden dolayı yayın uç noktaları ve orta noktası daha fazla hasara uğramaktadır.



Şekil 4.25 Hashin kriterine göre TD2 deki hasaranalizi

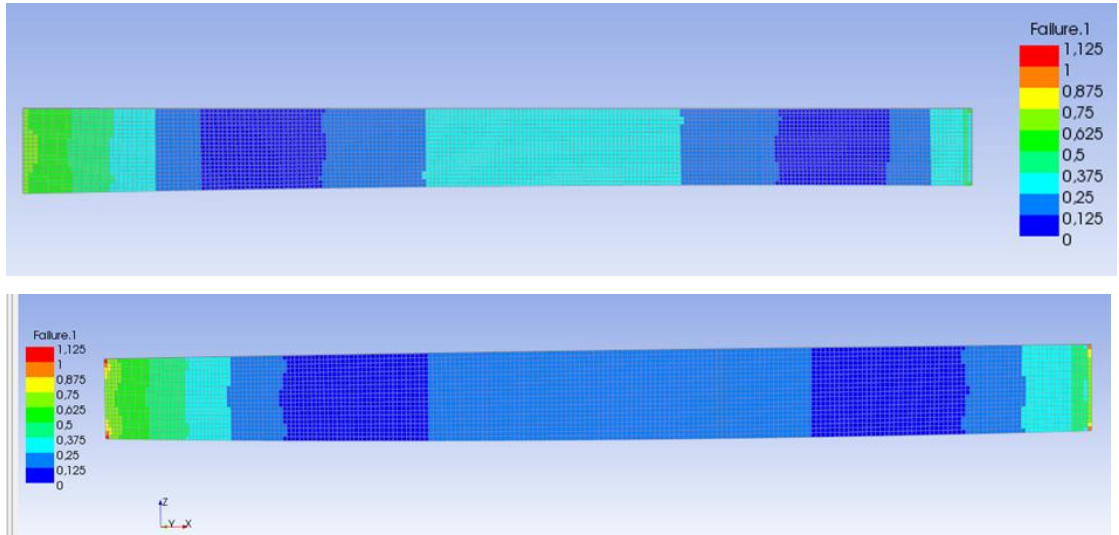
Şekil 4.26 de “-1” bağlama sabiti ile Tsai-Wu kriteri uygulanan kompozit yaprak yayın hasar analiz görüntüsü görülmektedir. Şekilde görüldüğü gibi yayın uç kısımları ve orta noktada hasar miktarı daha yoğundur. Yine diğer durumlarda olduğu gibi bu analizde de tabaka diziliminin etkisi gözlemlenmiştir. TD3 e göre imal edilmiş P1 in özellikleri kullanılmış kompozit yay nümerik analizler sonucu yayın üst kısmında ve alt uç kısımlarında meydana gelen hasar oranları Şekil 4.26 da görülmektedir. Hasar miktarı 0,5-0,75 oranında değişmektedir.

