

ÖZET

Yapılan bu çalışmada, günlük hayatta sıkça kullandığımız iki malzeme bir araya getirilerek kompozit yapı elde edilmiştir. Bu malzemelerden biri tekstil malzemesi olan %100 pamuk dokuma kumaş, bir diğeri ise yine selülozik esaslı olan kağıttır. Kolay elde edilebilen ve ucuz malzemelerle yeni bir malzeme özelliği elde edebilmek için kağıt ve kumaş çeşitleri bir araya getirilerek tabakalı kompozit yapılar oluşturulmuştur. Bu kompozit malzemelere çekme testi uygulanarak çıkan değerlere ve eğrilere göre malzeme özellikleri yorumlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Kompozit, kumaş, kağıt, selüloz, tabakalı kompozitler.

ABSTRACT

In this study, the aim was to use daily materials such as fabric and paper together like a composite material. The fabric that used is 100% cotton woven fabric and paper is also cellulose based material. Fabric and paper are the components of laminated composite and considered that, they are also cheap and available everytime materials.

That composite material is tested on a tensile testing machine and qualified its force-elongation values are discussed.

Keywords: Composite, fabric, paper, cellulose, laminated composites.

İÇİNDEKİLER

TEZ ONAY SAYFASI	II
ÖZET	III
ABSTRACT	IV
İÇİNDEKİLER	V
ÇİZELGELER DİZİNİ	VIII
ŞEKİLLER DİZİNİ	IX
SİMGELER DİZİNİ	XI
GİRİŞ	1
1. KAYNAK ÖZETLERİ	2
1.1. Kompozit Malzeme Tanımı	8
1.2. Kompozit Malzemelerin Tarihçesi	11
1.3. Kompozit Malzemelerin Kullanım Alanları	15
1.4. Kompozit Malzemelerin Özellikleri	18
1.5. Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması	22
1.5.1. Elyaf Takviyeli Kompozit Malzeme	22
1.5.2. Parçacıklı Kompozit Malzeme	24
1.5.3. Tabakalı Kompozit Malzeme	25
1.5.4. Hybrid Kompozit Malzeme	26
1.5.5. Polimerik Matrisli Kompozit Malzeme	26
1.5.6. Metal Matrisli Kompozit Malzeme	27
1.5.7. Seramik Matrisli Kompozit Malzeme	27
1.6. Kompozit Malzemelerin Üretim Yöntemleri	29
1.6.1. Elle Yatırma	29
1.6.2. Püskürtme	29
1.6.3. Elyaf Sarma	30
1.6.4. Reçine Transfer Kalıplama	31
1.6.5. Profil Çekme	32
1.6.6. Hazır Kalıplama	33

1.6.7. Torba Kalıplama Yöntemi	34
1.6.8. Otoklav	35
1.7. Kompozit Malzemelerin Yapı Elemanları	36
1.7.1. Matris Malzemeleri	36
1.7.2. Takviye Malzemeleri	37
1.7.3. Katkı Maddeleri	38
1.8. Selüloz	39
1.8.1. Selülozun Yapısı	43
1.9. Kağıt	44
1.9.1 Kağıdın Tarihçesi	44
1.9.2. Türkiye’de Kağıt Üretimi	46
1.9.2.1. SEKA	48
1.9.3. Kağıt Çeşitleri	48
1.9.4. Yardımcı Hammaddeler	49
1.9.5. Kağıt Yapımı	50
1.9.5.1. Mekanik Hamur	51
1.9.5.2. Rafinör Mekanik Hamur	52
1.9.5.3. Termomekanik Hamur	52
1.9.5.4. Kimyasal Hamur	53
1.9.6. Kağıdın Özellikleri	54
1.10. Yapıştırıcılar	56
1.10.1. Sentetik Reçineler	57
1.11. Elasto Plastik Gerilme Analizi	59
1.11.1. Plastisite Teorisi	60
1.12. Plastik Deformasyon	60
1.12.1. Tanjant Modülü	62
1.13. Tabakalı Kompozit Malzemeler ve Mekanik Davranışları	63
1.14. Kompozit Malzemelerin Gerilme Analizi	65
1.14.1. Tabakalı Kompozit Malzemelerin Gerilme Analizleri.....	70
1.14.2. Bileşke Kuvvet ve Momentler	70
1.14.3. Kompozit Malzemeler İçin Hasar Kriterleri	72
1.14.4. Maksimum Gerilme Teorisi	72

1.14.5. Maksimum Şekil Değişirme Teorisi	73
1.14.6. Tsai Hill Hasar Teorisi	73
1.14.7. Hoffman Hasar Kriteri	74
1.14.8. Tsai Wu Hasar Teorisi	75
1.14.9. Hashin Hasar Teorisi	76
2. MATERYAL VE YÖNTEM	79
3. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA	82
SONUÇ	93
KAYNAKLAR	100
ÖZGEÇMİŞ	103

ÇİZELGELER DİZİNİ

Tablo 2.1 Kumaş Özellikleri	79
Tablo 2.2 Kompozit Bileşenleri	81
Tablo 3.1 Kompozit 1 ve Bileşenlerinin Test Sonuçları	83
Tablo 3.2 Kompozit 2 ve Bileşenlerinin Test Sonuçları	85
Tablo 3.3 Kompozit 3 ve Bileşenlerinin Test Sonuçları	87
Tablo 3.4 Kompozit 4 ve Bileşenlerinin Test Sonuçları	89
Tablo 3.5 Kompozit 5 ve Bileşenlerinin Test Sonuçları	91

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1 Elyaf Sarma	30
Şekil 1.2 Hazır Kalıplama	33
Şekil 1.3 Torba Kalıplama	34
Şekil 1.4 Selülozun Yapısı	39
Şekil 1.5 Selülozun Yapısı	43
Şekil 1.6 Yongalamaya Hazırlık	51
Şekil 1.7 Yongalama	51
Şekil 1.8 Yükün Kaldırılması Halinde σ - ϵ Diyagramı	61
Şekil 1.9 Tanjant Modülü	62
Şekil 1.10 Ortotropik Tabakalardan Oluşan Simetrik Tabakalı Kompozit	64
Şekil 1.11 Antisimetrik Tabakalar	64
Şekil 1.12 Eksen Takımları	68
Şekil 1.13 Bileşik Tabakadaki Kuvvetler	71
Şekil 1.14 Bileşik Tabakadaki Momentler	71
Şekil 3.1 İnce Kumaş Kuvvet-Uzama Eğrisi	83
Şekil 3.2 Eskiz Kağıdı Kuvvet-Uzama Eğrisi	83
Şekil 3.3 Kompozit 1 Kuvvet-Uzama Eğrisi	84
Şekil 3.4 Çekme Testi Sonrası Kompozit 1	84
Şekil 3.5 İnce Kumaş Kuvvet-Uzama Eğrisi	85
Şekil 3.6 Karton Kağıdı Kuvvet-Uzama Eğrisi	85
Şekil 3.7 Kompozit 2 Kuvvet-Uzama Eğrisi	86
Şekil 3.8 Çekme Testi Sonrası Kompozit 2	86
Şekil 3.9 İnce Kumaş Kuvvet-Uzama Eğrisi	87
Şekil 3.10 İnce Oluklu Mukavva Kuvvet-Uzama Eğrisi	87
Şekil 3.11 Kompozit 3 Kuvvet-Uzama Eğrisi	88
Şekil 3.12 Çekme Testi Sonrası Kompozit 3	88
Şekil 3.13 Orta Kumaş Kuvvet-Uzama Eğrisi	89
Şekil 3.14 Oluklu Mukavva Kuvvet-Uzama Eğrisi	89
Şekil 3.15 Kompozit 4 Kuvvet-Uzama Eğrisi	90
Şekil 3.16 Çekme Testi Sonrası Kompozit 4	90

Şekil 3.17 Kalın Kumaş Kuvvet-Uzama Eğrisi	91
Şekil 3.18 Oluklu Mukavva Kuvvet-Uzama Eğrisi	91
Şekil 3.19 Kompozit 5 Kuvvet-Uzama Eğrisi	92
Şekil 3.20 Çekme Testi Sonrası Kompozit 5	92
Şekil 4 Kompozit 1	93
Şekil 5 Kompozit 2	95
Şekil 6 Kompozit 3	96
Şekil 7 Kompozit 4	97
Şekil 8 Kompozit 5	98

SİMGELER DİZİNİ

σ	-	Gerilme
ϵ	-	Normal Şekil Değişirmesi
τ	-	Kayma Gerilmesi
γ	-	Kayma Şekil Değişirmesi
ν	-	Poisson Oranı
ρ	-	Eğilme Yarıçapı
E	-	Elastisite Modülü
G	-	Kayma Modülü
R	-	Reuter Matrisi
P	-	Kuvvet
A	-	Kesit Alanı
z	-	Merkezden Uzaklık
N	-	Normal Kuvvet
M	-	Moment
Ne	-	Numara Metrik İngiliz

GİRİŞ

Hızla gelişen dünyamızda, tüketim alışkanlıklarının da hızla değişmesi sonucu yeni malzeme ihtiyacı giderek artmaktadır. Teknolojinin gelişimiyle beraber insan ihtiyaçları da çeşitlenmektedir. Doğada kısıtlı miktarda bulunan malzemelerin yanı sıra, bu ana malzemelerin yerini tutacak, özelliklerini taklit edecek malzemeler de üretilmeye devam etmektedir.

Beklentileri karşılayabilmek için birçok özelliği bir arada bulunduran malzemelerin önemi artmaktadır. Hem ekonomik, hem mukavemetli, hem de çok hafif malzemeler gibi fonksiyonel malzemelere olan talep, kompozitlere olan ihtiyacı arttırmıştır. Farklı malzeme tiplerini birleştirerek oluşturulan kompozit yapılarla bu gibi malzeme özellikleri karşılanabilmektedir.

Yapılan bu çalışmada hedef; kolay elde edilebilen, ucuz malzemelerin bir araya geldiklerinde ortaya çıkacak yeni özelliklerden yararlanma yollarını bulmaktır. Bu nedenle seçilen malzemelerde, kolay elde edilebilirlik ve ekonomiklik özelliklerinin yanında, birbirleri ile uyumlu bir bütünlük oluşturabilecek tipte olmaları istenmiştir.

İlk malzeme, tekstil malzemesi olan dokuma kumaştır. %100 pamuk lifinden dokunmuş, basit örgü yapısına sahip dokuma kumaş ile uyumlu olabilecek ikinci malzeme ise kağıttır. Kağıt da, yine selülozik bir yapıya sahip, kumaş gibi iki boyutlu, kolay bulunabilen ve ucuz bir malzemedir. Bu iki malzemenin birleşimini sağlayacak bağlayıcının da yine, hem kolay bulunabilen, hem ekonomik, hem de zararlı olmayan bir malzeme olması isteminden yola çıkılarak, yapılan denemeler sonucu, bağlayıcı malzeme olarak beyaz, kokusuz tutkal seçilmiştir.

1. KAYNAK ÖZETLERİ

E. M. Wu (1967), anizotropik plakaların kırılma mekanizması adlı çalışmasını iki bölüme ayırarak ilk bölümde kırılma mekaniği için geliştirilen matematiksel modellerden daha çok kırılma mekaniğinin önemli kavramları üzerinde açıklamalarda bulunmuştur. İkinci bölümde ise, anizotropik kompozitlere kırılma mekaniği esaslarının uygulanabilirliği üzerinde durmuştur. Bu bölümde teorik ve deneysel olarak geliştirilen detaylar sunulmuştur. Bu teorik ve deneysel çalışmaların sonucunda ise, genellikle metalik malzemeler için geçerliliği bilinen kırılma mekaniği esaslarının anizotropik plakalar (kompozitler) için de bazı kısıtlamalar çerçevesinde geçerli olabileceğini belirtmiştir.

S. K. Gaggar ve L. J. Broutman (1975), rastgele dağılımlı lifli kompozitlerdeki kırılmaya, çatlak ucunun yaptığı etkiyi inceleyen bir araştırma yapmışlardır. Rastgele dağılımlı cam lifleri ile takviyeli epoksi reçine içerisindeki bir çatlak ucunun ilk hasarı incelenmiş ve bu hasarın yaklaşık olarak kırılma yükünün %65'inde meydana geldiği görülmüştür. Hasar bölgesi ise artan yüklerle beraber büyümüştür. Çalışmada çentik açılmış numuneler, sabit yüklemeye maruz bırakılarak etkili çatlak uzunluğunun artışı ve çatlak ağzı açıklığının değişimi ölçülmüştür. Bu çalışmanın sonucunda ise, kırılmanın, gerilme şiddeti faktörünün kritik bir kırılma tokluğuna ulaştığı zaman meydana geldiği görülmüştür.

S. Parhizgar, L. W. Zachary ve C. T. Sun (1982) yaptıkları çalışmada, ortotropik kompozit plakalardaki kırılma olayını incelemiş ve izotropik plakalardaki kırılma ile karşılaştırmışlardır. Ayrıca çalışmalarında lineer elastik kırılma mekaniği prensiplerinin ortotropik plakalara uygulanabilirliği üzerinde çalışmışlardır. Kırılma mekaniği prensiplerinin geçerliliği için cam epoksi kompozit malzemesini kullanmışlardır. Yapılan çalışmalar sonucunda, doğrusal olmayan kompozitlerin kırılma tokluğunun çatlak boyundan bağımsız, fakat lif yönüne bağımlı olduğu bulunmuştur.

B. Lauke ve W. Pompe'nin (1986) kısa liflerle takviyeli termoplastiklerin kırılma tokluğunu araştırdıkları çalışmalarına göre, kısa liflerle takviyeli termoplastiklerde çentik ucunun ilerleme bölgesi hasar bölgesi olarak kabul edilmiştir. Kırılma tokluğunun veya kırılma enerjisinin, kırılma moduyla değiştiği bilinmektedir. Buna göre bir enerji prensibine dayanarak statik ve dinamik kırılma tokluğu için teorik ifadelerin çıkarılmasına çalışılmış ve bunlar deneysel sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Bu teorik ifadelerin deneysel sonuçlarla uyum içerisinde olduğu grlmştir.

İ. Uzman ve P. Yayla (1987), elyaf takviyeli kompozitlerde tabaka ayrılmasını inceleyen bir çalışma yapmışlardır. Bu çalışmaya göre, elyaf takviyeli kompozit malzemelerin en önemli mekanik özelliklerinden biri de malzemenin tabaka ayrılmasına karşı gösterdiği dirençtir. Tabaka ayrılmasının oluşumu, sadece yapının tamamen tahrip olmasının ayol açmakla kalmayıp, anı zamanda yapının rijitliğinde de önemli bir dşse sebep olmaktadır. Yapılan bu çalışmada kompozit malzemede tabakalar arası çatlak ilerleme direnci farklı kırılma türleri için, farklı deneyler kullanılarak tespit edilmiştir.

