

**OTOMOTİV SEKTÖRÜNDE KULLANILAN
DOĞAL LİF DESTEKLİ KOMPOZİT
MALZEMELERİN MEKANİK
ÖZELLİKLERİNİN SONLU ELEMANLAR
YÖNTEMİ İLE İNCELENMESİ**

YASİN ÖZDEMİR

**MERSİN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ
ANA BİLİM DALI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**MERSİN
EKİM 2009**

**OTOMOTİV SEKTÖRÜNDE KULLANILAN DOĞAL LİF
DESTEKLİ KOMPOZİT MALZEMELERİN MEKANİK
ÖZELLİKLERİNİN SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİ İLE
İNCELENMESİ**

YASİN ÖZDEMİR

**Mersin Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü**

**Makina Mühendisliği
Ana Bilim Dalı**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Tez Danışmanı
Yrd. Doç. Dr. F. BÜLENT YILMAZ**

**MERSİN
EKİM 2009**

ÖZ

Doğal lif destekli kompozit malzemeler sahip oldukları geri dönüşebilir çevre dostu olma, iyi mekanik özelliklere sahip olma gibi avantajlar nedeniyle pek çok sektörde olduğu gibi otomotiv sektöründe de giderek yaygınlaşmakta ve artan oranlarda kullanılmaktadır. Bu tez çalışmasında otomotiv sektörü içinde kullanılan muz lifleriyle desteklenmiş polyester reçineli bir kompozit parçanın değişik lif yerleştirme açılarında ve tabaka dizilimlerinde çekme ve eğme yükleri altındaki davranışları sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Otomotiv sektörü, doğal kompozit, sonlu elemanlar yöntemi

ABSTRACT

Natural fiber reinforced materials becomes widespread due to their advantages like being ecofriendly renewable and having good mechanical properties in many industries such as automotive industry. In this study, a banana-polyester reinforced composite automotive part's tensile and bending strength behavior examined due to the effect of different fiber orientations and laminate location.

Keywords: Automotive industry, natural composites, finite element method

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans tez çalışmamım yürütülmesinde derin bilgi ve tecrübeleriyle her türlü desteği veren danışman hocam Yrd.Doç.F.Bülent YILMAZ'a ve çalışmam süresince desteklerini esirgemeyen arkadaşlarım Ali KARAKUŐ ve Düzgün Deniz KARABULUT'a teşekkürü bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZ	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
İÇİNDEKİLER	iv
ÇİZELGELER DİZİNİ	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ	vii
SİMGE VE KISALTMALAR DİZİNİ	x
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK ARAŞTIRMALARI	2
2.1. OTOMOTİV ENDÜSTRİSİNDE DOĞAL LİF DESTEKLİ KOMPOZİTLER	2
2.2. MATRİS MALZEMESİ OLARAK KULLANILAN PLASTİKLER	6
2.2.1. Termoplastikler	6
2.2.1.1. Polipropilen(PP)	6
2.2.1.2. Poliamid(PA)	6
2.2.1.3. Polietilen(PE)	7
2.2.1.4. Polistiren(PS)	7
2.2.1.5. Poliamid-imid	7
2.2.2. Termosetler	8
2.2.2.1. Polyester	8
2.2.2.2. Epoksiler	9
2.2.2.3. Fenolikler	9
2.2.2.4. Silikonlar	9
2.2.2.5. Vinilester	9
2.3. TAKVIYE ELEMANI OLARAK DOĞAL LİFLER	10
2.4. KOMPOZİT TABAKALARIN MAKROMEKANİK ANALİZ	15
2.4.1. Ortotropik Tabakaların Makromekanik Analizi	15
2.4.1.1. Ortotropik tabakada keyfi doğrultu	17
2.4.1.2. Gerilim bağlantıları	18
2.4.1.3. Uzama bağlantıları	19
2.4.1.4. Gerilme-uzama bağlantıları	20

2.5. KOMPOZİT TABAKALARDA DAYANIM	
KARAKTERİSTİKLERİ	23
2.5.1. Ortotropik Tabakanın Dayanımı	23
2.5.1.1. Maksimum kayma teoremi	24
2.5.1.2. Maksimum uzama teorisi	25
2.5.1.3. Tsai-Hill enerji teorisi	25
3. MATERYAL VE YÖNTEM	28
3.1. MALZEMENİN İMALİ VE MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ	28
3.2. SONLU ELEMANLAR ANALİZİ	33
4. BULGULAR ve TARTIŞMA	38
4.1. SONLU ELEMANLAR ANALİZ SONUÇLARI	38
5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER	60
KAYNAKLAR	62
ÖZGEÇMİŞ	65

ÇİZELGELER DİZİNİ

ÇİZELGE	SAYFA
Çizelge 2.1. Kompozit malzemelerde kullanılan bazı liflerin özellikleri.....	15
Çizelge 3.1. Deneyde kullanılan polyesterin önemli özellikleri.....	29
Çizelge 3.2. Deneylerde elde edilen malzemeye ait özellikler.....	32
Çizelge 3.3. Malzemeye ait mekanik özellikler ve hesaplanma yöntemleri.....	33

ŞEKİLLER DİZİNİ

ŞEKİL	SAYFA
Şekil 2.1. Doğal Liflerin Sınıflandırılması.....	1
Şekil 2.2. Tek yönlü kompozit tabakalarda 1,2 lif koordinat sistemleri ve global x,y koordinatı.....	15
Şekil 2.3. Malzeme esas eksenleri ve esas eksenlerde gerilmeler.....	17
Şekil 3.1. Deneyde kullanılan muz lifleri.....	28
Şekil 3.2. İmal edilen muz lifi destekli kompozit malzeme.....	30
Şekil 3.3. Çekme test numunesi.....	31
Şekil 3.4. Çekme testinin yapıldığı çekme test cihazı.....	32
Şekil 3.5.Tabakaların simetrik ve anti simetrik dizilimler.....	35
Şekil 3.6. Malzemenin sabitlemesi ve çekme yükünün uygulanışı.....	36
Şekil 3.7. Malzemenin sabitlemesi ve eğme yükünün uygulanışı.....	36
Şekil 4.1. Lifler $[0^{\circ}]_4$ yönelim açısıyla yerleştirildiğinde uygulanan çekme yükü ile modelde oluşan gerilmeler ve deformasyonlar.....	38
Şekil 4.2. Lifler $[0^{\circ}/15^{\circ}]_2$ yönelim açısıyla ve tabakalar simetrik yerleştirildiğinde uygulanan çekme yükü ile modelde oluşan gerilmeler ve deformasyonlar.....	39
Şekil 4.3. Lifler $[0^{\circ}/15^{\circ}]_2$ yönelim açısıyla ve tabakalar anti simetrik yerleştirildiğinde uygulanan çekme yükü ile modelde oluşan gerilmeler ve deformasyonlar.....	40
Şekil 4.4. Lifler $[0^{\circ}/30^{\circ}]_2$ yönelim açısıyla ve tabakalar simetrik yerleştirildiğinde uygulanan çekme yükü ile modelde oluşan gerilmeler ve deformasyonlar.....	41
Şekil 4.5. Lifler $[0^{\circ}/30^{\circ}]_2$ yönelim açısıyla ve tabakalar anti simetrik yerleştirildiğinde uygulanan çekme yükü ile modelde oluşan gerilmeler ve deformasyonlar.....	42
Şekil 4.6. Lifler $[0^{\circ}/45^{\circ}]_2$ yönelim açısıyla ve simetrik yerleştirildiğinde uygulanan çekme yükü ile modelde oluşan gerilmeler ve deformasyonlar.....	43

Şekil 4.7. Lifler $[0^\circ/45^\circ]_2$ yönelim açısıyla ve tabakalar anti simetrik yerleştirildiğinde uygulanan çekme yükü ile modelde oluşan gerilmeler ve deformasyonlar.....	44
Şekil 4.8. Lifler $[0^\circ/60^\circ]_2$ yönelim açısıyla ve tabakalar simetrik yerleştirildiğinde uygulanan çekme yükü ile modelde oluşan gerilmeler ve deformasyonlar.....	45
Şekil 4.9. Lifler $[0^\circ/60^\circ]_2$ yönelim açısıyla ve tabakalar anti simetrik yerleştirildiğinde uygulanan çekme yükü ile modelde oluşan gerilmeler ve deformasyonlar.....	46
Şekil 4.10. Lifler $[0^\circ/90^\circ]_2$ yönelim açısıyla ve tabakalar simetrik yerleştirildiğinde uygulanan çekme yükü ile modelde oluşan gerilmeler ve deformasyonlar.....	47
Şekil 4.11. Lifler $[0^\circ/90^\circ]_2$ yönelim açısıyla ve anti simetrik yerleştirildiğinde çekme yükü ile modelde oluşan gerilmeler ve deformasyonlar.....	48
Şekil 4.12. Lifler $[0^\circ]_4$ yönelim açısıyla yerleştirildiğinde uygulanan eğme yükü ile modelde oluşan gerilmeler ve deformasyonlar.....	49
Şekil 4.13. Lifler $[0^\circ/15^\circ]_2$ yönelim açısıyla ve tabakalar simetrik yerleştirildiğinde uygulanan eğme yükü ile modelde oluşan gerilmeler ve deformasyonlar.....	50
Şekil 4.14. Lifler $[0^\circ/15^\circ]_2$ yönelim açısıyla ve tabakalar anti simetrik yerleştirildiğinde uygulanan eğme yükü ile modelde oluşan gerilmeler ve deformasyonlar.....	51
Şekil 4.15. Lifler $[0^\circ/30^\circ]_2$ yönelim açısıyla ve tabakalar simetrik yerleştirildiğinde uygulanan eğme yükü ile modelde oluşan gerilmeler ve deformasyonlar.....	52
Şekil 4.16. Lifler $[0^\circ/30^\circ]_2$ yönelim açısıyla ve tabakalar anti simetrik yerleştirildiğinde uygulanan eğme yükü ile modelde oluşan gerilmeler ve deformasyonlar.....	53
Şekil 4.17. Lifler $[0^\circ/45^\circ]_2$ yönelim açısıyla ve tabakalar simetrik yerleştirildiğinde uygulanan eğme yükü ile modelde oluşan gerilmeler ve deformasyonlar.....	54

Şekil 4.18. Lifler $[0^\circ/45^\circ]_2$ yönelim açısıyla ve tabakalar anti simetrik yerleştirildiğinde uygulanan eğme yükü ile modelde oluşan gerilmeler ve deformasyonlar.....	55
Şekil 4.19. Lifler $[0^\circ/60^\circ]_2$ yönelim açısıyla ve tabakalar simetrik yerleştirildiğinde uygulanan eğme yükü ile modelde oluşan gerilmeler ve deformasyonlar.....	56
Şekil 4.20. Lifler $[0^\circ/60^\circ]_2$ yönelim açısıyla ve tabakalar anti simetrik yerleştirildiğinde uygulanan eğme yükü ile modelde oluşan gerilmeler ve deformasyonlar.....	57
Şekil 4.21. Lifler $[0^\circ/90^\circ]_2$ yönelim açısıyla ve tabakalar simetrik yerleştirildiğinde eğme yükü ile malzemede oluşan gerilmeler ve deformasyonlar.....	58
Şekil 4.22. Lifler $[0^\circ/90^\circ]_2$ yönelim açısıyla ve tabakalar anti simetrik yerleştirildiğinde eğme yükü ile malzemede oluşan gerilmeler ve deformasyonlar.....	59
Şekil 5.1. Uygulanan eğme yükü karşısında tabakalar anti simetrik ve simetrik olarak yerleştirildiğinde gerilme değerlerinin yönelim açısına göre değişimi	60
Şekil 5.2. Uygulanan çekme yükü karşısında tabakalar anti simetrik ve simetrik olarak yerleştirildiğinde gerilme değerlerinin yönelim açısına göre değişimi.....	60

SİMGE VE KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler

- E :Elastisite modülü
 σ_{11} :11 doğrultusunda oluşan çekme mukavemeti
 σ_{12} :12 doğrultusunda oluşan çekme mukavemeti
 σ_{22} :Eğik düzlem üzerinde oluşan çekme mukavemeti
 ε_{xx} :xx eksenindeki uzama miktarı
 ν :Poisons oranı
 θ :Temel gerilme eksenleri arasındaki açı
Q :Kare matris

1. GİRİŞ

Doğal lifler cam lifleriyle kıyaslandığında daha düşük mukavemete sahip olmalarına rağmen düşük yoğunlukları nedeniyle özgül mukavemet değerleri cam liflerine eş hatta bazı doğal liflerde daha yüksektir. Bunun doğal bir sonucu olarak araçlarda ağırlığı azaltarak yakıt tasarrufu sağlamak ve ivmelenme gibi araçların teknik özelliklerini iyileştirmek isteyen otomotiv sektörü doğal lif destekli kompozitlerle ilgilenmeye başlamıştır. Doğal lif destekli kompozitlerin geri dönüşebilir olmaları, ağırlıktan tasarruf sağlayarak karbondioksit salınımını azaltmaları, hammadde olarak doğal liflerin kolay ve bol bulunmaları bu malzemeleri sektör için daha cazip hale getirmiştir.

Doğal lif destekli kompozitlerin otomotiv sektöründe kullanılmaya başlaması 1990'lı yıllarda başlamıştır. İlk olarak araçların iç döşemelerinde, ön panellerinde ve arka döşemelerinde kullanılmaya başlanmıştır. Sonradan dış cephelerinde de kullanılmaya başlanmış ve kullanım oranları her geçen yıl artmıştır.

Doğal liflere ve doğal lif destekli kompozitlere olan ilginin artması, tüm dünyada özellikle bu tip malzemeleri üretebilecek ülkelerde üniversitelerin öncülüğünde araştırmalara konu olmuştur.

Bu çalışmada otomotiv sektöründe kullanılan muz lifleriyle desteklenmiş polyester matrisli bir kompozit malzemede, lifler değişik yönelim açılarıyla ve tabakalar simetrik, anti simetrik düzenlerde yerleştirilmiştir. Malzeme çekmeye ve eğmeye zorlanırken gerilme dağılımındaki değişimler araştırılmıştır. İlk etapta doğal lif destekli kompozit malzemelerle ilgili bilgi verilmiş bu tip malzemelerin mukavemet özellikleri irdelenmiştir. Ardından malzeme imal edilerek malzemenin sonlu elemanlar analizinde kullanılacak mekanik özelliklerinden bazıları tayin edilmiştir. Son olarak ta sonlu elemanlar yöntemi tanıtılarak malzemenin yük altındaki analizi yapılmıştır.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

2.1. OTOMOTİV ENDÜSTRİSİNDE DOĞAL LİF DESTEKLİ KOMPOZİTLER

İmalatçılar ve mühendisler her zaman rekabetçi çizgilerini korumak ve kar oranlarını arttırmak amacıyla, daha iyi ürünler üretebilmek için yeni imalat süreçleri ve yeni malzeme arayışlarında olmuşlardır. Doğayı koruma örgütlerinin yoğun çabaları sonucu gelişen çevre bilincinin etkisiyle, doğa dostu, geri dönüşümü kolay malzemeler ve bu malzemelerden imal edilen ürünler, günümüzde oldukça önem kazanmıştır. Bunun doğal bir sonucu olarak kompozit malzeme üreticileri ve ürünlerinde kompozit malzemeleri kullanan otomotiv endüstrisi, çevre dostu yeni hammadde arayışlarını hızlandırmışlardır. Doğal lifler sahip oldukları düşük yoğunluk, düşük maliyet, geri dönüşebilir olma gibi özellikleri sayesinde bu arayışların ilgi odağı haline gelmiştir [3].

Sektörde doğal lif kullanılmasının ilk ciddi girişimi Daimler-Benz firmasının 1991’de otomotiv parçalarında kullanılan cam liflerini doğal liflerle değiştirme fikrini araştırmasıyla başlamıştır. Mercedes firması E klas araçlarında 1996 yılında hint keneviri destekli kapı panelleri kullanmaya, 2000 yılında ise Daimler- Chrysler firması ürettikleri kamyonlarda doğal lif destekli parçalar kullanmaya başlamıştır. Doğal liflerle desteklenmiş kompozit malzemeler, otomotiv sektöründe günümüzde BMW, Mercedes Benz, Fiat, Ford, Opel, Renault, Volvo, Volkswagen ,Daimler Chrysler, Saab gibi firmalarda ön kapı panelleri, arka kapı panelleri, bagaj döşemesi, evrak rafları, koltuk arkılığı, sunroof sürgüleri, kafa dayanağı gibi parçaların yapımında kullanılmaktadırlar [3, 4, 6, 7, 27].

Otomotiv endüstrisinde kullanılan doğal lif destekli kompozit malzemelerde matris fazında termoset ve termoplastik reçineler, takviye elemanı olarak ta gövde, yaprak, tohum ve meyve liflerinden oluşan bitkisel lifler kullanılmaktadır [3, 4, 6, 7, 14, 32].

George Marsh yayınladığı makalede doğal lif destekli kompozit malzemelerin üstün özelliklerinden bahsetmiş ve bu malzemelerin otomotiv sektörünün gelecekteki ihtiyaçlarını karşılayabilecek özellikte olduğunu belirtmiştir. Marsh makalesinde Avrupa Birliği Araç kullanım ömrü sonu direktiflerine atıfta bulunarak, 2015 yılında Avrupa Birliği'nde üretilecek araçların, %95 oranında geri dönüşebilir olmak zorunda olduğunu vurgulamış ve doğal lif destekli kompozit malzemeler ve bioreçinelerin gelecekte bu amaçla otomotiv sektöründe kullanılacak malzemeler olduğunu savunmuştur [4].

S.V. Joshi, L.T. Drzal, A.K. Mahanty ve S. Arora tarafından yapılan bir çalışmada doğal lif destekli kompozit malzemelerin cam lifli destekli kompozitlere oranla daha çevreci malzemeler oldukları ortaya çıkmıştır. Çalışmanın sonuçları şunlardır:

- Doğal lif üretimi için gerekli olan enerji cam lifli üretimi için gerekli olan enerji miktarından daha azdır.
- Eşit performans sağlayan doğal lif destekli kompozitler, cam lifli destekli kompozitlere oranla daha fazla lif içeriğine sahiptir. Buda daha az polimer kaynaklı kirlilik demektir.
- Doğal lif destekli kompozit malzemeler cam lifli destekli kompozitlere oranla daha hafiftirler. Buda özellikle otomotiv sektöründeki kullanımlarında daha az yakıt tüketimi ve dolayısıyla daha az CO₂ salınımı demektir [5].

Nova Institut tarafından 2006 yılında yayınlanan araştırmada, Almanya otomotiv sektöründe 1999-2005 yılları arasında kullanılan ahşap ve pamuk hariç bitkisel liflerin toplam miktarları ve kullanılan matris malzemeleri verilmiştir. Buna göre kullanılan lif miktarları her yıl artmaktadır. 1999 yılında 9600 ton olan bitkisel lif kullanımı 2005 yılında 19000 tona çıkmıştır. 2005 yılında kullanılan 19000 ton doğal lifin %65'ini keten lifi, %10'unu kenevir lifi, geri kalan kısmını ise hint keneviri, jüt gibi egzotik bitki lifleri oluşturmaktadır. 2005 yılı verilerine göre otomotiv sektöründe kullanılan kompozitlerin %46'sında matris malzemesi olarak

termoplastik reçineler %54'lük bir kısmında ise termoset reçineler kullanılmaktadır [6].

M. Karus ve M. Kaup Avrupa otomotiv endüstrisinde doğal lif kullanımını inceledikleri çalışmalarında, sadece Almanya'da yakın bir gelecekte yıllık doğal lif tüketiminin 20000 tona ulaşacağını ve tüm Avrupa için yıllık tüketimin 2010 yılında 100000 tona ulaşacağını tahmin edildiğini belirtmişlerdir [7].

A.Mugorno yapmış olduğu çalışmada İtalya' da şu an otomotiv iç parçaları için en önemli pazarın bitkisel lif destekli termoplastik kompozitler olduğunu belirtmiştir [8].

J.R.M'd'Almeida mekanik özellikler ve maliyet hesaplarını içeren çalışmasında doğal lif destekli polyester matrisli kompozitlerin cam lifi destekli kompozitlere oranla daha düşük mekanik özelliklere sahipken, özellikle yüksek mekanik özelliklere sahip doğal liflerle imal edilen kompozitlerin imalat maliyeti açısından cam lifi destekli kompozitlere oranla daha ucuz olduklarıdır. Doğal liflerin çevre dostu olmaları gibi avantajları düşünüldüğünde cam liflerine ciddi bir alternatif olarak düşünülebileceklerini belirtmiştir [9].

A.K. Bledzki, O. Faruk ve V.E. Sperber yayınladıkları makalede doğal liflerin çeşitli otomotiv uygulamalarında kullanılmasıyla araç ağırlıklarında %30'a varan bir azalmanın mümkün olduğunu vurgulamışlardır. Bunun getireceği imalat masraflarındaki azalmanın da göz önüne alınmasıyla doğal lif destekli kompozitlerin sektörde kullanılan cam lifi destekli kompozitlere ciddi bir rakip olduğunu belirtmişlerdir [10].

H.A. Al-Qureshi yayınladığı makalesinde Brezilya'da 'Manaca' olarak adlandırılan ve büyük bir kısmı muz lifi destekli kompozit malzemeler kullanılarak yapılan araçların tasarım ve imalat süreçlerinden bahsetmiştir. İmal edilen araçların yapılan test yol testlerinde başarılı sonuçlar aldıklarını belirtmiş bu tip parçaların

imalat süreçlerinin endüstriyel ihtiyaçlara uygun hale getirilmesi gerekliliğini vurgulamıştır [11].

Thomas P.Schlösser yayımladığı makalesinde doğal lif destekli kompozit malzemelerin mekanik özelliklerinden bahsetmiş, ar-ge bölümünde çalıştığı Daimler-Chrysler firmasının ürettiği farklı model araçlarda bu tip malzemelerin oranını adet ve ağırlık cinsinden vermiştir. Buna göre C sınıfı 2000 model Mercedes-Benz marka bir araçta doğal lif destekli kompozit malzemelerden imal edilmiş 22 kg gelen 33 parça kullanılmaktadır. Ayrıca firmanın Güney Afrika 'da doğal lif üretimini destekleme ve doğal lif destekli parça yapımını burada yaygınlaştırma çabalarından bahsetmiştir [12].

P.A. Santos, J.C. Giriolli, J. Amarasekara, G. Moraes yapmış oldukları deneysel çalışmada bir tropik bitki olan caraua dan elde edilen lifler ve ahşap unu kullanılarak hazırlanan termoplastik matrisli kompozit malzemelerin mekanik özelliklerini cam ve mineral destekli kompozitlerle karşılaştırmışlardır. Çalışmada testler bu malzemelerden imal edilen otomotiv parçaları üzerinde yapılmıştır. Caraua lifleriyle hazırlanan parçalar minerallerle hazırlananlara göre, parça ağırlığı ve dayanım değerleri açısından üstün özellikler gösterirken, cam lifleriyle hazırlanan parçalara parça ağırlığı açısından üstün dayanım değerleri açısından ise yakın özellikler göstermişlerdir. Ahşap unuyla hazırlanan parçalar ise estetik görüntülerinin iyi olması dışında düşük dayanım özellikleri göstermişlerdir [13].