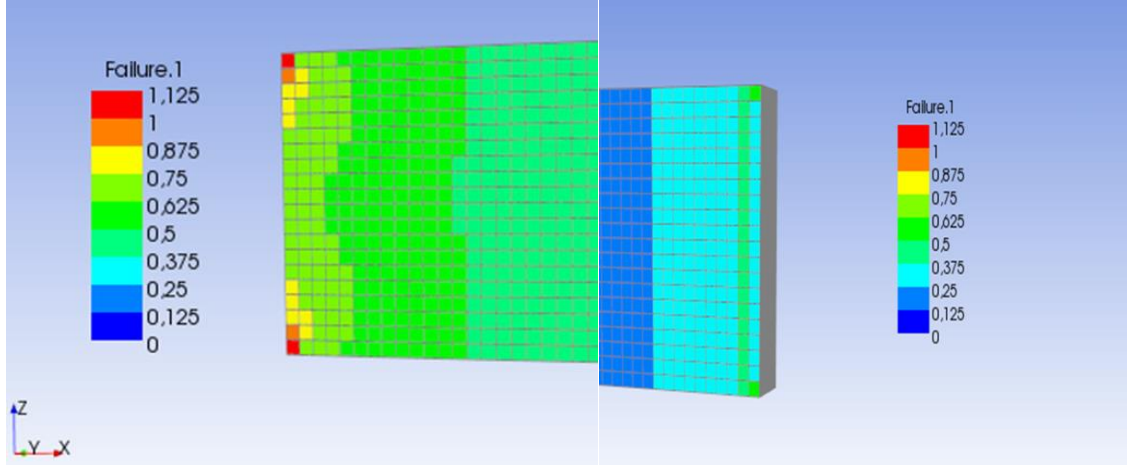




Şekil 4.26 Tsai-Wu kriterine göre TD3 deki hasar analizi

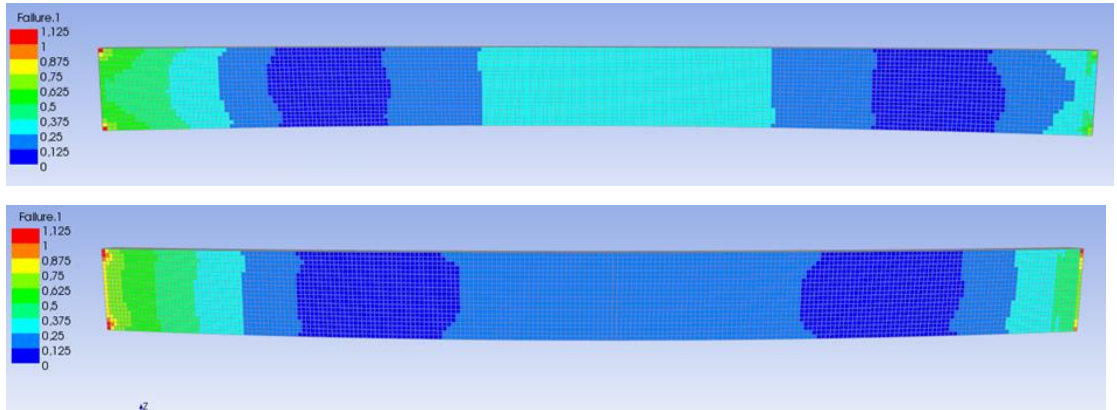
Şekil 4.27 de 3750 N kuvvet altında P1 katkısız kompozit yaprak yayın Hashin kriteri baz alınarak yapılan hasar analizi görülmektedir. Yayın kenarlarında oluşan hasarlar incelediğinde TD3 e göre imal edilen yayda daha fazla hasar meydana gelmiştir. Bu nümerik analiz neticesinde TD3 e göre analiz edilen katkısız yayda yayın kenarları ile ortası arasında yeni hasar noktalarının meydana geldiği görülmektedir. Fakat Hashin kriterinde daha az kırmızı ile gösterilen yüksek hasarlı noktalar olduğu gözlemlenmiştir. Mevcut nümerik analizde kullanılan kuvvet miktarı, kuvvetin uygulandığı nokta ve destek şartları değiştirildiği takdirde daha az hasarlı bir analiz sonucu elde edebilmek mümkündür.

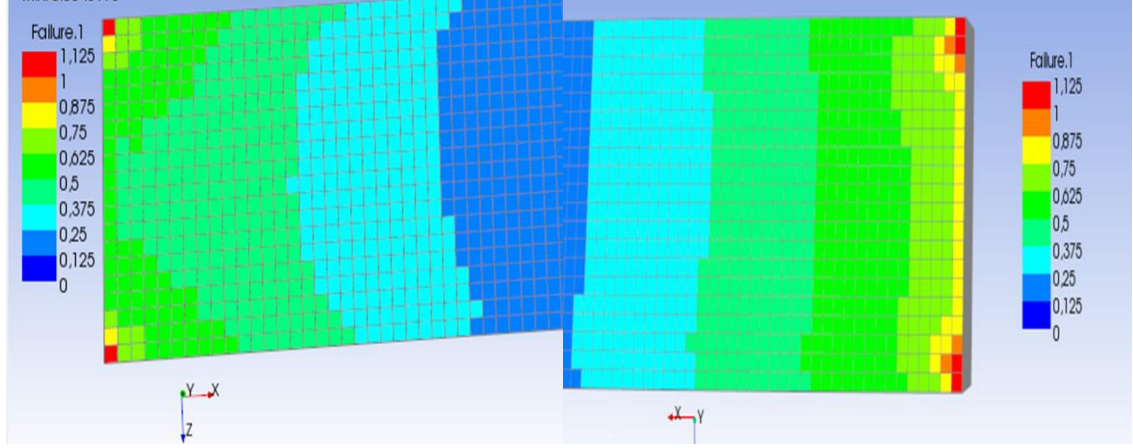




Şekil 4.27 Hashin kriterine göre TD3 deki hasar analizi

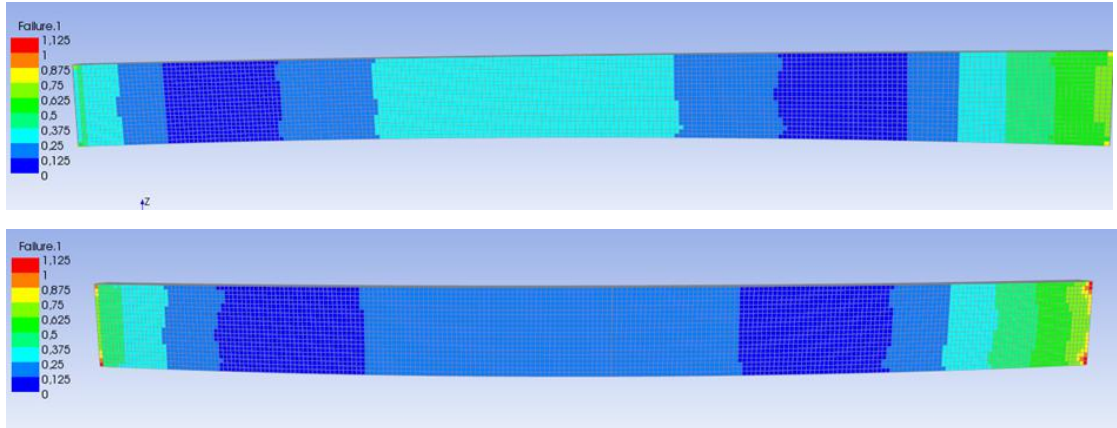
Şekil 4.28 de görülen katkısız kompozit yapak yay, TD4 e göre modellenmiştir. 3750 N yük altında oluşan hasarlar incelendiğinde diğer analizlere benzer noktalara ek hasar noktaları yay üzerinde daha geniş alanlarda görülmeye başlanmıştır. Bunun nedeni de TD4 te tamamen çapraz takviyeleri kumaşlar kullanmak yerine açılı kumaşlarında kullanılmasıdır. Böylelikle yay, uygulanan kuvvet ve çalışma şartları neticesinde daha fazla hasar görmeye müsait hale gelmektedir. Özellikle çökme oranında meydana gelen artışlar da bu sebeple açıklanabilir. “-1” bağlama sabiti alınarak Tsai-Wu kriterine göre analiz edilmiş kompozit yay özellikle kuvvetin uygulandığı ve desteklerin koyulduğu noktalarda daha fazla hasara uğramıştır. Yayın en üst katmanında daha fazla hasar meydana geldiği Şekil 4.28 den görülebilir.

