

T.C.
SÜLEYMAN DEMİREL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KOMPOZİT MALZEMELERİN YAY ELEMANI OLARAK
KULLANILMASI

Mehmet POYRAZ

Danışman: Prof. Dr. Mustafa BAYHAN

YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
ISPARTA - 2010

TEZ ONAYI

Mehmet POYRAZ tarafından hazırlanan “**Kompozit Malzemelerin Yay Elemanı Olarak Kullanılması**” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından oy birliği / oy çokluğu ile Süleyman Demirel Üniversitesi Makine Mühendisliği Anabilim Dalı’nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Danışman : Prof. Dr. Mustafa BAYHAN

Süleyman Demirel Üniversitesi Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Jüri Üyeleri :

Yrd. Doç. Dr. Ümran ESENDEMİR

Süleyman Demirel Üniversitesi Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Yrd. Doç. Dr. M.Reşit USAL

Süleyman Demirel Üniversitesi Makine Eğitimi Anabilim Dalı

Prof. Dr. Mustafa KUŞCU
Enstitü Müdürü

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaktan yapılan bildirişlerin, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak gösterilmeden kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

İÇİNDEKİLER.....	i
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	ix
SİMGELER DİZİNİ.....	x
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Kompozit Malzeme Tanımı.....	1
1.2. Kompozit Malzemelerin Avantajları ve Dezavantajları.....	2
1.3. Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması.....	3
1.3.1. Elyafli kompozitler.....	4
1.3.1.1. Glass fiberler.....	4
1.3.1.2. Karbon fiberler.....	5
1.3.1.3. Bor fiberler.....	5
1.3.1.4. Yapay organik fiberler.....	5
1.3.2. Parçacıklı kompozitler.....	6
1.3.3. Tabakalı kompozitler.....	6
1.3.4. Karma (hibrid) kompozitler.....	7
1.4. Kompozit Malzemelerin Üretimi.....	7
1.4.1. Kompozit malzeme üretim teknikleri.....	7
1.4.1.1. Sıvı metal emdirmesi.....	7
1.4.1.2. Sıkıştırılmalı veya sıvı dövme döküm tekniği.....	8
1.4.1.3. Basınçlı ve basınçsız infiltrasyon.....	9
1.4.1.4. Sıvı metal karıştırması.....	10
1.4.1.5. Hızlı katılaştırma yöntemi.....	10
1.4.1.6. Yarı katı karıştırma.....	11
1.4.1.7. Plazma püskürtme.....	11
1.4.1.8. Toz metalurjisi tekniği.....	11
1.4.1.9. Difüzyon bağlama ve vakumda presleme.....	12

1.4.1.10. Sıcak presleme ve sıcak izostatik presleme.....	12
1.4.2. Plastik matrisli kompozitlerin üretim metodları.....	12
1.4.2.1. El yatırma metodu.....	12
1.4.2.2. Püskürtme metodu.....	13
1.4.2.3. Basma ve transfer kalıplama.....	13
1.4.2.4. Soğuk presleme.....	14
1.4.2.5. Helisel sarma yöntemi.....	14
1.4.2.6. Enjeksiyon kalıplama.....	15
1.4.2.7. Profil çekme metodu.....	15
2. KAYNAK ÖZETLERİ.....	16
2.1. Yayların Tanımı.....	19
2.2. Yay Kullanım Alanları.....	19
2.3. Yay Çeşitleri.....	20
2.3.1. Şekline göre yaylar.....	20
2.3.2. Zorlanma şekillerine göre yaylar.....	21
2.3.3. Kuvvetin uygulama şekline göre yaylar.....	21
2.4. Yay Malzeme Seçimi.....	21
2.4.1. Yüksek karbonlu yay çelikleri.....	23
2.4.2. Alaşımli yay çelikleri.....	24
2.4.3. Paslanmaz yay çelikleri.....	24
2.4.4. Bakır alaşımli yay malzemeleri.....	24
2.4.5. Nikel alaşımli yay malzemeleri.....	25
2.5. Yaprak Yaylar ve Boyutlandırılmaları.....	25
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	27
3.1. Deneylerde Kullanılan Malzemeler.....	29
3.2. Deneylerde Kullanılan Cihaz ve Sistemler.....	31
3.2.1. Çekme, basma ve eğilme test cihazı.....	31
3.3. Deneylerin Yapılışı.....	31
3.3.1. Çekme deneyi ve yapılışı.....	32
3.3.2. Basma deneyi ve yapılışı.....	34
4. BULGULAR.....	35
4.1. Mekanik Özelliklerin Tespiti.....	35

4.2. Prototip Kompozit Yaprak Yay Boyutlandırılması ve Yük Altında Çökme, Gerilme ve Yay Katsayılarının Tespiti İle Modellenmesi.....	44
4.2.1. Prototip kompozit yaprak yay boyutlandırılması ve yük altında çökme, gerilme, yay katsayılarının tespiti.....	44
4.2.2. Prototip kompozit yaprak yayın modellenmesi.....	53
5. TARTIŞMA VE SONUÇ.....	63
6. KAYNAKLAR.....	66
ÖZGEÇMİŞ.....	69

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

KOMPOZİT MALZEMELERİN YAY ELEMANI OLARAK KULLANILMASI

Mehmet POYRAZ

**Süleyman Demirel Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı**

Danışman: Prof. Dr. Mustafa BAYHAN

Bu tez çalışmasında kompozit malzemenin yaprak yay elemanı olarak kullanılması incelenmiştir. Kompozit malzemeler için tanımlamalar yapılmış, avantajlı ve dezavantajlı yönlerinden bahsedilmiş, üretim yöntemleri anlatılmıştır.

Yay malzemeleri sınıflandırılıp, kompozit malzemedan üretilcek yay malzemesi olarak cam elyaf-epoksi malzeme seçilmiştir. İzoreel firmasında üretilen ve standartlarına göre kesilen kompozit malzemenin mekanik özelliklerine çekme, basma ve eğilme deneyleriyle ulaşılmıştır.

Kompozit malzemedan prototip bir yaprak yay boyutlandırması yapılmış ve cam elyaf epoksi malzemeli kompozitten her bir yaprağı 8 tabakalı olan, 0^0 elyaf yönlenmeli ve 6 katlı prototip bir yaprak yay imal edilmiştir.

Yaprak yayda $n=1$ 'den 6'ya kadar artan yaprak sayısı ile $P=9,81$ N' luk yük altındaki teorik ve deneysel çökme, gerilme ve yay katsayıları hesaplanmıştır. Böylece artan yaprak sayısı ile yay katsayısı değişim grafiği, artan tabaka sayısı ile maksimum deneysel ve analitik olarak elde edilen gerilmelerin değişim grafiği çizilmiştir.

Tasarlanan bu yaprak yay, üç boyutlu sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak modellenmiştir. ANSYS programında yayın statik analizi yapılmıştır. Sonlu elemanlar modelinde SOLID 46 elemanı kullanılmıştır. 6 yapraklı yay için 180 N yük altında ANSYS programıyla modelleme sonucunda uzunluk ve kalınlık boyunca gerilme dağılımlarına, uzunluk boyunca meydana gelen çökmenin dağılımına ulaşılmış ve grafiklerden de çökme ve gerilme dağılımlarına bakıldığında analitik ve deneysel sonuçların, sonlu elemanlar modeli ile çözümü yapılan nümerik analizin sonuçlarının birbiriyle uyduğu görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Kompozit yaprak yay, mekanik özellikler, teorik ve deneysel gerilme, teorik ve deneysel çökme.

2010, 69 sayfa

ABSTRACT

M.Sc.Thesis

USAGE OF COMPOSITE MATERIALS AS SPRING COMPONENT

Mehmet POYRAZ

**Süleyman Demirel University
Graduate School of Applied and Natural Sciences
Mechanical Engineering Department**

Supervisor: Prof. Dr. Mustafa BAYHAN

In this study, the usage of the composite materials as a leaf spring component is examined. General description of the composite materials is presented and the production procedure, the advantages and disadvantages of the composite materials are discussed.

The spring materials used on the market are classified and glass fiber-epoxy material is chosen to be used as the composite material presented in this work. Glass fiber-epoxy material is produced and cut according to standards in the İzoreel company located in İzmir. The mechanical properties; tensile strength, compression and flexure tests are conducted.

Dimensions are determined to make a prototype of a leaf spring. The prototype composed of glass fiber epoxy composite has six layers and each of these layers consist of eight zero degree fiber orientational plates.

Both theoretical and experimental compression, tensile and spring coefficients are calculated under $P=9,81$ N force with gradually increasing leaf numbers from 1 to 6. Leaf number-spring coefficient and leaf number-maximum experimental and analytical tensile strength graphs are presented.

The spring designed with six leaves is modelled using 3D finite element analysis method. Statical analysis are carried out by the ANSYS computer program. SOLID 46 element is used in the finite element model. As a result of the modelling of the spring having six leaves under 180 N weight, stress distribution along the length and thickness and displacement graphics along the length are attained. The displacement and stress distribution graphs are analyzed. According to the test results obtained, analytical and experimental results comply with the test results obtained from the finite element modelling.

Key Words: Composite leaf spring, mechanical properties, theoretical and experimental tension, theoretical and experimental compression.

2010, 69 pages

TEŞEKKÜR

Bu çalışma esnasında beni yönlendiren ve karşılaştığım zorlukları bilgi ve tecrübeleriyle aşmama yardımcı olan danışmanım Prof. Dr. Mustafa BAYHAN'a ve yardımlarını esirgemeyen Yrd. Doç. Dr. Ümran ESENDEMİR'e teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmaların deney aşamalarında her türlü yardımı gösteren İzmir Dokuz Eylül Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü'nden Prof. Dr. Onur SAYMAN ve Arş. Gör. Semih BENLİ hocalarıma, Muğla Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü'nden Prof. Dr. Ali Arslan KAYA hocama ve aileme teşekkürlerimi sunarım.

Mehmet POYRAZ
ISPARTA, 2010

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. Kompozit malzemelerin sınıflandırılması.....	3
Şekil 1.2. Sıkıştırma döküm yöntemi.....	8
Şekil 1.3. Düşey makina ile sıkıştırılmalı veya sıvı dövme döküm işleminin basamakları.....	8
Şekil 1.4. Basınçlı infiltrasyon metodu.....	9
Şekil 1.5. Basıncsız infiltrasyon metodu.....	9
Şekil 1.6. Ergimiş metal karıştırılması yöntemiyle kompozit üretim ünitesi.....	10
Şekil 1.7. Hızlı katılaşma prosesi ile kompozit üretim yöntemi.....	10
Şekil 1.8. Plazma püskürtme aygıtının şematik görünümü.....	11
Şekil 1.9. Toz metalurji yönteminin temel aşamaları.....	11
Şekil 1.10. Folyo matriks ile flamentlerin kesit görünümü.....	12
Şekil 1.11. El yatırma yöntemi.....	13
Şekil 1.12. Püskürtme tekniği.....	13
Şekil 1.13. Basma ve transfer kalıplama.....	14
Şekil 1.14. Elyaf sarma düzeneği ve yöntemi.....	14
Şekil 1.15. Profil çekme metodu.....	15
Şekil 2.1. Gerilme-uzama diyagramı.....	21
Şekil 2.2. Yaprak yayların bağlantıları.....	26
Şekil 3.1. Kompozit malzemenin mekanik özelliklerinin bulunması için standartlara göre kesilmesi.....	27
Şekil 3.2. Kompozit plakaların yük altındaki davranışı.....	28
Şekil 3.3. Yayın artan yaprak sayısı ile yük altındaki ölçümlerinin yapılması.....	28
Şekil 3.4. Instron çekme cihazı.....	31
Şekil 3.5. Standartlara uygun yassı bir çekme numunesi.....	32
Şekil 3.6. Çekme deneyi makinesi düzeneği.....	32
Şekil 4.1. Sabit $P=9,81$ N'luk yük altında artan yaprak sayısına bağlı olarak yay katsayısını gösteren değişim grafiği.....	52
Şekil 4.2. $9,81$ N'luk yük altında tabaka sayısına bağlı olarak maksimum gerilmelerin analitik ve deneysel değişim grafiği.....	53
Şekil 4.3. Solid 46 elemanı.....	54

Şekil 4.4. Yükleme ve sınır koşulları.....	59
Şekil 4.5. σ_x gerilme dağılımı.....	60
Şekil 4.6. Uzunluk boyunca σ_x gerilme dağılımı.....	60
Şekil 4.7. 6 tabakalı yaprak yayın kalınlık boyunca gerilme dağılımı.....	61
Şekil 4.8. Uzunluk boyunca meydana gelen çökmenin dağılımı.....	61
Şekil 4.9. Uzunluk boyunca meydana gelen çökmenin dağılım grafiği.....	62

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 1.1. Çeşitli glass fiberlerin özellikleri.....	4
Çizelge 2.1. Yay malzeme referans tablosu.....	22
Çizelge 4.1. Kompozit malzemenin mekanik özellikleri.....	43

SİMGELER DİZİNİ

L	Uzunluk (mm)
b	Genişlik (mm)
t	Kalınlık (mm)
σ	Gerilme (MPa)
ε	Birim Şekil Değişirme
E	Elastisite Modülü (MPa)
σ_a	Akma Dayanımı (Mpa)
σ_{φ}	Çekme Dayanımı (MPa)
σ_K	Kopma Dayanımı (MPa)
A	Alan
P	Yük (N)
X_t	Fiber Yönündeki Çekme Mukavemeti (MPa)
Y_t	Fibere Dik Yöndeki Çekme Mukavemeti (MPa)
X_c	Fiber Yönündeki Basma Mukavemeti (MPa)
Y_c	Fibere Dik Yöndeki Basma Mukavemeti (MPa)
E_1	Fiber Yönündeki Elastisite Modülü (MPa)
E_2	Fibere Dik Yöndeki Elastisite Modülü (MPa)
S_{12}	Kayma Mukavemeti (MPa)
G_{12}	Kayma Modülü (MPa)
ν_{12}	Poisson Oranı
δ	Sehim (mm)
k	Yay Katsayısı (N/mm)
I	Atalet Momenti
n	Yaprak Sayısı

1. GİRİŞ

Günümüzde yaşam koşulları ilerledikçe ihtiyaçlar da çeşitlilik gösterip, fazlaşmıştır. Mevcut malzemeler gelişen teknolojiyle yetersiz kalmış ve özellikleri daha üstün olan malzemelere ihtiyaç duyulmuştur. Bu ihtiyaçların karşılanması kompozit malzemelerin üretimini ve bu konudaki araştırmaları hızlandırmıştır. Kompozit malzemeler iki veya daha fazla sayıdaki malzemelerin bir araya gelmesiyle elde edilen daha üstün nitelikteki malzemelerdir.

Teknolojinin hızlı bir şekilde ilerlemesi klasik malzemelere alternatif, gelişmiş özelliklere sahip yeni malzemelerin kullanılması gerekliliğini hissettirmektedir. Bu nedenle mevcut mühendislik malzemelerine alternatif olan kompozit malzemeler alanındaki çalışmalar hız kazanmıştır. Tarihsel süreçte ilk kullanımları tam olarak bilinmese de eski medeniyetlerde bu tür kullanımlara rastlanmaktadır.

Özellikle uzay çalışmalarının başlamasından sonra yüksek mukavemetli hafif malzeme gereksinimi artmıştır. Bu nedenle hava sanayisi kompozit malzemelerin gelişimine öncülük etmiştir.

1.1. Kompozit Malzeme Tanımı

Farklı malzeme özelliklerini tek bir malzemedeki toplamak ya da yeni bir özellik elde etmek amacı ile iki veya daha fazla malzemenin makro düzeyde birleştirilmesi ile üretilen yeni malzeme “Kompozit Malzeme” olarak adlandırılır. Kompozit malzeme temel olarak matriks olarak adlandırılan ana yapı ve takviye elemanından oluşmaktadır. Kompozit malzeme üretiminde, aşağıdaki özelliklerin bir veya bir kaçının geliştirilmesi hedeflenmektedir (Kılıç, 2006).

- Mekanik dayanımı,
- Yorulma dayanımı,
- Aşınma dayanımı,
- Korozyon dayanımı,

- Kırılma tokluğu,
- Yüksek sıcaklıktaki özellikler,
- Isıl iletkenlik,
- Elektrik iletkenliği,
- Akustik özellik,
- Rijitlik,
- Ağırlık azalması,
- Estetik.

1.2. Kompozit Malzemelerin Avantajları ve Dezavantajları

Kompozit malzemeler metal malzemelere göre önem kazanmışlardır. Kompozitlerin özgül ağırlıklarının düşük oluşu hafif konstrüksiyonlarda kullanımda büyük bir avantaj sağlamaktadır. Bu özellikleri ile kompozitler otomobil gövde ve tamponlarından deniz teknelerine, bina cephe ve panolarından komple banyo ünitelerine, ev eşyalarından tarım araçlarına kadar birçok sanayi kolunda problemleri çözümleyecek bir malzemedir.

Bu malzemelerin avantajlı olan yanları şöyle sıralanabilir;

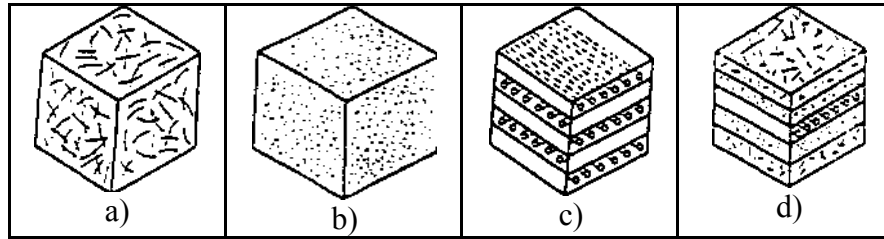
Kompozitlerin çekme ve eğilme mukavemetinin birçok metalik malzemeye göre daha yüksek olması, büyük ve kompleks parçaların tek işlemle bir parça halinde kaplanabilmesi, büyük enerji nakil hatlarında kompozitlerin iyi bir iletken ve gerektiğinde de başka bir yapıda iyi bir yalıtkan malzemesi olarak kullanılabilmesi, kompozit malzemelerin kimyevi madde tankları, boru ve aspiratörler, tekne ve diğer deniz araçları yapımında güvenle kullanılabilmesi, kompozitlerin ısıya dayanıklılık özelliği sayesinde yüksek ısı altında kullanılabilmesi, kalıplama esnasında reçineye ilave edilen pigmentler sayesinde kompozitlere istenen rengin verilebilmesi, kompozit malzemelerde süneklik nedeniyle doğal bir titreşim sönümleme ve şok yutabilme özelliğinin bulunmasıdır (Arıcasoy, 2006).

Kompozit malzemelerin uygun olmayan yanları da şu şekilde sıralanabilir;

Kompozit malzemelerdeki hava zerreciklerinin malzemenin yorulma özelliklerini olumsuz etkilemesi, kompozit malzemelerin değişik doğrultularda değişik mekanik özellikler göstermesi, aynı kompozit malzeme için çekme, basma, kesme ve eğilme mukavemet değerlerinin farklılıklar göstermesi, kompozit malzemelerin delik delme, kesme türü operasyonlarının liflerde açılmaya sebep olmasından dolayı bu tür malzemelerde hassas imalattan söz edilememesi, hammaddenin pahalılığı, lamine edilmiş kompozitlerin özelliklerinin her zaman ideal olmamasından kalınlık yönünde düşük dayanıklılık ve katlar arası düşük kesime dayanıklılık özelliğinin bulunması, malzemenin kalitesinde standartlaşmış bir kalite olmaması, kompozitlerin kırılma malzeme olmalarından dolayı kolaylıkla zarar görmesi ve onarılmalarının problemler yaratması, malzemelerin sınırlı raf ömürleri olması, bazı tür kompozitlerin soğutularak saklanmalarının gerekmesidir (Arıcasoy, 2006).

1.3. Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması

Kompozitlerin gruplandırılmasında yapıdaki malzemelerin formuna göre bir sınıflama yapmak mümkündür. Kompozit malzemelerin sınıflandırılması (Şekil 1.1. a, b, c, d) olarak gösterilmiştir.



Şekil 1.1. Kompozit malzemelerin sınıflandırılması (Ünal, 2007)

Kompozit malzemelerin sınıflandırılması şu şekildedir (Ünal, 2007).

- a) Elyafli Kompozitler,
- b) Parçacıklı Kompozitler,
- c) Tabakalı Kompozitler,
- d) Karma Kompozitler.

1.3.1. Elyafli kompozitler

İnce elyafların matris yapıda yer almasıyla meydana gelmiştir. Uzun elyafların matris içinde birbirlerine paralel şekilde yerleştirilmeleri ile elyaflar doğrultusunda yüksek mukavemet sağlanırken, elyaflara dik doğrultuda oldukça düşük mukavemet elde edilir. Elyafların uzunluk/çap oranı arttıkça matris tarafından elyaflara iletilen yük miktarı artmaktadır. Kompozit yapının mukavemetinde önemli olan diğer bir unsur ise elyaf matris arasındaki bağın yapısıdır. Matris yapıda boşluklar söz konusu ise elyaflarla temas azalacaktır.