Fatih Altınışık yapmış olduğu yüksek lisans tezinde doğal lif destekli kompozit malzemelerin otomobil sanayiinde kullanılmasını araştırmıştır. Tez kapsamında yapılan deneysel çalışmalarda muz ve keten lifleri kullanılarak hazırlanan kompozit malzemelerin çekme mukavemeti ve darbe mukavemet değerleri araştırılmıştır [14].

2.2. MATRİS MALZEMESİ OLARAK KULLANILAN PLASTİKLER

2.2.1. Termoplastikler

Termoplastikler düşük sıcaklıklarda katı halde olan, ısıtıldığında yumuşayan ve sıcaklık arttıkça viskozitesi düşen plastiklerdir. Isı ve basınç uygulandığında plastik özelliklerini kaybetmeyip koruyan plastikler olup, ısı ve basınç uygulanarak defalarca şekillendirilebilen, geri dönüşümleri bu açıdan oldukça kolay olan malzemelerdir. Üstün kırılma tokluğu, raf ömrünün uzun olması, sertleşme prosesi için organik çözücülere gerek olmaması dolayısıyla güvenli bir çalışma ortamı sağlaması, düşük yoğunluğa, düşük ergime sıcaklığına ve yalıtıcı elektriksel özelliklere sahip olmaları başlıca avantajlarıdır. Çeşit olarak sayıca termosetlere göre daha fazla olmalarına rağmen kompozit malzemelerde matris olarak daha az kullanılmaktadır. Bunun en önemli sebebi ise üretimindeki zorlukların yanı sıra yüksek maliyetidir. Oda sıcaklığında düşük işleme kalitesi sağlayarak üretim prosesinde zaman kaybına neden olmaları ve termosetlere oranla hammaddelerinin pahalı olması matris olarak kullanımlarını azaltan faktörlerdir [2, 16, 17].

2.2.1.1. Polipropilen (PP)

Dayanım/ağırlık oranı yüksektir. Enjeksiyon kalıplarında kullanılan en hafif plastiktir. Molekül ağırlığı yüksek olan tipleri yumuşak, düşük olanları ise sert ve kırılmandır. Yüksek molekül ağırlığı olan tiplerinin ergime direnci yüksektir. Düşük molekül ağırlığına sahip olan tipleri ise daha akıcı ve yapısal özellikler açısından daha iyi özelliklere sahiptirler [16, 17].

2.2.1.2. Poliamid (PA)

En önemli PA ailesi naylon olup naylon 6 ve naylon 6.6 olarak iki kalitesi mevcuttur. Naylon elastiklik modülü yüksek ve abrasif aşınmaya karşı dirençlidir. Kendi kendini yağlama özelliğine sahiptir. Dezavantaj olarak ise suyu emmesi gösterilebilir. Bir başka grup Poliamidler ise ticari ismi kevlar olan ve elyaf takviyeli kompozitler açısından önem arz eden Aramidler'dir. Kevlarların önem arz etmesinin

başlıca nedeni dayanımının çelikle aynı olmasına rağmen ağırlıkça çelikten %20 oranında daha düşük olmasıdır [16, 17].

2.2.1.3. Polietilen (PE)

Düşük maliyet, kimyasal kararlılık ve kolay işlem görmesi, düşük nem emme kapasitesine sahip olması, deformasyon direncinin iyi olması, geniş çalışma sıcaklığı, kolay temizlenebilme ve bakteri üretmeme özellikleri sayesinde oldukça cazip bir malzemedir. Alçak yoğunluklu (AYPE) ve yüksek yoğunluklu (YYPE) olmak üzere iki türü vardır. AYPE, YYPE 'ye göre molekül yapısında çok dallanma olmasından dolayı daha düşük kristalliğe sahiptir bu nedenle de sertliği ve dayanıklılığı daha düşük olup kimyasal dayanımı sınırlıdır. AYPE filmler parlak ve ucuz olup işlenmesi kolaydır. Yiyecek paketlenme, inşaat örtüsü, çöp ve gübre torbaları yapımında kullanılmaktadırlar. YYPE ise $-80\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'de bile yüksek darbe dayanımına sahip, sterilize edilebilen ve yük olmadığına $80\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'ye kadar rahatlıkla kullanılabilen bir malzemedir. Deterjan şişeleri ve motor yağı kapları vb. gibi şişe ve boru yapımında kullanılmaktadır [16, 17].

2.2.1.4. Polistiren (PS)

Enjeksiyonla kalıpla için ideal bir malzemedir. Ancak levha, profil yada yassı film üretiminde kullanıldığında ekstrüzyon yöntemi kullanılır. Dielektrik dayanımının yüksek olması nedeniyle elektronik sektöründe yaygın bir biçimde kullanılmaktadır [16,17].

2.2.1.5. Poliamid-İmid

Yüksek sıcaklıklarda yük altında çalışabilme özelliği dikkat çekici bir plastiktir. $260\text{ }^{\circ}\text{C}$ sıcaklıkta bile yük altında sürekli olarak kullanılabilir. Genleşme katsayısının düşük olması da metallerle birlikte kullanımını kolaylaştırmaktadır. Enjeksiyonla ve ekstrüzyonla şekillendirilebilir [16, 17].

2.2.2. Termosetler

Bu tip plastikler tekrar ısıtılarak yumuşatılamazlar. Termoset polimerlerin polimerizasyon süreci termoplastiklerden farklı olarak geri dönüşüme el vermeyen bir süreçtir. Dayanımları termoplastiklere göre daha yüksektir. Suyu emebilir fakat sürtünme dirençleri daha iyidir. Epoksi ve polyesterler elyaf takviyeli kompozitlerde yaygın olarak kullanılan matris malzemeleridir. Dezantajları ise, yüksek sıcaklıklarda nispeten düşük dirence sahip olmaları, kısa ömür ve düşük mekanik özellikler göstermesi, düşük ısıl genleşme ve dolayısıyla daha zor şekil alabilme ve elektrik iletkenliğine sahip olmalarıdır [16, 17]. Başlıca termosetler ise şunlardır:

2.2.2.1. Polyester

Borular, tanklar, gemi iskeleti, otomotiv gövdesi parçaları ve yapı panelleri gibi büyük parçaları üretmek için takviyeli plastik kompozitlerde büyük oranda kullanılırlar. Kompozit malzemelerde kullanılan 2 tip polyester reçine vardır; daha ekonomik olan ortoftalik ve suya dayanım gibi daha iyi özelliklere sahip olan isoftalik polyester. Polyester kullanılacağı zaman polimerizasyon olayını başlatmak için peroksitler katalizör olarak kullanılır. Kobalt tuzları ise reaksiyonu hızlandırmak için kullanılır ve hızlandırıcı olarak adlandırılır. Peroksitlerin ve kobalt tuzlarının miktarı karışımın kompozisyonuna göre farklılıklar gösterir. Reçine içine karıştırılan bu peroksitlerin miktarı reçine ağırlığının % 0.5 ile % 3'ü arasında olmalıdır. Reçine içerisine katılan katalizör ve hızlandırıcı miktarları ve cinsleri sertleşme karakteristiklerini etkiler. Peroksitler ve kobalt tuzları kullanım esnasında hiçbir zaman birbirleriyle temas etmemelidirler. Temas ettiklerinde patlayıcı bir karışım olur. Bu özelliklerinden ötürü reçinenin içine önce hızlandırıcı ilave edilip karıştırılır. Daha sonra başka bir ölçü kabında ölçülen katalizör (sertleştirici) ilave edilerek reçine karıştırılır. Bu işlemden sonra reçine jelleşmeye başlar. En kısa zamanda kullanılması gerekir. İsteğe bağlı olarak dolgu maddeleri ve renk verici maddeler de reçinenin içine katılabilir. Böylece reçinenin mamul üretiminden sonraki tabii rengi değiştirilmiş boya işlemi yapılmaksızın son ürünün elde edilmesi sağlanmış olunur [16, 17].

2.2.2.2. Epoksiler

Epoksi reçineler, iki veya daha fazla epoksi grubu polimerlerden meydana gelmişlerdir. Düşük viskoziteli sıvıdan yüksek ergime noktalı katıya kadar değişebilen bir sınır içindedirler. Sertleştirici türüne bağlı olarak reçinenin 5 °C 'den 180 °C'ye kadar her sıcaklık derecesinde hızlı veya yavaş bir jelleşme sağlanabilir. Epoksi reçineler polyesterler gibi sertleştiricileri ile reaksiyona girdiklerinde su veya buharlaşıcı madde çıkışı olmaz. Sertleşme sırasında büzülme çok azdır (%2'den azdır). Sertleştikten sonra 250 °C'ye kadar termal kararlılıklarını korurlar. Bu avantajlarına karşı pahalıdır. Polyesterlerden ve fenoliklerden daha pahalıdır. Sertliği fenoliklerin hemen hemen yirmi mislidir. Asit, alkali ve çözücülere karşı direnci reçine ve sertleştirici cinsine bağlı olarak değişir. Mükemmel izolasyon maddesidir, yüksek dielektrik sabitine ve ark direncine sahiptir [16, 17].

2.2.2.3. Fenolikler

300 °C'ye kadar kullanılabilirler. Kullanımları polyester ve epoksi reçinelere oranla düşüktür. Sıcaklık dayanımı haricinde pek fazla avantajı yoktur. Fiyatı da bundan dolayı yerlerine kullanılacak olanlarınkinden daha düşüktür [16, 17].

2.2.2.4. Silikonlar

260 °C'den 540 °C'ye kadar kullanılabilirler. Yüksek sıcaklıklarda yüksek mekanik ve elektrik özelliklerine sahiptir. Süpersonik araçlarda ve uzay araçlarında kullanılır. Fiyatı diğer reçinelerden çok daha yüksektir. Kullanımı yaygın değildir [16, 17].

2.2.2.5. Vinilester

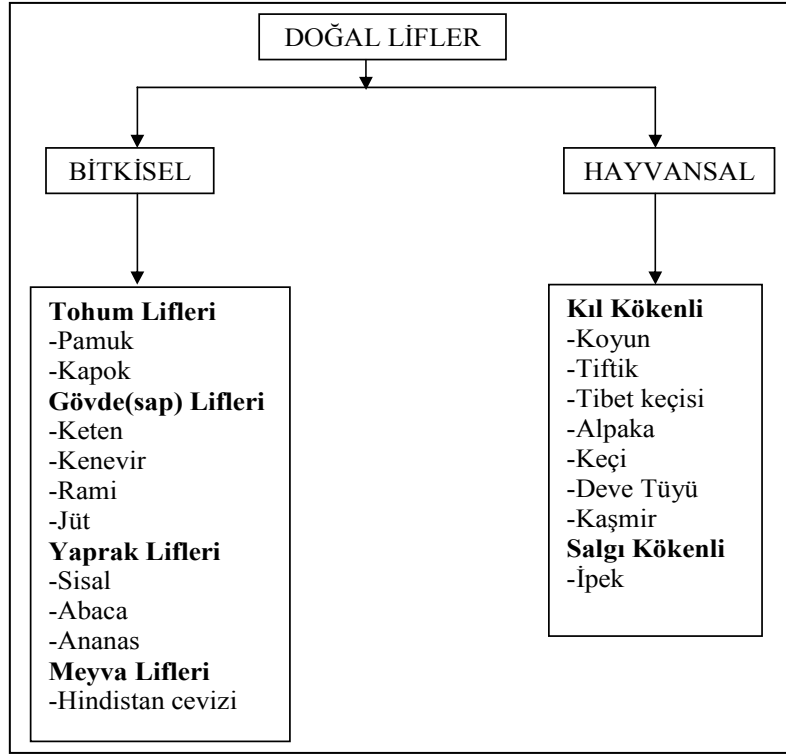
Polyestere oranla daha yüksek mekanik özelliklere sahiptir. Yapısında aşırı sitren içerir. Sertleşme sırasında yüksek oranda çekme yaparlar. Maliyetleri polyestere göre daha fazladır [16, 17].

2.3. TAKVİYE ELAMANI OLARAK DOĞAL LİFLER

Doğal liflerin kullanımlarına en basit örnek olarak ülkemizin belli bölgelerinde seyrekte olsa halen kullanılmakta olan saman ile çamurun karıştırılmasıyla elde edilen balçık örnek gösterilebilir. Balçık antik Mısır ve Mezopotamya uygarlıklarından günümüze yapılarda kullanılan doğal lif destekli kompozit malzeme örneğidir. Zamanla yeni malzemelerin üretilmeleriyle doğal liflere olan talep oldukça azalmıştır. Ancak 2. dünya savaşıyla beraber özellikle askeri alanda kompozit malzemelerin kullanımı artmış, cam elyafların dayanıklı rijid reçinelerle desteklenmesiyle üretilen kompozit malzemeler bazı üstün özellikleriyle metallere ciddi rakip olabilmişlerdir. Bunun doğal bir sonucu olarak doğal liflerle ilgili çalışmalar artmış ve doğal lifler tekrardan gündeme gelmiştir [16].

Doğal lifler kaynakları göz önüne alınarak hayvansal ve bitkisel olarak 2 temel grupta sınıflandırılabilirler. Endüstride kullanımı açısından ise doğal lif tanımı ağaç lifleri ve tarımsal elyaf, tohum, yaprak ve gövdelerden elde edilen bitkisel lifleri içermektedir [16, 17].

Kompozit endüstrisinde kullanılan bitkisel kaynaklı doğal liflerin sahip oldukları özelliklerin temelinde yapısal ve kimyasal özellikleri yatmaktadır. Bitki hücrelerinde belli başlı 3 kimyasal madde selüloz, lignin ve pektin vardır. Bitkiye gücü ve sertliğini veren temel madde selülozdur. Hemisülozların hücre çeperinde kuvvetlendirici görev yaptığı ve kısmen de depo maddesi olarak kullanıldığı sanılmaktadır. Lignin yan yana bulunan hücrelerin birbirine bağlanmasını sağlayan maddedir ve görevi inşaat sektöründe kullanılan çimentoya benzemektedir. Hücre çeperlerinin sertleşmesini ve kuvvetlenmesini sağlamaktadır. Pektin ise lignin ve selüloz ile birlikte hücre yapısını dengede tutan diğer önemli kimyasal maddedir [16, 17].



Şekil 2.1. Doğal Liflerin Sınıflandırılması [14, 15]

Doğal liflerin endüstriyel uygulamalar için dezavantaj olarak kabul edilebilecek özellikleri şunlardır;

- Özellikle darbe dayanımı göz önüne alındığında düşük mukavemet
- Elde edildikleri bitkilerin yetiştirme koşullarına bağlı olarak düşük kalite
- Liflerin şişmesine sebebiyet veren nem emme özellikleri
- Liflerin ıslahına göre dayanımlarının değişken oluşu
- Belirli imalat sıcaklıkları için yetersiz oluşları
- Üretim miktarlarının dolayısıyla fiyatlarının hasada göre veya uygulanan tarım politikalarına göre değişiyor oluşu [3, 15, 18].

Çizelge 2.1. Kompozit malzemelerde kullanılan bazı liflerin özellikleri [14, 15]

Özellikler	Lifler						
	Cam elyaf	Keten	Kenevir	Hint Keneviri	Muz	Hindistan Cevizi	Sisal
Yoğunluk (g/cm ³)	2.55	1.4	1.48	1.46	1.35	1.25	1.33
Çekme Dayanımı (10E ⁶ N/m ²)	2400	800-1500	550-900	400-800	529-754	220	600-700
E Modülü (GPa)	73	60-80	70	10-30	8-20	6	38
Özgül mukavemet	29	26-46	47	7-21	6-15	5	29
Uzama kopması	3	1.2-1.6	1.6	1.8	1-3.5	15-25	2-3
Nem emme(%)	-	7	8	12	10-11	10	11
Fiyat (\$/kg)	1.3	1.5	0.6-1.8	0.35	0.43-0.8	0.6	1.5

Doğal liflerin endüstriyel uygulamalar için avantaj olarak sayılan özellikleri ise şunlardır;

- Doğal liflerin aşınma yatkınlıkları cam liflerine oranla daha düşüktür. Buda hem teknik anlamda hem de geri dönüşebilirlik açısından kompozit malzemelere avantajlar sağlamaktadır.
- Doğal lifler yenilenebilir hammaddelerdir ve kaynak açısından düşünüldüğünde, üretimleri ve endüstriyel olmayan kullanımları göz önüne alınırsa elde edilebilirlikleri sınırsızdır.
- Üretim için gerekli yatırım maliyetleri düşüktür. Özellikle işçi maliyetleri düşük olan tarım ülkeleri açısından malzeme üretimi büyük bir avantajdır.
- Kompozit malzemelerdeki kullanımı göz önüne alınırsa talaşlı imalat gerektirmemesi ve deride tahribata neden olmaması
- Ses ve ısı izolasyonu açısından özelliklerinin iyi olması
- Doğal lif destekli kompozitler kullanım ömürleri dolduğunda yakma yada gömme gibi işlemlere tabi tutulduklarında, ortama verdikleri karbondioksit

oranı bitki içinde büyürken absorbe ettikleri karbondioksit oranına neredeyse eşittir. Buda onları çevre dostu yapmaktadır.

- Düşük yoğunluk ve buna bağlı olarak ağırlığın önemli olduğu uygulamalarda hem hafif hem de mukavim bir malzeme olarak görev yapabilmeleri [3, 4, 5, 18].

M.A Maleque, F.Y.Belal ve S.M. Sapuan yaptıkları deneysel çalışmada saf epoksi ile epoksinin matris olarak kullanıldığı örme muz lifleriyle desteklenerek imal edilen kompozit malzemenin çekme, darbe ve burkulma dirençlerini incelemişlerdir. Yaptıkları deneyler sonucunda saf epoksinin muz lifleriyle desteklendiğinde burkulma direncinde artış olduğu, darbe dayanımının %40, çekme dayanımının ise %90 oranında arttığını tespit edilmiştir [19].

P. Wambua, J. Ivens, I. Verpoest yapmış oldukları deneysel çalışmada sisal, kenevir, hindistan cevizi ve hint keneviri liflerinden hazırlanan polipropilen matrisli kompozit malzemelerin mekanik özelliklerinden çekme ve darbe dayanımlarını incelemişlerdir. Elde ettikleri sonuçlar ağırlık göz önüne alındığında çalışmada kullanılan doğal lif destekli kompozitlerin özgül değerlerinin cam lifi destekli kompozitlere yakın olduğu ve yüksek olmayan yükleme kapasitelerinde doğal lif destekli kompozitlerin cam lifi destekli kompozitlere tercih edilebileceğidir [20].

S. Mishra, J.B. Naik ve Y.P Patil yapmış oldukları deneysel çalışmada muz, kenevir ve sisal lifleriyle desteklenmiş novalak reçinelerin darbe dayanımlarını incelemişlerdir. Çalışmada kullanılan liflere maleik anhidrit uygulanmasının bu lifler ile elde edilen kompozit malzemelerin darbe dayanımlarına etkileri araştırılmıştır. Çalışmanın sonucunda maleik anhidrit uygulanan liflerle hazırlanan kompozit malzemelerin darbe dayanımlarında bir artış olduğu tespit edilmiştir [21].

L.H. Estrada, S. Pillay, U. Viadya yapmış oldukları çalışmada otomotiv ve taşımacılık endüstrisinde kullanılmak için uygun termoset matrisli muz lifi destekli kompozit malzemeleri incelemişlerdir. Çalışmada lif yüzeylerine uygulanan kimyasal iyileştirmelerin, epoksi ve polyester matrisli kompozitlerin mekanik

özelliklerine ve çevresel faktörlere dayanım değerlerine etkileri araştırılmıştır. Muz lifleriyle desteklenmiş polyester matrisli kompozit malzemelerde mekanik özelliklerde ve çevresel etkilere dayanım değerlerinde bir artış tespit edilirken epoksi matrisli kompozitlerde kayda değer bir iyileştirme gözlenmemiştir [22].

S. Joseph, M.S. Sreekala, Z. Oomen, P. Koshy, S. Thomas yapmış oldukları deneysel çalışmada fenol formaldehit matrisli muz lifleriyle ve cam lifleriyle desteklenmiş kompozit malzemelerde optimum lif uzunluğu ve kompozit içindeki liflerin hacimsel oranlarının malzemenin mekanik özelliklerine etkisini ve lif matris bağının özelliklerini incelemiştir. Çalışmada muz ve cam liflerinin fenol formaldehit matris için farklı optimum lif uzunluklarına sahip oldukları, her 2 lif tipinde de malzeme içindeki hacimsel oranlarının artmasıyla malzemenin mekanik özelliklerin arttığı ve muz liflerinin fenol formaldehit ile cam liflerine oranla daha iyi bağ kurdukları tespit edilmiştir [23].

C.Z. PaivaJunior, L.H de Carvalho, V.M. Fonseca, S.N. Monteiro, J.R.M.d'Almeida yapmış oldukları çalışmada 0° ve $0^\circ/90^\circ$ açı değerleriyle polyester matrise yerleştirilmiş remi, pamuk karma liflerden imal edilen kompozit malzemenin çekme dayanımı ve bu dayanıma etki eden lif-hacim oranlarını incelemiştir. Yapılan çalışmada en iyi dayanım değerleri 0° açı değeriyle yapılan lif yerleştirmesinde elde edilmiş bu dayanıma remi liflerinin hacimsel oranının pamuk liflerine oranla daha yüksek olduğu gözlenmiştir [24].

A.V.Ratna Prasad, K.Mohana Pao ve G.Nagasrinivasula yapmış oldukları deneysel çalışmada saf polyesterin mekanik özelliklerinin boş muz kabuğundan elde ettikleri liflerle takviyelendirildiğinde ki değişimi incelemiştir. Çalışmada hacimsel olarak %37 lif içeren kompozit malzemenin saf polyesterin çekme dayanımını %36 arttırdığını tespit etmişlerdir [25].

Afa Austin Waifielate ve Bolarinva Oluseun Agabeyola yapmış oldukları yüksek lisans tezinde Hindistan cevizinden elde edilen doğal liflerin mekanik

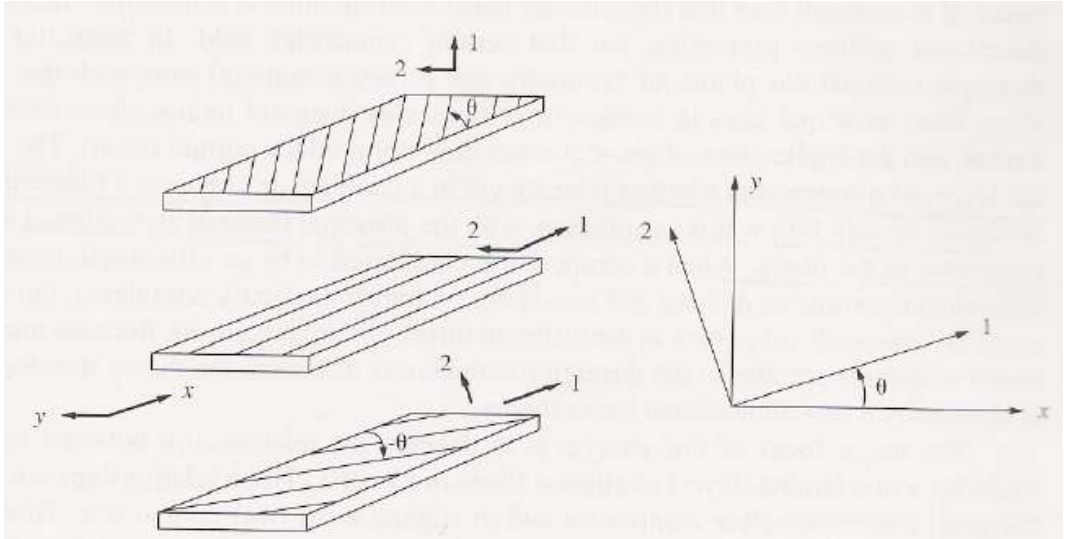
özelliklerini deneysel testlerle elde ederek sonlu elemanlar yöntemiyle buldukları sonuçlarla kıyaslamışlardır [26].