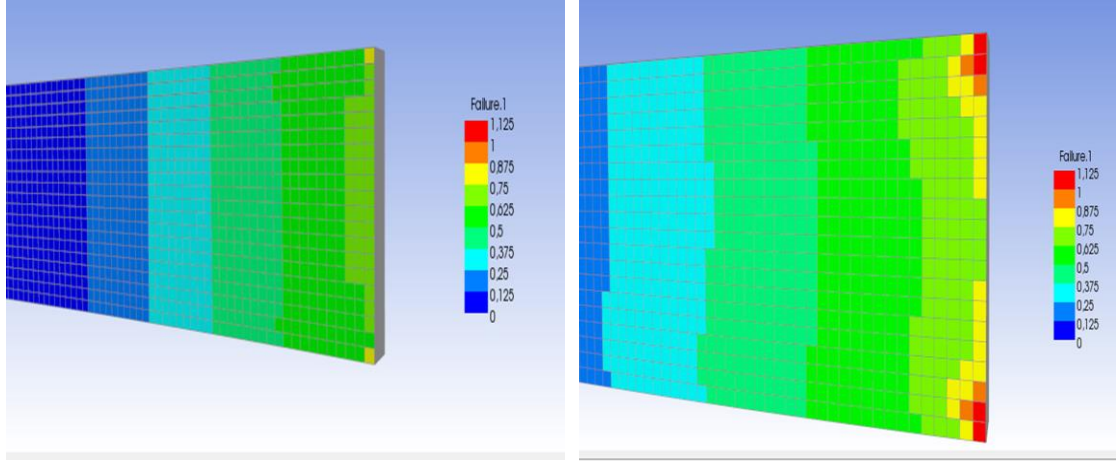




Şekil 4.28 Tsai-Wu kriterine göre TD4 deki hasar analizi

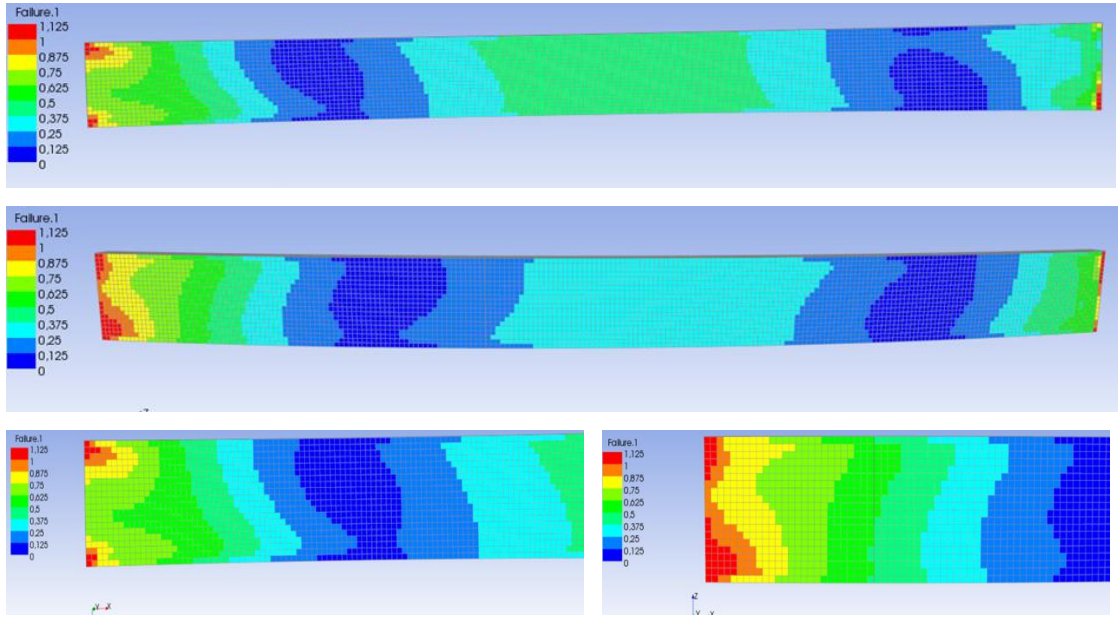
Şekil 4.29 da görülen hasar analizi TD4e göre imal edilmiş katkısız kompozit yaprak yaya aittir. Hashin kriterine göre analiz edilen yay %0,25 0,375 arasında geniş alanlarda hasara uğramıştır. Uç noktalarda ise 0,5 ve üzeri hasarlar daha yoğun görülmektedir. Yayın üst yüzünde daha geniş alanda fakat düşük oranda hasar görülse de yayın alt uç noktalarında daha yüksek miktarda fakat daha seyrek hasar noktaları gözlemlenmektedir. Sebebi ise değişen tabaka dizilimi ile açıklanabilmektedir. Bir diğer faktör de mesh büyüklüğü ve hassasiyetidir. 3 mm boyutunda kaba mesh oluşturularak analiz edilen yaprak yay daha düşük ve daha hassas bir mesh kalitesi ile hasarlı düğüm noktaları farklılık gösterebilir.