E. Karadeniz (1989), yaptığı çalışmada, metaller ve elyaf takviyeli plastik kompozitlerde mukavemet/ağırlık oranının karşılaştırılması sonrasında, kompozit malzemelerde, metal malzemelere göre çok daha büyük değerlerin elde edildiğini belirtmiştir. Cam takviyeli kompozit malzemelerin, yüksek mukavemet ve düşük ağırlık gerektiren uygulamalar için avantajlı olduğunu belirtmiştir. Korozyon ve kimyasal dirençlerinin yüksek oluşu ile de ulaşım ve uzay endüstrisinde de kullanımının uygunluğunu dile getirmiştir.

Ünal ve E. Keleşoğlu (1991), yaptıkları çalışmada, termoset plastiklerden polyester reçine matrisli e-camı fiberlerle destekli kompozit plakalarda kırılma tokluğuna lif türü ve geometrisinin etkisini araştırmışlardır. Yapılan deneylerde rastgele dağılımlı dokusuz yüzey, düzlemsel dokuma ve eşyönlü sürekli cam lifiyle desteklenmiş cam takviyeli kompozitler kullanılmıştır. Düzlemsel dokusuz yüzey için cam hacim oranı %20, %25, %30, düzlemsel dokuma ve eşyönlü lifler için ise

%30, %40, %50 olacak şekilde 10 mm kalınlıkta, el yatırma yöntemi ile hazırlanmış plakalarda ASTM E 399 metoduna uygun olarak, kompakt deney parçaları hazırlanarak deneyler yapılmıştır. Deney parçaları yönleri 0^0 , 15^0 , 30^0 , 45^0 , 60^0 , 75^0 , 90^0 olarak alınmış ve bu şekilde her yön için ayrı ayrı kırılma toklukları bulunmuştur. Yükleme hızı sabit tutularak yapılan deneyler sonrasında bulunan sonuçlar şu şekildedir: cam takviyeli kompozit malzemeler, anizotropik malzemeler olup, kırılma tokluğu değerleri yöne bağlı olarak değişim göstermektedir. Düzlemsel dokuma ve eşyönlü liflerle takviyeli polyester reçine matrisli kompozitlerle yapılan kırılma tokluğu deneyleri sonucunda, bu malzemelerin kırılma tokluklarının yöne bağlı değişimleri bulunmuştur. Düzlemsel dokusuz yüzey destekli cam takviyeli kompozitlerde, mekanik özellikler, dokusuz yüzey düzleminde yönden bağımsızdır. Bu nedenle tasarımda bu gibi malzemeler düzlemsel izotropik olarak düşünülebilir. Düzlemsel dokuma ve eşyönlü liflerle destekli cam takviyeli kompozitlerde, kırılma tokluğu değerleri yöne bağımlı olduğundan, tasarımda kırılma tokluğunun minimum değerinin göz önüne alınması ya da belirlenen yönlerde yükleme yapılması önerilmiştir. Ön yorulma çatlağının açılmasında, polyester matrisin, çatlak durdurucu etki yapması nedeniyle yüksek çevrim sayılarında bile doğrusal ilerleme başarı ile gerçekleştirilememiştir. Buna karşılık ön yorulma çatlağı, kama yardımıyla kolayca açılabilmekte ve sonuçlar sağlıklı olarak elde edilebilmektedir.

R. Sakin (1994), rastgele dağılımlı dokusuz yüzey ile takviyeli polyster kompozit malzemesi üzerine yaptığı çalışma sonucunda, kırılma tokluğu değerinin 0^0 ve 90^0 'lik lif yönlenmelerinden etkilendiğini, 90^0 'lik yönlenmede en yüksek, 0^0 'lik yönlenmede en düşük kırılma tokluğu değerlerinin elde edildiğini, ancak bu iki sınır açı değeri arasında kalan diğer yönlenmelerde, kırılma toklukları arasında belirgin bir ilişkinin olmadığını belirtmiştir. Bu çalışmada yönlenmenin, elyaf hacim oranının kritik değerini değiştirdiği görülmüştür. Düzlemsel rastgele dağılımlı dokusuz yüzeyin yönlenmesiyle ilgili bulunan kırılma tokluğu değerleri, daha önceki çalışmalarda buluna sonuçlar ile uyum içerisinde olduğu görülmüştür. Genel olarak, kırılma tokluğu değerinin, yükleme hızı arttıkça arttığı görülmüştür, ancak metalik malzemelerde yükleme hızı arttıkça kırılma tokluğunun düştüğü bilinmektedir. Fakat elyaf hacmi %4 ve altına düştüğünde, kırılma tokluğu değerinin de yükleme hızına

bağlı olarak düştüğü gözlemlenmiştir. Bu oran ve altındaki elyaf hacmine sahip yapıların, metalik malzeme özelliği gösterdiği görülmüştür. Yükleme hızının düşük olması halinde, kuvvet daha az zorlanarak, daha uzun zamanda lifleri tek tek kırabilmekte ve bu şekilde çatlak ilerlemektedir. Liflerin tek tek kırılması için ise aşırı yüke ihtiyaç duyulmaktadır. Bu nedenle, kırılma yükü düşük olmakta, dolayısıyla kırılma tokluğu da düşük olmaktadır. Diğer bir sebep ise, düşük yükleme hızlarında çatlağın zayıf arayüzeyi bulması ve buradan ilerleyebilmesi için zaman bulmasıdır. Zayıf ara yüzeyi yakalayan çatlak, buradan ilerleyerek düşük kırılma yükünde deforme olmaktadır. Bu nedenle de kırılma tokluğu düşmektedir. Ayrıca elyaf hacmi arttıkça, kırılma tokluğu değerinin de belirgin bir şekilde arttığı görülmüştür. Elyaf hacminin, yükleme hızı ve elyaf yönlenmesi söz konusu olduğunda, kırılma tokluğu ile ilgili kritik bir sınır değerine sahip olduğu gözlemlenmiştir.

G. Alar (2002), yaptığı bir çalışmada, aynı yüklemeye maruz, farklı takviye açılarına sahip plakların, en büyük Von Mises gerilmelerine göre karşılaştırıldığında en uygun plağı $30^0/60^0/30^0/60^0$ takviye açısına sahip plak olduğunu belirtmiştir. Bu plaklar, en büyük çekme değerlerine göre karşılaştırıldığında da çekme değeri küçük olan plağın yine aynı takviye açısına sahip plak olduğu görülmüştür. Farklı takviye açılarında, aynı yüklemeye sahip, ortasında 20 mm'lik tek bağlantı deliği bulunan plaklarda en büyük Von Mises gerilme değerlerine göre mukayse edildiğinde, en uygun plağın $45^0/-45^0/45^0/45^0$ takviye açısında olduğu belirlenmiştir. En büyük değerlerine göre incelendiklerinde ise en uygun plağın $0/90/90/0$ takviye açısının olduğu saptanmıştır.

M. S. Genç (2005), yapıştırıcı ile birleştirilmiş, tek yönlü kompozit tek bindirme bağlantılarının, hasar davranışlarını tespit etmek amacıyla çekme ve eğilme yükleri altında bindirme bölgesi civarında ilk hasar oluşumu ve bu hasarın gelişimini incelemiştir. Kompozit tek bindirme bağlantılarının mekanik özelliklerini belirlemek için üç önemli deney olan çekme, üç nokta ve dört nokta eğilme deneylerinin yapılabilmesi için, tek yönlü karbon lifler ile takviyeli epoksi reçine matrisli, istenilen lif açılarına sahip kompozit plakalar üretilmiştir. Hasar analizinde,

kompozit malzemelerin kırılma kriterlerinden Tsai Wu ve Hashin kriterleri kullanılmıştır. Kompozit kırılma kriterleri, kompozit yapının maruz kalabileceği yükler altında nasıl bir hasar davranışı sergileyeceğini önceden tahmin ederek, bu davranışa göre yapıyı daha dayanıklı tasarlamak için kullanılır. Deneylerde plakalardan kopan bağlantıların, plakaların yapıştırıcı serbst ucuna tekabül eden kısımdan kopması, teorik tahminlerde Tsai Wu ve Hashin kriterlerinin tahmin etmiş olduğu bu bölgelerde hasar yayılmasını doğrulamıştır. Fakat teorikte tahmin edilen kopma yükleri, deneylerdeki kopma yüklerinden daha düşük çıkmıştır. Bu duruma sebep, hasar analizinde malzeme özelliklerinin aniden çok küçülmesi ve bindirme bağlantılarının bileşenleri olan plakaların ve yapıştırıcının lineer elastik kabul edilmesidir. Kompozit yapıların ve yapıştırıcının, nonlineer özelliklerinin hasar analizinde dikkate alınması ile daha gerçekçi neticelerin elde edilebileceği vurgulanmıştır.

M. Y. Solmaz ve M. Gür (2007), yaptıkları bir çalışmada, tabakalı kompozit plakalarda takviye malzemesi ve oryantasyon açısının gerilmeye etkisini incelemişlerdir. Takviye malzemesi çapı ve dizilim simetrisine bağlı olarak değişen sonuçları ortaya koymuşlardır. Çalışmada çıkan sonuçlara göre, aynı çapa sahip simetrik ve asimetric dizilimli kompozitlerde, 15^0 , 30^0 ve 45^0 oryantasyon açılarında, asimetric dizilime sahip tabakalı kompozitler için bulunan gerilme değerlerinin, simetrik dizilime sahip tabakalı kompozitlerde bulunan gerilme değerlerinden daha yüksek olduğu görülmüştür. Ayrıca, oryantasyon açısı arttıkça, tabakalı kompozitlerde oluşan gerilme değerlerinde, hem simetrik, hem de asimetric dizilim için düşüş olduğu görülmüştür. Aynı oryantasyon açısı ve dizilimine sahip olan tabakalı kompozitlerden, takviye malzemesinin kesitinin artması ile birlikte, gerilme değerlerinde de artış olduğu görülmüştür.

S. Doğanay (2007), yaptığı çalışmada marina kompozitlerinin aşınma ve yorulma davranışlarını incelemiştir. Kompozitlerin uzama değerleri üzerinde, kompozitlerin suda bekletilmesinin anlamlı bir etkisinin bulunduğunu belirtmiştir. Suda bekletilmeksizin, takviye oranına bağlı olarak uzama değerlerinde bir azalış olduğu görülmüştür. Matris üzerine gelen yükün bir kısmı, lif tarafından karşılandığı

sonucu çıkarılmıştır. Suda bekletmeye bağlı olarak maksimum uzama değerlerinde bekletme süresi arttıkça bir azalışın olduğu görölmektedir.

1.1. KOMPOZİT MALZEME TANIMI

Kompozit malzemeler tanım olarak bir çok farklı şekilde ifade edilebilir ancak en gelen tanımı ile kompozit malzeme; iki veya daha fazla malzemenin farklı iki özelliğinden aynı anda yararlanabilmek için fiziksel olarak bir araya getirilmesiyle oluşturulan yeni malzemedir.

Kompozit malzemelerle ilgili yapılan farklı tanımlamalara bakacak olursak:

İki veya daha fazla malzemenin, aynı veya farklı gruptaki malzemelerin en iyi özelliklerini, yeni ve faydalı bir malzeme oluşturmak için makro yapıda birleştirilmesi ile elde edilen yeni malzemelerdir. Makro yapıdan kasıt, malzemenin çıplak gözle veya büyüteçle görülebilecek boyutta olmasıdır. Alaşım, mikro yapıda bileşenlerden meydana geldiğinden bir kompozit malzeme kabul edilmemektedir (Şahin 2000).

İki veya daha fazla malzemenin makro ölçüde bir araya getirilmesi ile oluşan malzemelere kompozit malzeme denir. Kompozitler çok fazlı malzeme sayılırlar. Yapılarında sürekli bir ana faz ile onun içinde dağılmış pekiştirici bir donatı fazı bulunur. Bazı malzemelerde bu tür yapı üretim sırasında oluşabilir ve fazların karışımı mikroskobik düzeydedir (Karadeniz 1989).

İki veya daha fazla malzemenin kullanım yerlerindeki aranan özellikleri verebilecek daha uygun bir malzemeyi oluşturabilmek için makro seviyede birleştirme sonucu elde edilen malzemeye kompozit malzeme denir. Kompozit malzemeler genellikle matris adı verilen ana faz ile takviyelendirici olarak adlandırılan ikinci veya tali fazdan oluşur (Genç 2005).

Kompozit malzeme tasarımı aranan özellikleri verebilecek daha uygun bir malzeme oluşturmak için makro seviyede iki ya da daha fazla malzemenin birleştirilmesi sonucu elde edilen yeni malzemedir (Şahin 2002).

Kompozit malzemeler, dizayn amacına uygun olarak (ısı, mekanik, fiziksel, işleme vb.) istenilen özellikleri baskın, istenmeyen özellikleri azaltılmış malzemelere verilen genel addır. Kompozit malzemeler genellikle matris adı verilen ana faz ile takviye olarak adlandırılan ikincil fazların istenilen oranda ve tertipte fiziki karışımı ile üretilirler (Şahin 2008).

Birbirlerinin zayıf yönünü düzelterek üstün özellikler elde etmek amacıyla bir araya getirilmiş değişik tür malzemelerden veya fazlardan oluşan malzeme sistemine kompozit malzeme denir. En geniş anlamda bir kompozit malzeme, iki veya daha fazla bileşenden meydana gelen malzemedir. Bu bileşenler makroskobik seviyede bir araya getirilirler ve birbirleri içerisinde çözünmezler (Kinet 2008).

Kompozit malzeme, kimyasal bileşenleri farklı, birbiri içerisinde pratik olarak çözünmeyen iki veya daha fazla malzemenin, kullanım alanlarındaki aranan özellikleri verebilecek daha uygun malzeme oluşumu için makro seviyede birleştirilmesi sonucu meydana gelen malzemelerdir. Makroskobik muayene ile yapı bileşenlerinin ayırt edilmesi mümkündür.

Yapılan tüm tanımlarda bahsedilen, iki veya daha fazla malzemenin bir araya gelmesinin yeni bir özellik elde etme amacına yönelik olduğudur. Burada bileşenlerin mukavemet gibi bir özelliği seçilir, diğer özellikleri göz ardı edilerek başka bir malzemedeki esneklik gibi bir özellikle beraber öne çıkması istenir. Böylelikle iki farklı malzeme ile hem mukavim hem de esnek bir malzeme ortaya çıkarılabilir. Birleşecek olan malzemeler arasında kimyasal birleşme olmaz. İki malzemeyi bir arada tutan fiziksel bir bağlayıcı vardır ya da bir malzeme diğeri içerisinde dağılarak veya düzenli bir şekilde konumlanmış durumdadır.

Mühendislikte genel olarak suni kompozit malzemeler kullanılmasına karşın doğal kompozit malzemeler de bulunmaktadır. Mesela kemik (mineral + protein + su), ağaç (selüloz + lignin + su + hava), kornea (kolajen + su), diş (inorganik mineraller + organik protein yapıları + su) doğal kompozitlere örneklerdir. Buna

karşılık beton (taş + çimento), asfalt (taş + katran) ve plastik reçine içerisinde cam lifi bulunan kompozitler ise yaygın kullanılan suni kompozitlere örnek olarak verilebilirler.