2.4. KOMPOZİT TABAKALARIN MAKROMEKANİK ANALİZİ

Kompozit malzeme tasarımında istenilen özelliklere uygun malzemenin elde edilmesi için, takviye elemanına göre bir tasarım yapılmak istendiğinde izotropik özellikler için lifler rastgele yönlendirilmeli, orthotropik özellikler istendiğinde ise lifler ortogonal yönlü yada tek yönlü takviyelendirilmelidirler. İzotropik malzemelerde tüm mekanik özellikler malzemenin her doğrultusunda aynı iken, ortotropik malzemelerde lif doğrultusuna ve yönlerine göre değişmektedir. Bu tez çalışmasında incelenen malzeme ortogonal özelliklere sahiptir [1, 17, 28].

2.4.1. Ortotropik Tabakaların Makromekanik Analizi

Bir kompozit malzemede, lifler tek yönlü sürekli veya iki yönlü takviyeli olarak düzenlenirse lif doğrultusunda yüksek dayanım ve rijitlik elde edilebilir. Bu mekanik özellikler gayet tabidir ki kullanılan lif içeriği ile değişecektir.



Şekil 2.2. Tek yönlü kompozit tabakalarda 1-2 lif koordinat sistemleri ve global x-y koordinatı [1]

Hook kanunu bağıntıları :

$$\begin{aligned}
 Q_{11} &= E_{11}/(1-\nu_{12}\nu_{21}) \\
 Q_{22} &= E_{22}/(1-\nu_{12}\nu_{21}) \\
 Q_{12} &= Q_{21} = \nu_{21}E_{11}/(1-\nu_{21}\nu_{12}) = \nu_{12}E_{22}/(1-\nu_{12}\nu_{21}) \\
 Q_{33} &= \sigma_{12}
 \end{aligned}
 \tag{2.1}$$

Olmak üzere;

$$\begin{aligned}
 \sigma_{11} &= Q_{11}\varepsilon_{11} + Q_{12}\varepsilon_{22} \\
 \sigma_{22} &= Q_{12}\varepsilon_{11} + Q_{22}\varepsilon_{22} \\
 \sigma_{12} &= Q_{33}\varepsilon_{12}
 \end{aligned}
 \tag{2.2}$$

Veya matris şeklinde,

$$\begin{bmatrix} \sigma_{11} \\ \sigma_{22} \\ \sigma_{12} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Q_{11} & Q_{12} & Q_{13} \\ Q_{21} & Q_{22} & Q_{23} \\ Q_{31} & Q_{32} & Q_{33} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \varepsilon_{11} \\ \varepsilon_{22} \\ \varepsilon_{12} \end{bmatrix}$$

$$[\sigma] = [Q][\varepsilon]
 \tag{2.3}$$

Ortotropik durumda kayma modülü ve gerilmeler, burulmaların oluştuğu doğrultulara göre tanımlanır. Bu durumda σ , E ve ν değerlerinden bağımsızdır. Ortotropik özelliklere sahip kompozit tamamen dört bağımsız elastik sabitleri (E_{11} , E_{22} , ν_{12} , ve σ_{12}) ile ifade edilir. Uzunlamasına gerilmeler ve gerilmeler ile ilgili olarak eşitlik takımları ;

$$\begin{bmatrix} \varepsilon_{11} \\ \varepsilon_{22} \\ \varepsilon_{12} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} S_{11} & S_{12} & S_{13} \\ S_{21} & S_{22} & S_{23} \\ S_{31} & S_{32} & S_{33} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \sigma_{11} \\ \sigma_{22} \\ \sigma_{12} \end{bmatrix}$$

$$[\varepsilon] = [S][\sigma]
 \tag{2.4}$$

Şeklindedir. Burada ;

$$S_{11} = 1/E_{11}$$

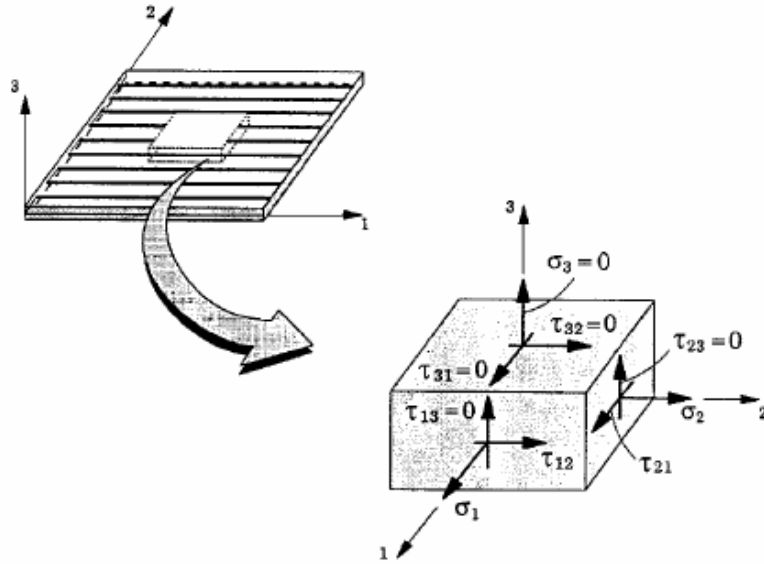
$$S_{22} = 1/E_{22}, S_{33} = 1/G_{12}$$

2.5

$$S_{12} = -\nu_{21}/E_{22} = -\nu_{12}/E_{11}$$

2.4.1.1. Ortotropik tabakada keyfi doğrultu

Eşitlik 2.1’de tanımlanan bağıntılar malzemenin esas eksenleri ile ilgili olduğundan malzeme simetrisi nedeniyle normal gerilmelerin etkileri kayma gerilmelerinden bağımsız olduğu için toplam etkiler süperpozisyon metodu ile belirlenir. Tabakanın esas eksenleri (1-2) bazı keyfi seçilen doğrultuda O referans noktaları ile aynı doğrultuda değilse, her bir tabaka için yukarıda oluşan bağıntı referans eksenlerine dönüştürülür. Bu nedenle, önce bir tabakada 2 eksen takımına bağlı olarak tanımlanan gerilmeler arasındaki ilişki bulunur. Sonrasında ise benzer ilişki uzamalar arasında sağlanır [1, 17, 28].



Şekil 2.3. Malzeme esas eksenleri ve esas eksenlerde gerilmeler [1]

2.4.1.2. Gerilim bağıntıları

Malzemenin referans eksenleri x-y ile temel eksenler 1-2 deki gerilmeler arasındaki eşitlikler;

$$\begin{aligned}\sigma_{11} &= \sigma_{xx} \cos 2\theta + \sigma_{yy} \sin 2\theta + \sigma_{xy} \cdot 2 \sin \theta \cdot \cos \theta \\ \sigma_{22} &= \sigma_{xx} \sin 2\theta + \sigma_{yy} \cos 2\theta - \sigma_{xy} \cdot 2 \sin \theta \cdot \cos \theta \\ \sigma_{12} &= -\sigma_{xx} \sin \theta \cdot \cos \theta + \sigma_{yy} \cos 2\theta + \sigma_{xy} \cdot (\cos 2\theta - \sin 2\theta)\end{aligned}\tag{2.6}$$

şeklinde yazılabilir. Matriks formunda aşağıdaki bağıntılar referans eksenleri x-y ve temel eksenler 1-2 de gerilmeler ;

$$\begin{bmatrix} \sigma_{11} \\ \sigma_{22} \\ \sigma_{12} \end{bmatrix} = [T] \begin{bmatrix} \sigma_{xx} \\ \sigma_{yy} \\ \sigma_{xy} \end{bmatrix}\tag{2.7}$$

$$\begin{bmatrix} \sigma_{xx} \\ \sigma_{yy} \\ \sigma_{xy} \end{bmatrix} = [T]^{-1} \begin{bmatrix} \sigma_{11} \\ \sigma_{22} \\ \sigma_{12} \end{bmatrix}\tag{2.8}$$

şeklinde. Burada matriks dönüşümü (T) ise;

$$\begin{aligned}[T] &= \begin{bmatrix} m^2 n^2 & 2mn \\ n^2 m^2 - 2mn \\ -mnmnm^2 - n^2 \end{bmatrix} \\ [T]^{-1} &= \begin{bmatrix} m^2 n^2 & 2mn \\ n^2 m^2 - 2mn \\ nm - nm(m^2 - n^2) \end{bmatrix} = \text{inverse}[T]\end{aligned}\tag{2.9}$$

Bu eşitliklerde ; $m = \cos \theta$ ve $n = \sin \theta$ ' yu göstermektedir.

2.4.1.3. Uzama bağıntıları

0-1 doğrusu , 0-x ile Q açısı yaptığı zaman ε_{xx} , ε_{yy} , ε_{xy} uzamalarını hesaplırsak;

$$\varepsilon_{11} = \varepsilon_{xx}m^2 + \varepsilon_{yy}n^2 + \frac{\varepsilon_{xy}}{2} + 2mn \quad 2.10$$

$$\varepsilon_{22} = \varepsilon_{xx}n^2 + \varepsilon_{yy}m^2 - \frac{\varepsilon_{xy}}{2} + 2nm \quad 2.11$$

$$\frac{\varepsilon_{12}}{2} = -\varepsilon_{xx}nm + \varepsilon_{yy}nm + \frac{\varepsilon_{xy}}{2}(m^2 - n^2) \quad 2.12$$

Matriks şeklinde ki aşağıdaki bağıntılar referans eksenleri x-y ve esas eksenleri 1- 2 de gerilmelerle birleşir.

$$\begin{bmatrix} \varepsilon_{11} \\ \varepsilon_{22} \\ \frac{\varepsilon_{12}}{2} \end{bmatrix} = [T] \begin{bmatrix} \varepsilon_{xx} \\ \varepsilon_{yy} \\ \frac{\varepsilon_{xy}}{2} \end{bmatrix} \quad 2.13$$

Veya ;

$$\begin{bmatrix} \varepsilon_{xx} \\ \varepsilon_{yy} \\ \frac{\varepsilon_{xy}}{2} \end{bmatrix} = [T]^{-1} \begin{bmatrix} \varepsilon_{11} \\ \varepsilon_{22} \\ \frac{\varepsilon_{12}}{2} \end{bmatrix} \quad 2.14$$

Şeklinde yazılabilir. Bu eşitliklerde ; $m=\cos\theta$ ve $n=\sin\theta$ yi göstermektedir.

2.4.1.4. Gerilme–uzama bağıntıları

Esas eksenler 1-2 ye göre malzeme özelliklerine bağlı olarak x-y ekseninde gerilme ve uzama arasındaki bağıntılar aşağıdaki gibi belirlenir [17].

$$\begin{bmatrix} \varepsilon_{11} \\ \varepsilon_{22} \\ \varepsilon_{12} \end{bmatrix} = [S] \begin{bmatrix} \sigma_{11} \\ \sigma_{22} \\ \sigma_{12} \end{bmatrix} \quad 2.15$$

$$\begin{bmatrix} \sigma_{11} \\ \sigma_{22} \\ \sigma_{12} \end{bmatrix} = [Q] \begin{bmatrix} \varepsilon_{11} \\ \varepsilon_{22} \\ \varepsilon_{12} \end{bmatrix} \quad 2.16$$

$$\begin{bmatrix} \sigma_{xx} \\ \sigma_{yy} \\ \sigma_{xy} \end{bmatrix} = [T]^{-1} [Q] \begin{bmatrix} \varepsilon_{11} \\ \varepsilon_{22} \\ \varepsilon_{12} \end{bmatrix}$$

2.17

$$\begin{bmatrix} \varepsilon_{11} \\ \varepsilon_{22} \\ \varepsilon_{12} \end{bmatrix} = [S][T] \begin{bmatrix} \sigma_{xx} \\ \sigma_{yy} \\ \sigma_{xy} \end{bmatrix} \quad 2.18$$

elde edilir.

$$\begin{bmatrix} \varepsilon_{11} \\ \varepsilon_{22} \\ \varepsilon_{12} \end{bmatrix} = [R][T][R]^{-1} \begin{bmatrix} \varepsilon_{xx} \\ \varepsilon_{yy} \\ \varepsilon_{xy} \end{bmatrix} \quad 2.19$$

Ve

$$\begin{bmatrix} \varepsilon_{xx} \\ \varepsilon_{yy} \\ \varepsilon_{xy} \end{bmatrix} = [R][T]^{-1}[R]^{-1} \begin{bmatrix} \varepsilon_{11} \\ \varepsilon_{22} \\ \varepsilon_{12} \end{bmatrix} \quad 2.20$$

$$[R][T]^{-1}[R]^{-1} = \left[[T]^{-1} \right]^T$$

$$[R][T]^{-1}[R]^{-1} = [T]^T$$

Ve

$$\left[[T]^{-1} \right]^T = \begin{bmatrix} m^2 n^2 mn \\ n^2 m^2 - nm \\ -2mn \quad 2mn(m^2 - n^2) \end{bmatrix}$$

$$\left[[T]^{-1} \right]^T = \begin{bmatrix} m^2 n - nm \\ n^2 mnm \\ 2nm - 2nm(m^2 - n^2) \end{bmatrix} \quad 2.21$$

Elde edilir.

$$\begin{bmatrix} \varepsilon_{11} \\ \varepsilon_{22} \\ \varepsilon_{12} \end{bmatrix} = \left[[T]^{-1} \right]^T \begin{bmatrix} \varepsilon_{xx} \\ \varepsilon_{yy} \\ \varepsilon_{xy} \end{bmatrix} \quad 2.22$$

Ve

$$\begin{bmatrix} \varepsilon_{xx} \\ \varepsilon_{yy} \\ \varepsilon_{xy} \end{bmatrix} = [T]^T \begin{bmatrix} \varepsilon_{11} \\ \varepsilon_{22} \\ \varepsilon_{12} \end{bmatrix} \quad 2.23$$

Şeklinde yazılabilir. x-y referans eksenlerinde gerilme bileşenleri elde edilebilir.

$$\begin{bmatrix} \sigma_{xx} \\ \sigma_{yy} \\ \sigma_{xy} \end{bmatrix} = [T]^{-1} [Q] [[T]^{-1}]^T \begin{bmatrix} \varepsilon_{xx} \\ \varepsilon_{yy} \\ \varepsilon_{xy} \end{bmatrix} \quad 2.24$$

Veya

$$\begin{bmatrix} \sigma_{xx} \\ \sigma_{yy} \\ \sigma_{xy} \end{bmatrix} = [Q] \begin{bmatrix} \varepsilon_{xx} \\ \varepsilon_{yy} \\ \varepsilon_{xy} \end{bmatrix} \quad 2.25$$

[Q] matriksi 3x3 matriks olup burada bileşenler ;

$$\begin{aligned} Q_{11} &= Q_{11}m^4 + Q_{22}n^4 + 2(Q_{12} + 2Q_{33})n^2m^2 \\ Q_{12} &= Q_{21} = (Q_{11} + Q_{22} - 4Q_{33})n^2m^2 + Q(n^4 + m^4) \\ Q_{12} &= Q_{21} = (Q_{11} - Q_{12} - 2Q_{33})nm^3 + (Q_{12} - Q_{22} + 2Q_{33})n^3m \\ Q_{22} &= Q_{11}m^4 + Q_{22}n^4 + 2(Q_{12} + 2Q_{33})n^2m^2 \\ Q_{23} &= Q_{32} = (Q_{11} - Q_{12} - 2Q_{33})n^3m + (Q_{12} - Q_{22} + 2Q_{33})nm^3 \\ Q_{33} &= (Q_{11} + Q_{22} - 2Q_{12} - 2Q_{33})n^2m^2 + Q_{33}(n^4 + m^4) \end{aligned}$$

Yazılabilir. Bu eşitliklerde ; m=cosθ ve n=sinθ ‘ yi ve ; Q₁₁, Q₁₂, Q₂₂, Q₂₁ ve Q₃₃ denklem 3.1 de tanımlanmıştır. Daha sonra bir uyum matriksi ile bu iki eleman arasındaki bağıntı;

$$\begin{bmatrix} \varepsilon_{xx} \\ \varepsilon_{yy} \\ \varepsilon_{xy} \end{bmatrix} = [S] \begin{bmatrix} \sigma_{xx} \\ \sigma_{yy} \\ \sigma_{xy} \end{bmatrix} \quad 2.26$$

Şeklinde açıklanabilir. [S] matrisi 3x3 uyum matrisi olup bileşenleri şunlardır:

$$S_{11} = S_{11}m^4 + S_{22}n^4 + (2S_{12} + S_{33})n^2m^2$$

$$S_{11} = S_{21} = S_{12}(n^4 + m^4) + (S_{11} + S_{22} - S_{33})n^2m^2$$

$$S_{13} = S_{31} = (2S_{11} - 2S_{12} - S_{33})nm^3 - (2S_{22} - S_{12} - S_{33})n^3m$$

$$S_{23} = S_{32} = (2S_{11} - 2S_{12} - S_{33})n^3m - (2S_{22} - 2S_{12} - S_{33})nm^3$$

$$S_{22} = S_{11}n^4 + S_{22}m^4 + (2S_{12} + S_{33})n^2m^2$$

$$S_{33} = 2(2S_{11} + 2S_{22} - 4S_{12} - S_{33})n^2m^2 + S_{33}(n^4 + m^4)$$

Bu eşitlikte ; $S_{11}=1/E_1$ $S_{22}=1/E_2$ $S_{12}=S_{21}=-\nu_{12}$ ve $S_{33}=1/G_2$ dir.

2.5. KOMPOZİT TABAKALARDA DAYANIM KARAKTERİSTİKLERİ

Kompozit sistemlerin çekme ve basma dayanımlarında farklılıklar olabilir ve kırılma karakteristikleri kullanılan bileşen malzemelere oldukça fazla bağlıdır. Bu nedenle, elastiklik bağıntılarında olduğu gibi dayanım karakteristikleri için şematik bir gelişme yapmak mümkün değildir. Bunun için kompozit malzemelerde bir seri kırılma kriteri verilecektir [1, 17, 28].

2.5.1. Ortotropik Tabakanın Dayanımı

Ortotropik malzemelerin analiz sonuçları üç temel ekseninde aksenal dayanım özelliklerine bağlıdır. Analiz elastiklik modülü, poisons oranı ve dayanım karakteristiklerini esas eksen doğrultusunda belirlemeye yöneliktir. Temel malzeme eksenlerinde kritik gerilmeler çekme şeklinde olduğunda “-”, basma şeklinde olduğu zaman ise “+” alınmalıdır [17].

2.5.1.1. Maksimum kayma teoremi

Maksimum Kayma teoremine göre kırılma, esas malzeme eksenindeki (1,2 eksenleri) gerilmeler kritik değere ulaştığında oluşmaktadır. Üç ayrı kırılma türü mevcut olup bunlar için şartlar aşağıda verilen eşitliklerin oluşmasıdır [15].

$$\begin{aligned}\sigma_{11} &= \sigma_{11}^* \\ \sigma_{22} &= \sigma_{22}^* \\ \sigma_{12} &= \sigma_{12}^*\end{aligned}\tag{2.27}$$

Bu eşitlikte σ_{11}^* 1 doğrultusunda basma gerilimi veya maksimum çekme gerilmesi σ_{22}^* 2 doğrultusunda basma gerilimi veya maksimum çekme gerilmesini σ_{12}^* ise 2 doğrultusunda 1 düzlemine etkiyen maksimum kayma gerilmesini göstermektedir.

Temel 1 eksenine göre herhangi bir (θ) açısı ile levhaya yük uyguladığında gerekli dönüşümler yapılırsa :

$$\begin{aligned}\sigma_{11} &= \sigma_{xx} \cdot \cos^2 \theta = \sigma_{\theta} \cdot \cos^2 \theta \\ \sigma_{22} &= \sigma_{xx} \cdot \sin^2 \theta = \sigma_{\theta} \cdot \sin^2 \theta \\ \sigma_{12} &= -\sigma_{xx} \cdot \sin \theta \cdot \cos \theta = \sigma_{\theta} \cdot \sin \theta \cdot \cos \theta\end{aligned}\tag{2.28}$$

Eşitlikleri elde edilir. Maksimum gerilme teorisi ile belirlenen kayma dayanımı, σ_{11} , σ_{12} ve σ_{12} değerine bağlı olacaktır. Bu nedenle de aşağıdakilerden küçük olacaktır.

$$\begin{aligned}\sigma_{\theta} &= \frac{\sigma_{11}^*}{\cos^2 \theta} \\ \sigma_{\theta} &= \frac{\sigma_{12}^*}{\sin^2 \theta}\end{aligned}\tag{2.29}$$

$$\sigma_{\theta} = \frac{\sigma_{12}^*}{\sin \theta \cdot \cos \theta}$$

2.5.1.2 Maksimum uzama teorisi

Maksimum uzama teorisine göre kırılmanın maksimum kayma gerilmesinde olduğu gibi; esas malzeme eksenindeki gerilmelerin kritik bir değere ulaştığında olduğunu varsayılmaktadır. Burada yine mümkün olan 3 kırılma modu vardır [17]. Bunlar;

$$\begin{aligned} \varepsilon_{11} &= \varepsilon_{11}^* \\ \varepsilon_{22} &= \varepsilon_{22}^* \\ \varepsilon_{12} &= \varepsilon_{12}^* \end{aligned} \tag{2.30}$$

Bu eşitlikte ε_{11}^* , 1 doğrultusunda basma uzaması veya maksimum çekme uzaması ε_{22}^* , 2 doğrultusunda basma veya maksimum çekme uzaması, ε_{12}^* ise 2 doğrultusunda 1 düzlemi üzerinde maksimum kayma uzamasını göstermektedir.

2.5.1.3 Tsai–Hill enerji teorisi

Bu teorem orijinal olarak homojen izotropik parçalara uygulanmış olan Von Mises kriterine dayanır. Daha sonra anizotropik malzemelere adapte etmek için Hill tarafından iyileştirilmiş ve kompozit malzemelere uygulanmıştır. İzotropik malzemeler için uzama /gerilme enerjisinden sapmanın oluşmasında kırılmaya sebep olan normal gerilmenin esas eksenlerde olduğu varsayılır [17, 28].