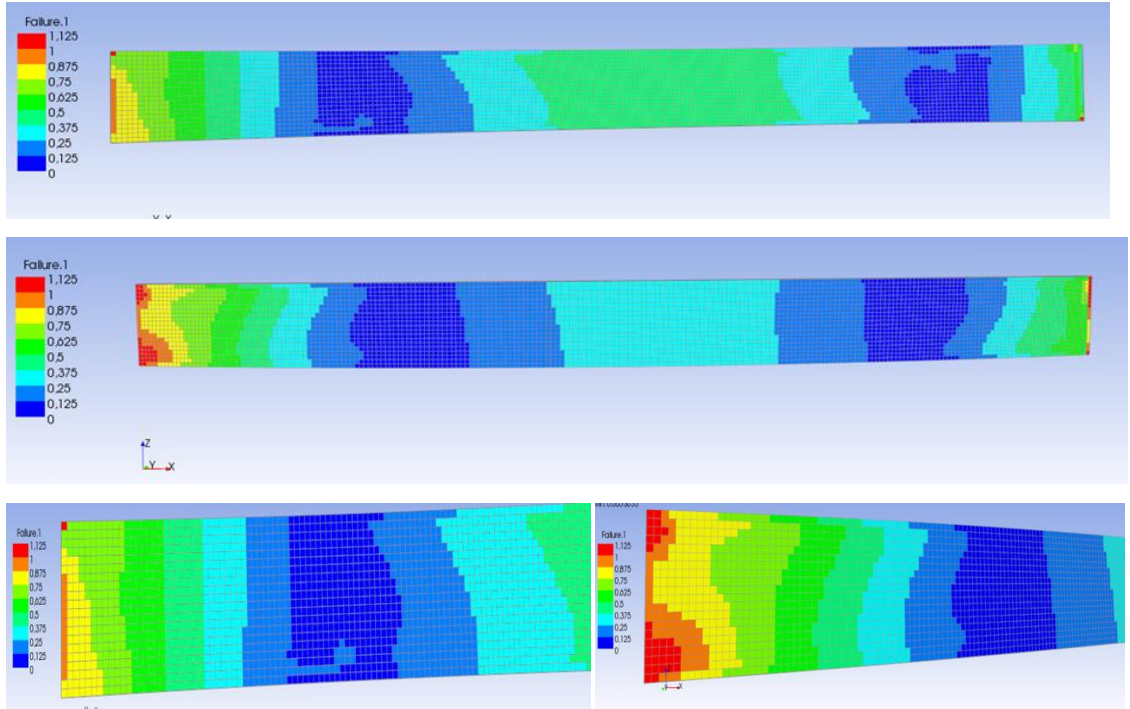
Şekil 4.29 Hashin kriterine göre TD4 deki hasar analizi

Şekil 4.30 da görülen TD5 tabaka dizilimine sahip yay, “-1” bağlama sabiti kabul edilerek Tsai-Wu hasar kriterine göre analiz edilmiştir. Analiz neticelerinde yayın diğer tüm tabaka dizilimlerine göre daha fazla hasara uğradığı gözlemlenmiştir. En üstteki tabaka incelendiğinde diğer tabaka dizilimlerine göre daha yüksek miktarda ve yaygın hasarlar görülmektedir. Örneğin orta üst kısımda bir önceki dizilimlerde en yüksek 0,25-0,375 aralığında hasar görülmesine karşın TD5 yayında 0,5-0,625 aralığında hasar görülmektedir. Yayın sabit desteğinin bulunduğu sol kenarın alt ve üstünde 1 ve üzeri hasarlar meydana gelmiştir. Yayın ortası ve kenarları arasında kalan hasarsız bölgenin diğer yaylara oranla daha seyrek olduğu gözlemlenmiştir.



Şekil 4.30 Tsai-Wu kriterine göre TD5 deki hasar analizi

Şekil 4.31 de Hashin kriterine göre analiz edilmiş TD5 tabaka dizilimli katkısız kompozit yaprak yayın hasarlı bölgeleri görülmektedir. Analiz sonuçları diğer tüm tabaka dizilimlerine göre imal edilmiş ve Hashin kriteriyle analiz edilmiş yaylardan daha fazla hasara uğradığını göstermektedir. Üst orta noktada meydana gelen hasar diğer analizler incelendiğinde daha yüksek değerlerde ve geniş alanlarda olduğu tespit edilmiştir. Yaya kuvvet uygulandığında çalışma yapısı gereği çökmenin meydana geldiği bu nokta Tsai-Wu kriteri ile analiz edilen parçadan bir miktar daha az hasara uğradığı tespit edilmiştir. Yine diğer analizlerde olduğu gibi bu tabaka diziliminde de kuvvetin şiddeti, uygulama noktası, desteklerin konumları değiştirildiğinde farklı sonuçlar elde etmek mümkündür. Mevcut analizde en yüksek hasar yayın sol alt ucunda meydana gelmiştir. En alt ve üst katmanlarda diğer katmanlara oranla daha yüksek hasarlar meydana gelmiştir. Sonuç olarak fiber yönü yayın yatay doğrultusundan ne kadar farklı açı yaparsa deformasyon da o denli artmaktadır. Yapılacak bir diğer çıkarım ise Hashin kriterine göre yapılan analizlerde Tsai-Wu kriterine göre yapılan analizlere oranla daha az hasar meydana geldiğidir.