1.2. KOMPOZİT MALZEMELERİN TARİHÇESİ

İnsanoğlu, kendisine yardımcı malzemeleri doğadan temin ederek kullanmaya başlamıştır. İlk çağlarda en basit malzeme olarak çakmak taşı ve tahta kullanılmıştır. Başlangıçları hakkında kesin bir şey bilinmemekle birlikte kompozit malzemeler de çok eski yıllardan beri kullanılmaktadırlar.

20. asrın ikinci yarısında tekniğın hızla gelişmesi, beraberinde sanayinin temel girdisi olan malzeme ve malzeme biliminde de gelişmelerin hızlanmasını sağlamıştır. Fakat bu gelişim, yeryüzünde bulunan ana malzemelerin sınırlı olmasından dolayı, malzemeler ve bu malzemelerin özellikleri, teknolojinin gelişmesine ayak uyduramamıştır. Uzay araçlarının yapımına geçilen asrımızda bilim adamları çağın yenilikleriyle birlikte mevcut malzemelerin özelliklerinden bilimin gelişmesi paralelinde günün şartlarına uyacak şekilde, gerek ekonomik gerekse teknik yönden daha uygun malzemeler imal etme yolunu seçmişlerdir. Dolayısıyla hem ekonomik hem daha mukavemetli ve hem de çok hafif malzemelerin oluşumu için yapılan çalışmalar yoğunlaştırılmıştır. Böylece malzemeyi oluşturan bileşenlerin özellikleri farklı olan kombinasyonlarının verdikleri kompozit malzemeler büyük bir önem kazanmıştır (Yayla ve Uzman 1987).

Kompozit malzemeler özelliklerini doğadan almış olup, çok uzun bir kullanım tarihine sahiptirler. İnsanlar çok eski zamanlarda çamur ve samanı karıştırarak bu malzemeyi tuğla olarak kullanmaya başlamışlardır. Kerpiç adını verdiğimiz bu karışım, bilinen en eski kompozit malzemelere örnektir. Çamur içerisine gömülmüş saman kurutulduğu zaman çok iyi bir karma malzeme haline gelebilmektedir. Kerpiç malzemesinin tarihçesi eski Mısır Uygarlığı'na kadar uzanmaktadır.

Çinliler ise eski çağlarda samanı kille birleştirerek tuğla elde etmişlerdir. Ayrıca yine Çinlilerin yapılarda kullandıkları balmumu çok mükemmel bir elyaf

takviyeli kompozit malzemedir. Balmumunun sahip olduğu elyaf, tabiatın yapay fiberglası olarak kabul edilmiştir (Avcı 2002).

Bunun yanında ok yayı yapımında da kompozit malzeme mantığı kullanılmıştır. Özellikleri ve lif yönleri farklı ağaç levhalar üst üste konularak karma bir plaka halinde kullanılmıştır.

Kağıt da malzeme sınıfı olarak kompozitlere dahildir. Selüloz lifleri ile reçine birleşiminden oluşmaktadır. Eski çağlarda kağıt yerine kullanılan papirüs de kullanılan en eski kompozit malzemelerdendir.

İnşaat malzemesi olarak kum, çakıl, çimento ve su karışımı olan beton kompoziti 19. yüzyılın başlarında çimento sanayisinin gelişmesi ile uygulanmaya başlanmıştır. Yol kaplama malzemesi olarak kullanılan asfalt kompoziti ise 1938 yılında Paris’de uygulanmaya başlanmıştır (Karadeniz 1989).

Elyaf takviyeli kompozitlerde, takviye malzemesi olarak cam elyafın kullanımı 19. yüzyılın sonlarında fabrikasyon olarak imalatından sonra başlamıştır. II. Dünya Savaşı’nda ve sonrasında savunma sanayisi malzemesi olarak önemli bir yer edinmiştir (Karadeniz 1989).

Kompozit malzemelerin esas gelişimi ve yaygınlaşması, havacılığın I. ve II. Dünya Savaşı’ndan sonra hızla gelişmesinden sonra havacılıkta malzemeye olan ihtiyacın değişimiyle gerçekleşmiştir. Kompozitler önce uçak, sonra uzay yapılarında yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır.

Elyaf takviyeli kompozit malzemelerin son 50 yıldır mukavemet/ağırlık oranının önem taşıdığı uygulamalarda özellikle tercih edilmektedir. 1950’li yıllardan sonra otomotiv sanayisinde kaporta ve aksesuar malzemesi olarak kullanılmaya başlanmıştır.

Kompozit malzeme üretiminin bilinçli olarak ele alınması ve bilimsel yaklaşımlarla yeni malzemelerin geliştirilmesi ancak 1940'lı yıllarda cam takviyeli plastiklerin kullanımı ile başlamıştır. Önemli ilk uygulamalara örnek olarak radar kubbeleri gösterilebilir. Cam takviyeli plastikler elektromanyetik geçirgenlik, hafiflik, atmosfer koşullarına dayanıklılık ve mekanik özellikleri nedeniyle bu amaç için kullanılabilir en uygun malzemedir. İlk cam takviyeli plastik tekne 1942'de yapılmış, ilk elyaf sarma patenti ise 1946'da ABD'de alınmıştır. 1950'lerde ise uçak pervaneleri kompozit malzemedен yapılmaya başlanmıştır. Bugün uçak endüstrisinde %40'a varan oranlarda kullanılan kompozit malzemelere örnek olarak, çeşitli polimerler içerisine gömülmüş karbon lifleri, alüminyum içerisine dizilmiş boron lifleri veya 1000C üzerindeki sıcaklıklarda çalışan ve nikel/alüminyum alaşımı içerisinde oluşturulmuş nikel/niobiyum levhaları ile kuvvetlendirilen malzemeler gösterilebilir. Bu üstün nitelikli kompozit malzemelerin yanında ucuzluğu ve elde edilmesi oldukça kolay olan cam elyaf/polyester malzeme oldukça yaygın olarak kullanılmaktadır. Verilen örneklerden de anlaşılacağı gibi kullanılacak kompozit malzeme, istenen mekanik özellikler, çevre şartlarına dayanıklılık, görünüm, maliyet gibi özellikler ile çok çeşitli olabilmekte ve hemen hemen her şartı karşılayabilecek uygun bir takviye/matris çifti oluşturabilmektedir (Aran 1990).

Gelişen dünyanın ihtiyaçlarıyla birlikte metallerin, seramiklerin ve polimerlerin gelişmesi dolayısıyla, bunlardan daha üstün ve daha çeşitli özellikleri bir araya toplayan malzeme olarak kompozit malzemelerin gelişimi de hızlanmıştır. Kompozit malzemelerin daha dayanıklı ve de çok daha hafif olması, kompozitleri havacılık sektörünün ve diğer bir çok sektörün en çok kullanılan malzemesi durumuna getirmiştir.

Son zamanlarda yüksek mukavemet/ağırlık, katılık/ağırlık oranlarına sahip olan fiber takviyeli reçine kompozitleri uçak ve uzay taşıtları gibi ağırlığa hassas uygulamalarda önemli kullanım alanları bulmuşlardır. Düne kadar sacdan, tahtadan yapılan tekneler, yatlar, kotralar yerlerini artık polyester/cam elyaftan yapılan kompozitlere bırakıyorlar. Bakım ve onarım açısından daha avantajlı kompozit malzemedен yapılan tekneler aynı zamanda hafif uzun ömrlü ve süratli olmaları

nedeniyle tercih edilmektedirler. İmalat sanayisinde bir çok parça artık kompozit malzemeden yapılmaktadır bu malzeme grubu hava ve uzay endüstrileri yanında kara ve deniz taşımacılığı, çeşitli spor malzemeleri (yüksek atlama sıırıkları, bisiklet, tenis raketleri, sörf tahtaları, yat ve yarış tekneleri), tıp gereçleri, robot yapımı (eylemsizlikleri az ve rijit olduklarından), kimya sanayisi (korozyana dayanıklı olduklarından), elektroteknik ve elektronik (yalıtkan olduklarından) ve müzik aletleri yapımı gibi bir çok uygulama sahası bulmuş durumdadır (Aran 1990).

Farklı malzemeler mikroskobik seviyede birleştirilebilirler. Fakat sonuçta metal alaşımlarında olduğunda makroskobik olarak homojendir. Kompozit malzemeler ise makroskobik seviyede anizotropiktir. Kompozitler genellikle kendilerini meydana getiren bileşenlerin en iyi özelliklerini bir araya getirecek şekilde oluştururlar. İşte bu kompozit malzemelerin en büyük avantajıdır. Fazla ağırlık istenmeyen fakat fazla mukavim olması istenen yerlerde çelik ve benzeri metallerin yerine kompozit malzemeler kullanılmaktadır (Korkmaz 1987).

1.3. KOMPOZİT MALZEMELERİN KULLANIM ALANLARI

Günümüzde kompozit malzemelerin kullanım alanları çok geniş boyutlara ulaşmıştır. Kompozit malzemelerin başlıca kullanım alanları ve bu alanlarda sağlanan avantajlar aşağıdaki şekilde sıralanabilir (Web 1):

Şehircilik: Bu alanda kompozitler konut yapımında, çevre güzelleştirme çalışmalarında, heykel, banklar, elektrik direkleri gibi yerlerde kullanılmaktadır. Üreticinin çok sayıda standart ürünü kısa zamanda imal edebilmesi montajdan tasarruf ve ucuz maliyet imkanları kullanıcıya da yüksek izolasyon kapasitesi, hafiflik ve yüksek mekanik dayanım imkanları sağlamaktadır.

Ev Aletleri: Masa, sandalye, televizyon kabinleri, dikiş makinesi parçaları, saç kurutma makinesi gibi çok kullanılan ev aletlerinde ve dekoratif ev eşyalarında kompozit malzemeler kullanılmaktadır. Bu şekilde komple ve karışık parça üretimi, montaj kolaylığı, elektriksel etkilerden korunum ve hafiflik gibi avantajlar sağlanmaktadır.

Elektrik ve Elektronik Sanayisi: Kompozitler, başta elektriksel izolasyon olmak üzere her tür elektrik ve elektronik malzemenin yapımında kullanılmaktadır.

Havacılık Sanayisi: Havacılık sanayisinde kompozitler, gün geçtikçe daha geniş bir uygulama alanına sahip olmaktadır. Planör gövdesi, uçak modelleri, uçak gövde ve iç dekorasyonu, helikopter parçaları ve uzay araçlarında başarıyla kullanılmaktadır. Daha hafif malzemeyle atmosfer şartlarına dayanım ve yüksek mukavemet sağlanmaktadır.

Otomotiv Sanayisi: Bu alanda kompozitlerden oluşan başlıca ürünler, otomobil kaportası parçaları, iç donanımı, bazı motor parçaları, tamponlar ve oto lastikleridir.

Otomobillerde atalet kuvvetinin az olması için ağırlığın düşük olması istenir. Bu şekilde daha çabuk hızlanma ve yavaşlama yanında daha az tork ihtiyacından ötürü daha az yakıt harcaması elde edilecektir. Cam sileceği, filtre kutusu, pedallar, dikiz aynası, far gövdesi, hava giriş manifoldu, gösterge paneli, yan gövde iskeleti, kaporta gibi bölgelerde kompozitler kullanılmaktadır. Ulaşım alanına bakıldığında traktör kaportası, kabin, taşıtlarda oturma birimleri, otobüs havalandırma kanallarında pot bagaj parçaları, gösterge panelleri, teleferiklerde ve trenlerde cam takviyeli plastikler kullanılmaktadır (Doğanay 2007).

İş Makineleri: İş makinelerinin kapakları ve çalışma kabinleri yapımında da kompozit malzemeler kullanılmaktadır. Bu şekilde üretimde kullanılan parça sayısı azaltılabilmekte, tek parça üretim mümkün olmaktadır. Ayrıca elektrik izolasyon malzemelerinden de tasarruf sağlanmaktadır.

İnşaat Sektörü: Cephe korumalar, tatil evleri, büfeler, otobüs durakları, soğuk hava depoları, inşaat kalıpları birer kompozit malzeme uygulamasıdır. Tasarım esnek ve kolay olmakta, nakliye ve montajda büyük avantajlar sağlanmaktadır. İzolasyon çözümleri giderilmekte ve bakım giderleri azaltılmaktadır.

Köprü tabanı, trabzan, yürüme yolları, taşıyıcı konstrüksiyonlar, bina cephesi, balkon korkuluğu, kapı, yüzme havuzu, kapı saçağı, yer karoları, bina kaplama panelleri, küvet, lavabo, sokak lambası cam takviyeli plastiklerden elde edilen kompozitlerle yapılmaktadır (Doğanay 2007).

Tarım Sektörü: Seralar, tahıl toplama siloları, su boruları ve sulama kanalları yapımında kompozitler özel bir öneme sahiptirler. Kompozit malzemelerden yapılan bu örnekler istenirse ışık geçirgenliği, tabiat şartlarına ve korozyona dayanıklılık, düşük yatırım ve kolay montaj gibi avantajlar sağlamaktadır.

Kompozit malzemelerde gerçekleşen gelişmelerle kullanım alanı hızla artmış ve artmaya devam etmektedir. Potansiyel kullanım alanları içerisinde de deniz sektöründe kullanılan hızlı feribotlar, petrol boruları, avcı gemileri gibi daha zor

koşullara dayanıklı olması gereken yapılar bulunmaktadır (Mouritz ve arkadaşları 2001).

Denizcilik Sanayisi: Yelken gövdesi olarak cam takviyeli plastik, polimer köpük üstüne cam, aramid carbon dokumaları ile kaplama türü kompozitler kullanılırken, yat, tekne arka kısım basamaklarında cam takviyeli kompozitler, yelken direğinde ise kevlar + epoksi kullanılmaktadır.

Korozyona Dayanıklı Ürünler: su tankı, mazgal olukları, yeraltı boruları, marketlerde dondurulmuş gıda reyonlarının kaplaması, rasathane kubbesi, açık saha depoları, çitler, ilan panoları cam takviyeli plastiklerden yapılmaktadır.

Sağlık: Sağlık sektöründe de uygulama alanı bulan kompozit malzemelere örnek olarak, tekerlekli sandalyeler için cam veya carbon elyaf takviyeli polyester, tıbbi tetik cihazları için cam takviyeli polyester kullanılmaktadır.

Spor Araçları: Ağırlığın azalması dolayısıyla hareket kabiliyetinin artmasına ve dayanıklılığın artmasına elverişli olmasından dolayı spor malzemeleri alanında da kompozit malzemeler kullanılmaktadır. Bu özellikler için cam ve karbon elyaf takviyeli kompozitler kullanılmaktadır. Kano, yat ve sörf gibi yorulma ve malzeme dayanımı özelliklerini karşılayabilmektedir. Dağ bisikletlerine en iyi dayanım/ağırlık özelliklerini kazandırmak için yine kompozit malzemelerinden yararlanılmaktadır. Böylelikle malzemeye korozyon dayanımı, şok emme ve sağlamlık gibi özellikler kazandırılmaktadır. Golf sopası ve tenis raketlerinde de ağırlığı düşürmek için carbon elyaf takviyeli kompozit malzemelerden yararlanılmaktadır.