Fiberler, basit olarak bir boyutu diğer boyutuna göre çok büyük olan malzeme olarak tanımlanabilir. Aşağıda fiber çeşitlerinden bahsedilecektir (Kılıç, 2006).

1.3.1.1. Glass fiberler

Ekonomik olması nedeniyle kompozit malzeme üretiminde çok kullanılan fiber çeşididir. İlk önceleri A-glass olarak üretilmeye başlanmıştır. Daha sonraları ise mekanik özellikleri daha gelişmiş bor silikat camı olan E-glass kullanılmaya başlanmıştır. Glass fiberler yüksek çekme ve darbe dayanımına sahiptirler. Elastisite modülleri nispeten düşüktür ve fiberlerin sürtünerek birbirini aşındırma problemleri vardır. Mekanik özellikler yüksek sıcaklıkta çok fazla düşmez. Çeşitli glass fiberlerin mekanik özellikleri Çizelge 1.1.'de verilmiştir.

Çizelge 1.1. Çeşitli glass fiberlerin özellikleri (Kılıç, 2006)

Özellikler	E-glass	A-glass	M-glass	S-glass	C-glass	D-glass
Özgül Ağırlık [gr/cm ³]	2,54	2,45	2,89	2,49	2,45	2,16
Çekme Dayanımı [MPa]	3600	3100	3500	4500	3400	2450
Kopma Uzama Oranı[%]	4,8	-		5,4	4,8	

Çizelge 1.1. (devam)

Çekme E-Modülü [GPa]	76	72	111,3	86	70	53
Kırılma İndisi	1,548	1,512	1,635	1,523		1,47
Isıl Genleşme Katsayısı [cm/cmK°]	$1,6 \times 10^{-6}$	-		$1,7 \times 10^{-6}$	$2,2 \times 10^{-6}$	$3,1 \times 10^{-6}$
Fiber çapı [mm]	$3-20 \times 10^{-3}$	-		$3-13 \times 10^{-6}$		
Yumuşama Noktası [°C]	850	700		-	690	770
Dielektrik Sabiti[1 MHz]	6,33	-		5,34	5,8	-

1.3.1.2. Karbon fiberler

Mekanik özellikleri çok iyi olmasına karşın maliyetleri diğer fiberlere göre daha yüksektir. Karbon fiberler Poliakronitril ve katrandan elde edilir. Çok yüksek mukavemet istenen uygulamalarda tercih edilirler. Örneğin; hava sanayi, yüksek performans otomobilleri ve çeşitli spor aletleri kullanıldığı alanlardandır.

1.3.1.3. Bor fiberler

Bor çok sert ve gevrek olduğu için doğrudan fiber olarak çekilemez. 8-15 °C sıcaklığa ısıtılmış W teli üzerine H₂ ve BCl₃'ün (Bortriklorür) elektriksel olarak çökeltilmesi ile elde edilir. Burkulmaya karşı mukavemetleri çok yüksektir.

1.3.1.4. Yapay organik fiberler

Bu grup fiberler yapay nitelikli organik fiberler olarak adlandırılmaktadır. Bazı kaynaklarda ise plastik esaslı fiberler denilmektedir. Yapay organik fiberler aramid fiberler, polipropilen fiberler, polietilen fiberler, naylon fiberler olarak sınıflandırılmaktadır.

Yapay nitelikli organik fiberler hakkında kısaca bilgi verilirse;

Aramid fiberler; ticari ismi Kevlar olarak bilinen aramid fiberler yapay organik fiberlerdendir. Kevların basma dayanımları nispeten daha düşüktür ve ısındıkça boyca kısalırlar.

Polipropilen fiberler; dayanımları yüksek, alkali ortama iyi direnç gösterirler ve fiyatları ucuzdur. Malzemenin ergime sıcaklığı 165 °C' dir ve 100 °C'ye kadar özelliklerini korurlar.

Polietilen fiberler; malzeme, doymuş bir hidrokarbondur ve kimyasal olarak kararlı haldedir. Genellikle tabaka ve film halinde kullanılırlar. En büyük dezavantajları düşük sıcaklıkta yumuşarlar.

Naylon fiberler; düşük sürtünme katsayısı, yüksek mekanik dayanım, yüksek sıcaklıklarda özelliklerini iyi koruma gibi üstün özellikleri vardır. Fakat naylonun atmosferik nemi soğurma özelliği vardır. Bu da malzemede şişmeye neden olmaktadır.

1.3.2. Parçacıklı kompozitler

Bir matris malzeme içinde başka bir malzemenin parçacıklar halinde bulunması ile elde edilirler. İzotrop yapılardır. Yapının mukavemeti parçacıkların sertliğine bağlıdır. En yaygın tip plastik matris içinde yer alan metal parçacıklardır.

1.3.3. Tabakalı kompozitler

Farklı elyaf yönlenmelerine sahip tabakaların bileşimi ile çok yüksek mukavemet değerleri elde edilir. Isıya ve neme dayanıklı yapılardır. Tabakalı kompozitler metallere göre hafif ve aynı zamanda mukavemetli olmaları nedeniyle tercih edilen malzemelerdir.

1.3.4. Karma (hibrid) kompozitler

Aynı kompozit yapıda iki ya da daha fazla elyaf çeşidinin bulunması olasıdır. Bu tip kompozitlere hibrid kompozitler denir. Bu alan yeni tip kompozitlerin geliştirilmesine uygun bir alandır.

1.4. Kompozit Malzemelerin Üretimi

Kompozit malzemeleri üretmek için aşağıdaki faktörlerin yerine getirilmesi gerekir (Şahin, 2000).

- Elyafların eşit aralıklı ve homojen bir dağılım göstermesi,
- Yüksek dayanımlı elyaflar mekanik temaslara karşı hassas olduğundan elyafların kırılmasının önlenmesi,
- Elyaf ve matriks arasında kuvvetli bir ara yüzey bağının oluşturması vb.dir.

Üretim tekniği; elyafa, matrikse, parça şekline ve istenilen mekanik ve fiziksel özelliklere göre belirlenmektedir.

1.4.1. Kompozit malzeme üretim teknikleri

Kompozit malzeme üretim teknikleri şu şekildedir (Şahin, 2000).

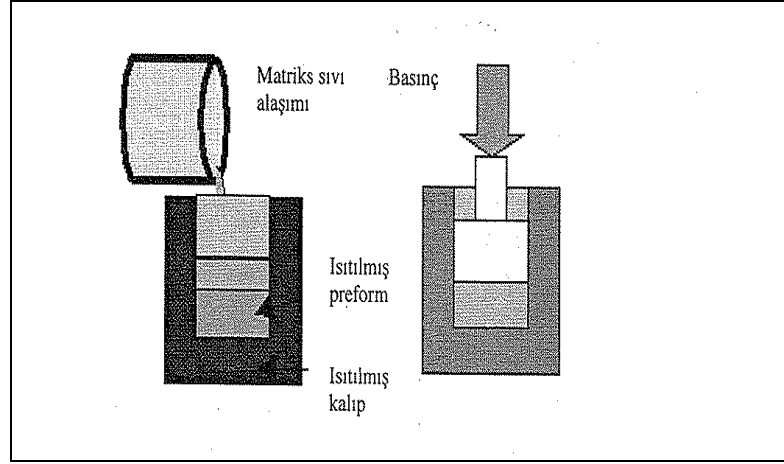
1.4.1.1. Sıvı metal emdirmesi

Bu metod da prensip, önce istenilen şekilde uygun bağlayıcı kullanılarak master hazırlanır. Kompozitte tasarlanan elyaf hacim içeriği ve doğrultuları bu aşamada yapılır.

Hazırlanan bu model kalıp içerisine yerleştirilmekte ve ergimiş metal enjekte edilerek bu masterın ıslatılması sıvı metal emdirilerek sağlanır, bu sırada organik bağlar yanar ve katılaşmaya bırakılır.

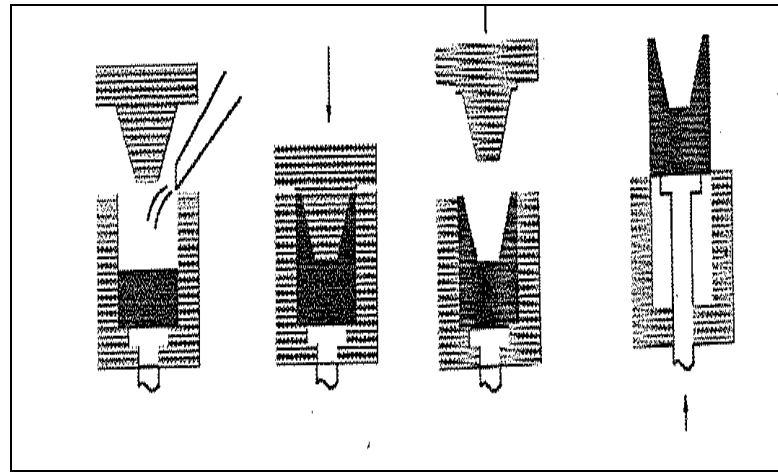
1.4.1.2. Sıkıştırılmalı veya sıvı dövme döküm tekniği

Bu yöntemde takviyeden oluşturulmuş preform veya yatağa şekil 1.2. 'de görüldüğü gibi sıvı alaşım hidrolik basınç altında emdirilmektedir. Sıvıyı soğutma etkisinden kaçınmak için kalıp, preform ve zımba ön ısıtmaya tabi tutulmaktadır.



Şekil 1.2. Sıkıştırma döküm yöntemi (Şahin, 2000)

Sıvı dövme ile metal emdirme tekniğinin şematik resmi ve aşamaları Şekil 1.3. 'te gösterilmiştir. Bu teknikte, önceden ısıtılmış seramik elyafların sıvı metal içerisine veya metal kalıp içine uygun bağlayıcılarla yerleştirilen master elyafların basınç altında sıvı metalle emdirilerek katılaşması kısa sürede gerçekleşmektedir.

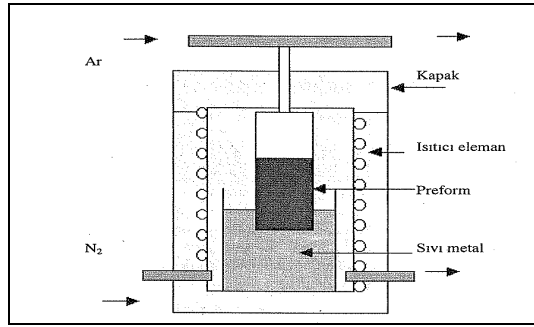


Şekil 1.3. Düşey makina ile sıkıştırılmalı veya sıvı dövme döküm işleminin basamakları (Şahin, 2000)

Bu aşamalar şekildeki sırasına göre boşaltma, dökme, sıkıştırma ve çıkartma olarak sıralanabilir.

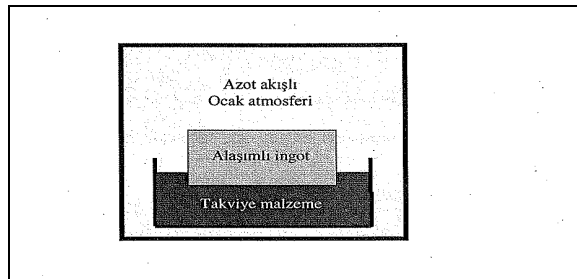
1.4.1.3. Basınçlı ve basınçsız infiltrasyon

Bu şekildeki bir sistem şekil 1.4.'te gösterildiği gibi bir ucu basınç ünitesi içerisine yerleştirilmiş pota içerisindeki sıvı metale daldırılmıştır. Diğer ucu normal atmosfer veya vakuma bağlanmış ve içerisinde takviye malzeme bulunan bir silindirden meydana gelmektedir. Takviye geçişi engelleyecek şekilde silindir içerisine yerleştirilir. Silindir içerisindeki bu parçacıklar sıvı metale daldırılır veya başka bir yerde ön ısıtmaya tabi tutulur.



Şekil 1.4. Basınçlı infiltrasyon metodu (Şahin, 2000)

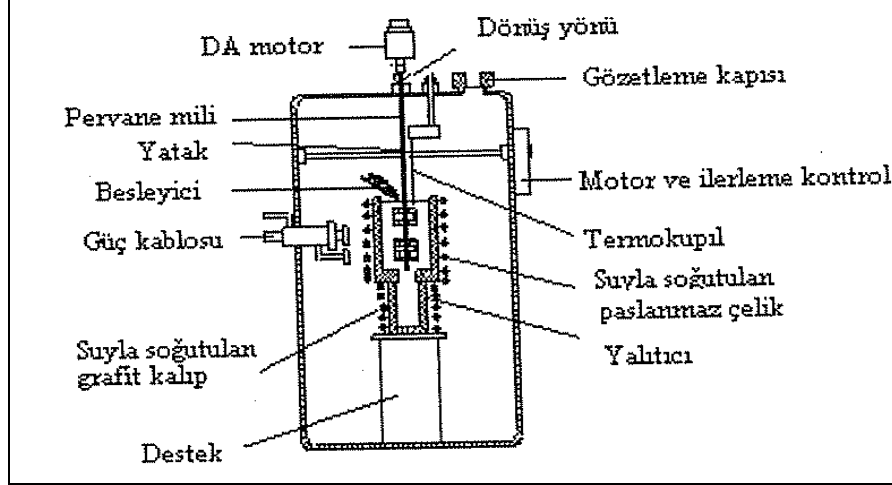
Basınçsız infiltrasyon metodunda Şekil 1.5.'te gösterildiği gibi; sıvı metalin takviye parçacık içerisine kendi kendine infiltrasyonunu sağlayan bu yöntemde paketlenmiş seramik toz yatak azot atmosferinde basınç uygulanmaksızın Al-Mg alaşımının infiltrasyonu sağlanabilir.



Şekil 1.5. Basınçsız infiltrasyon metodu (Şahin, 2000)

1.4.1.4. Sıvı metal karıştırması

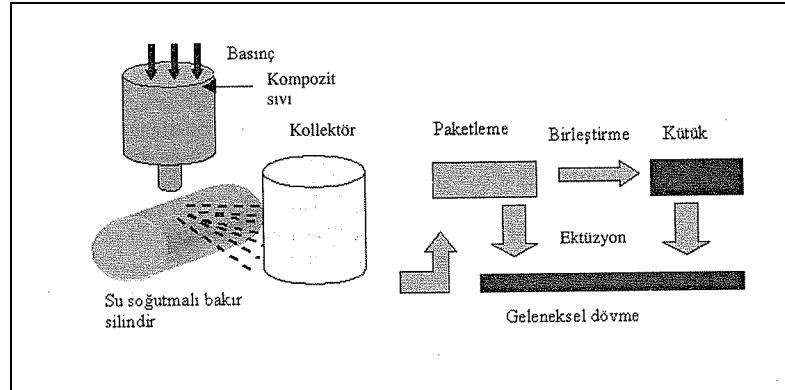
Şekil 1.6.'da görüldüğü gibi karıştırma, kalıplama, sıkıştırma ve kurutma basamaklarından oluşmaktadır.



Şekil 1.6. Ergimiş metal karıştırılması yöntemiyle kompozit üretim ünitesi (Şahin, 2000)

1.4.1.5. Hızlı katılaştırma yöntemi

Şekil 1.7.'de görüldüğü gibi, basınç altında suyla soğutulan bakır disk üzerine sıvı jeli halinde verilerek (40-60) μm kalınlığında, (6-8) μm uzunluğunda, (0,5-0,7) μm genişliğinde lamelsi tozlar elde edilir. Bunlar bir araya getirilerek değişik ikincil işlemlere tabi tutulur.



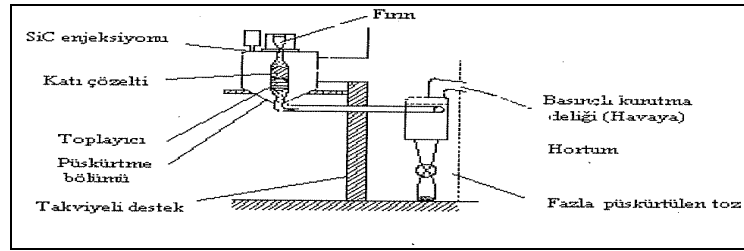
Şekil 1.7. Hızlı katılaşma prosesi ile kompozit üretim yöntemi (Şahin, 2000)

1.4.1.6. Yarı katı karıştırma

Bu yöntemde katı ile sıvı arasındaki sıcaklığa sahip yarı katı karıştırmak suretiyle yapılan takviye ilave tekniğidir.

1.4.1.7. Plazma püskürtme

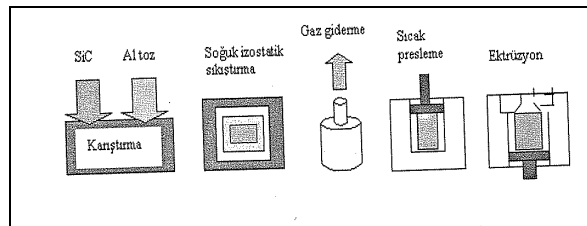
Bu teknikte püskürtülecek alaşım, indüksiyon fırınında ergitilir ve potaya basınç uygulanır. Şekil 1.8.'de gösterildiği gibi ergimiş alaşım püskürtülürken aynı zamanda parçacıklı elyaflar atomize edilmiş sıvı içerisine enjekte edilerek, önceden ısıtılmış alt katman üzerine çökeltilir ve toplayıcı üzerinde katı bir çökelti oluşur. Soğuduktan sonra kaplanmış çökelmiş çubuk haddelenmesi için göbekten çıkartılır.



Şekil 1.8. Plazma püskürtme aygıtının şematik görünümü (Şahin, 2000)

1.4.1.8. Toz metalurjisi tekniği

Bu teknikte, toz halindeki metal ve seramik malzemeler birleştirilebilir. Bu metot da, tozlar istenilen şekli oluşturmak için tasarlanan hacim oranlarında karıştırılıp kalıp içerisine konularak preslenir. Presleme işlemi soğuk ya da sıcak olarak yapılabilir. Toz metalurjisinin temel aşamaları şekil 1.9.'da gösterilmiştir.



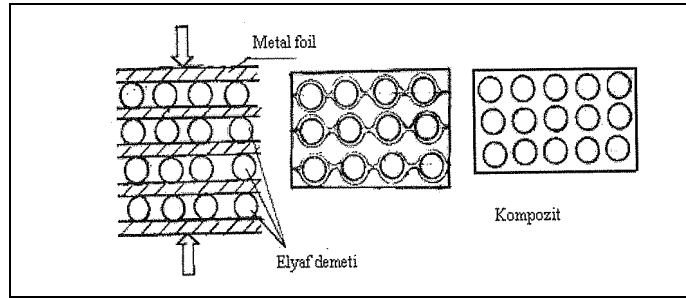
Şekil 1.9. Toz metalurji yönteminin temel aşamaları (Şahin, 2000)

1.4.1.9. Difüzyon bağlama ve vakumda presleme

Bu metodla birleştirme, yüksek basınç ve sıcaklıkta yapılır. Boron, silisyum karbür, alüminyum oksit, karbon gibi tek filamentli elyaf ya da elyaf demetleri ile alüminyum ve titanyum gibi matriks malzemeleri tabakalar halinde kullanılarak takviyeli kompozit malzemeler üretilir.

1.4.1.10. Sıcak presleme ve sıcak izostatik presleme

Bu işlem Al, Mg ve Ti gibi metal matriksli kompozit panelleri üretmek için kullanılır. Flamentler metal matriksten oluşan ince folyo tabakalar arasına Şekil 1.10'da gösterildiği gibi yerleştirilir ve kompoziti yerinde tutmak için bir bağlayıcı ile spreyleneir ve sonra bağlayıcı yakılarak ayrılır.



Şekil 1.10. Folyo matriks ile flamentlerin kesit görünümü (Şahin, 2000)

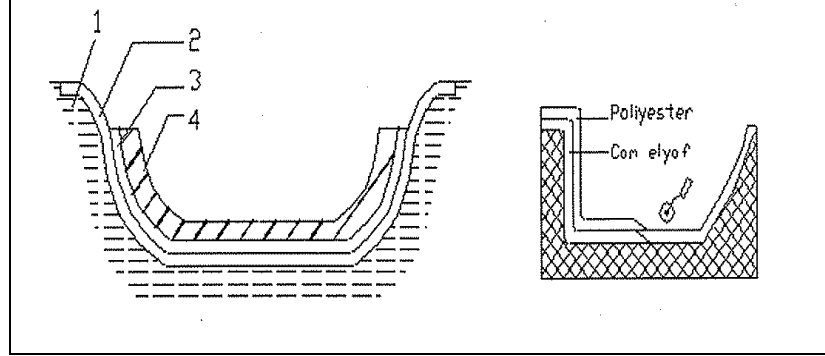
1.4.2. Plastik matriksli kompozitlerin üretim metodları

Kullanılan matriks malzemelerine göre; ya termoset reçineli ya da termoplastik reçineli olarak üretilmektedir. Bunlardan termoset reçineli kompozitlerin üretim metodlarının başlıcaları şöyle özetlenebilir.

