

**ÇEŞİTLİ DOKUMA KUMAŞLAR İLE TAKVİYELİ
BAZI AHŞAP MALZEMELERİN
MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

Müge TIRPANCI



T.C.
ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ÇEŞİTLİ DOKUMA KUMAŞLAR İLE TAKVİYELİ BAZI AHŞAP
MALZEMELERİN MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

Müge TIRPANCI

Prof. Dr. H. Rifat ALPAY
(Danışman)

YÜKSEK LİSANS TEZİ
TEKSTİL MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

BURSA – 2011
Her Hakkı Saklıdır

TEZ ONAYI

Müge TIRPANCI tarafından hazırlanan “Çeşitli Dokuma Kumaşlar ile Takviyeli Bazı Ahşap Malzemelerin Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından oy birliği/oyçokluğu ile Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tekstil Mühendisliği Anabilim Dalı’nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Prof. Dr. H. Rifat ALPAY

- | | |
|---|------|
| Başkan: Prof Dr. H. Rifat ALPAY
UÜ. Mühendislik-Mimarlık Fakültesi
Tekstil Teknolojisi Anabilim Dalı | İmza |
| Üye: Prof. Dr. Recep EREN
UÜ. Mühendislik-Mimarlık Fakültesi
Tekstil Teknolojisi Anabilim Dalı | İmza |
| Üye: Yrd. Doç. Dr. Ali DURMUŞ
UÜ. Mühendislik-Mimarlık Fakültesi
Mekanik Anabilim Dalı | İmza |
| Üye: Yrd. Doç. Dr. Yasemin KAVUŞTURAN
UÜ. Mühendislik-Mimarlık Fakültesi
Tekstil Teknolojisi Anabilim Dalı | İmza |
| Üye: Yrd. Doç. Dr. Behiye KORKMAZ
Uludağ Üniversitesi
Mekanik Anabilim Dalı | İmza |

Yukarıdaki sonucu onaylarım

Prof. Dr. Kadri ARSLAN
Enstitü Müdürü
.. / .. / 2011

U.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmasında,

- tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- kullandığım verilerde herhangi bir tahribat yapmadığımı,
- ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

beyan ederim.

12/01/2011



Müge Tırpancı

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

ÇEŞİTLİ DOKUMA KUMAŞLAR İLE TAKVİYELİ BAZI AHŞAP
MALZEMELERİN MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

Müge TIRPANCI

Uludağ Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Tekstil Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. H. Rifat ALPAY

Günümüzde kullanımı oldukça artan ve konvansiyonel malzemelerin yerini almaya başlayan kompozit malzemelerin özelliklerine, üretim yöntemlerine, kullanım alanlarına değinilmiştir. Ahşap kaplama ve dokuma kumaştan elle yatırma tekniği uygulanarak elde edilen tabakalı kompozit malzemenin çekme, eğilme ve darbe özellikleri test edilmiş, kıyaslamaları yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Kompozit malzeme, ahşap kaplama, dokuma kumaş

2011, ix + 76 sayfa.

ABSTRACT

MSc Thesis

THE INVESTIGATION OF MECHANICAL PROPERTIES OF WOODEN MATERIALS THAT REINFORCED WITH VARIOUS WOVEN FABRICS

Müge Tırpancı

Uludağ University
Graduate School of Sciences
Department of Textile Engineering

Supervisor: Prof. Dr. H. Rifat ALPAY

Composite materials' features, production methods and areas of usage, which are commonly used and replaced conventional materials nowadays, are mentioned. Composite materials, which are obtained by using laying with hand method from veneer and woven fabric, tensile properties, bending properties and stroke properties are tested and comparisons are made.

Key words: Composite material, veneer, woven fabric

2011, ix + 76 pages.

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Bu çalışmada deney sonuçlarına bakılarak üretilen kompozit malzemedен elde edilen verilerin kıyaslamaları yapılmıştır. Sonuçlarda hataya düşmemek adına bir deney birden çok numuneyle tekrarlanmıştır.

Tez çalışmam boyunca her konuda desteğini esirgemeyen tez danışmanım Prof. Dr. H. Rifat Alpay'a ve test çalışmalarımда yardımcı olan Doç. Dr. Mehmet Karahan'a teşekkür ederim.

Desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen ve her zaman yanımda olan aileme çok teşekkür ederim.

Müge Tırpancı
12/01/2011

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
SİMGE VE KISALTMALAR DİZİNİ	iv
ŞEKİLLER DİZİNİ	v
ÇİZELGELER DİZİNİ	vi
1. GİRİŞ	1
2. KURAMSAL TEMELLER	3
2.1 Kompozit Malzemeler	3
2.1.1. Takviye elemanı	4
2.1.2. Matris malzemeleri	5
2.2. Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması	6
2.2.1. Yapılarını oluşturan malzemelere göre	6
2.2.1.1. Plastik kompozitler	6
2.2.1.2. Metal kompozitler	7
2.2.1.3. Seramik kompozitler	7
2.2.1.4. Karbon kompozitler	8
2.2.1.5. Nano Kompozitler	9
2.2.2. Yapı bileşenlerinin şekillerine göre	9
2.2.2.1. Lif esaslı kompozitler	9
2.2.2.2. Partikül esaslı kompozitler	11
2.2.2.3. Tabaka esaslı kompozitler	11
2.2.2.4. Karma (Hibrid) esaslı kompozitler	12
2.2.2.5. Dolgu esaslı kompozitler	13
2.3. Kompozit Malzeme Üretim Yöntemleri	13
2.3.1. Elle yatırma	13
2.3.2. Püskürtme	14
2.3.3. Lif sarma	15
2.3.4. Reçine transfer kalıplama RTM / Reçine enjeksiyonu	15
2.3.5. Hazır kalıplama	16
2.3.6. Hazır kalıplama pestili	16
2.3.7. Hazır kalıplama hamuru	17
2.3.8. Vakum Torbalama	18
2.3.9. Otoklav	18
2.3.10. Preslenebilir takviyeli termoplastik	19
2.4. Kompozit Malzemelerin Kullanım Alanları	19
2.5. Kompozit Malzemelerin Çekme Özellikleri	20
2.6. Ağaç Malzemelerin Mekanik Özellikleri	22
2.6.1. Elastiklik özellikleri	23
2.6.1.1. Elastiklik modülünün belirlenmesi	24
2.6.1.2. Elastiklik modülünü etkileyen faktörler	25
2.6.2. Direnç özellikleri	26
2.6.2.1. Statik dirençler	26
2.6.2.2. Dinamik dirençler	36
2.6.2.3. Yorma deneyleri	38

2.6.3. Teknolojik deneyler	38
2.6.3.1. Sertlik	39
2.6.3.2. Aşınmaya karşı koyma özelliği	40
2.6.4. Emniyet gerilmeleri	41
2.7. Tekstil Kompozitlerinin Mekanik Özellikleri	41
2.7.1. Elastik davranış	42
2.7.1.1. Esaslar: Ortotropik katı maddeler	42
2.7.1.2. Tek yönlü özelliklerin elde edilmesi: Test etme ve mikromekanik	44
2.7.1.3. Off-Axis davranışı ve tabakalar	48
2.7.1.4. Tekstil takviyeli kompozitlerin analizi	49
3. MATERYAL VE YÖNTEM	50
3.1. Ahşap Kaplama	50
3.1.1. Biçme yöntemi	51
3.1.2. Kesme (Dilme) yöntemi	51
3.1.3. Soyma yöntemi	53
3.2. Dokuma Kumaş	53
3.3. Tutkal	54
3.4. Kompozit Malzemenin Hazırlanması	55
3.5. Çekme Testi	56
3.6. Eğilme Testi	57
3.7. Darbe Testi	58
4. BULGULAR	61
4.1. Çekme Testi Test Değerleri	61
4.2. Eğilme Testi Test Değerleri	65
4.3. Darbe Testi Test Değerleri	68
5. TARTIŞMA VE SONUÇ	71
KAYNAKLAR	73
ÖZGEÇMİŞ	75
TEZ ÇOĞALTMA VE ELEKTRONİK YAYINLAMA İZİN FORMU	76

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler

Açıklama

E_m	Matrisin elastisite modülü
E_f	Liflerin elastisite modülü
V_f	Liflerin hacimsel oranı
E_k	Kompozitin elastisite modülü
T_f	Liflerin çekme mukavameti
T_m	Liflerin koptuğu andaki şekil değiştirme için matristeki gerilme
F	Uygulanan kuvvet
F_{max}	Kırılma anındaki yük
A	Kesit alanı

Kısaltmalar

Açıklama

MMC	Metal matrisli birleşik malzemeler
CMC	Seramik matrisli birleşik malzemeler
KKK	Karbon kompozitler
NK	Nano kompozitler
RTM	Reçine transfer kalıplama

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 2.1. Lif takviyeli kompozitlerin yapısı	10
Şekil 2.2. Partikül takviyeli kompozitlerin yapısı	11
Şekil 2.3. Tabakalı bir kompozitlerin yapısı	12
Şekil 2.4. Karma kompozitlerin yapısı	12
Şekil 2.5. Dolgu esaslı kompozitlerin yapısı	13
Şekil 2.6. El yatırması işlemi	13
Şekil 2.7. Püskürtme yöntemi	14
Şekil 2.8. Püskürtme tabancası	14
Şekil 2.9. Lif sarma işlemi	15
Şekil 2.10. RTM yöntemi	16
Şekil 2.11. Hazır kalıplama işlemi	17
Şekil 2.12. Vakum torbalama işlemi	18
Şekil 2.13.a. Ek şekil değiştirme hali	21
Şekil 2.13.b. Eş gerilme hali	21
Şekil 2.13.c. Elastisite modülünün kompozitin bileşim oranı ile değişimi	21
Şekil 2.14. Çekme kuvvetinin uygulanması	21
Şekil 2.15. Kayın odununda yapılan eğilme deneyinde zor-zorlama ilişkisi	23
Şekil 2.16. Kuvvet uygulamasının gösterimi	25
Şekil 2.17. Liflere paralel yönde basınç direnci	27
Şekil 2.18. Liflere dik basınç direnci deneylerinde yükleme şekilleri	27
Şekil 2.19. Liflere paralel ve dik çekme direnci	29
Şekil 2.20. Eğilme kuvvetinin uygulaması	31
Şekil 2.21. Eğilme direnci deneyinde yükleme şekilleri	31
Şekil 2.22. Makaslama direnci uygulaması	33
Şekil 2.23. Yarıлма direncinin uygulaması	34
Şekil 2.24. Pandüllü çekiç aleti ve şok direnci deneyi	36
Şekil 2.25. Brinell-Mörath metoduna göre sertlik deneyi	39
Şekil 2.26. Ortotropik katı maddede simetrisinin üç düzlemi olarak lif takviyeli kompozitin şematik diyagramı	42
Şekil 2.27. Gerilme-Makaslama olmadan eksen boyunca yer alan ortotropik katı madde yüklemesi	43
Şekil 2.28. Boylamsal modülün saptanmasında karışım yaklaşımının kuralı	46
Şekil 3.1. Ahşap kaplamalar	50
Şekil 3.2. Biçme yöntemi	51
Şekil 3.3. Kesme yöntemi	52
Şekil 3.4. Soyma yöntemi	53
Şekil 3.5. Bezayağı örgü	54
Şekil 3.6. Saten örgü	54
Şekil 3.7. Test için hazırlanmış 4 katlı kompozit malzemenin yan kesit görüntüsü	55
Şekil 3.8. Çekme testi için hazırlanmış numune	56
Şekil 3.9. Çekme testinin uygulanma anı	56
Şekil 3.10. Eğilme testi için hazırlanmış numune	57
Şekil 3.10. Eğilme testinin şematik gösterimi	58
Şekil 3.11. Eğilme testinin uygulanma anı	58

Şekil 3.12.	Darbe testi için hazırlanmış numuneler	59
Şekil 3.13.	Darbe testinin uygulanma anı	59
Şekil 4.1.	Çekme testi sonucu ahşap kaplama ve dokuma kumaştan oluşan kompozit malzemesinin görüntüsü	62
Şekil 4.2.	Çözgü yönünde test edilmiş 4 kat pamuklu dokuma kumaşın gerilme-gerinim eğrileri	62
Şekil 4.3.	4 kat olarak hazırlanmış ceviz kaplama numunelerinin gerilme-gerinim eğrileri	63
Şekil 4.4.	Ceviz kaplama ve çözgü yönünde pamuklu dokuma kumaşın birleşiminden oluşan kompozit malzemelerin gerilme-gerinim eğrileri	63
Şekil 4.5.	Çekme testi uygulanan numunelerin elastisite modüllerinin kıyaslanması	64
Şekil 4.6.	Çekme testi uygulanan numunelerin max yüklerinin kıyaslanması	64
Şekil 4.7.	Eğilme testi sonrası kompozit numunelerin görüntüsü	65
Şekil 4.8.	4 kat olarak hazırlanmış kiraz kaplama numunelerinin gerilme-gerinim eğrileri	66
Şekil 4.9.	Kiraz kaplama ve atkı yönünde polyester kumaşın birleşiminden olan kompozit numunelerinin gerilme-gerinim eğrileri	66
Şekil 4.10.	Eğilme testi uygulanan kompozit numunelerinin max yüklerinin kıyaslanması	67
Şekil 4.11.	Eğilme testi uygulanan kompozit numunelerinin uzamalarının kıyaslanması	67
Şekil 4.12.	Darbe testi sonrası kumaşsız kompozitlerin görüntüleri	69
Şekil 4.13.	Darbe testi sonrası kumaşlı kompozitlerin görüntüleri	69
Şekil 4.14.	Darbe testi sonucu kompozitlerin kırılma enerjilerinin kıyaslanması	70

ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa
Çizelge 2.1. Kompozit malzemelerin genel sınıflandırılması	3
Çizelge 2.2. Bazı ağaç türlerinde elastiklik modülü	25
Çizelge 2.3. Bazı ağaç cinsi odunlarının basınç direnci	28
Çizelge 2.4. Bazı ağaç cinslerinin çekme dirençleri	30
Çizelge 2.5. Odunların çekmeye göre kalitesi	30
Çizelge 2.6. Bazı ağaç cinslerinin eğilme dirençleri	32
Çizelge 2.7. Eğilme halinde sağlamlık ölçüsü	32
Çizelge 2.8. Odunların eğilmeye göre kalitesi	33
Çizelge 2.9. Bazı ağaç cinslerinin makaslama dirençleri	34
Çizelge 2.10. Bazı ağaç cinslerinde yarıлма direnci	35
Çizelge 2.11. Yarıлма özelliğine göre sınıflandırma	35
Çizelge 2.12. Bazı ağaç cinslerinin dinamik eğilme dirençleri	37
Çizelge 2.13. Odunların şok direnci sınıfları	37
Çizelge 3.1. Kumaşlara ait özellikler	54
Çizelge 4.1. Çekme testi test değerleri	61
Çizelge 4.2. Eğilme testi test değerleri	65
Çizelge 4.3. Darbe testi test değerleri	68

1. GİRİŞ

Teknolojinin gelişimi, son yüzyılda bilgisayarların da devreye girmesiyle beraber büyük bir ivme kazanmıştır. Doğadan elde ettiğimiz malzemelerin sınırlı olmasından dolayı, özellikleri bu büyük gelişime ayak uyduramamış ve sanayi için temel bir girdi olan malzeme ve malzeme biliminde gelişme kaçınılmaz bir duruma gelmiştir. Bilim adamları çağın yenilikleri ile birlikte bilimin gelişmesi paralelinde ekonomik, yüksek mukavemetli ve hafif malzemeleri imal etme yolunu seçmişlerdir. Bu şekilde kompozit malzemeler imalat sanayisinde ve yeni teknoloji ürünlerinde çok önemli bir rolü üstlenmiştir.

Kompozit malzemenin oluşum aşamasında doğa ve insanın yapısı örnek olmuştur. İnsan vücudundaki çoğu dokular yüksek eğilme kabiliyeti gösteren liflerden meydana gelmiştir ve bu lifler zorlanma ve yüklenmelere karşı koyabilmek için düzene konmuş ve birbirlerinin üstünde kayarak dokunun dayanıklı olmasını sağlamaktadır. Bambu ve odun yapısı incelendiği takdirde liflerden oluştuğu görülmektedir. Buda aslında kompozit malzemelerin çok eski yıllardan beri kullanılmakta olduğunu ortaya çıkarıyor (Yılmazoğlu 2004).

Kompozit malzemelerin bilinen en eski ve en geniş kullanım alanlarından biri de inşaat sektörüdür. Saman ile liflendirilmiş çamurdan yapılan duvarlar ilk kompozit malzeme örneklerindedir. Bugün taş, kum, kireç, demir, ve çimento ile oluşturulan kompozit malzeme evlerimizi oluşturmaktadır. Günümüzde en çok kullanılan kompozitlerden biri de betondur. Çimento ve kumdan meydana gelen malzeme matris çelik çubuklar ile desteklenir.

Kompozit malzemeye en güncel örneklerden biri de kağıttır. Selüloz ve reçineden oluşan kağıt, günümüzde yaşamımızın her alanında eşsiz bir kullanım aracı olarak insanlığın hizmetine sunulmuştur.

Otoyollar, asfalt ve çakıl taşı karışımı ile daha lineer, dayanımlı bir duruma getirilmiştir. Teknoloji gelişimine paralel olarak elektrik enerjisi naklinde kompozit malzemeler kullanılmaya başlanmıştır. İyi bir iletken olan bakır lifler ile hafif bir metal olan alüminyum matris kullanılarak, enerji nakli daha verimli bir hale getirilmiştir (Baykal 2004).

Kısacası günümüzde kompozit malzemelerin kullanım alanı çok geniş boyutlara ulaşmıştır (Anonim 2010). Bu çalışmada da dokuma kumaş ile ahşap kaplamanın tutkalla birleşiminden oluşan bir kompozit malzemenin mekanik özellikleri incelenmiştir.

2. KURAMSAL TEMELLER

2.1. Kompozit Malzemeler

Kompozit malzeme, iki veya daha fazla sayıdaki, aynı veya farklı gruptaki malzemelerin en iyi özelliklerini, yeni ve tek bir malzemede toplamak amacıyla oluşturulan malzemeler olarak adlandırılır. Karbon elyafı plastikler, otomobil lastikleri, çelik donatılı beton elemanlar, seramik metal karışımı olan sermentler bunlara örnek olarak gösterilebilir.

Çizelge 2.1. Kompozit malzemelerin genel sınıflandırılması (Baykal 2004)

Doğal Kompozit Malzemeler	Odun, kemik, bambu, kas ve dokular
Mikro Kompozit Malzemeler	Metalik alaşımlar, çelik, katılaştırılmış termoplastikler
Makro Kompozit Malzemeler	Galvanizli çelik, uçak gövdesi

Kompozit malzemeler genellikle kendi başlarına elde edilemeyen, bileşenlerinin en iyi özelliklerinin bir malzemede toplanması önemli bir avantaj meydana getirir. Kompozit malzeme üretilmesi ile aşağıdaki bazı özellikler sağlanabilmektedir:

- Yüksek dayanım
- Yüksek rijitlik
- Yüksek yorulma dayanımı
- Mükemmel aşınma direnci
- Yüksek sıcaklık kapasitesi
- İyi korozyon direnci
- İyi termal ve ısı iletkenliği
- Düşük ağırlık
- Çekicilik ve estetik görünüm vb.

Bütün bu özellikler aynı zamanda oluşmaz ve herhangi bir uygulama için böyle bir gereksinime ihtiyaç da yoktur. Özellikleri bilinen bileşenlerden yararlanılarak bir kompozit malzemenin bazı özellikleri, örneğin, yoğunluk, elastik modülleri ve çekme dayanımları vb. hesaplanabilir.

Fakat yukarıda belirtilen bu özellikler için gerekli şartlar, uygun matris ve takviye elemanı çifti, üretim tekniği, optimizasyonu, bileşenlerin mukavemet özellikleri ve

diğer faktörler göz önüne alınarak üretim yapılırsa istenilen özelliği elde etmek mümkündür. Uygun matris/takviye elemanı seçiminin, sistemin mekanik ve fiziksel özellikleri üzerine etkisi büyüktür. Çünkü kompozit içerisinde matrisler tarafından yükün takviye elemanına iletilmesinde matris ile takviye elemanı arasındaki ara-yüzey bağının da kuvvetli olması gerekmektedir. Ara-yüzey bağının kuvvetli olması ise bileşenlerin uyumuna ve matrisin ıslatabilirlik özelliğine bağlıdır. Bunun yanında üretim tekniği seçimi dışında takviye elemanlarının matris içerisinde homojen dağılımının da matris alaşımı ve takviye elemanı çiftlerinin uygun seçimine bağlıdır. Kompozitler karma malzeme olduklarından bu şartları sağlamak ve elde etmek için en iyi matris ve lif çifti seçilmelidir.

Bu avantajlar yanında bazı dezavantajlar da mevcut olup bunlar da;

- Üretimin güçlüğü
- Pahalı olması
- İşlenmesinin güç olması yanında gerekli yüzey kalitesinin elde edilemeyişi
- Diğer malzemeler dibi geri dönüşümün olmayışı
- Kırılma uzamasının az oluşu gibi faktörler sayılabilir.

Bir kompozit malzeme bünyesinde, çekirdek olarak adlandırılan takviye elemanı ve bunun etrafını çevreleyen matris malzemesi bulunmaktadır (Şahin 2000).

2.1.1. Takviye elemanı

Takviye elemanı olarak değişik morfolojiye sahip kısa ve uzun lifler, whiskerler (kılcal kristaller), kırılmış veya parçacıklı seramikler kullanılmaktadır. Bunların temel fonksiyonu gelen yükü taşımak ve matrisin rijitlik ve dayanımını arttırmaktır.

Matris malzeme içinde yer alan takviye elemanı kompozit yapının temel mukavemet elemanlarıdır. Düşük yoğunluklarının yanı sıra yüksek elastisite modülüne ve sertliğe sahip olan lifler kimyasal korozyona da dirençlidir. Günümüzde kompozit yapılarda kullanılan en önemli takviye malzemeleri sürekli liflerdir. Bu lifler özellikle modern kompozitlerin oluşturulmasında önemli bir yer tutarlar. Aramid, karbon, grafit, boron, silisyum karbür (SiC), alümina, cam ve polietilen malzemelerin kısa veya uzun sürekli lif formunda kullanıldığı ve matrisi yaklaşık % 60 hacim oranında pekiştirici işlevi olan malzemelerdir (Şahin 2000).

2.1.2. Matris malzemeleri

Kompozit malzemelerde matrisin üç temel fonksiyonu vardır. Bunlar, lifleri bir arada tutmak, yükü liflere dağıtmak ve lifleri çevresel etkilerden korumaktır. Ayrıca plastiklik ve süneklik üstünlüğü ile liflerde kırılğan çatlakların yayılmasını önler. İdeal bir matris malzemesi başlangıçta düşük viskoziteli bir yapıda iken daha sonra lifleri sağlam ve uygun bir şekilde çevreleyebilecek katı forma kolaylıkla geçebilmelidir. Matris malzemesi, termoset veya termoplastik polimer malzeme olarak sürekli fazı oluşturur. Termosetler grubunda ağırlıklı olarak polyesterler kullanılır. Bunun yanı sıra vinil ester/bifenol, epoksi reçine ve fenolik reçinelerin kullanımı da giderek yaygınlaşmaktadır. Termoplastik grubunda yaygın olarak poliamid ve polipropilen kullanımını görülmektedir. (~ % 68,3)

Kompozit yapılarda yükü taşıyan liflerin fonksiyonlarını yerine getirmeleri açısından matrisin mekanik özelliklerinin rolü çok büyüktür. Örneğin; matris malzemesi olmaksızın bir lif demeti düşünüldüğünde yük bir ya da birkaç lif tarafından taşınacaktır. Matrisin varlığı ise yükün tüm liflere eşit olarak dağılımını sağlayacaktır. Kesme yükü altındaki bir gerilmeye dayanım, liflerle matris arasında iyi bir yapışma ve matrisin yüksek kesme mukavemeti özelliklerini gerektirir. Lif yönlenmelerine dik doğrultuda, matrisin mekanik özellikleri ve lif ile matris arasındaki bağ kuvvetleri, kompozit yapının mukavemetini belirleyici önemli hususlardır. Matris life göre daha zayıf ve daha esnektir. Bu özellik kompozit yapıların tasarımında dikkat edilmesi gereken bir husustur (Şahin 2000).

Matrisin kesme mukavemeti ve matris ile lif arası bağ kuvvetleri çok yüksek ise lif ya da matriste oluşacak bir çatlağın yön değiştirmeksizin ilerlemesi mümkündür. Bu durumda kompozit gevrek bir malzeme gibi davrandığından kopma yüzeyi temiz ve parlak bir yapı gösterir. Eğer bağ mukavemeti çok düşükse lifler boşluktaki bir lif demeti gibi davranır ve kompozit zayıflar. Orta seviyede bir bağ mukavemetinde ise lif veya matristen başlayan enlemesine doğrultuda bir çatlak lif/matris ara yüzeyine dönüp lif doğrultusunda ilerleyebilir. Bu durumda kompozit sünek malzemelerin kopması gibi lifli bir yüzey sergiler (Ünal).