Müzik Aletleri: Keman, gitar, akustik gitar, çello gibi müzik aletlerinin yapımında da kompozit malzemelerden yararlanılmaktadır.

1.4. KOMPOZİT MALZEMELERİN ÖZELLİKLERİ

Kompozit malzemeler, mukavemet açısından metallerle yakın özellik göstermelerine karşılık, metallerden çok daha hafif olmaları nedeniyle önem kazanmışlardır. Kompozitlerin özgül ağırlıklarının düşük oluşu, hafif konstrüksiyonlarda kullanımda büyük avantajlar sağlamaktadır. Bunun yanında korozyona dayanımları, ısı, ses ve elektrik izolasyonu sağlamaları da ilgili kullanım alanları için üstünlük sağlamaktadır (Kinet 2008).

Kompozit yapı oluşumuyla elde edilmesi hedeflenen özelliklerden bazıları aşağıdaki gibi sıralayabiliriz (Ulcay 2002):

- Yorulma dayanımı
- Aşınma dayanımı
- Korozyon dayanımı
- Kırılma tokluğu
- Yüksek sıcaklık özellikleri
- Elektrik iletkenliği
- Isı iletkenliği
- Akustik iletkenlik
- Ağırlık
- Rijitlik
- Fiyat ve estetik görünüm

Beklenen özellikleri kısaca açıklayacak olursak (Kinet 2008):

Yüksek Mukavemet: Kompozitlerin çekme ve eğilme mukavemetleri birçok metalik malzemeye göre çok daha yüksektir. Ayrıca kalıplama özelliklerinden dolayı kompozitlere istenilen yönde ve bölgede gerekli mukavemet verilebilir. Böylece malzemedan tasarruf yaparak daha hafif ve ucuz ürünler elde edilebilir.

Kolay Şekillendirilebilme: Büyük ve kompleks parçalar tek işlemle bir parça halinde kalıplanabilir. Bu da malzeme ve işçilikten kazanç sağlar.

Çelik gibi malzemelerde ürün üretilirken öncelikle parçaların üretilmesi ve daha sonra parçaların birleştirilmesi dezavantajına karşılık,

Elektriksel Özellikler: Uygun malzemelerin seçilmesiyle çok üstün elektriksel özelliklere sahip kompozit ürünler elde edilebilir. Bugün büyük enerji nakil hatlarında kompozitler iyi bir iletken ve gerektiğinde de başka bir yapıda iyi bir yalıtkan malzemesi olarak kullanılabilirler.

Kompozit malzeme için kullanılan matris malzemesi ya da takviye elemanının sahip olduğu dielektrik özelliğinden dolayı yalıtım gerektiren yerlerde kullanım olanağı sunmaktadır.

Korozyona ve Kimyasal Etkilere Karşı Mukavemet: Kompozitler hava etkilerinden korozyondan ve çoğu kimyasal etkilerden zarar görmezler. Bu özellikleri nedeniyle kompozit malzemeler kimyevi madde tankları, boru ve aspiratörler, tekne ve diğer deniz araçları yapımında güvenle kullanılmaktadır. Özellikle korozyona karşı mukavemetli olması, endüstride bir çok alanda avantaj sağlamaktadır.

Isıya ve Ateşe Danıklılık: Isı iletim katsayısı düşük malzemelerden oluşabilen kompozitlerin ısıya dayanım özellikleri, yüksek ısı altında kullanımlarına olanak sağlamaktadır. Bazı özel katkı maddeleriyle kompozitlerin ısıya dayanımı artırılabilir.

Kalıcı Renklendirme: Kompozit malzemeye kalıplama esnasında reçineye ilave edilen pigmentler sayesinde istenilen renk verilebilir. Bu işlem ek bir masraf ve işçilik gerektirmez.

Titreşim Sönümlendirme: Kompozit malzemelerde süneklik nedeniyle doğal bir titreşim sönümlenme ve şok yutabilme özelliği vardır. Çatlak yürümesi olayı da böylece en aza indirgenmektedir.

Hafiflik: Özgül özellik ile kıyaslandığında verdiği düşük yoğunluk değeriyle yüksek özellikler sunması diğer malzemelere olan üstünlüğünü göstermektedir.

Tasarım Esnekliği: Tasarımcı açısından her türlü boyut ve karmaşıklık için ideal bir yapı oluşturur.

Boyutsal Kararlılık: Çeşitli mekanik ve çevresel koşullara karşı termoset kompozitler şekillerini koruyabilmektedirler.

Şeffaflık: Bazı kompozitler cam kadar ışık geçirgenliği olacak şekilde üretilmektedir. Tam şeffaflık elde edilebilmesi nedeniyle, ışığın yayılabilmesi sayesinde geçirgenliğin önemli olduğu seralarda ve güneş kolektörü yapımında önem arz etmektedir.

Beton Yüzeyle Uygulanabilirlik: Kompozit malzemelerin bazıları beton yüzeyle mükemmel bir şekilde yapışabilmektedir. Betonun gözenekli yapısı ile kompoziti oluşturan ana malzemenin bu boşlukları dolduracak şekilde aralara sızması ve içeride sertleşmesi sayesinde mükemmel bir yapıya sağlanır.

Ahşap Yüzeyle Uygulanabilirlik: Ahşabın kuru olması ve siteren içeren polyester reçine ile emdirilmesi durumunda ahşap yüzeyle iyi bir şekilde yapışabilirler.

Demir Yüzeyle Uygulanabilirlik: Demir yüzeylede pas ve yağlar temizlendikten sonra çok iyi bir şekilde kompozit malzeme ile kalıplanabilir. Bu şekilde demir ve çelikler kompozitlerle kaplanması ile korozyona karşı direnç kazanırlar.

Yanmazlık Özelliği: Kullanılan polyesterin yani reçinenin alev dayanımı özelliğine bağlı olarak kompozitlere yanmazlık özelliği kazandırılabilir.

Farklı Malzemeler İçerisine Eklenebilme: Demir, çelik, ahşap, halat, tel, mukavva, poliüretan sert köpük gibi malzemeler içerisine gömülerek kompozit malzemelerde mekanik özellikler geliştirilebilir.

Bütün bu olumlu yanların dışında kompozitlerin uygun olmayan yanları da sıralanabilir (Kinet 2008):

Kompozit malzemelerdeki hava zerrecikleri malzemenin yorulma özelliklerini olumsuz etkilemektedir.

Kompozit malzemeler değişik doğrultularda değişik mekanik özellikler gösterirler. Bir yönde mukavim olurken, diğer yönde aynı özellikleri taşımayabilirler.

Aynı kompozit malzeme için çekme basma kesme ve eğilme mukavemet değerleri farklılıklar gösterebilir.

Kompozit malzemelerin delik delme, kesme türü operasyonları liflerde açılmaya neden olduğundan bu tür malzemelerde hassas imalattan söz edilemez.

Kompozit malzemelerin en büyük dezavantajı, henüz yeni birer malzeme sayılabilecekleri için tanımlanmamış bir çok parametrelerinin bulunmasıdır (Jones 1998).

Görüleceği üzere kompozitler, bazı dezavantajlarına rağmen çelik ve alüminyuma göre birçok avantaja sahiptir. Bu özellikleriyle kompozitler, otomobil gövde ve tamponlarından deniz teknelerine, bina cephe ve panolarından komple banyo ünitelerine, ev eşyalarından tarım araçlarına kadar bir çok sanayi alanında problemleri çözümleyecek bir malzemedir (Kinet 2008).

1.5. KOMPOZİT MALZEMELERİN SINIFLANDIRILMASI

Yapılarında çok sayıda farklı malzeme kullanılabilen kompozitlerin gruplandırılmasında kesin sınırlar çizmek mümkün olmamakla birlikte, yapıdaki malzemelerin formuna göre yapılan bir sınıflama şekli aşağıdaki gibidir:

- 1) Elyaf Takviyeli Kompozit Malzeme
- 2) Parçacıklı Kompozit Malzeme
- 3) Tabakalı Kompozit Malzeme
- 4) Hyrib Kompozit Malzeme

1.5.1. Elyaf Takviyeli Kompozit Malzeme

Bu kompozit tipi ince liflerin matris yapıda yer almasıyla meydana gelir. Lifli kompozitler uygulamada önemli bir yer teşkil etmektedir. Özellikle cam elyaf ile takviye edilmiş plastiklerden oluşan kompozitler çok geniş kullanım alanına sahiptirler. Gerçekte bir çok malzeme elyaf halinde çok daha yüksek mukavemetli olurlar. Özellikle kıl halinde dislokasyon içermeyen cisimlerin mukavemeti normal boyuttakilere oranda yaklaşık 1000 kat kadar daha fazladır. Uygulamada takviye malzemesi olarak kullanılan lifler çoğunlukla kuvvetli kovalent bağlara sahiptirler. Aynı amaçla kullanılan metal liflerin mukavemeti de soğuk çekme ile arttırılmıştır. Liflerin çapları mikron mertebesindedir. Dolayısıyla tek başlarına kullanılamazlar. Ancak sünek bir matrisler birbirine bağlanınca çok yüksek mukavemetli ve hafif bir malzemeye dönüştürülürler. Matris ile lifler arasında kimyasal bağdan ziyade zayıf spesifik bağlar vardır. Ancak boyları çaplarına oranla daha fazla olan liflerin toplam yüzeyleri büyüktür. Birbirlerine dolanarak kenetlenirler ve böylece oldukça büyük yükleri aktarabilirler. Sünek bir matris içerisinde bulunan yüksek mukavemetli lifler çatlasa veya kırılrsa dahi hata mikroskobik düzeyde kalır, yayılmadan sünek ve tok matris tarafından önlenir (Karadeniz 1989).

Elyaf takviyeli kompozitlerde, yumuşak ve sünek matris içerisine sert ve dayanıklı lifler katılarak, yorulma dayanımı, özgül modül ve özgül dayanım özellikleri iyileştirilir. Matris malzemesi kuvveti liflere transfer ederek yumuşaklık, mukavemet ve tokluk özelliği sağlarken lifler uygulanan yükün büyük bir bölümünü taşımaktadır.

Elyaf takviyeli kompozitlerde oldukça değişik takviye elemanları kullanılmaktadır. Bunlar, cam, grafit, bor, kevlar, organik ve seramik elyaf gibi eşitleri mevcuttur. Bunlardan en çok ve yaygın olarak kullanılan cam, grafit ve organik liflerdir.

Lifler, rme veya şerit şeklinde olabilmekle beraber, tabakalar halinde yönlü lifler şeklinde de kullanılır. Fiber takviyeli kompozitler kendi içerisinde fiber geometrisine bağlı olarak 5 sınıfa ayrılırlar. Tek yönlü sürekli elyaflı, kesikli elyaflı, ortogonal elyaflı, çapraz dizilmiş sürekli elyaflı ve rastgele dizilmiş sürekli elyaflı kompozit malzemelerdir. Sürekli elyaflar, yönlendirilme özelliklerinden dolayı diğer takviye elemanlarına göre daha üstün özelliklere sahiptir. Kompozitin kullanıldığı yer ve üzerine gelen kuvvetler sonucu çekme, basma ve eğilme gerilmeleri için istenilen mukavemete ulaşabilir. Tek yönde çekme kuvvetine maruz kalan bölgelerde yönlendirilmiş uzun elyaflar lif doğrultusunda maksimum performans gösterirler. Ancak lif eksenine dik doğrultuda minimum özellik gösterir. Bu durumu gidermek için değişik açılarda takviyelendirme yapılmak suretiyle istenen doğrultularda daha yüksek özelliklerin elde edilmesi mümkündür (şahin 2000).

Liflerin matris içerisindeki yerleşimi kompozit yapının mukavemetini etkileyen önemli bir unsurdur. İki boyutlu yerleştirilmiş elyaf takviyelerle her iki yönde de eşit mukavemet sağlanırken, matris yapısında homojen dağılmış kısa liflerle ise izotropik bir yapı oluşturmak mümkündür. Liflerin mukavemeti, kompozit yapının mukavemeti açısından çok önemlidir. Ayrıca liflerin uzunluk/çap oranları arttika matris tarafından liflere iletilen yük miktarı artmaktadır. Lifli yapının hatasız olması da mukavemet açısından çok önemlidir. Kompozit yapının mukavemetinde

önemli olan diğeri bir unsur ise, lif/matris arasındaki bağı yapısıdır. Matris yapıda boşluklar söz konusu ise liflerle temas azalacaktır. Nem absorpsiyonu da elyaf ile matris arasındaki bağı bozan olumsuz bir özelliktir (Şahin 2008).

1.5.2. Parçacıklı Kompozit Malzeme

Bir matris malzeme içinde başka bir malzemenin parçacıklar halinde bulunmasıyla elde edilirler. İzotropik yapılardır, yapının mukavemeti parçacıkların sertliğine bağlıdır. En yaygın tip, plastik matris içerisinde yer alan metal parçacıklardır. Metal parçacıklar ısı ve elektrik iletkenliği sağlar. Metal matris içinde seramik tanecik içeren yapıların sertlikleri ve yüksek sıcaklık dayanımları vardır. Bunlar kollar, kulplar, elektrik parçaları, muhafazalar ve benzeri küçük parçaların yapımında kullanılırlar (Şahin 2000).

Bir veya bir kaç farklı malzemenin matris görevi görerek oluşturduğu kompozitlerdir. Parçacıklı kompozitlere en önemli örnek betondur. Beton, kum, çakıl, çimento ve su karışımından oluşur. Burada çimento su ile birlikte bağlayıcı özellik taşımaktadır. Kum ve çakıl ise takviye veya diğeri bir deyişle pekiştirici malzemelerdir. Sert tanelerin sünek bir bağlayıcı madde ile birleştirilip aglomere haline getirilen kompozitlere diğeri bir örnek ise asfalt yol kaplamalarıdır. Asfalt viskoz ve düşük mukavemetlidir, taş ise sert ve gevrek. Kütle halinde fazla şekil değiştirmeden çatlayarak kolayca kırılabilir. Halbuki değişik boyutlu kırma taş ile asfaltın karışımından oluşan yol kaplama malzemesi hem sünek hem de yeterli mukavemettedir. Tungsten karbür taneciklerinin kobalt metali ile yüksek sıcaklıkta, basınç altında sinterlenmesi sonucu elde edilen seramik kompozit çok sert olup yüksek hızlı kesme takımı üretimine elverişlidir. Uygulamada bunlara sermet denir (Karadeniz 1989).

Parçacıklı kompozit malzemelerde, parçacıkların boyları kısa olduğu için çatlamayı engelleyemezler. Ancak plastik benzeri malzemeler, kırılma polimerik

malzeme içinde geçici bir geçiş ve ilerleme sağlayarak çatlama direncini arttırmaya yardımcı olur. Seramik, metal veya inorganik gibi diğer parçacıklar, metalik matrislerde farklı mekanizmalarla farklı oranlarda mukavemeti arttırmaları. Bunun yanında parçacıklar, elektriksel ve termal iletkenliği geliştirir ve sürtünmeyi azaltır, işlenebilirliği artırır, yüzey sertliğini artırır ve büzülme azaltır. Tabii bunların yanında maliyeti de azaltır.