1.4.2.1. El yatırma metodu

Kalıp reçine ile kaplanılmadan önce kalıptan parça ayrılmasını sağlamak için polivinil alkol, silikon sürülür. Sonra vizkozitesi yüksek reçine fırçayla kalıp içine yatırılır. Daha sonra elyaf demeti hazırlanarak dolgu maddeli reçine elyaflar üzerine

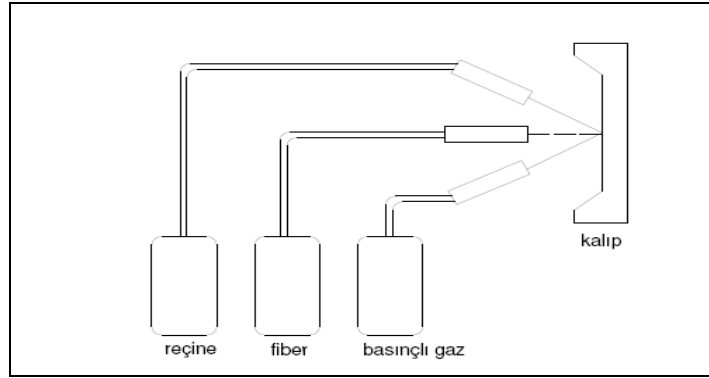
emdirilir. Bu şekilde istenilen yön, doğrultuda ve hacim oranlarında arzulanan kalınlığa ulaşıncaya kadar işlem devam ettirilir.



Şekil 1.11. El yatırma yöntemi (Şahin, 2000)

1.4.2.2. Püskürtme metodu

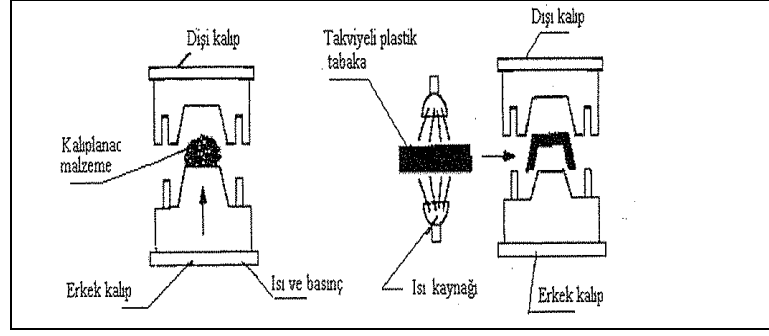
Yöntemde bir tabanca ile sürekli fiberler kırılmış halde reçine ve sertleştirici ile karıştırılarak kalıp içersine püskürtülür (Şekil 1.12.).



Şekil 1.12. Püskürtme tekniği (Şahin, 2000)

1.4.2.3. Basma ve transfer kalıplama

Yüksek hacim ve yüksek basınç altında karmaşık ve yüksek dayanımlı cam elyaf takviyeli plastiklerin üretimi için uygun bir metot olan basma ve transfer kalıplama metodu Şekil 1.13.'te gösterilmiştir.



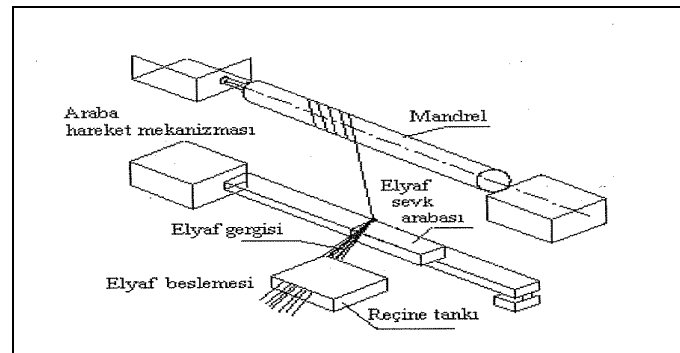
Şekil 1.13. Basma ve transfer kalıplama (Şahin, 2000)

1.4.2.4. Soğuk presleme

Bu işlem düşük basınç, oda sıcaklığında ve pahalı olmayan kalıplar ile orta hacimli parçaların üretilmesinde ekonomik kalıplama metodudur. Preform ve mat şeklinde cam elyafar termoset reçine ile birlikte eşleşen kalıplar arasına yerleştirilir. Kalıplar da 130-140 KPa basınç altında kapanır ve parça ısıtılmadan katılaşmaya tabi tutulur.

1.4.2.5. Helisel sarma yöntemi

Bu metotla şaftlar, uzun pervaneler, basınçlı kaplar, roket gövdesi ve boru gibi silindirik şekilli parçalar üretilir. Burada sürekli elyaf ön katalizlenmiş reçine ile ıslatılır ve mandrel (mil) üzerine belirli açılarla şekil 1.14.'te gösterildiği gibi sarılır. Sarma sırasında elyafa bir gergi kuvveti uygulanır. Bu işlem için mandrel döner, elyafın beslendiği araba ise ileri-geri hareket ederek elyaf helisel bir eğri boyunca sarılır.



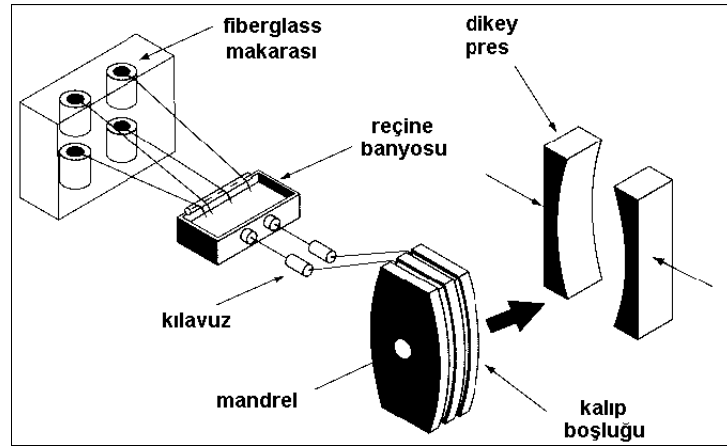
Şekil 1.14. Elyaf sarma düzeneği ve yöntemi (Şahin, 2000)

1.4.2.6. Enjeksiyon kalıplama

Termoset malzemeler enjeksiyon kalıp ünitesine yerleştirilir ve ısıtılmış kalıp içerisine uygun miktarda termoset plastikler enjekte edilir.

1.4.2.7. Profil çekme metodu

Yöntemde fiberler makaralara sarılı halde bulunur (Şekil 1.15.). Fiberler reçine banyosundan geçerek kalıba sarılır. Daha sonra sıcaklık ve basınç altında preslenir. Düşük maliyetlidir ve seri üretime uygundur.



Şekil 1.15. Profil çekme metodu (Şahin, 2000)

2. KAYNAK ÖZETLERİ

Bu bölümde konu ile ilgili olarak daha önce araştırmacılar tarafından yapılan çalışmalara yer verilmiştir.

Kılıç (2006), kompozit malzemelerle ilgili genel tanımlamalar yapıp, kompozit malzemelerin kullanım alanlarından ve üretim yöntemlerinden söz etmiştir. Daha sonra çekme mukavemetine maruz kalan dört delikli glass fiber/epoksi yaprak yayın yatak mukavemetini, hasar çeşidini ve hasar yükünü deneysel ve nümerik olarak araştırmıştır. Yaprak yayın deliğin köşe uzaklığının delik çapına oranı (E/D) 1'den 4'e kadar ve yaprak yay genişliğinin delik genişliğine oranı (W/D) 4'den 5'e kadar değiştirilmiştir. Nümerik çalışma LUSAS 13.6 sonlu eleman analiz programı yardımı ile gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın sonucunda elde edilen deneysel sonuçlar ile nümerik tahminler karşılaştırılmıştır.

Demiriz (2003), birbirine dik iki yönde periyodik eğriliği olan kompozit malzemeden hazırlanmış kalın plakların serbest ve zorlanmış titreşimini ve ayrıca da stabilite kaybına karşı gelen sınır değer ve özdeğer problemleri üç boyutlu Sonlu Elemanlar Yöntemi (SEY) ile sayısal olarak incelemiştir. Sonlu Elemanlar Yöntemi uygulanmasının gerektirdiği işlemler yani uygun fonksiyonellerin oluşturulması, üç boyutlu sonlu eleman seçimi, programlaştırma vs. gibi işlemler yapılmıştır. Ele alınan her bir problem için sayısal sonuçlar elde edilmiş ve bu sonuçların mekaniksel yorumları verilmiştir.

Çırak (2004), kayma deformasyonlu plak teorisini kullanarak, Young modülleri ve yoğunluğu kalınlık koordinatına bağlı olarak sürekli değişen ortotrop kompozit malzemelerden oluşan basit mesnetli dikdörtgen plakların serbest titreşim probleminin incelenmesini amaçlamıştır. Sayısal hesaplar kısmında, MAPPLE 8 bilgisayar programı kullanılmakta ve değişik homojen olmama fonksiyonları seçilerek, Young modülleri ve yoğunluğun değişimi, Young modülleri oranı değişimi ve plak parametreleri değişiminin serbest titreşim frekansı değerlerine etkileri incelenmektedir.

Kinet (2008), yaptığı araştırma projesinde kompozit malzemeler tanıtılmış, bu malzemelerin avantajlı, dezavantajlı yönleri ortaya konulmuş, 5 tabakalı kompozit malzemelerden ortotropik malzemenin serbest titreşim analizi Ansys programı yardımıyla yapılmıştır.

Çevik (2007), sonlu elemanlar yöntemini kullanarak çapraz-tabakalı ve açılı-tabakalı kompozit kirişlerin serbest titreşim analizini yapmıştır. Çözüm için ANSYS 8.0 yazılım paketinden yararlanılmıştır. Geliştirilen sonlu elemanlar modeliyle hesaplanan doğal frekanslar, literatürde mevcut ve farklı yöntemlerle elde edilmiş sonuçlarla karşılaştırılarak tamamen uyumlu oldukları gösterilmiş; böylece modelin doğrulaması yapılmıştır. Daha sonra, yaygın olarak karşılaşılan ankastre-serbest sınır şartları (konsol kiriş) için tabaka sayısının, boy/kalınlık oranının ve tabaka açılarının düzlem-dışı eğilme titreşimi doğal frekansına etkileri araştırılmıştır. Simetrik ve anti-simetrik diziliş durumları ayrı ayrı incelenmiştir. Sonuçlar tablo ve grafiklerle gösterilmiştir.

Baltacı ve Sarıkanat (2006), farklı fiber oryantasyonlarına sahip tabakalı kompozit kirişlerin dinamik yük altındaki serbest ve zorlanmış titreşim davranışlarını incelemiştir. Çalışmada, 8 düğüm noktalı 24 serbestlik dereceli izoparametrik kabuk eleman kullanılmış ve sonlu elemanlar metodu ile analizler yapılmıştır. Kompozit kirişin serbest ve zorlanmış titreşimi incelenirken, fiber oryantasyonlarının kirişin titreşim frekansına etkileri gösterilmiştir.

Çevik (2008), farklı sınır şartlarına sahip açılı ve çapraz tabakalı kompozit kirişlerin düzlem içi ve düzlem dışı serbest titreşimlerini incelemiştir. Fiber açısının düzlem dışı eğilme, burulma, düzlem içi eğilme ve eksenel doğal frekanslara etkisi ayrı ayrı araştırılmıştır. Kiriş, sonlu eleman yöntemi kullanılarak modellenmiş ve analiz edilmiştir. Nümerik analizleri gerçekleştirmek için sekiz-düğümlü tabakalı kabuk eleman seçilerek sonlu eleman yazılım paketi ANSYS kullanılmıştır.

Rajendran ve Vijayarangan (2001), yedi katlı çelik yaprak yaya alternatif olarak tek katlı kompozit yaprak yay geliştirmişlerdir ve %75,6 oranında ağırlık azalması sağlamışlardır.

Ucun ve Çolakoğlu (2004), değişik şekle ve alana sahip profil malzemelerde doğal frekansları serbest-serbest, bağlı-serbest, bağlı-bağlı ve iki tarafı mesnetli kenar koşullarında bir bilgisayar yöntemi kullanılarak ölçmüştür. Analitik yöntemle formülize edip, ilk üç titreşim modunu hesaplamıştır. Son olarak da sonlu elemanlar yöntemini kullanarak yine ilk üç eğilme modu için doğal frekanslar bulmuşlardır.

Yu ve Kim (1988), yaptıkları çalışmada dört katlı çelik yaprak yay yerine kullanılabilecek glass-fiber/epoksi kompozitinden parabolik yaprak yay geliştirmişlerdir. Çelik yaprak yay 8,44 kg ağırlığında iken E-glass/epoksi kompozit yaprak yay göz kısımları hariç sadece 2,3 kg ağırlığındadır.

Morris (1986), Ford Escort model otomobil için enlemesine yerleştirilmiş kompozit yaprak yay geliştirmiştir. Böylece eski sistemde kullanılan helezon yaylar ve süspansiyon kolları kaldırılarak parça sayısında da azalma sağlanmıştır.

Otomotiv endüstrisinde kullanılan metal yaprak yaylar genellikle çok katlı olarak yapılırlar. Çalışma esnasında katlar arası sürtünmeler meydana gelir. Bu da sürüş konforunda olumsuzluklara neden olur. Kompozit malzemedan yapılan yaprak yaylar tek katlı oldukları için katlar arası sürtünme ortadan kalkmış olur. ABD’de otomobiller için ilk kompozit yay çalışmaları 1963 – 1967 yılları arasında yapılmıştır. 150 civarında yay üretilmiş ve bu yaylarda önemli ağırlık azalmaları sağlanmıştır. Fakat üretim yöntemlerinin pahalı olması bu projenin ertelenmesine sebep olmuştur. 1977 yılına gelindiğinde çalışmalar tekrar başlamış ve ilk enlemesine yerleştirilen glass fiber yaprak yay 1981 yılında üretilmiştir.

Qureshi (2001), otomobil endüstrisinde kullanılan çelik yayların fiberglasla takviye edilmiş kompozit yaprak yaylar haline gelmesi yönünde artan bir ilginin olduğunu belirtmiştir. Bu nedenle kompozit yayların tasarımı, imalatı ve çözümlenmesi için genel bir çalışma sunmuştur. Bu bakış açısıyla jeep gibi küçük bir arabanın süspansiyon yayı örnek olarak seçilmiştir. Çok yapraklı çelik yayla benzer geometrik ölçülere sahip tek yapraklı ve değişen kalınlıklı glassfiber takviye edilmiş plastik yay tasarlanmış, imal edilip test edilmiştir. Deney sonuçları laboratuarda test edilip, akabinde yol testleri yapılmıştır.

Shokrieh ve Rezaei (2003), Ansys V5.4 yazılımı ile hafif araçların arka süspansiyon sistemlerinde kullanılan dört yapraklı çelik yayların analizini yapmıştır. Çelik yaprak yayların sonuçları kullanılarak, epoksi reçineli fiberglas kompozitten bir yay tasarlanmış ve Ansys kullanılarak analizi yapılmıştır. Sonuçlar çelik yaprak yayla kıyaslanmış; doğal frekans, yay ağırlığı yönünden kıyaslamalar yapılmıştır.

Sancaktar ve Gratton (1999), hafif araç uygulamalarında araç ağırlığının ilk sırada önemli olduğu yerde, kompozit yaprak yayların epoksi reçine emdirilerek tek yönlü E-glass kullanılarak imalatı, kullanımı ve bu malzemeden üretilebilirliği üzerine bir çalışma yapmışlardır.

Chiu vd. (2005), helisel kompozit yayların mekanik davranışlarını deneysel olarak araştırmak için dört değişik tipte helisel kompozit yay kullanmışlardır.

Mahdi vd. (2006), araç süspansiyonları için hafif eliptik kompozit yayların kullanımı üzerine bir araştırma yapmışlardır.

2.1. Yayların Tanımı

Dış kuvvetlerin tesiri altında şekil değiştiren ve bu kuvvetlerin kalkmasıyla ilk durumuna dönen cisimler elastik cisimler olarak adlandırılırlar. Cismin elastik şekil değiştirebilmesi değişik şekil vermelerle artırılınca, yay olarak isimlendirilen elementler elde edilir. Bu sebeple elastik özelliği olan elemente yay denilir. (Demirsoy, 1983).

Başka bir ifadeyle yaylar, gerildiği zaman enerji depo eden, kendi haline bırakıldığı zaman kendini germek için sarf edilen enerjiyi aynı miktarda geri veren bir makine elemanıdır.

2.2. Yay Kullanım Alanları

Yaylar makine konstrüksiyonlarında çeşitli maksatlarla kullanılırlar. Aşağıda yay kullanım alanlarından bazıları maddeler halinde verilmiştir.

- Saat mekanizmalarında, tek etkili hidrolik ve pnömatik silindirlerde vs. enerji depolama elemanı olarak,
- İçten yanmalı motorların valfleriyle kam mili arasındaki irtibatı sağlamak, kavramalar ve frenlerde kuvvet ve hareket kontrol elemanı olarak,
- Raylı taşıtların tamponları, kara taşıtlarının aks-şasi bağlantıları ve elastik kavramalar gibi darbeli ve titreşimli yerlerde darbe ve titreşim sönümleme elemanı olarak,
- Vibratörler, sarsaklar ve elekler gibi titreşimin istendiği yerlerde titreşim elemanı olarak,
- Patlamalı motorlarda supapların kapanmasını temin etmek,
- Kam sisteminde kam ile çubuk arasındaki irtibatı sağlamak,
- Dinamometre ve yaylı terazi gibi ölçü aletlerinde kuvvet ölçme elemanı olarak,

yayların kullanım alanlarından bazıları olarak sayılabilir.

2.3. Yay Çeşitleri

Yaylar dört grupta toplanabilir:

1. Şekline göre yaylar,
2. Zorlanma şekillerine göre yaylar,
3. Kuvvetin uygulama şekline göre yaylar,
4. Malzeme esasına göre yaylar.

Aşağıda bu yay çeşitleri sınıflandırılacaktır (Anonim, 2004).

2.3.1. Şekline göre yaylar

Dış şekillerine göre yaylar; bilezik yaylar, disk yaylar, helisel yaylar, helisel silindirik yaylar, helisel konik yaylar, kangal yaylar, silindirik yaylar, blok yaylar, çubuk yaylar, kovan yaylar, spiral yaylar ve yaprak yaylar olarak sınıflandırılabilir.

Malzeme kesitine göre; dairesel kesitli yaylar ve dikdörtgen kesitli yaylar olarak sınıflandırılabilir.

2.3.2. Zorlanma şekillerine göre yaylar

Burulmaya zorlanan yaylar; helisel yaylar (kangal yaylar hariç) ve silindirik yaylardır.

Çekme ve basmaya zorlanan yaylar; bilezik yaylar, blok yaylar olarak sınıflandırılır.

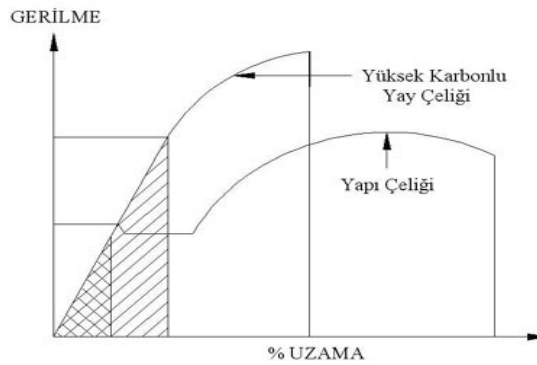
Eğilmeye zorlanan yaylar ise disk yaylar, kangal yaylar, spiral yaylar, yaprak yaylar olarak sınıflandırılırlar.

2.3.3. Kuvvetin uygulama şekline göre yaylar

Kuvvetin uygulama şekline göre yaylar; çeki yayları, bası yayları, kurma yayları ve form yayları olarak sınıflandırılabilirler.

2.4. Yay Malzeme Seçimi

Yay malzemeleri endüstride kullanılan en mukavemetli malzemelerdir (Şekil 2.1.). Ayrıca yay malzemeleri yüksek ve düşük sıcaklığın olduğu, korozyif çözeltilerin bulunduğu yerlerde ani ve dinamik yüklemenin mevcut olduğu yerlerde çalışabilmelidir.