2.2. Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması

2.2.1. Yapılarını oluşturan malzemelere göre:

- Plastik kompozitler
- Metal kompozitler
- Seramik kompozitler
- Karbon kompozitler
- Nano kompozitler

2.2.1.1. Plastik kompozitler

Plastik-plastik kompozitler: Fiber olarak kullanılan plastik, yük taşıyıcı bir özelliğe sahip iken, matris olarak kullanılan plastik, esneklik verici, darbe emici ya da istenen amaca göre kullanılan plastiğin özelliğine sahip olmaktadır. Kullanılabilecek plastik türleri de iki ayrı sınıfta incelenebilir.

- Termoplastikler: Bu tür plastikler, ısıtıldığında yumuşar ve şekillendirildikten sonra soğutulduğunda sertleşir. Bu işlem sırasında plastiğin mikro yapısında herhangi bir değişiklik söz konusu değildir. Genellikle 5-500⁰C arasındaki sıcaklıklarda kullanılabilirler. Bu gruba giren plastikler olarak; naylon, polietilen, karbon florür, akrilikler, selülozikler, viniller sayılabilir.
- Termoset plastikler: Bu tip plastiklerde ise ısıtılıp şekillendirildikten sonra soğutulduklarında artık mikro yapıda oluşan değişim nedeniyle eski yapıya dönüşüm mümkün olmamaktadır. Bu grubun belli başlı plastikleri ise; polyesterler, epoksiler, alkider, aminler olarak verilebilir.

Plastik-metal fiber kompozitler: Endüstride çok kullanılan bir tür olan metal fiber takviyeli plastikten oluşan kompozitler oldukça mukavemetli ve hafif bir ürün olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu kompozitler, metal fiberlerin (bakır, bronz, alüminyum, çelik vs.) polietilen ve polipropilen plastiklerini takviyelendirilmesi amacıyla elde edilmekte ve kullanılmaktadır. Özellikle deformasyon yönünden takviyelendirilme yaygın olarak kullanılmakta ve iyi bir verim alınmaktadır.

Plastik-cam fiber kompozitler: İsteğe göre termoplastikler veya termoset plastikten oluşan matris ve cam liflerin uygun kompozisyonlarından üretilmektedir. Mekanik ve

fiziksel özellikleri nedeniyle cam lifler birçok durumda metal, asbest, sentetik lif ve pamuk ipliği gibi liflere tercih edilebilirler. Ancak cam lifli kompozitler, büyük kuvvetleri iletmelerine rağmen camın kırılgan olmasından dolayı çok küçük dirençlidirler. Bu tür malzemelerin fiziksel ve kimyasal özellikleri, kullanılan plastik reçineler uygun seçilerek, arzu edilen şekle sokulabilir. Plastik reçineler de, termoplastik ve termoset türünde olmaktadır. Termoset plastikler, fiberlerin de düzgün oryantasyonu ile yüksek mukavemete ulaşabilirler. Cam lifi takviyeleri ile en çok kullanılan plastik reçineler, polyesterlerdir.

Plastik-köpük kompozitler: Bu tür kompozitlerde plastik, fiber olarak görev yapmakta, köpük ise matris konumunda olmaktadır. Köpükler, hücreli yapıya sahip, düşük yoğunlukta, gözenekli ve doğal halde bulunduğu gibi, büyük bir kısmı sentetik olarak imal edilmiş hafif maddelerdir. Köpük hücre yapısına göre sert, kırılğan, yumuşak ya da elastik olabilmektedir (Baykal 2004).

2.2.1.2. Metal kompozitler (Metal matrisli birleşik malzemeler MMC)

Hafif metaller, kompozitler için matris malzemesi olarak çok cazip olmaktadır. Bunlar plastiklerden daha yüksek elastik modül, dayanım ve tokluğa sahip olup yüksek sıcaklıklarda özellikleri de daha iyidir. Ancak metal matrisli kompozit üretimi daha zordur. Bunlar her lifle iyi ara yüzey bağı oluşturmazlar. Metallerle en kolay bağ oluşturan silisyum karbür ile kaplanmış boron lifidir. Fakat bunlar pahalıdır. MMC'lerde çok yaygın olarak kullanılan matris malzemesi, düşük yoğunluklu, iyi tokluk ve mekanik özelliklere sahip olan hafif metaller ve alaşımlardır. Bu hafif metal alaşımları dayanım ve özgül ağırlık oranlarının iyi olması nedeniyle hafif yapı konstrüksiyonlarında tercih edilirler. Atmosfere karşı korozyon dayanımının da çok yüksek olması diğer karakteristik özelliklerinden biridir. Genellikle Al, Ti, Mg, Ni, Cu ve Zn matris malzemesi olarak kullanılır. Fakat Al ve alaşımları, Ti ve Mg yaygın olarak kullanılmaktadır (Şahin 2000).

2.2.1.3. Seramik kompozitler (Seramik matrisli birleşik malzemeler CMC)

Seramikler, metal ve metal olmayan elementlerden meydana gelen inorganik bileşikler olup doğada kayaların dış etkilere karşı parçalanması sonucu oluşan kaolen, kil vb. maddelerin yüksek sıcaklıkta pişirilmesi ile elde edilen malzemelerdir. Bunlar farklı

şekilde silikatlar, aluminatlar ile birlikte metal oksitlerinden oluşurlar. Genellikle bunlar ya iyonik veya iyonik+kovalent bağ karışımına sahip oldukları için çok karardır. Bu nedenle de çok sert, gevrek ve yüksek sıcaklığa dayanıklıdır. Ayrıca elektriksel olarak çok iyi bir yalıtkanlık özelliği gösterirler. Üç ayrı grupta toplanan seramik kompozitler şu şekilde sıralanabilir:

- **Seramik-seramik sistemi:** İki seramik fazın karışmasından oluşmaktadır. Örnek olarak; saf çini verilebilir.
- **Seramik-cam sistemi:** Yaşamımızın her alanında kullanılan porselen, bir seramik cam kompozitidir. Kuartz fiberlerin bir cam matris içersine çini ile birlikte hamurlanıp yerleştirilmesiyle oluşmuştur.
- **Seramik-metal sistemi:** Bu tür kompozitler, çok fazlı bir yapıya sahiptirler. Bir metal faz, bir seramik faz, bir gözenek fazı ve daha çok karmaşık formlarda seramik ve metalin ilave fazlarından meydana gelmiştir. Endüstride kullanılan ve elmas olarak adlandırılan kesme aletleri en iyi örneklerdir. Bir kobalt matris içine dağılmış tungsten karpit parçalarından oluşan bu kompozit malzeme büyük bir dayanım sağlamaktadır.

Seramikler, gevrek olduklarından mikro yapısal kusurları çentikler ve mikro çatlaklar gerilme yığılmasına yol açtıklarından çekme dayanımı düşüktür. Basma dayanımları ise çok yüksektir. Ancak mikroyapısal kusurları azaltacak şekilde çok ince çaplı elyaflar üretilerek daha dayanıklı kompozit üretmek mümkün olmaktadır. Bu malzemelerde kayma direnci çok yüksek olduğundan plastik şekil verme olmaksızın gevrek tarzda kırılırlar. Bu seramik malzemelerin yüksek sıcaklık özelliği iyidir. Kompozit yapmak için böyle seramik malzemeler takviye elemanı olarak kırılabilirliği azaltmak için kullanılmaktadır (Anonim 2010).

2.2.1.4. Karbon kompozitler (KKK)

Karbon - karbon kompozitleri, saf karbon partiküllerinin (primer karbon bileşeni olarak tanımlanır) karbon esaslı bağlayıcı (bu malzeme karbonizasyon işlemi esnasında sekonder karbon bileşeni oluşturur) ile J karışımından elde edilir. Neticede, malzemenin tümü karbon olup karbonlar iki farklı şekilde bulunur. Bunlardan biri, dolgu (primer) diğeri ise bağlayıcı (sekonder) niteliğinde olan karbondur. Matris malzemesi olarak kullanılan

karbonun birim ağırlıktaki ısı kapasitesi oldukça yüksektir. Roket ağızlarında, uzay araçlarında bulunan koruyucu kalkanlarda, debriyaj ve fren balata-disk sistemlerinde kullanılmaktadır. Bu malzemeler yüksek teknoloji gerektiren askeri ve uzay alanlarındaki uygulamalarına nispeten düşük hacim sağlamasına karşın, katma değeri yüksek ve oldukça pahalı malzemelerdir (Anonim 2010).

2.2.1.5. Nano Kompozitler (NK)

Nano kompozitler mineral nano dolgulu ve %10'dan daha az miktarda nano boyutlu mineral içeren kompozit malzemelerdir. Kullanılan nano boyutlu parçacıkların boy-en oranı ve yüzey alanının çok yüksek olmasından dolayı kompozitlerin mekanik, yanmazlık, ısı ve bariyer özellikleri çok iyi yönde geliştirilebilmektedir. Bu kompozitlerin üretilmesinde daha çok ergimiş metal karıştırması, toz metalürjisi ve mekanik alaşımlama kullanılır (Soy 2009).

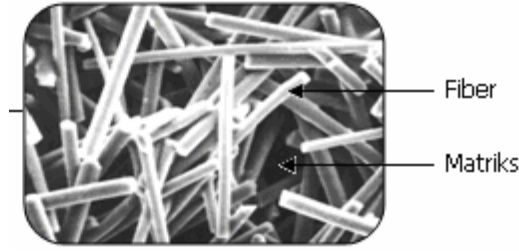
2.2.2. Yapı bileşenlerinin şekillerine göre

2.2.2.1. Lif esaslı kompozitler

Birçok özelliklerde artış sağlayan, yüksek etkinliği olan liflerin ilavesiyle elde edilir. Mühendislikte kullanılan malzemelerin pek çoğu lif şeklinde üretildiklerinde mukavemet ve rijitlikleri kütle hallerindeki değerlerinden çok üstünde olabilmektedir. Örneğin; karbon liflerin çekme mukavemeti kütle halindeki grafitten 50 kat, rijitliği 3 kat daha yüksektir. Liflerin bu özelliğinin farkedilmesiyle lif kompozitlerin üretilmesi süreci başlamıştır. Günümüzde düşük performanslı ev eşyalarından roket motorlarına değin kullanım alanı bulan malzemeler olmuşlardır (Yılmaz 2005).

Lif takviyeli kompozitler yumuşak ve sünek matris içine sert dayanıklı elastikliği yüksek lifler ilave edildiğinde çekme dayanımı, yorulma dayanımı, özgül modül ve özgül dayanım özelliklerini iyileştirilir. Matris malzemesi kuvveti liflere transfer ederek yumuşaklık ve tokluk özelliği sağlarken lif uygulanan yükün çoğunu taşımaktadır. Çökeltmeyle sertliği arttırılmış kompozitlerin aksine kompozitin dayanımı hem oda hem de yüksek sıcaklıklarda artırılır. Bu takviyeli kompozitlerde oldukça değişik takviye elemanları kullanılmaktadır. Lifler, örme veya fitil şeklinde olabilmekle beraber tabakalar halinde yönlü lifler de kullanılır. Sürekli lifleri çok yönlü

takviyelendirebilmek için çoklu filamentler halinde veya dokunmuş örgü halinde kalıp içerisine yerleştirilir. Ön ısıtmadan sonra metal veya alaşımı sıvı metal emdirme veya infiltrasyon metodu ile emdirilerek üretilmekte olup genellikle de metal matrisli kompozitlere uygulanmaktadır. Beton yapılarda çelik tel çubuğun girmesi, polimer matris içine katılan cam lifiyle kompozitler ulaşım ve uzay uygulamalarında kullanılmaktadır. Boron ve grafit elyaflarda polimerlere göre üstün özellikler sağlarlar. Keza takviye elemanları değişik yönlerde düzenlenebilmektedir (Baykal 2004).



Şekil 2.1. Lif takviyeli kompozitlerin yapısı (Soy 2009)

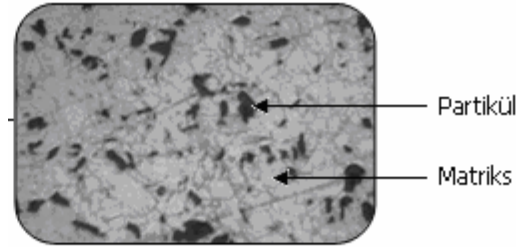
Lifler yapı içerisinde kesintisiz uzayan sürekli lifler veya uzun liflerin kesilmesiyle elde edilen süreksiz lifler şeklinde olabilirler.

Lif-matris kompozitlerinin mühendislik performansını etkileyen en önemli faktörler; liflerin şekli, uzunluğu, yönlenebilirliği, matrisin mekanik özellikleri ve lif-matris ara yüzey özellikleridir. Lifler dairesel olduğu gibi daha nadiren dikdörtgen, hegzagonal, poligonal ve içi boş dairesel kesitli olabilir. Bu kesitlerin bazıları avantajlı özellikleri olmakla birlikte (paketleme, yüksek mukavemet vs.) dairesel kesitler maliyeti ve kullanım kolaylığı ile üstünlük sağlar. Sürekli liflerle çalışmak genelde daha kolay olmakla beraber tasarım serbestliği süreksizlere göre çok daha sınırlıdır. Sürekli lifler süreksizlerden daha iyi yönlenebilirlik göstermelerine karşılık süreksiz liflerin kullanılması daha pratik sonuçlar vermektedir. Uzun liflerin matris içinde birbirlerine paralel şekilde yerleştirilmeleri ile lifler doğrultusunda yüksek mukavemet sağlanırken, liflere dik doğrultuda oldukça düşük mukavemet elde edilir, iki boyutlu yerleştirilmiş lif takviyeleriyle her iki yönde de eşit mukavemet sağlanırken, matris yapısında homojen dağılmış kısa liflerle ise izotrop bir yapı oluşturmak mümkündür. Liflerin mukavemeti kompozit yapının mukavemeti açısından çok önemlidir. Ayrıca, liflerin uzunluk/çap oranı arttıkça matris tarafından liflere iletilen yük miktarı artmaktadır. Lif yapısının hatasız olması da mukavemet açısından çok önemlidir.

Kompozit yapının mukavemetinde önemli olan diğ er bir unsur ise lif matris arasındaki bağıın yapısıdır. Matris yapıda boşluklar söz konusu ise liflerle temas azalacaktır. Nem absorpsiyonu da lif ile matris arasındaki bağıı bozan olumsuz bir özelliktir (Şahin 2000).

2.2.2.2. Partikül esaslı kompozitler

Bir matris malzeme içinde başka bir malzemenin parçacıklar halinde bulunması ile elde edilirler. İzotrop yapılarıdır. Yapının mukavemeti partiküllerin sertliğine bağlıdır. En yaygın tip plastik matris içinde yer alan metal parçacıklardır. Metal parçacıklar ısıl ve elektriksel iletkenlik sağlar. Metal matris içinde seramik parçacıklar içeren yapıların, sertlikleri ve yüksek sıcaklık dayanımları yüksektir. Uçak motor parçalarının üretiminde tercih edilmektedirler (Şahin 2000).



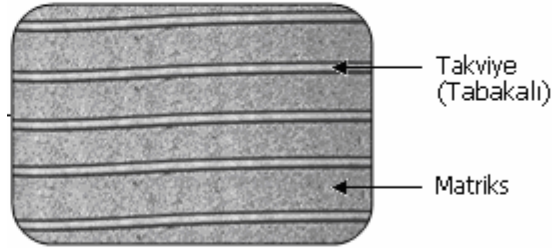
Şekil 2.2. Partikül takviyeli kompozitlerin yapısı (Soy 2009)

Burada y k, lif ve matris tarafından birlikte taşınır ve özellikler yine izotropiktir. Bu kompozitler dayanımı iyileştirmekten ziyade beklenilmeyen alışılmışın dışında birleştirilmiş özellikler elde etmek için tasarlanmaktadır. Şekilde de gösterildiği gibi, bunlar büyük parçacık içerdiklerinden kaymayı etkili olarak yapamazlar. Bu kompoziter; metal, seramik ve polimerlerin birleşiminden oluşabilirler. Sert metal uçlar ve beton da örnek olarak verilebilir ( nal).

2.2.2.3. Tabaka esaslı kompozitler

Tabakalı kompozit yapı, en eski ve en yaygın kullanım alanına sahip olan tiptir. Farklı elyaf yönlenmelerine sahip tabakaların bileşimi ile çok yüksek mukavemet değerleri elde edilir. Isıya ve neme dayanıklı yapılarıdır. Metallere göre hafif ve aynı zamanda mukavemetli olmaları nedeniyle tercih edilen malzemelerdir. Sürekli elyaf takviyeli tabakalı kompozitler uçak yapılarında, kanat ve kuyruk grubunda yüzey kaplama malzemesi olarak çok yaygın bir kullanıma sahiptirler.

Ayrıca, uçak yapılarında yaygın bir kullanım alanı olan sandviç yapılar da tabakalı kompozit malzeme örneğidirler. Sandviç yapılar, yük taşıyarak sadece izolasyon özelliğine sahip olan düşük yoğunluklu bir çekirdek malzemenin alt ve üst yüzeylerine mukavemetli levhaların yapıştırılması ile elde edilirler.



Şekil 2.3. Tabakalı bir kompozitlerin yapısı (Soy 2009)

Farklı özelliklere sahip en az iki tabakanın kombinasyonundan oluşur. Çok değişik kombinasyonlarla tabakalanmış kompozitlerin üretimi mümkündür. Korozyon direnci zayıf metaller üzerine, daha yüksek dirençli metallerin veya plastiklerin kaplanmasıyla korozyon özelliğinin, yumuşak metallerin sert malzemelerle birleştirilmesiyle sertlik ve aşınma direncinin, farklı fiber yönlenmesine sahip tek tabakaların birleştirilmesiyle çok yönlü yük taşıma özelliğinin geliştirilmesi mümkün olmaktadır (Ünal).

2.3.2.4. Karma (Hibrid) esaslı kompozitler



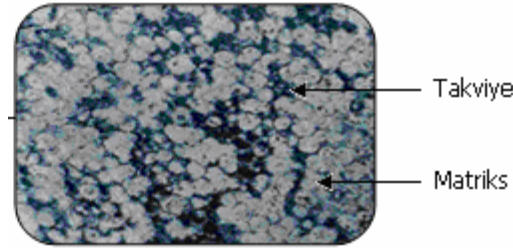
Şekil 2.4. Karma kompozitlerin yapısı (Ünal)

Aynı kompozit yapıda iki ya da daha fazla lif çeşidinin bulunması olasıdır. Bu tip kompozitlere hibrid kompozitler denir. Bu alan yeni tip kompozitlerin geliştirilmesine uygun bir alandır. Örneğin, kevlar ucuz ve tok bir liftir ancak basma mukavemeti düşüktür. Grafit ise düşük tokluğa sahip, pahalı ancak iyi basma mukavemeti olan bir lifdir. Bu iki lifin kompozit yapısında hibrid kompozitin tokluğu grafit kompozitden iyi,

maliyeti düşük ve basma mukavemetide kevlar lifli kompozitden daha yüksek olmaktadır (Ünal).

2.2.3.5. Dolgu esaslı kompozitler

Üç boyutlu sürekli bir matris malzemesinin yine 3 boyutlu dolgu maddesi ile doldurulması veya emprenye edilmesi ile oluşan malzemelerdir. Düzgün petekler, hücreler veya süngere benzeyen gözenekli yapılar arasında metalik, organik veya seramik esaslı dolgu maddeleri yer alabilir. Optimum özelliklere sahip olabilmesi için birbiri içinde çözünmeyen, kimyasal reaksiyon vermeyen bileşenlerin seçilmesi gerekir. Bu tür kompozitler sandviç kompozitleri olarak da bilinir.

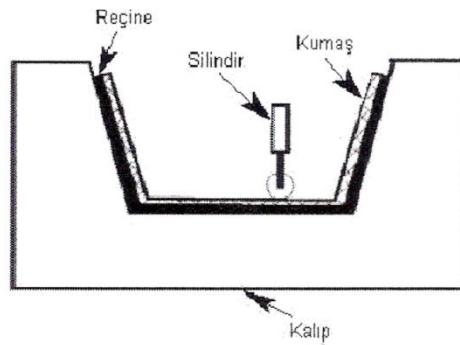


Şekil 2.5. Dolgu esaslı kompozitlerin yapısı (Soy 2009)

2.3. Kompozit Malzeme Üretim Yöntemleri

İstenilen özelliklerde ve biçimde malzeme üretimi için birçok yöntem bulunmaktadır. Bu yöntemlerden başlıcaları aşağıdadır:

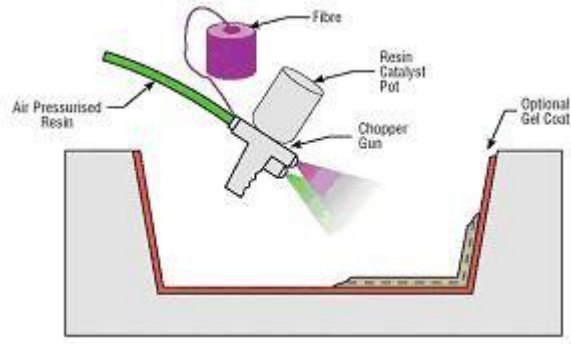
2.3.1. Elle yatırma



Şekil 2.6. El yatırması işlemi (Ersoy 2005)

Dokuma veya kırpılmış liflerle hazırlanmış takviye kumaşları hazırlanmış olan kalıp üzerine elle yatırarak üzerine sıvı reçine elyaf katmanlarına emdirilir. Elyaf yatırılmadan önce kalıp temizlenerek jelkot sürülür. Jelkot sertleştikten sonra elyaf katları yatırılır. Reçine ise kompozit malzemenin hazır olması için on son sürülür. Bu işlemde lelyaş kumaşına reçinenin iyi nüfuz etmesi önemlidir. El yatırma tekniğinde en çok kullanılan polyester epoksinin yanı sıra vinil ester ve fenolik reçineler de tercih edilmektedir. Elle yatırma yoğun işçilik gerektirmesine rağmen düşük sayıdaki üretimler için çok uygundur.

2.3.2. Püskürtme



Şekil 2.7. Püskürtme yöntemi (Enşici 2008)

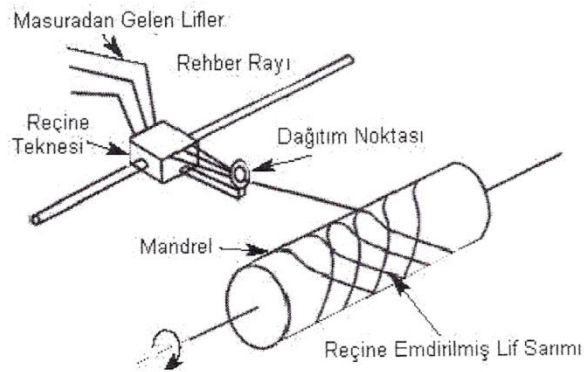
Püskürtme yöntemi elle yatırma yönteminin aletli şekli olarak kabul edilmiştir. Kırpılmış lifler kalıp yüzeyine, içine sertleştirici katılmış reçine ile birlikte özel bir tabanca ile püskürtülür. Lifin kırılma işlemi tabanca üzerinde bulunan ve bağımsız çalışan bir kırpıcı sayesinde yapılır. Püskürtme işlemi sonrası yüzeyin bir rulo ile düzeltilmesiyle ürün hazırlanmış olur.



Şekil 2.8. Püskürtme tabancası (Enşici 2008)

2.3.3. Lif sarma

Bu yöntem özel biçime sahip ürünlerin seri üretimine uygundur. Lif sarma yöntemi sürekli liflerin reçine ile ıslatıldıktan sonra bir makaradan çekilerek dönen bir kalıp üzerine sarılmasıdır. Sürekli liflerin farklı açılarla kalıba sarılmasıyla farklı mekanik özelliklerde ürün elde edilebilir. Yeterli sayıda lif katının sarılmasından sonra ürün sertleşir. Ardından döner kalıp ayrılır. Bu yöntemle yapılan ürünler genellikle silindirik, borular, araba şaftları, uçak su tankları, yat direkleri, dairesel basınç tanklarıdır.

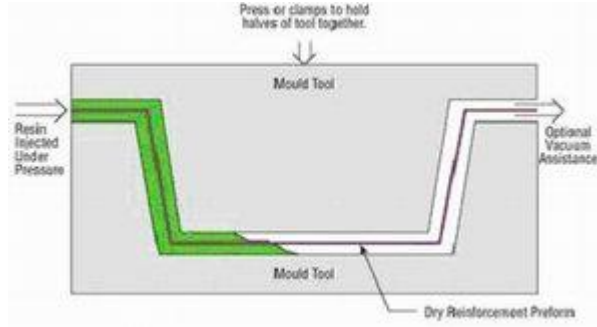


Şekil 2.9. Lif sarma işlemi (Mazumdar 2002)

2.3.4. Reçine transfer kalıplama RTM / Reçine enjeksiyonu

Bu kompozit üretim yönteminde elle yatırma sistemlere daha hızlı ve uzun ömürlü olmakla birlikte iki parçalı kalıp kullanmak gereklidir. Kalıbın kompozit malzemeyle yapılması çelik kalıp maliyetine göre daha düşük kalmasına neden olmaktadır. RTM yöntemi çoğunluk jelkotlu veya jelkotsuz her iki yüzeyin de düzgün olması istenen parçalarda kullanılır. Takviye malzemesi kuru olarak keçe, kumaş veya her ikisinin kombinasyonu kullanılır. Takviye malzemesi önceden kalıp boşluğu doldurulacak şekilde kalıba yerleştirilir ve kalıp kapatılır. Lifler matris içinde geç çözünen reçinelerle kaplanarak kalıp içerisinde sürüklenmesi önlenir. Reçine basınç altında kalıba pompalanır. Bu süreç daha fazla zaman ister. Matris enjeksiyonu soğuk, ılık veya en çok 80°C'ye kadar ısıtılmış kaplarda uygulanabilir. Bu yöntemde içerideki havanın dışarı çıkarılması ve reçinenin lif içine iyi işlemesi için vakum kullanılabilir. Elyafın kalıba yerleştirilmesini gerektirmesinden dolayı uzun sayılabilecek bir işçilik gerektirir. Kalıp kapalı olduğu için ise zararlı gazlar azalır ve gözeneksiz bir ürün elde edilebilir.