Parçacık ve matris kombinasyonu istenilen özelliğe bağlı olarak seçilir. Örneğin, kurşun parçacıklarının kombinasyonunda, bakır ve çelik alaşımların kullanılması işlenebilirliği artırır. Pek çok tungsten krom ve molibden gibi kırılma parçacık sünek malzeme içerisine eklendiğinde oda sıcaklığında sünek özellikler aynı kalırken ısı performans artmaktadır (Doğanay 2007).

1.5.3. Tabakalı Kompozit Malzeme

Tabakalı kompozit yapı en eski ve en yaygın kullanım alanına sahip olan tiptir. Farklı elyaf yönelmelerine sahip tabakaların birleşimi ile çok yüksek mukavemet değerleri elde edilir. Metallerle göre hafif ve aynı zamanda mukavemetli olmaları nedeniyle tercih edilen malzemelerdir. Pek çok tabakalı kompozit düşük maliyet, yüksek dayanım veya hafifliğini korurken, aşınma direnci, gelişmiş görünüm ve mükemmel ısı genleşme özelliklerini kapsamaktadır. Buna karşı korozyon ve aşınma direnci gibi önemli özelliklerin pek çoğu öncelikle kompoziti oluşturan elemanlardan birine bağlıdır (Şahin).

Tabakalı kompozitler, temel malzeme eksenleri doğrultusunda değişik yönlerde tabaka ve katmanların üst üste koyularak bir araya getirilmesiyle oluşur. Tabakalar, matris içerisine rastgele yönelmiş lifler, tek yönlü lifler veya farklı elyaf takviyeli tabakalardan oluşabilir. Bu kompozitlerde tabakalın dayanımı, rijitlik, korozyon direnci, yalıtıcılık gibi özellikler geliştirilebilir (Ekrem 2006).

Tabakalı kompozit malzemelerde, tabakalar arasındaki mesafeler mikroskobik düzeydedir (Karadeniz).

1.5.4. Hybrid Kompozit Malzeme

Birden fazla çeşitli takviye malzemesi birlikte kullanılarak yapılan kompozit malzemelerdir. Aynı kompozit yapıda iki veya daha fazla elyaf çeşidi bulunabilir. Metal ve polimer hatta seramik malzemeler birlikte kullanılabilir. Jüt ve cam elyafının birlikte kullanılması ile yapılan bir malzeme buna bir örnektir. Bu alan, yeni tip kompozitlerin geliştirilmesine uygun bir alandır.

Kompozit malzemelerin sınıflandırılmasında kullanılan bir diğer yöntem de matris malzemesine göre yapılan sınıflandırmadır (Web 1):

- 1) Polimerik Matrisli Kompozit Malzeme
- 2) Metal Matrisli Kompozit Malzeme
- 3) Seramik Matrisli Kompozit Malzeme

1.5.5. Polimerik Matrisli Kompozit Malzeme

Fiber ve matris olarak kullanılabilen malzemeler amaca uygun olarak çok çeşitli olabilmektedirler. Fakat genellikle cam, seramik, plastik ve metaller kullanılmaktadır. Fiber olarak kullanılan plastikler yük taşıyıcı bir özelliğe sahipken, matris olarak kullanılan plastikler esneklik verici, darbe emici ya da istenilen amaca göre kullanılan plastiğin özelliğine sahip olmaktadır. Kullanılabilecek plastik türleri termosetler ve termoplastiklerdir. Termosetler ısıtılıp şekillendirildikten sonra soğutulduklarında artık mikro yapıda oluşan değişim nedeniyle eski yapıya dönüş mümkün olmaz. Bu grupta polysterleri, epoksileri, alkitleri, aminleri sayabiliriz.

Termoplastikler ise ısıtıldıklarında yumuşar ve şekillendirildikten sonra soğutulduklarında sertleşirler. Bu işlem sırasında plastiğin mikro yapısında bir değişiklik olmaz. Bu grupta ise, nylon, polietilen, polistren, karbonflorür akrilikler, selülozikler, viniller sayılabilir.

1.5.6. Metal Matrisli Kompozit Malzeme

Metallerin ve metal alaşımlarının birçoğu yüksek sıcaklıkta bazı özellikleri sağlamalarına rağmen kırılğan olmaktadır. Fakat metalik fiberler ile takviye edilmiş metal matrisli kompozitler her iki fazın uyumlu çalışması ile yüksek sıcaklıkta da yüksek mukavemet özelliklerini vermektedir.

Bakır ve alüminyum matrisli wolfram ve molibden fiberli kompozitler ve Al-Cu kompoziti bize bu kompozisyonu en iyi veren örneklerdir. Bu tip kompozitler, matrisin özelliklerini iyileştirdiği gibi, bu özelliklere daha ekonomik ulaşılmasını sağlar.

Liflerin malzemeyi kuvvetlendirme derecesi yüzeysel boşlukların olmamasına bağlıdır. Böylece teorik duruma yaklaşılabilir. Liflerin çaplarına ve matrislerine olan adhezyon kuvvetinin niteliğine bağlı olarak belli bir kritik uzunluktan daha kısa olmalıdır. Bu kompozitlerde metal matris içerisine gömülen ikinci faz sürekli lifler şeklinde olabildiği gibi gelişigüzel olarak dağıtılmış küçük parçalar halinde de olabilmektedir.

1.5.7. Seramik Matrisli Kompozit Malzeme

Metal veya metal olmayan malzemelerin birleşiminden oluşan seramik kompozitler, yüksek sıcaklıklara karşı çok iyi bir dayanım göstermekle birlikte rijit

ve gevrek bir yapıya sahiptirler. Ayrıca elektriksel olarak çok iyi bir yalıtkanlık özelliği gösterirler. Üç ayrı grupta toplanan seramik kompozitler şu şekilde sıralanabilir:

- Seramik – Seramik: İki seramik fazın karışmasından oluşmaktadır. Örnek olarak saf çini verilebilir.
- Seramik – Cam: Yaşamımızın her alanında kullanılan porselen bir seramik cam kompozitidir. Quartz liflerin bir cam matris içerisine çini ile birlikte hamurlanıp yerleştirilmesi ile oluşmuştur.
- Seramik – Metal: 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 içerisine dağılmış tungsten karpit parçalarından oluşan bu kompozit malzeme büyük bir dayanım sağlamaktadır.

1.6. KOMPOZİT MALZEMELERİN ÜRETİM YÖNTEMLERİ

1.6.1. Elle Yatırma (Hand Lay Up)

Dokuma veya kesikli liflerle hazırlanmış takviye kumaşları kalıp üzerine elle yatırılarak üzerine reçine jelkot sürülür. Jelkot sertleştikten sonra elyaf katları yatırılır. Reçine ise kompozit malzemenin hazır olması için en son sürülür. En çok polyester, epoksi, vinil ester ve fenolik reçineler kullanılır. Yoğun işçilik gerektirir ve reçinenin elyafa nüfuzu çok önemlidir (Şahin 2000).

El yatırması en basit ve en eski cam elyaf takviyeli plastik üretim metodudur. İşlem reçine ile keçe veya dokuma şeklindeki cam elyafın kalıbın içerisine veya üzerine konularak aradaki havayı fırça veya rulo ile gidermekten ibarettir. Reçine ve cam elyafı istenilen kalınlık sağlanana kadar ilave edilir. Malzeme oda sıcaklığında sertleşir. Sertleşmeyi hızlandırmak için ısı uygulaması yapılabilir.

Eğer yüzeyin düzgün ve renkli olması isteniyorsa el yatırmasına başlamadan bir jelkot tabaka sürülür. Kalıpla temas etmeyen yüzeyler parlak değildir. El yatırma metodu ile çelik borulan cam takviyeli plastik ile kaplanabilmektedir (Karadeniz 1989).

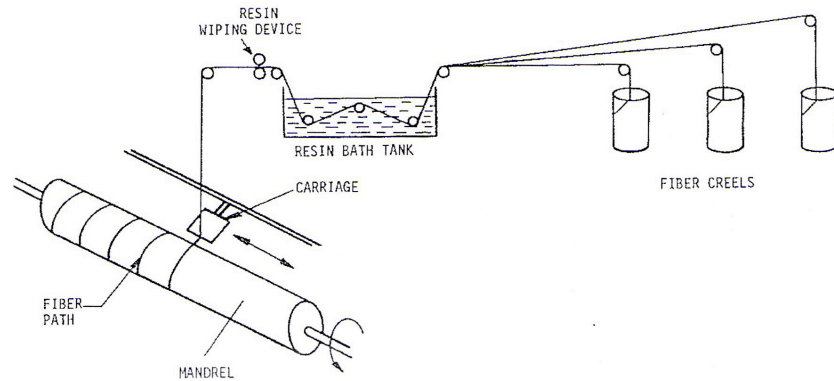
1.6.2. Püskürtme (Spray Up)

Püskürtme yöntemi, elle yatırma yönteminin aletli şekli olarak kabul edilebilir. Kesikli lifler kalıp yüzeyine, içine sertleştirici katılmış reçine ile birlikte özel bir tabanca ile püskürtülür. Liflerin kırılma işlemi, tabanca üzerinde bulunan ve bağımsız çalışan bir kırpıcı sayesinde yapılır. Püskürtülme işlemi sonrası yüzeyin bir rulo ile düzeltilmesi ile kompozit malzeme hazırlanmış olur (Şahin 2000).

Geniş yüzeylerde seri üretim imkanı sağlayan bu yöntemde, iki ayrı kaptaki reçine ile hızlandırıcı veya katalizör karışımları, fitil haldeki cam elyafının da beslendiği basınçlı hava ile çalışan bir püskürtme tabancasına gelir. Püskürtme tabancasında fitil, istenilen uzunlukta kırılıp reçine bileşenleri ile karıştırılır. Kalıba ya da kaplanacak yüzeylere püskürtülür. Bu metot ile üretim hızı yüksek ve kolay olduğu için, beton ve duvar gibi geniş yüzeylerin kaplanması ve çok sayıda üretilen geniş lif takviyeli parçaların üretimi için çok uygundur (Şahin 2008).

1.6.3. Elyaf Sarma (Filament Winding)

Bu yöntem özel biçime sahip ürünlerin seri üretimine uygundur. Elyaf 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 ürünler elde edilebilmektedir. Yeterli sayıda lif katının sarılmasından sonra ürün sertleşir. Ardından döner kalıp ayrılır. Bu yöntemle yapılan kompozitler genellikle silindirik borular, araba şaftları, uçak su tankları, yat direkleri, dairesel basınç tanklarıdır.



Şekil 1.1 Elyaf Sarma

Sürekli elyafın bir bağlayıcı ortamından geçirildikten sonra dönen silindire önceden belirlenmiş sarım geometrisine uygun sarılması yöntemine elyaf sarma adı

verilmektedir. Genellikle sarılan öz kullanılarak kompozit kabuk ile de takviye edilebilir. Hafif ve sağlam olması istenilen kimyevi madde tankları, borular, sıvı madde depoları gibi silindirik ve basit şekildeki cisimler elyaf sarma metodu ile kalıplanabilir.

Sürekli fitil, sürekli lif veya dokuma şerit şeklindeki lif takviye malzemesi belli bir gerilim altında bir reçine banyosundan geçirilerek dönen kalıba sarılır. Reçine yedirilen elyafın belli bir doku içerisinde bütün kalıp boyunca sarılması sağlanarak istenilen yerde gerekli mukavemet elde edilebilir.

Sarma işlemi tamamlandıktan bir müddet sonra henüz tam sertleşmeden kalıp çıkarılır ve malzeme sertleşmeye bırakılır. Karmaşık biçimlerin kalıplanması durumunda şişebilen veya büzülebilen kalıplar da kullanılır.

1.6.4. Reçine Transfer Kalıplama (Reçine Enjeksiyonu)

Bu kompozit üretim yönteminde elle yatırma sistemleri daha hızlı ve uzun ömürlü olmakla birlikte iki parçalı kalıp kullanılması gerekmektedir. Kalıbın kompozit malzemeyle yapılması çelik kalıp maliyetine göre daha ucuz olmasını sağlar. Reçine transfer kalıplama yöntemi çoğunlukla jelkotlu veya jelkotsuz olup her iki yüzeyin de düzgün olması istenen parçalarda kullanılır. Takviye malzemesi olarak kuru malzeme keçe, kumaş veya ikisinin kombinasyonu kullanılır. Takviye malzemesi önceden kalıp boşluğunu dolduracak 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 80C'ye kadar ısıtılmış kaplarda uygulanabilir. Bu yöntemde içerideki havanın dışarı çıkarılması ve reçinenin elyaf içerisine iyi işlemesi için vakum kullanılır. Elyafın kalıba yerleştirilmesini gerekmesinden dolayı uzun sayılabilecek bir işçilik gerekmektedir.

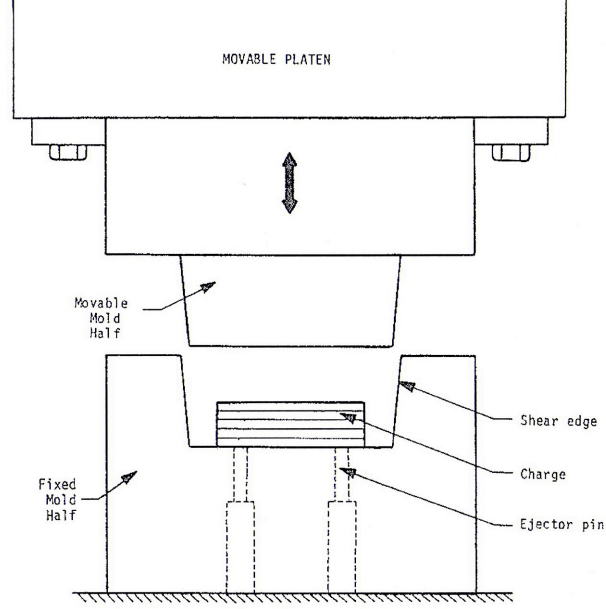
Kalıp kapalı olduğundan zararlı gazlar azalır ve gözeneksiz bir ürün elde edilir. Bu yöntemle karmaşık parçalar üretilebilir (Şahin 2008).

1.6.5. Profil Çekme Pultrusion

Pultruzyon işlemi sürekli sabit kesitli kompozit profil ürünlerin üretilebildiği düşük maliyetli seri üretim yöntemidir. Pul ve ekstruziyon kelimelerinden türetilmiştir. Sisteme beslenen sürekli takviye malzemesi reçine banyosundan geçirildikten sonra 120-150⁰C'ye ısıtılmış şekillendirme kalıbından geçirilerek sertleşmesi sağlanır. Kalıplar genellikle krom kaplanmış parlak çelikten yapılmaktadır. Sürekli elyaf kullanılmasında dolayı takviye yönünde çok yüksek mekanik mukavemet elde edilir enine yükleri karşılayabilmek için özel dokumalar kullanmak gerekir (Şahin 2008).