Ortotropik malzemeler için sapma depolama enerjisi denkleminin tabakanın esas eksenleri ile ilgili olduğu yerde Hill tarafından verilen akma kriteri şu şekildedir:

$$H(\sigma_{11} - \sigma_{22})^2 + G(\sigma_{11} - \sigma_{22})^2 + F(\sigma_{22} - \sigma_{33})^2 + 2N \sigma_{12}^2 + 2M \sigma_{23}^2 + 2L \sigma_{31}^2 = 1 \tag{2.31}$$

F, G, H, C, M ve N parametreleri Hill'in akma dayanımı ve tabakanın kırılma dayanımı olarak tasarlanır. Tabaka üzerine sadece (σ_{12}) Etki ederse o zaman kırılma

$$N= 1/\sigma_{12}^{*2}. \quad 2.32$$

şeklinde olur. Aynı zamanda tabaka üzerinde sadece σ_{11} etki ederse,

$$F+H=1/ \sigma_{11}^* \quad 2.33$$

Olur.Tabakaya sadece Q_{22} etki ederse ;

$$G+H=1/ \sigma_{22}^* \quad 2.34$$

Yazılabilir. Benzer olarak ;

$$G+F=1/ \sigma_{33}^{*2} \quad 2.35$$

Yazılır. Eşitlikler birleştirilirse

$$\begin{aligned} 2H &= 1/ \sigma_{11}^{*2} + 1/ \sigma_{22}^{*2} - 1/ \sigma_{33}^{*2} \\ 2G &= 1/ \sigma_{22}^{*2} + 1/ \sigma_{33}^{*2} - 1/ \sigma_{11}^{*2} \\ 2F &= 1/ \sigma_{11}^{*2} + 1/ \sigma_{33}^{*2} - 1/ \sigma_{22}^{*2} \end{aligned} \quad 2.36$$

Takımı elde edilir. Düzlem gerilme altında tek yönlü tabakada elyaf 1 doğrultusunda düzenlendiğinde $\sigma_{22}=\sigma_{33}=\sigma_{23}=0$ yazılabilir. Böylece tabaka dayanımları, σ_{11} , σ_{22} ve σ_{33} 'e dayanarak kırılma kriteri ;

$$\frac{\sigma_{11}^2}{\sigma_{11}^{*2}} - \frac{\sigma_{11}\sigma_{22}}{\sigma_{11}^{*2}} + \frac{\sigma_{22}^2}{\sigma_{22}^{*2}} + \frac{\sigma_{12}^2}{\sigma_{12}^{*2}} = 1 \quad 2.37$$

şeklinde dir. Bu denklem bir kırılma zarfını açıklar. Sonuç olarak, tabaka kırılması σ_{11} σ_{22} ve σ_{12} 'nin hepsi kırılma zarfı içinde olmadıkça gerçekleşmez. Çoğu kompozit

malzemeler için σ_{11} ve σ_{22} 2.37 eşitliğinde 2.terim 0'a yaklaşır ve basitleştirilmiş eşitlik ise ;

$$\frac{\sigma_{11}^2}{\sigma_{11}^{*2}} + \frac{\sigma_{22}^2}{\sigma_{22}^{*2}} + \frac{\sigma_{12}^2}{\sigma_{12}^{*2}} = 1 \quad 2.38$$

Halini alır. Tek yönlü takviyeli tabakalı bir kompozitin esas eksenlerine θ doğrultusunda kırılma dayanımını hesaplayabilmek için eşitlik yeniden düzenlenirse

$$\sigma_{xx} = \sigma_{\theta} = \left[\frac{\cos^4 \theta}{\sigma_{11}^{*2}} + \left(\frac{1}{\sigma_{12}^{*2}} - \frac{1}{\sigma_{11}^{*2}} \right) \sin^2 \theta \cos^2 \theta + \frac{\sin^4 \theta}{\sigma_{22}^{*2}} \right]^{-1/2} \quad 2.39$$

Cam/epoksi kompozit için deneysel ve teorik sonuçlar arasında iyi bir uyumun olduğu anlaşılmaktadır. Daha sonraları yapılan başka bir çalışmada da karbon/epoksi tabakalı kompozit arasında bu değerlerin çok yakın olduğu ortaya çıkmıştır. Her iki çalışmada da kırılma kriterinin değişik doğrultu, yönlerde ve açıda tek yönlü takviyeli kompozit için uyumlu olduğu sonucunu göstermiştir. Bu nedenle, Tsai–Hill kriteri önceki iki teoriye göre kompozit malzemelerin kırılması için daha gerçekçi kriteri göstermektedir [17, 28].

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. MALZEMENİN İMALİ VE MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ

Bu çalışmada muz lifi takviyeli polyester reçine matrisli bir kompozit malzeme kullanılmıştır. Muz dünya üzerinde iklim koşullarının uygun olduğu özellikle ekvator çevresi ülkelerde bol miktarda yetiştirilen bir bitkidir. Ülkemizde ise Anamur, Bozyazı, Alanya, Gazipaşa ve çevresinde Toros dağlarının koruduğu mikro-klima iklim koşullarında üretimi yapılmaktadır. Bu ilçelerin ekonomisinde muz önemli bir yere sahiptir [33]. 2008 yılına ait resmi verilere göre 43.258 dekar alanda 18 bin meyve veren ve 11 bin meyve vermeyen muz ağacı bulunmaktadır. Resmi kayıtların tutulduğu 1995 yılından bu yana muz üretimi yapılan arazi 4 kat artarken meyve veren ağaç sayısı 3 kat, meyve vermeyen ağaç sayısı ise 5.5 kat artmıştır [32]. Muz ekim alanlarının bir atığı olarak muz lifleri mühendislik uygulamaları için bir potansiyel barındırmaktadır. Çalışmada kullanılan doğal lifler Anamur bölgesinde yetiştirilen muz ağaçlarının toprak üstünde kalan gövde kısımlarından elde edilmiş olup, Mersin Üniversitesi kompozit malzeme laboratuvarında bulunan muz lifleridir.



Şekil 3.1. Deneyde kullanılan muz lifleri

Matris malzemesi olarak kullanım kolaylığı ,düşük maliyeti ve kısmi yüksek elastiklik modülü gibi sebeplerle polyester 266 reçine tercih edilmiştir. Polyester reçineler sıvı halde satılmakta ve kullanıldığı uygulamalarda bir hızlandırıcı ve sertleştirici ile işlem görmektedirler. Bu deneyde kullanılan Polyester 266 reçine için kobalt hızlandırıcı ve sertleştirici %1 oranında kullanılmıştır. Kobalt hızlandırıcı yüzeyde kurutucu etki yapar ve havanın inhibitör etkisine karşı koyarak ince tabakalarda yapışkan olmayan yüzeyler elde edilmesini sağlamaktadır. Polyesterin sertleşmesi için ise organik peroksitler kullanılmıştır. Kullanılan polyestere ait önemli özellikler çizelge 3.1’ de verilmiştir.

Çizelge 3.1. Deneyde kullanılan polyesterin önemli özellikleri [28]

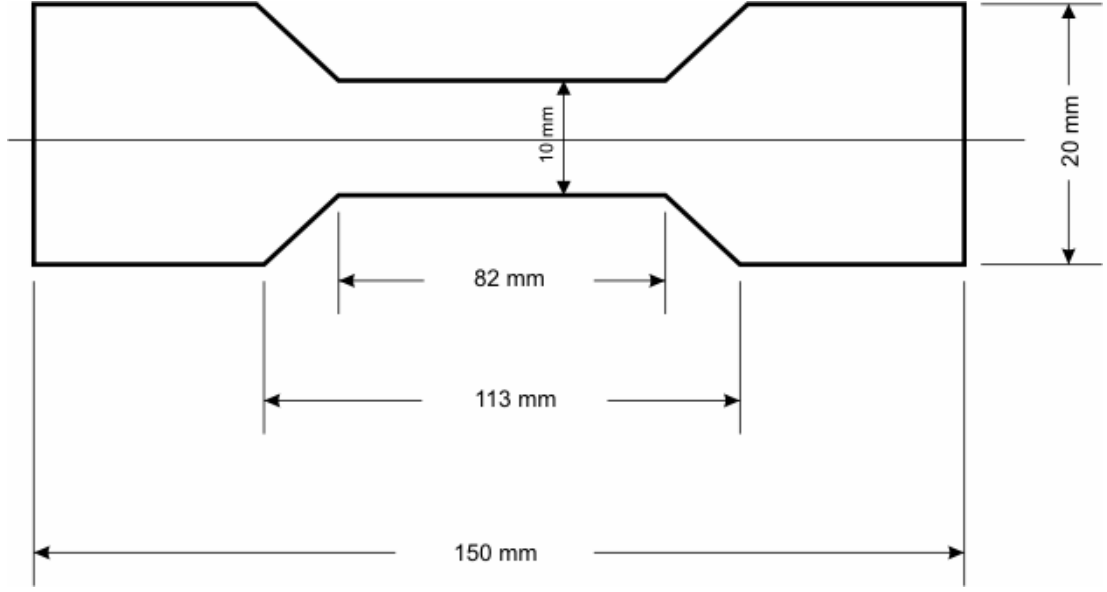
Çekme Dayanımı (Mpa)	18-22
Darbe Dayanımı (kj/m ²)	9
Elastisite modülü (Mpa)	1.35
Özgül ağırlık (gr/cm ³)	3400
Uzama(%)	2

Malzemenin imali için seçilen yöntem uygulanabilirliği kolay olan elle yatırma yöntemidir. İmal aşamasında ilk önce otomotiv sektöründe kullanılan kalıp, bir fırça ve bez yardımıyla temizlenerek tozsuz ve kuru bir hale getirilir. Kalıp üzerine kompozit malzemenin kalıba yapışmasını engelliyerek imal sonrasında parçanın kolay bir biçimde kalıptan çıkarılmasını sağlayacak olan vaks sürülür. Vaks işleminden sonra kalıpla polyester arasında ince bir film tabakası oluşturacak olan jelkot dökülür ve fırça yardımıyla kalıp yüzeyine yayılır. Muz lifleri, ağırlıkları ölçüldükten sonra kalıp yüzeyine yerleştirilir ve polyester hassas bir biçimde üzerlerine dökülür. Yine bir fırça yardımıyla liflerin ıslatılması sağlanır. Bu işlemin ardından malzemenin donması için bir süre beklenir. Malzeme donduktan sonra dikkatli bir biçimde kalıptan çıkarılır.



Şekil 3.2. İmal edilen muz lifi destekli kompozit malzeme

Günümüzde kompozit malzeme çeşitliliğindeki artış bu malzemelerin mekanik özelliklerinin belirlenmesinde etkin ve güvenilir testlerin önemini arttırmıştır. Malzemelerin mekanik özelliklerinden elastisite modülünün belirlenmesinde kullanılan çekme testleri klasik ve güvenilir bir yöntemdir. Malzemenin yapılacak sonlu elemanlar yöntemi analizinde gerekli olan mekanik özelliklerinin tespiti için çekme testleri yapılması gerekmektedir. Bu testler için test numuneleri, imal edilen kompozit malzemedan 5 adet TS 1398 standartlarına uygun olarak standart boyutlarda kesilerek hazırlanmıştır.



Şekil 3.3. Çekme test numunesi

Deney numuneleri şekil 3.6'da gösterilen çekme cihazında çeneler arasına sıkıştırılır ve çekme hızı 50 mm/dakika değeriyle çekme işlemi gerçekleştirilir. Hazırlanan 5 numune için elde edilen veriler çizelge 3.2'de gösterilmiştir.



Şekil 3.4. Çekme testinin yapıldığı çekme test cihazı

Çizelge 3.2. Deneyle elde edilen malzemeye ait özellikler

Yapılan Deneyle	E (Mpa)	ν	σ_{AK} (Mpa)	Tanjant Modülü(Mpa)
D1	4063	0.42	26.8	79.5
D2	4321	0.4	29.2	82.2
D3	3976	0.43	26.5	78.9
D4	4228	0.41	28.2	80.8
D5	4412	0.4	29.3	83.6

Malzemenin elde edilen E_x x yönündeki elastiklik modülü ve ν_{12} poisson oranı değerleri testlerde elde edilen değerlerin aritmetik ortalaması alınarak elde edilmiştir. Malzemenin sonlu elemanlar analizi için gerekli olan mekanik özellikleri ve hesaplanma yöntemleri şu şekildedir:

Çizelge 3.3. Malzemeye ait mekanik özellikler ve hesaplanma yöntemleri

Özellik	Polyester / %12 Muz Lifi Kompozit Malzeme	Hesaplama Prosedürü
E_x (Mpa)	4270	Deneysel değer
E_y (Mpa)	4270	= E_x
E_z (Mpa)	3400	Polyester için tipik değer
ν_{xy}	0.41	Deneysel değer
ν_{yz}	0.26	= $\nu_{xy}(E_z/E_y)$
ν_{xz}	0.33	Polyester için tipik değer
G_{xy} (Mpa)	1514.1	= $E_y/2(1+ \nu_{xy})$
G_{yz} (Mpa)	1349.2	= $E_z/2(1+ \nu_{yz})$
G_{xz} (Mpa)	1605.2	= $E_x/2(1+ \nu_{xz})$
σ_{AK} (Mpa)	28	Deneysel değer
Tanjant Modülü (Mpa)	81	Deneysel değer

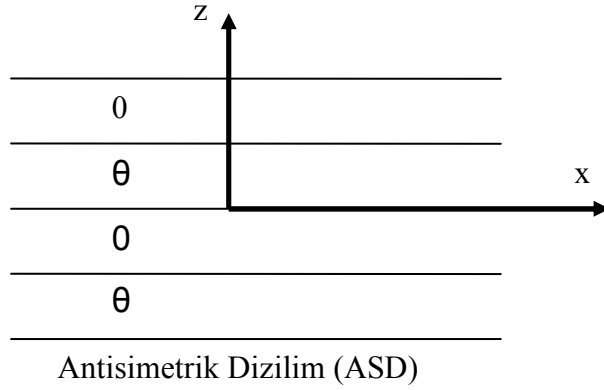
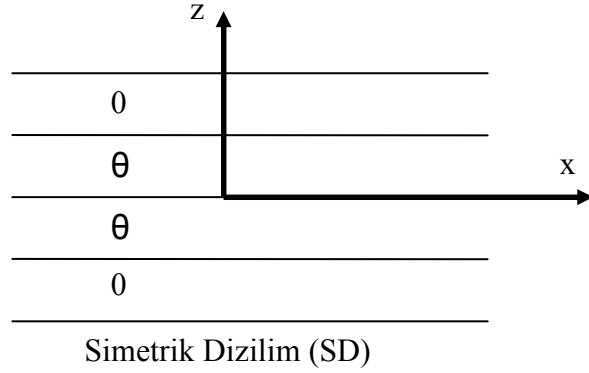
3.2. SONLU ELEMANLAR ANALİZİ

Sonlu elemanlar metodu, günümüzde karmaşık mühendislik problemlerinin hassas olarak çözülmesinde etkin olarak kullanılan bir sayısal methodur. Yapısal mekanik problemlerin yanı sıra, ısı iletimi, akışkanlar mekaniği, elektrik ve manyetik alanlar ile ilgili mühendislik problemlerinin çözümünde kullanılmaktadır. Metodun değişik mühendislik alanlarında popüler oluşunun ana nedenlerinden biri genel bir bilgisayar programının yalnız giriş verilerini değiştirerek herhangi bir özel problemin çözümü için kullanılabilmesidir [30, 31].

Sonlu elemanlar metodundaki temel düşünce karmaşık bir probleme, problemi basite indirgeyerek bir çözüm bulmaktır. Esas Problemin daha basit bir probleme indirgenmiş olması nedeniyle kesin sonuç yerine yaklaşık bir sonuç elde edilmekte ancak bu sonucun çözüm için daha fazla çaba harcayarak iyileştirilmesi ve kesin sonuca çok yaklaşması, hatta kesin sonuca ulaşılması mümkün olmaktadır.

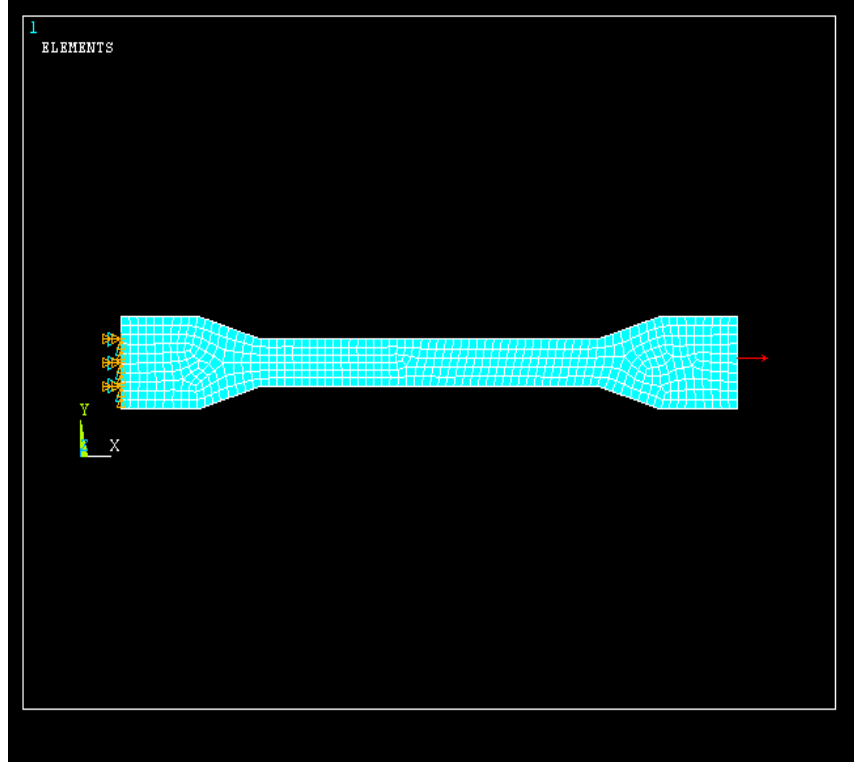
Sonlu elemanlar metodunda, çözüm bölgesi çok sayıda basit küçük birbirine bağlı sonlu eleman adı verilen alt bölgelere ayrılmaktadır. Bu elemanlar birbirlerine düğüm noktası adı verilen özel noktalardan bağlanmışlardır. Düğüm noktaları genellikle elemanların birbirine bağlandıkları yerler olan eleman sınırlarında bulunmaktadır. Deplasman, gerilme, sıcaklık, basınç, hız vs. gibi değişkenlerin gerçekte nasıl değiştiği bilinemediğinden bunların basit fonksiyonlar ile yaklaşık olarak ifade edilebildikleri varsayılmaktadır. Bu yaklaşık fonksiyonlar değişkenlerin düğüm noktalarındaki değerleri cinsinden ifade edilmektedir. Sistem için denge denklemleri vs. gibi yeni denklemler yazıldığı zaman, bilinmeyenleri değişkenlerin düğüm noktalarındaki değerleri olan ve ortak çözümleri gereken yeni denklemler ortaya çıkmaktadır. Genellikle matris denklemleri şeklinde olan bu denklemlerin çözülmesi ile de değişkenlerin düğüm noktalarındaki değerleri cinsinden ifade edilmiş olmaları nedeni ile de, bu fonksiyonların eleman içerisindeki değerleri bulunmakta ve istenilen sonuçlar elde edilmiş olmaktadır [30, 31].

Yapılan analiz için sonlu elemanlar yöntemiyle çözüm yapan ANSYS 11.0 paket programı kullanılmıştır. Analizi yapılan malzeme muz lifleriyle desteklenmiş polyester bazlı bir kompozit olup şekil 3.5’de belirtilen standart çekme test numunesi ölçülerine sahip her biri 0.5 mm kalınlıkta 4 tabakadan oluşmaktadır.

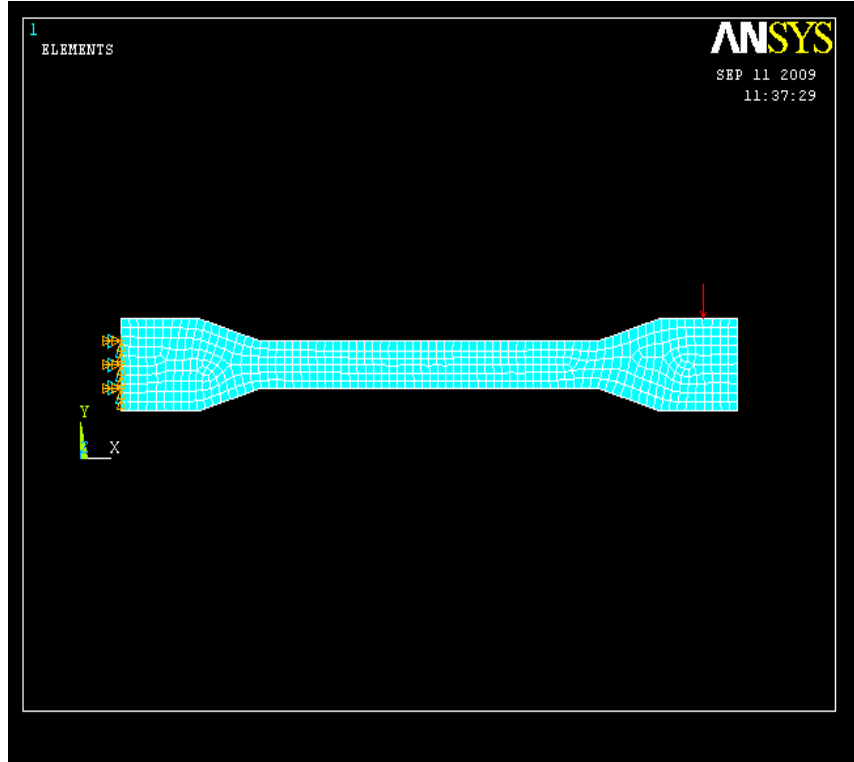


Şekil 3.5.Tabakaların simetrik ve anti simetrik dizilimler

Malzeme içinde lifler sırasıyla $[0^{\circ}]_4$, $[0^{\circ}/15^{\circ}]_2$ simetrik, $[0^{\circ}/15^{\circ}]_2$ anti simetrik, $[0^{\circ}/30^{\circ}]_2$ simetrik, $[0^{\circ}/30^{\circ}]_2$ anti simetrik, $[0^{\circ}/45^{\circ}]_2$ simetrik, $[0^{\circ}/45^{\circ}]_2$ anti simetrik, $[0^{\circ}/60^{\circ}]_2$ simetrik, $[0^{\circ}/60^{\circ}]_2$ anti simetrik, $[0^{\circ}/90^{\circ}]_2$ simetrik ve $[0^{\circ}/90^{\circ}]_2$ anti simetrik yönelim açısı değerleriyle yerleştirilmiş, mesnetlenerek 10 Mpa bir yükü çekmeye, 1 Mpa bir yükü de eğilmeye zorlanmıştır.