Bu yöntemle karmaşık parçalar üretilebilir. Concorde uçaklarında, F1 arabalarında bazı parçalar bu yöntemle hazırlanmaktadır.



Şekil 2.10. RTM yöntemi (Enşici 2008)

2.3.5. Hazır kalıplama (SMC, BMC)

Hazır kalıplama bünyesinde cam lifi, reçine, katkı ve dolgu malzemeleri içeren kalıplamaya hazır, hazır kalıplama bileşimleri olarak adlandırılan kompozit malzemenin (SMC, BMC) sıcak pres kalıplarla ürüne dönüştürülmesidir. Karmaşık şekillerin üretilebilmesi, metal parçaların bünye içine gömülebilmesi, farklı cidar kalınlıkları gibi avantajları bulunmaktadır. Ayrıca ürünün iki yüzü de kalıp ile şekillenmektedir. Diğer kompozit malzeme üretim tekniklerinin olanak vermediği delik gibi komplike şekiller elde edilebilmektedir. Iskarta oranı düşüktür. Bu yöntemin dezavantajları kalıplama bileşimlerinin buzdolaplarında saklanmaları gerekliliği, kalıpların metal olmasından dolayı diğer kalıplardan daha maliyetli olması ve büyük parçaların üretimi için büyük ve pahalı preslere ihtiyaç olmasıdır. Hazır kalıplama yönteminde kullanılan bileşimler içeriklerine göre çeşitlilik göstermekle beraber en çok iki tür hazır kalıplama bileşimi kullanılmaktadır.

2.3.6. Hazır kalıplama pestili

SMC takviye malzemesi olarak kırılmış lif ile dolgu malzemesi içeren bir reçinenin önceden birleştirilmesi ile oluşan pestil biçiminde malzemedir. Sürekli lifler, 25-50 mm kırılmış olarak ve kompozitin toplam ağırlığının %25-30 oranında kullanılır. Genellikle 1m genişliğinde ve 3 mm kalınlığında üretilir.

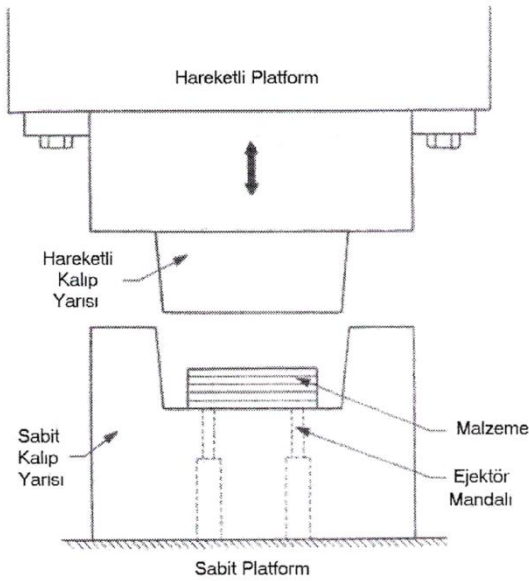
2.3.7. Hazır kalıplama hamuru (BMC)

BMC takviye malzemesi olarak kırılmış lif ve dolgu malzemesi içeren bir reçinenin önceden birleştirilmesi ile oluşan hamur biçiminde malzemedir.

Hazır kalıplama bileşimlerinin avantajları:

- Çok geniş tasarım esnekliği
- Düzgün yüzey
- Kolayca laklanabilme, boyanabilme ve kalıp içinde yüzeyin kaplanabilmesi
- Geri dönüştürülebilme ve hazırlığında geri dönüşümlü malzeme kullanabilme
- Metal gömme parçaların yerleştirilmesi ile montaj kolaylığı
- Yüksek alev dayanımı
- Sıcaklık dayanımı
- Soğukta kırılman olmana, enjeksiyon kalıplama

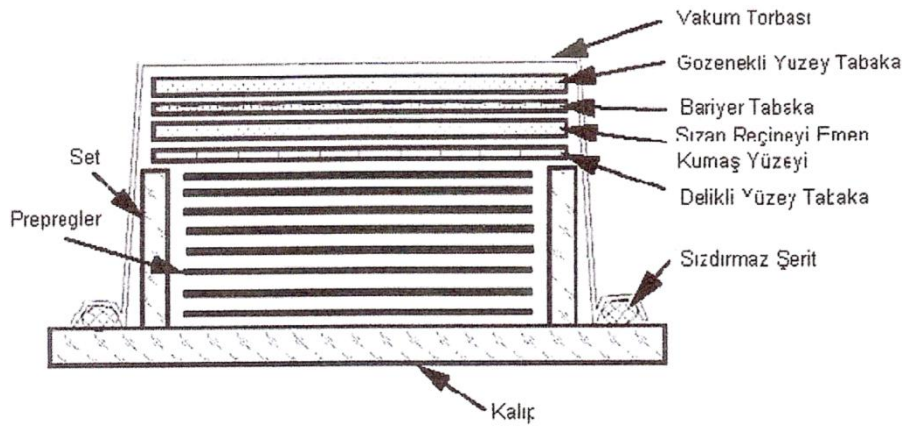
Bu yöntem RTM'ye benzer bir yöntemdir. Farklılığı reçine/lif karışımının kalıp dışarısında karışmış ve eritilerek basınç altında boş kalıp içine enjekte ediliyor olmasındandır. Sadece düşük viskoziteye sahip termoset reçineler bu yöntemde kullanılabilir. Diğer yöntemlere göre daha hızlıdır. Çocuk oyuncaklarından uçak parçalarına kadar birçok ürün bu yöntemle üretilebilmektedir.



Şekil 2.11. Hazır kalıplama işlemi (Mallick 1988)

2.3.8. Vakum Torbalama

Kompozit malzeme (genellikle geniş sandviç yapılar) önce bir kalıba yerleştirilir, ardından bir vakum torbası en üst katman olarak yerleştirilir. İçerideki havanın emilmesiyle vakum torbası, yatırılan malzemenin üzerine 1 atmosferlik basınç uygulayarak aşağıya çekilir. Sonraki aşamada tüm bileşim bir fırına yerleştirilerek reçinenin kür işlemi için ısıtılır. Bu yöntem sıklıkla elyaf sarma ve yatırma teknikleri ile bağlantılı olarak uygulanır. Kompozit malzeme tamir işlemlerinde de vakum torbalama yöntemi kullanılmaktadır.



Şekil 2.12. Vakum torbalama işlemi (Mazumdar 2002)

2.3.9. Otoklav

Termoset kompozit malzemelerin performanslarını arttırmak için lif/reçine oranını arttırmak ve malzeme içinde oluşabilecek hava boşluklarını tamamen gidermek gerekmektedir. Bunun sağlanması için malzemeyi yüksek ısı ve basınca uygulayarak sağlanabilir. Vakum bagging yöntemindeki gibi sızdırmaz bir torba ile lif/reçine yatırmasına basınç uygulanabilir. Fakat 1 atmosferden fazla düzenli ve kontrol edilebilir bir basıncın uygulanabilmesi için dışsal basınca ihtiyaç duyulur. Bu uygulama için otoklav yönteminde de uygulanan ve kompleks şekillerde en çok kontrol edilebilen metod, dışarıdan sıkıştırılmış gazın kompozit malzemenin içinde bulunduğu kaba verilmesidir. Otoklav kesin basıncın, ısının ve emişin kontrol edilebildiği basınçlı bir kaptır. Vakum torbalama yöntemi ile benzerdir. Fırın yerine bir otoklav kullanılır. Böylece özel amaçlar için yüksek kalitede kompozit üretebilmek için kür şartları tam

olarak kontrol edilebilir. Bu yöntem diğerlerine oranla daha uzun sürede uygulanır ve daha pahalıdır.

2.3.10. Preslenebilir takviyeli termoplastik

Keçe türünde lif takviyesi içeren termoplastik reçine ile yapılmış plaka şeklinde preslenebilir kalıplamaya hazır özel amaçlı bir takviyeli termoplastik çeşidini tanımlamaktadır. GMT'nin hazırlanması SMC'ye benzemektedir. Ekstruderden çekilen bir termoplastik levha üzerine yumuşak haldeyken bir lif takviyesi yerleştirilir. Bu katmanların üzerine bir diğer termoplastik levhada yumuşakken yerleştirilerek soğuk hadde silindirlerinin arasından geçirilir. Sertleşen plakalar kesilerek preslenmeye hazır duruma getirilir (Arıcasoy 2006).

2.4. Kompozit Malzemelerin Kullanım Alanları

Kompozit malzemelerin kullanım alanı son yıllarda giderek artmaktadır. Hemen hemen her alanda ve her sektörde kompozit malzeme uygulamalarını görmek mümkündür. Günlük hayatta yaygın şekilde cam elyafı, cam, keçe ve cam dokuma ile polyester reçineden yapılan çeşitli ürünler kullanılmaktadır. Cam elyaf oranı % 30– 40 arasındadır. Çay tepsisi, masa–sandalye, depo, küvet, tekne, bot ve otomotiv sanayi bu kompozitlerin uygulama örnekleridir. Ayrıca formika, baskılı devre plakası, elektrikçi fiberleri, spor malzemeleri ve atlama sırkaları, kaynak takımı, tenis raketi ve yarış kanoları değişik kompozit malzemelerden yapılan ürünlerdir. Kompozit malzemelerin otomotiv, uzay ve havacılık sanayinde kullanımı başta hafiflik ve sağlamlık nitelikleri sayesinde. Amaç daha az yakıt harcamak, daha yüksek hıza ulaşmak ve verimliliği sağlamaktır. Bu kullanımda sadece maddi kazanç düşünülmeyp stratejik performanslarda dikkate alınmıştır. Özellikle titreşim, yorulma ve ısı dayanımı gibi nitelikler uzay ve havacılık sanayinde kompozit malzemelerin önde gelen avantajlarıdır. Son yıllarda özellikle uzay ve uçak araçlarında kompozit malzemelerin kullanımları yaygınlaşmıştır. Örnek verirsek; Boeing757 ve 767 uçaklarında % 30'dan fazla polimer matriksli kompozitler kullanılmıştır. Douglas AV8B Harier avcı uçaklarında kanatlar ve gövde karbon fiber takviyeli kompozitlerden üretilmiştir. Voyager uçağı petrol ürünlerine dayanıklı kompozit malzeme kullanmıştır. Corvette, Ferrari, Avanti, Toyota ve Ford otomobil firmaları araç üretimlerinde kompozit malzemeler kullanmaktadır.

Amerika uydu ve uydu teçhizatlarında kompozit malzemeler kullanmış, NASA ise araştırmalarında kompozit malzemeleri incelemekte ve geliştirmektedir.

Kompozit malzemeler, değerli niteliklerden dolayı uzay ve havacılık araçlarında gittikçe daha fazla kullanılmaktadır. Bugün bir av bombardıman uçağında kompozit malzeme kullanımı toplam uçak ağırlığının yarısına ulaşmış bulunmaktadır. Bu sayede bor karbür, silisyum karbür, alümina karbon, cam ve kevlar elyafı değişik reçinelerle çeşitli kompozit malzemeler yapımında kullanılmaktadır. Kompozit malzemelerin silah üretiminde kullanımı pek yaygın olmamakla beraber 3000 bara kadar dayanabilen 60 ve 81 mm gibi küçük çaplı havanlar için bazı çalışmalar olmuştur. Bu silahlar hafifliği nedeniyle piyadenin savaş performansını artırıcı niteliktedir. Roket üretiminde kompozit malzemelerin rolü oldukça büyüktür. Örnek olarak M72’de motor laneri cam elyafı ve epoksiden, apilasta ve diğer tanksavar roketlerde gövde kısmen kevlar ve epoksiden, M77 MLRS’de nozüller karbon kompozit malzemesinden yapılmaktadır.

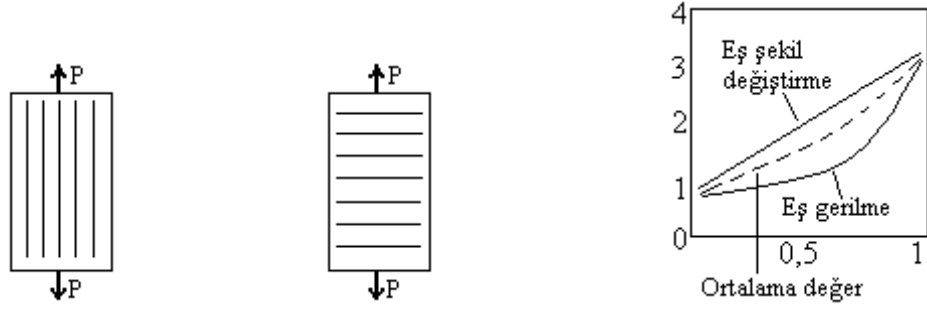
Mühimmat üretiminde de kompozit malzemeler kısmen kullanılmaktadır. M19 A/T mayınında gövde ABS reçine ve cam elyaf parçacıklarından, bu mayına ait küçük ve büyük belleville yayları cam doku ve fenolik reçineden yapılmışlardır. 155 mm’lik ICM mühimmatı gövdelerinde cam elyafı epoksi sargı vardır. Miğfer konusunda ise kevlar ve değişik reçineler kullanılmaktadır. Kurşungeirmez yeleklerde günümüzde örgülü kevlardan balistik testler için zırh levhaları, cam ve fenolik reçineler imal edilmektedir (Uğursoy 2009).

2.5. Kompozit Malzemelerin ekme Özellikleri

Kompozitlerde lifler kuvvet yönüne paralel, dik yönde veya rastgele dağılmış durumda bulunurlar. Lifler yönlenmiş durumda iken kompozit büyük ölçüde anizotrop olur. Lifler rastgele dağıtılmış ise düzlemsel boyutta izotrop olurlar.

Liflerle kuvvet birbirine paralel ise liflerle matris aynı miktarda şekil değiştirir. Buna eş şekil değiştirme hali denir. Matrisin elastisite modülü E_m , liflerin elastisite modülü E_f ve liflerin hacimsel oranı V_f ise kompozitin paralel doğrultudaki bileşke elastisite modülü;

$$E_k = E_f * V_f + V_f (1 - E_m) \text{ olur.} \quad 2.1$$



Şekil 2.13. (a)

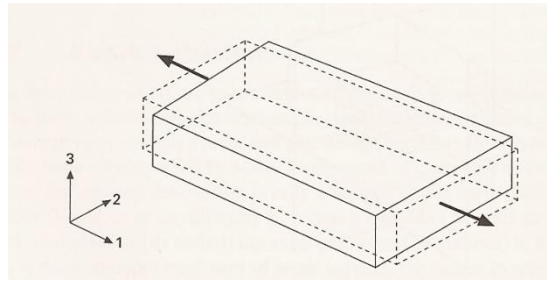
(b)

(c)

(a) Eş şekil değiştirme hali (Paralel lifler)

(b) Eş gerilme hali (Dik lifler)

(c) Elastisite modülünün kompozitin bileşim oranı ile değişimi (Rastgele lifler) (Ünal)



Şekil 2.14. Çekme kuvvetinin uygulanması (Long 2005)

Kompozit malzemelerin çekme mukavemetleri liflerin kopmasıyla sona erer. En uygun kompozit yapısında lifler kuvvet doğrultusunda paraleldir. Liflerin kuvvet yönüne dik olduğu hallerde makro ile lifler aynı yükü taşır. Eş gerilme hali bilinen bu yükleme karşısında kompozitin elastisite modülü;

$$E_k = \frac{E_m E_f}{E_m V_f + (1 - V_f) E_f} \quad 2.2$$

E_f , T_f liflerin çekme mukavemeti, T_m liflerin koptuğu andaki şekil değiştirme için matristeki gerilme ve V_f liflerin hacimsel oranı ile kompozitin çekme mukavemetidir (Ünal).

$$T_k = T_f V_f + (1 - V_f) T_m \quad 2.3$$

2.6. Ağaç Malzemelerin Mekanik Özellikleri

Ağaç malzemenin dışarıdan yapılan yüklemeler ile biçimini değiştirmeye zorlayan kuvvetlere karşı koyma gücüdür. Kuvvetin tesir ediş şekline göre 4 farklı yükleme ayırt edilir;

1. Devamlı ve yavaş yavaş artan (statik yükleme)
2. Ani, şok şeklinde (dinamik yükleme)
3. Yeknesak ve uzun süreli (yorma yüklemesi)
4. Tesir yönü yeknesak olarak değişen (değişken yükleme)

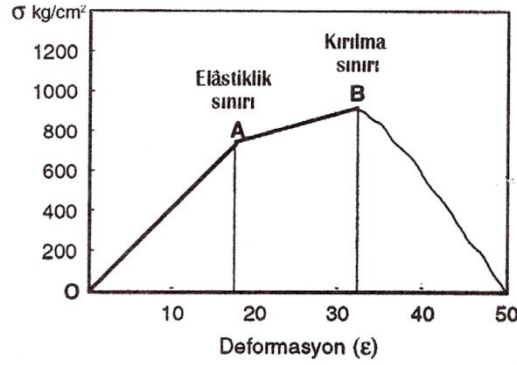
Kesit alanı A olan bir cisme F kuvveti etki ediyor ise $F/A=\sigma$ oranına gerilme veya zor denir. Zor vektörel bir büyüklük olmayıp tensor sınıfına girer. Uzunluğu L olan bir katı cisim germe zoru altında L_1 boyuna ulaşmış ise $L_1-L=\Delta L$ miktarı deformasyon, $\Delta L/L=\epsilon$ oranı zorlanma veya bağıl deformasyon olup, cisim sıkışma zoru altında iken de aynı durum geçerlidir.

Ağaç malzemenin mekanik özelliklerini belirlemede kullanılan örnekler küçük boyutlu kusursuz örnekler ve uygulamada kullanılan boyutlarda olmak üzere iki grupta toplanır. Belli standartlara göre hazırlanan küçük boyutlu kusursuz örnekler;

- Bir ağaç türü odununda mekanik özellikler ile ilgili ortalama değerler elde ederek, karşılaştırma yapmak,
- Büyük boyutlu örneklerde elde edilen deney sonuçlarına göre emniyet gerilmeleri hesabında kullanılacak esaslar elde etmek
- Odun yapısındaki farklılıklar ile uygulanan teknik işlemlerin odunların mekanik özelliklerine etkilerini belirlemek amacı ile kullanılır. Uygulamada kullanılan boyutlardaki örnekler üzerinde yapılan deneyler ise,
- Yapı malzemesi sınıflandırılmasına esas oluşturacak değerler elde etmek,
- Emniyet gerilmeleri için esaslar hazırlamak,
- Mevcut kusurlar ile kurutma, emprenye gibi teknik işlemler ve örnek şeklinin mekanik özelliklere etkilerini belirlemek için yapılır (Örs ve Keskin 2001).

2.6.1. Elastiklik özellikleri

Bir dış kuvvetin etkisi ile şekli değişen bir cismin, kuvvet kalkınca ilk şeklini alabilmesi özelliğidir. Katı cisimler belli bir sınıra kadar, etki eden dış kuvvetin kalkması ile ilk şeklini alabilir. Bu sınıra elastiklik sınırı denir. (Şekil 1)



Şekil 2.15. Kayın odununda yapılan eğilme deneyinde zor-zorlama ilişkisi (Örs ve Keskin 2001)

Katı cisimlerde zor-zorlama ilişkisi OA arasında doğrusal olup, zor kalkınca cisim eski haline döner. Bu bölgede cisim tam elastik olup, A noktasına elastiklik sınırı ya da orantılı sınırı denir. Bu bölgede meydana gelen değişme elastik deformasyon adını alır. Elastiklik sınırından itibaren zor arttırıldığında belli bir noktada (B) cisim kırılır. Bu nokta kırılma sınırıdır. AB arasında meydana gelen değişme yarı plastik deformasyon olup bu bölgede zor kaldırılınca cisim kısmen eski haline dönebilir. Kırılma sınırından itibaren plastik deformasyon söz konusu olup zor kaldırıldığında cisim eski biçimine dönme özelliğini tamamen yitirir. Buna göre; elastiklik sınırını aşmayan bir kuvvetin etkisi altında cismin uğrayacağı deformasyon kuvvet ile orantılıdır (Hooke Kanunu). Bu bölgede zorun zorlanmaya oranı elastiklik modülü (E) olup, 1 mm² kesitli bir çubuğun boyunu 1 kat uzatmak için 1 cm²'ye uygulanacak kuvvet ifade eder ($E = \sigma / \epsilon$ kg/cm²). Buna göre; elastiklik modülü küçüldükçe cisim elastikleşir.

Elastiklik sınırı ile kırılma sınırı arasındaki mesafeden cismin deformasyon kabiliyeti belirlenir. Deformasyon kabiliyetinin tersi gevreklik olup, gevrek cisimler elastiklik sınırı aşıldıktan kısa süre sonra kırılır. Eğilme deneyinde B ve A noktalarında meydana gelen eğilme miktarları f_B , f_A , gerilme miktarları σ_B , σ_A ise deformasyon veya eğilme kabiliyeti; $Z = (f_B - f_A) / (\sigma_B - \sigma_A)$ eşitliğinden hesaplanır. Ağaç malzemedeki elastiklik

modülü liflere paralel yönde ($E_{//}$), radyal yönde (E_r), teğet yönde (E_T) ise, aralarında $E_{//} > E_r > E_T$ ilişkisi vardır.

2.6.1.1. Elastiklik modülünün belirlenmesi

Elastiklik modülü, kuvvetin tesir şekline göre statik ve dinamik metod olmak üzere iki şekilde belirlenir. Statik elastiklik modülleri çekmede E_c , basınçta E_b , eğilmede E_e ile gösterilirse aralarında $E_c > E_b > E_e$ ilişkisi vardır. Şok şeklinde tesir eden kuvvetlerde dinamik elastiklik modülü (E_d) belirlenir. Dinamik ve statik elastik modülleri arasındaki fark önemsizdir.

Statik metod ile çekme ve basınç hallerinde elastiklik modülü; elastik deformasyon bölgesinde iki gerilme (zor) arasındaki farkın ($\Delta\sigma$), bu gerilme farkına karşılık meydana gelen zorlanmaya (ϵ) oranından hesaplanır ($E = \Delta\sigma / \epsilon$). Elastik sınırı altında etki eden F_1 ve F_2 kuvvetlerine ait gerilmeler σ_1 ve σ_2 , örnek kesit alanı A , gerilmeler arasındaki farka ($\Delta\sigma$) karşılık örnekte meydana gelen deformasyon ΔL , örneğin F_1 ön yüklemesinden sonraki uzunluğu L_1 ise çekme veya basınç halindeki elastiklik modülleri;

$$E_c \text{ veya } E_b = \frac{\sigma_2 - \sigma_1}{\epsilon} = \frac{\Delta\sigma}{\Delta L / \Delta L_1} = \frac{\Delta F * L_1}{A * \Delta L} \text{ kg/cm}^2 \quad 2.4$$

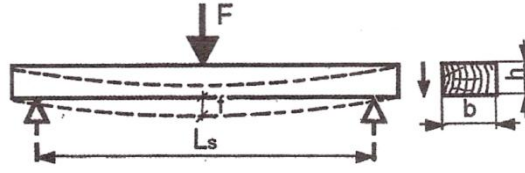
eşitliğinden hesaplanır.

Eğilme halinde elastiklik modülü (E_e) kuvvetin dayanak noktalarına göre tam ortadan tesir etmesi halinde; dayanak noktaları arasındaki açıklık L_s , örnek enine kesit genişliği b , yüksekliği h , elastiklik deformasyon bölgesinde F_1 ve F_2 kuvvetleri farkına (ΔF) karşılık oluşan eğilme miktarları farkı Δf ise;

$$E_e = \frac{\Delta F * L_s^3}{4 * \Delta f * b * h^3} \text{ kg/cm}^2 \quad 2.5$$

eşitliğinden hesaplanır. Statik yoldan elastiklik modülü deneylerinde aşağıdaki kurallara uyulmalıdır.

- Deneye başlarken $5-10 \text{ kg/cm}^2$ 'lik bir gerilme oluşturacak şekilde ön yükleme (F_1) yapılır.



Şekil 2.16. Kuvvet uygulamasının gösterimi

- F_2 yükü uygulanarak L_2 uzunluğu veya f_2 eğilme miktarı ölçülür.
- Yük, F_1 ön yükü miktarına indirilerek L_1 veya f_1 belirlenir.
- $\Delta F = F_2 - F_1$ yüküne karşılık meydana gelen uzunluk farkı $\Delta L = L_2 - L_1$ veya eğilme farkı $\Delta f = f_2 - f_1$ hesaplanır.
- Birinci yük basamağı ($F_2 - F_1$) den sonra ikinci yük basamağı; $F_3 - F_1 = 2(F_2 - F_1)$, üçüncü yük basamağı; $F_4 - F_1 = 3(F_2 - F_1)$ olacak şekilde uygulanır.