Bu yöntem istenilen şekilde profillerin üretimi için kullanılır. Profil şekilleri tamamen kullanılan kalıba bağlıdır ve ürünlerde boyuna mukavemet çok yüksektir. Yaklaşık %60-65 hacim oranında cam elyafı kullanılabilir. Cam takviyesi olarak devamlı fitil, dokunmuş fitil, keçe veya bunların kombinasyonları kullanılabilir. Bu seçim son üründe aranan mukavemet ve sertlik özelliklerine bağlıdır. Çekme yönteminde genellikle iki sistem söz konusudur. Birinci sistemde çekilecek cam elyafı önce katalizlenmiş polyester banyosundan geçirilir ve sonra ısıtılmış kalıplardan polyester fazlası sıyrılarak çekilir. Kalıplar aynı zamanda profilin şeklini belirler. İkinci yöntemde cam elyafı belli bir gerilim ile kuru olarak ısıtılmış kalıplardan geçirilir ve kalıp içerisine reçine enjekte edilir. Sertleşmeyi çabuklaştırmak açısından, cam elyafı kalıp içerisine sokulmadan önce 100⁰C'ye kadar ısıtılabilir. Üretim hızı olarak dakikada 1 m erişilebilecek bir hızdır. Çekme sisteminin iyi yapılması halinde düzgün profiller elde edilebilir (Sakin 1994).

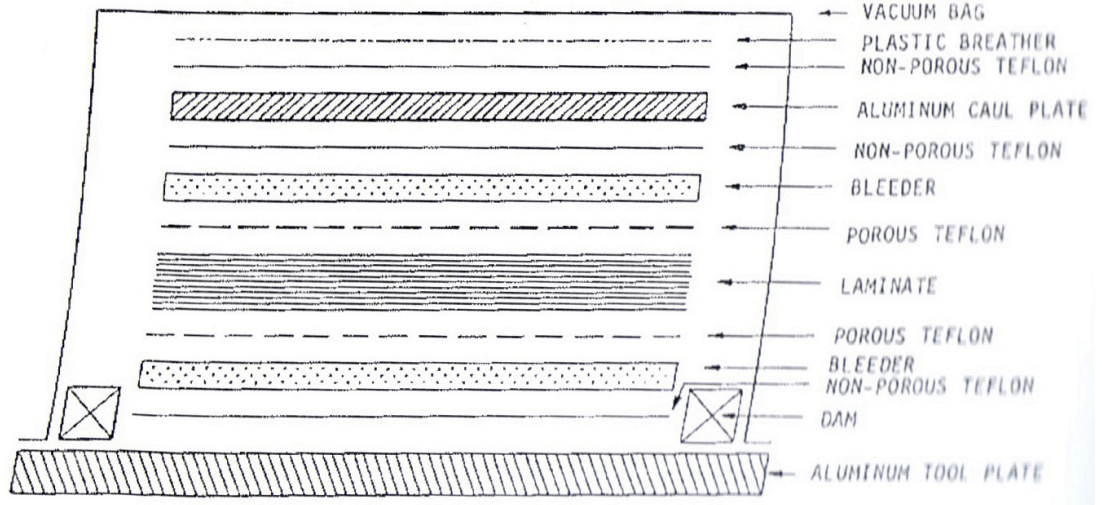
1.6.6. Hazır Kalıplama



Şekil 1.2 Hazır Kalıplama

Hazır kalıplama bünyesinde cam elyafı, reçine, katkı ve dolgu malzemeleri içeren kalıplamaya hazır, hazır kalıplama bileşimleri olarak adlandırılan kompozit malzemelerin sıcak pres kalıplarla ürüne dönüştürülmesidir. Karmaşık şekillerin üretilebilmesi, metal parçaların bünye içerisine 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 (Şahin 2008).

1.6.7. Torba Kalıplama Yöntemi



Şekil 1.3 Torba Kalıplama

Torba kalıplama yöntemi, kalıp üzerine istiflenerek hazırlanan kompozit malzemelerin sertleştirilmesinde kullanılır. Yüksek kalitede kompozit malzemeler elde etmek ve yapıda kalan havayı çıkartmak için uygulanan bir yöntemdir. Vakum torbası yönteminde yerleştirilen prepregler veya reçine ile takviye malzemeleri, delikli bir yüzey tabakası ve bir kat sızan reçineyi toplayan tabaka ile kaplanır. Bu durumda fazla reçine ve hava dışarı atılabilir. En üstte esnek bir film (torba, sefon veya nylon) konularak kenarlarında sızdırmazlık sağlanır. Daha sonra vakum uygulanır. Bu işlem yerleştirmeden hemen sonra ve reçinenin sertleşmesine izin verilmeden yapılmalıdır.

Bu torbalama sisteminin tümü, otoklav içerisine konularak sertleştirme basınçlı bir gaz (mesela azot) altında ve yüksek sıcaklıkta da yapılabilir. Sıcak gazın sirkülasyonu uniform bir sıcaklık sağlar.

Basınçlı torba yöntemi, bu yöntemlerin en ekonomik olanıdır. Vakum uygulamadan, sadece basınçlı gaz yardımıyla torba kalıba bastırılır (Sakin 1994).

1.6.8. Otoklav

Termoset kompozit malzemelerin performansını arttırmak için elyaf/reçine oranını arttırmak ve malzeme içerisinde oluşabilecek hava boşluklarını tamamen gidermek gerekmektedir. Bunun sağlanması için malzeme yüksek ısı ve basınca maruz bırakılır. Vakum torbası yöntemindeki gibi sızdırmaz bir torba ile elyaf/reçine yatırmasına basınç uygulanabilir. Fakat 1 atm'den 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 metot, dışarıdan sıkıştırılmış gazın, kompozit malzemenin içinde bulunduğu kaba verilmesidir.

Otoklav kesin basıncın, ısının ve emişim kontrol edilebildiği basınçlı bir kaptır. Vakum torbası 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 (Şahin 2008).

1.7. KOMPOZİT MALZEMELERİN YAPI ELEMANLARI

1.7.1. Matris Malzemeleri

Matris elemanı 3 temel fonksiyonu yerine getirmektedir. Bunlardan ilki takviye malzemesini bir arada tutmak, diğeri yükü takviye malzemesine dağıtmak ve sonuncusu ise takviye malzemesini çevresel etkilere karşı korumaktır. Uygun matris malzemesi, önce düşük viskoziteli iken, dökümden sonra katılarak takviye elemanını en iyi şekilde tutmalıdır. Matris malzeme termoset veya termoplastik yapıda olabilir. Termoset grubunda polyester, vinil ester bisfenol, epoksi reçine ve fenolik reçinelerden meydana gelmektedir. Termoplastik grupta ise polyamid, polypropilen kullanılmaktadır. Bunların yanında hybrid formda polietilen ve polibutilen teraftalat, polieterketon ve polietersülfon kullanımı da vardır (Kara 2006).

Kompozit yapılarda yükü taşıyan elyafların fonksiyonlarını yerine getirmeleri açısından matrisin mekanik özelliklerinin rolü çok büyüktür. Örneğin matris malzemesi olmaksızın bir elyaf demeti düşünüldüğünde, yük bir ya da bir kaç lif tarafından taşınacaktır. Matrisin varlığı ise yükün tüm liflere eşit dağılımını sağlayacaktır. Kesme yükü altındaki bir gerilmeye dayanımı, liflerle matris arasında iyi bir yapışma ve matrisin yüksek kesme mukavemeti özelliklerini gösterir. Elyaf yönlendirmelerine dik doğrultuda, matrisin mekanik özellikleri ve lif ile matris arasındaki bağ kuvvetleri kompozit yapının mukavemetini belirleyici önemli hususlardır. Matris elyafa göre zayıf ve daha esnektir. Bu özellik, kompozit yapıların tasarımında dikkat edilmesi gereken bir husustur. Matrisin kesme mukavemeti ve matris ile elyaf arası bağ kuvvetleri çok yüksek ise, elyaf ya da matriste oluşacak bir çatlak 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. Neticede kompozit zayıflar. Orta seviyede bir bağ mukavemetinde ise lifler veya matristen başlayan enlemesine doğru bir çatlak elyaf/matris ara yüzeyine dönüp,

elyaf doğrultusunda ilerleyebilir. Bu durumda kompozit, sünek malzemelerin kopması gibi lifli bir yüzey sergiler (Kara 2006).

1.7.2. Takviye Malzemeleri

Matris malzeme içerisindeki takviye elemanı, malzemenin temel mukavemetini veren yapıdır. Düşük yoğunluklarının yanı sıra yüksek elastisite modülüne ve sertliğe sahiptir. Bazı durumlara göre sahip olduğu ısı, elektriksel dayanım gibi parametreler üretilecek olan malzeme için bileşen seçimini etkiler. Günümüzde en çok kullanılan takviye elemanları sürekli liflerdir. Aramid, karbon, grafit, boron, silisyum karbür, alümina, cam ve polietilen gibi liflerin kullanıldığı sürekli ya da kesikli formdaki yapılardır (Doğanay 2007).

Lifleri meydana getiren malzemelerin özellikleri, büyük boyutlu formlarından daha farklıdır. Bir lif sadece uzunluğunun çapa göre çok büyük olmasıyla değil, aynı zamanda kristallerin çap yönünde dizilmesiyle de ayırt edilir. Kompozit malzemelerdeki liflerin en önemli fonksiyonu yükü taşımaktır. Lifler, kompozit malzemeye dayanım sağlarken rijitlik de sağlarlar. Kompozit malzemedeki sürekli liflere filaman, metalik filamanlara ise tel adı verilir. Eğer liflerin şekli dikdörtgen prizması şeklinde ise, yani kesit alanı dikdörtgen şeklinde ise, ve dikdörtgen kenarlarından biri diğerinin 4 katından fazla olursa bu tip liflere şerit adı verilir.

Cam lifler, kompozitlerde takviye malzemesi olarak en çok kullanılan ve en ucuz olan liflerdir. Cam liflerinin genellikle dayanım/ağırlık oranı yüksektir. Alüminyum alaşımlara göre elastik modülü büyük olurken, grafit ve aramid elyaflara göre daha düşüktür. Cam liflerinin iç yapıları amorf değildir. Cam lifi ile kuvvetlendirilmiş plastiklerin rijitlik/yoğunluk oranları, metallerin rijitlik/yoğunluk oranına göre daha düşüktür.

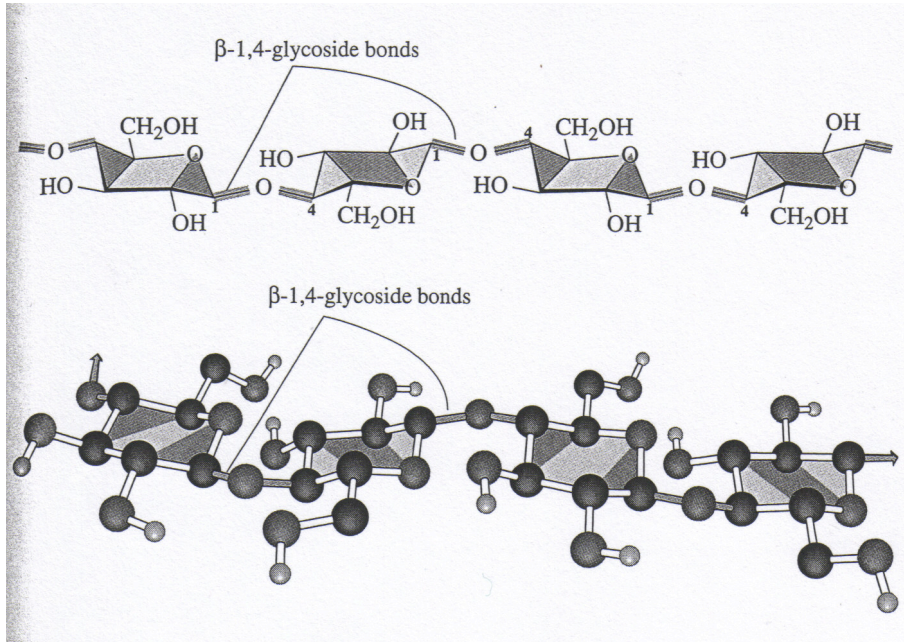
Lifler ile reçinenin birbirine iyi yapışması çok önemlidir. İyi yapışmaktan dolayı birbirinden kayan takviye malzemesi ve matris, kompozit malzemenin retliğini ve sağlamlık performansını düşürür. Bu durumun engellenmesi için lifler kimyasallarla kaplanır (Kara 2006).

1.7.3. Katkı Maddeleri

Dolgular, kimyasallar, sertleştirici ve aktivatör gibi ek yardımcı maddeler de kompozit malzemelerde kullanılabilir. Buradaki amaç genellikle matris malzemesinin formunu iyileştirmeye yöneliktir.

1.8. SELÜLOZ

Selüloz doğada çok yaygın bulunan bir homopolisakkarittir. Bitki ve ağaçlarda hücre zarının büyük kısmını oluşturur. Kuru yapraklarda %10, odunumsu bölümlerde %50-60 kadar selüloz vardır. Pamuk lifleri ile %98 saf selüloz yanında mumları, yağları ve pektinik maddeleri içerir. Pamuğun alkol ve eter ile yıkanmasında pektinik maddeler uzaklaştırılarak, ıslanabilen hidrofil pamuk elde edilir. Bitki hücre duvarlarının ana yapı taşıdır ve dünyada en çok bulunan organik bileşiktir, biyosferde bulunan karbonların yarısından daha fazla miktardadır.



Şekil 1.4 Selülozun Yapısı

Her yıl 10^{15} kg selüloz sentezlenir ve tüketilir. Molekül ağırlığı ortalama 400,000 civarındadır. 1. ve 4. C atomları arasında β -glikosidik bağlarla bağlanmış 2500-15000 D-glikoz ünitesi içeren linear bir polimerdir. Selülozun tamamlanmamış hidrolizi disakkarit sellobiozu üretir.

Hayvanlar, selüloz hidrolizinde gereken katalizör enzimlerine sahip değildirler ve sindiremezler. Sığırlar ve diğer geviş getirenler, selülozu indirekt yolla bir gıda kaynağı olarak kullanırlar. Bu hayvanların sindirim sisteminde yaşayan mikroorganizma kolonileri selüloz tüketir ve proste onu çoklukla sindirebilirler, diğer maddelere dönüştürebilirler.

Kağıdın ana maddesi selülozdur ve teknikte odundan elde edilir. Kuru odun selüloz yanında %15-20 kadar hemiselülozları ve %30 kadar da lignin içerir. Odun rendelerinin sodyum hidroksit ve kalsiyum bisülfid içeren sıcak çözelti ile muamelesinde lignin çözünür ve ham selülozdan ibaret kağıt hamuru geriye kalır.