Şekil 3.6. Malzemenin sabitlenmesi ve çekme yükünün uygulanışı



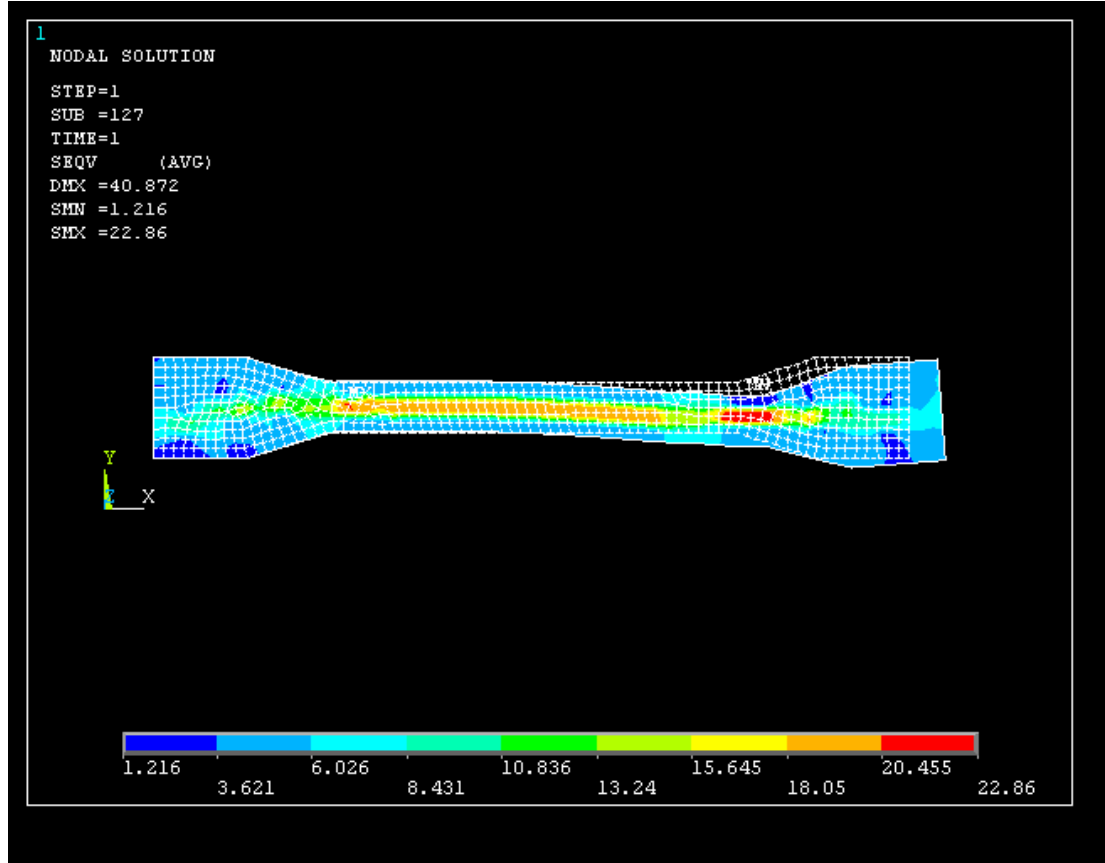
Şekil 3.7. Malzemenin sabitlenmesi ve eğme yükünün uygulanışı

Ansysis programında analiz için yapılan işlemler sırasıyla şunlardır:

- Programda ilk olarak model geometrisi oluşturulmuştur. Model geometrisinde anahtar noktalar koordinat sisteminde tanımlanır, bu noktalardan doğrular oluşturulur ve doğrular seçilerek alan tanımlanır.
- Kullanılacak sonlu eleman türü ve tipinin seçimi yapılır. Yapılan analizde ince tabakalı kompozit malzemeler için uygun 4 hesaplama noktalı ve her hesaplama noktasında 6 serbestlik derecesine sahip Shell NonLinear 181 (kabuk tipli doğrusal olmayan) elemanı seçilmiştir.
- Malzemenin programda tanımlanması ve malzemeye ait mukavemet değerlerinin (Elastisite modülleri, poisson oranları , akma dayanımları) girilmesi.
- Malzemenin tabaka sayısı, tabaka kalınlıkları ve her tabakadaki lif yönelim açılarının girilmesi.
- Sonlu elemanlar ağının oluşturulması.
- Modelin mesnetlenmesi. Modelin sol kenar çizgisindeki bütün hesaplama noktalarının tüm serbestlik dereceleri sabitlenir.
- Modelde yükün uygulanacağı yer ve yükün yön ve değeri girilir.
- Analizin yapılması için son işlem olan çözümlenme.

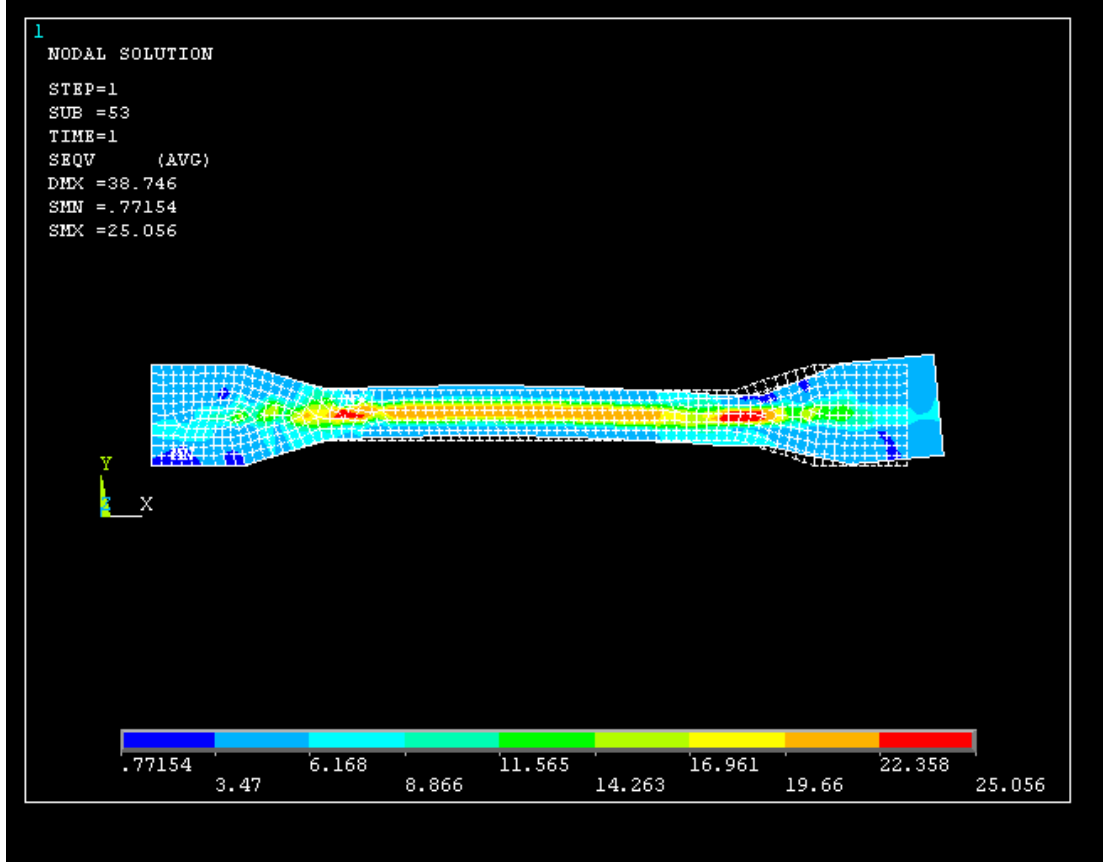
4.BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1 SONLU ELEMANLAR ANALİZ SONUÇLARI



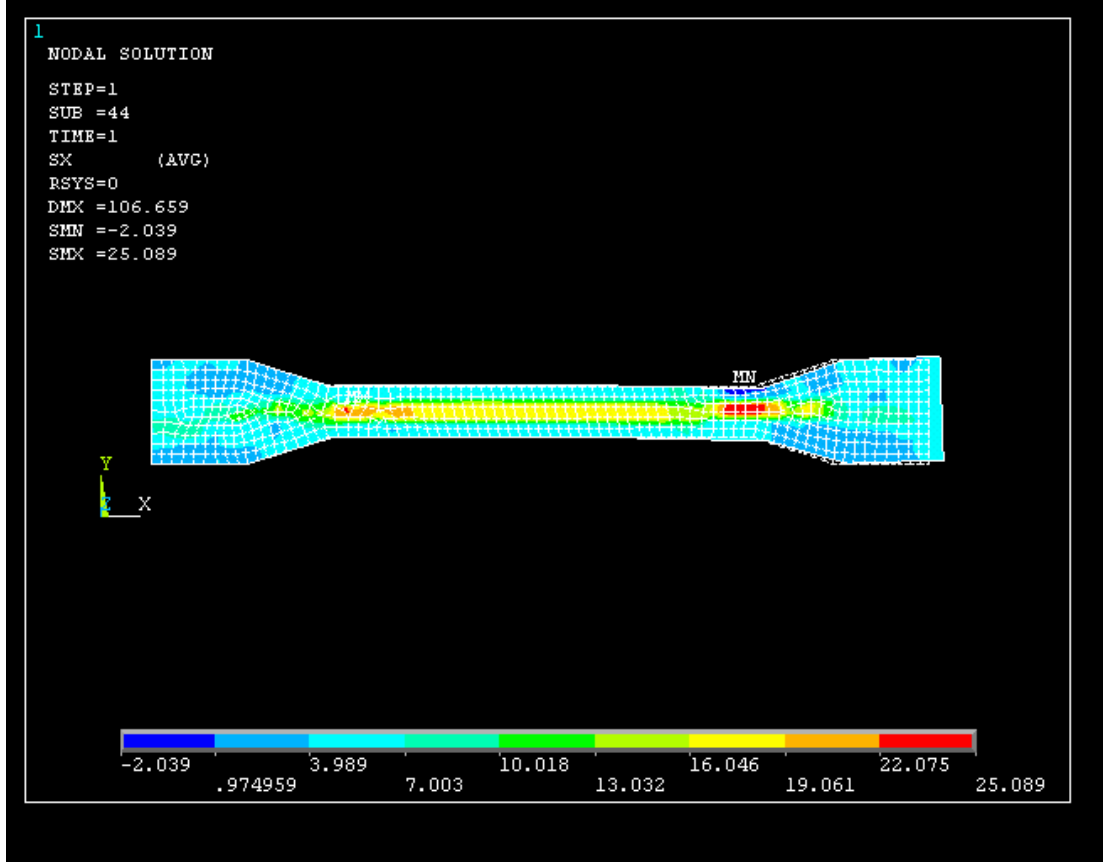
Şekil 4.1. Lifler $[0^{\circ}]_4$ yönelim açısıyla yerleştirildiğinde uygulanan çekme yükü ile modelde oluşan gerilmeler ve deformasyonlar

Şekilden de görülebileceği üzere en yüksek gerilme 22.86 Mpa olmaktadır. Modelin orta kısmında gerilme yoğunluğunun arttığı görülmektedir. Şekildeki deformasyon gerilme yoğunluğunun en yüksek olduğu orta bölgede kesitte daralma ve yükün uygulandığı bölgede uzama şeklinde görülmektedir. Modelde maksimum gerilmenin oluştuğu boğaz bölgesinde oluşmasının nedeni deneylerde kullanılan test numunelerinde ani kesit daralmasını engelliyici tasarım düzenlemelerinin yapılmamasıdır.



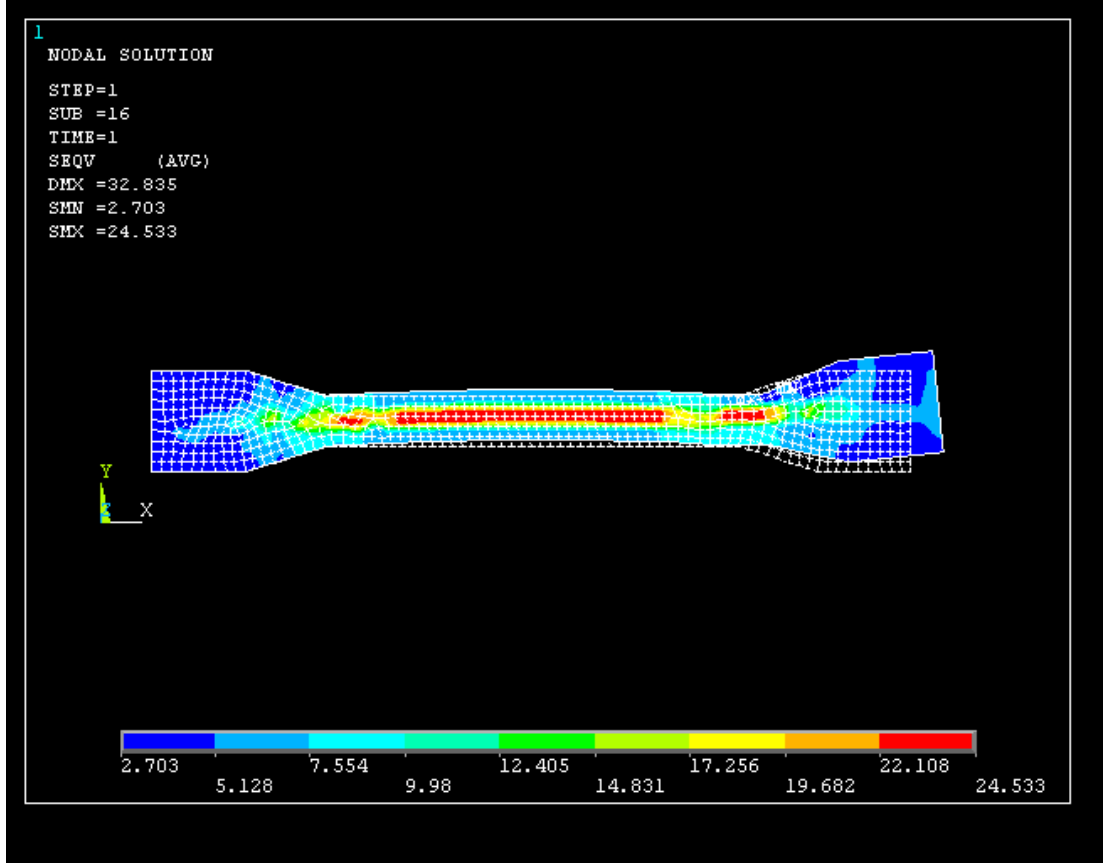
Şekil 4.2. Lifler $[0^\circ/15^\circ]_2$ yönelim açısıyla ve tabakalar simetrik yerleştirildiğinde uygulanan çekme yükü ile modelde oluşan gerilmeler ve deformasyonlar

Şekil incelendiğinde en yüksek gerilme değerinin 25.056 Mpa olarak oluştuğu ve modelin orta bölgede kesit daralması ve yükün uygulandığı bölgede yukarı doğru deformasyona uğradığı ve uzadığı gözlenebilmektedir. Modelin orta bölgesi hariç diğer kısımlarda büyük oranda eşit ve düşük bir gerilme dağılımı görülmektedir.



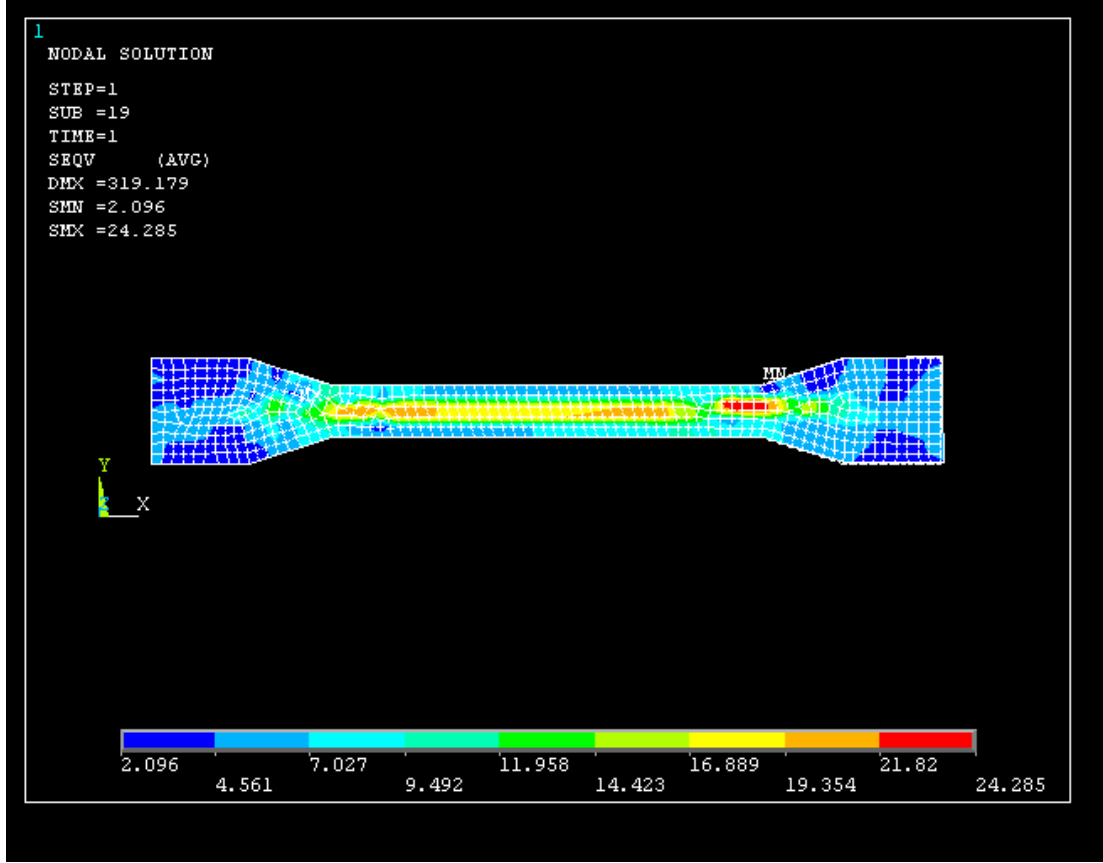
Şekil 4.3. Lifler $[0^\circ/15^\circ]_2$ yönelim açısıyla ve tabakalar anti simetrik yerleştirildiğinde uygulanan çekme yükü ile modelde oluşan gerilmeler ve deformasyonlar

Tabakalar anti simetrik olarak yerleştirildiğinde oluşan maksimum gerilme simetrik dizilimle yerleştirildiğinde oluşan maksimum gerilmeden daha yüksek olmuştur. Modelde en yüksek gerilme değerinin oluştuğu bölgede kesit daralması olduğu görülmektedir.



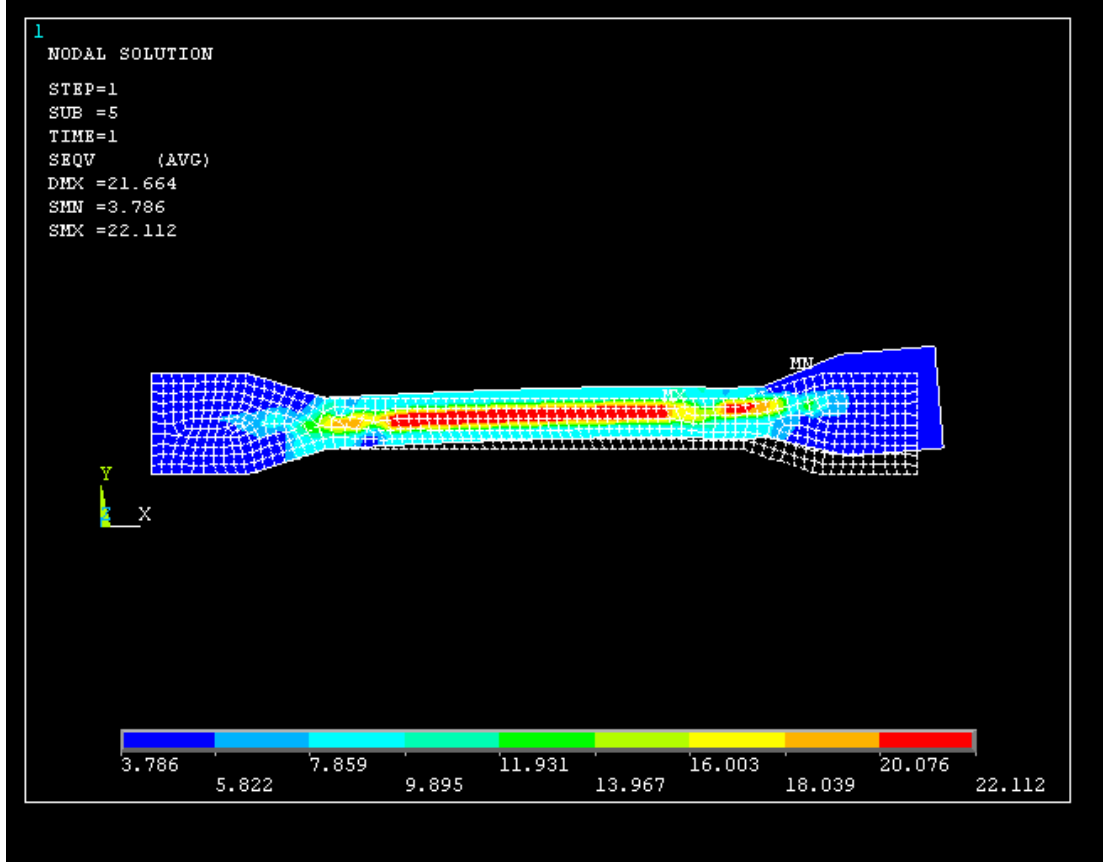
Şekil 4.4. Lifler $[0^\circ/30^\circ]_2$ yönelim açısıyla ve tabakalar simetrik yerleştirildiğinde uygulanan çekme yükü ile modelde oluşan gerilmeler ve deformasyonlar

Şekil incelendiğinde maksimum gerilmenin 24.533 Mpa olduğu görülmektedir. Modelin orta bölgesinde kesitte daralma ve deformasyon ve yükün uygulandığı sağ bölgede uzama ve deformasyon gözlenmektedir.



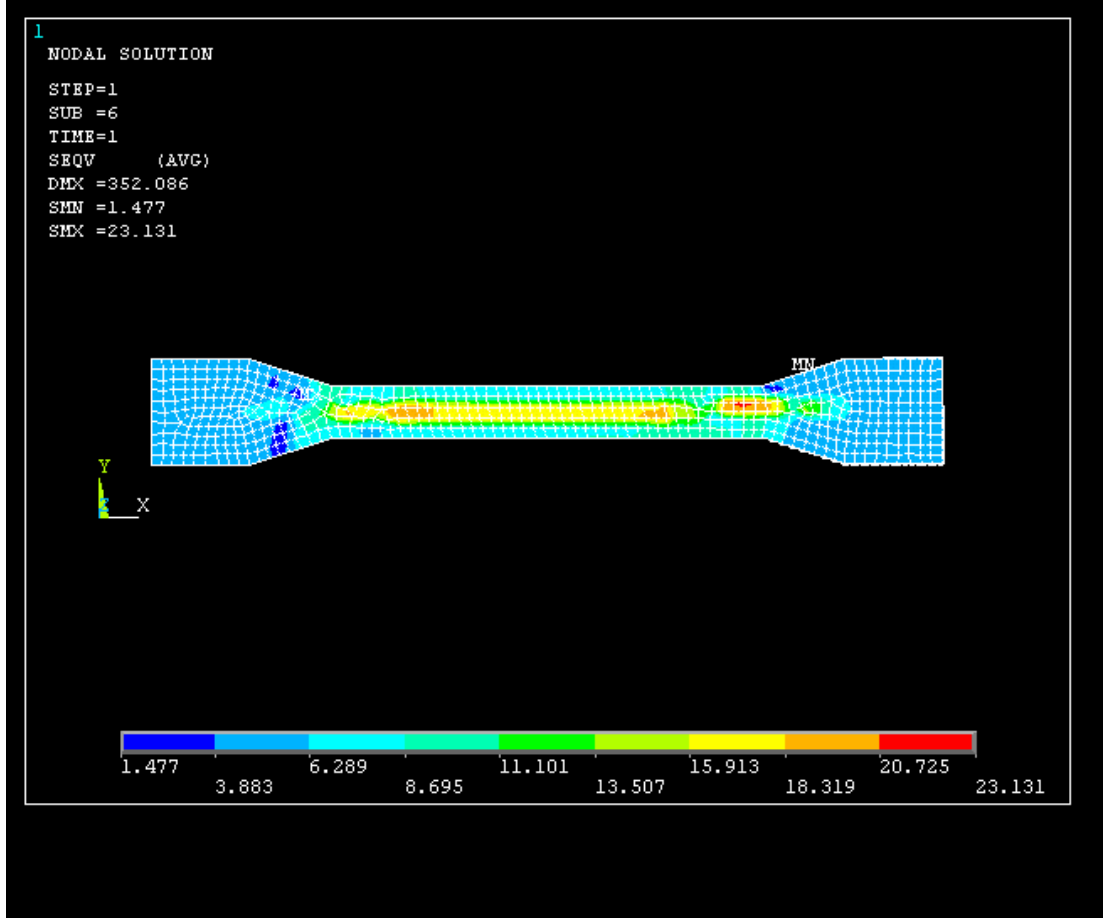
Şekil 4.5. Lifler $[0^\circ/30^\circ]_2$ yönelim açısıyla ve tabakalar anti simetrik yerleştirildiğinde uygulanan çekme yükü ile modelde oluşan gerilmeler ve deformasyonlar

Modelde oluşan en yüksek gerilme değeri 24.285 Mpa olarak oluşmuştur. Modelde herhangi bir deformasyon oluşmamaktadır.