Bazı ağaç türlerinin %12 rutubette liflere paralel ($E_{e//}$) ve liflere dik ($E_{e\perp}$) yönlerde ortalama elastiklik modülü değerleri tablo 1’de verilmiştir.

Çizelge 2.2. Bazı ağaç türlerinde elastiklik modülü

AĞAÇ TÜRÜ	$E_{e//}$ (kg/cm ²)	$E_{e\perp}$ (kg/cm ²)
Ladin	110 000	5500
Sarıçam	120 000	4600
Göknar	140 000	4900
Doğu kayını	125 000	
Meşe	130 000	10 000

Eğilmede elastiklik modülü deneyinde dayanak noktaları açıklığının elastiklik sınırında ölçülen eğilme miktarına oranından gevreklik faktörü ($G = L_s / f$) hesaplanır. $G = 40-50$ arasında ise odun gevrek, $30-40$ arasında orta, $20-30$ arasında elastik olarak değerlendirilir.

2.6.1.2. Elastiklik modülünü etkileyen faktörler

- Yoğunluk arttıkça artar.
- Lif doygunluk noktasına kadar su miktarı arttıkça azalır. LDN üstünde, su miktarının artması ile önemli bir değişme olmaz. Higroskopik sınırlar içerisinde rutubette %1’lik değişme elastiklik modülünde %2’lik bir fark oluşturur. Buna

göre rutubet r_1 için elastiklik modülü E_1 ise, r_2 rutubetteki değeri; $E_2 = E_1[1 - 0,02(r_2 - r_1)]$ olur.

- Odunun sıcaklığı arttıkça azalır.
- Liflerin gidiş yönü ile örnek boyuna eksenini arasındaki açı arttıkça azalır.
- Liflere paralel ($E_{//}$) radyal (E_r) ve yıllık halkalara teğet (E_t) yönlerdeki elastiklik modülleri arasında $E_{//} > E_r > E_t$ ilişkisi vardır.
- Kuvvetin tesir yönü ile yıllık halkaların gidiş yönü arasındaki açı $\Psi=90^\circ$ iken en yüksek, $\Psi=45^\circ$ iken en düşüktür.
- Ağaç malzeme uzunluğunun (L) enine kesit yüksekliğine (h) oranı (L/h) 15'e kadar arttıkça azalır, 15'in üstünde arttıkça değişmez.

2.6.2. Direnç özellikleri

Katı cisme etki eden dış kuvvet elastiklik sınırı üstünde arttırıldıkça deformasyon gerilmeye oranla daha fazla artar. Kırılma sınırına ulaşıldığında karşı koyma sona ererek kırılma meydana gelir. Kırılma sınırındaki yüke kırılma yükü, bunun birim alana isabet eden miktarına ise kırılma gerilmesi veya direnç denir.

Ağaç malzemenin direnç özelliklerini belirlemek maksadı ile hazırlanan küçük boyutlu kusursuz örnekler; liflere tamamen paralel alınmalı, yıllık halkalar enine kesitin bir kenarına paralel olmalıdır. Diri odun veya iç odun (öz odun, olgun odun) örnekleri ayrı alınmalı, deneylerden sonra örneklerin rutubeti, yıllık halka genişliği, yıllık halka iştirak oranları belirlenmeli, örneklerin gövdeden alındıkları yükseklik ve özden uzaklıkları belirtilmelidir.

Uygulamada kullanılan boyutlardaki (büyük boyutlu) örneklerde direnç deneyleri yapıldıktan sonra, sonuçların karşılaştırılması bakımından bunlardan küçük kusursuz örnekler hazırlanarak deneyler yapılır.

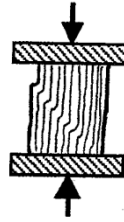
2.6.2.1. Statik dirençler

Ağaç malzemeye en fazla uygulanan statik dirençler; liflere paralel ve liflere dik yönlerde basınç ve çekme, eğilme, makaslama, burulma (torsiyon) ve yarıma dirençleridir.

Basınç direnci: Ağaç malzemenin yapılarda, el sanatlar ve sanayide kullanılmasında önemli olup liflere dik yönde ($\sigma_{B\perp}$) paralel yöndekinin ($\sigma_{B\parallel}$) %10-20'si kadardır. Diğer malzemelerden farklı olarak ağaç malzemede liflere paralel yöndeki basınç direnci bu yöndeki çekme direncinin %50'si kadardır. Buna karşılık taş, beton ve demirde basınç direnci çekme direncinin birkaç katıdır.

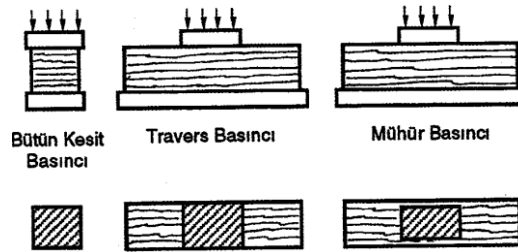
Odunda fiziksel ve mekaniksel deneyler için örnek alma metodları TS 2470, basınç direnci deney esasları; liflere dik yönde TS 2473, liflere paralel yönde TS 2595'de belirlenmiştir.

Liflere paralel yönde basınç direnci deneyinde kırılma sınırına yaklaşıldığında örnekte ezilme meydana gelerek sert doku kısımları yumuşak doku içerisine çöker (şekil 2). Ezilme anında liflere meyilli konumda kayma ve lifler yönünde yarılmaya ya da boşluk oluşur. Örnek yoğunlukları deneyden önce, rutubetler ise deneyden sonra belirlenir. Kırılma anındaki yük (F_{max}) ve örnek enine kesit alanı (A) için basınç direnci $\sigma_{B\parallel} = F_{max} / A$ eşitliğinden hesaplanır.



Şekil 2.17. Liflere paralel yönde basınç direnci (Örs ve Keskin 2001)

Yapılarda ahşap kirişler ve demir yolu traversleri liflere dik yönde basınç etkisindedir. Bu etki sonucunda hücre lümenlerindeki boşluklar gitgide kapanarak sıkışma ve ezilmeler meydana gelir. Ağaç malzemenin liflere dik yöndeki basınç direnci deneylerinde; bütün kesit basıncı, travers basıncı ve mühür basıncı olmak üzere üç farklı yükleme şekli uygulanır (Şekil 2.18).



Şekil 2.18. Liflere dik basınç direnci deneylerinde yükleme şekilleri

Liflere dik yönde basınç direnci deneyi yükleme hızı dakikada 10 kp/cm²arttırılarak örnek kalınlığının yüzde biri (b*0,01≈0,5 mm) kadar ezilme sağlanıncaya kadar sürdürülür. Deney sırasında yük-deformasyon değerleri ile grafik çizilir ve $\sigma_{B\perp} = F_{\max} / A$ eşitliğinden basınç direnci hesaplanır. Bazı ağaç cinsi odunlarının %12 rutubetteki basınç dirençleri çizelge 2.3'te verilmiştir.

Çizelge 2.3. Bazı ağaç cinsi odunlarının basınç direnci (Örs ve Keskin 2001)

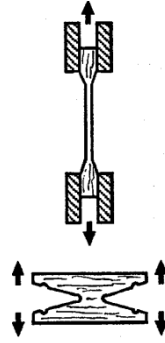
Ağaç Cinsi	σ_B (kg/m ³)	
	$\sigma_{B//}$	$\sigma_{B\perp}$
Cam	550	77
Ladin	500	58
Douglasie	470	65
Melez	550	75
Kayın	620	
Meşe	650	10
Dişbudak	520	110
Akasya	730	199
Kavak	345	33

Basınç direncini etkileyen faktörler

- Bütün ağaç türlerinde yoğunluk arttıkça bununla doğru orantılı olarak basınç direnci de artar. Hava kurusu haldeki yoğunluk ve liflere paralel basınç direncinden odunların basınca göre kalitesini belirlemek için statik kalite değeri (k_{st}) hesaplanır.
- Kuvvetin tesir yönü ile liflerin gidiş yönü arasındaki açı 0^0 - 90^0 'ler arasında arttıkça $\sigma_{B//}$ azalır.
- Kuvvetin tesir yönü ile yıllık halkaların gidiş yönü arasındaki açı $\Psi=0^0$ iken iğne yapraklı ağaçlarda, $\Psi=90^0$ iken yapraklı ağaçlarda basınç direnci en yüksek olup, $\Psi=45^0$ iken her iki ağaç cinsinde de en düşüktür.
- Higroskopik sınırlar içerisinde odunun rutubeti arttıkça basınç direnci azalır. %8-28 rutubetler arasındaki r_1 rutubeti için basınç direnci σ_{B1} ise, bu sınırlar arasındaki r_2 rutubeti için basınç direnci $\sigma_{B1} / \sigma_{B2} = (32-r_1) / (32-r_2)$ eşitliğinden hesaplanabilir. Buna göre herhangi bir rutubetteki (r) basınç direnci σ_B ise %12 rutubetteki basınç direnci; $\sigma_{B12} = \sigma_B * 20/(32-r)$ kadardır.

- Odunun sıcaklığı 0^0 'nin üstünde arttıkça basınç direnci azalır. Buna göre, t_1 sıcaklığındaki basınç direnci σ_{B1} ve tam kuru yoğunluğu (δ_0 g/cm³) bilinen odunun t_2 sıcaklığındaki basınç direnci $\sigma_{B2} = \sigma_{B1} - 4,76 * \delta_0(t_2-t_1)$ eşitliğinden hesaplanır.

Çekme direnci: Ağaç malzemenin, zıt yönlerde etki ederek liflerini koparmaya çalışan iki kuvvete karşı koyma gücüdür. Liflere paralel (σ_{\parallel}) liflere dik (σ_{\perp}) olmak üzere TS 2475 ve TS 2476 esaslarına göre belirlenir (Şekil 2.19).



Şekil 2.19. Liflere paralel ve dik çekme direnci (Örs ve Keskin 2001)

Liflere paralel yöndeki çekme direnci, ağaç malzemenin direnç özellikleri içerisinde en yüksek değer vermektedir. Ortalama olarak $\sigma_{\parallel} > 10 * \sigma_{\perp}$ kadar olup bazı ağaç cinslerinin %12 rutubetteki çekme dirençleri çizelge 2.4'te verilmiştir. Kopma anındaki kuvvet (F_{max}) ve kopmanın meydana geldiği kesit alanı (A) için çekme direnci $\sigma_{\parallel} = F_{max}/A$ eşitliğinden hesaplanır. Deneyden sonra örneklerde yoğunluk, rutubet, yıllık halka genişliği ve yaz odunu olarak iştirak oranları belirlenir.

Çizelge 2.4. Bazı ağaç cinslerinin çekme dirençleri (Örs ve Keskin 2001)

Ağaç Cinsi	σç (kg/m3)	
	σç//	σç⊥
Cam	1190	30
Ladin	900	38
Douglasie	1050	34
Melez	1070	50
Kayın	1350	107
Meşe	900	90
Dişbudak	1650	112
Akasya	1360	81
Kızılağaç	590	25

Çekme direncini etkileyen faktörler

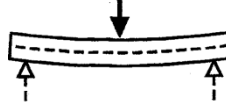
- Ağaç malzeme yoğunluğu arttıkça çekme direnci artar. Yoğunluk statik dirençler içerisinde en çok çekme direncini, sonra sırası ile eğilme, makaslama ve basınç direncini etkiler. Liflere dik yöndeki çekme direnci odun elemanları arasındaki bağlanma gücünün bir ölçüsüdür. Bu nedenle hava kurusu rutubetteki liflere dik çekme direnci ($\sigma_{ç\perp}$) ve yoğunluk değerlerinden odunun çekmeye göre kalitesi $k_{ç} = \sigma_{ç\perp}/100^{*\delta}$ eşitliğinden hesaplanarak tablo 5'teki gibi sınıflandırılır.

Çizelge 2.5. Odunların çekmeye göre kalitesi (Örs ve Keskin 2001)

Kalite Sınıfı	$k_{ç}$
Zayıf	0,15 - 0,30
Orta	0,30 - 0,45
Kuvvetli	0,45 - 0,60

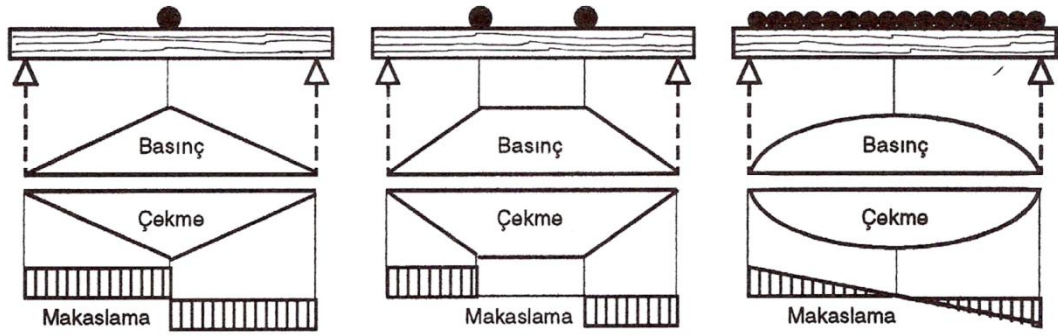
- Budaklar, statik dirençler arasında, en çok çekme direncini azaltır.
- Odunun rutubeti %12-LDN arasında %1 arttıkça çekme direnci %3 azalır. Buna göre bu sınırlar içerisinde r_1 rutubetteki çekme direnci $\sigma_{ç1}$ ise diğer bir r_2 rutubetindeki çekme direnci $\sigma_{ç2} = \sigma_{ç1} [1-0,03(r_2-r_1)]$ eşitliğinden hesaplanabilir.
- Kuvvetin tesir yönü ile liflerin gidiş yönü arasındaki açı 0^0-45^0 arasında arttıkça çekme direnci azalır.

Eğilme direnci: İki ucundan birer destek üzerine yerleştirilen ağaç malzemeye liflere dik yönde eğilme etkisi yapan bir kuvvet uygulandığında orta tabakada herhangi bir zorlanma olmadığı halde (nötr tabaka) üst kısımlar sıkıştırma, alt kısımlar çekme zoru etkisinde kalır.



Şekil 2.20. Eğilme kuvvetinin uygulaması (Örs ve Keskin 2001)

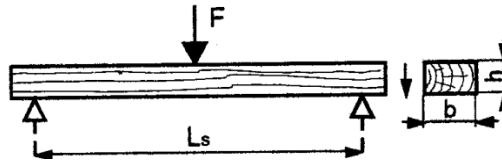
Kuvvetin uygulama noktasında ise kesme (makaslama) zoru etkisindedir. Malzeme içerisindeki gerilmelerin dağılışı yüklemenin tam ortadan, merkeze göre simetrik iki noktadan ve malzeme boyunca yeknesak şekilde yapılması hallerine göre değişir.



Şekil 2.21. Eğilme direnci deneyinde yükleme şekilleri (Örs ve Keskin 2001)

Ağaç malzemenin eğilme direnci deneyi TS 2474 esaslarına göre yapılır. Kusursuz küçük boyutlu örneklerde kuvvet tam ortadan uygulanarak kırılma anındaki yük (F_{max}) için eğilme direnci;

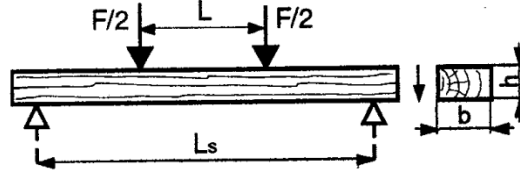
$$\sigma_E = \frac{3}{2} * \frac{F \cdot L_s}{b \cdot h^2} \quad 2.6$$



eşitliğinden hesaplanır. Uygulama boyutundaki yapı malzemesinde ise kuvvet merkeze göre simetrik iki noktadan uygulanır. Bunun nedeni ise kuvvet uygulama noktaları

arasında makaslama gerilmesi oluşmadan malzemenin bu noktalar arasında en zayıf yerden kırılmasını sağlamaktır. Bu durumda eğilme direnci;

$$\sigma_E = \frac{3}{2} * \frac{F (L_s - L)}{b \cdot h^2} \quad 2.7$$



eşitliğinden hesaplanır ($F = 2F / 2$, $L_s/3 \geq L \geq 200$ mm).

Bazı ağaç cinslerinde %12 rutubetteki ortalama eğilme dirençleri çizelge 2.6'da verilmiştir.

Çizelge 2.6. Bazı ağaç cinslerinin eğilme dirençleri (Bozkurt 1986)

Ağaç Cinsi	σ_E (kg/m ³)
Cam	1000
Ladin	780
Douglasie	790
Melez	990
Kayın	1230
Meşe	1100
Dişbudak	1200
Akasya	1360
Kavak	600

Eğilme deneyinde, çekme gerilmesi çoğunlukla basınç gerilmesinden fazladır. Bu nedenle eğilme direnci basınç ve çekme direnci arasında olup çekme direncine yaklaşır. %12 rutubetteki eğilme ve basınç direncine göre eğilmede sağlamlık $S_E = \sigma_E / \sigma_B$ eşitliğinden hesaplanarak sınıflandırma çizelge 2.7'deki gibi yapılır.

Çizelge 2.7. Eğilme halinde sağlamlık ölçüsü (Örs ve Keskin 2001)

Eğilmede Sağlamlık	S_E
Az	2
Orta	2 - 3
Çok sağlam	3 - 4

Eğilme direncini etkileyen faktörler

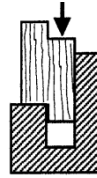
- Ağaç malzemenin yoğunluğu arttıkça eğilme direnci de artar. %12 rutubetteki eğilme direnci ve yoğunluğuna göre eğilmede kalite faktörü $k_E = \sigma_E / 100^{*8}$ eşitliğinden hesaplanarak çizelge 2.8'deki gibi sınıflandırılır.

Çizelge 2.8. Odunların eğilmeye göre kalitesi (Örs ve Keskin 2001)

Eğilme Kalitesi	k_E
Düşük	10 - 15
Orta	15 - 20
Yüksek	20 - 25

- Odun rutubeti higroskopik sınırlar içerisinde %1 arttıkça eğilme direnci %4 azalır. Buna göre bu sınırlar içerisinde; r_1 rutubetindeki eğilme direnci σ_{E1} ise, r_2 rutubetindeki eğilme direnci; $\sigma_{E2} = \sigma_{E1}[1 - 0,04(r_2 - r_1)]$ eşitliğinden hesaplanır.
- Örnek boyuna eksenine ile liflerin gidiş yönü arasındaki açı $0^0 - 90^0$ arasında arttıkça eğilme direnci azalır.

Makaslama direnci: Ağaç malzemenin bitişik iki düzlemini aksi yönlerde kaydırarak birbirinden ayırmaya çalışan kuvvetlere karşı koyma gücüdür. Uygulamada yapı malzemelerinin birleşme yerleri ve çentik açılmış kısımlarında önemlidir.



Şekil 2.22. Makaslama direnci uygulaması (Örs ve Keskin 2001)

Makaslama direnci deneyi TS 3459 esaslarına göre ve liflere paralel yönde yapılır. Ağaç malzemenin bitişik iki kesitini birbirinden ayıran yük (F_{max}) ve birbirinden ayrılan yüzeylerin kesit alanı A için makaslama direnci; $\sigma_m = F_{max}/A$ eşitliğinden hesaplanır. Bazı ağaç cinsi odunlarının %12 rutubetteki ortalama makaslama dirençleri çizelge 2.9'da verilmiştir.

Çizelge 2.9. Bazı ağaç cinslerinin makaslama dirençleri (Örs ve Keskin 2001)

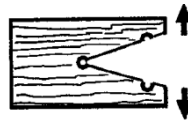
Ağaç Cinsi	σ_m (kg/m ³)
Cam	100
Ladin	67
Douglasie	79
Melez	90
Kayın	150
Meşe	110
Dişbudak	128
Akasya	128
Kavak	65

Makaslama direncini etkileyen faktörler

- Ağaç malzemede yoğunluk arttıkça makaslama direnci artar.
- Makaslama kuvveti tesir yönü ile lif yönü arasındaki açı 0^0-90^0 arasında arttıkça makaslama direnci azalır.
- Higroskopik sınırlar içerisinde odun rutubeti %1 arttıkça makaslama direnci %3 azalır. Buna göre bu sınırlar içerisinde r_1 rutubetteki makaslama direnci σ_{m1} ise, herhangi bir r_2 rutubetindeki makaslama direnci $\sigma_{m2} = \sigma_{m1}[1-0,03(r_2-r_1)]$ eşitliğinden hesaplanır.

Yarılma direnci: Ağaç malzemenin lifleri arasına girerek onu yarmaya çalışan kama şeklindeki cisimlerin etkisine gösterdiği karşı koyma gücüdür. Yarılma direncinin aksini ifade eden yarılma kabiliyeti fiçicilik, müzik aletleri yapımı, sepetçilik gibi kullanım yerlerinde, yarılma direnci çivi ya da vida gibi cisimlerin oduna çakılması sırasında yarılmaması bakımından önemli olmaktadır.

Yarılma direnci TS 7613 esaslarına göre belirlenir. Bu maksatla liflere paralel, yıllık halkalara teğet ya da radyal yönde kuvvet uygulanır.



Şekil 2.23. Yarılma direncinin uygulaması (Örs ve Keskin 2001)

Yarılma anındaki kuvvet (F_{max}) ve yarılma yüzeyine (A) göre yarılma direnci $\sigma_y = F_{max}/A$ eşitliğinden hesaplanır. Bazı ağaç cinslerinin %12 rutubette radyal yöndeki ortalama yarılma dirençleri çizelge 2.11’de verilmiştir.

Çizelge 2.10. Bazı ağaç cinslerinde yarılma direnci (Örs ve Keskin 2001)

Ağaç Cinsi	σ_y (kg/m ³)
Cam	4,6
Ladin	5,1
Melez	5,2
Kayın	8,6
Meşe	8,8
Dişbudak	9,6
Akasya	6,2

Yarılma direncini etkileyen faktörler

- Ağaç malzeme yoğunluğu arttıkça yarılma direnci artar. Hava kurusu haldeki yarılma direnci (σ_y) ve yoğunluk (δ) değerlerinden odunun yarılma kalite faktörü $k_y = \sigma_y/100*\delta$ eşitliğinden hesaplanarak çizelge 2.11’deki gibi sınıflandırılır.

Çizelge 2.11. Yarılma özelliğine göre sınıflandırma (Örs ve Keskin 2001)

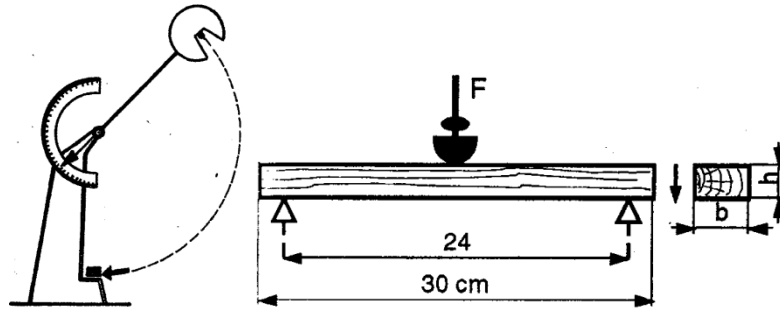
Ağaç Cinsi	σ_y (kg/m ³)
Cam	4,6
Ladin	5,1
Douglaise	0,38
Melez	5,2
Kayın	8,6
Meşe	8,8
Dişbudak	9,6
Akasya	6,2

- Odunun rutubeti %12-17 arasında iken yarılma direnci en yüksek değerini alır. Rutubet $r > \%17$ iken %1 arttıkça %0,1-0,02, $r < \%12$ iken %1 azaldıkça %0,03-0,07 azalır.
- Yarılma direnci yıllık halkalara teğet yönde radyal yöndekinden büyüktür ($\sigma_{yT} > \sigma_{yR}$).

2.6.2.2. Dinamik dirençler

Dinamik eğilme direnci (Şok direnci): Ağaç malzemenin ani tesir eden kuvvetlere karşı koyma gücüdür. Spor aletleri, ambalaj sandıkları, taşıt araçları, makineler, köprüler, merdivenler ve kulelerde kullanılan ağaç malzemeler şok şeklindeki dinamik yükler etkisinde kalır. Bu gibi kuvvetlere karşı direnci yüksek olan dişbudak gibi odunlarda kırılma yüzeyleri kıymıklı olup şok etkisine direnci düşük olan gevrek odunlarda ise kırılma kesitleri düz veya kısa kıymıklıdır.

Ağaç malzemenin şok direnci TS 2477 esaslarına uyularak pandüllü çekiç aleti ile yapılır (şekil 6). Belli bir yükseklikten örnek üzerine serbest olarak düşürülen 10 kg.m iş gücüne sahip çarpma çekici ilk konumda sahip olduğu kinetik enerjisinin bir kısmını örneği kırmak için harcar. Bu nedenle örneği kırdıktan sonraki yüksekliği ile ilk yüksekliği arasındaki fark örneği kırmak için harcadığı iş miktarı kadardır. Kırılma anında harcanan iş (w) alettaki taksimatlı kadrandan belirlenerek dinamik eğilme direnci; $\sigma_{DE} = w / b \cdot h$ (kg.m/cm^2) eşitliğinden hesaplanır. Deneylemlerden sonra örneklerin yoğunluk ve rutubetleri belirlenir. Bazı ağaç cinslerinin %12 rutubetteki ortalama dinamik eğilme dirençleri tablo 13'te verilmiştir.