Selüloz da tam uniform bir yapı göstermez. Seyreltik sodyum hidroksitte çözünen bölüme β -selüloz, çözünmeyene α -selüloz denir. Selülozun daha etkin koşullarda yapılan hidrolizinde son ürün yine D-glikozdur. Selüloz, β -D-glikoz moleküllerinin sellobiozda olduğu gibi, C-1 ve C-4 atomları arasındaki glikosidik bağlarla bağlanmasından oluşan bir polisakkarittir.

Molekül zinciri lif ekseni boyunca hemen hemen doğrusaldır ve maddenin çoğu çözücülerde çözünmemesi zincirlerin hidrojen bağları ile birbirlerine tutunmuş olarak miçeller oluşturmaları ile açıklanır.

Selüloz orta derişiklikteki sülfürik asitte çözünür ve bu çözelti suya dökülürse selüloz ayrılır, ancak ayrılan selüloz glikosidik bağların yer yer kesilmiş olması nedeniyle daha küçük moleküldür. Eğer kağıt da %80'lik sülfürik asit ile muamele edilirse ve su ile yıkanır, suyu kısmen geçirmeyen bir ürüne dönüşür ki, parşömen kağıdı adı ile bilinir.

Selüloz derişik çinko klorür çözeltisinde çözünür, fakat en iyi çözen tetramin bakır hidroksit çözeltisidir ve Schweitzer reaktif adı ile bilinir. Son zamanlarda bu amaçla bakır etilen diamin çözeltisi de kullanılmaktadır. Selülozun bu reaktiflerde çözülmesiyle elde edilen çözelti ince deliklerden bir asit çözeltisine gönderilirse

gayet ince bir selüloz lifi ayrılır ki, mikroskoptaki görünüşü doğal ipeğe çok benzer ve bakır ipeği adı verilen yapay ipek bu üründür.

Çok sayıda hidroksi grubu içeren bir polialkol olarak selüloz çeşitli esterler verir ki, bunlardan en önemlileri selüloz nitratlar ve selüloz asetatlardır. Selülozun derişik nitrik ve sülfürik asitler karışımında 30-40⁰C'de 15-20 dakika tutulmasıyla genellikle selüloz nitratlar denilen bileşikler oluşurlar.

Selüloz molekülündeki glikoz birimleri üç tane serbest OH grubu içerdiklerinden, bileşiğin formülü $[C_6H_{10}O_5]_n = [C_6H_7O_2(OH)_3]_n$ şeklinde gösterilebilir. Bileşiğin OH gruplarında esterleşmesiyle selüloz mono, di ve trinitratlar oluşurlar.

Esterleşme oranı koşullara bağlı olduğundan, bileşiklerdeki azot oranı git gide değişir. %11,5-12,3 azot içerenler çözünen piroksilin, kollodiyon pamuğu ve dinamit pamuğu adları ile anılırlar ve mutlak alkolde çözümler. %12,5-13,5 azot içeren ürünün bileşimi selüloz trinitrat bileşimine oldukça yakındır, pamuk barutu veya dumansız barut adları ile bilinir ve mutlak alkolde çözümler. Barut olarak kullanılması, inisiyal patlama ile bozularak tamamen gaz halinde ve büyük hacimde ürünler vermesine dayanır.

Selüloit piroksilin ile yarısı kadar kafuru içeren karışımın yeterince alkol ile karıştırılıp şekillendirilmesinden sonra alkolün buharlaştırılmasıyla selüloit denilen plastik madde elde edilir.

Selülozun direkt olarak asetillendirilmesiyle bir mono asetat elde edilir ki, organik çözeltilerde çözünmediği için ticari önemi yoktur. Fakat selüloz derişik sülfürik asitin susuz asetik asitteki çözeltisi ile muamele edildikten sonra, asetik anhidrid ve susuz asetik asit karışımı ile asetillendirilirse selüloz triasetat oluşur ve karışımın sulandırılmasıyla çöker. Bu ürün kırılğan filmler verdiğinden son zamanlarda esnek filmler veren bir triasetat tipi geliştirilmiştir ki filmlerin çoğunluğu bundan yapılıdır.

Asetillendirmede, triasetat oluştuktan sonra karışıma su ilave edilerek bir bölümsel hidroliz sağlanır. Bu esnada bir ölçüde bölünme olarak 175-300 tane C₆ birimi içeren diasetat zincirleri oluşur. Karışımın sulandırılmasıyla diasetat çöker. Asetonda çözündüğünden ve esnek filmler ve lifler verdiğiinden, asetat ipeği denilen lifler haline getirilebilir.

Odundan elde edilen α -selüloz %17-18'lik sodyum hidroksit çözeltisi içinde bırakılırsa alkali selülozu denilen bir ürün elde edilir. Bu madde belirli bir bileşik gibi görünmemekle beraber, yaklaşık bileşimi $[C_6H_{10}O_5 \cdot 2NaOH]_n$ formülüne uyar.

Alkali selülozun karbon disülfür ile muamelesi, alkalilerde viskoz bir çözelti vererek çözünen bir bileşik meydana getirir. Viskoz adı ile bilinen bu çözelti kolloidal çözeltilerin özelliklerini gösterir. Alkali selülozun karbondisülfür ile muamelesinde olan reaksiyon, bir *O*-alkil ditiyokarbonik asit sodyum tuzu oluşumudur. Bu çözeltinin ince deliklerden asit çözeltisi içine gönderilmesiyle daha küçük selüloz moleküllerinden oluşan selüloz lifleri elde edilir ki viskon adı ile bilinen yapay ipek budur.

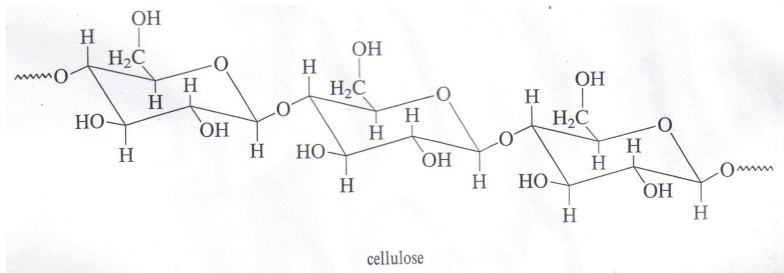
Alkali selülozunun otoklav içinde etil klorür ile 120-130⁰C'de 8-12 saat süre ile ısıtılmasından etilselüloz elde edilir. Ürünün etoksit oranı alkali konsantrasyonuna ve reaksiyon süresine bağlı olarak değişir ve maddenin özelliklerini etkiler. Bu bileşikler koruyucu örtüler, filmler ve plastikler yapımında artan ölçüde kullanılmaktadırlar ve aynı şekilde metilselülozlar da üretilmektedirler.

1.8.1. SELÜLOZUN YAPISI

Selüloz odun ve bitki liflerinin baş elemanıdır. Örneğin, pamuk neredeyse saf selülozdur. Suda çözünmez ve tatsızdır. İndirgen olmayan bir karbonhidrattır. Bu özelliklerden dolayı moleküler ağırlığı fazladır.

Selülozun formülü $(C_6H_{10}O_5)_n$ 'dir. Asitle reaksiyonunda tek monosakkarit olarak D-glikoz verir. Selüloz, glikosit bağlanması açısından nişastadan farklıdır. Asetik anhidrit ve sülfürik asit ile kimyasal muamelede okta-O-asetilsellobioz verir. Bu da selülozdaki bütün glikosit bağlanmalarının sellobiozda olduğu gibi beta bağlanmaları olduğunu gösterir.

Fiziksel metotlar selüloz için 250 000'den 1 000 000' kadar değişen moleküler ağırlığı verir, bu da molekül başına muhtemelen 1500 glikoz ünitesi denk geldiğini gösterir. Metilleme ve periyodik asit oksidasyonu ile uç grup analizleri molekül zinciri uzunluğunu 1000 glikoz ünitesi kadar veya daha fazla olduğunu gösterir. X-ışını analizleri ve elektron mikroskopi analizleri kesinlikle bu uzun zincirlerin paket içerisinde yan yana dizildiğini, komşu -OH grupları ile H bağları vasıtasıyla birbirlerine tutunduklarını gösterir.



Şekil 1.5 Selülozun Yapısı

1.9. KAĞIT

Kağıt, hamur haline getirilmiş, çeşitli nebati maddelerden yapılanı üzerine yazı yazılan, ince, kuru yapraktır. İnce bitki liflerinin keçeleşmesiyle meydana gelen bugünkü kağıdın ilk olarak MS 1. Yy'da Çin'de yapıldığı sanılmaktadır. İnsanoğlunun hayatının bir parçası olan yazı daha önceleri düz, konik, taş ve ağaç gövdeleriyle killi topraktan yapılmış yazı levhaları üzerine yapılmaktaydı.

1.9.1. Kağıdın Tarihçesi

Aslında MÖ 4000 yıllarında Mısır'da bulunan papirus (cyperius) denilen bitkinin sapı uygun boyutlarda kesilip, bir tahta üzerine dizilip sulu vaziyette tokmaklanarak bir çeşit kağıt üretilmekteydi. Yapılışı ve özelliği bakımından bugünkü kağıttan farklı olmakla beraber, kağıt ismi, bu papirus kağıdından kalmıştır. Papirusla beraber, çeşitli hayvan derilerinden yapılan pergament (parşömen) kağıdı da tarih boyunca kullanılmıştır. Parşömen, bugün bile kullanılan, yazı yazmaya ve resim yapmaya çok elverişli, uzun ömürlü bir kağıt çeşididir. Kağıt, ilim ve kültürün yayılıp gelişmesinde çok büyük bir rol oynamıştır. Ve ilk para mantığının bir şeyler satın alma, değiş tokuş gibi parasal şeylerin başlangıcı olmuştur. Yazma, taşıma ve muhafazasındaki kolaylıklar, herhangi bir yerdeki ilim ve bilginin çok kısa bir zamanda dünyanın her tarafına kolayca yayılmasını temin etmiş, böylece bugünkü medeniyete ulaşılmasının başlıca vasıflarından birisi olmuştur. Bugünkü dünyada kağıt, en başta gelen sanayi mamullerinden biridir ve günlük hayatta en çok ihtiyaç duyulan maddelerden biridir. İlimi çalışmalar, eğitim ve öğretim müesseseleri, her türlü basın yayın faaliyetlerinin yanı sıra para basımında, ambalaj işlerinde, mutfakta ve daha bir çok yerde kağıt kullanılmaktadır.

Eskiden kağıt üretimi az yapıldığı için dünyanın her yerinde kıymetli tutulurdu. Sonra üretimin bollaşması ve yaygınlaşmasıyla eski itibarını kaybetti.

Ancak son yıllarda kağıt yapımında kullanılan hammaddenin tükenmeye yüz tutması, artan maliyetler ve diğer sebeplerle günden güne kıymetlenmektedir.

Kağıdın kimin tarafından bulunduğu, bugün kesin olarak bilinmemektedir. Ancak bugünkü kağıt hamuru ile elde edilen kağıdın ilk modeli, MS 105 yılında Çin'de Ts'ai Lun adında bir sayar görevlisi tarafından yapıldığı kabul edilmektedir. Ts'ai Lun, ağaç kabukları, bez parçaları ve diğer lifli malzemeleri özlü ve yumuşak bir hamur haline gelinceye kadar dövüp elde ettiği hamuru geniş bir tekne içerisinde su ile karıştırarak ilk mekanik odun hamurunu elde etmiştir. Daha sonra gözenekli bir kalıbı, hamurun içine daldırıp yukarı kaldırdığında, su gözeneklerden süzülerek aşağı akar, kalıbın yüzeyinde lifli bir tabaka kalır. Bu tabaka, kalıp üzerinden alınıp kurutulduğunda ve üzerinden el yapımı silindirlerle ilkel kalenderlemeden sonra kullanıma hazır hale gelir. Keşfinden bugüne kadar 2000 yıl geçmiştir.

Orta Asya'da yapılan araştırma ve kazılarda, üçüncü ve yedinci yüzyıllar arasında kullanılan kağıtların dut ağacı kabukları, kendir, kenevir ve pamuktan yapılmış olduğu anlaşılmıştır. Kağıt, Çin'den Orta Asya'ya, oradan da İran'a geçmiştir. 751 senesinde yapılan Talas Savaşı'ndan sonra Çin'den alınan esirlerden kağıt yapımı öğrenilmiştir. Çin'in dışında ilk defa Semerkant'da kağıt yapım merkezi kurulmuştur. Yakın Doğu'da ilk defa Abbasi hükümdarı Harun Reşit zamanında 754 senesinde Bağdat'da kurulmuştur. Batı alemi ise, Müslümanlar'dan 400 yıl gibi uzun bir zaman sonra yine Müslümanlar sayesinde kağıdın varlığından haberdar olmuşlardır. Bundan sonra Şam, Trablusgarp, Yergen ve Mısır'da kağıt fabrikaları kurulmuştur. Kuzey Afrika'nın Müslümanlar tarafından fethedilmesi ve daha sonra İspanya'ya geçilmesi üzerine kağıt fabrikaları da oraya taşınmıştır. Müslümanlar tarafından kurulması ve Avrupa'nın ilk kağıt fabrikası olması bakımından bu fabrikalar çok önemlidir.

Böylece Çin'de binlerce yıl önce imalatına başlanan kağıt, zamanla daha yeni metotlarla üretilmiş ve 18. Yy'da Fransa'da ilk defa kağıt makinesi yapılmıştır. Kağıt makinelerinde de sürekli olarak teknolojik gelişmelere paralel olarak değişiklikler olmuş ve bugünkü çok motorlu tahrik sistemli, hamurun kesafet (yoğunluk), sıcaklık,

pH, gramaj ve rutubet gibi özelliklerini kontrol altında tutabilen otomatik kağıt makineleri ortaya çıkmıştır.

1.9.2. Türkiye’de Kağıt Üretimi

Türkiye’de de dünyadaki gelişmelere paralel olarak kağıt sanayisi sürekli bir ilerleme göstermiştir. Osmanlılar, kağıt ihtiyaçlarını Doğu’dan temin ediyorlardı. Evliya Çelebi’nin Seyahatname adlı eserinden İstanbul’da Bizans’dan kalma bir kağıt fabrikasının, Kağıthane semtinde bulunduğu öğrenilmiştir. III. Sultan Selim zamanında küçük de olsa bir kağıt fabrikası yapılmış, fakat daha sonra üretimin çok pahalıya mal olması sebebiyle fabrika kapatılmıştır.

İlk kağıt fabrikası 1744 yılında Yalova’da kurulmuştur. İbrahim Müteferrika tarafından ilk Türk matbaasının kurulmasıyla artan kağıt ihtiyacını temin etmek için, Yalova’da kağıt fabrikasının yapılmasına karar verilmiştir. Bu fabrikada bir çok cins kağıt imal edilmiştir. Sultan I. Mahmut bu fabrikadan çok memnun olmuştur. Kur’an-ı Kerim ve diğer İslami kitapları çoğaltmak gayesiyle başka kağıt fabrikalarının da yapılmasını istemiştir. Fakat su azlığı, su yollarının bozulması ve Avrupa kağıtlarının rekabeti yüzünden Yalova kağıt fabrikası kapanmıştır.