Şekil 4.31 Hashin kriterine göre TD5 deki hasar analizi

5. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

Bu tez çalışmasında katkılı ve katkısız cam elyaftan imal edilmiş kompozit plakaların mekanik özellikleri belirlenip, sonuçlar nümerik analizlerde kullanılarak bilgisayar ortamında kompozit yaprak yaylar analiz edilmiştir. Cam elyaf takviyeli kompozit malzemelere Kitosan ve Karbon nanotüp katkıları eklenerek mukavemet değerleri kıyaslanmıştır. Değişken yükler altında nümerik analizleri yapılarak çökme miktarı ve gerilme değerleri elde edilmiştir. Nümerik analizlerle katkılı kompozit yaprak yayların, farklı fiber takviye açıları kullanılarak modellenmesi durumunda elde edilen gerilme ve çökme miktarları birbirleriyle kıyaslanmıştır. Çelik yaprak yaya ait geometrik özellikler piyasada kullanılan tek katlı bir örneğinden alınarak yarım hali nümerik analizlerde kullanılmak üzere modellenmiştir. ACP programında kompozit yaprak yay 60 kat olarak modellenmiştir. Katkısız kompozit yaprak yay, nümerik olarak ACP POST programında hasar analizleri yapılarak iki farklı hasar kriterine göre sonuçları yorumlanmıştır. Değişken katkı malzemeleri ve oranları, değişken kuvvetler, farklı fiber takviye açıları, iki çeşit hasar kriteri ile analiz edilen katkılı Cam-Elyaf/Epoksi plakalar/yaprak yaylar hakkında nümerik ve mekanik çalışmalar sonucu şu değerlendirmeler yapılmıştır:

- KNT miktarının belli bir orandan sonra artırılmasının cam elyaf/epoksi plakların mukavemetine olumsuz etkide bulunduğu gözlemlenmiştir. Kitosan katkısının plakların mekanik özelliklerinde herhangi bir iyileştirme yapmadığı gözlemlenmiştir. Katkı malzemelerinin miktarının artırılması reçine karışımında yoğunluğa sebep olduğu için kullanılacak kumaş miktarına uygun oranda katkı maddesi kullanılması mekanik testlerde sağlıklı sonuçlar alınmasına sebep olacaktır. Yapılan mekanik testler her iki katkı maddesinin karıştırıldığı durumlarda sağlıklı sonuçlar alınmadığını göstermektedir.
- Değişken kuvvetlerin uygulanması ile çökme ve gerilme miktarı orantılı bir şekilde değişmektedir. Farklı katkı malzemelerinin kullanıldığı yaprak yaylar farklı yükler altında analiz edildikten sonra

kuvvet miktarının artması çökme ve gerilme değerlerine doğrudan etki ettiği tespit edilmiştir. Aynı ebatlara sahip çelik ve kompozit yaylarda meydana gelen çökme ve gerilme miktarları çelik yayın daha katı ve yüksek kuvvetlere dayanıklı olduğunu göstermiştir.

- Çelik yay ile katkısız kompozit yay arasında yapılan karşılaştırmalar kompozit yaprak yayların yüksek kuvvetler altında daha fazla çökmeye sahip olduğunu göstermektedir. Bu durumda ağır ticari araçlarda çelik yayın kullanılması daha uygun olacaktır. Fakat hafif araçlarda kullanılması durumunda kompozit yay yaylanma bakımından yol şartlarından kaynaklanan olumsuzlukları elimine edebileceği için daha fazla konfor sağlayacaktır. Katkılı kompozit yaylar çökme konusunda çelik yaydan daha kötü sonuç göstermiştir. Bu durumun farklı yerden kuvvet uygulanması ve farklı destek koşulları sağlanması durumunda değişkenlik gösterdiği nümerik analizler esnasında gözlemlenmiştir.
- Farklı tabaka dizilimlerinin denendiği analizler incelendiğinde TD1 diğer tüm dizilimlerden daha iyi sonuç vermiştir. Bunun nedeni ise yaprak yayın çalışma koşulu, yükün etki ettiği yer nedeniyle yayın yatay yönüne paralel fiber takviye açıları bu şartlara en uygun olduğu için en sağlıklı sonuçlar TD1 de elde edilmiştir. Analizler 0° fiber takviye açısının kompozit yaprak yaylara en uygun fiber takviye açısı olduğunu göstermektedir. Çelik yaya en yakın sonuçlar katkısız TD1 e göre imal edilen yaprak yayda gözlemlenmiştir.
- Katkılı kompozit yaprak yayların katkı maddesi ve oranı ne olursa olsun bu analiz şartlarında katkısız kompozit yaprak yaydan daha az dayanıklı olduğu gözlemlenmiştir. Fakat katkı ve katkısız kompozit yaprak yayların gerilme oranları birbirine oldukça yakındır. KNT ve Kitosanın gerilme miktarına etkisi oldukça azdır. Katkı maddelerinin reçine içine homojen dağılabilmesi için kullanılan ultrasonik karıştırıcı katkı miktarı arttıkça etkili bir karışım hazırlamakta zorlandığı için yoğun katkı oranları zayıf sonuçlar vermiştir.
- 3, 5, 9 ve 10 numaralı plakaların kıyaslandığı grafikler incelendiğinde en çok deformasyona uğrayanlar oldukları görülmektedir. 9 ve 10

numaranın karışım oranının fazla olması deformasyon değerlerinde olumsuz sonuçlar doğurmuştur. 5 numaralı plaka en az KNT katkısına sahip olan plakadır. Fakat katkısız yay ile karşılaştırıldığında değerlerin oldukça farklı olduğu gözlemlenmiştir. Yaylar TD5 de en fazla deformasyona uğramıştır.