Şekil 2.24. Pandüllü çekiç aleti ve şok direnci deneyi (Örs ve Keskin 2001)

Çizelge 2.12. Bazı ağaç cinslerinin dinamik eğilme dirençleri (Örs ve Keskin 2001)

Ağaç Cinsi	σ_{DE} (kg/cm ²)
Cam	0,4
Ladin	0,46
Douglaise	0,38
Melez	0,6
Kayın	1
Meşe	0,6
Dişbudak	0,68
Akasya	1,35
Kavak	0,5

Şok direncini etkileyen faktörler

- Ağaç malzemenin %12 rutubetteki yoğunluğu (δ g/cm³) ile şok direnci arasında; $\sigma_{DE} = K \cdot \delta^n$ ilişkisi mevcut olup burada K; %12 rutubette 1,5-2,1 arasında sabit bir değerdir. N; meşe ve dişbudakta 3, diğer ağaç türlerinde 2 alınır. Odunların şok direncine göre sınıflandırmada dinamik kalite faktörü (k_D) belirlenir. Bunun için kırılma katsayısı; $k_k = w/a \cdot b^{10/6}$ eşitliğinden hesaplanarak %12 rutubetteki yoğunluk (δ) için; $k_D = k_k / \delta^2$ değerine göre sınıflandırma çizelge 2.13'teki gibi yapılır.

Çizelge 2.13. Odunların şok direnci sınıfları (Örs ve Keskin 2001)

Şok Direnci Sınıfı	k_D
Gevrek (Kolay kırılan)	<0,8
Orta	0,8 - 1,2
Elastik (Güç Kırılan)	>1,2

- Odun rutubetinin dinamik eğilme direncine etkisi ağaç türlerine göre farklıdır. Çam, ladin ve kayında $r = \%0-15$ arasında rutubetteki %1'lik artış şok direncini %2,5 azaltırken $r = 15-20$ arasında değişmemekte $r = \%20-LDN$ arasında artış göstermekte, ancak %0 rutubetteki değerine ulaşmamaktadır. Kayında $r = 20-LDN$ arasında rutubet %1 arttıkça şok direnci %0,5 azalmakta, meşede ise $r = \%0-LDN$ arasında rutubet arttıkça şok direnci artmakta, LDN rutubetinde en yüksek değerine ulaşmaktadır.

- Örnek boyuna eksenine ile liflerin gidiş yönü arasındaki açı arttıkça şok direnci azalır. 5°'lik lif açısı şok direncini %10, 10°'lik lif açısı %50 azaltır.
- Yıllık halka genişliği arttıkça şok direnci iğne yapraklı ağaçlarda azalır, dişbudak ve meşe gibi halkalı trahehelilerde ise artar. Yıllık halka genişliği 1 mm'den az iken şok direnci dişbudakta azalır, kayında ise en yüksek değerini alır.

2.6.2.3. Yorma deneyleri (Sürekli yüklemelere karşı direnç)

Ağaç malzemenin mekanik etkilere karşı koyma gücüne zaman faktörünün etkisini belirlemek için yapılır. Sürekli direnç, ağaç malzemenin uzun ve sürekli yüklemelere karşı kırılmadan karşı koyabileceği en yüksek gerilme miktarıdır.

Uygulamada olduğu gibi, malzemede uzun süreli devamlı yüklemelerin tesir şekli ve miktarı değişmeksizin kırılmadan karşı koyma gücüne sabit yüklemeli sürekli direnç denir. Bu direnç çeşidi basınç, eğilme, çekme, makaslama, burulma şeklinde denenebilir. Bazı kullanım yerlerinde yüklemeler sabit olmayıp değişir. Düzenli olarak değişen uzun süreli yüklemelere karşı koyma gücüne değişken yüklemeli sürekli direnç denir.

Değişken yüklemeler de çeşitli olup, farklı yüklemeler birbiri ardınca etki yapabilir. Örneğin; yükleme çekme ve basınç şeklinde devamlı olarak birbiri ardınca tekrarlanır ya da aynı yüklemenin değişik miktarda gerilmeleri etkisinde kalır. Örneğin; basınç, eğilme, çekme, makaslama ve burulama etkilerinden birinin sürekli değişen gerilmeleri etkisi altındadır.

Ağaç malzemede sabit yüklemeli sürekli direnç statik direncin %50-65'i kadar olup buna yorulma sınırı denir ve yapı malzemelerinin kesit hesabında dikkate alınır.

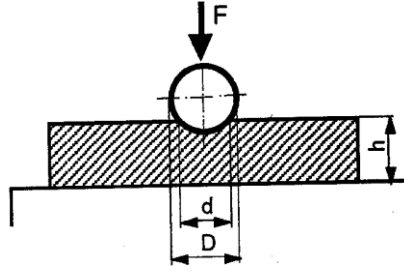
2.6.3. Teknolojik deneyler

Ağaç malzemenin mekanik özelliklerinden olan, fakat direnç özellikleri içinde yer almayan sertlik ve aşınmaya karşı koyma özelliklerine teknolojik deneyler denir.

2.6.3.1. Sertlik

Ağaç malzemenin içerisine girmeye çalışan daha sert bir cisme karşı koyma gücü olup, belirli maksatla teknik bakımdan kullanışlılığı ve işleme kabiliyeti ile ilgilidir. Sertlik, yavaş yavaş artan bir basınç ile odun içerisine giren sert bir cisme karşı koyma (statik sertlik) ve şok şeklinde tesir ederek girmekte olan cisme karşı koyma (dinamik sertlik) olmak üzere iki çeşittir.

Statik sertlik; G. Janka, J. R. Brinell-E. Mörath, M. Krippel, Chalais-Meudon, H. Hoeffgen, H. Mayer-Wegelin metodları, dinamik sertlik ise; R. Baumann, C. Bues-M. V. Schwarz, E. Gaber, A. Pevzoff metodları ile belirlenmektedir. Ülkemizde sertlik deneylerinde TS 2497 esasları geçerli olup J. R. Brinell-E. Mörath metoduna göre; 10 mm çapındaki bir çelik küre yumuşak odunlarda 10 kp, orta sertlerde 50 kp, çok sertlerde 100 kp kuvvet uygulanarak odun içerisine girmeye zorlanır (şekil 7). Odunda açılan çukur çapı (d mm) yardımı ile sertlik;



Şekil 2.25. Brinell-Mörath metoduna göre sertlik deneyi

$$H_B = \frac{2.F}{\pi.D (D - \sqrt{D^2 - d^2})} \text{ kg/mm}^2 \quad 2.8$$

eşitliğinden hesaplanır. Burada; F=çelik kürenin uyguladığı kuvvet (kg), D=Brinell küresi çapı (10 mm) dir. Ağaç malzemenin sertliği liflere dik ($H_{B\perp}$) ve liflere paralel ($H_{B\parallel}$) yönlerde ölçülür ($H_{B\parallel} > H_{B\perp}$).

Sertliği etkileyen faktörler

- Ağaç malzemenin yoğunluğu ile Brinell sertlik değeri arasında doğru orantılı ilişki vardır. Tam kuru yoğunluğu δ_0 g/cm³ olan odunun liflere paralel yönde Brinell sertlik değeri; $H_{B\parallel} = 664,2 \cdot \delta_0 - 145,4$ kg/cm² eşitliğinden hesaplanır.

- Higroskopik sınırlar içerisinde odunun rutubeti lif doygunluk noktasına kadar %1 arttıkça sertlik liflere paralel yönde %4, liflere dik yönde %2,5 oranında azalır.

2.6.3.2. Aşınmaya karşı koyma özelliği

Yapılar içinde zemin döşeme tahtaları ve parkeler yürüme ile devamlı sürtünme ve çarpma yapan kuvvetlerin etkisindedir. Yol ve fabrikalarda kullanılan ahşap kaldırım parkelerinde yürüme ve taşıt araçları tekerlerinin sürtünmesi sonucu aşınır. Yük vagonları ve ambarlarda malzeme hareketi sırasında çarpma ve sürtünme etkileri olur. Makineler ve hareketli parçalarda sürtücü ve şok şeklinde aşındırıcı etkiler meydana gelir.

Aşınmada en önemli faktör sürtünme olup, şok şeklindeki kuvvetler de etkili olabilir. Aşındırıcı cismin sertliği, ve yüzey özelliği, birim alana uygulana basınç, sürtünme hızı, toz, kir vb. yabancı maddeler, rutubet, sıcaklık ile bazı kimyasal maddeler aşınmayı artırırken, ağaç malzeme yüzeyini koruyucu cila, lake, boya, yağlı ve mumlu maddeler azaltıcı etki sağlar. Aşınmaya karşı koyma özelliğini belirlemede çeşitli metod ve aletler kullanılmaktadır.

Aşınmayı etkileyen faktörler

- Ağaç malzemenin yoğunluğu arttıkça aşınmaya karşı koyması artar. Sertlik ile aşınmaya karşı koyma arasında doğru orantılı bir ilişki vardır. Ancak odunda bulunan eterik yağlar ve reçine aşınmayı önemli oranda etkilediği halde sertlik üzerinde etkili değildir. Bu nedenle aşındırma deneyi yerine sertlik deneyi ile yetinmek doğru olmaz.
- Ağaç malzemenin rutubeti higroskopik sınırlar içerisinde arttıkça aşınmaya karşı koyması azalır.
- Dağınık trahee’li yapraklı ağaç odunları halkalı trahee’lilere göre aşınmaya daha iyi karşı koyar. Örneğin, kayın meşeden daha az aşınır.
- Aşındırıcı kuvvetin tesir yönü ile liflerin gidiş yönü arasındaki açı arttıkça aşınmaya karşı koyma artar. Aşınma yüzeyinde yıllık halkaların dik konumda bulunması yatık konuma göre aşınmaya karşı koymayı yaklaşık iki kat artırır.

- Selülozik cila ve polyester cila, adi cila, balmumu, parafin ve bezir yağına göre aşınmaya karşı daha koruyucudur. Yüzey işlemlerinin koruyucu etkisi koruyucu tabakanın sürekli bakımı ile sağlanır.

2.6.4. Emniyet gerilmeleri

Ağaç malzemenen alınan küçük boyutlu ve kusursuz örneklerde standartlara uyularak belirlenen direnç değerleri uygulamada büyük boyutlu, budak, çatlak vb. kusurları olan yapı malzemesinde kullanılmaz. Çeşitli kusurlar ile rutubet, sıcaklık, yükleme şekli, süresi gibi faktörler direnci azaltıcı etki yaparlar. Bu nedenle uygulamada büyük boyutlu kullanılan ağaç malzeme bir emniyet katsayısı (k) kullanılır. Emniyet gerilmeleri (σ_{em}) büyük boyutlu ve çeşitli kusurları bulunan ağaç malzemenin güvenli kullanılabilmesi için en yüksek gerilmeleri gösterir. Bunun miktarı çoğunlukla elastiklik sınırındaki gerilme değerinden daha düşük olup elastik bölgede bulunur. Emniyet katsayısı, emniyet gerilmesi ve statik direnç (σ) değerine göre; $k = \sigma_{em}/\sigma$ oranından hesaplanır (Örs ve Keskin 2001).

2.7. Tekstil Kompozitlerinin Mekanik Özellikleri

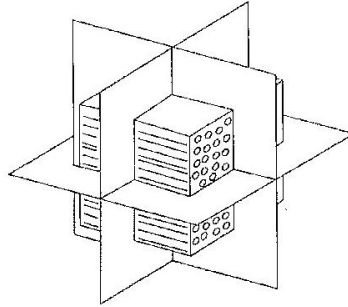
Tekstil kompozitleri, tipik olarak onların yüksek mukavemet-ağırlık ve sertlik-ağırlık oranlarından dolayı kullanılırlar. Bu özelliklerden faydalanmak için bunların yük altındaki davranışlarının iyi bir şekilde anlaşılması ve daha sonra hata kriterleri yoluyla mukavemetlerinin değerlendirilmesi gereklidir. Bazı bulgular (termoset matris malzemeleri makaslama verimli olabilmektedirler) bulunmakla beraber, özellikle termoset takviyeli kompozitler lineer elastikliğin uç noktasında hata verebilirler. Bunun yanında sadece hasarın modellenmesinde değil aynı zamanda hasarın yayılımındaki yapının özelliklerinin azalmasında da artan bir eğilim vardır. Ancak bu aşamaya ulaşabilmek için yapının elastik davranışındaki anlayış belirlenmelidir. Bu nedenle elastik özellikleri mikromekanik temellere dayanan basit yaklaşımları ve özellikle tekstil kompozitleri için geliştirilmiş klasik lamine teoriden çok daha sofistike analizler incelenmelidir. Bunu darbeli yüklemeleri özellikle vurgulayacak şekilde hata davranışının açıklaması takip etmelidir.

2.7.1. Elastik davranış

Kompozit malzemelere esnekliğin uygulaması (tekstil takviyeli kompozitlerin karmaşık lif mimarisiyle idealize edilmiş olanları ile) aşırı derecede karmaşık bir alandır.

2.7.1.1. Esaslar: Ortotropik katı maddeler

Tekstil takviyeli kompozitlerin davranışını anlamak için, ilk olarak anisotropik ve ortotropik davranışın kavramını çalışmak ve lamine (tabaka) analizinden uygun kavramlar sunmak gereklidir. Mikroskobik bir düzeyde görülen matris malzemesinin içine yerleştirilmiş paralel lif demetlerinden (sertçe bağlı oldukları farzedilir) bir araya gelmiş tekstil kompozitleri (onların lif mimarisine bakmaksızın); genellikle polimer özelliği gösterirler, liflerden daha düşük modüle sahiptirler ve genellikle homojen ve isotropik (konum ve yönlenmeye bakmaksızın değişmeyen özellikler) oldukları farzedilir. Bu yapı açıkça, lifin yönünde herhangi bir dikey yönden çok daha büyük olan sertlik ve mukavemete sahip olacaktır. O, yapının simetrisinin açık olduğu ve gerçek anisotropinin genel olayından elastik davranışın bizim işlemimizi basitleştirmeye olanak verdiği bu yapının bir idealleştirmesini gösterir.



Şekil 2.26. Ortotropik katı maddede simetrinin üç düzlemi olarak lif takviyeli kompozitin şematik diyagramı (Long 2005)

Malzemenin elastik davranışı (üç yöndeki gerilme ve gerinim arasındaki ilişkiler) ortotropik esas model tarafından karakterize edilmiş simetrinin üç düzlemine sahiptir. Bu, 3 tane elastik modül E_1 , E_2 , E_3 , 3 tane Poisson oranı ν_{12} , ν_{23} , ν_{31} ve 3 tane kesme modülü G_{12} , G_{23} , G_{31} ile tanımlanır. Diğer 3 Poisson oranı, daha önce belirtilen modül ve Poisson oranları ile ilgilidir.

$$\nu_{21} = \nu_{12} \frac{E_2}{E_1}; \nu_{32} = \nu_{23} \frac{E_3}{E_2}; \nu_{13} = \nu_{31} \frac{E_1}{E_3} \quad 2.9$$

Elastik davranış, ortotropik malzemeler için geçerli Hooke Kanunu aracılığıyla ifade edilebilir.

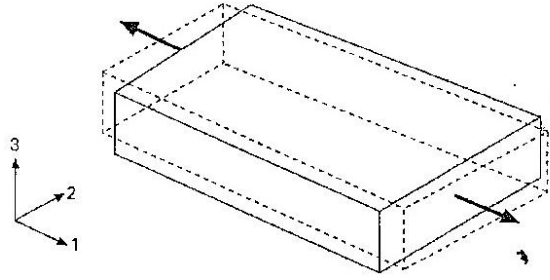
$$\varepsilon_1 = \frac{1}{E_1} (\sigma_1 - \nu_{12}\sigma_2 - \nu_{13}\sigma_3)$$

$$\varepsilon_2 = \frac{1}{E_2} (\sigma_2 - \nu_{21}\sigma_1 - \nu_{23}\sigma_3)$$

$$\varepsilon_3 = \frac{1}{E_3} (\sigma_3 - \nu_{31}\sigma_1 - \nu_{32}\sigma_2)$$

$$\gamma_{12} = \frac{\tau_{12}}{G_{12}} \quad \gamma_{23} = \frac{\tau_{23}}{G_{23}} \quad \gamma_{13} = \frac{\tau_{13}}{G_{13}} \quad 2.10$$

Hooke kanununun 3 boyutlu izotropik ifadesinin genelleştirilmiş halidir ki bu katı cisimler mekaniğinin ilk matematiksel ilişkisidir. Pratikte bakıldığında genel olarak ince bir katmanla ya da malzemelerin tabakalarıyla ilgilenilir. Bu aşamada çoğunlukla kalınlık boyunca gerilmenin (σ_3) ve kalınlık boyunca geriniminin (ε_3) önemsiz olduğu varsayılır.



Şekil 2.27. Gerilme-Makaslama olmadan eksen boyunca yer alan ortotropik katı madde yüklemesi (Long 2005)

$$\varepsilon_1 = \frac{1}{E_1} (\sigma_1 - \nu_{12}\sigma_2)$$

$$\varepsilon_2 = \frac{1}{E_2} (\sigma_2 - \nu_{21}\sigma_1)$$

$$\gamma_{12} = \frac{\tau_{12}}{G_{12}}$$

2.11

Bu ilişkiler matris yapısı içinde daha uygun olarak ifade edilebilir:

$$\begin{Bmatrix} \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \\ \gamma_{12} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{1}{E_1} & -\frac{\nu_{12}}{E_1} & 0 \\ -\frac{\nu_{21}}{E_2} & \frac{1}{E_2} & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1}{G_{12}} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \sigma_1 \\ \sigma_2 \\ \tau_{12} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} S_{11} & S_{12} & 0 \\ S_{12} & S_{22} & 0 \\ 0 & 0 & S_{66} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \sigma_1 \\ \sigma_2 \\ \tau_{12} \end{Bmatrix}$$

$$\{\varepsilon\} = [S]\{\sigma\} \quad 2.13$$

Katmanın eksen üzerindeki uygun matrisinin [S] elementleri S_{11} vs. Elastik davranış için uygun matris simetrik olmalıdır, bundan dolayı 1 nolu denklemden $\nu_{12}/E_1 = \nu_{21}/E_2$ elde edilir. Bu nedenle sadece 4 bağımsız sabitin (E_1 , E_2 , G_{12} ve Poisson oranlarının biri) katmanın düzlemdeki elastik davranışıyla tanımlanması gerekmektedir. 2.13 nolu denklemden bulunan matristeki 0'ların varlığının anlamı; eksen yönünde gerildiğinde, malzemenin makaslama şekli bozulmamıştır.

Bu davranış, simetrisinin direkt sonucudur ve şekil 2.27'de gösterilmiştir. Bazen bu, gerinin süresinde gerilmenin ifade edilmesi yerine tercih edilebilir:

$$\begin{Bmatrix} \sigma_1 \\ \sigma_2 \\ \tau_{12} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{E_1}{1-\nu_{12}\nu_{21}} & \frac{\nu_{12}E_2}{1-\nu_{12}\nu_{21}} & 0 \\ \frac{\nu_{21}E_1}{1-\nu_{12}\nu_{21}} & \frac{E_2}{1-\nu_{12}\nu_{21}} & 0 \\ 0 & 0 & G_{12} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \\ \gamma_{12} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} Q_{11} & Q_{12} & 0 \\ Q_{12} & Q_{22} & 0 \\ 0 & 0 & Q_{66} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \\ \gamma_{12} \end{Bmatrix}$$

$$\{\sigma\} = [Q]\{\varepsilon\} \quad 2.14$$

Q_{11} ve diğerleri tabakanın eksenindeki indirgenmiş sertlik matrisi [Q] elemanlarıdır ve $[Q] \equiv [S]^{-1}$. Bu indirgenmiş sertlik ifadesi, malzeme için olan 3 boyutlu sertlik matrisindeki ifadeyle eşit değildir.

2.7.1.2. Tek yönlü özelliklerin elde edilmesi: Test etme ve mikromekanik

Yukarıdaki analizler kompozit malzemelerin tek yönlü yığının özelliklerinin uygunluğunu ve sonraki aşamalarda tekstil takviyeli kompozit malzemeleri meydana getiren emdirilmiş lif demetlerinin lokal özelliklerinin belirlenmesini sağlar. Ancak bu

özellikleri elde etmek sorun teşkil eder. Kompozit malzemeler, metaller gibi konvansiyonel mühendislik malzemelerinden önemli bir hususta farklılık gösterirler: Kompozit malzemeler genellikle kendilerini oluşturan kompozitler üretilinceye kadar bir varlık teşkil etmezler. Başka bir deyişle kompozit malzemeler eritme ya da işlenmiş stok materyallerinden üretilmezler ama biçimlendirme aşamasında reçine ve liften (ya da lif karışımı ve işlenmemiş reçine ya da termoplastik matris) oluşturulurlar ve özellikleri yoğun olarak üretim proseslerinin şartlarına bağlıdır. İki esas amaç vardır; standart test prosedürlerinin kullanılmasıyla deneysel hesaplama ve bileşen malzemelerin (lif ve matris) özelliklerinin teorik olarak tahmininin yapılması. Tasarım amaçları için malzeme özelliklerinin elde edilmesindeki en iyi yol; malzemelerin istatistiksel yönden büyük numunelerinde testleri yapmaktır. Böyle test etme zaman tüketimidir ve ürün özellikleri çoğunlukla hemen hemen korunan özel veriyi teşkil eder. Böyle testlerin, bilinen standartlara yürütülmesi önemlidir.

Tek yönlü ölçümler ve tabaka özellikleri: Test metotları: Deneysel test etme, tek yönlü malzemeye ve bitmiş laminenin her ikisine de uygulanabilir. Test etme prosedürlerinin ayrıntılı tartışması burada uygun değildir; onun yerine gerekli özellikleri elde etmenin çeşitli metotlarının tanımlanması, kullanımdaki çeşitli standartlara referans yapılmasıdır. Özellikle BS2782-10, takviyeli plastikleri test etmenin çeşitli görüşlerini kapsar. Ayrıca tek yönlü malzemeler için standardize edilmiş test metotları (örneğin; ISO 527-5:1997⁷, bu tek yönlü takviyeli plastiklerin testlerini kapsar) da uygundur. Makaslama özelliklerinin deneysel tespiti problem teşkil eder; ASTM standardı D5379⁸'de belirtilen Iosipescu testi genellikle kullanılan metottur, bu küçük testler içermektedir.

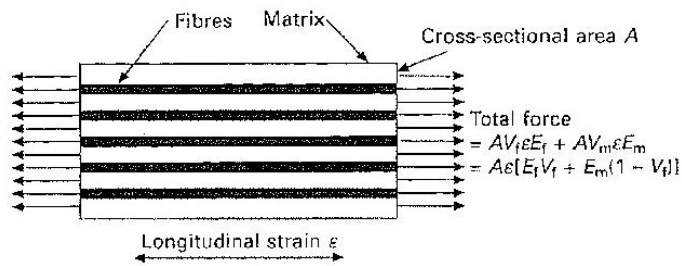
Tek yönlü özelliklerin tahmini: Mikromekanik: Tek yönlü bir malzeme veya lamineye (tabakaya) yapılan testlerini fiziksel olarak düzenlemenin yerine, alternatif bir yaklaşım, onun öğeleri, yani onu meydana getiren malzemelerin (lif ve matris) özelliklerinden kompozitin tek yönlü davranışını tahmin etmektir. Bu yaklaşım, herşeyden açıkça daha iyidir, ama bazı önemli sınırlamaları vardır:

- Matrisin içinde liflerin mekansal dağıtılması bilinmeyendir.

- Yüzeyler arası yapıştırmanın mükemmel olması için normal olarak farzedilendir ama pratikte öyle olmak olası değildir. (Örneğin; liflerin her demet içinde kuru bölgeleri olabilir.)
- Kompozitin eksen üzerindeki elastik davranışını tahmin etmek lif egemen olmuş ve epeyce kolayken, çaprazlamayı ve kompozit içindeki karışık gerilme dağılımından makaslama davranışları sonucunu teorik olarak tahmin etmek kolay değildir.

Liften ve matrizen kompozit özelliklerinin tahmini, mikromekanik olarak bilinen disiplinin bir örneğidir ve deneyüstü ve yarıdeneyimsel modellerin birkaçı bulunur. Daha sofistike yaklaşımların bulunmasına rağmen örneğin; kompozit silindir toplu yaklaşımı (liflerin kendilerindeki anisotropik özellikler hesaba katılabilir), en basiti, "karışımların kuralı" olarak bilinendir ve muhtemelen genellikle çoğunun kullanıldığı o metodun gelişmiş Halpin Tsai denklemleri olarak bilinendir.