Şekil 2.1. Gerilme-uzama diyagramı (Anonim, 2005)

Çizelge 2.1. Yay malzeme referans tablosu (Anonim, 2005)

YAYGIN OLARAK KULLANILAN YAY MALZEMELERİNİN ÖZELLİKLERİ										
Adı		UNS No	Tanımlar		Yoğunluk kg/m2	Elastisite modülü		Çekme Muk. Mpa	Tel Çapı mm	Mak.Sıcaklık °C
			SAE	ASTM		Çekme Mpa	Kayma Mpa			
Yüksek Karbonlu Yay Çelikleri	Soğuk Çekilmiş	K06501	J113	A227	7850	205000	79300	2500-1350	0,5-14	110
	Özel Kalite Soğuk Çekilmiş	K08200	J271	-	7850	205000	79300	2600-1400	0,5-14	110
	Yağda Temperlenmiş	K07001	J316	A229	7850	205000	79300	2440-1120	0,5-16	160
Alaşımlı Yay Çelikleri	Krom-Vanadyum	K15048	-	A231	7850	205000	79300	2200-1300	0,5-12	230
	Krom-Silisyum	K15590	J157	A401	7850	205000	79300	2240-1620	0,8-11	250
Paslanmaz Çelik	Ostenit(18-8)	S30200	J230	A313	7900	190000	68900	2440-1800	0,22-10	290
	17-7 PH	S17700	J217	-	7810	200000	75800	2400-1750	0,5-10	340
Bakır Alaşımları	Fosfor Bronz	C52100	J463	B103	8800	105000	43400	840-475	Şerit ve Tabaka	-
		C51000	J463	B159	8860	105000	43400	840-475	0,10-12	-
	Berilyum Bakır	C17200	J463	B194	8260	130000	48300	1520-1140	Şerit ve Tabaka	-
	Pirinç	C17200	J463	B197	8260	130000	48300	1520-1140	0,08-12	-
		C26000	J463	B36	8530	105000	37900	900-550	Şerit ve Tabaka	-
		C27000	J463	B134	8470	105000	37900	900-550	0,10-6,5	-
Nikel Alaşımları	Inconel 600	N06600	J470	-	8500	215000	75800	1280-1070	0,10-12	430
	Monel 400	N04400	J470	-	8830	180000	65500	1100-900	0,10-12	230

Helisel yaylar için malzeme seçerken yükleme durumu, çalışma gerilimi aralığı, ağırlık, çalışma sınır ölçüleri, yorulma ömrü, sıcaklık, korozyon, üretim metodu (soğuk ve sıcak sarım) ile malzeme özellikleri olarak sayılabilir.

Burada yay malzemelerinin beş ana grubu ele alınmıştır. Bunlar yüksek karbonlu yay çelikleri, alaşımlı yay çelikleri, paslanmaz yay çelikleri, bakır alaşımları, nikel alaşımlarıdır ve yaygın olarak kullanılan yay malzemelerinin özellikleri yay malzeme referans tablosu ismiyle Çizelge 2.1.' de verilmiştir (Anonim, 2005).

2.4.1. Yüksek karbonlu yay çelikleri

Yay tasarımcılarının seçebileceği en iyi ve mukavemetli malzemelerdir. Yayların yapımında kullanılan çelik malzemeler yayların çekme, basma, eğilme, burulma gibi zorlanma durumlarına göre değişmektedir.

Yay telleri sıcak hadde çubuklarından, karbür kalıplardan soğuk çekilerek üretilir. Ayrıca yayların performansları kullanılan malzemenin mekanik özellikleri ile malzemeye uygulanan tavlama, soğuk çekme, ön temperleme gibi ısı işlemler sonucu kazanılan özelliklere de bağlıdır.

2 mm' den daha az boyutlardaki yaylar için standartta verilen SAE J271 özel kalite soğuk çekilmiş karbon çeliği en mukavemetli olanıdır. Tel toleranslarının sınırlı olduğu ve yüksek gerilimlerin bulunduğu yerlerde kullanılırlar.

Yağda temperlenmiş SAE J316 karbon çeliklerinde ise temperleme sonucu elde edilen martenzitik yapı sabit veya değişken yükler karşısında yumuşama yani gevşemeye karşı daha dirençlidir. Bu çelikler hassas şekil vermeye de daha uygundur.

Bu gruptaki J113 soğuk çekilmiş teller, yağda temperlenen J316 çeliğinden daha fazla deformasyona dayanırlar. Ayrıca soğuk çekilmiş teller, statik yükler, düşük gerilimler ve gerilme tekrarının az olduğu yerlerde kullanılırlar.

2.4.2. Alaşımlı yay çelikleri

Bu malzemeler tavlansak çekilir ve daha sonra yüksek mukavemet elde etmek için tel üreticileri tarafından sertleştirilir. Bunlar 2 mm boyutun üzerindeki soğuk çekilmiş malzemelerden daha mukavemetlidir. Bu malzemelerin mekanik özellikleri sertleştirme prosesinde elde edilir.

Düşük alaşımlı veya ön sertleştirme yapılmış ve temperlenmiş karbon çelikleri mükemmel statik ve dinamik özelliklere sahiptir ve 230 °C' ye kadar ki sıcaklıklarda çalışabilirler. Fakat yüzey işlem görmez ise kolayca aşınabilir. Si-Cr (J157) veya Cr-V en yaygın olarak kullanılanlar arasındadır.

2.4.3. Paslanmaz yay çelikleri

Paslanmaz yay çelikleri, korozyona dayanıklı, şekil değiştirme kabiliyeti yüksek olan çeliklerdir ve normal yay çeliklerine göre daha yaygın kullanılırlar. Bu çelikler içerisinde en az %16 Cr ve %6,5 Ni bulunmaktadır. Ayrıca bu çelikler soğuk şekillendirme ve ısıt işleme tabi tutulan çeliklerdir. Paslanmaz çeliklerinin mekanik özelliklerine ve korozyon direncine göre çok değişik çeşitleri vardır.

2.4.4. Bakır alaşımlı yay malzemeleri

Bakır alaşımlı yay malzemeleri yüksek elektrik ve ısı geçirgenliği istenen ve çok iyi atmosferik direnç gerektiren yerlerde kullanılır. Yay üretiminde Tablo 2.1.'de verilen üç adet alaşım yer alır. Bunlar fosfor bronzu, berilyum bakır ve pirinçtir.

Fosfor bronzu ve pirinç malzemeler mekanik özelliklerini soğuk çekim işleminden kazanır. İçerisinde yüksek miktarda kalay bulunan fosfor bronzunun çekme mukavemeti oldukça yüksek ve elektrik iletkenliği iyidir.

Berilyum bakır çökelme sertleşmesine sahip bir malzemedir. En pahalı bakır alaşımıdır. Fakat sertleştirilebildiği gibi diğer bakır alaşımlarına nazaran daha büyük

gerilme ve yorulma direncine sahiptir.

2.4.5. Nikel alaşımlı yay malzemeleri

İçerisinde %75 Ni ve %16 Cr bulunan UNS N06600 malzemelerin yüksek sıcaklıklarda oksidasyon dirençleri ve mukavemetleri oldukça iyidir. Soğuk çekildiklerinde çekme mukavemetleri de oldukça yükselir. Bir Cu–Ni alaşımı olan UNS N04400 ise yüksek mukavemete ve sünekliğe sahip olmakla birlikte asit ve alkalilere dirençlidir. Özellikle deniz suyu gibi tuzlu su ortamlarına ve hafif yüklemelere karşı çok ideal bir malzemedir.

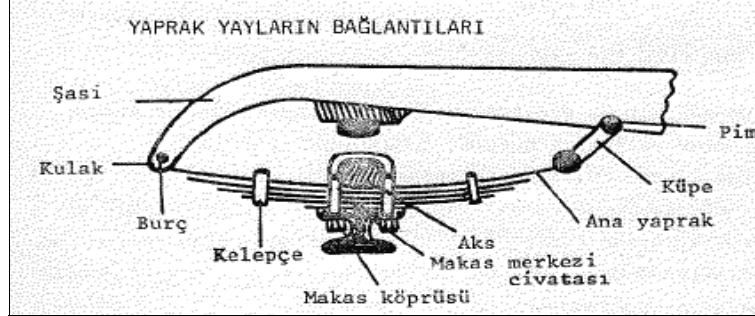
2.5. Yaprak Yaylar ve Boyutlandırılmaları

Taşıtlarda genellikle üç çeşit yay kullanılmaktadır. Bunlar kangal yaylar, yaprak yaylar ve burulma çubuklarıdır.

Genellikle taşıtların ön tekerleklerinde kangal yaylar tercih edilir. Arka tekerlerde yaprak yaylar tercih edilir. Ağır hizmet gören kamyon vb. taşıtlarda ön tekerleklerde de yaprak yaylar kullanılır (Şekil 2.2.).

Yaprak yaylar muhtelif boylarda, kama şeklinde çelik parçalarının üst üste konması ile tertip edilmiş bir kesik yaydır. Yapraklar, merkezlerindeki deliklerden geçen (U) şeklindeki bir makas köprüsü ile birbirlerine bağlanmışlardır. Yayların boyunca aralıklı olarak tertip edilen kelepçeler yaprakların birbirinden ayrılmasını ve aynı doğrultuda kalmasını sağlar. Boyu en uzun yaprak yayı her iki ucu yuvarlanmış ve yatak şekline getirilmiştir. Bu yataklardan geçirilen civatalar, tespit kulaklarına yerleştirilmiştir. Bazı yaylarda uzun yayı takviye etmek gayesi ile iki adet uzun yaprak bulunur. Bunların ucu yuvarlatılarak yatak şekline getirilir. Yaprak yaylar tek parça olarak yapılmış olsalardı, uçlarından basıldığı zaman yayın üst kenarı alt kenarından daha fazla uzayarak kısa bir zamanda yayın kırılmasına sebep olurdu. Halbuki yaprak yayların bir araya getirilmesi ile oluşan yaylar eğilme esnasında her yaprak yay ayrı ayrı uzayacağından kırılma tehlikesi önlenmiş olur. Bazı yaprak

yaylarda yaprakların daha kolay kaymasını sağlamak için bunların arasına çeşitli malzemelerden yapılmış ara parçalar yerleştirilmiştir.



Şekil 2.2.Yaprak yayların bağlantıları (Bayhan, 1985)

Motorlu taşıtlarda en çok kullanılan yaprak yaylar yarım eliptik yaprak yaylardır.

Yaprak yaylarda boyutlandırma yapılırken, bir grup yaya veya bir makasa gelen yük hesap edilir. Bu yüke P denirse, makasın iki başından $P/2$ yüklerinin geldiği kabul edilebilir. Ya da iki tarafından destekli ortasından P yükü etkimiş olarak kabul edilebilir. Yani P yüküne maruz 2 destekli, 2 tarafından serbest bir kiriş olarak alınabilir. Burada yaprak yayların adeti (n) önemli bir fonksiyondur. Yaprak yayın kesitini tespit edersek, (n) yaprak adetini hesaplayarak boyutlandırma yapılabilir. Yada yaprak yayın adetini, yapraklardan birinin (h) kalınlığı tespit edildiğinde, yayın genişliği (b) hesaplanarak boyutlandırma yapılabilir. Yaprak yayın genişliği (b), yüksekliği (h) ile yaprak yayın kesit alanı yapılacak boyutlandırmalarda çok önemlidir. Yaprak yayın boyu da önemlidir. Taşıyacağı yükü, yaprak yayın kesitini ve sayısını kabul ettiğimiz zaman yayın (L) uzunluğu hesap edilerek bir boyutlandırma yapılabilir (Bayhan, 1985).

3. MATERYAL VE YÖNTEM

Kompozit malzeme cam elyaf epoksi 250 gr/m² tek yönlü cam elyaf ile sekiz kat olarak İzmir İzoreel firmasına imal ettirilmiştir. İmal edilen deney numunesi malzeme standartlarına uygun olarak kesilmiştir (Şekil 3.1.). İzmir Dokuz Eylül Üniversitesinde bu malzemenin mekanik özellikleri tespit edilmiştir. Bu özelliklerin tespitinde deney numunelerine Instron çekme cihazında çekme deneyi, basma deneyi ve üç nokta eğme deneyleri uygulanmıştır. Sonuçta malzemenin fiber ve fibere dik yönde çekme mukavemeti, fiber ve fibere dik yönde basma mukavemeti, fiber ve fibere dik yöndeki elastisite modülü, kayma mukavemeti, kayma modülü ve poisson oranı hesaplanmıştır.



Şekil 3.1. Kompozit malzemenin mekanik özelliklerinin bulunması için standartlara göre kesilmesi

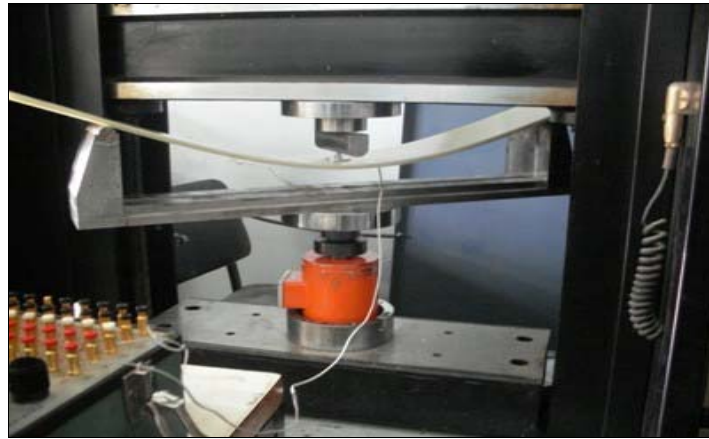
Üç nokta eğme deneyi yapılarak, malzeme için eğilme emniyet gerilmesine ve eğilme elastisite modülüne ulaşılmıştır.

Daha sonra araçlarda kullanılan çelik yaprak yaylara alternatif olarak bu kompozit malzemeden belirli bir yükü kaldırabilecek 6 yapraklı prototip bir yaprak yay boyutlandırılması yapılmış ve yaprak yay İzmir İzoreel firmasına imal ettirilmiştir. 6 yapraklı ve her bir yaprağı 8 tabaka olan bu kompozit yapraklar ortasından merkez civatası geçirilerek sabitlenmiştir.

Dokuz Eylül Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü Kompozit Laboratuvarında 6 yapraklı olarak tasarlanan yaprak yayın, her bir yaprağı sırasıyla 1’den 6’ya kadar artırılarak, belirli bir yük altında deneysel ve teorik çökme, deneysel ve teorik gerilme, yay katsayısı değerleri elde edilmiştir (Şekil 3.2 ve Şekil 3.3.). Böylece yük altında artan yaprak sayısına bağlı olarak yay katsayısını gösteren değişim grafiği, yük altında tabaka sayısına bağlı olarak maksimum gerilmelerin analitik ve deneysel değişim grafiği elde edilerek genellemeler yapılmıştır.



Şekil 3.2. Kompozit plakaların yük altındaki davranışı



Şekil 3.3. Yayın artan yaprak sayısı ile yük altındaki ölçümlerinin yapılması

6 yapraklı olarak tasarlanan bu yaprak yay, üç boyutlu sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak modellenmiştir. ANSYS programı yardımıyla yaprak yayın statik analizi yapılmıştır. Sonlu elemanlar modelinde SOLID 46 elemanı kullanılmıştır. Bu eleman

kompozit modellemede kullanılmaktadır. Modelleme esnasında yapraklar arasına düşük elastisite modülüne sahip ihmal edilebilir boyutta tabakacıklar yerleştirilmiş ve böylece kompozit yapraklar arasında hareket serbestliği sağlanmıştır.

Modellenen her bir kompozit yaprak 8 tabakacıktan oluşturulmuştur. Takviye açısı 0^0 olarak seçilmiştir. 600 x 100 mm boyutlarında modellenen yaprak yayın yan alt çizgilere sınır koşulları uygulanmıştır. Orta kısma 180 N'luk yük düğüm noktalarına dağıtılarak uygulanmıştır. Bu oluşturulan basit mesnetli üç nokta eğme modeline statik analiz yapılmıştır. Uzunluk boyunca en alt tabakada oluşan deplasman ve gerilmeler grafiklerle gösterilmiştir.

3.1. Deneylerde Kullanılan Malzemeler

Kompozit malzemelerin yaprak yay olarak kullanılabilirliğinin incelendiği çalışmada cam elyaf epoksi malzeme kullanılmıştır. İzmir ‘‘İzoreel’’ Kompozit İzole Malzemeler San. ve Tic. Ltd. Şirketi tarafından 250 gr/m² tek yönlü cam elyaf ile sekiz kat olarak kompozit kiriş imal edilmiştir.

Kullanılan kompozit kiriş malzemesinin özellikleri şunlardır:

- a. Kullanılan Reçine: Bisphenol A, Epoxy CY-225 ; sertleştirici Anhydride HY-225
- b. Karışım Oranı (Ağırlıkça oran) : 100 Pbw CY-225 ; 80 Pbw HY-225
- c. Kullanılan Elyaf: 250gr/m²-Cam, tek yönlü
- d. Pres Basıncı: 110 Bar
- e. Pres Sıcaklığı: 120 ⁰C
- f. Bası Süresi: 3 Saat

İzoreel Firmasında imal edilen kompozit kirişin boyutları:

L = uzunluk = 1000 mm

b = genişlik = 205 mm

t = kalınlık = 1,7 mm

Bu kompozit kirişten malzemenin mekanik özelliklerinin tespit edilebilmesi için İzoreel Firmasında ASTM (American Society For Testing Materials) standartlarına göre deney numuneleri kesilmiştir.

1000 x 205 x 1,7 mm’lik kompozit kirişden kesilen deney numunelerinin sayıları ve boyutları şoyledir :

1. numune (4 adet) :

$L = \text{uzunluk (elyaf yönünde)} = 230 \text{ mm}$

$b = \text{genişlik} = 12 \text{ mm}$

2. numune (16 adet) : 38 x 12 mm çene için

3. numune (4 adet) :

$L = \text{uzunluk (elyaf yönlenmesine dik yönde)} = 205 \text{ mm}$

$b = \text{genişlik} = 25 \text{ mm} ;$

4. numune (3 adet) :

$L = \text{uzunluk (elyaf yönünde)} = 100 \text{ mm}$

$b = \text{genişlik} = 8 \text{ mm}$

5. numune (12 adet) :46 x 8 mm çene için;

6 . numune (3 adet) :

$L = \text{uzunluk (elyaf yönlenmesine dik yönde)} = 100 \text{ mm}$

$b = \text{genişlik} = 12 \text{ mm}$

7. numune (12 adet) : 46 x 12 mm çene için;

8.numune :

$L = \text{uzunluk (elyaf yönünde)} = 76 \text{ mm}$

$b_1 = \text{genişlik (u kısım)} = 56 \text{ mm}$

b_2 = genişlik (orta kısım) = 31 mm olan deney numuneleri kesilmiştir

3.2. Deneylerde Kullanılan Cihaz ve Sistemler

3.2.1 Çekme, basma ve eğilme test cihazı

Kompozit malzemenin mekanik özelliklerine ulaşabilmek için, İzmir İzoreel firmasında standartlarına göre kesilen deney numunelerine İzmir Dokuz Eylül Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü Kompozit Laboratuvarında bulunan Instron Çekme cihazı kullanılarak, çekme, basma ve eğilme deneyleri uygulanmıştır. İzmir Dokuz Eylül Üniversitesi'nde mekanik özelliklere ulaşmak için kullanılan çekme cihazı Şekil 3.4. te verilmiştir.



Şekil 3.4. Instron Çekme Cihazı

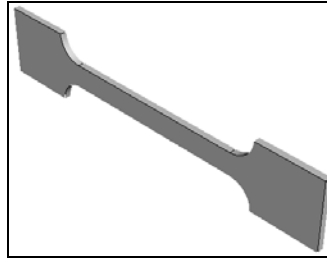
3.3. Deneylerin Yapılışı

Kompozit malzemenin mekanik özelliklerini belirlemek için çekme, basma ve eğilme deneyleri yapılmıştır. Bu sebeple aşağıda çekme ve basma deney düzeneği, deneylerin yapılışı ve bazı terimler hakkında teorik bilgiler verilmiştir (Deniz, 2003).

3.3.1. Çekme deneyi ve yapılışı

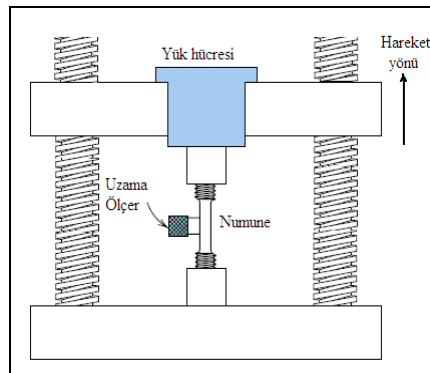
Çekme deneyi, malzemelerin mukavemeti hakkında esas dizayn bilgilerini saptamak ve malzemelerin özelliklere göre sınıflandırılmasını sağlamak amacı ile geniş çapta kullanılır.