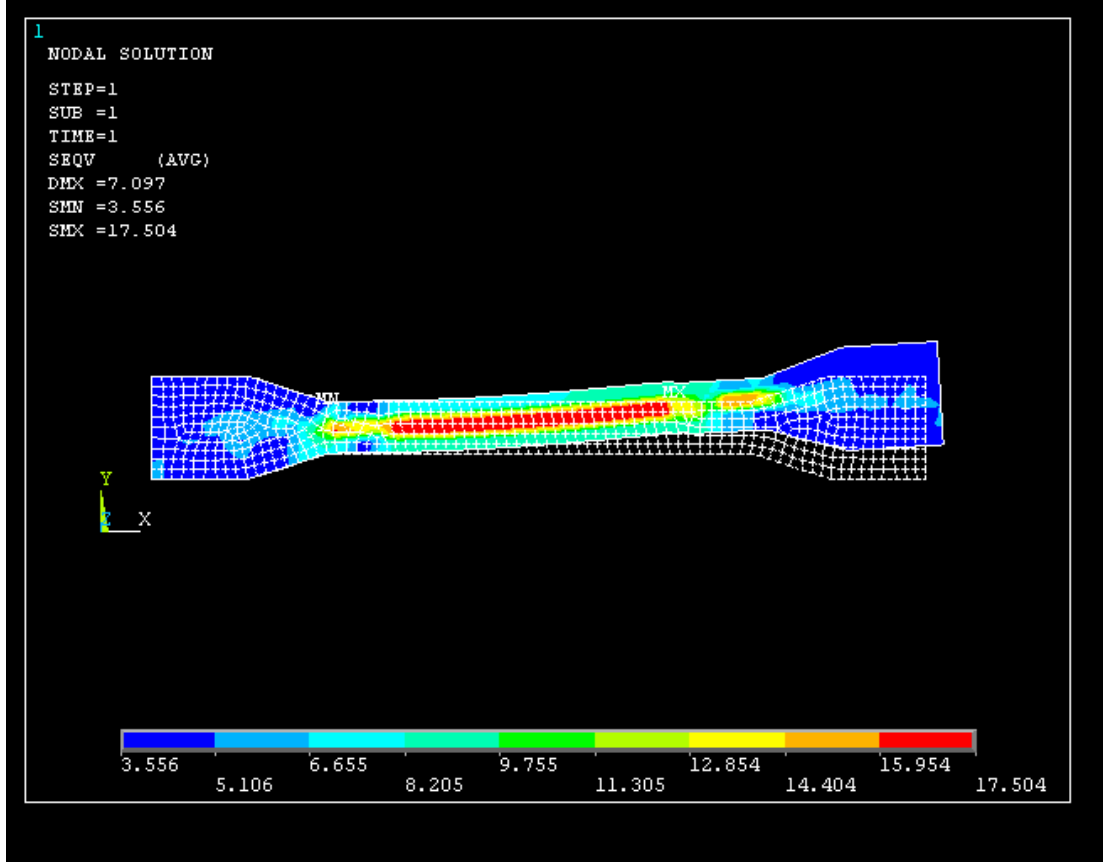
Şekil 4.6. Lifler $[0/45]_2$ yönelim açısıyla ve simetrik yerleştirildiğinde uygulanan çekme yükü ile modelde oluşan gerilmeler ve deformasyonlar

Şekil incelendiğinde en yüksek gerilme değerinin 22.112 Mpa olduğu ve yine orta bölgede oluştuğu görülecektir. Modelin orta bölgesinde gerilmelerin en yüksek olduğu ve yükün uygulandığı sağ uç noktaya doğru şeklin deformasyona uğrayarak modelin uzadığı görülebilmektedir.



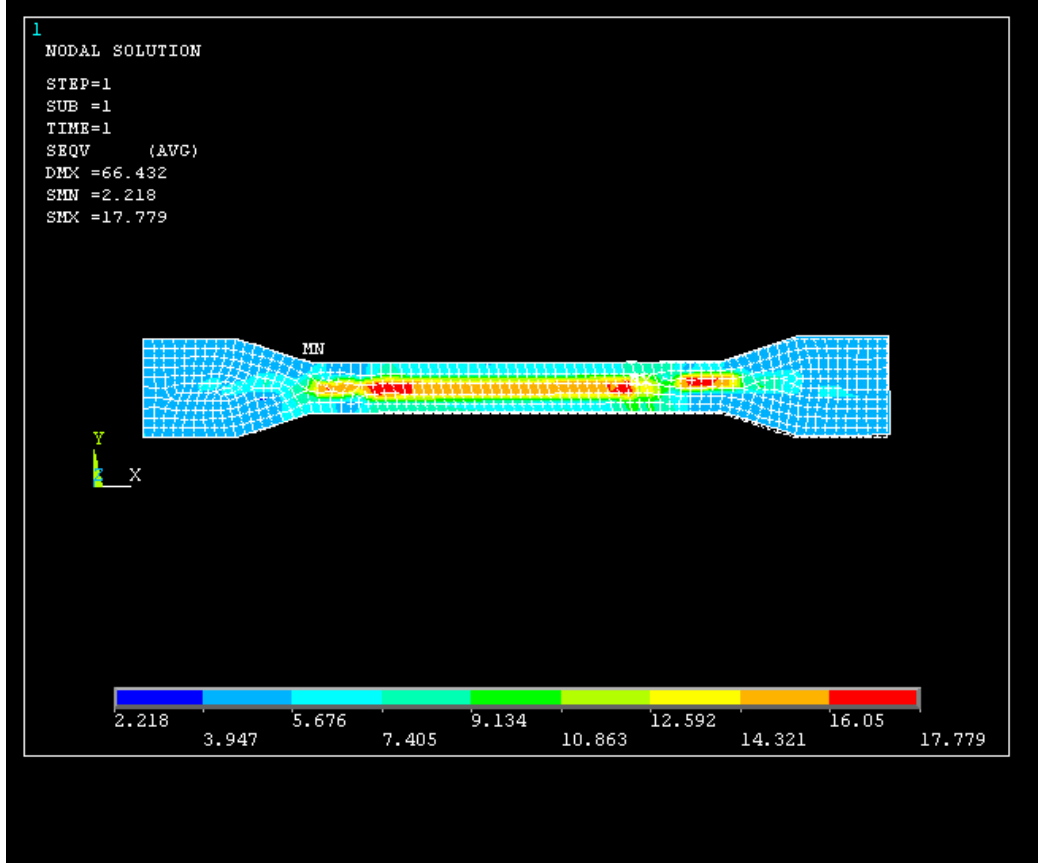
Şekil 4.7. Lifler $[0^{\circ}/45^{\circ}]_2$ yönelim açısıyla ve tabakalar anti simetrik yerleştirildiğinde uygulanan çekme yükü ile modelde oluşan gerilmeler ve deformasyonlar

Modelde oluşan en yüksek gerilme değeri orta bölgede 23.131Mpa olarak oluşmuştur ve aynı yönelim açısının simetrik dizilimine göre daha yüksek bir gerilmenin meydana geldiği gözlenmektedir. Modelde herhangi deformasyon oluşmamıştır.



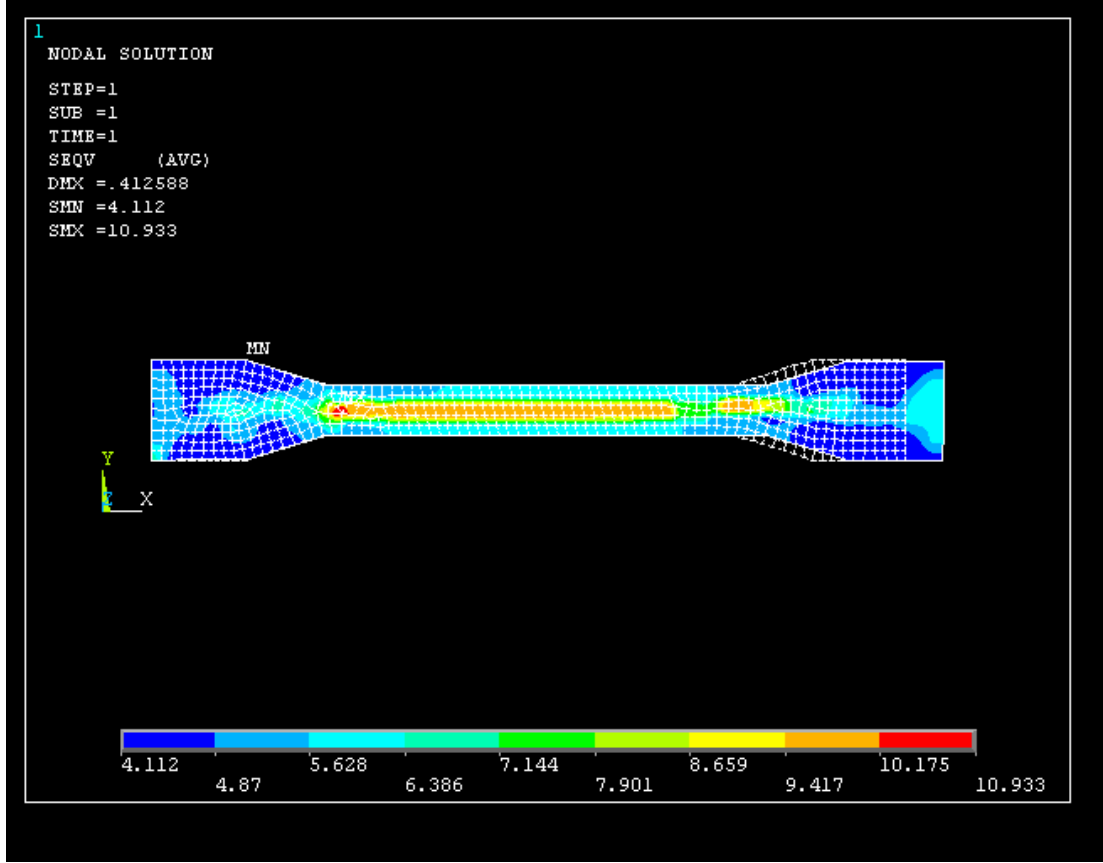
Şekil 4.8. Lifler $[0^\circ/60^\circ]_2$ yönelim açısıyla ve simetrik yerleştirildiğinde uygulanan çekme yükü ile modelde oluşan gerilmeler ve deformasyonlar

Şekil incelendiğinde en yüksek gerilme değerinin 17.504 Mpa olduğu ve orta bölgede oluştuğu görülmektedir. Modelin orta bölgeden başlayan deformasyon yükün uygulandığı uç noktaya doğru uzamaya neden olmuştur.



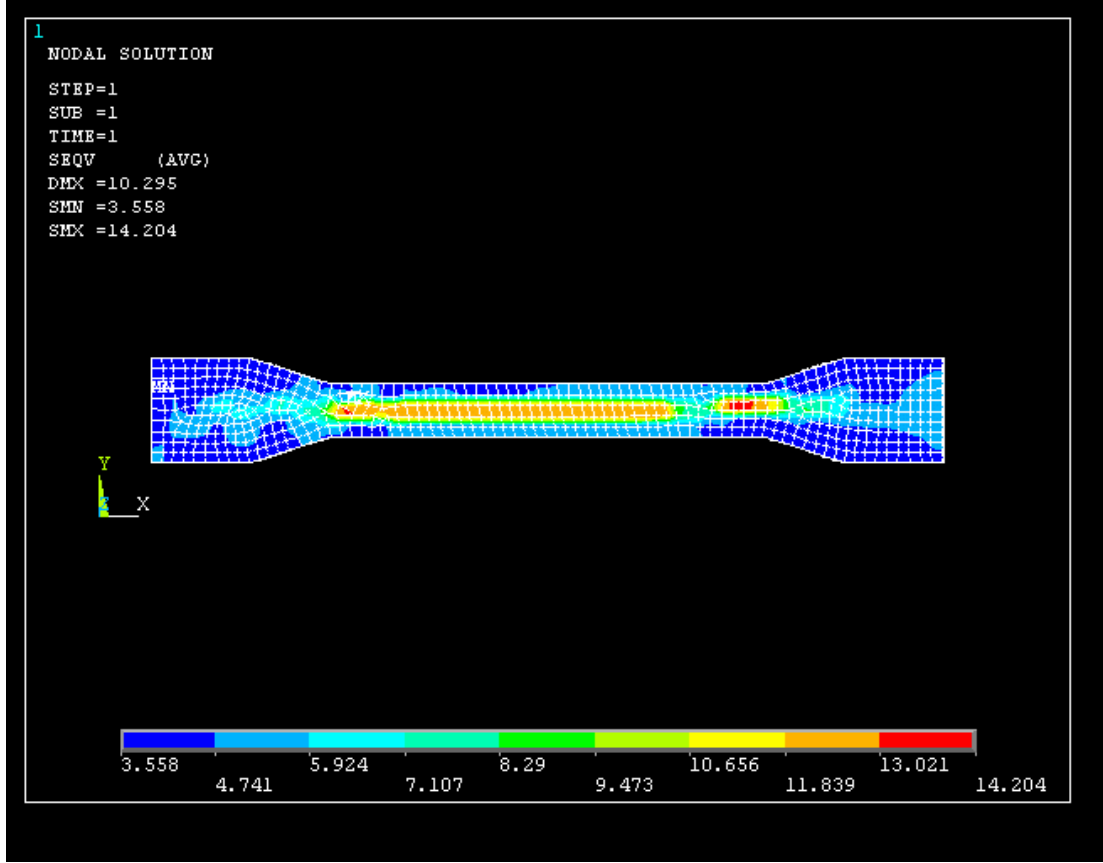
Şekil 4.9. Lifler $[0/60]_2$ yönelim açısıyla ve tabakalar anti simetrik yerleştirildiğinde uygulanan çekme yükü ile modelde oluşan gerilmeler ve deformasyonlar

Tabakalar anti simetrik olarak yerleştirildiğinde aynı açı değerinin simetrik olan yerleştirmesine oranla daha yüksek bir gerilme dağılımı olduğu gözlenmektedir. En yüksek gerilme 17.779 Mpa olarak yine orta bölgede oluşmuştur. Modelde yükün uygulandığı sağ uç noktada bir miktar deformasyon olduğu gözlenmektedir.



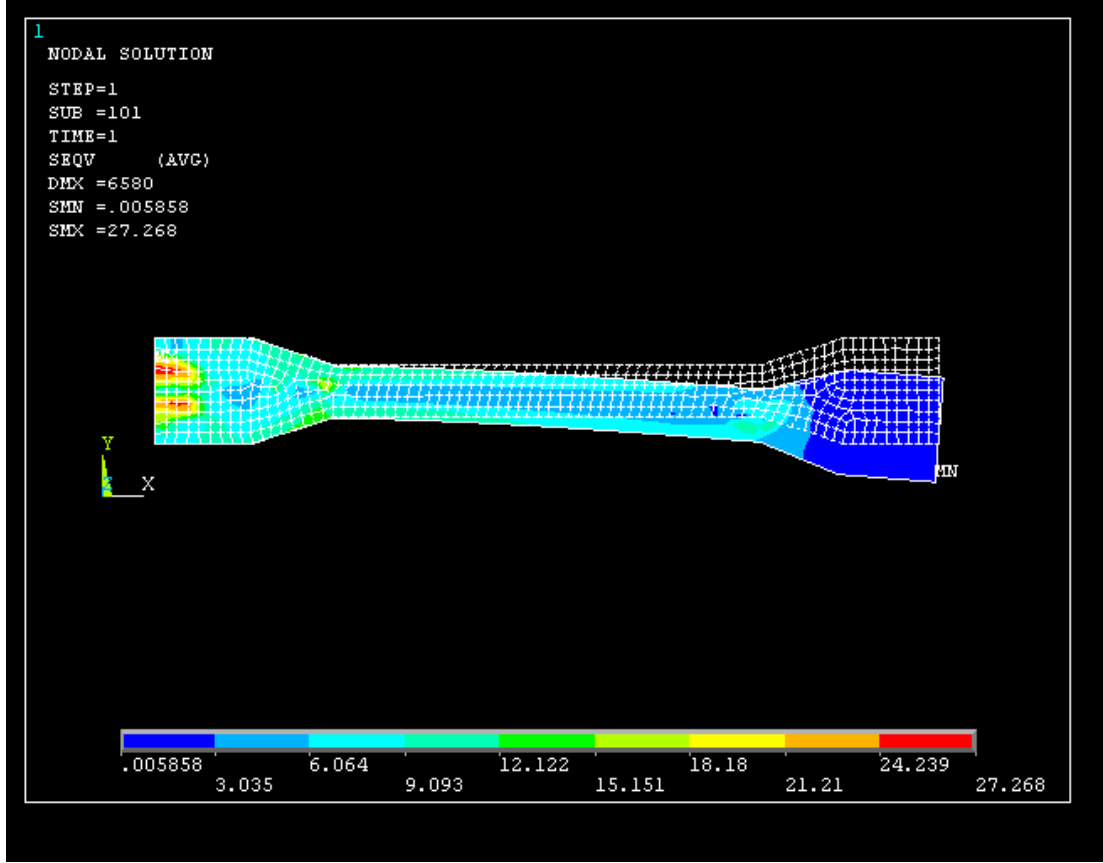
Şekil 4.10. Lifler $[0^{\circ}/90^{\circ}]_2$ yönelim açısıyla ve tabakalar simetrik yerleştirildiğinde uygulanan çekme yükü ile modelde oluşan gerilmeler ve deformasyonlar

Şekil incelendiğinde en yüksek gerilme değerinin 10.933 Mpa olduğu ve en yüksek gerilme değerlerinin modelin orta bölgelerinde olduğu gözlenmektedir. Modelde yükün uygulandığı sağ bölgede kesit daralması ve uzama meydana geldiği görülebilmektedir.



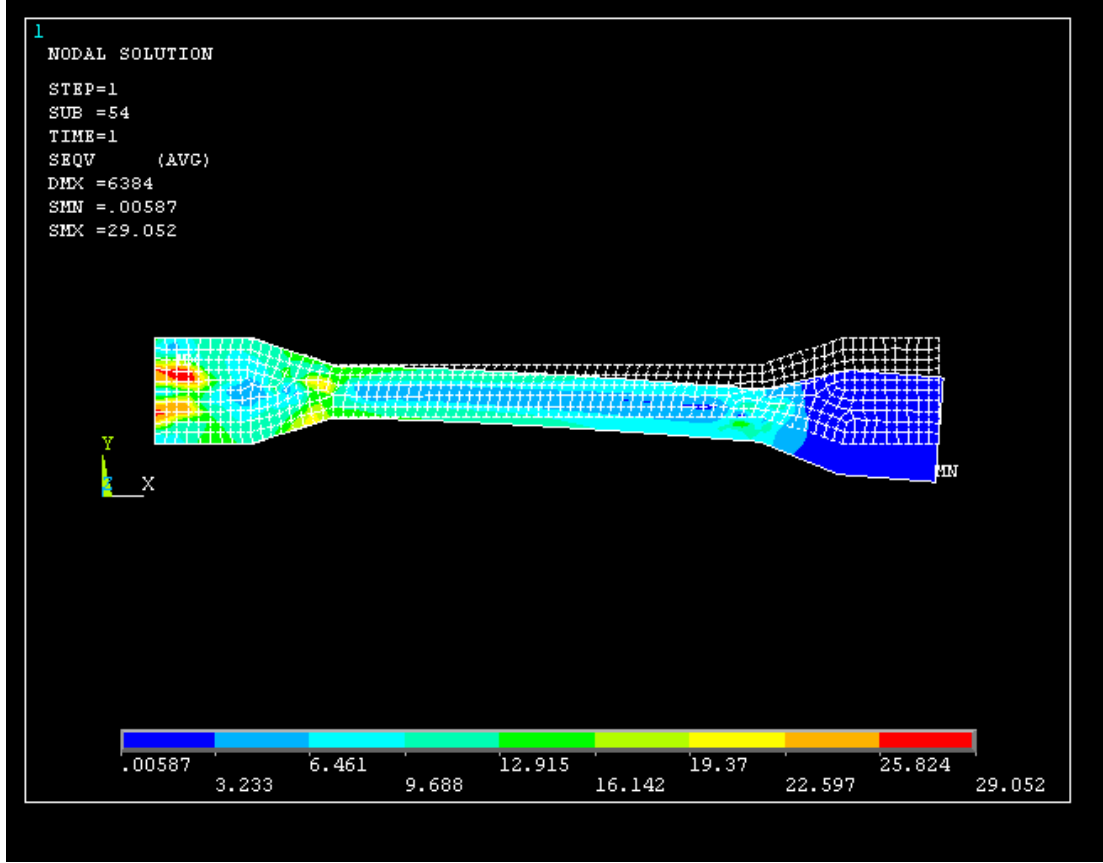
Şekil 4.11. Lifler $[0^\circ/90^\circ]_2$ yönelim açısıyla ve tabakalar anti simetrik yerleştirildiğinde çekme yükü ile modelde oluşan gerilmeler ve deformasyonlar

Tabakalar anti simetrik olarak yerleştirildiğinde simetrik olarak yerleştirilmelerine oranla modeldeki gerilme değerlerinin arttığı gözlenebilmektedir. Modelde meydana gelen en yüksek gerilme değeri 14.204 Mpa dır. Modelde herhangi bir deformasyon oluşmamıştır.