Karışımların kuralı: Karışımların kuralı yaklaşımı, özel olarak tek yönlü kompozitin boylamsal modülünün belirlenmesinde uygulanabilir ve onun başlıca Poisson oranından; çaprazlama uygulaması ve makaslama modülü daha az doğru sonuçlar verir. Boylamsal katsayının olayında, gerilimin malzemenin (Şekil 5) iki boyutlu bir bloğu boyunca düzenli olduğu ve hiçbir çaprazlama gerilmenin mevcut olmadığı varsayımı yapılır. Gerilimin verilmiş bir değeri için,



Şekil 2.28. Boylamsal modülün saptanmasında karışım yaklaşımının kuralı (Long 2005)

lif ile taşınan yükler ve matris bileşenleri, hem onların modülüne hem de lif ve matrisin kesitsel alanına orantılı olacak. Başka bir deyişle, lifler ve matrisin, paralelde elastik olarak oynadığı farzedilir. Boylamsal modül (E_1) için takip eden ifadeye bu öncülük eder:

$$E_1 = E_f V_f + E_m V_m = E_f V_f + E_m (1 - V_f) \quad 2.15$$

Kompozitte hiçbir boş hacim olmadığı farz edilir ve E_f ve E_m sırasıyla lif ve matrisin elastik modülü, V_f ve $V_m \equiv 1 - V_f$ sırasıyla lif ve matrisin yoğunluk fraksiyonudur. Daha az önemsiz bir köken, Poisson'un oranı ν_{12} (UD malzemede ν_{13} 'e eşit olduğu farzedilebilir.) için çok benzer bir ifadeye götürür:

$$\nu_{12} = \nu_f V_f + \nu_m (1 - V_f) \quad 2.16$$

Bu ifadelerin ikisi de, hassas cevapları vermek için bulunur. Mukayese ile çaprazlama elastik özelliklere karışımların kuralının uygulaması, liflerin ve matrisin dizide (eşgerilme varsayımını gerektirir) elastik yapılar olduğu farzını gerektirir. Bu, gerçek düzenlemenin üç boyutlu olduğundan beri çok fazla bir basitleştirme değildir ve dizinin birleşmesi, paralel davranışdır. $E_2 (\equiv E_3)$ için sonuç ifadesi birazcık hatalıdır ama bütünlük için aşağıda sunulmuştur.

$$1/E_2 = (1/E_f) V_f + 1/E_m (1 - V_f) \quad 2.17$$

Halpin-Tsai denklemleri: Halpin Tsai denklemleri, etkili olarak bir düzeltme ve karışımların kuralının genelleştirilmesidir. Aslında 2.16 ve 2.17 nolu denklemler yoluyla karışımların kuralı, boylamsal modül E_1 ve esas Poisson oranı ν_{12} için direkt olarak kullanılır. Çaprazlama ve makaslama modülü için yaklaşımın esası; karışımlar kuralının sınırlandırıldığı dizilerin uç noktaları ve paralel modeller arasında ortalama durumlar farz edilmesidir. Bu modül için denklemin formu takip edildiği gibidir:

$$M/M_m = (1 + \xi \eta V_f) / (1 - \eta V_f) \quad 2.18.a$$

Buradan:

$$\eta = [(M_f / M_m) - 1] / [(M_f / M_m) + \xi] \quad 2.18.b$$

M : kompozit için E_2 , G_{12} ve G_{23}

M_f : lif özelliği E_f ya da G_f

M_m : matris özelliği E_m ya da G_m

V_f : lif yoğunluk fraksiyonu (kompozitin yoğunluk olarak oranı)

ξ duruma ilişkin bir sabittir. Yük, model içerisinde lif ve matris arasında paylaşılır, onun değeri $\xi=0$ (Bu durumda 2.18.a denklemi, 2.17 denklemine benzer seriler modele

basitleştirir.) ve $\xi=\infty$ (2.15 denklemine benzer paralel modele 2.18.a denklemi basitleştirdiğinde) arasında uzanır. Az miktardaki lif yoğunluk fraksiyonları için (%65'in üstünde) için ξ , E_2 (ve E_3) ve G_{12} (ve G_{13})'ün hesaplanması için sırasıyla 2 ve 1 olduğu farz edilebilir. Daha yüksek yoğunluk fraksiyonları (yoğun olarak paketlenmiş lif demetleri içinde karşılaşılabildiği gibi) için, düzeltme faktörleri uygulanabilir. G_{23} 'ün hesabı için ξ 'nin basit bir değeri yetersizdir, bundan dolayı formül herhangi bir olayda gerektirilir. ξ için üç formül bu yüzden:

$$\begin{aligned}\xi &\approx 2 + 40V_f^{10} && E_2 \text{ ve } E_3 \text{'ün hesaplanması için} \\ \xi &\approx 1 + 40V_f^{10} && G_{12} \text{ ve } G_{13} \text{'ün hesaplanması için} \\ \xi &\approx 1 / (4 - 3v_m) && G_{23} \text{'ün hesaplanması için}\end{aligned}\tag{2.19}$$

Halpin, enine düzlükteki Poisson's oranının (v_{23}) doğrudan yaklaşık olarak hesaplanabildiğini ifade eder ve makaslama modülünün kullanıldığı takip eden ilişki:

$$v_{23} \approx 1 - (E_2 / G_{23})\tag{2.20}$$

Yukarıdaki formüllerin geniş ölçüde aktarılan ve kullanılan olmasına rağmen, kendileri anisotropik özellikteki liflerle birlikte kullanmak için onların kesinliğini değerlendiren yayınlanmamış sonuçlar bulunmuştur. (örneğin; karbon ya da aramid). Lifin anisotropisini hesaba katan bir model, Hashin'in kompozit silindir birleşim (CCA) modelidir. Bu, E_1 , G_{12} , yığın modülü ve v_{12} için kapalı form ifadeler ve çaprazlama modülünde üst ve aşağı sınırlar verir..

2.7.1.3. Off-Axis davranışı ve tabakalar

Önceki bölümlerde tartışılan özellikler, aynı yönde onların eksenleriyle birlikte uzanan tüm liflerin olduğu yerdeki malzemeye bağlantı kurmak, malzemenin lokal koordinat sisteminin 1-yönüne tanımlanır. İzleyen analiz kompozit malzemelerde herhangi bir metin, örneğin; Hull ve Clyne ve Jones gibi bulabilir. Bir evrensel kartezyen koordinat sistemi, her tabakadaki gerilmelerin ve gerinimlerin tanımlaması için referans sağlar, ve toplam üzerindeki yükler ve plakanın deformasyonu için: x ve y eksenleri, plaka ile aynı düzlemde konumlanmışlardır, z ekseni, plakaya diktir ve onunun yüzeyin ortasında ölçülür. Bu kadar yapının içinde ince tabaka:

$$\begin{Bmatrix} \sigma_x \\ \sigma_y \\ \tau_{xy} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} \bar{Q}_{11} & \bar{Q}_{12} & \bar{Q}_{16} \\ \bar{Q}_{12} & \bar{Q}_{22} & \bar{Q}_{26} \\ \bar{Q}_{16} & \bar{Q}_{26} & \bar{Q}_{66} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \varepsilon_x \\ \varepsilon_y \\ \gamma_{xy} \end{Bmatrix}$$

2.21

2.7.1.4. Tekstil takviyeli kompozitlerin analizi

Tekstil kompozitleri özellikle dokuma tekstillerden yapılırlar, homojen değillerdir ve yapı boyunca sürekli olarak çeşitli özelliklere sahiptirler.

Kıvrımsız tekstil kompozitlerinin analizi; kıvrımsız tekstil kompozitleri için, lifler ciddi lokalize dalgalanma olmadan düz bir şekilde değişmeden kaldığı ve liflerin herbir grubu lamine yapı ile birlikte farklı yerleşimde kaldığından dolayı lamine teorisi direkt olarak kullanılabilir. Fakat takip eden faktörler hesaba katılmalıdır:

- Çoğu tekstillerde şekil verme ya da dökümlülük gereklidir bu da belirli yönlerde liflerin uzanış içeriğini etkiler. Bu davranışın elastik özellikler üzerindeki etkisi yakın zamanda Crookston tarafından modellenmiştir ama bu standart bir pratiği olduğu anlamına gelmemektedir.
- Lif demetlerinin yerleşiminde oldukça gevşek bir sınırlama olduğundan dolayı özellikle kıvrımsız kumaşlar, lif yönlenme ve içeriklerinin istatistiksel varyasyonları içerisinde önemli olabilir. Bu konu Nottingham Üniversitesi'nde araştırılmaktadır ve konunun genel tanıtımı Long tarafından yapılmıştır.
- Bazı tekstil takviyelerinde (bunlar çoğunlukla tek yönlü, 0^0 yönünde %95 life sahip ve 90^0 yönünde %5 lif kalan) lif demeti onların belirgin şeklini açıkça muhafaza eder ve doğru yapı farklı kalınlığın üniform tabakalarından yapılmamıştır. Benzer bir şekilde lif demetinin doğru şekli, bazı durumlarda “yuvalanma” birbirini izleyen tabakalar arasında meydana gelebileceği anlamındadır. Doğrulandığı kadarıyla lif demetini şekli ve ilgili konular Nottingham'da araştırma altında olmasına rağmen bu konular henüz tam olarak araştırılmamıştır (Long 2005).

3. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu çalışmada %100 pamuk ve %100 polyester olmak üzere 2 çeşit dokuma kumaş; ceviz, kayın, kiraz ve maun olmak üzere 4 çeşit ahşap kaplama ve bunları birbiriyle birleştirmek için beyaz tutkal kullanılmıştır.

3.1. Ahşap Kaplama

Kaplamanın mobilya üretimindeki yeri son zamanlarda azalmakla birlikte, yapısal özellikleri göz önüne alındığında vazgeçilmez bir mobilya üst yüzey gereci olarak önemini korumakta ve kaliteli mobilyalarda tercih edilen bir gereç olma özelliğini sürdürmektedir.

Kaplamanın en büyük özelliği ağacın doğal yapısından elde edilmesi, iş üzerinde ağacın doğal yapısını ve estetik güzelliğini yansıtması, ayrıca zamanla dış etkilerle yüzeylerde oluşabilecek hataların onarılmasının mümkün olmasıdır.

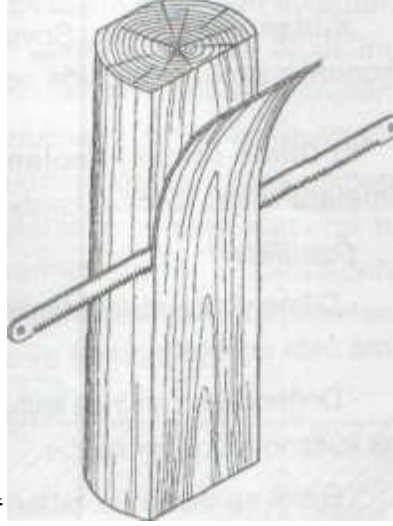


Şekil 3.1. Ahşap kaplamalar (MEB 2008)

Soyma, kesme ve biçme yöntemlerinden biri ile elde edilen, kalınlıkları 0,6–1,2 mm arasında değişen ince ağaç plakalara kaplama denir. Kaplamaların elde edilmesi ve elde edilecek kaplamaların kullanılacağı yere, ağacın yapısına, boyutlarına göre değişir. Özellikle suni tablaların mobilya üretiminde kullanılmaya başlanmasından itibaren üretimi önem kazanmıştır. Kaplama suni tablolardan üretilen işlerde yüzey kaplama gereci olarak kullanılır. Kaplama üretiminde kullanılacak olan tomruklar biçme yöntemi haricinde sıcak buhar havuzlarında tutularak nem ile doygunlaştırılır. Biçme yönteminde ise tomruğun olduğu gibi kullanılması gerekir. Ahşap elde etme yöntemleri:

3.1.1. Biçme yöntemi

Şerit testereli özel biçme makinelerinde biçilerek elde edilen ve kalınlıkları 1–1,2 mm arasında olan kaplamalardır. Kaplamalar tomruktan biçilerek elde edildiği için bu adı alır. Bu yöntemle biçilen tomruklar nem ile doygunlaştırılmadan kullanılır. Özellikle taneli ve yumuşatılınca renk değiştiren ağaçlarda tercih edilen kaplama elde etme yöntemidir. Ağaçtan biçilen kaplama renk değiştirmez, her türlü ağaçtan biçme yöntemi ile kaplama elde edilebilir, kaplamada çatlama ve kırılma meydana gelmez, kalın oldukları için presleme esnasında yüzeye tutkal çıkmaz. Ancak fire oranı %100–200 olduğundan çok pahalıya çıkar, ince plakalar elde edilemez ve desen beraberliği sağlanamadığı gibi simetrik desenler de oluşturulamaz.



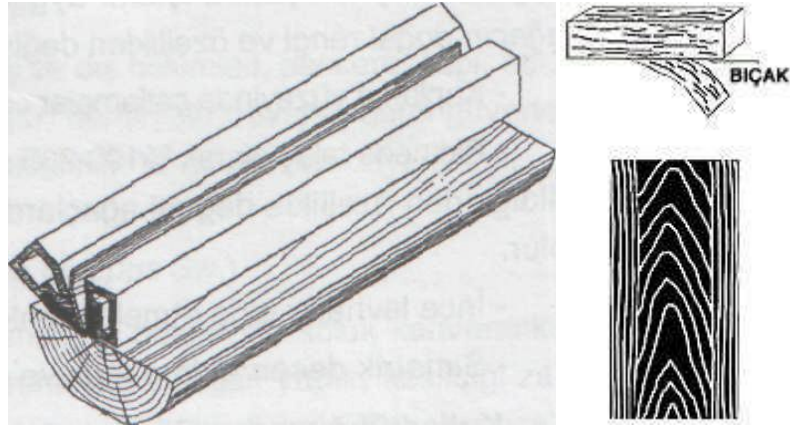
Şekil 3.2. Biçme yöntemi (MEB 2008)

Bu yöntemde ağaç malzemeye diğer yöntemlerde uygulanan yumuşatma işlemi uygulanmadığından ağacın doğal rengi ve özellikleri değişmez. Bunun sonucu olarak kaplama yüzeyinde çatlamlar oluşmaz. Biçmede talaş olarak %100–200 arasında fire verildiğinden özellikle değerli ağaçlarda maliyet artar, ince levhalar elde etmek mümkün olmaz (MEB 2008).

3.1.2. Kesme (Dilme) yöntemi

Özel kesme (dilme) makineleri ile dilimlenerek kaplama elde etme yöntemidir. Kaplama üretiminden önce nemle doygunlaştırılarak yumuşatılan kereste makineye yatay olarak bağlandıktan sonra boyu tomruk boyunda, genişliği ise 30 cm kadar olan

planya bıçağına benzeyen bıçak ile dilimleme yapılır. Her kaplama kesiminden sonra geriye giden bıçak tomruğun kaplama kalınlığı kadar kalkması ile bulunduğu ray sistemi üzerinde tomruğa doğru hareketlenerek bir sonraki kaplamayı keser. Kesilen kaplamalar kesilme sırasına göre istiflenir. Sonra yine kesim sırasına göre kurutma makinelerinden geçirilerek kurutulur ve tekrar istiflenerek giyotin makaslarda kenarları düzeltilip boyları kesildikten sonra her ağaçtan elde edilen kaplamalar kesim sırası ile paketlenerek satışa çıkarılır. Bu yöntemle istenilen kalınlıkta kaplama elde etmek mümkün olup fire miktarı azdır ve ucuza mal olur. Renk ve desen beraberliği vardır, simetrik desenler oluşturulabilir. Ancak yumuşatma esnasında ağacın renginde koyulaşma olur, Üretim esnasında kaplamada çatlaklar oluşabilir ve bu yöntemle ince kaplamalar edildiği için tutkallama esnasında yüzeye tutkal lekeleri çıkabilir. Yine de mobilya üretiminde en çok kullanılan kaplama çeşididir.



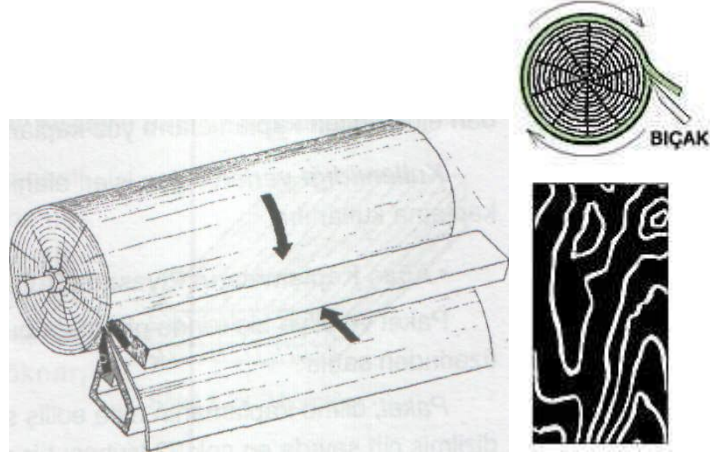
Şekil 3.3. Kesme yöntemi (MEB 2008)

Dilme yöntemiyle istenilen kalınlıkta kaplama elde edilebilir. Değerli ağaçları ince levhalar hâlinde daha çok kullanma imkânı sağlar. Renk ve desen beraberliği sağlanabildiği için, simetrik desenli farklı kompozisyonlar yapılabilir. Çok az fire verdiği için ucuza mal olur. Değerli ağaçların dilimlenemeyen artıkları masif malzeme olarak değerlendirilir. Dilimlenecek malzeme buhar ya da kaynar su odalarında yumuşatıldığı için (özellikle tanenli ağaçların) doğal rengi ve görünüşü değişir.

Dilme esnasında kaplama kıvrıldığı için alt yüzde çatlaklar ve pürüzler oluşur. Genellikle ince kaplama preslenince yüzeye tutkal çıkar. Bu nedenle sert ağaçlardan elde edilen kaplamaların yüz kaplaması olarak tercih edilmesi gerekir. Ağaç işleri alanında mobilya ve iç dekorasyonda en çok dilme kaplama kullanılır (MEB 2008).

3.1.3. Soyma yöntemi

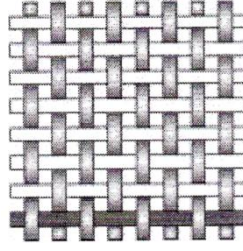
Bıçakları kesme yöntemindeki bıçaklara benzeyen, yapı olarak torna makinesini andıran özel soyma makinelerinde elde edilen kaplama yöntemidir. Bu yöntemle kaplama elde edilmesinde de tomruklar nem ile doygunlaştırılarak yumuşatılır. Kesilen kaplamalar bir silindir etrafına rulo şeklinde sarılarak sonsuz uzunlukta (tomruk çapına göre) kaplama elde edilir. Elde edilen kaplamalar astar kaplama olarak bazı suni tablaların üretiminde kontrplak yapımı ve kontra tablalarda astar kaplama veya körağaç olarak kullanılır. Bu yöntemle elde edilen kaplamalarda desen beraberliği sağlamak mümkün değildir. İç çatlaklar çok fazla olur. Ağacın doğal rengi kaybolarak koyulaşır ve kırılmalıdır. Buna karşılık fire oranı oldukça azdır, kontrplak üretimine uygun kaplamalar elde edilir ve sert ağaçlardan elde edilen kaplamalar frize kaplama yapımında kullanılabilir (MEB 2008).



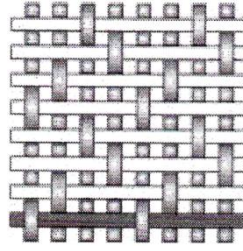
Şekil 3.4. Soyma yöntemi (MEB 2008)

3.2. Dokuma Kumaş

Bu çalışmada kıyaslama yapabilme amaçlı 2 farklı dokuma kumaş kullanılmıştır. Bunlar; bezayağı örgü yapısındaki %100 pamuk dokuma kumaş ve saten örgü yapısındaki %100 polyester dokuma kumaştır.



Şekil 3.5. Bezayağı örgü (www.netcomposites.com)



Şekil 3.6. Saten örgü (www.netcomposites.com)

Pamuk ve polyester olmak üzere kullanılan 2 farklı dokuma kumaşın kalınlık, gramaj, sıklık ve iplik numaraları aşağıda verilmiştir:

Çizelge 3.1. Kumaşlara ait özellikler

	Pamuk	Polyester
Kalınlık (mm)	0,4	0,28
Gramaj (g/m ²)	145,3	112,6
Çözümlü Sıklığı (çözümlü/cm)	25	68
Atkı Sıklığı (atkı/cm)	22	24
Çözümlü Numarası	Nm 32	Nm 95
Atkı Numarası	Nm 34	Nm 61

Testler için 2 tür dokuma kumaş, ahşap kaplamaların arasına yerleştirilirken çözgü boyuna, atkı boyuna ve 45⁰'lik açıyla olmak üzere 3 farklı şekilde konumlandırılmışlardır. Her çeşit kombinden 3'er tane hazırlandıktan sonra testler yapılmıştır.

3.3. Tutkal

Bu çalışmada dokuma kumaşı ve ahşap kaplamayı birleştirmek için beyaz tutkal kullanılmıştır. Hem kumaşı hem de ahşabı yapıştırma elverişli bir yapıştırıcı olduğu

için tercih edilmiştir. Özellikleri; çiçek ve maket yapımında, kağıt, karton, kumaş ve ahşap malzemelerin yapıştırılmasında kullanılması şeklindedir.

3.4. Kompozit Malzemenin Hazırlanması

Bu çalışmada kompozit malzeme 4 katmandan oluşmaktadır. Herbir tabaka 1 kat ahşap kaplama ve 1 kat dokuma kumaşın tutkalla yapıştırılmasıyla oluşturulmuştur. Ahşap kaplama tutkalla temas edince yapısındaki nem oranının artması ve kaplama plakalarında kıvrılmaların gözlemlenmesi sebebiyle hazırlık aşamasında işkenceler kullanılmıştır.

Test numunelerini hazırlanırken; belli ebatlarda temin edilen ahşap kaplama üzerine fırça yardımıyla beyaz tutkalın sürülmesinden sonra dokuma kumaş ile kaplama yapıştırılmıştır. Bu kompozit malzemenin sadece tek katını temsil etmektedir. Tutkal kuruyana kadar yapının kıvrılmaması, ahşap kaplama ile dokuma kumaş arasında hava boşluklarının kalmaması ve yapının birbirine daha iyi bağlanabilmesi için bu yapılar işkence ile sıkıştırılmış 2 plaka arasında 24 saat bekletilmiştir. Süre sonunda elde edilen yapılar bu sefer 4 kat üst üste konularak tutkalla yapıştırılmış ve test edilecek kompozit malzeme elde edilmiştir. Bunlar da yine 2 plaka arasında işkence ile sıkıştırılarak 24 saat bekletilmişlerdir. Yukarıdaki işlemler sonunda elde edilen 4 katlı kompozit yapı testler için uygun ebatlarda makas ve falçata yardımıyla kesilip hazırlanmıştır.



Şekil 3.7. Test için hazırlanmış 4 katlı kompozit malzemenin yan kesit görüntüsü

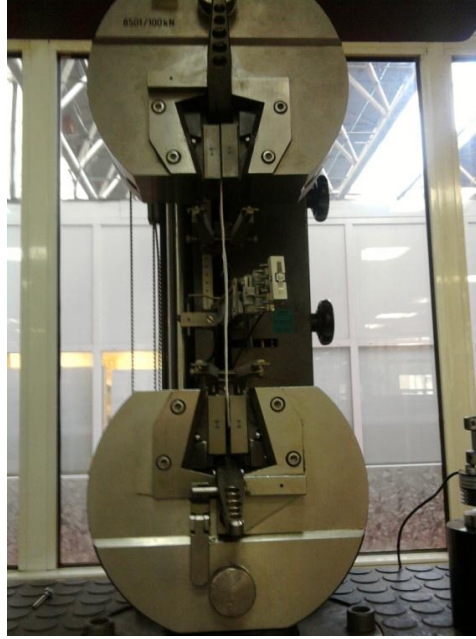
Numune hazırlamada 4 çeşit ahşap kaplama ve 2 farklı dokuma kumaş farklı kombinlerle yapıştırılarak birleştirilmiştir. Kaplamalarla hep aynı yönde çalışılırken kumaşlarda çözümlü boyuna, atkı boyuna ve 45° açılı olmak üzere 3 yönde çalışılmıştır.

3.5. Çekme Testi



Şekil 3.8. Çekme testi için hazırlanmış numune

100kN'luk yük hücre sine sahip Instron cihazında gerçekleştirilen çekme testleri için numuneler 250mm*35mm ebatlarında hazırlanmıştır. Numuneler cihaza çeneler arası mesafe 180mm olacak şekilde yerleştirilmişlerdir. Alt çene sabit olup üst çene tarafından uygulanan çekme kuvveti ile test gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.9. Çekme testinin uygulanma anı

$$\sigma_c = \frac{F}{w*t} \quad 3.1$$

$$\epsilon = \frac{\Delta l}{l_0} * 100 \quad 3.2$$

$$E_c = \frac{\sigma_c}{\epsilon} \quad 3.3$$

σ_c : çekme mukavemeti (MPa)

F: max yük (N)

w: numune genişliği (mm)

t: numune kalınlığı (mm)

E_C : elastisite modülü (MPa)

ϵ : kopma uzama oranı (%)

l_0 : başlangıçtaki numune uzunluğu (mm)

Δl : kopma uzama miktarı (mm) (Karahan ve ark. 2007)

3.6. Eğilme Testi

Eğilme testi için numuneler 160mm*25mm ebatlarında hazırlanmış ve 3 noktalı eğilme testi uygulanmıştır. Altta sabit 2 nokta üzerine oturtulan numuneye üstten ve tam ortadan 3. bir nokta baskı uygulanmıştır.