Çekme deneyi için önce test edilecek malzemedan standartlara uygun bir çekme numunesi hazırlanır. Standartlara uygun yassı bir çekme numunesi Şekil 3.5.'te gösterilmiştir. Çekme deneyi cihazının çeneleri arasına düzgün ve ortalayacak bir şekilde sıkıştırılan bu numune gittikçe artan bir yük ile kopuncaya kadar çekilir. Bu esnada uygulanan (F) yükü ile buna karşı malzemenin gösterdiği uzama (ΔL) ölçülür. Deney sonucu elde edilen yük (F) ve uzama (ΔL) değerlerinden yararlanarak ($F - \Delta L$) diyagramı elde edilir. Bu diyagrama çekme diyagramı da denir.



Şekil 3.5. Standartlara uygun yassı bir çekme numunesi (Deniz, 2003)

Yine Şekil 3.6.'de Çekme deneyi makinesi düzeneği görülmektedir.



Şekil 3.6. Çekme deneyi makinesi düzeneği (Deniz, 2003)

Çekme deneyi sonucunda numunenin temsil ettiği malzemeye ait elastisite modülü, elastik sınırı, elastikiyet, akma dayanımı, çekme dayanımı, tokluk, yüzde uzama, kesit daralması gibi özellikler bulunabilir.

Bazı terimler hakkında teorik bilgi aşağıda sunulmuştur:

Gerilme (σ); birim alana etkiyen yük anlamına gelir ve aşağıdaki formülle hesaplanır.

$$\sigma = \frac{P}{A_0} \quad (3.1)$$

Birim Şekil Değiştirme (ϵ); malzemeye kuvvet uygulandığı zaman oluşan boy değişiminin kuvvet uygulanmadan önceki ilk boya oranıdır.

$$\epsilon = \frac{\Delta L}{L_0} \quad (3.2)$$

Elastisite Modülü (E); malzemenin mukavemetinin ölçüsüdür. Birim uzama ile normal gerilme (çekme ya da basma gerilmesi) arasındaki doğrusal ilişkinin bir sonucu olup, birim uzama başına gerilme olarak tanımlanır.

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon} \quad (3.3)$$

Elastisite modülü malzemeye ait karakteristik bir özelliktir.

Akma dayanımı (σ_a); uygulanan çekme kuvvetinin yaklaşık olarak sabit kalmasına karşın, plastik şekil değiştirmenin önemli ölçüde arttığı ve çekme diyagramının düzgünsüzlük gösterdiği kısma karşı gelen gerilme değeridir.

$$\sigma_a = \frac{P_a}{A_0} \quad (3.4)$$

Çekme dayanımı (σ_c); bir malzemenin kopuncaya veya kırılıncaya kadar dayanabileceği en yüksek çekme gerilmesi olarak tanımlanır. Bu gerilme, çekme diyagramındaki en yüksek gerilme değeri olup, aşağıdaki formül ile bulunur.

$$\sigma_c = \frac{P_{\max}}{A_0} \quad (3.5)$$

Kopma Gerilmesi (σ_K); numunenin koptuğu andaki gerilme değeridir.

$$\sigma_K = \frac{P_K}{A_0} \quad (3.6)$$

Poisson Oranı (ν); boyuna uzayan çubukta aynı zamanda bir daralma görülmektedir. Poisson oranı aşağıda belirtildiği gibi enine doğrultuda meydana gelen uzama miktarının boyuna doğrultuda meydana gelen uzama miktarına oranı olup, şöyle yazılabilir:

$$\begin{aligned} \text{Poisson oranı} = \nu &= \text{Yanal şekil değiştirme} / \text{Eksenel şekil değiştirme} \\ \nu &= - (\epsilon_{22} / \epsilon_{11}) \end{aligned} \quad (3.7)$$

3.3.2. Basma deneyi ve yapılışı

Basma deneyi işlem itibarı ile çekme deneyinin tam tersidir. Basma deneyi de çekme deneyi makinelerinde yapılır. Basma deneyi ile de malzemelerin mekanik özellikleri tespit edilir.

4. BULGULAR

4.1. Mekanik Özelliklerin Tespiti

İzmir İzoreel firmasında standartlara göre kesilen deney numunelerine İzmir Dokuz Eylül Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü Kompozit Laboratuvarındaki çekme deney düzeneğinde uygulanan kuvvetler ve bulunan kopma gerilmeleri şu şekildedir.

Fiber yönündeki kopma gerilmesi (σ_k) için;

Genişlik = $b = 12$ mm

Kalınlık = $t = 1,7$ mm lik numunelerde

(3.6) formülünden üç numune için koptuğu kuvvetlerdeki kopma gerilmeleri bulunur ve ortalama kopma gerilmesine ulaşılır.

$$1- \sigma_{K1} = 18.570 / (1,7 \times 12) = 910,29 \text{ MPa}$$

$$2- \sigma_{K2} = 17.579 / (1,7 \times 12) = 861,71 \text{ MPa}$$

$$3- \sigma_{K3} = 18.521 / (1,7 \times 12) = 907,89 \text{ MPa değerleri bulunmuştur.}$$

Dolayısıyla fiber yönündeki ortalama kopma gerilmesi ($\sigma_{K \text{ ort}}$);

$$\sigma_{K \text{ ort}} = (910,29 + 861,71 + 907,89) / 3 = 893,29 \text{ MPa}$$

şeklinde hesaplanır.

Fibere dik yöndeki kopma gerilmesi için;

Genişlik = $b = (25,7) \text{ mm}; (25,2) \text{ mm}; (25,0) \text{ mm}$

Kalınlık = $t = 1,7$ mm lik numunelerde

(σ_k); (3.6) formülünden dört numune için de koptuğu kuvvetlerdeki kopma gerilmeleri bulunur ve ortalama kopma gerilmesine ulaşılır.

$$1- \sigma_{K1} = 3624 / (1,7 \times 25,7) = 82,94 \text{ MPa}$$

$$2- \sigma_{K2} = 3384 / (1,7 \times 25,2) = 78,99 \text{ MPa}$$

$$3- \sigma_{K3} = 3865 / (1,7 \times 25,0) = 90,94 \text{ MPa}$$

$$4- \sigma_{K4} = 3492 / (1,7 \times 25,0) = 82,16 \text{ MPa}$$

Dolayısıyla fibere dik yöndeki ortalama kopma gerilmesi ($\sigma_{K \text{ ort}}$) olduğundan;

$$\sigma_{K \text{ ort}} = (82,94 + 78,99 + 90,94 + 82,16) / 4 = 83,75 \text{ MPa}$$

şeklinde hesaplanır.

Basma deneyi de çekme deneyi makinelerinde yapılır. Basma deneyi ile de malzemelerin mekanik özellikleri tespit edilebilir.

İzoreel firmasında standartlara göre kesilen deney numunelerine İzmir Dokuz Eylül Üniversitesinde basma deney düzeneğinde uygulanan kuvvetler ve bulunan kopma gerilmeleri şu şekildedir:

Fiber yönündeki basma mukavemeti için;

Genişlik = b = (8,34) mm; (8,39) mm; (8,40) mm

Kalınlık = t = (1,75) mm; (1,88) mm; (1,78) mm lik numunelerde;

Basma mukavemeti (σ_k); (3.6) formülü yardımıyla üç numune için de koptuğu kuvvetteki basma gerilmeleri bulunarak ortalama basma mukavemetine ulaşılır.

$$1- \sigma_{K1} = 5827 / (1,75 \times 8,34) = 399,3 \text{ MPa}$$

$$2- \sigma_{K2} = 7141 / (1,88 \times 8,39) = 452,8 \text{ MPa}$$

$$3- \sigma_{K3} = 7435 / (1,78 \times 8,40) = 497,3 \text{ MPa}$$

Dolayısıyla fiber yönündeki ortalama basma mukavemeti ($\sigma_{K \text{ ort}}$) olduğundan;

$$\sigma_{K \text{ ort}} = (399,3 + 452,8 + 497,3) / 3 = 449,8 \text{ MPa}$$

Fibere dik yöndeki basma mukavemeti için;

Genişlik = b = (12,6) mm; (12,3) mm

Kalınlık = t = (1,91) mm; (1,88) mm lik numunelerde;

Basma mukavemeti (σ_k); (3.6) formülünden iki numune için de koptuğu kuvvetteki basma gerilmeleri bulunur ve ortalama basma mukavemetine ulaşılır.

$$1- \sigma_{K1} = 2580 / (1,91 \times 12,6) = 107,2 \text{ MPa}$$

$$2- \sigma_{K2} = 2599 / (1,88 \times 12,3) = 112,39 \text{ MPa}$$

Dolayısıyla fibere dik yönündeki ortalama basma mukavemeti ($\sigma_{K \text{ ort}}$) olduğundan;

$$\sigma_{K \text{ ort}} = (107,2 + 112,39) / 2 = 109,8 \text{ MPa}$$

olarak hesaplanır.

Fiber yönündeki elastisite modülü E_1 için;

$A = 20,18 \times 1,93 = 38,94 \text{ mm}^2$ 'lik numunelere uygulanan kuvvetler ve birim uzamalar tablolarında gösterilmiştir.

P	$\epsilon_1(10^{-6})$	$\epsilon_2(10^{-6})$
225	3827	2237
843	4261	2106

Buradan poisson oranı (ν_{12}); (3.7) formülünde yerine konularak ,
 $\nu_{12} = - (2106 - 2237) / (4261 - 3827) = - 0,301$ olarak elde edilir.

(3.1) formülü yardımıyla (σ),

$$\sigma = (843 - 225) / 38,94 = 15,87 \text{ MPa}$$

şeklinde elde edilir.

(3.3) formülünde bulunan değerler yerine koyularak;

$$E_1 = 15,87 \cdot 10^6 / (4261 - 3827) = 36.568 \text{ MPa}$$
 elde edilir.

P	$\epsilon_1(10^{-6})$	$\epsilon_2(10^{-6})$
245	3844	2233
1039	4400	2065

Buradan poisson oranı (ν_{12}); (3.7) formülünde yerine konularak,
 $\nu_{12} = - (2065 - 2233) / (4400 - 3844) = - 0,302$ olarak elde edilir.

(3.1) formülü yardımıyla,

$$\sigma = (1039 - 245) / 38,94 = 20,39 \text{ MPa}$$

(3.3) formülünde bulunan değerler yerine konularak;

$$E_1 = 20,39 \cdot 10^6 / (4400 - 3844) = 36.673 \text{ MPa}$$
 elde edilir.

P	$\epsilon_1(10^{-6})$	$\epsilon_2(10^{-6})$
245	3835	2236
971	4359	2078

Buradan poisson oranı (ν_{12}); (3.7) formülünde yerine konularak,

$v_{12} = - (2078 - 2236) / (4359 - 3835) = - 0,301$ olarak elde edilir.

(3.1) formülü yardımıyla,

$$\sigma = (971 - 245) / 38,94 = 18,64 \text{ MPa}$$

(3.3) formülünde bulunan değerler yerine konularak (E);

$$E_1 = 18,64 \cdot 10^6 / (4359 - 3835) = 35.580 \text{ MPa}$$
 elde edilir.

P	$\epsilon_1(10^{-6})$	$\epsilon_2(10^{-6})$
235	3826	2239
951	4352	2081

Buradan poisson oranı (v_{12}); (3.7) formülünde yerine konularak,

$$v_{12} = - (2081 - 2239) / (4352 - 3826) = - 0,300$$
 olarak elde edilir.

(3.1) formülü yardımıyla,

$$\sigma = (951 - 235) / 38,94 = 18,38 \text{ MPa}$$

(3.3) formülünde bulunan değerler yerine konularak;

$$E_1 = 18,38 \cdot 10^6 / (4352 - 3826) = 34.956 \text{ MPa}$$
 elde edilir.

Dolayısıyla fiber yönündeki elastisite modülü (E_1);

$$E_1 = (36.568 + 36.673 + 35.580 + 34.956) / 4 = 35.944 \text{ MPa}$$

olarak bulunacaktır.

Kayma Mukavemeti (S_{12});

$$\text{Kalınlık} = t = 1,74 \text{ mm}$$

Genişlik = $b = (33)$ mm ve $b = (32,6)$ mm lik (2) adet numune örneğinden;

$$F_{k1} = 4179 \text{ N ve } F_{k2} = 3677 \text{ N}$$

$$\text{Alan}_1 = 1,74 \times 33 = 57,42 \text{ mm}^2$$

$$\text{Alan}_2 = 1,74 \times 32,6 = 56,724 \text{ mm}^2$$

$$\text{Kayma mukavemeti} = S_{12} = F_k / A \text{ olduğundan;} \quad (4.1)$$

$$S_{12} = 4179 / 57,42 = 72,77 \text{ MPa ve } S_{12} = 3677 / 56,724 = 64,82 \text{ MPa olur.}$$

$$\text{Ve kayma mukavemeti} = (72,77 + 64,82) / 2 = 68,79 \text{ MPa bulunacaktır.}$$

Kayma modülü (G_{12});

$$\tau_{12} = G_{12} \cdot \gamma_{12} \quad (4.2)$$

$$\tau_{12} = P / b.t \quad (4.3)$$

olmak üzere;

$b = 33,56 \text{ mm}$ ve $t = 1,74 \text{ mm}$ 'lik numunelerden;

P	$\epsilon(10^{-6})$
284	874
774	0

(4.3) formülü uygulanarak,

$$\tau_{12} = (774 - 284) / (33,56 \times 1,74) = 8,39 \text{ MPa}$$

$\tau_{12} = G_{12} \cdot \gamma_{12}$ ve $\gamma = 2\epsilon$ olduğundan (4.2) formülü uygulanarak;

$$G_{12} = \tau_{12} / \gamma_{12} = \tau_{12} / 2\epsilon = 8,39 \cdot 10^6 / 2 \cdot (874 - 0) = 4800 \text{ MPa olur.}$$

P	$\epsilon(10^{-6})$
304	790
902	-274

(4.3) formülü uygulanarak,

$$\tau_{12} = (902 - 304) / (33,56 \times 1,74) = 10,24 \text{ MPa}$$

$\tau_{12} = G_{12} \cdot \gamma_{12}$ ve $\gamma = 2\epsilon$ olduğundan (4.2) formülü uygulanarak;

$$G_{12} = \tau_{12} / \gamma_{12} = \tau_{12} / 2\epsilon = 10,24 \cdot 10^6 / 2 \cdot (790 - (-274)) = 4812 \text{ MPa olur.}$$

P	$\epsilon(10^{-6})$
284	798
951	-411

(4.3) formülü uygulanarak,

$$\tau_{12} = (951 - 284) / (33,56 \times 1,74) = 11,42 \text{ MPa}$$

$\tau_{12} = G_{12} \cdot \gamma_{12}$ ve $\gamma = 2\epsilon$ olduğundan (4.2) formülü uygulanarak;

$$G_{12} = \tau_{12} / \gamma_{12} = \tau_{12} / 2\epsilon = 11,42 \cdot 10^6 / 2 \cdot (798 - (-411)) = 4723 \text{ MPa olur.}$$

Bu sonuçlardan hareketle;

$$\text{Kayma modülü } G_{12} = (4800 + 4812 + 4723) / 3 = 4778,3 \text{ MPa}$$

Fibere dik yöndeki elastisite modülü (E_2) için;

$A = 1,85 \times 12,17 = 22,51 \text{ mm}^2$ lik numunelere uygulanan kuvvetler ve birim uzamalar tablolarında gösterilmiştir.

P	$\epsilon(10^{-6})$
166	2965
470	4154

(3.1) formülü yerine konularak,

$$\sigma = (470 - 166) / 22,51 = 13,50 \text{ MPa}$$

(3.3) formülünden;

$$E_2 = 13,5 \times 10^6 / (4154 - 2965) = 11.358 \text{ MPa}$$

P	$\epsilon(10^{-6})$
156	2937
480	4223

(3.1) formülü yerine konularak,

$$\sigma = (480 - 156) / 22,51 = 14,39 \text{ MPa}$$

(3.3) formülünden;

$$E_2 = 14,39 \times 10^6 / (4223 - 2937) = 11.192 \text{ MPa}$$

P	$\epsilon(10^{-6})$
186	3067
549	4485

(3.1) formülü yerine konularak,

$$\sigma = (549 - 186) / 22,51 = 16,12 \text{ MPa}$$

(3.3) formülünden;

$$E_2 = 16,12 \times 10^6 / (4485 - 3067) = 11.372 \text{ MPa}$$

P	$\epsilon(10^{-6})$
196	3101
627	4834

(3.1) formülü yerine konularak,

$$\sigma = (627 - 196) / 22,51 = 19,14 \text{ MPa}$$

(3.3) formülünden;

$$E_2 = 19,14 \times 10^6 / (4834 - 3101) = 11.048 \text{ MPa}$$

Dolayısıyla fibere dik yöndeki elastisite modülü (E_2);

$$E_2 = (11.358 + 11.192 + 11.372 + 11.048) / 4 = 11.242 \text{ MPa}$$

olarak bulunacaktır.

250 gr/m² tek yönlü cam elyaf ile sekiz kat olarak imal edilmiş olan kompozit kirişin mekanik özelliklerini belirlemeye yönelik yapılmış olan bu deneylerin sonuçları, Çizelge 4.1.' de çekme mukavemetleri, basma mukavemetleri, elastisite modülleri, kayma mukavemeti, kayma modülü ve poisson oranı olarak verilmiştir.

Çizelge 4.1. Kompozit malzemenin mekanik özellikleri

KOMPOZİT MALZEMENİN MEKANİK ÖZELLİKLERİ	
Fiber Yönündeki Çekme Mukavemeti X_t [MPa]	893,29
Fibere Dik Yöndeki Çekme Mukavemeti Y_t [MPa]	83,75
Fiber Yönündeki Basma Mukavemeti X_c [MPa]	449,8
Fibere Dik Yöndeki Basma Mukavemeti Y_c [MPa]	109,8
Fiber Yönündeki Elastisite Modülü E_1 [MPa]	35944
Fibere Dik Yöndeki Elastisite Modülü E_2 [MPa]	11242
Kayma Mukavemeti S_{12} [MPa]	68,79
Kayma Modülü G_{12} [MPa]	4778,3
Poisson Oranı ν_{12}	0,3

Ayrıca Dokuz Eylül Üniversitesinde malzemenin eğilme emniyet gerilmesini ve eğilme elastisite modülünü bulabilmek için aşağıdaki ebatlarda numuneler kesilmiştir ve eğilme cihazında kuvvetler uygulanmıştır.

Uzunluk = 100 mm

Genişlik = 101,6 mm

Kalınlık = 1,6 mm

2 mm/dak ilerlemeye sahip olan eğilme cihazına numune bağlanıp aşağıdaki kuvvetler için numunenin koptuğu gözlenmiştir.

Bu kopma kuvvet değerleri $F_1 = 2040$ N ve $F_2 = 1991$ N'dur.

$$\sigma_{\text{max-eğilme}} = M.y / I = (3 \times P \times L) / (2 \times b \times h^2) \text{ olduğundan;} \quad (4.4)$$

$$\sigma_{\text{max-eğilme1}} = (3 \times 2040 \times 100) / (2 \times 101,6 \times 1,6^2) = 1176 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\text{max-eğilme2}} = (3 \times 1991 \times 100) / (2 \times 101,6 \times 1,6^2) = 1148 \text{ MPa}$$

$$\text{Dolayısıyla } \sigma_{\text{max-ortalama}} = \sigma_{\text{eğilme-emniyet}} = (\sigma_{\text{max-eğilme1}} + \sigma_{\text{max-eğilme2}}) / 2$$

$$\sigma_{\text{eğilme-emniyet}} = (1176 + 1148) / 2 = 1162 \text{ MPa olacaktır.}$$

Aynı numuneye uygulanan (P) kuvvetlerine göre herhangi bir andaki sehimleri (δ) şu şekildedir:

$P_1 = 1491 \text{ N}$ 'da $\delta_1 = 15,743 \text{ mm}$;

$P_2 = 1962 \text{ N}$ 'da $\delta_2 = 31,2 \text{ mm}$ dir.

Yay katsayısı için $P = k \cdot \delta$ olduğundan; (4.5)
 $k = P / \delta$ yazılabilir.