- Kompozit plaklardan imal edilmiş ve tabakalararası kayma mukavemetinin hesabı için kullanılan numuneler oldukça zor şartlarda işlenmiştir. Bu işlemler sırasında şöyle bir çıkarım yapılmıştır. Numuneler tabaka kalınlığı az olduğu için beklenen neticeleri çekme testinde verememiştir. Bu testi katkı malzemesinin miktarı da olumsuz etkilemektedir. Çünkü yoğun katkılarda prepreg reçinesi istenilen mukavemet değerini verememektedir.
- Yaprak yayın modellendiği çelik yayın gözden göze uzaklığı ya da toplam boyu 1400 mm dir. Bunun yarısı alınarak analiz edilmesi çökme noktasının yerini değiştirdiği için daha yüksek çökme değerleri vermektedir. Yayın nümerik analiz esnasında göz kullanılmadan analize tabi tutulması yayın uç kısımlarında yüksek gerilmelerin oluşmasına sebep olmuştur.
- Tabaka dizilimleri incelendiğinde TD4 ile TD5 arasında yaklaşık %30 - %35 fark vardır. Bunun sebebi yayın en çok deformasyona uğrayan kısımları olan en üst ve en alt tabakalarının 5 er kat olmasıdır. Katkı malzemelerinin miktarı arttıkça bu oran da artmaktadır. Öte yandan TD4 ile TD3 birbirlerine çok yakın sonuçlar vermiştir. Bunun sebebi her iki dizilimde üst ve alt tabakalarının 10 ar kat olmasıdır.
- Yapılan hasar analizleri, 3750 N kuvvet altında katkısız kompozit yaprak yayın hasar oranını tabaka dizilimlerinin etkilediğini göstermiştir. Tabaka dizilimleri yayın yatay eksenine ile açı yaptığı durumlarda hasar oranı artmaktadır. Tsai-Wu kriteri “-1” bağlama sabiti alındığı durumda Hashin kriterinden daha yüksek şiddette hasar sonuçları vermektedir. TD5 incelendiğinde Tsai-Wu kriterinin yaprak yay üzerinde daha yoğun hasar noktaları oluşturduğu gözlemlenmiştir. Her iki durumda da yayın çökme meydana gelen orta noktası ve

kuvvetin uygulandığı, desteklerin konumlandığı uç noktalarda hasar oranı daha fazladır.

- Kompozit yaprak yay ve çelik yaprak yayların kıyaslandığı bu çalışmada en önemli hedefler arasında olan ağırlıktan kazanç/ hafiflik olduğu bilinmektedir. Cam elyaf malzemedan yarım şekilde imal edilen yaprak yay, yarım çelik yaprak yaydan daha hafiftir. Bu hafiflik sayesinde emisyon oranında azalma, yakıt tasarrufu ve daha yüksek beygir gücüne düşen ağırlık değeri sağlanmıştır.

6. KAYNAKLAR

- Adesina, O.T., Jamiru, T.,Sadiku, E.R., Ogunbiyi, O.F.,Beneke, L., “Mechanical evaluation of hybrid natural fibre–reinforced polymeric composites for automotive bumper beam: a review”, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, sayfa1-17, (2019).
- Al-Qureshi, H. A., ” Automobile leaf springs from composite materials”, *Journal Of Materials Processing Technology*, 118,(1), 58-61, (2001).
- Ashwini, K., Rao,C.V.M., ” Design and Analysis of Leaf Spring using Various Composites–An Overview”, (ed: Prof C.V. Mohan Rao), *Materials Today: Proceedings 5*, 5716–5721, (2018).
- Çallıoğlu H., Kavla F., “Kitosan/Karbonnanotüp Katkılı Kompozit Yaprak Yayların Mekanik Davranışları”,(eds: Prof. Dr. Hasan Çallıoğlu ve Furkan Kavla), *International Conference on Human-Computer Interaction, Optimization and Robotic Applications*, Ürgüp, Nevşehir, (2019)
- Demir, A., Seventekin, N., “Kitin, kitosan ve genel kullanım alanları”, *Tekstil Teknolojileri Elektronik Dergisi* , 3, (2), 92-103, (2009).
- Gojny FH, Wichmann MHG, Köpke U, Fiedler B, Schulte K., ” Carbon nanotube reinforced epoxy-composites: enhanced stiffness and fracture toughness at low nanotube content”, *Compos. Sci. Technol.* , 64, 2363–71, (2004).
- Gojny FH, Wichmann M H G, Fiedler B, Schulte K., ” Influence of different carbon nanotubes on the mechanical properties of epoxy matrix composites – A comparative study”, *Compos. Sci. Technol.* , 65, 2300, (2005).
- Gopalakrishnan, T., Raja, M., Prakash, V.M.J., Gnanavel, C., ” Design and Fabrication of E-Glass /carbon/graphite epoxy hybrid composite leaf spring”, *International Conference on Emerging Trends in Engineering Research* , 183, (2017).
- Griebel, M., Hamaekers, J., “Molecular dynamics simulations of the elastic moduli of polymer–carbon nanotube composites”, *Computer methods in applied mechanics and engineering* , 193, (17), 1773-1788, (2004).
- Gulur Siddaramanna, S.S., Vijayarangan, S., ” Mono composite leaf spring for light weight vehicle–design, end joint analysis and testing”, (2005).