Şekil 3.10. Eğilme testi için hazırlanmış numune

$$\text{Statik eğilme direnci: } \sigma_e = 3.P.L / 2.b.h^2$$

3.4

Burada;

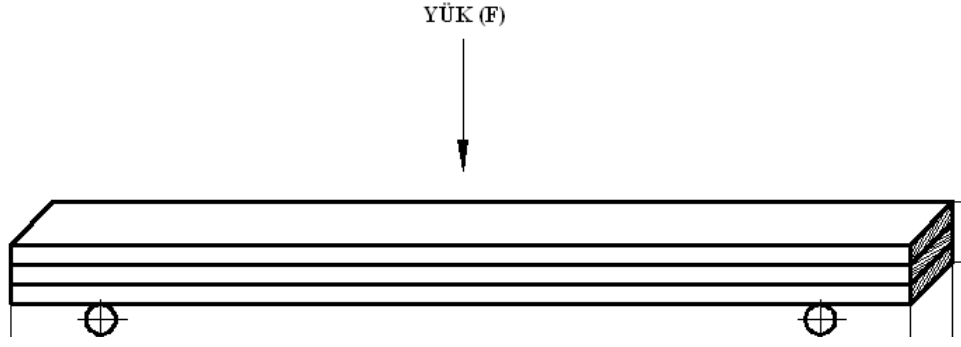
σ_e : Eğilme mukavemeti ($N/mm^2=MPa$)

P : Kırılma anındaki max kuvvet (N)

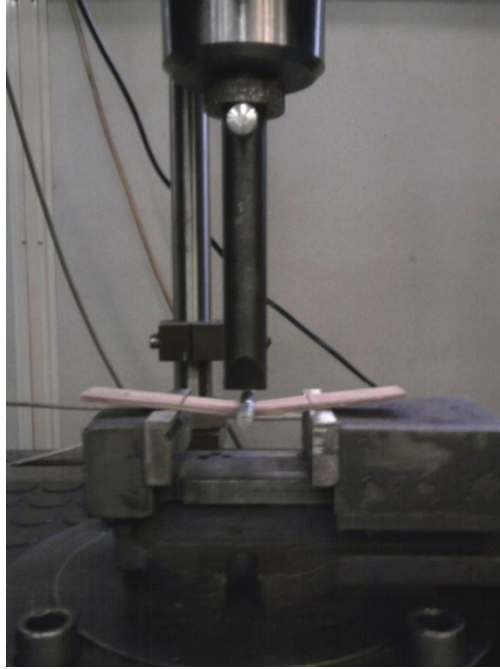
L : Dayanak noktası arasındaki açıklık (12xh) (mm)

b : Deney parçasının genişliği (mm)

h : Deney parçasının kalınlığı (mm) (Perçin ve ark. 2009)



Şekil 3.10. Eğilme testinin şematik gösterimi



Şekil 3.11. Eğilme testinin uygulanma anı

3.7. Darbe Testi

Ani darbelere karşı dayanımı yüksek olan malzeme seçimi için, malzemenin kopmaya karşı olan direnci darbe testi ile ölçülmelidir. Malzemenin ani darbelere karşı dayanımı tokluğu ile yakından ilişkilidir. Tokluk bir malzemeyi kırmak için gerekli enerji miktarı olarak tanımlanabilir. Darbe deneyi süresince malzeme tarafından soğurulan enerji, malzemenin dayanımının ve tokluğunun bir ölçüsü olarak kullanılabilir. Uygulama yerine ve kullanım amacına göre malzemenin maruz kalabileceği darbeler çok farklı şekillerde olabilir. (Bayat)



Şekil 3.12. Darbe testi için hazırlanmış numuneler

Charpy cihazında yapılan darbe testi için numuneler 5mm*1mm ebatlarında hazırlanmışlardır. Bu testte numune aletin alt kısmında bulunan yuvaya güzelce yerleştirilir. Şekilde görülen kolun çekilmesiyle beraber tokmak tırnaktan kurtulmakta ve numuneye salınımla gelip ona darbe uygulamaktadır. Bunun sonucunda numunenin darbe direnci skala üzerinden Joule cinsinden okunmaktadır.



Şekil 3.13. Darbe testinin uygulanma anı

$$K_C = (A_C * 10^9) / w * t * l$$

3.5

K_C : ani darbe mukavemeti (J/m³)

A_C : kırılma enerjisi (J)

l : kompozit numune uzunluğu (mm)

w: kompozit numune genişliği (mm)

t: kompozit numune kalınlığı (mm) (Karahana ve ark. 2007)

4. BULGULAR

4.1. Çekme Testi Test Değerleri

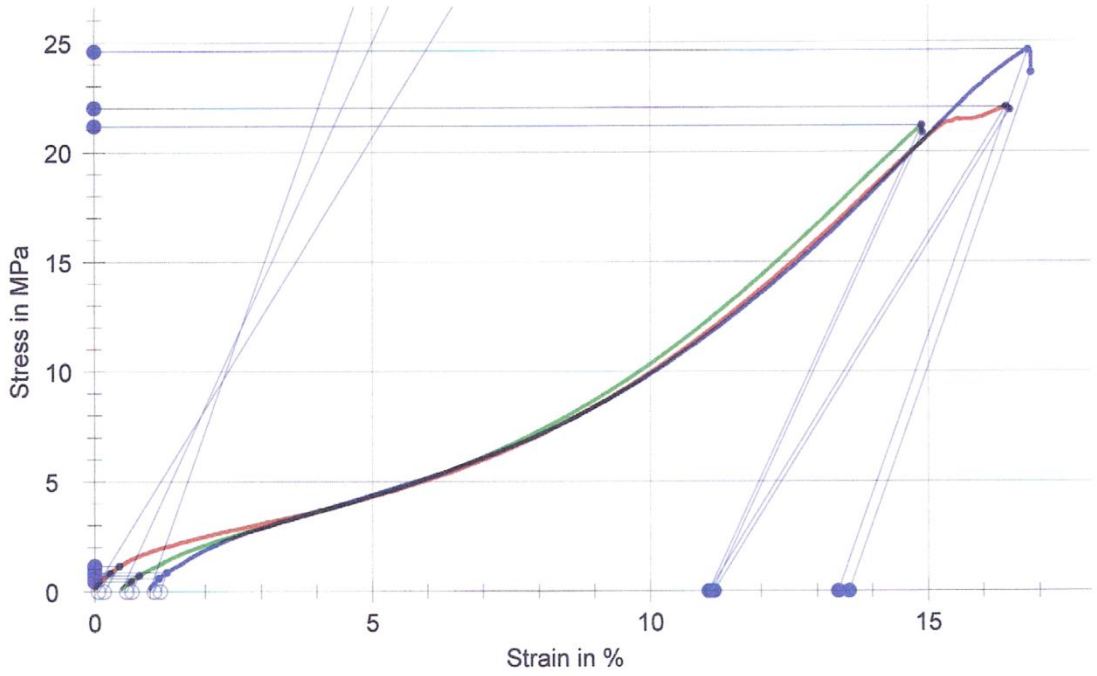
Çizelge 4.1. Çekme testi test değerleri

	KOMPOZİT ÇEŞİTLERİ	E (Gpa) (Elastisite modülü)	Rm (Mpa) (Koptuğu andaki max yük)	%Ag (Max yükteki uzama)	%A (Koptuğu andaki uzama)
1	Pamuk çözgü boyuna	0,6	22,58	11,35	11,47
2	Pamuk atkı boyuna	0,5	16,8	8,39	8,52
3	Pamuk 45	0,4	18,37	33,92	0
4	Polyester çözgü boyuna	1,5	70,17	10,95	0
5	Polyester atkı boyuna	0,4	46,07	6,4	7,23
6	Polyester 45	0,4	41,68	27,57	31,11
7	Ceviz kaplama	9,9	46,54	0,02	0,03
8	Kayın kaplama	13,1	70,63	0,02	0,34
9	Kiraz kaplama	9,3	58,82	0,01	0,02
10	Maun kaplama	8,9	44,44	0,01	0,01
11	Ceviz - Pamuk çözgü boyuna	8,3	61,74	0,05	0,06
12	Ceviz - Pamuk atkı boyuna	7,5	56,42	0,03	0,03
13	Ceviz - Pamuk 45	8,6	49,21	0,11	0,2
14	Kayın - Pamuk çözgü boyuna	9,5	58,17	0,13	0,41
15	Kayın - Pamuk atkı boyuna	7,8	53,71	0,05	0,63
16	Kayın - Pamuk 45	324,9	59,51	0,27	0,33
17	Kiraz - Pamuk çözgü boyuna	5,6	31,75	0,02	0,07
18	Kiraz - Pamuk atkı boyuna	5,3	28,56	0,03	0,04
19	Kiraz - Pamuk 45	5,4	29,22	0,04	0,06
20	Maun - Pamuk çözgü boyuna	10,2	26,78	0,17	0,64
21	Maun - Pamuk atkı boyuna	6,1	26,48	0,04	0,14
22	Maun - Pamuk 45	6,7	35,4	0,07	0,09
23	Ceviz - Polyester çözgü boyuna	6,5	45,57	0,06	12,73
24	Ceviz - Polyester atkı boyuna	8,7	47,58	0,22	0,28
25	Ceviz - Polyester 45	7,5	64,22	0,02	0,03
26	Kayın - Polyester çözgü boyuna	18	54,99	0,25	0,52
27	Kayın - Polyester atkı boyuna	7,8	59,6	0,04	0,22
28	Kayın - Polyester 45	11,5	73,25	0,16	0,19
29	Kiraz - Polyester çözgü boyuna	23,9	41,92	0,59	0,59
30	Kiraz - Polyester atkı boyuna	6,3	36,1	0,13	0,14
31	Kiraz - Polyester 45	11,8	44,64	0,29	0,29
32	Maun - Polyester çözgü boyuna	34,6	36,09	0,3	1,93
33	Maun - Polyester atkı boyuna	9,9	32,67	0,13	0,25
34	Maun - Polyester 45	8,9	44,35	0,17	0,17

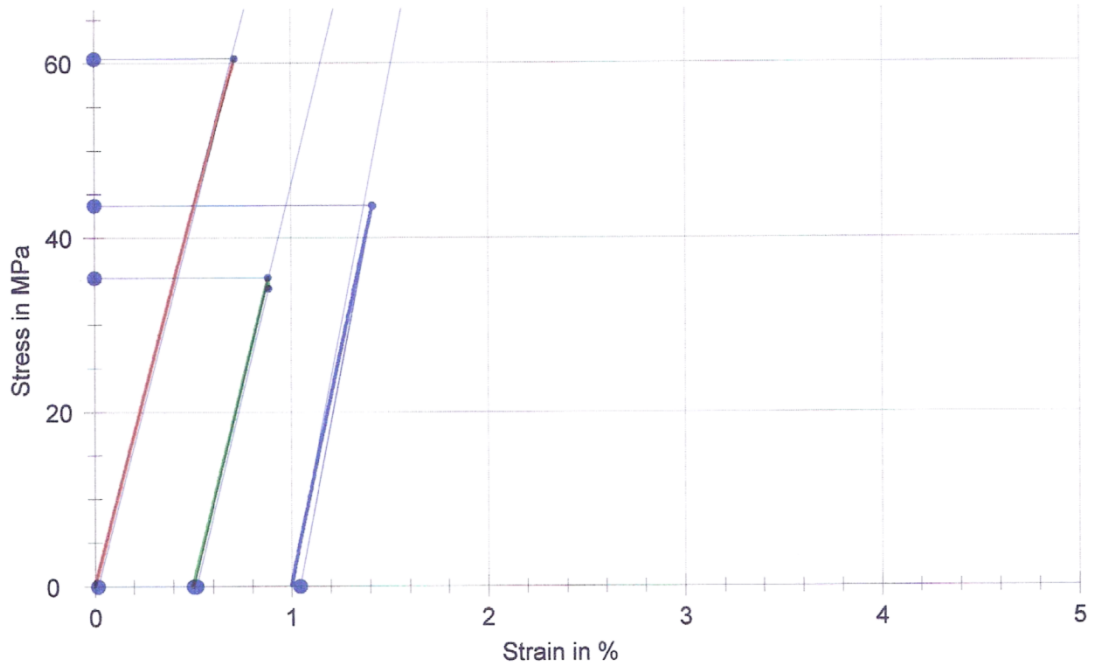


Şekil 4.1. Çekme testi sonucu ahşap kaplama ve dokuma kumaştan oluşan kompozit malzemenin görüntüsü

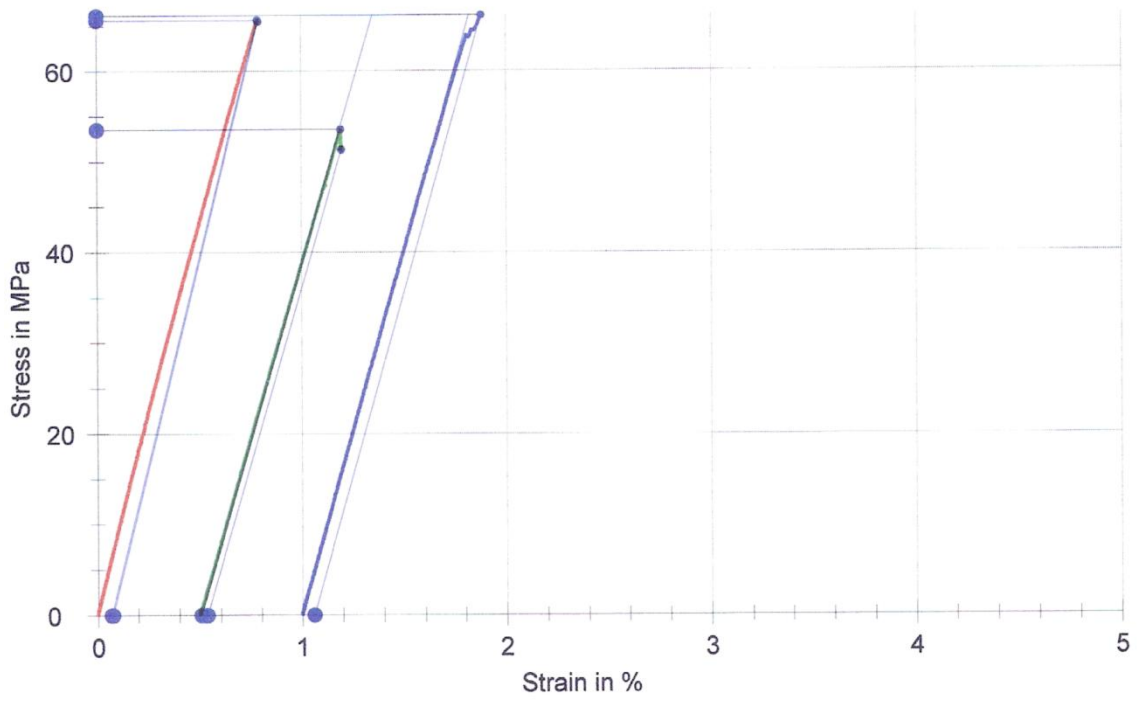
Çizelgede 4.1’de görülen 34 farklı numune türü için test yapılmıştır. Her tür numune için 3’er numune hazırlanmış ve hepsi test edilip ortalama değerleri hesaplanmıştır.



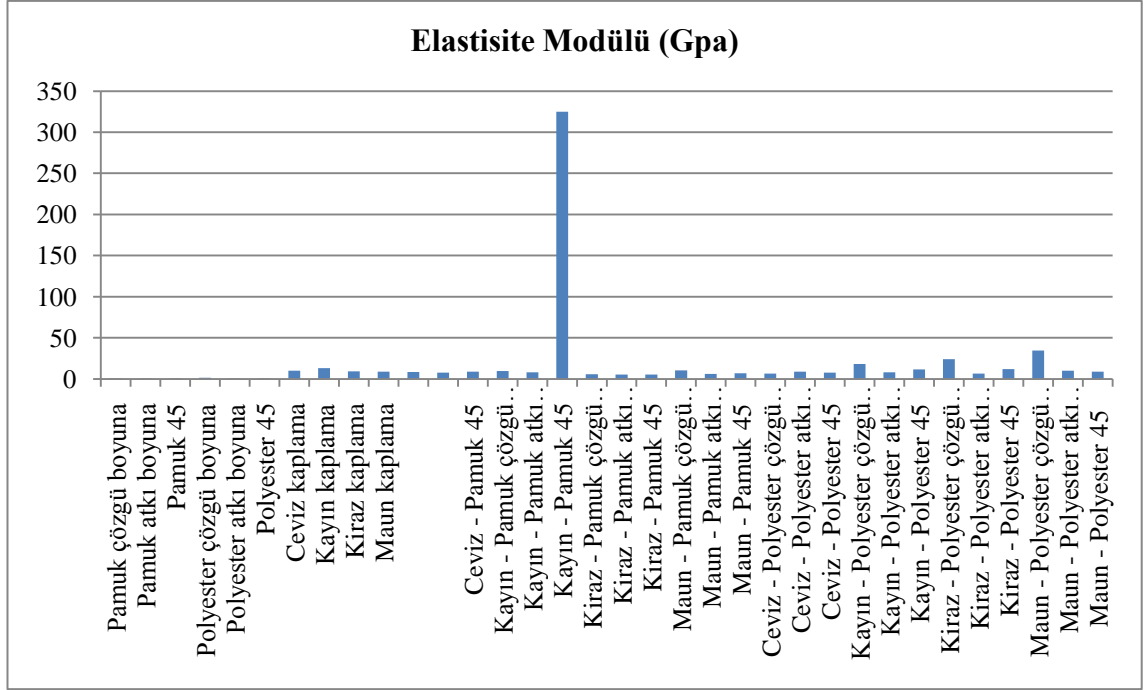
Şekil 4.2. Çözü yöünde test edilmiş 4 kat pamuklu dokuma kumaşın gerilme-gerinim eğrileri



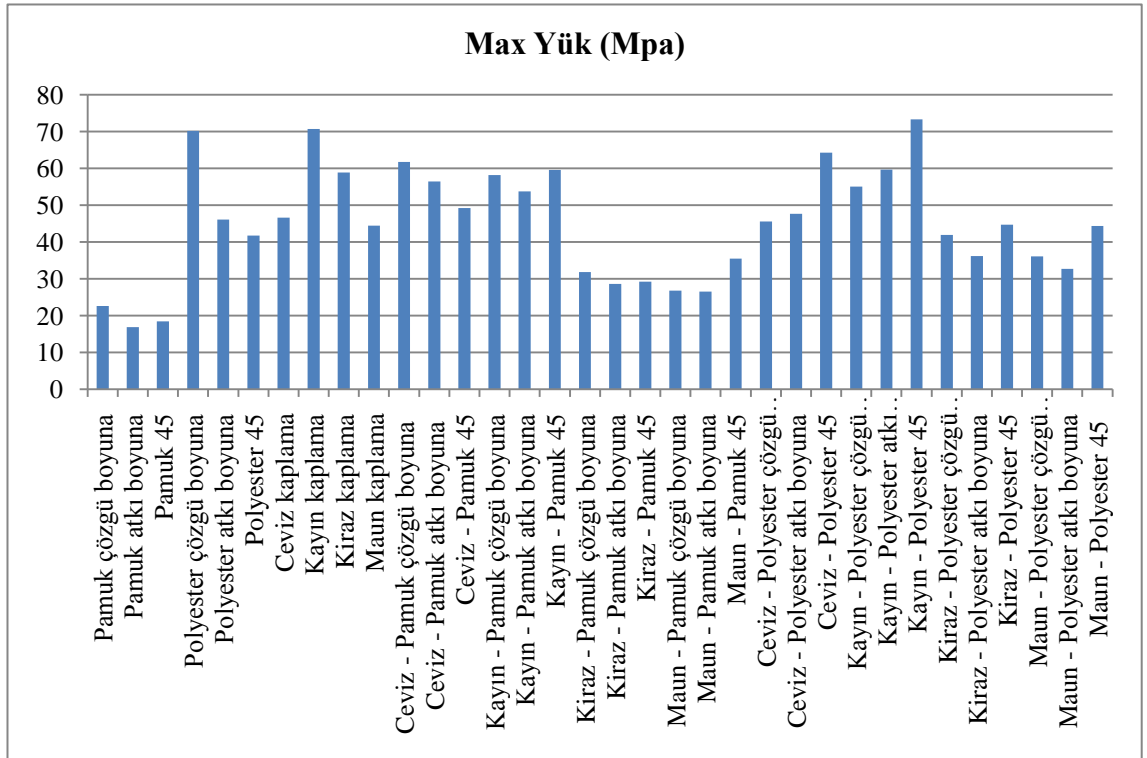
Şekil 4.3. 4 kat olarak hazırlanmış ceviz kaplama numunelerinin gerilme-gerinim eğrileri



Şekil 4.4. Ceviz kaplama ve çözgü yönünde pamuklu dokuma kumaşın birleşiminden oluşan kompozit malzemelerin gerilme-gerinim eğrileri



Şekil 4.5. Çekme testi uygulanan numunelerin elastisite modüllerinin kıyaslanması



Şekil 4.6. Çekme testi uygulanan numunelerin max yüklerinin kıyaslanması

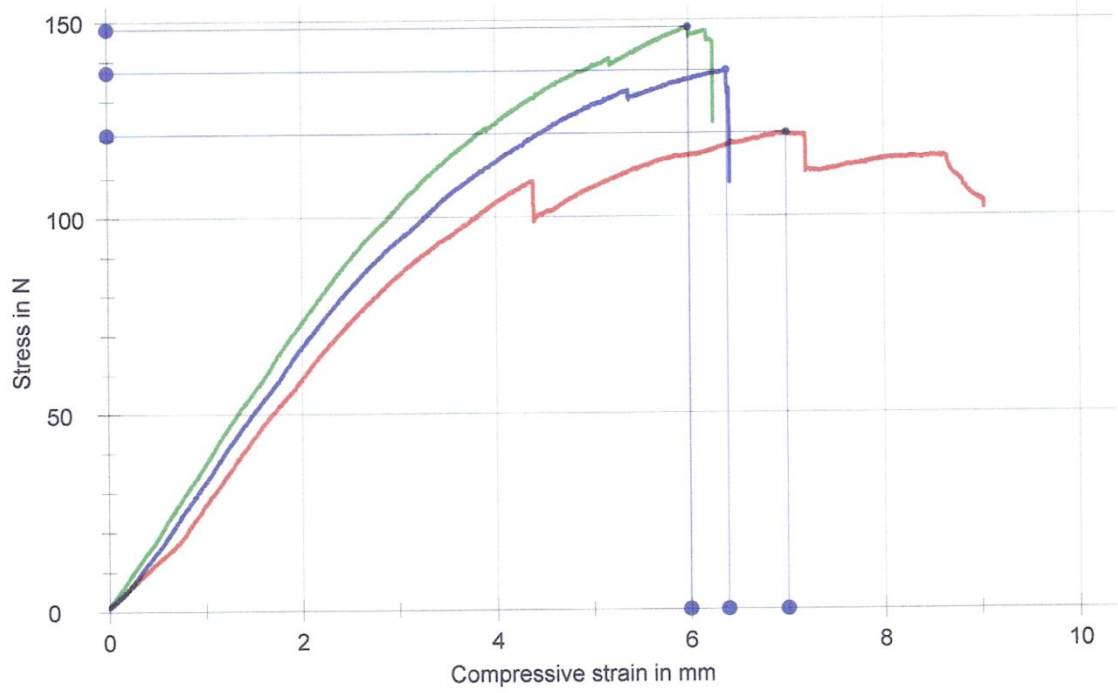
4.2. Eğilme Testi Test Değerleri

Çizelge 4.2. Eğilme testi test değerleri

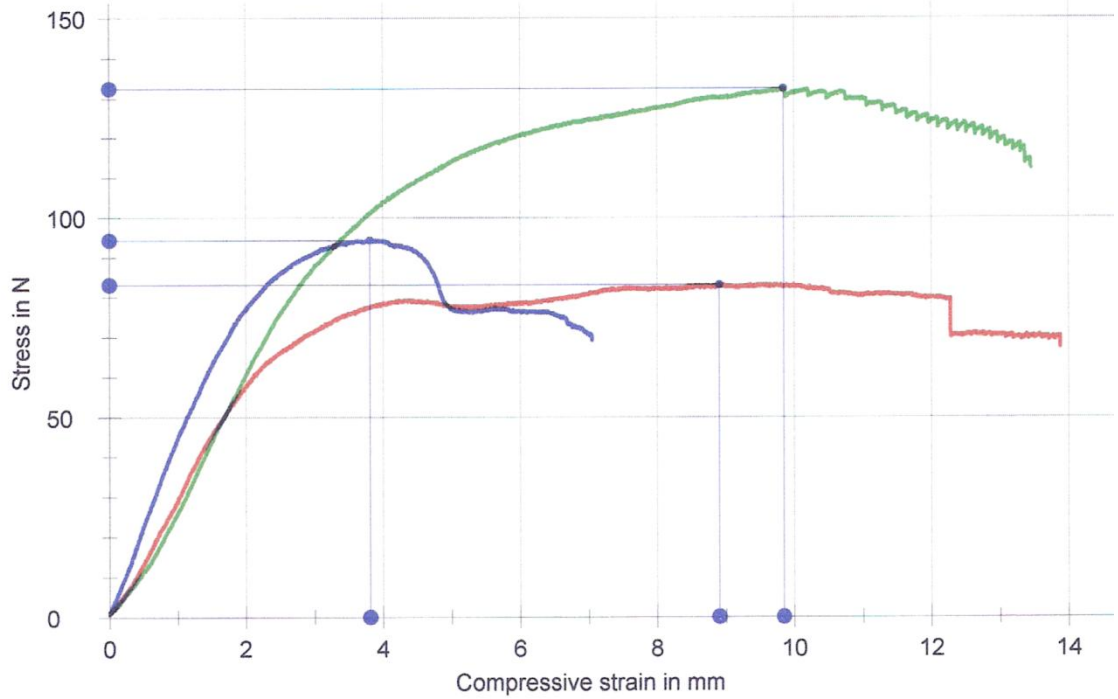
	KOMPOZİT ÇEŞİTLERİ	a0 (mm) (Kalınlık)	b0 (mm) (Uzunluk)	Fmax (N) (Max yük)	ϵ_{Fmax} (mm) (Uzama)
1	Ceviz kaplama	2,17	25,33	118	7
2	Kayın kaplama	2,217	26,05	142	5
3	Kiraz kaplama	2,377	25,77	135	6
4	Maun kaplama	2,16	25,7	95	5
5	Ceviz - Pamuk çözgü boyuna	3,273	25,49	169	7
6	Ceviz - Pamuk atkı boyuna	3,307	25,79	178	8
7	Ceviz - Pamuk 45	3,42	25,47	162	9
8	Kayın - Pamuk çözgü boyuna	3,377	25,69	102	13
9	Kayın - Pamuk atkı boyuna	3,353	26	101	13
10	Kayın - Pamuk 45	3,443	25,95	133	10
11	Kiraz - Pamuk çözgü boyuna	3,343	25,9	118	7
12	Kiraz - Pamuk atkı boyuna	3,3	25,56	105	10
13	Kiraz - Pamuk 45	3,393	26,13	115	8
14	Maun - Pamuk çözgü boyuna	3,263	25,83	106	7
15	Maun - Pamuk atkı boyuna	3,39	25,91	103	9
16	Maun - Pamuk 45	3,333	25,65	113	7
17	Ceviz - Polyester çözgü boyuna	2,743	26,1	161	7
18	Ceviz - Polyester atkı boyuna	2,827	26,6	121	7
19	Ceviz - Polyester 45	3,013	25,55	199	6
20	Kayın - Polyester çözgü boyuna	2,96	27,46	174	4
21	Kayın - Polyester atkı boyuna	3,12	26,49	115	7
22	Kayın - Polyester 45	3,167	27,56	135	6
23	Kiraz - Polyester çözgü boyuna	2,877	27,14	122	5
24	Kiraz - Polyester atkı boyuna	2,873	26,48	103	8
25	Kiraz - Polyester 45	3,033	25,79	142	5
26	Maun - Polyester çözgü boyuna	2,713	26,46	143	5
27	Maun - Polyester atkı boyuna	2,76	27	104	4
28	Maun - Polyester 45	2,7	26,55	131	5