Yine yapılan sehim (δ) için $\delta = P \times L^3 / (48 \times E \times I)$ yazılabilir. (4.6)

Atalet Momenti (I) için $I = (b \times h^3) \times n / 12$ olduğundan; (4.7)

(4.6) ve (4.7) denklemleri kullanılarak,

$$P / \delta = (48 \times E \times I) / L^3 \quad (4.8)$$

$$P_1 / \delta_1 = 1491 / 15,743 = [48 \times E_1 \times (101,6 \times 1,6^3 / 12)] / 100^3$$

$$E \text{ eğilme}_1 = 56895 \text{ MPa}$$

$$P_2 / \delta_2 = 1962 / 31,2 = [48 \times E_2 \times (101,6 \times 1,6^3 / 12)] / 100^3$$

$$E \text{ eğilme}_2 = 37777 \text{ MPa}$$

$$E \text{ eğilme-ortalama} = [(E \text{ eğilme}_1) + (E \text{ eğilme}_2)] / 2$$

$$E \text{ eğilme-ortalama} = [(56895) + (37777)] / 2 = 47336 \text{ MPa bulunur.}$$

4.2. Prototip Kompozit Yaprak Yay Boyutlandırılması ve Yük Altında Çökme, Gerilme, Yay Katsayılarının Tespiti İle Modellenmesi

4.2.1. Prototip kompozit yaprak yay boyutlandırılması ve yük altında çökme, gerilme, yay katsayılarının tespiti

Kompozit malzeme için mekanik özelliklerin tespitinden sonra, belirli bir yükü taşıyabilecek yaprak yay boyutlandırması yapılacak olursa;

Örneğin 1000 N 'luk yük taşıyabilecek yaprak yay için;

Bu yaprak yayın bir tanesinin kesitini

Uzunluk = $L = 60 \text{ cm} = 600 \text{ mm}$

Genişlik = $b = 10 \text{ cm} = 100 \text{ mm}$

Kat kalınlığı = $h = 1,6 \text{ mm}$ olarak;

Ve bütün yayların aynı kesitte, $\sigma_{\text{eğilme-emniyet}} = 1162 \text{ MPa}$, $E_{\text{eğilme}} = 47336 \text{ MPa}$ olduğu göz önünde bulundurularak bu yaprak yayın 1000 N'luk yükü emniyetle taşıyabilmesi için (n) yaprak sayısının kaç katlı olacağı bulunmalıdır.

n = yaprak sayısı olmak üzere;

$$n = (3 \times P \times L) / (2 \times \sigma_{\text{emniyet}} \times b \times h^2) \quad (4.9)$$

$$n = (3 \times 1000 \times 600) / (2 \times 1162 \times 100 \times 1,6^2)$$

$n = 3,02$ katlı yaprak yay yapılırsa 1000 N' luk yükün emniyetle taşınabileceği bulunmuş olunur.

Dolayısıyla bu $P = 1000 \text{ N}$ 'luk yükü emniyetle taşıyabilecek $n = 4$ katlı yaprak yay yapıldığında yük emniyetle taşınabilecektir.

1000 N'luk yük uygulandığında oluşacak maksimum gerilme için;

$\sigma_{\text{max}} = (3 \times P \times L) / (2 \times n \times b \times h^2)$; (4.4) formülü yerine konularak,

$$\sigma_{\text{max}} = (3 \times 1000 \times 600) / (2 \times 4 \times 100 \times 1,6^2)$$

$\sigma_{\text{max}} = 878 \text{ MPa}$ bulunur.

Buradan da 1000 N'luk yük ($n=4$) katlı yaprak yay uygulandığında oluşacak gerilmenin eğilme emniyet gerilmesinin altında olduğu görülmüş olacaktır.

$$\sigma_{\text{max}} = 878 \text{ MPa} < \sigma_{\text{eğilme-emniyet}} = 1162 \text{ MPa}$$

Yine yapılabilecek 4 katlı yaprak yayın 1000 N altında çökme miktarını analitik formüllerle hesaplarsak;

(4.6) ve (4.7) formülünde yerine konulunca görülecektir ki;

$$\delta = [(1000 \times 600^3)] / [(48 \times 47,3.10^3) \times [(100 \times 1,7^3 \times 4)/12]]$$

$\delta = 580,9$ mm olacaktır ki;

$\delta = 580,9$ mm > Instron çekme cihazının aparat stroku (üç nokta eğme deneyi için) olduğundan, stroğu ve istenilen maksimum çökme miktarını da düşünerek yay dizaynı yapılmalıdır.

4 yapraklı yayın 1000 N'luk yük altında gerilme değerleri emniyetli çıkmıştı. Ancak çökme miktarları göz önünde bulundurulursa örneğin; 1000 N'luk yüklemede 100 mm lik çökme yapması istenseydi 4.6 formülü uygulanarak;

$$\delta = P \times L^3 / (48 \times E \times I)$$

$$100 = [(1000 \times 600^3)] / [(48 \times 47,3.10^3) \times [(100 \times 1,7^3 \times n)/12]]$$

$n = 23,23$ yani 24 tabakalı olması gerekirdi. (10 cm lik çökme için)

ve toplam kalınlık = $24 \times 1,7 = 40,8$ mm olurdu.

Yine bulunan bu sonuçlar Cihaz Stroku ve deplasman açısından uygun olmaması, 1000 N yüklemede 4 yaprak için 580,9 mm çökme ve 1000 N yüklemede 100 mm sehim için 24 yapraklı üretimin zorluğu nedeniyle prototip bir yaprak yay yapma yoluna gidilmiştir.

Bu çalışmada prototip yaprak yay için cihaz stroğunu göz önüne alarak, 6 yapraklı ve 70 mm sehim verildiği düşünerek bir yaprak yay boyutlandırılmıştır ve bu yaprak yay için hesaplamalar yapılmıştır. Öncelikle bu sehim verecek yükü analitik olarak hesaplarsak;

Tek kat yaprak boyutları

Yaprak genişliği = $b = 10$ cm = 100 mm

Yaprak uzunluğu = $L = 600$ mm

Tek yaprak kat kalınlığı = $h = 1,7$ mm alındığında;

Dolayısıyla bu boyutlardaki 6 katlı yaprak yaya 70 mm sehim verecek yük;

(4.6) formülünden,

$$70 = P \times 600^3 / [(48 \times 47,3 \times 10^3) \times [(100 \times 1,7^3 \times 6)/12]]$$

$P = 180,74 \text{ N}$ çıkacaktır.

Deneyssel 6 yapraklı yay için 180,74 N'luk yükleme yapıldığında $\delta = 78,96 \text{ mm}$ 'lik bir çökme olduğu görülmüştür. Bu çökmenin meydana getirdiği gerilme değeri ise

P	$\epsilon(10^{-6})$
117	2045
297,74	5803

(3.3) denkleminde,

$$\sigma = 35,9 \times 10^{-3} \times (5803 - 2045)$$

$\sigma_{\text{deneyssel}} = 134,91 \text{ MPa}$ olarak bulunur.

Yapılacak deneyssel çalışmada en alt tabakaya fiber takviye yönünde strain gauge yapıştırılmış ve 9,81 N'luk (1kg) yük altında kompozit tabakanın alt yüzeyinde oluşan birim şekil değişimleri indikatör yardımıyla ölçülmüştür.

Kompozit tabakalı yapraklar 1'den 6'ya kadar artırılarak her bir durum için gerilmeler ve çökme miktarı deneyssel ve teorik olarak hesaplanmıştır. Deneyssel çökme miktarı hassas kumpas yardımıyla ölçülmüştür. Böylece yaprak sayısına bağlı olarak direngenlik yani yay katsayıları bulunmuştur. Ayrıca Hooke Kanunu uygulanarak $\sigma = E \times \epsilon$ ile gerilmeler deneyssel olarak hesaplanmıştır.

$$\sigma = M.y / (I \times n) \quad (4.10)$$

$$\sigma = [(P \times L / 4) (h / 2)] / [(b \times h^3) / 12] \times n$$

formülü ile tabaka sayısına bağlı olarak gerilme değerleri teorik olarak hesaplanmıştır.

Artan yaprak sayısına bağılı olarak, sabit 9,81 N'luk yük uygulandığında n=1'den n=6 yaprak sayısına kadar her bir yükleme durumu için aşağıdaki sonuçlar bulunmuştur.

1. Tek yaprak için (9,81 N'luk yük uygulandığında);

Oluşan $\delta(\text{çökme})_{\text{deneysel}} = 25,5$ mm dir.

Oluşacak $\delta(\text{çökme})_{\text{teorik}}$ (4.6) denklemi kullanılarak,

$$\delta_{\text{teorik}} = 9,81 \times 600^3 / [(48 \times 35,9 \times 10^3) \times [(100 \times 1,7^3 \times 1)/12]]$$

$$\delta_{\text{teorik}} = 30,03 \text{ mm}$$

P(Newton)	$E(10^{-6})$
0	1569
9,81	2384

Yay katsayısı (k); (4.5) denklemi kullanılarak,

$$k_1 = 9,81/25,5 = 0,384 \text{ N/mm}$$

$\sigma_{\text{(deneysel)}}$ (3.3) kullanılarak yerine konulursa,

$$\sigma_{\text{(deneysel)}} = 35,9 \times 10^3 \times (2384-1569) \times 10^{-6}$$

$$\sigma_{\text{(deneysel)}} = 29,25 \text{ MPa}$$

$\sigma_{\text{(teorik)}}$ (4.10) formülü yerine konularak,

$$\sigma_{\text{(teorik)}} = [(9,81 \times 600/4) (0,85)] / [(100 \times 1,7^3)/12]$$

$$\sigma_{\text{(teorik)}} = 30,5 \text{ MPa}$$

2. İki yapraklı için (9,81 N'luk yük uygulandığında);

Oluşan $\delta(\text{çökme})_{\text{deneysel}} = 10,98$ mm dir.

Oluşacak $\delta(\text{çökme})_{\text{teorik}}$ (4.6) denklemi kullanılarak,

$$\delta_{\text{teorik}} = 9,81 \times 600^3 / [(48 \times 35,9 \times 10^3) \times [(100 \times 1,7^3 \times 2)/12]]$$

$$\delta_{\text{teorik}} = 15,01 \text{ mm}$$

P(Newton)	€(10 ⁻⁶)
0	1568
9,81	1978

Yay katsayısı (k); (4.5) denklemi kullanılarak,

$$k_2 = 9,81/10,98 = 0,893 \text{ N/mm}$$

$\sigma_{\text{(deneysel)}}$ (3.3) kullanılarak yerine konulursa,

$$\sigma_{\text{(deneysel)}} = 35,9 \times 10^3 \times (1978-1568) \times 10^{-6}$$

$$\sigma_{\text{(deneysel)}} = 14,71 \text{ MPa}$$

$\sigma_{\text{(teorik)}}$ (4.10) formülü yerine konularak,

$$\sigma_{\text{(teorik)}} = [(9,81 \times 600/4) (0,85)] / [(100 \times 1,7^3)/12] \times 2$$

$$\sigma_{\text{(teorik)}} = 15,27 \text{ MPa}$$

3. Üç yapraklı için (9,81 N'luk yük uygulandığında);

Oluşan $\delta(\text{çökme})_{\text{deneysel}} = 6,88 \text{ mm}$ dir

Oluşacak $\delta(\text{çökme})_{\text{teorik}}$ (4.6) denklemi kullanılarak,

$$\delta_{\text{teorik}} = 9,81 \times 600^3 / [(48 \times 35,9 \times 10^3) \times [(100 \times 1,7^3 \times 3)/12]]$$

$$\delta_{\text{teorik}} = 10,01 \text{ mm}$$

P(Newton)	€(10 ⁻⁶)
0	1460
9,81	1693

Yay katsayısı (k); (4.5) denklemi kullanılarak,

$$k_3 = 9,81/6,88 = 1,42 \text{ N/mm}$$

$\sigma_{\text{(deneysel)}}$ (3.3) kullanılarak yerine konulursa,

$$\sigma_{\text{(deneysel)}} = 35,9 \times 10^3 \times (1693-1460) \times 10^{-6}$$

$$\sigma_{\text{(deneysel)}} = 8,36 \text{ MPa}$$

$\sigma_{\text{(teorik)}}$ (4.10) formülü yerine konularak,

$$\sigma_{\text{(teorik)}} = [(9,81 \times 600/4) (0,85)] / [(100 \times 1,7^3)/12] \times 3$$

$$\sigma_{\text{(teorik)}} = 10,183 \text{ MPa}$$

4. Dört yapraklı için (9,81 N'luk yük uygulandığında);

Oluşan $\delta(\text{çökme})_{\text{deneysel}} = 5,75 \text{ mm}$ dir.

Oluşacak $\delta(\text{çökme})_{\text{teorik}}$ (4.6) denklemi kullanılarak,

$$\delta_{\text{teorik}} = 9,81 \times 600^3 / [(48 \times 35,9 \times 10^3) \times [(100 \times 1,7^3 \times 4)/12]]$$

$$\delta_{\text{teorik}} = 7,50 \text{ mm}$$

P(Newton)	$\epsilon(10^{-6})$
0	1464
9,81	1621

Yay katsayısı (k); (4.5) denklemi kullanılarak,

$$k_4 = 9,81/5,75 = 1,70 \text{ N/mm}$$

$\sigma_{\text{(deneysel)}}$ (3.3) kullanılarak yerine konulursa,

$$\sigma_{\text{(deneysel)}} = 35,9 \times 10^3 \times (1621-1464) \times 10^{-6}$$

$$\sigma_{\text{(deneysel)}} = 5,63 \text{ MPa},$$

$\sigma_{\text{(teorik)}}$ (4.10) formülü yerine konularak,

$$\sigma_{\text{(teorik)}} = [(9,81 \times 600/4) (0,85)] / [(100 \times 1,7^3)/12] \times 4$$

$$\sigma_{\text{(teorik)}} = 7,62 \text{ MPa}$$

5. Beş yapraklı için (9,81 N'luk yük uygulandığında);

Oluşan $\delta(\text{çökme})_{\text{deneysel}} = 4,76 \text{ mm}$ dir.

Oluşacak $\delta(\text{çökme})_{\text{teorik}}$ (4.6) denklemi kullanılarak;

$$\delta_{\text{teorik}} = 9,81 \times 600^3 / [(48 \times 35,9 \times 10^3) \times [(100 \times 1,7^3 \times 5)/12]]$$

$$\delta_{\text{teorik}} = 6,00 \text{ mm}$$

P(Newton)	€(10 ⁻⁶)
0	1469
9,81	1590

Yay katsayısı (k); (4.5) denklemi kullanılarak,

$$k_5 = 9,81/4,76 = 2,06 \text{ N/mm}$$

$\sigma_{\text{(deneysel)}}$ (3.3) kullanılarak yerine konulursa,

$$\sigma_{\text{(deneysel)}} = 35,9 \times 10^3 \times (1590-1469) \times 10^{-6}$$

$$\sigma_{\text{(deneysel)}} = 4,34 \text{ MPa}$$

$\sigma_{\text{(teorik)}}$ (4.10) formülü yerine konularak,

$$\sigma_{\text{(teorik)}} = [(9,81 \times 600/4) (0,85)] / [(100 \times 1,7^3)/12] \times 5$$

$$\sigma_{\text{(teorik)}} = 6,1 \text{ MPa}$$

6. Altı yapraklı için (9,81 N'luk yük uygulandığında);

Oluşan $\delta(\text{çökme})_{\text{deneysel}} = 4,16 \text{ mm}$ dir.

Oluşacak $\delta(\text{çökme})_{\text{teorik}}$ (4.6) denklemi kullanılarak,

$$\delta_{\text{teorik}} = 9,81 \times 600^3 / [(48 \times 35,9 \times 10^3) \times [(100 \times 1,7^3 \times 6)/12]]$$

$$\delta_{\text{teorik}} = 5,00 \text{ mm}$$

P(Newton)	€(10 ⁻⁶)
0	1473
9,81	1575

Yay katsayısı (k); (4.5) denklemi kullanılarak,

$$k_6 = 9,81/4,16 = 2,35 \text{ N/mm}$$

$\sigma_{\text{(deneysel)}}$ (3.3) kullanılarak yerine konulursa,

$$\sigma_{\text{(deneysel)}} = 35,9 \times 10^3 \times (1575-1473) \times 10^{-6}$$

$$\sigma_{\text{(deneysel)}} = 3,66 \text{ MPa}$$

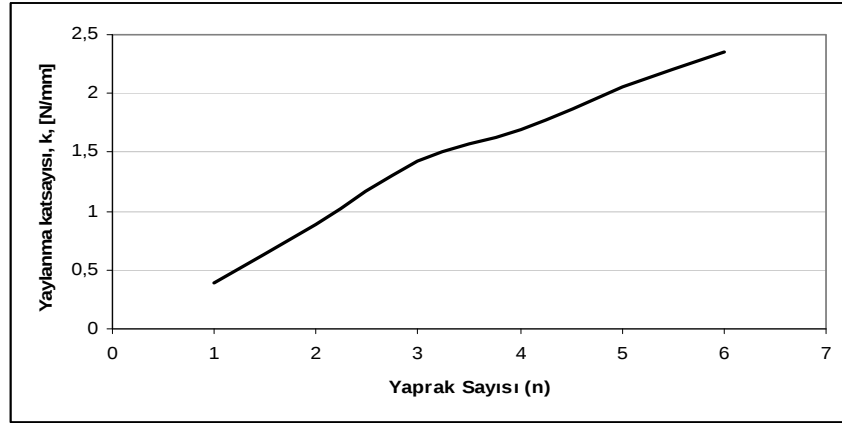
$\sigma_{\text{(teorik)}}$ (4.10) formülü yerine konularak,

$$\sigma_{\text{(teorik)}} = [(9,81 \times 600 / 4) (0,85)] / [(100 \times 1,7^3) / 12] \times 6$$

$$\sigma_{\text{(teorik)}} = 5,08 \text{ MPa}$$

değerleri elde edilecektir.

Dolayısıyla Şekil 4.1.'de sabit $P=9,81 \text{ N}$ 'luk yük altında yaprak sayısı 1'den 6'ya kadar arttırıldığında, yaprak sayısına bağlı olarak kompozit malzemenin yay katsayısını gösteren değişim grafiği verilmiştir.

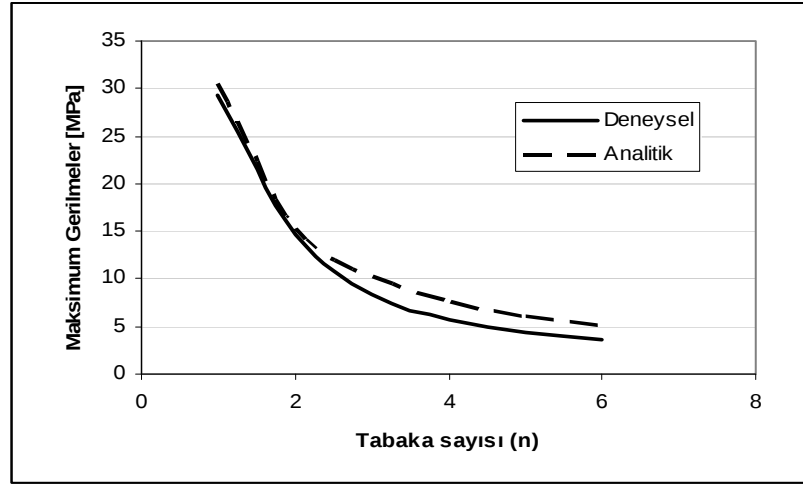


Şekil 4.1. Sabit ($P=9,81$) N'luk yük altında artan yaprak sayısına bağlı olarak yay katsayısını gösteren değişim grafiği

Elde edilen sonuçlara göre görülüyor ki;

Yaprak yayın yaprak sayısı 1'den 6'ya doğru arttıkça üzerine uygulanan sabit $P = 9,81 \text{ N}$ 'luk yük altındaki deneysel çökme ve teorik çökme değeri gittikçe azalmış, dolayısıyla yay katsayısı büyümüş ve deneysel ile teorik çökme değerlerinin yakın olduğu görülmüştür.

Yaprak sayısı 1'den 6'ya kadar arttırıldığında, $P=9,81 \text{ N}$ 'luk sabit yük altındaki maksimum gerilmelerin elde edilen sonuçlara göre analitik ve deneysel değişim grafiği ise Şekil 4.2.'te verilmektedir.



Şekil 4.2. (9,81 N)' luk yük altında tabaka sayısına bağlı olarak maksimum gerilmelerin analitik ve deneysel değişim grafiği

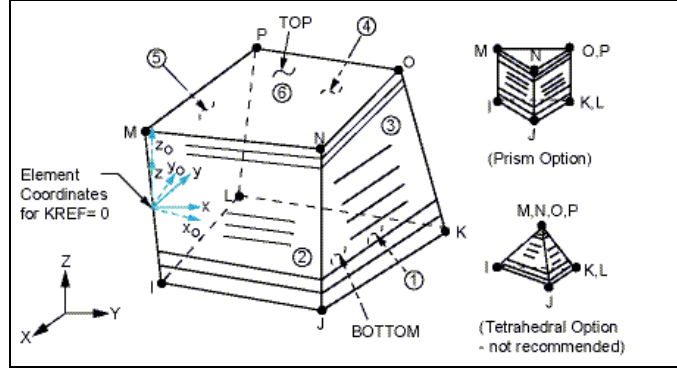
Yine sonuçlara bakıldığında gerilme değerlerinin yani deneysel ve teorik sonuçların birbirine yakın olduğu ve sabit $P = 9,81 \text{ N}$ 'luk yük altında, artan yaprak sayısı ile teorik ve deneysel gerilmelerin azaldığı gözlenmiştir.