- Güneş, M. D., “Development of process techniques for composite based leaf spring systems”, Doktora tezi, *İzmir Institute of Technology*, İzmir, (2013).
- Han, Y., Elliott, J., “Molecular dynamics simulations of the elastic properties of polymer/carbon nanotube composites”, *Computational Materials Science*, 39, (2), 315-323, (2007).
- Henkel AG & Co. KGaA., ”Composite Leaf Spring for Volvo [Online] ”, (06Temmuz2017), <http://www.henkel-adhesives.com/industrial/benteler-sgl-volvo-48393.htm>, (2016).
- Ismaeel, L. M. A., ” Optimization and static stress analysis of hybrid fiber reinforced composite leaf spring”, *Advances in Materials Science and Engineering*, (2015).
- Karpe, M. M. H., Korde, M.S.P., Shinde, M.T.S., Sangale, M. S. S., ” Performance Analysis of Composite Leaf Spring”, (2017).
- Karrupiah, G., Kumarasamy, Y.,Kailasanathan, C., ” Design And Analysis Of Composite Leaf Spring Enhanced With Nanoparticles”, (ed: Ganesan Karupiah), *International Conference On Advances In Production And Industrial Engineering*, NIT Trichy, (2015).
- Khurmi, R. S., Gupta, J. K., *Machine Design*, Bölüm 23, (2005).
- Kingston, C., Zepp, R., Andrady, A., Boverhof, D., Fehir, R., Hawkins, D., Roberts, J., Sayre, P., Shelton, B., Sultan, Y., Vejins, V., Wohlleben, W., ” Release Characteristics of Selected Carbon Nanotube Polymer Composites”, *Carbon*, 68, 33–57, (2014).
- Krall, S., Zemann,R., ” Investigation of the Dynamic Behaviour of CFRP Leaf Springs”, *Procedia Engineering*, cilt no 100, ISSN 1877-7058, sayfa 646-655, (2015).
- Kumar, M. S., Vijayarangan, S., ” Analytical and experimental studies on fatigue life prediction of steel and composite multi-leaf spring for light passenger vehicles using life data analysis”, *Materials science*, 13, (2), 141-146, (2007).
- Kumar, S.Y.N.V. , Teja, M.V., ” Design and Analysis of Composite Leaf Spring” , *Int. J. Mech. Ind. Engg*, 2, 1, pp. 2231–2247, (2012).
- Kumar, K., Aggarwal, M.L., ” Fatigue life prediction: a comparative study for a three layer EN45A parabolic leaf spring”, *Eng Solid Mech*, cilt no 3, (3), 157–166, (2015).

- Mahesh, V.J., Digambar B.Z., Kharde, Y.R., Kharde, R.R., "Performance Analysis of Two Mono Leaf Spring Used For Maruti 800 Vehicle", *International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering* , 2278-3075, Cilt no-2, (1), (2012).
- Malekzadeh, P., Shojaee, M., " Buckling analysis of quadrilateral laminated plates with carbon nanotubes reinforced composite layers", *Thin-Walled Structures* , 71, 108-118, (2013).
- Meatto, FD , ED Pilpel., "Durability Comparison of Fiberglass Monoleaf Hybrid and Multileaf Steel Springs", *Paper read at Steering and Suspension Technology Symposium*, (1999).
- Narayana, V.L., " Design and Analysis Of Mono Composite Leaf Spring For Suspension in Automobiles", *Int. J. Eng. Res. & Tech* , 1, 6, pp.1–13, (2012).
- Onat, A., " Kompozit Malzemeler Ders Notu", *Sakarya Meslek Yüksek Okulu Makina ve Metal Teknolojileri Bölümü Metalürji Programı* , Sakarya, (2015).
- Onur, A. R. I., GÖRGÜN, A. R., Adnan, K. A. Y. A., ÇOŞKUN, Ö., İrfan, K. A. Y. A., "Karbon Nanotüp Malzeme İle Tasarlanan Heliks Antenlerin Performans Parametrelerinin İncelenmesi", *SDU Teknik Bilimler Dergisi* , 2, (2), (2012).
- Örs, A., " Karbon Nanotüplerin Polimerler İle Fonksiyonlaştırılması", Doktora Tezi, *Enerji Enstitüsü* , (2017).
- Öztoprak, N., " Design of composite-based leaf spring systems for automotive sector", Doktora tezi, *İzmir Institute of Technology* , İzmir, (2013).
- Palani, S., Kalaiselvan, K., Parthasarathy, K., Chithravel, S., " Development of leaf spring with E-glass/Epoxy composites for automobile vehicles", (ed:Palani S.), *International Journal of Pure and Applied Mathematics* , cilt no 119,no15, 1167-1176, (2018).
- Patunkar, M. M., Dolas, D.R., " Modelling and Analysis of Composite leaf spring under the static load condition by using FEA", *International Journal of Mechanical & Industrial Engineering* , 1, (1-2011),1-4, (2011).
- Qian, C., Shi, W., Chen, Z., Yang, S., Song, Q., " Fatigue reliability design of composite leaf springs based on ply scheme optimization", *Composite Structures* , 168, 40-46, (2017).