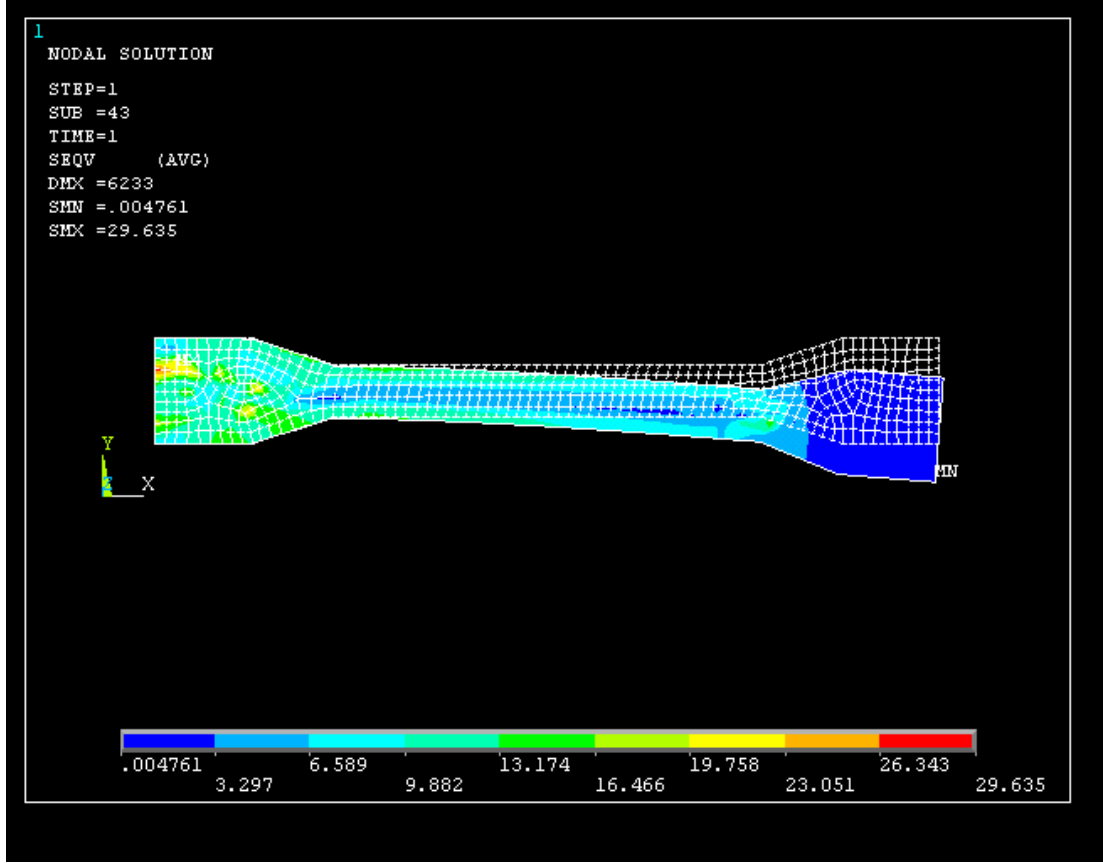
Şekil 4.12. Lifler $[0^{\circ}]_4$ yönelim açısıyla yerleştirildiğinde uygulanan eğme yükü ile modelde oluşan gerilmeler ve deformasyonlar

Şeklin incelenmesiyle en yüksek gerilme değerinin 27.268 Mpa olarak mesnet bölgesinde olduğu görülmektedir. Modelde orta bölgelerden başlayan ve eğme yükünün uygulandığı sağ bölgede sonlanan bir deformasyon gözlenmektedir.



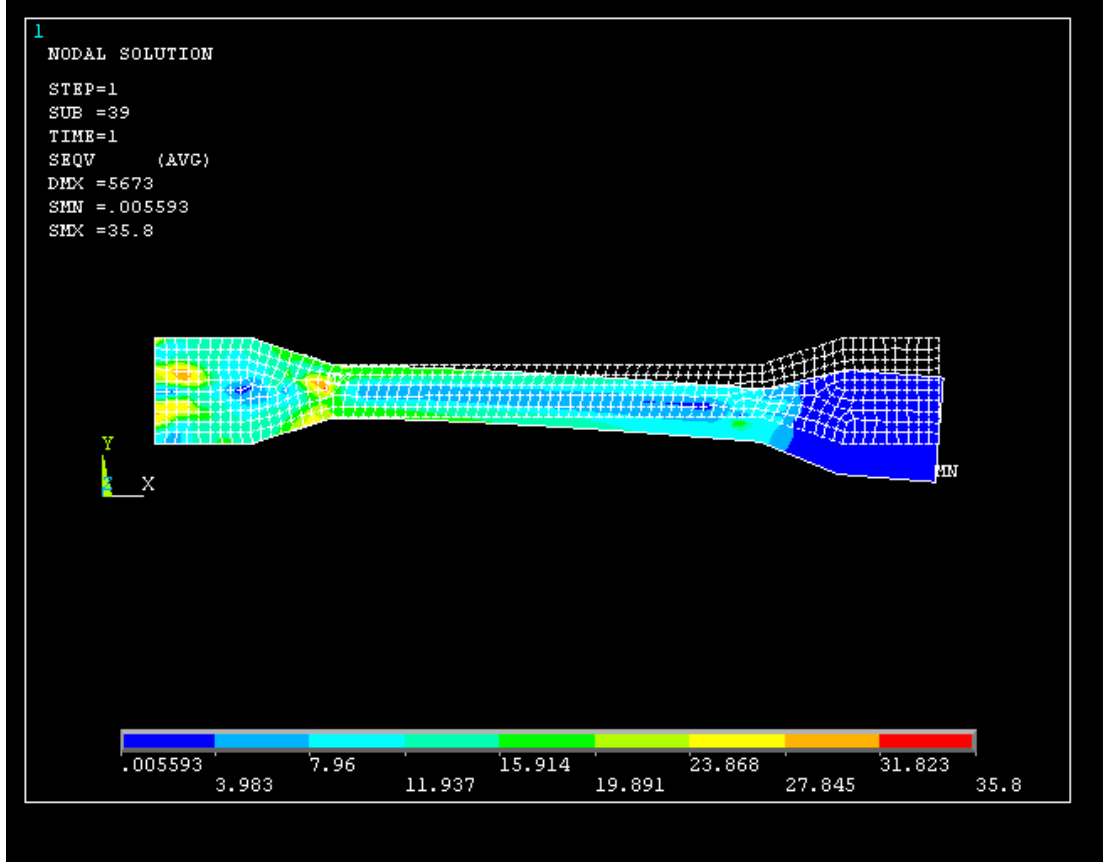
Şekil 4.13. Lifler $[0^{\circ}/15^{\circ}]_2$ yönelim açısıyla ve tabakalar simetrik yerleştirildiğinde uygulanan eğme yükü ile modelde oluşan gerilmeler ve deformasyonlar

Şekil incelendiğinde modelde oluşan en yüksek gerilme değerinin 29.052 Mpa olduğu görülmektedir. Modelde gerilme dağılımı mesnet bölgesinde yoğunlaşırken yükün uygulandığı bölgeye doğru gerilmelerin azaldığı gözlenmektedir.



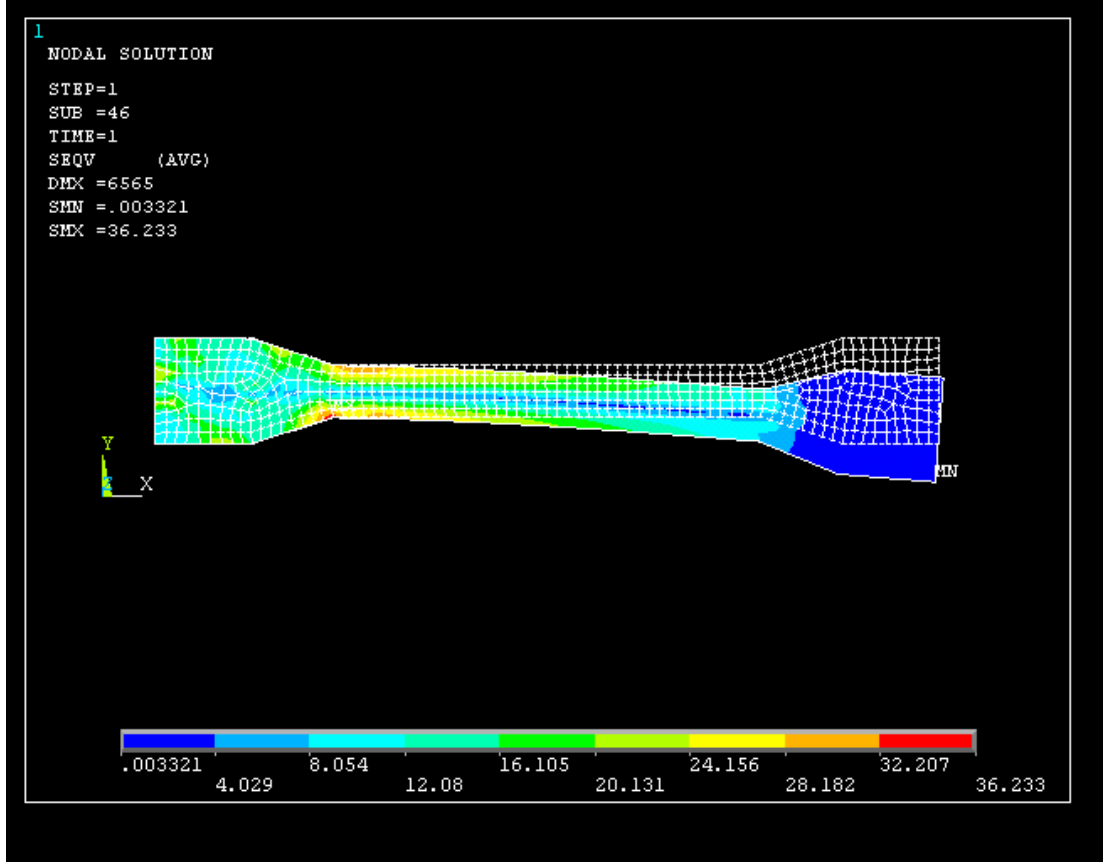
Şekil 4.14. Lifler $[0^{\circ}/15^{\circ}]_2$ yönelim açısıyla ve tabakalaranti simetrik yerleştirildiğinde uygulanan eğme yükü ile malzemede oluşan gerilmeler ve deformasyonlar

Şekil incelendiğinde aynı açı değerinin simetrik yerleştirmesine oranla oluşan en yüksek gerilme değerinin arttığı görülmektedir. Modelde en yüksek gerilme değeri 29.635Mpa olarak mesnet bölgesinde oluşmuştur.



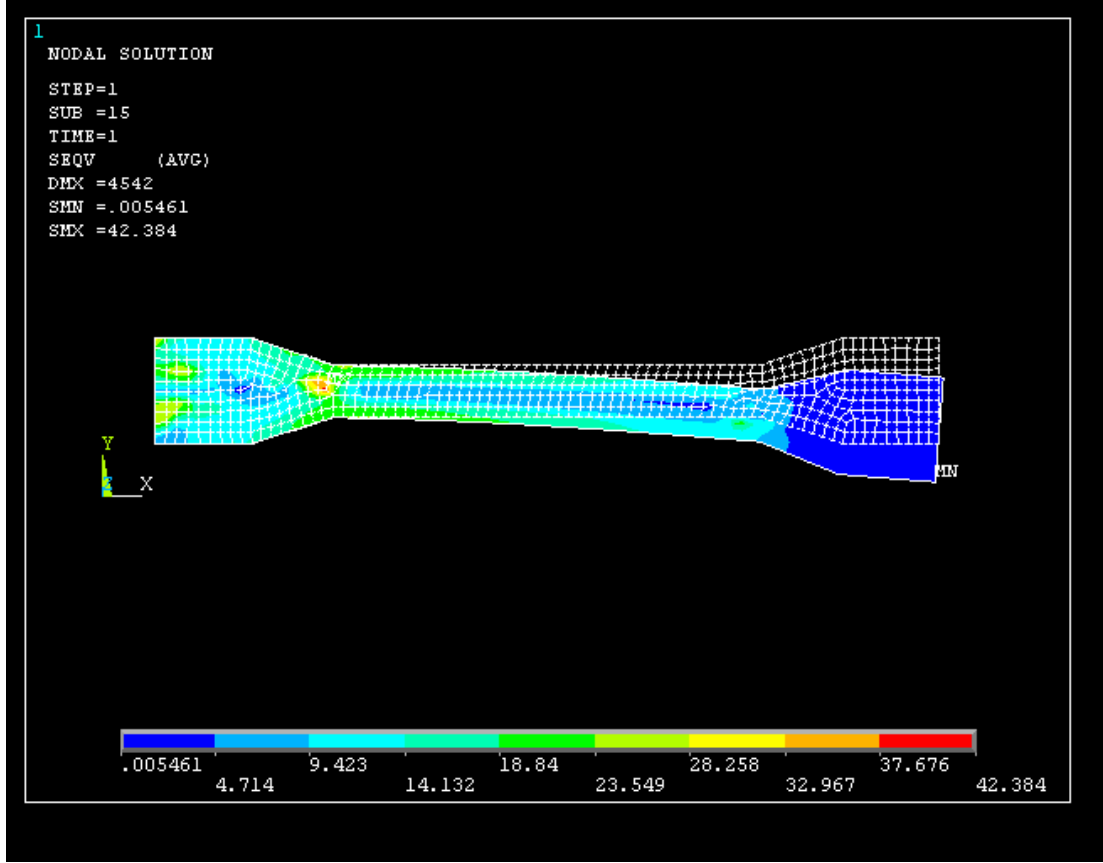
Şekil 4.15. Lifler $[0/30]_2$ yönelim açısıyla ve tabakalar simetrik yerleştirildiğinde uygulanan eğme yükü ile modelde oluşan gerilmeler ve deformasyonlar

Modelde en yüksek gerilme değerlerinin mesnet bölgesinde ve kesit daralmasının başladığı bölgede olduğu görülmektedir. Modelde kesit daralmasının başladığı orta bölgeden itibaren yükün uygulandığı doğrultuya doğru deformasyona uğramaktadır.



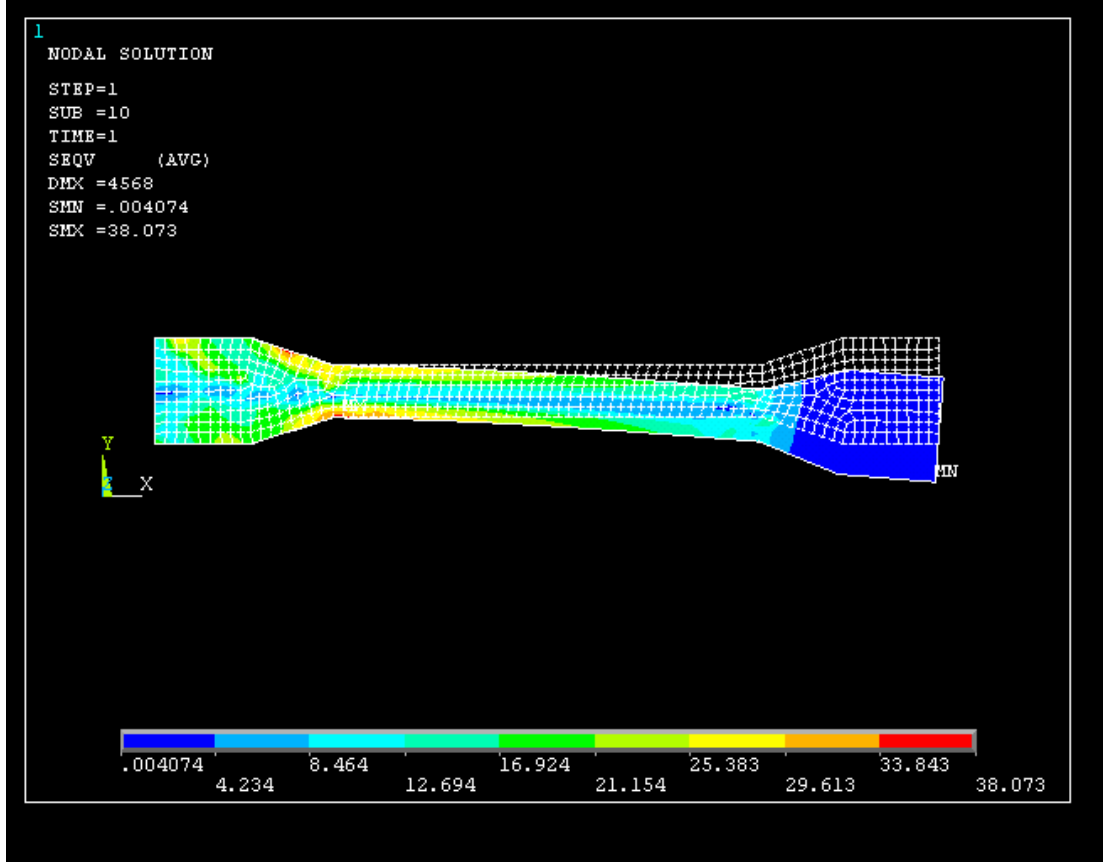
Şekil 4.16. Lifler $[0/30]_2$ yönelim açısıyla ve tabakalar anti simetrik yerleştirildiğinde uygulanan eğme yükü ile modelde oluşan gerilmeler ve deformasyonlar

Şekil incelendiğinde en yüksek gerilmelerin kesit daralmasının başladığı bölgede olduğu görülebilmektedir. Bu bölgeden itibaren model yükü aynı doğrultuda deformasyona uğramıştır.



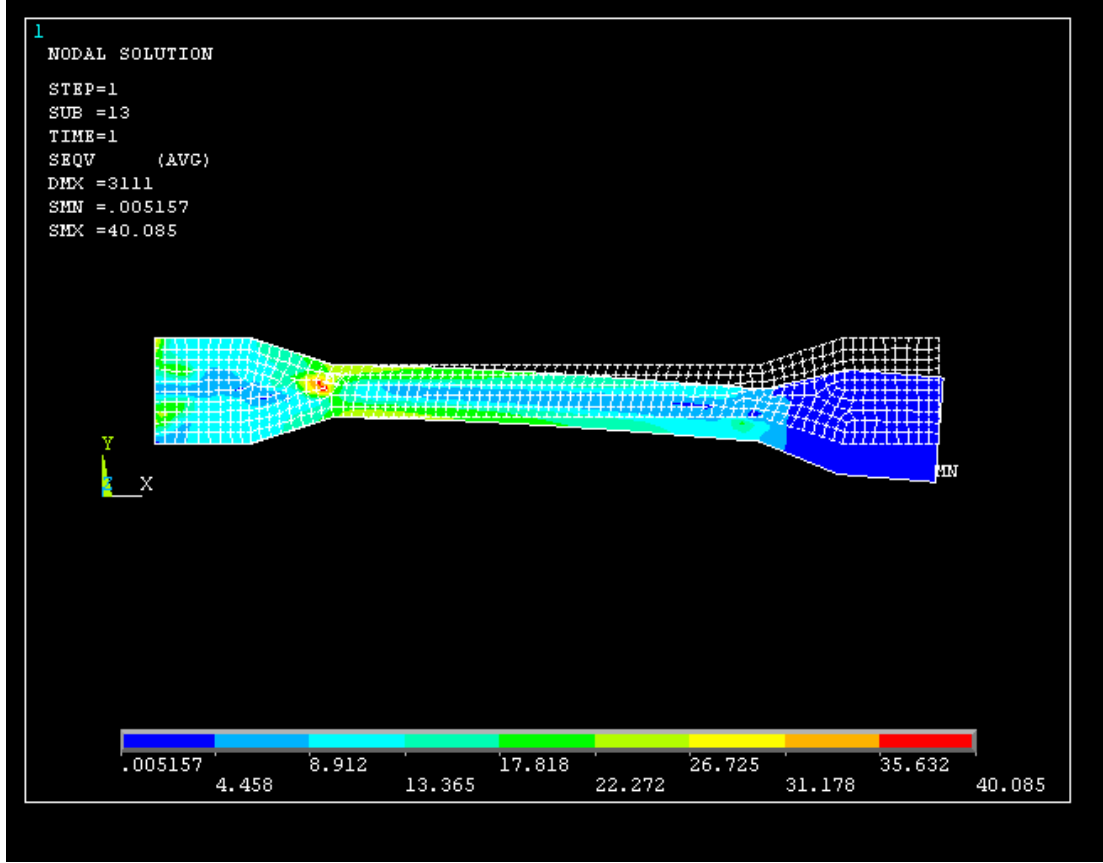
Şekil 4.17. Lifler $[0/45]_2$ yönelim açısıyla ve tabakalar simetrik yerleştirildiğinde uygulanan eğme yükü ile modelde oluşan gerilmeler ve deformasyonlar

Şekil incelendiğinde modelde meydana gelen en yüksek gerilme değerinin 42.384 Mpa olduğu ve kesit daralmasının başladığı sol bölgede meydana geldiği görülmektedir. Bu bölgeden başlayarak modelde deformasyonlar oluştuğu görülebilmektedir.



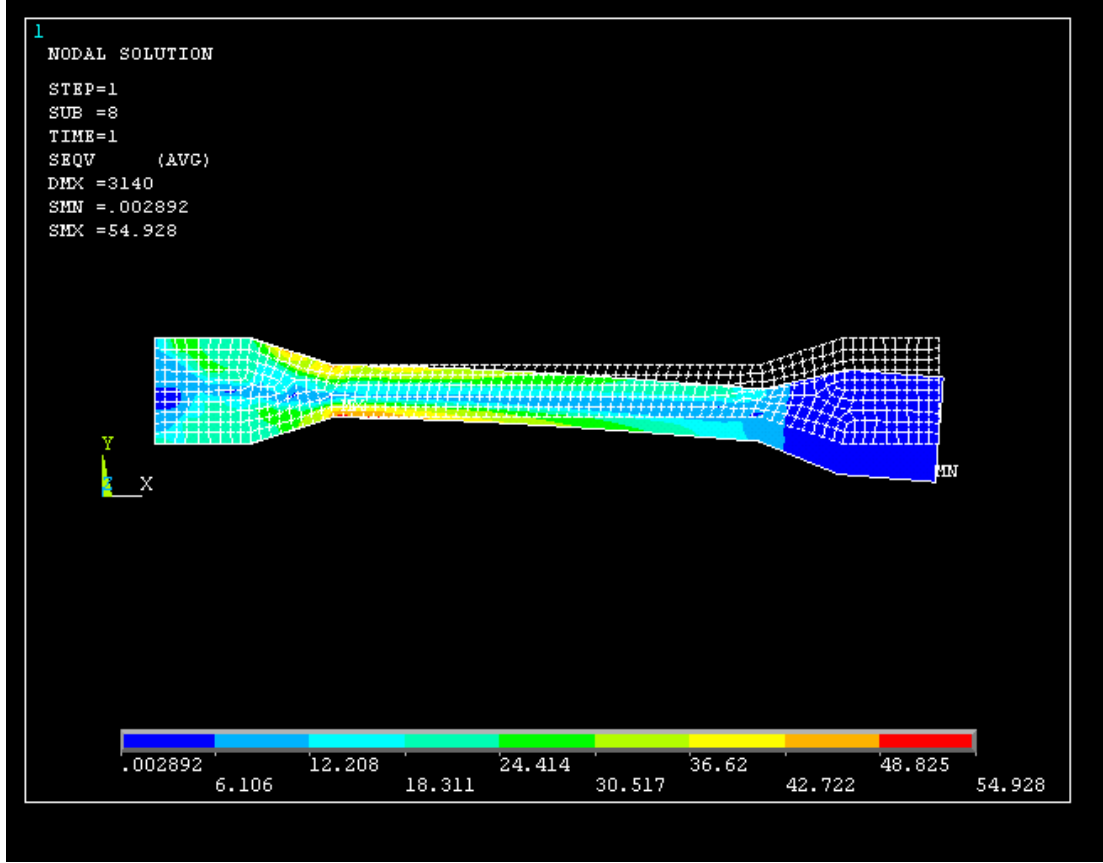
Şekil 4.18. Lifler $[0/45]_2$ yönelim açısıyla ve tabakalar anti simetrik yerleştirildiğinde uygulanan eğme yükü ile modelde oluşan gerilmeler ve deformasyonlar

Şekil incelendiğinde en yüksek gerilme değerinin 38.073 Mpa olarak kesit daralmasının başladığı sol bölge kenarlarında olduğu görülmektedir. Bu bölgeden başlayarak modelde kesit daralması ve uygulanan yük ile aynı doğrultuda deformasyonlar olduğu gözlenmektedir.