4.2.2. Prototip kompozit yaprak yayın modellenmesi

6 yapraklı olarak tasarlanan bu yaprak yay, üç boyutlu sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak, aşağıda anlatıldığı şekilde modellenmiştir. ANSYS programında yaprak yayın statik analizi yapılmıştır.

Sonlu elemanlar modelinde SOLID 46 elemanı kullanılmıştır (Şekil 4.3.). Bu eleman kompozit modellemeye kullanılmaktadır. Modelleme esnasında yapraklar arasında düşük elastisite modülüne sahip ihmal edilebilir boyutta tabakacıklar yerleştirilmiş ve böylece kompozit yapraklar arasında hareket serbestliği sağlanmıştır.

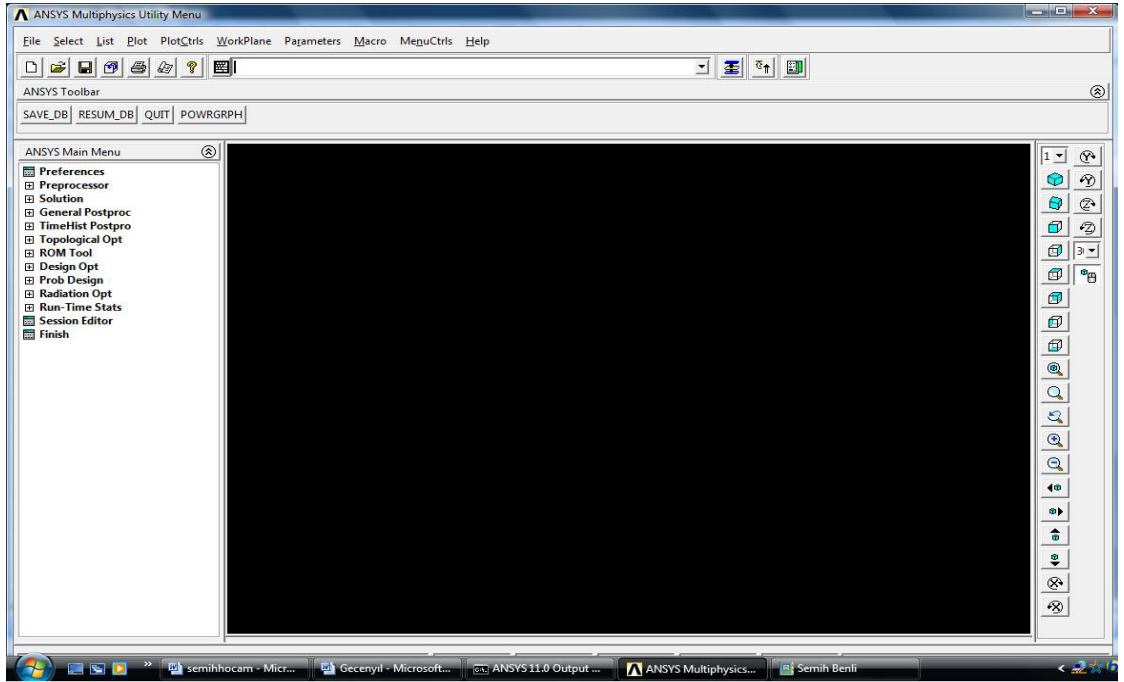
Modellenen her bir kompozit yaprak 8 tabakacıktan oluşturulmuştur. Takviye açısı 0^0 olarak seçilmiştir. 600 x 100 mm boyutlarında modellenen yaprak yayın yan alt çizgilere sınır koşulları uygulanmıştır.



Şekil 4.3. Solid 46 elemanı

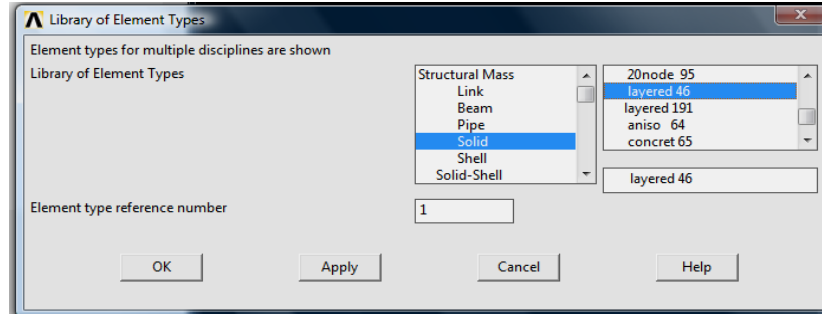
Bu modellemede yapılan işlem adımları şu şekilde sıralanabilir.

a. ANSYS programı açılır.

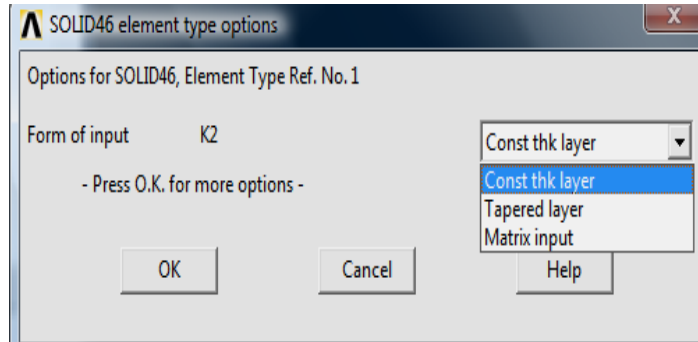


b. Main Menu > Preferences' den Structural ve thermal seçilir ve OK'e basılır.

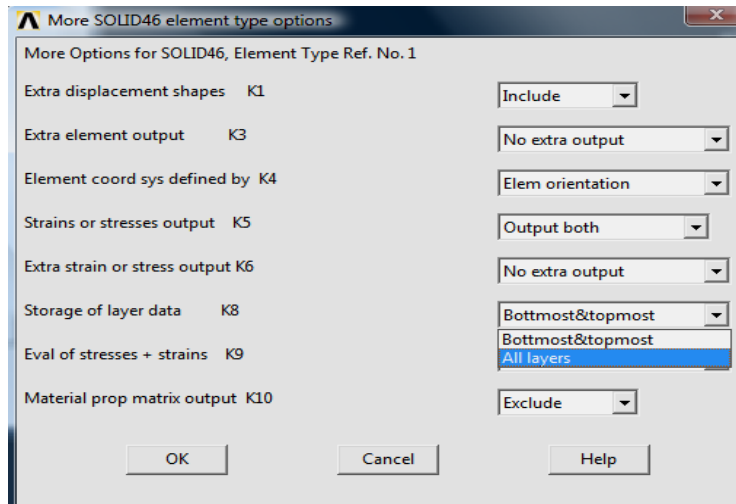
c. Main Menu > Preprocessor >Element Type>Add/Edit/Delete seçilir. Element Type penceresinden Add' e tıklanılır. Library of Element Types penceresinden Solid ve Layered 46 seçilip, OK'e basılır.



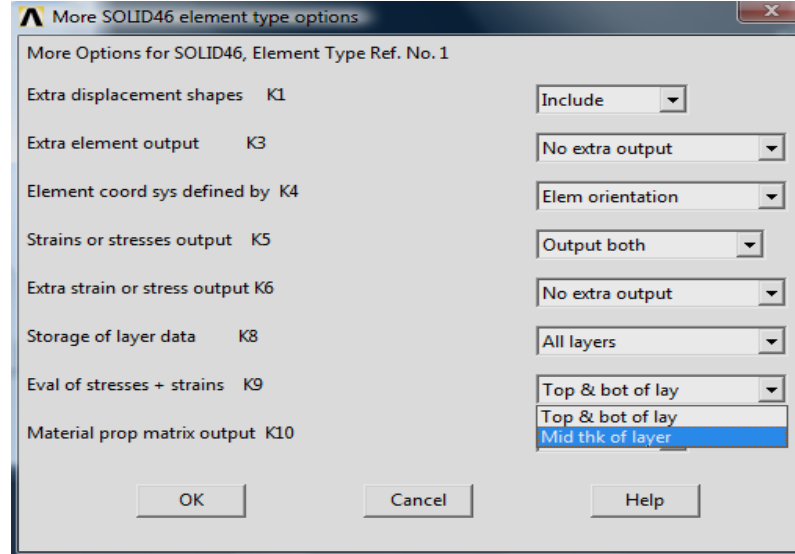
d. Element Type penceresinden options' a girilir. Kalınlık sabit olacağından Form of input K2 Const thk Layer seçilir. OK'e basılır.



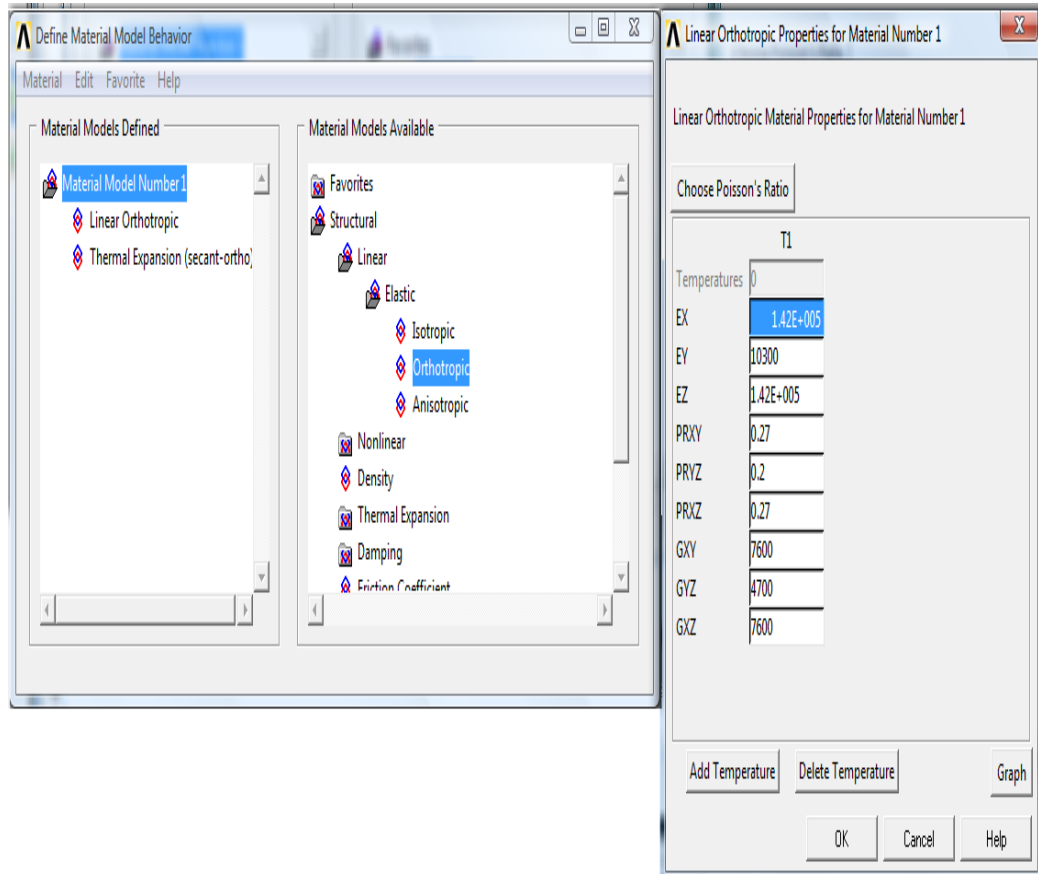
e. More Solid46 element type options penceresinde K5 output both olarak değiştirilir ve K8 All Layers yapılır. Eğer K8' de Bottmost&Topmost seçilirse sadece üst ve alt tabakacılardaki gerilme değerlerini görebiliriz. All Layer'ı seçerek bütün tabakacılardaki gerilme değerleri veri olarak kaydedilecektir.



f. Ayrıca K9 da değiştirilmelidir.



g. Main Menu > Preprocessor > Material Props > Material Models > Structural > Linear > Elastic > Orthotropic' den malzeme özellikleri girilir.



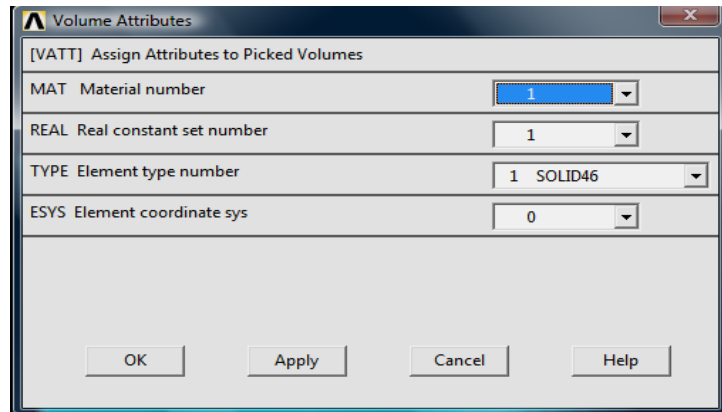
Tabakalı kompozitin kalınlığı, tabakacıkların oryantasyon açıları ve malzeme özellikleri belirlenir. Main Menu > Preprocessor > Real Constants > Add > Edit > Delete seçilir. Çıkan pencerede Add tıklanılır. Sonraki pencerede OK' e basılır. Solid46 Elemanı için sabitler girilir. Real Constant Set No. 1 a OK tıklanılır. Real Constant Set Number 1, for Solid46 penceresinde Number of Layers'a 8 girilmiştir.

h. Çıkan pencerede ilk sütun tabakacığın malzeme özelliğini belirler. Tek malzememiz olduğundan hepsine 1 girilir. Eğer birden fazla malzeme olsaydı her bir tabakacığa istenilen malzemenin numarası girilmesi gerekecekti. (Melez (Hybrid) kompozitlerde birden fazla malzeme girilir. Karbon/Cam Epoksi gibi...) İkinci sütuna her bir tabakacığın fiber takviyesinin x eksenine ile yaptığı açı girilir. Tek yönlü kompozit olduğu için her bir tabakacık için 0° açı girilmiştir. Üçüncü sütunda tabakacıkların kalınlığı girilir. 1,7 mm kalınlığında kompozit malzeme 8 tabakacığa sahip olduğuna göre her bir tabakacık 0,2125 mm' dir. Bu işlemlerden sonra son pencerede Close'a tıklanılır.

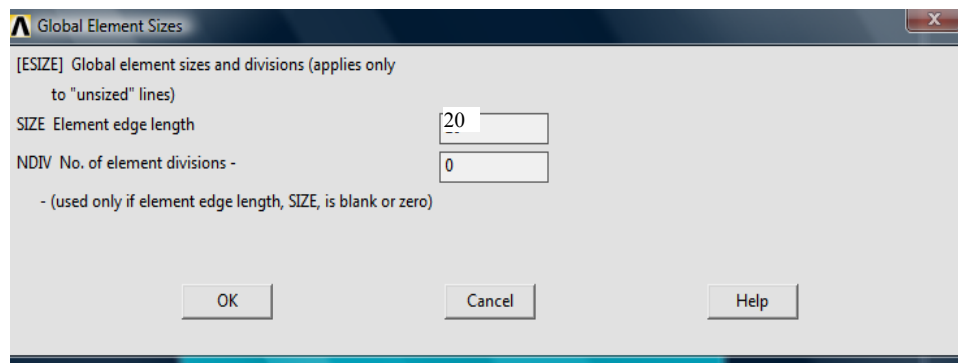
Mat no., X-axis rotation, layer thk	MAT	THETA	TK
Layer number 1	1	0	0.2125
Layer number 2	1	0	0.2125
Layer number 3	1	0	0.2125
Layer number 4	1	0	0.2125
Layer number 5	1	0	0.2125
Layer number 6	1	0	0.2125
Layer number 7	1	0	0.2125
Layer number 8	1	0	0.2125

1. Tabakayı modellemek için Main Menu>Preprocessor>Modelling>Create > Volume >Block>By Dimensions seçilir. Çıkan pencerede modelin koordinatları girilip, OK' e basılır.

i. Oluşturulan bu plak modeline Solid46 elemanın özelliklerini atamak için Main Menu > Preprocessor>Meshing>Mesh Attributes>Picked Volumes seçilir. Modele tıklanılır. Volume Attributes penceresinde OK'ye basılır. Daha sonra çıkan Volume Attributes penceresinde bir malzeme ve bir eleman olduğu için bir değişiklik yapmadan OK' e basılır.



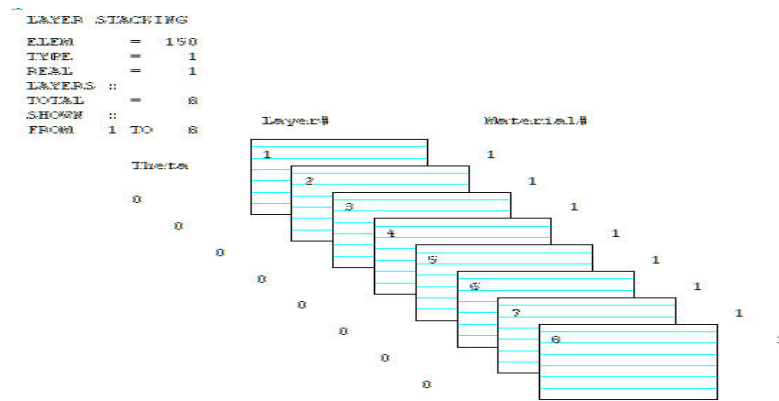
j. Main Menu > Preprocessor>Meshing>Size Cntrl>Manual Size>Global>Size seçilir. Element edge length uzunluğuna 20 girilmiştir.



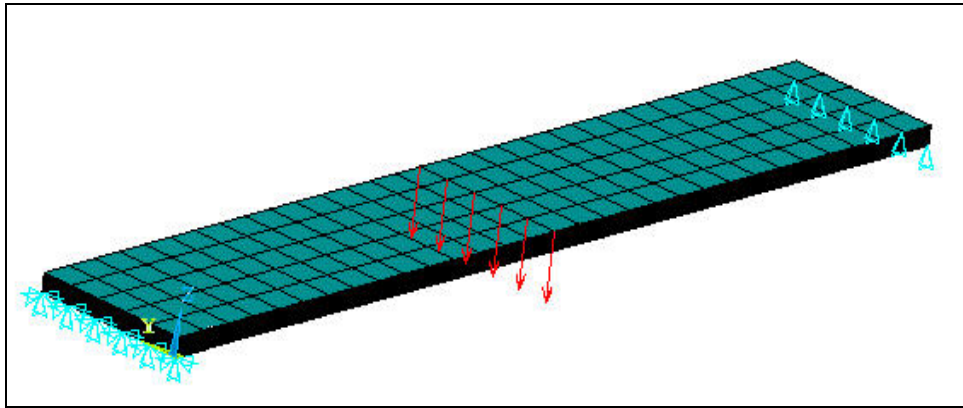
k. Main Menu>Preprocessor>Meshing>Mesh>Volumes> Mapped>4 to 6 sided' e basılır. Model seçilip, Mesh Volumes penceresinde OK'e basılır. Böylece sonlu

elemanlar modeli oluşturulmuş olur. Modele Mesh yapmak için Meshtool da kullanılabilir.

1. Utility Menude Plot>Layered Elements'e basılır. Oluşturduğumuz sonlu elemanlar modelinde bir elamana tıklanılır. Plot Layer Elem Stack penceresinde OK' e basılır. Çıkan pencerede OK'e basılır. Tabakacıkların oryantasyon açıları görülür. Utility Menu'de Plot>Elements seçilip modele tekrar geri dönülür.