- Raghavedra, M., Hussain, S. A., Pandurangadu, V., PalaniKumar, K., ” Modeling and analysis of laminated composite leaf spring under the static load condition by using FEA”, *International Journal of Modern Engineering Research (IJMER)* , 2, (4), 1875-1879, (2012)
- Rajagopal, D., Varun, S., Manikanth, M., Kumar, B. S. S., ” Automobile leaf spring from composite materials”, *Int. J. Eng. Adv. Technol*, 4, (1), 16-18, (2014).
- Rajendran, I., Vijayarangan, S., ” Optimal design of a composite leaf spring using genetic algorithms”, *Computers & Structures*, 79, (11), 1121-1129, (2001).
- Rajesh, S., Bhaskar, G. B., Venkatachalam, J., Pazhanivel, K., Sagadevan, S., ” Performance of leaf springs made of composite material subjected to low frequency impact loading”, *Journal of Mechanical Science and Technology* , 9, (30), 4291-4298, (2016).
- Roy, D.K., Saha, K.N., ” Nonlinear analysis of leaf springs of functionally graded materials”, *Procedia Engineering* , 51, 538 – 543, (2013).
- Saini, P., Goel, A., Kumar, D., ” Design and Analysis of composite leaf spring for light vehicles”, *international journal of innovative research in science, engineering and technology* , cilt no 2, (5), (2013).
- Sancaktar E, Mathieu G., “Design, analysis, and optimisation of composite leaf springs for light vehicle applications”, *Comp Struct* , 44:195–204, (1999).
- Sayer, M., “Hibrit Kompozitlerin Darbe Davranışlarının İncelenmesi”, Doktora Tezi, *Fen Bilimleri Enstitüsü*, Denizli, (2009).
- Schankar, S.G., Vijayarangan, S., ” Mono Composite Leaf Spring for Light Weight Vehicle – Design, End Joint Analysis and Testing”, *Materials Science (Medžiagotyra)* , 12 (3), sayfa. 220 – 225, (2006).
- Shokrieh, M. M., Rezaei, D., ” Analysis and optimization of a composite leaf spring”, *Composite structures* , 60, (3), 317-325, (2003).
- Soner, M., Tanoğlu, M., Güven, N., Karağaç, M., Akyali, R., Aksoy, O., Erdoğuş, T., Kanbolat, A., ” Design and Fatigue Life Comparison of Steel and Composite Leaf Spring”, *SAE International*, 0148-7191, (2012).
- "Springs - A simple study of car suspension", *The Automotor Journal*, sayfa 936-937, (1912).

- Thippesh, L., ” Fabrication of Hybrid Composite Mono-Leaf Spring with Unidirectional Glass Fibers”, *Materials Today: Proceedings* , 5, 2980-2984, (2018).
- Venkatesan, M., Devaraj, D.H. , ” Design and analysis of composite leaf spring in light vehicle”, *international journal of modern engineering research* , 2, (1), 213-218, (2012).
- Wang, S. F., Shen, L., Zhang, W. D., Tong, Y. J., “Preparation and mechanical properties of chitosan/carbon nanotubes composites”, *Biomacromolecules* , 6, (6), 3067-3072, (2005).
- Wikipedia;.,”Karbonnanotüpler[Online]”,(5Ocak2017),https://tr.wikipedia.org/wiki/Karbon_nanot%C3%BCp.
- Yılmaz, G. Ş., “Kompozit Malzemeler ve Kullanım Alanları”, *Isparta Mühendislik Mimarlık Fakültesi. Makine Müh. Bölümü*, Isparta, (1990).
- Yu, MF., ” Tensile Loading of Ropes of SingleWall Carbon Nanotubes and their Mechanical Properties”, *Phys. Rev. Lett* , 84 5552, (2000).
- Yu, MF vd., ” Strength and Breaking Mechanism of Multiwalled Carbon Nanotubes Under Tensile Load” , *Science*, 287, 637, (2000).

7. ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Furkan KAVLA
Doğum Yeri ve Tarihi : Malatya 01.01.1993
Lisans Üniversite : Afyon Kocatepe Üniversitesi
Elektronik posta : kavlafurkan@gmail.com
İletişim Adresi : Servergazi Mahallesi Atakent 10 sokak
No:2/4 MERKEZEFENDİ DENİZLİ.

Hakkımda :

1993 Malatya doğumluyum. İlkokul, ortaokul ve liseyi DENİZLİ de okudum. Meslek lisesi endüstriyel otomasyon teknolojileri alanı mekatronik bölümünden mezun olduktan sonra Afyon Kocatepe Üniversitesi otomotiv mühendisliği bölümünü kazandım. Lisansı tamamladıktan sonra 18.12.2017’de TSE AYDIN temsilciliğinde Dış İnceleme Uzmanı olarak göreve başladım.

Yayın Listesi :

- Lisans Bitirme Tezi – Kaplanmış Fren Disklerinin fren performansına etkisi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, 2016
- HORA 2019 tam bildiri – Kitosan/Karbon Nanotüp Katkılı Kompozit Yaprak Yayların Mekanik Davranışları, *International Conference on Human-Computer Interaction, Optimization and Robotic Applications*, Ürgüp, Nevşehir, 2019
- EJOSAT makalesi.(gönderildi-yayımlanmadı) – Mechanical Behaviors Of Composite Leaf Springs With Additive Of Carbon Nanotubes And Chitosan, *European Journal of Science and Technology*,2019