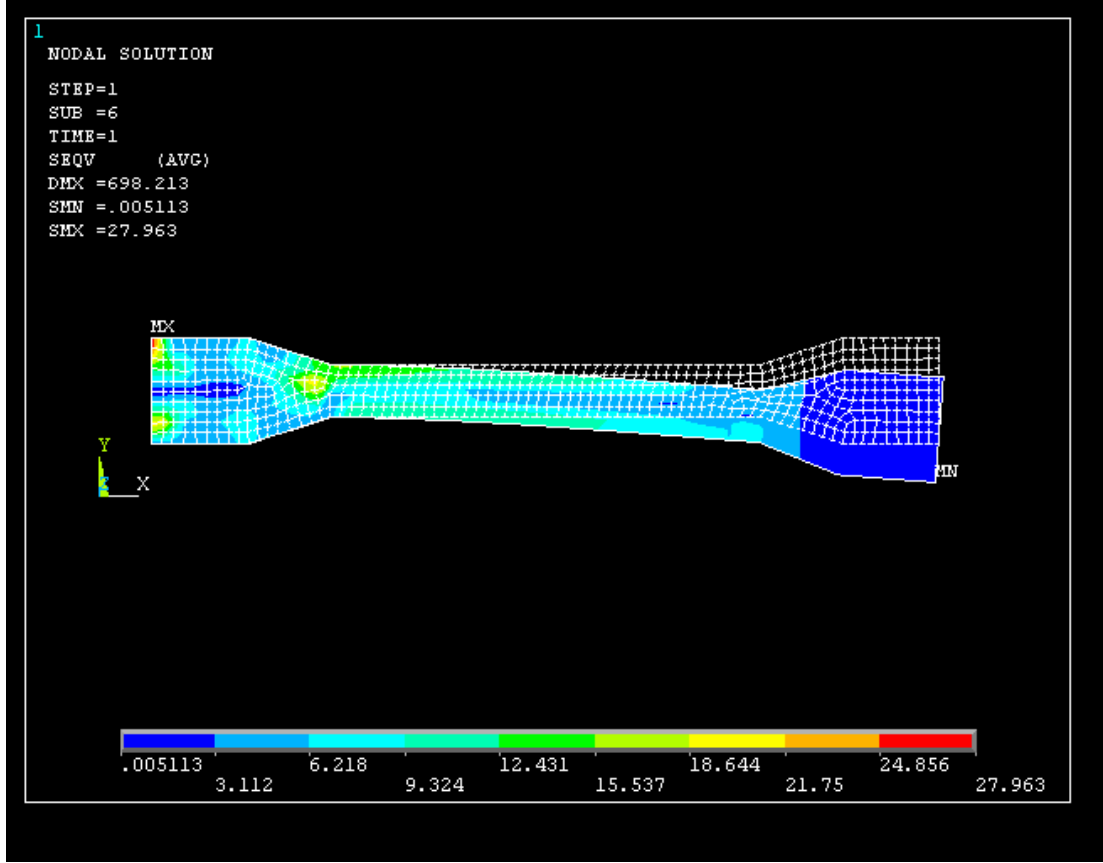
Şekil 4.19. Lifler $[0^{\circ}/60^{\circ}]_2$ yönelim açısıyla ve tabakalar simetrik yerleştirildiğinde uygulanan eğme yükü ile modelde oluşan gerilmeler ve deformasyonlar

Şekil incelendiğinde kesit daralmasının başladığı bölgede en yüksek gerilme değeri olan 40.085 Mpa oluştuğu görülmektedir.



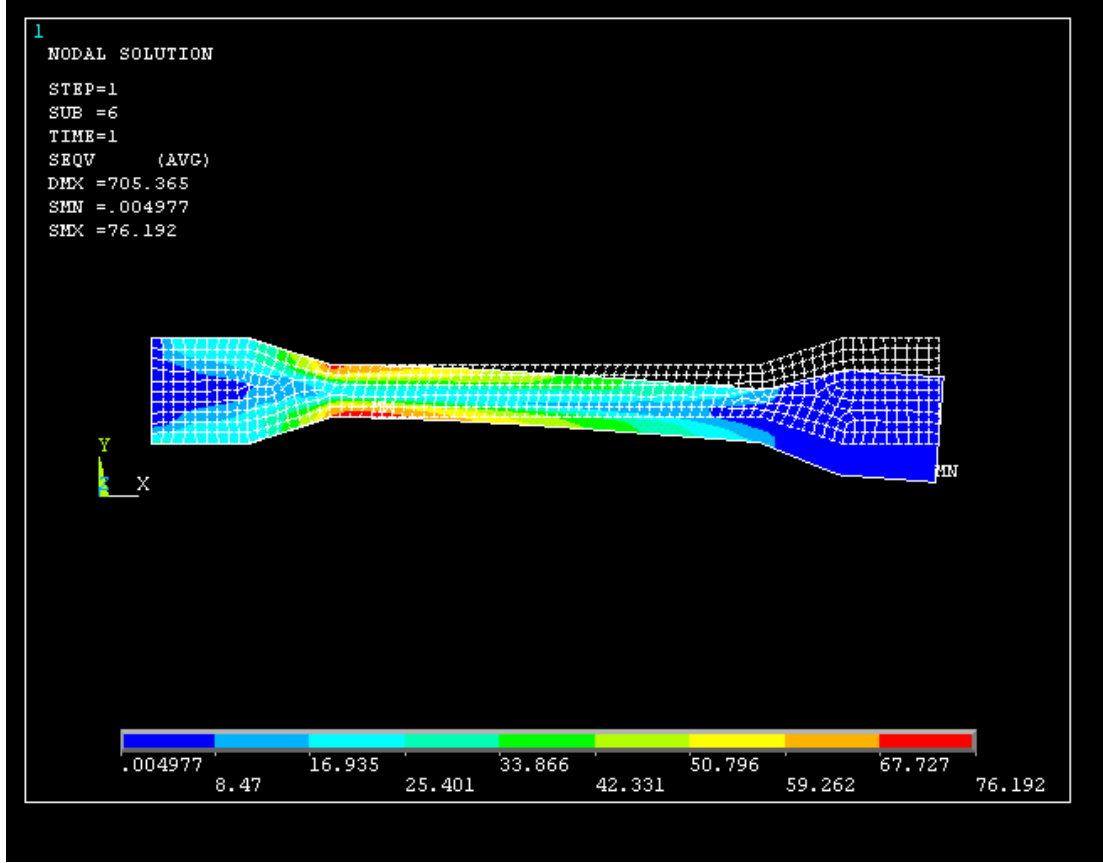
Şekil 4.20. Lifler $[0/60]_2$ yönelim açısıyla ve tabakalar anti simetrik yerleştirildiğinde uygulanan eğme yükü ile modelde oluşan gerilmeler ve deformasyonlar

Şekil incelendiğinde en yüksek gerilme değerlerinin kesit daralmasının başladığı sol bölge kenarlarında oluştuğu görülmektedir. Model uygulanan yük ile aynı doğrultuda deformasyona uğramaktadır.



Şekil 4.21.Lifler $[0^{\circ}/90^{\circ}]_2$ yönelim açısıyla ve tabakalar simetrik yerleştirildiğinde uygulanan eğme yükü ile modelde oluşan gerilmeler ve deformasyonlar

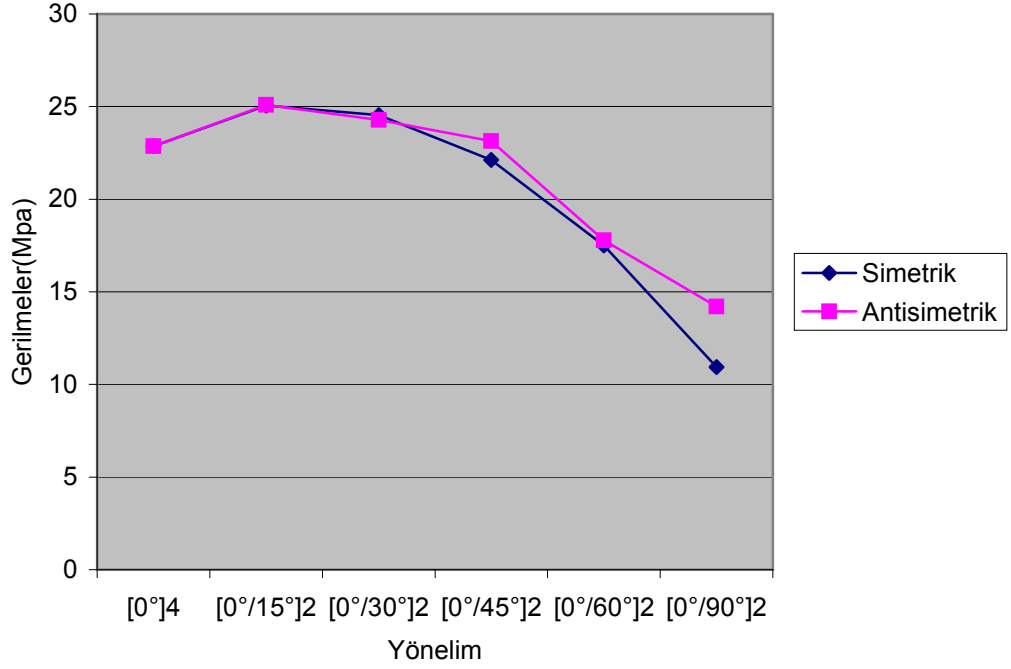
Şekil incelendiğinde en yüksek gerilme değerinin 27.963 Mpa olarak mesnet bölgesinde olduğu görülmektedir. Model yine uygulanan eğme yükü ile aynı doğrultuda deformasyona uğramaktadır.



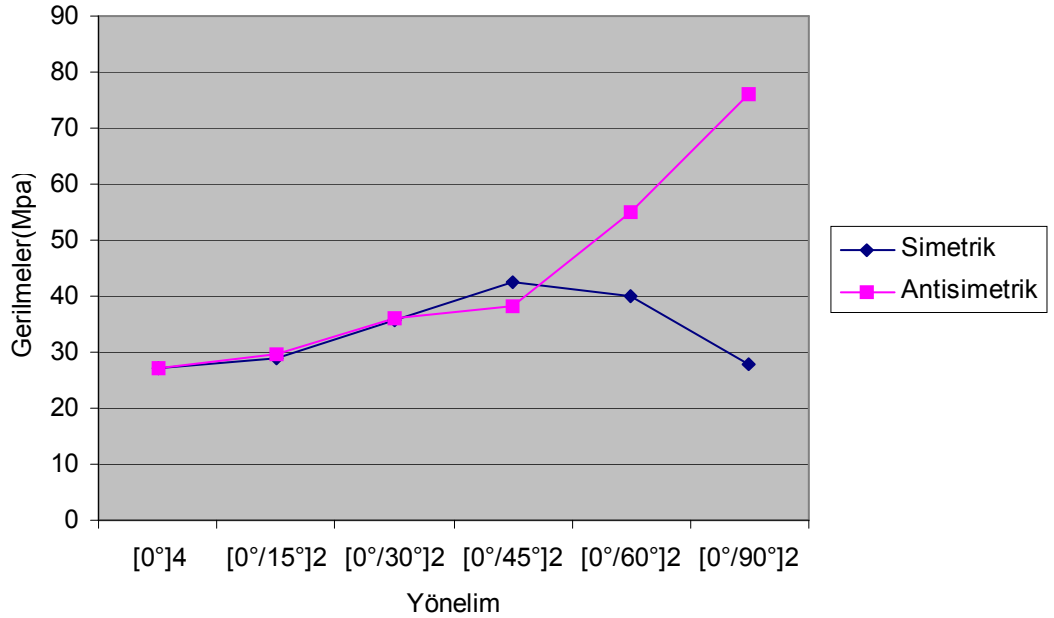
Şekil 4.22. Lifler $[0^\circ/90^\circ]_2$ yönelim açısıyla ve tabakalar anti simetrik yerleştirildiğinde eğme yükü ile malzemede oluşan gerilmeler ve deformasyonlar

Şekil incelendiğinde en yüksek gerilme değerinin 76.192 olduğu ve kesit daralmasının başladığı bölge kenarlarında olduğu görülmektedir. Aynı açı değerinin simetrik yerleştirmesine oranla oluşan gerilmenin oldukça yüksek olduğu görülmektedir.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER



Şekil 5.1. Uygulanan çekme yükü karşısında tabakalar anti simetrik ve simetrik olarak yerleştirildiğinde gerilme değerlerinin yönelim açısına göre değişimi



Şekil 5.2. Uygulanan eğme yükü karşısında tabakalar anti simetrik ve simetrik olarak yerleştirildiğinde gerilme değerlerinin yönelim açısına göre değişimi

Yapılan çekme testi analizlerinde tabakaların simetrik ve anti simetrik düzende yerleştirilmelerinde en düşük gerilme değeri lifler $[0^\circ/90^\circ]_2$ açı değeriyle yerleştirildiğinde, en yüksek gerilim değeri ise liflerin $[0^\circ/15^\circ]_2$ açı değeriyle yerleştirilmesinde ortaya çıkmıştır. Anti simetrik yerleştirmede yönelim açı değeri büyüdükçe gerilim değerinin düştüğü tespit edilmiştir. Yapılan analiz sonunda, tabakaların simetrik ve anti simetrik düzenlerde yerleştirmelerinde oluşan en belirgin fark anti simetrik düzende modelin daha rijit bir yapıya sahip olmasıdır.

Yapılan eğme testi analizlerinde ise tabakaların simetrik yerleştirme düzeninde en yüksek gerilim değeri liflerin $[0^\circ/45^\circ]_2$ yönelim açı değeriyle yerleştirilmelerinde en düşük gerilim değeri ise $[0^\circ]_4$ açı değerinde elde edilmiştir. Tabakalar anti simetrik düzende yerleştirildiklerinde en yüksek gerilim değeri $[0^\circ/90^\circ]_2$, en düşük gerilim değeri ise $[0^\circ]_2$ yönelim açı değerinde elde edilmiştir. Tabakaların anti simetrik düzende yerleştirilmesinde açı değeri büyüdükçe gerilim değerinin arttığı tespit edilmiştir.

Analizlerde en iyi sonuçlar çekme testi analizlerine göre $[0^\circ/90^\circ]_2$ yönelim açı değerinde ve simetrik yerleştirme düzeninde elde edilirken, eğme testi analizlerine göre ise $[0^\circ]_4$ açı değerinde elde edilmiştir. Bu tabaka düzenleri ve lif yönelim açılarında malzeme en iyi mukavemet özelliklerine sahip olacaktır. Malzemenin tasarım aşamalarında malzeme çalışma ortamına göre çekmeye maruz kalacaksa $[0^\circ/90^\circ]_2$ yönelim açısı ve simetrik yerleştirme düzeni., eğme kuvvetine maruz kalacak ise $[0^\circ]_4$ açı değeri ile tasarlanması, malzemenin bu yükler karşısında daha iyi mukavemet özelliklerine sahip olmasını sağlayacaktır. Ancak farklı yönlerden kuvvete maruz kalabilecek malzemeler için farklı çalışmalar uygulanan kuvvetin yönüne bağlı olarak genişletilmelidir.

KAYNAKLAR

- [1] Vasiliev, V.V., Morozov, E.V. “Mechanics and Analysis of Composite Materials” Elsevier, 412s., (2001)
- [2] Mazumdar, S.K. “Composites Manufacturing” CRC Press, 416s., (2002)
- [3] Ashori,A. “Wood-plastic composites as a promising green-composites for automotive industries!” Bioresource Technology **99** s: 4661-4667, (2008)
- [4] Marsh,G. “Next Step for Automotive Materials” Materialstoday s: 36-43, (2003)
- [5] Joshi, S.V., Drzal, L.T., Mahanty, A.K., Arora, S. “Are Natural Fiber Composites Environmentally Superior to Glass Fiber Reinforced Composites?” Science Direct Composites:Part **A 35** s: 371-376, (2004)
- [6] Karus, M, Ortman, S., Gahle,C., Pendarovski, C. “Use of Natural Fibers in Composites for the German Automotive Production 1999 till 2005” Nova Institut (2006)
- [7] Karus, M, Kaup, M. “Natural fibres in the european automotive industry” Journal of Industrial Hemp **Vol 7** s: 119-131, (2002)
- [8] Mugurno, A. “Vegetal fibres in automotive interior components” 2nd International Wood and Natural Fibre Composites Symposium” June 28-29, Kassel/Germany, (1999)
- [9] D’Almeida, J.R.M. “Analysis of cost and flexural strenght performance of natural fiber-polyester composites” Polym.-Plast.Techol.Eng. **40 (2)** s: 205-215, (2001)
- [10] Bledzki, A.K, Faruk, O., Sperber, V.E. “Cars from bio-fibres” Macromol. Mater. Eng. **291** s: 449-457, (2006)
- [11] Al-Qureshi., H.A “The Use of Banana Fibre Reinforced Composites for the Development of a Truck Body” 2nd International Wood and Natural Fibre Composites Symposium June 28-29, Kassel/Germany, (1999)
- [12] Schöesser, T. “Natural Fiber Reinforced Automotive Parts” Natural Fibers and Composites Kluwert Academic Publishers **Chapter 15** s: 275-285, (2004)

- [13] Santos, P.A, Giriolli J.C, Amarasekera J., Moraes G. (4 Eylül 2009) “Natural fibers plastic composites for automotive applications” http://www.speautomotive.com/SPEA_CD/SPEA2008/c.htm Erişim [5/4/2009]
- [14] Altınışık, F. “Doğal Kompozit Malzemelerin Otomotiv Sanayinde Kullanılması” Yüksek Lisans Tezi, Mersin Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Mersin ,62s., (2007)
- [15] Brouwer, W.D. (4 Eylül 2009) “Natural Fibre Composites in Structural Components: Alternative Applications for Sisal?” Delft University, Erişim: <http://www.fao.org/docrep/004/Y1873E/y1873e0a.htm> [19 Eylül 2008]
- [16] Savaşçı, T., Uyanık, N., Akovalı, G. “Plastikler ve Plastik Teknolojisi”, Çantay Kitabevi, İstanbul, 500 s., (1998)
- [17] Şahin,Y “Kompozit Malzemelere Giriş” Seçkin Yayınevi, Ankara, 424s., (2006)
- [18] Kozłowski, R, Władyka–Przybylak, M “Uses of Natural Fiber Reinforced Plastics” Natural Fibers and Composites Kluwert Academic Publishers **Chapter14** s:249-271, (2004)
- [19] Maleque, M.A., Belal, F.Y., Sapuan, S.M., “Mechanical Properties Study of Pseudo-Stem Banana Fiber Reinforced Epoxy Composite” The Arabian Journal For Science andEngineering **Volume 32** (Number 2B), (2007)
- [20] Wambua, P., Ivens , J., Verpost, I. “Natural fibres:can they replace glass in fibre reinforced plastics?” Composites Science and Technology **63** s: 1259-1264, (2003)
- [21] Mishra, S., Naik, J.B., Patil, Y.P “The compatibilising effect of maleic anhydride on swelling and mechanical properties of plant-fiber-reinforced novalac composites” Composites Science and Technology **60** s: 1729-1735. (2000)
- [22] Herrera-Estrada, L., Pillay, S., Viadya, U. (4 Eylül 2009) “Banana fiber composites for automotive and transportation applications” http://www.speautomotive.com/SPEA_CD/SPEA2008/c.htm Erişim [5/4/2009]

- [23] Joseph,S., Sreekala, M.S., Oomen, Z., Koshy, P., Thomas, S. “A comprasion of the mechanical properties of phenol formaldehyde composites reinforced with banana fibres and glass fibres” *Composites Science and Technology* **62** s: 1857-1863, (2002)
- [24] Junior, C.Z.P, Carvalho, L.H, Fonseca V.M., Monteiro, S.N., Almeda, J.R.M. “Analysis of the Tensile Strenght of Polyester/hybrid Ramie Cotton Fabric Composites” *Polymer Testing* **23** s:131-135, (2004)
- [25] Ratna, Prasad A.V., Mohana, Rao K., Nagasrinivasulu, G. “Mechanical properties of banan empty fruit bunch fibre reinforced polyester composites” *Indian Journal of Fibre&Textile Research* **Vol.34** s:.162-167, (2009)
- [26] Waifielate, A., Abiola, O. (4 Eylül 2009) “Mechanical property evolution of coconut fibre” *Blekinge Inatitute of Technology Karlskrona, Sweden* 60s, (2008)
[http://www.bth.se/fou/cuppsats.nsf/all/f10aa009a0ee3426c1257443004ce2f8/\\$file/BTH_AMT_EX_2008D05_SE%5B1%5D.pdf](http://www.bth.se/fou/cuppsats.nsf/all/f10aa009a0ee3426c1257443004ce2f8/$file/BTH_AMT_EX_2008D05_SE%5B1%5D.pdf) Erişim[19/5/2009]
- [27] Schuh, T.G. (4 Eylül 2009) “Renewable Materials for Automotive Applications” Daimler-Chrysler AG, Stuttgart www.ienica.net/fibersseminar/schuh.pdf Erişim [15 Haziran 2006]
- [28] Milewski, J. V., Katz, H. S. “Handbook of Reinforcements for Plastics”, VanNostrand Reinhold Company, New York, s:103- 108, (1998)
- [29] Halpin, J. “Primer On Composite Materials Analysis” Technomic Publishing Basel 226s., (1992)
- [30] Moaveni, S. “Finite Element Analysis; Theory and Application with Ansys” Pearson Prentice Hall 850s., (2003)
- [31] Arıkan, S.,(4 Eylül 2009)“Sonlu elemanlar metodunun mühendislikte uygulamaları” <http://arsiv.mmo.org.tr/pdf/10944.pdf> Erişim [30 Haziran 2008]
- [32] http://en.wikipedia.org/wiki/Natural_fiber Erişim [30 Haziran 2008]
- [33] http://www.muz.gen.tr/yayin/MUZ-AKOC_2005_.pdf Erişim[1 Ağustos 2009]
- [34] http://www.tuik.gov.tr/VeriBilgi.do?tb_id=45&ust_id=13 Erişim [1 Ağustos 2009]

ÖZGEÇMİŞ

23 Ocak 1982 yılında Adana’da doğdum. İlk ,orta ve lise eğitimimi Mersin ‘de tamamladım. 2001 yılında Yıldız Teknik Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümünü kazandım ve aynı bölümden 2006 yılında mezun oldum. Aynı yıl Mersin Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü’nde yüksek lisans eğitimime başladım. Halen bu bölümde araştırma görevlisi olarak çalışmaktayım.