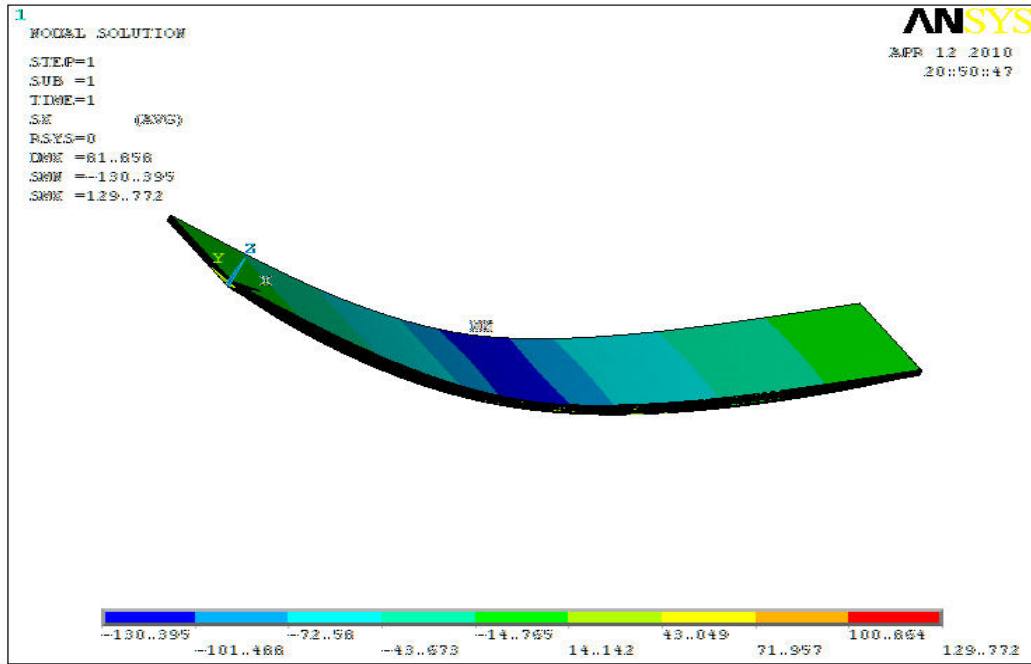


Modellenen her bir kompozit yaprak 8 tabakacıktan oluşturulmuştur. Takviye açısı 0^0 olarak seçilmiştir. 600 x 100 mm boyutlarında modellenen yaprak yayın yan alt çizgilerine Şekil 4.4.'te gösterildiği gibi sınır koşulları uygulanmıştır.

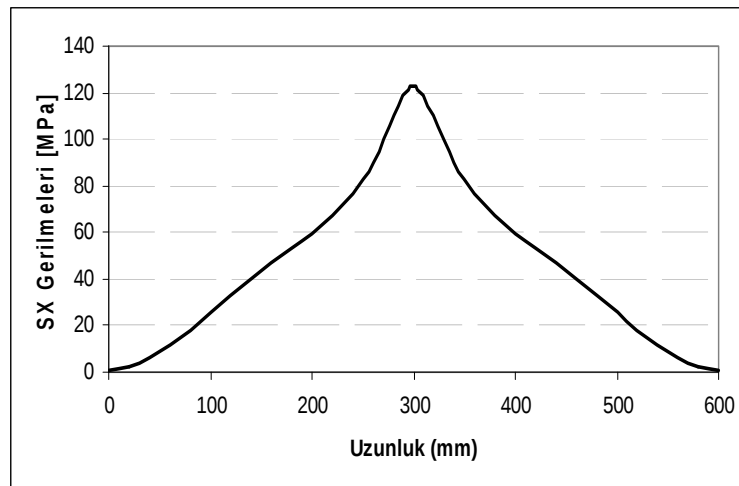


Şekil 4.4. Yükleme ve sınır koşulları

Orta kısma 180 N'luk yük düğüm noktalarına dağıtılarak yüklenmiştir. Bu oluşturulan basit mesnetli üç nokta eğme modeline statik analiz yapılmıştır. Uzunluk boyunca en alt tabakadaki deplasman ve gerilmeler Şekil 4.5. ve Şekil 4.6'daki grafiklerde gösterilmiştir.

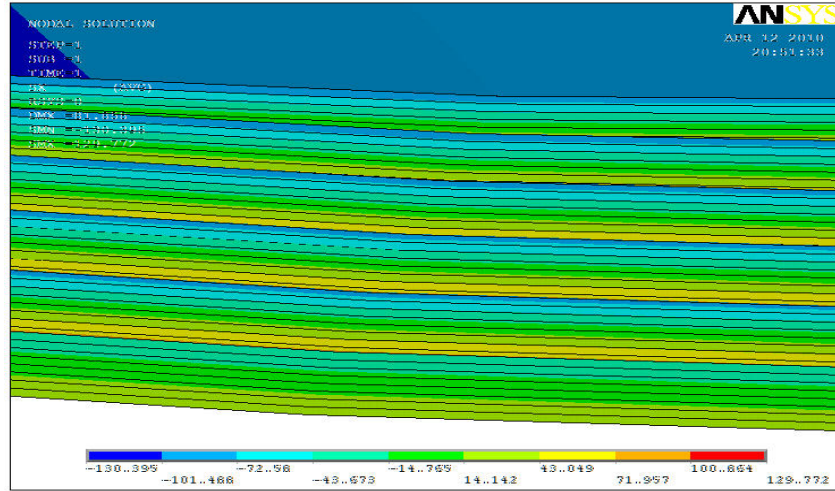


Şekil 4.5. σ_x gerilme dağılımı



Şekil 4.6. Uzunluk boyunca σ_x gerilme dağılımı

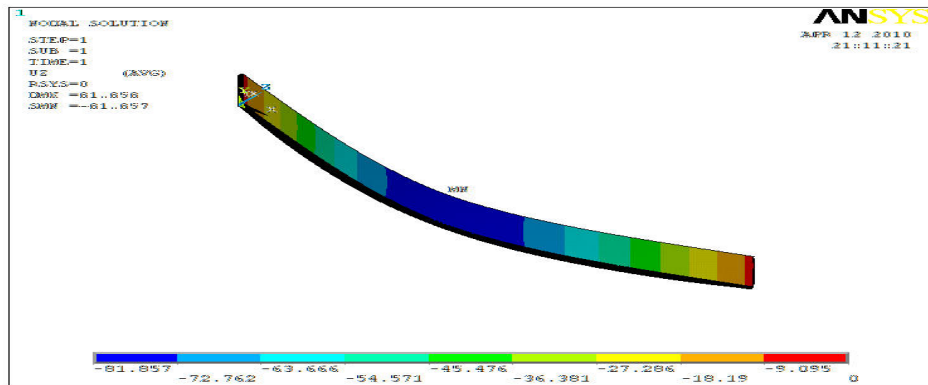
180 N'luk yük altında oluşan maksimum gerilme formüllerle hesaplandığında 134 MPa çıkarken sonlu eleman modeli yapılan analizde 129,7 MPa bulunmuştur. Her bir yaprağın kalınlığı 1,7 mm, genişlik 100 mm, yay uzunluk mesafesi 600 mm olarak model oluşturulmuştur.



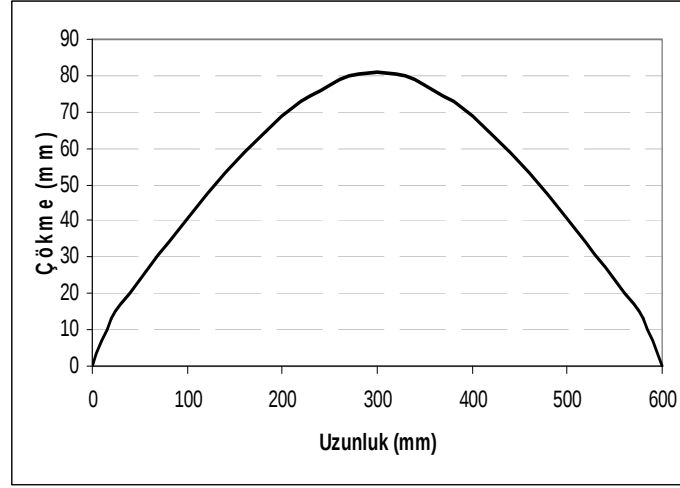
Şekil 4.7. (6 tabakalı) yaprak yayın kalınlık boyunca gerilme dağılımı

Her bir kompozit tabakada kalınlık boyunca meydana gelen gerilme dağılımları birbirine çok yakın çıkmıştır (Şekil 4.7.).

Uzunluk boyunca meydana gelen çökmenin dağılımı grafikleri şekil 4.8. ve Şekil 4.9.'da verilmektedir.



Şekil 4.8. Uzunluk boyunca meydana gelen çökmenin dağılımı



Şekil 4.9. Uzunluk boyunca meydana gelen çökmenin dağılım grafiği

Grafiklerden de görüldüğü gibi çökme ve gerilme dağılımlarına bakıldığında analitik ve deneysel sonuçların, sonlu elemanlar modeli ile çözümü yapılan nümerik analizin sonuçlarının birbiriyle uyduğu görülmüştür.

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Çelik yaprak yaylara alternatif olabilecek kompozit malzemelerin yaprak yay elemanı olarak kullanılabilirliğinin incelendiği bu çalışmada, cam elyaf epoksi malzemenin İzmir İzoreel firmasında standartlara göre kesilmesi neticesinde, numuneye İzmir Dokuz Eylül Üniversitesinde çekme, basma ve üç nokta eğilme deneyleri yapılmıştır. Tek yaprağı 8 tabaka ve 0^0 elyaf yönlenmeli olan bu numunenin mekanik özelliklerine işlem adımlarının tek tek hesaplanmasıyla ulaşılmıştır. Cam elyaf epoksi malzeme için fiber yönündeki ve fibere dik yöndeki çekme mukavemetine, fiber yönündeki ve fibere dik yöndeki basma mukavemetine, fiber yönündeki ve fibere dik yöndeki elastisite modülüne, kayma mukavemetine, kayma modülüne, poisson oranına, eğilme emniyet gerilmesine ve eğilme elastisite modülüne ulaşılmıştır.

Belli bir yük altında çalışabilecek kompozit yaprak yay tasarlaması yapılmıştır.

1000 N'luk yük taşıyabilecek kompozit yaprak yay için

Bu yaprak yayın bir tanesinin kesiti

Uzunluk = $L = 60 \text{ cm} = 600 \text{ mm}$

Genişlik = $b = 10 \text{ cm} = 100 \text{ mm}$

Kat kalınlığı = $h = 1,6 \text{ mm}$ alınarak yükü emniyetli taşıyabilecek yaprak sayısı $n=4$ olarak bulunmuştur. 1000 N'luk yük, $n=4$ katlı yaprak yaya uygulandığında oluşacak gerilmenin eğilme emniyet gerilmesinin altında olduğu yani;

$\sigma_{\max} = 878 \text{ MPa} < \sigma_{\text{eğilme-emniyet}} = 1162 \text{ MPa}$ emniyetli olduğu hesaplamalarla görülmüştür.

Ancak 4 katlı yaprak yayın 1000 N altında çökme miktarı analitik formüllerle hesaplandığında;

$\delta = 580,9 \text{ mm} >$ Deney yapılan Instron çekme cihazının aparat stroku (üç nokta eğme deneyi için) olduğundan, stroğu ve istenilen maksimum çökme miktarını da düşünerek yay dizaynı yapılması gerektiğine karar verilmiştir. Bu sebeple 1000 N'luk yüklemde 100 mm lik çökme yapması istenseydi; tek kat ebatları aynı olan

kompozit yaprak yay için $n = 24$ tabakalı olması gerekeceği bulunmuştur. Bulunan bu sonuçlar cihaz stroku ve deplasman açısından uygun olmaması, 1000 N yüklemde 4 yaprak için 580,9 mm çökmenin aparat stroğunu geçmesi ve 1000 N yüklemde 100 mm sehim için 24 yapraklı üretimin zorluğu nedeniyle prototip bir yaprak yay yapma yoluna gidilmiştir. Bu çalışmada prototip yaprak yay için cihaz stroğunu göz önüne alarak, 6 yapraklı ve 70 mm sehim verdiğimizizi düşünerek bir yaprak yay boyutlandırılmıştır ve bu yaprak yay için hesaplamalar yapılmıştır. Öncelikle bu sehim verecek yük analitik olarak hesaplanmış ve 180,74 N bulunmuştur.

Tek kat yaprak boyutları

Yaprak genişliği = $b = 10 \text{ cm} = 100 \text{ mm}$

Yaprak uzunluğu = $L = 600 \text{ mm}$

Tek yaprak kat kalınlığı = $h = 1,7 \text{ mm}$ alınmıştır.

Deneyssel 6 yapraklı yay için 180,74 N'luk yükleme yapıldığında $\delta = 78,96 \text{ mm}$ 'lik bir çökme olduğu görülmüştür. 180,74 N altında deneyssel 6 yapraklı yayın 78,96 mm lik çökmesinin bizim hedeflediğimiz 70 mm'lik çökme değerine yakın olduğu görülmüştür. Bu çökmenin meydana getirdiği gerilme değeri ise $\sigma_{\text{deneyssel}} = 134,91 \text{ MPa}$ olarak bulunmuştur.

Deneyssel çalışmada en alt tabakaya fiber takviye yönünde strain gauge yapıştırılmış ve 9,81 N'luk (1kg) yük altında kompozit tabakanın alt yüzeyinde oluşan birim şekil değişimleri indikatör yardımıyla ölçülmüştür.

Kompozit tabakalı yapraklar 1'den 6'ya kadar artırılarak her bir durum için gerilmeler ve çökme miktarı deneyssel ve teorik olarak hesaplanmıştır. Deneyssel çökme miktarı hassas kumpas yardımıyla ölçülmüştür. Böylece yaprak sayısına bağlı olarak direngenlik yani yay katsayıları bulunmuştur. Üretilen kompozit yaprak yay için sabit $P=9,81 \text{ N}$ 'luk yük altında yaprak sayısını 1'den 6'ya kadar arttırdığımızda, yaprak sayısına bağlı olarak kompozit malzemenin yay katsayısını gösteren değişim grafiği çizilmiştir. Yaprak yayın yaprak sayısı 1'den 6'ya doğru arttıkça üzerine

uygulanan sabit $P = 9,81 \text{ N}$ 'luk yük altındaki deneysel çökme ve teorik çökme değeri gittikçe azalmış, dolayısıyla yay katsayısı büyümüş ve deneysel ile teorik çökme değerlerinin yakın olduğu görülmüştür.

Yaprak sayısı 1'den 6'ya kadar arttırıldığında, $P=9,81\text{N}$ 'luk sabit yük altındaki maksimum gerilmelerin elde ettiğimiz sonuçlara göre analitik ve deneysel değişim grafiği verilmiştir. Sonuçlara bakıldığında gerilme değerlerinin yani deneysel ve teorik sonuçların birbirine yakın olduğu ve sabit $P = 9,81 \text{ N}$ 'luk yük altında, artan yaprak sayısı ile teorik ve deneysel gerilmelerin azaldığı gözlenmiştir.

6 yapraklı olarak tasarlanan bu yaprak yay, üç boyutlu sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak modellenmiştir. ANSYS programında yaprak yayın statik analizi yapılmıştır. Sonlu elemanlar modelinde SOLID 46 elemanı kullanılmıştır. Modellemede orta kısma 180 N 'luk yük düğüm noktalarına dağıtılarak yüklenmiştir. Bu oluşturulan basit mesnetli üç nokta eğme modeline statik analiz yapılmıştır. Uzunluk boyunca en alt tabakadaki deplasman ve gerilmeler grafiklerde gösterilmiştir. Uzunluk boyunca deplasman ve gerilme dağılımları grafiklerle verilmektedir.

180 N 'luk yük altında oluşan maksimum gerilme formüllerle hesaplandığında 134 MPa çıkarken sonlu eleman modeli yapılan analizde $129,7 \text{ MPa}$ bulunmuştur. Her bir yaprağın kalınlığı $1,7 \text{ mm}$, genişlik 100 mm , yay uzunluk mesafesi 600 mm olarak model oluşturulmuştur.

Her bir kompozit tabakada kalınlık boyunca meydana gelen gerilme dağılımları birbirine çok yakın çıkmıştır

Grafiklerden çökme ve gerilme dağılımlarına bakıldığında analitik ve deneysel sonuçların, sonlu elemanlar modeli ile çözümü yapılan nümerik analizin sonuçlarının birbiriyle uyduğu görülmüştür.

6. KAYNAKLAR

- Arıcasoy, O., 2006. İstanbul Ticaret Odası, Kompozit Sektör Raporu, İstanbul.
- Baltacı, A., Sarıkanat, A., 2006. Değişik Fiber Oryantasyonlarına Sahip Tabakalı Kompozit Kirişlerin Sonlu Elemanlar Yöntemiyle Titreşim Analizi. Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi, 8 (3), 85-97.
- Bayhan, M., 1985. Motorlu Taşıtlar. Akdeniz Üniversitesi Isparta Mühendislik Fakültesi Yayını, 22, 223s. Isparta.
- Çevik, M., 2007. Çapraz-Tabakalı ve Açılı-Tabakalı Kompozit Konsol Kirişlerin Serbest Titreşim Analizi. Fırat Üniversitesi Fen ve Müh. Bil. Dergisi, 19 (2), 139-145.
- Çevik, M., 2008. Tabakalı Kompozit Kirişlerin Düzlem Dışı Ve Düzlem İçi Doğal Frekanslarına Fiber Açısının Etkisi. Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi, 26 (2), 112-123.
- Chiu, H., Hwan, L., Tsai, S., Lee, P., 2007. An Experimental Investigation into The Mechanical Behaviors of Helical Composite Springs. Composite Structures, 77, 331-340.
- Çırak, İ., 2004. Homojen Olmayan Ortotrop Kompozit Malzemelerden Oluşan Dikdörtgen Plakların Enine Kayma Deformasyonunu İçeren Titreşim Analizi. Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 166s, Isparta.
- Demiriz, I., 2003. Eğrisel Yapıya Sahip Kompozit Malzemeler Mekaniğinin Bazı Üç Boyutlu Titreşim Ve Stabilitate Problemlerinin Sey İle İncelenmesi. Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 99s, İstanbul.

- Demirsoy, M., 1983. Yaylar. Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yayını, 17, 98s. İzmir.
- Deniz, E., 2003. Çekme Deney. <http://kisi.deu.edu.tr/emin.deniz/Dersler/Mukavemet>. Erişim Tarihi: 26.03.2010.
- Kılıç, E., 2006. Kompozit Malzemeden Yapılan Yaprak Yayların Analizi. Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 71s, İzmir.
- Kinet, A., 2008. Tabakalı Kompozit Malzemelerin Serbest Titreşim Analizi Araştırma Projesi. D.E.Ü. 31s.
- Mahdi, E., Alkoles, S., Hamouda, S., Sahari, B., Yonus, R., Goudah, G., 2006. Light Composite Elliptic Springs for Vehicle Suspension. Composite Structures, 75, 24-28.
- Morris, C.J., 1986. Composite Integrated Rear Suspension. Composite Structure, 5 (3), 233-242.
- Qureshi, H.AL., 2001. Automobile Leaf Springs from Composite Materials. Journal of Materials Processing Technology, 118, 58-61.
- Rajendran, I., Vijayarangan S., 2001. Optimal Design of a Composite Leaf Spring Using Genetic Algorithms. Computers and Structures, 79, 1121-1129.
- Sancaktar, E., Gratton, M., 1999. Design, Analysis, And Optimization of Composite Leaf Springs for Light Vehicle Applications. Composite Structures, 44, 195-204.
- Shokrieh, M., Rezaei, D., 2003. Analysis And Optimization of A Composite Leaf Spring. Composite Structures, 60, 317-325.
- Şahin, Y., 2000. Kompozit Malzemelere Giriş. Gazi Kitabevi Yayını, 327s. Ankara.

Ucun, İ., Çolakoğlu, M., 2004. Değişik Kesitli Profil Malzemelerdeki Doğal Titreşim Frekanslarının Ölçülmesi Ve Hesaplanması. Teknoloji, 7 (3), 435-444.

Ünal, O., 2007. Kompozit Malzemelerin Özellikleri ve Sınıflandırılması. <http://www.insaatmuhendisligi.net/index.php?=438.0>. Erişim Tarihi: 30.10.2009.

Wikipedia, 2004. İnternet Sitesi. <http://tr.wikipedia.org/wiki/Yay>. Erişim Tarihi: 11.08.2009

Yayse, 2005. İnternet Sitesi. <http://www.yayse.com/index.php?lang=tr&mod=whats>. Erişim Tarihi: 22.09.2009.

Yu, V.J., Kim, H.C., 1988. Double Tapered FRP Beam for Automotive Suspension Leaf Spring. Composite Structures, 9 (4), 279-300.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Mehmet POYRAZ

Doğum Yeri ve Yılı : Isparta, 26.02.1980

Medeni Hali : Bekar

Yabancı Dili : İngilizce



Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)

Lise : 1995 – 1998 Isparta Şehit Ali İhsan Kalmaz Lisesi

Lisans : 1999 – 2005 Isparta Süleyman Demirel Üniversitesi
Makine Mühendisliği

Çalıştığı Kurum/Kurumlar ve Yıl:

2006 - 2008 Isparta Mensucat A.Ş. Tekstil Fabrikası (İşletme Şef Yardımcısı)
2009 - Muğla Üniversitesi Rektörlüğü Araştırma Laboratuvarları Merkezi
(Uzman)