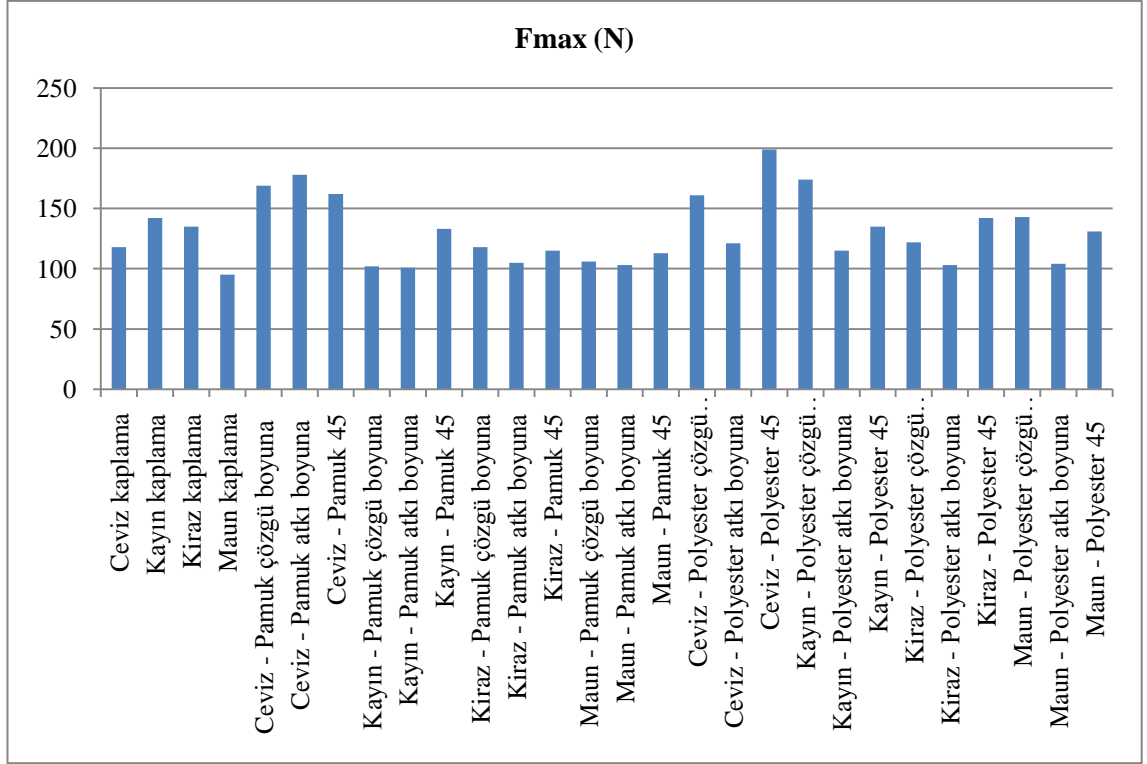
Şekil 4.7. Eğilme testi sonrası kompozit numunelerin görüntüsü



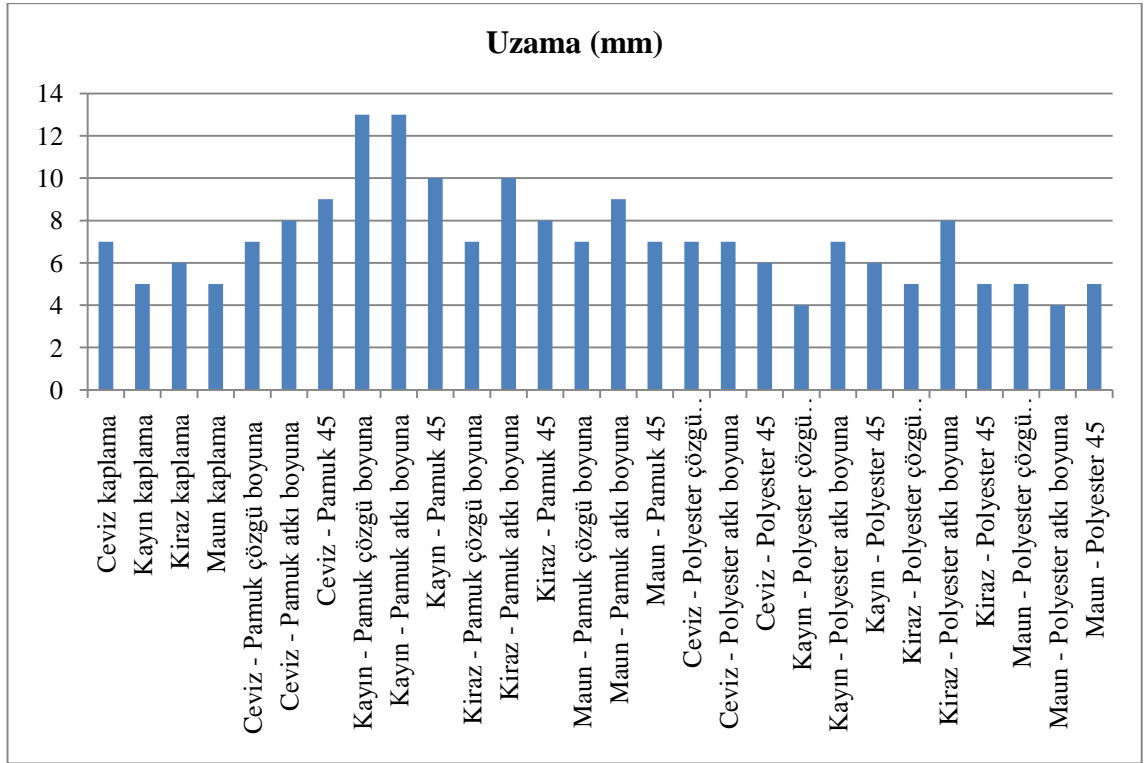
Şekil 4.8. 4 kat olarak hazırlanmış kiraz kaplama numunelerinin gerilme-gerinim eğrileri



Şekil 4.9. Kiraz kaplama ve atkı yönünde polyester kumaşın birleşiminden olan kompozit numunelerinin gerilme-gerinim eğrileri



Şekil 4.10. Eğilme testi uygulanan kompozit numunelerinin max yüklerinin kıyaslanması



Şekil 4.11. Eğilme testi uygulanan kompozit numunelerinin uzamalarının kıyaslanması

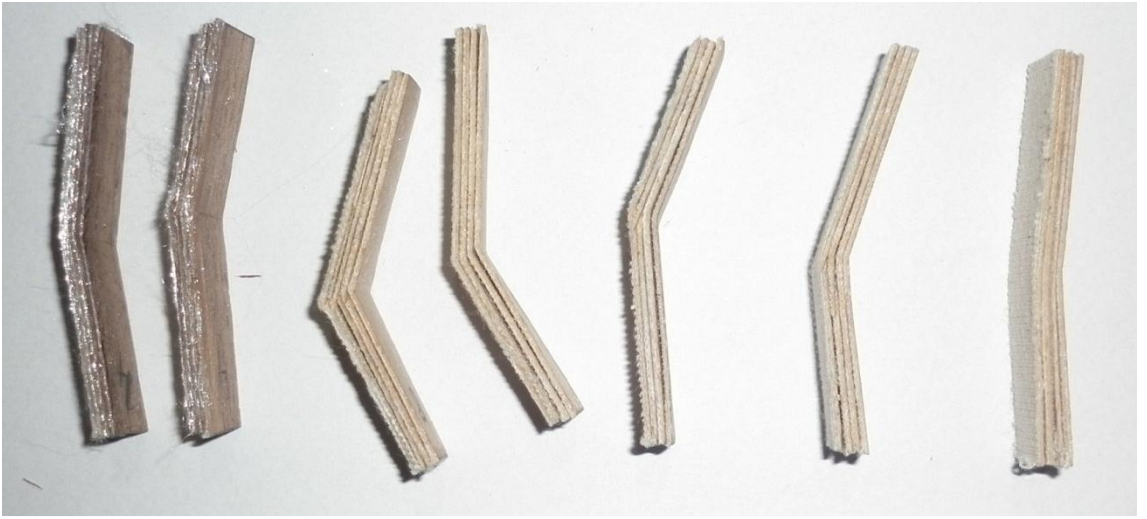
4.3. Darbe Testi Test Değerleri

Çizelge 4.3. Darbe testi test değerleri

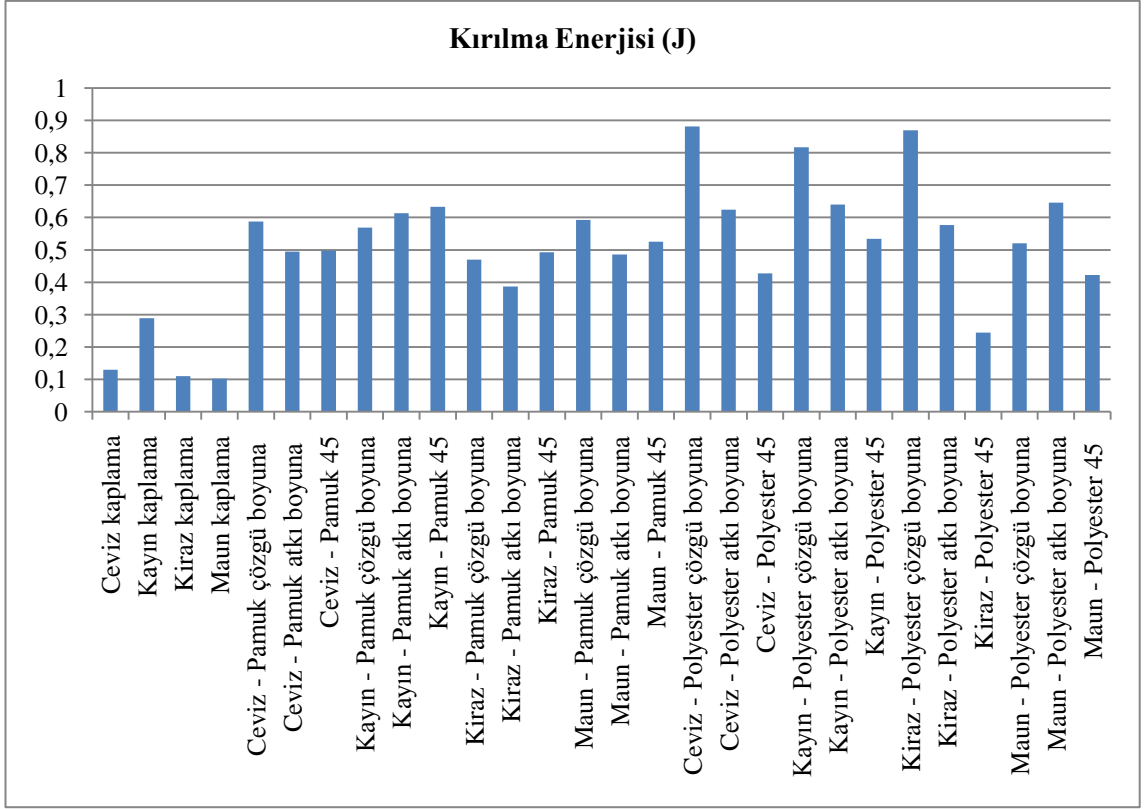
	KOMPOZİT ÇEŞİTLERİ	DARBE DAYANIMI (J)
1	Ceviz kaplama	0,13
2	Kayın kaplama	0,289
3	Kiraz kaplama	0,11
4	Maun kaplama	0,102
5	Ceviz - Pamuk çözgü boyuna	0,588
6	Ceviz - Pamuk atkı boyuna	0,495
7	Ceviz - Pamuk 45	0,4975
8	Kayın - Pamuk çözgü boyuna	0,569
9	Kayın - Pamuk atkı boyuna	0,613
10	Kayın - Pamuk 45	0,633
11	Kiraz - Pamuk çözgü boyuna	0,47
12	Kiraz - Pamuk atkı boyuna	0,387
13	Kiraz - Pamuk 45	0,493
14	Maun - Pamuk çözgü boyuna	0,593
15	Maun - Pamuk atkı boyuna	0,486
16	Maun - Pamuk 45	0,525
17	Ceviz - Polyester çözgü boyuna	0,881
18	Ceviz - Polyester atkı boyuna	0,624
19	Ceviz - Polyester 45	0,427
20	Kayın - Polyester çözgü boyuna	0,817
21	Kayın - Polyester atkı boyuna	0,64
22	Kayın - Polyester 45	0,534
23	Kiraz - Polyester çözgü boyuna	0,869
24	Kiraz - Polyester atkı boyuna	0,577
25	Kiraz - Polyester 45	0,244
26	Maun - Polyester çözgü boyuna	0,52
27	Maun - Polyester atkı boyuna	0,646
28	Maun - Polyester 45	0,422



Şekil 4.12. Darbe testi sonrası kumaşsız kompozitlerin görüntüleri



Şekil 4.13. Darbe testi sonrası kumaşlı kompozitlerin görüntüleri



Şekil 4.14. Darbe testi sonucu kompozitlerin kırılma enerjilerinin kıyaslanması

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Bu çalışmada 4 farklı ahşap kaplama ve 2 farklı dokuma kumaş yapısının birlikte oluşturdukları kompozit yapının mekanik özellikleri test edilmiş ve kendi içlerinde kıyaslanmaları yapılmıştır. Çalışmalar sonucunda her birinin farklı sonuçlar verdiği görülmüş ve bunların neden kaynaklanabilecekleri araştırılmıştır. Farklı sonuçların sebebi; farklı kombinler olmakla birlikte büyük ölçüde de üretim şartları olduğu düşünülmektedir. Hazırlanan kompozit malzemeler seri üretimde üretilmedikleri için herbirindeki tutkal miktarı, tutkalın nüfuziyeti, yüzeylerin birbirine tutunma miktarı, yüzeyler arası hava oranı vb. farklı olmuştur ve bu da test sonuçlarına yansımıştır. Böyle farklılıkların olabileceği düşünüldüğü için de her çeşit kompozitten sadece 1 tane değil de 5'er tane hazırlanmış ve çıkan sonucun aritmetik ortalaması alınarak sapma minimize edilmeye çalışılmıştır. Tüm bunlar doğrultusunda görülmüştür ki;

- Ahşap kaplamanın kırılğan fakat rijit bir malzeme olması, dokuma kumaşın ise lifli yapıda olması ortaya çıkan kompozit malzemenin; ahşap çatlasa bile kumaşın onu tutması sayesinde kopmamasını, kumaşın da ahşap sayesinde stabil olarak kalabilmesini sağlamıştır.
- Testlerden alınan sonuçlar ahşap kaplamanın ve dokuma kumaşın yalnız başına verdiği değerlerin aralarında gözlemlenmiştir.
- Böyle bir malzemenin dekoratif amaçlı duvar kaplaması, otomobil ön konsol aksesuarı vb olarak kullanılabilceği düşünülmektedir.
- Çekme testi yapıldığına görülmüştür ki (şekil 4.2, şekil 4.3, şekil 4.4); kumaş tek başınayken uzaması fazla fakat mukavemeti düşük, ahşap kaplama tek başınayken ise uzaması çok az mukavemeti yüksektir. Bu iki malzemenin tutkalla birleşiminden oluşan kompozit malzemedede de uzama ve mukavemet değerleri orta değerler olarak çıkmıştır.
- Şekil 4.5'te de görülmektedir ki; kayın kaplama ile pamuklu kumaşın 45⁰'lik açıyla birleştiği kompozit malzemenin elastisite modülü diğer kompozitlere göre çok yüksek çıkmıştır. Bunun nedeni; tabakalar arası iyi yapıştırma yapılamayışı sonucu testler esnasında tabakaların ayrılarak mukavemeti düşürdüğü yönünde yorumlanmıştır.

- Şekil 4.6’da kompozit malzemeye dönüştüğünde kaplamalar arasında en düşük mukavemeti kiraz kaplamanın verdiği görülmüştür. En yüksek mukavemet ise kayın kaplama ile polyester kumaşın 45⁰’lik açıyla oluşturduğu numunelerde gözlemlenmiştir.
- Şekil 4.10’dan görülmüştür ki; eğilme testlerinde ahşap kaplamalar dokuma kumaşla bir kompozit oluşturduklarında mukavemetleri artmıştır. Eğilme deneyinde en yüksek mukavemet değeri ceviz kaplama ile 45⁰’lik açıyla yerleştirilmiş polyester dokuma kumaşın oluşturduğu kompozit malzemede gözlenmiştir.
- Şekil 4.11’den eğilme testinde en fazla uzamanın kayın kaplama ve pamuklu dokuma kumaşın birleşiminden olan kompozit malzemede olduğu fark edilmiştir.
- Şekil 4.12 ve şekil 4.13’ten görülmüştür ki darbe testlerinde ahşap kaplamaların aralarında kumaş yapısı olmazsa malzeme daha çok hasar görmektedir. Kumaşı bünyesinde barındıran malzemelerde darbeye karşı direnç daha fazladır.
- Şekil 4.14’ten anlaşılmıştır ki kumaş yapısı ahşap kaplamayla birleşince ahşabın kırılmaya karşı direncini oldukça arttırmıştır. En yüksek direnç ise ceviz kaplama ve polyester çözümlü boyuna kumaşın oluşturduğu kompozit malzemede gözlemlenmiştir.
- Genel olarak ahşap kaplama ve dokuma kumaş bu çalışma sırasında farklı özellikleriyle birbirlerine destek vererek özelliklerini iyileştirmeye çalışmışlardır ki bu da kompozit malzemenin tanımı ile tamamıyla örtüşmektedir.

KAYNAKLAR

Anonim, 2008. Ahşap teknolojisi kaplama ile kakma. MEGEP, Ankara.

Anonim, 2009.

<http://www.haddemetal.com/tr/Download/Kompozit%20Malzemeler.pdf> (Erişim tarihi: Aralık 2009).

Anonim, 2010. www.netcomposites.com (Erişim Tarihi: Şubat 2010).

Anonim, 2010.

http://www.obitet.gazi.edu.tr/obitet/malzeme_bilgisi/kompozit%20malzemeler.pdf (Erişim Tarihi: Mayıs 2010).

Arıcasoy, O. 2006. İTO kompozit sektör raporu.

Bayat, A. Mekanik testler ve özellikleri.

Baykal, D. 2004. Pim bağlantılı kompozit malzemelerde gerilme analizi. Bitirme projesi, DEÜ, Makine Mühendisliği, İzmir.

Bozkurt, Y. 1986. Ağaç teknolojisi. İÜ: Orman Fakültesi. Yayın No: 3403-380 İstanbul.

Enşici, A. 2008. Endüstriyel tasarımda polimer esaslı kompozit malzemeler. Gemi ve Deniz Teknolojisi, sayı 178.

Karahan, M., Karahan N., Gündoğan S. 2007. Cam elyaf takviyeli kompozit malzemelerde ani darbe davranışının araştırılması. III. Uluslararası Teknik Tekstiller Kongresi, İstanbul.

Long, A. C. 2005. Design and manufacture of textile composites. CRC Press, USA, 292-329 pp.

Madison, W. 1999. Wood Handbook. Wood as an engineering material. U.S. Department of .agriculture, Forest Servise, Forest Products Laboratory. 463 pp.

Mallick, P.K. 1988. Fiber reinforced composites. New York. P 469.

Mazumdar, S. K. 2002. Composites manufacturing: material, product and process engineering. CRC Presr, Boca Raton London New York Washington D.C.

Örs, Y., Keskin H. 2001. Ağaç malzeme bilgisi. İstanbul, 183 s.

Perçin, O, Özbay, G., Ordu, M. 2009. Farklı tutkallarla lamine edilmiş ağaç malzemelerin mekaniksel özelliklerinin incelenmesi. DPÜ Fen Bilimleri Enstitüsü dergisi, sayı 19.

Soy, U. 2009. Kompozit malzemeler. SAÜ Teknoloji Fakültesi Fotokopi Merkezi, 1. Baskı. Sakarya.

Şahin, Y. 2000. Kompozit malzemelere giriş. Ankara, Türkiye, 327 s.

Ünal, O. Kompozit malzeler. Yapı malzemesi ders notları.

Yılmaz, M. İ. 2005. Kompozit basınçlı tüpte gerilme analizi. Aştırma projesi, DEÜ, Makine Mühendisliği, İzmir.

Yılmazoğlu, Ü. 2004. Kompozit malzemelerin elasto-plastik davranışının incelenmesi. Bitirme Projesi, DEÜ, Makine Mühendisliği, İzmir.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Müge Tırpancı
Doğum Yeri ve Tarihi : Bursa - 1985
Yabancı Dili : İngilizce

Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)
Lise : Bursa Gazi Anadolu Lisesi (1999-2003)
Lisans : Uludağ Üniversitesi Tekstil Mühendisliği Bölümü
(2003-2007)
Uludağ Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü
Yan Alan Lisans Programı (2005-2007)
Yüksek Lisans : Uludağ Üniversitesi Tekstil Mühendisliği Anabilim
Dalı
(2008-2011)

Çalıştığı Kurum/Kurumlar ve Yıl : Low Profile (2010-)

İletişim (e-posta) : mugetirpanci@yahoo.com.tr

ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ

TEZ ÇOĞALTMA VE ELEKTRONİK YAYIMLAMA İZİN FORMU

Yazar Adı Soyadı	MÜGE TIRPANCI
Tez Adı	ÇEŞİTLİ DOKUMA KUMAŞLAR İLE TAKVİYELİ BAZI AHŞAP MALZEMELERİN MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ
Enstitü	FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
Anabilim Dalı	TEKSTİL MÜHENDİSLİĞİ
Tez Türü	YÜKSEK LİSANS TEZİ
Tez Danışman(lar)ı	PROF. DR. H. RİFAT ALPAY
Çoğaltma (Fotokopi Çekim) izni	<input type="checkbox"/> Tezimden fotokopi çekilmesine izin veriyorum <input type="checkbox"/> Tezimin sadece içindekiler, özet, kaynakça ve içeriğinin % 10 bölümünün fotokopi çekilmesine izin veriyorum <input checked="" type="checkbox"/> Tezimden fotokopi çekilmesine izin vermiyorum
Yayımlama izni	<input type="checkbox"/> Tezimin elektronik ortamda yayımlanmasına izin veriyorum <input type="checkbox"/> Tezimin elektronik ortamda yayımlanmasının ertelenmesini istiyorum 1 yıl <input type="checkbox"/> 2 yıl <input type="checkbox"/> 3 yıl <input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> Tezimin elektronik ortamda yayımlanmasına izin vermiyorum

Hazırlamış olduğum tezimin belirttiğim hususlar dikkate alınarak, fikri mülkiyet haklarım saklı kalmak üzere Uludağ Üniversitesi Kütüphane ve Dökümantasyon Daire Başkanlığı tarafından hizmete sunulmasına izin verdiğimi beyan ederim.

Tarih : 12/01/2011

İmza : 