Osmanlı Devleti zamanında kurulan en uzun ömürlü Beykoz kağıt fabrikasıdır. 1804 yılında hizmete açılan bu kağıt fabrikasında İngiliz ve Flemek kağıtları kalitesinde kağıt yapılmak istenmiştir. Daha sonra dışarıdan kağıt getirmek daha ekonomik olmuş, yabancı devletler kağıtlarını maliyetin altında, zararına Türkiye’ye satmak suretiyle kağıt sanayisini baltalamışlardır. Netice de Beykoz fabrikası da kapanmıştır.

İzmir kağıt fabrikasının temeli ise 1844’de atılmıştır. Fabrikanın buhar kuvveti ile çalıştırılması kararlaştırılmıştır. Bu fabrika, bir süre devletin kağıt

ihtiyacını karşılayabilmiştir. Yine Avrupa'nın çeşitli oyunları neticesinde kapanmaya mahkum olmuştur.

Hamidiye kağıt fabrikası, Osmanlı Devleti döneminde kurulan son kağıt fabrikamızdır. Sultan II. Abdülhamit, Hamidiye kağıt fabrikasını kurmakla, Serkarın Osman Bey'i vazifelendirmiştir. Fabrikanın yeri olarak Beykoz'da, Kır mevkiisi ve Hünkar iskelesi seçilmiştir. Osman Bey'in oğlu Ali Cevat Bey'in 42 dönümlük yeri de satın alınarak alan genişletilmiştir. Bu fabrika İstanbul ve Londra'da şubeleri olan Hamidiye kağıt fabrikası veya Ottoman Paper Manufacturing Company Limited adıyla kurulan şirket tarafından idare edilmiştir. Şirketin çıkardığı hisse senetleri satılmamıştır. Masson Scott firması bir müddet bu fabrikayı çalıştırmıştır. Fakat şirket borcunu ödeyemeyince mahkeme kararıyla Masson Scott firmasına devredilmiştir. Daha sonra bu firmada 1912 yılında hisse senetlerini satışa çıkarmıştır. Hamidiye, şirketi tekrar satın almıştır fakat o sırada I. Dünya Savaşı çıkınca İngiliz personeli memleketine dönmüştür. Osmanlı Devleti'nin savaştan yenik çıkması üzerine, galip devletler kağıt fabrikasını dağıtmışlardır.

Cumhuriyet döneminde ilk kağıt fabrikasının temeli, İzmit'de 14 Ağustos 1934'de atılmıştır ve fabrika 1936'da işletmeye açılmıştır. Bu fabrikaya 1944 yılında ikinci kağıt selüloz fabrikası, 1945'de klor alkali fabrikası ilave edilmiştir. 1954'de de üçüncü kağıt fabrikası kurulmuştur. 1957'den sonra eski makineler değiştirilmiştir. 1960 yılında dördüncü, 1961 beşinci kağıt fabrikası kurulmuştur. 1955 senesine kadar Sümerbank Kağıt ve Karton Fabrikası ismi ile çalıştıktan sonra, İzmit Selüloz Sanayi Müessesesi adını almıştır. Daha sonra 1955'de çıkarılan bir kanunla, Sümerbank'dan ayrılıp Türkiye Selüloz ve Kağıt Fabrikaları İşletmesi Genel Müdürlüğü (SEKA) adı ile iktisadi bir devlet kuruluşu olmuştur.

1.9.2.1. SEKA

İzmit’de SEKA’ya bağlı 7 kağıt ve karton fabrikasının yanı sıra, mekanik odun hamuru tesisleri, oluklu mukavva, odun selülozu fabrikası, saman selülozu fabrikası, klor alkali fabrikası, kuvvet santrali, su tesisleri ve atölyeler vardır. SEKA’nın Zonguldak Çaycuma kuruluşu 1970’de işletmeye açılmıştır. Burada kraft selülozu, kraft kağıdı ve yarı kimyasal selüloz imal edilmektedir.

Giresun Aksu’daki mekanik odun hamuru ve gazete kağıdı tesisi ile 1971’de açılan Muğla Dalaman’daki tesisler de SEKA’ya bağlıdır. Dalaman’daki tesiste, sülfat ve viskoz selülozu, tabi kağıt ve karbon imal edilmektedir. SEKA’ya bağlı diğer tesis ve müesseseler de 1975’den sonra hizmete açılan Afyon beyaz saman selülozu tesisi, Balıkesir selüloz kağıt tesisleri, Antalya kraft selülozu ve kraft kağıdı tesisleri, İçel, Kastamonu, Bolu tesisleridir. 1936 yılında 10.000 ton olan kağıt üretimimiz, 1992 yılında 932.000 tona ulaşmıştır. Bu miktarın yarısını SEKA üretmekte, diğer yarısını da özel sektör üretmektedir.

1.9.3. Kağıt Çeşitleri

Hayatın her safhasında çok çeşitli maksatlarla kullanılan kağıt, ağırlığına, kullanılan hamurun cinsine, dolayısıyla yırtılma ve patlama mukavemetine ve buna benzer diğer özelliklerine göre çeşitli sınıflara ayrılabilir. Fakat genel hatlarıyla aşağıdaki şekilde sınıflandırmak mümkündür:

- 1) Yazı tabi kağıtları (1., 2. ve 3. hamur kağıtlar, ofset kağıdı, aydinger gibi)
- 2) Sargılık kağıtlar
- 3) Kraft torba veya çimento torba kağıdı
- 4) Temizlik kağıtları ve hijyenik kağıtlar, tuvalet kağıdı
- 5) İnce özel kağıtlar (sigara kağıdı gibi)

- 6) Oluklu mukavva kağıtları (kraft yüzey kağıdı, atık kağıt, oluklu kat kağıdı)
- 7) Kartonlar

Başka bir açıdan sınıflandırmak istersek:

- 1) Kültürel kağıtlar
- 2) Endüstriyel kağıtlar

Kağıdın hammaddesi ya da kağıdın ana hammaddesi odundur. Kağıtlık odun, mobilya üretiminde kullanılan odundan düşük, yakacak odundan ise daha yüksek kalite seviyesindedir. Bu odun da, ya iğne yapraklı (çam gibi yumuşak) ağaçlardan veya yapraklı (meşe gibi sert) ağaçlardan elde edilir. Aslında memleketimizin orman kaynakları tüketiminde kağıt sanayisi, orman ürünleri sanayisi ve yakacaktan sonra üçüncü sırayı işgal etmekle beraber, ormanın yetişmesinin çok zaman aldığı dikkate alınır, sadece kağıt sanayisi bile ormancılığa gereken önem verilmezse, bir memleketin orman kaynaklarını kısa zamanda tüketebilecektir. Bundan dolayı bütün dünyada kağıt sanayisi, odun dışındaki kaynaklara her geçen gün daha süratle yönelmektedir. Bunlar arasında yıllık bitkiler olarak bilinen saman, kamış, kendir, kenevir, tütün, ayçiçeği gibi bitkilerin sapları da sayılabilir. Çok çeşitli bu bitkiler arasından şimdiye kadar sadece saman, kamış ve kendir ekonomik kullanım seviyesine erişebilmişlerdir. Genellikle diğerlerinin toplanması ve stoklanması ekonomik gözükmemektedir.

1.9.4. Yardımcı Hammedeler

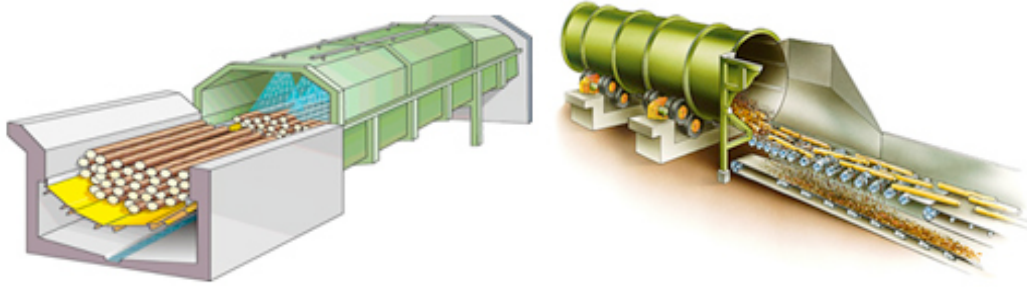
Bunlar dolgu maddeleri, boya maddeleri ve kağıdı yapıştırıcı maddeler olarak üç bölümde incelenebilir. Dolgu maddeleri, liflerden meydana gelen ve girintili çıkıntılı bir durumda olan kağıt yüzeyine lifler arasındaki boşlukları doldurarak, daha düzgün bir şekil vermek amacıyla kullanılır. Bunun yanında mürekkebin dağılmasını önleyerek daha iyi emilmesini sağlar. Kağıdın parlaklığını artırır.

Kağıdın yumuşaklığını da olumlu yönde etkiler. Diğer yandan lifler arası bağlantıyı zayıflattıklarından, kağıdın kopma, yırtılma, çift katlama ve patlama direncini zayıflatırlar. Kağıt makinesine hamur verilirken, eleğin üzerinden akan hamurun üst tarafında daha çok tutunduklarından, kağıtta iki yüzlülük meydana getirebilirler. Kağıdın yapışmasına menfi tesirleri vardır. Kağıt üzerinde zayıf tutunmaları halinde silme sırasında leke ve kirlenmeye, yıpranmaya sebep olurlar. Fazla oranda kullanılmaları, işletmeci açısından kağıdın maliyetini düşürücü bir unsur olarak görülse de sayılan mahsurlar da dikkate alınarak, ancak belirli bir oranda dolgu maddesi kağıt hamuruna ilave edilmelidir. Baryum sülfat, kalsiyum sülfat gibi dolgu maddeleri içinde daha çok yaygın olarak kaolen (bir çeşit kil) kullanılmaktadır.

Kağıda istenilen rengin verilebilmesi için yeterli miktarda boyar madde (sentetik lifler veya pigmentler) kullanılır. Çeşitli kağıtların (özellikle baskı, para ve harita kağıtları gibi), su ve mürekkep gibi sıvı maddelere karşı dayanıklı olmaları istenir. Bu maksatla kağıdın iç yağıştırmasını sağlamak için kağıt hamuruna lifler süspanse haldeyken, önce belli oranda kolofan ilave edilir. Daha sonra kolofanın lifler üzerinde çökmesini sağlamak için şap katılır. Çam ağaçlarından elde edilen reçine, %80 oranında kolofan içerir.

1.9.5. Kağıt Yapımı

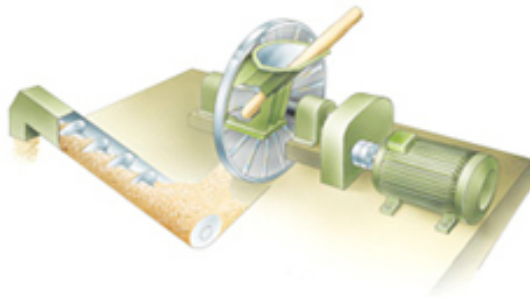
Kağıt imalatı yapan fabrikaları, kağıt hamuru yapan fabrikaları (bugün selüloz fabrikaları olarak bilinmektedir) ve kağıt fabrikaları olarak ikiye ayırmak mümkündür. Ancak bugün kağıt fabrikaları, hem kağıt hem de hamur üretimi yapan entegre tesisler olarak kurulmaktadır. Hamur üretim bölümünde çeşitli metotlarla söz konusu hammaddelerden kağıt hamuru üretilir. Üretilen hamur, ya sulu halde uygun karışımlar ile doğrudan doğruya kağıt makinesine verilir veya suyu alınarak yoğunlaştırılmış halde stoklanır. Başlıca kağıt hamuru (selüloz) üretim yöntemleri aşağıdaki gibidir.



Şekil 1.6 Yongalamaya Hazırlık

1.9.5.1. Mekanik Hamur

Genellikle meşe gibi bazı yapraklı ağaçların dışında ağaçlar 1-1,5 m boylarında kesilerek gerekiyorsa nemlendirildikten sonra, taşlı liflendirici denilen bir makinede liflerine ayrılarak lif-su karışımı süspansiyonu elde edilir. Kirlilik yaratacak maddeleri ve büyük kıymıkları ayırmak için muhtelif eleklerden geçirildikten sonra, kağıt makinesi hamur hazırlama kısmına veya yoğunluğu arttırılarak özel havuzlara depolanır. Tomrukların makineye verildiği bölmelerine göre, zincirli veya pistonlu olarak ayrılabilir. Pistonlular ise kendi içerisinde tek cepli ve çok cepli tasarımları mevcuttur. Tomruk, basınç uygulanarak dönen bir taşla bastırılır. Yaklaşık 1,5 m çapı olan taş, suni taştır.



Şekil 1.7 Yongalama

İşlem çok basit olmakla beraber, çıkan hamurun kalitesini kontrol altında tutma zorluğu, işlemin en büyük dezavantajıdır. Bir ton mekanik hamur üretebilmek

için 2,33 m³ kabuğu soyulmuş oduna, 10-15 m³ temiz suya ve 800-1500 kW elektrik enerjisine ihtiyaç vardır. Ayrıca bu hamurla her tür kağıdı üretmek mümkün değildir. Daha çok rengin ve fiziksel direncin daha az önemli olduğu ve hacimliliğin önemli olduğu kağıt türlerinin yapımında kullanılmaktadır.

1.9.5.2. Rafinör Mekanik Hamur

Bu yöntemde de kimyasal madde kullanılmaz. Ağaç yongaları, diskli rafinörlerde liflerine ayrılarak hamur üretimi yapılmaktadır. Odun, ya tomruk halinde fabrikaya gelmekte ve yongalanmakta ya da yongalanmış veya kereste fabrikalarının talaşı olarak gelmekte ve rafinörlere verilmektedir.

Hamurun kalitesi, taş mekanik hamurdan daha iyi olmakla beraber, bu üstünlük %50 daha fazla elektrik enerjisi harcanarak sağlanır. Buna karşılık, testere talaşı gibi çok daha ucuz odun hammaddesi kullanılabilir.

1.9.5.3. Termomekanik Hamur

Rafinör mekanik hamur usulünden farklı olarak, odun yongalarının rafinöre girmeden önce buharla ön işlem uygulanarak yumuşatılmasıdır. Bundan dolayı liflendirme işleminde lifler daha az hasar görek daha iyi nitelikte bir hamur elde edilebilir.

1.9.5.4. Kimyasal Hamur (selüloz)

Yarı kimyasal hamur üretim yöntemleri olmakla beraber, bir çok kimyasal hamur üretim yöntemi bulunmaktadır. Bunlardan en yaygın olarak kullanılan sülfat (kraft) yöntemidir. Sülfat işleminde hazırlanan her türlü yonga, esas olarak alkali ve sodyum sülfat çözeltisi içerisinde 160-170⁰C'de 2-3 saat pişirilir. Çözelti tekrar kullanılmak üzere, kurulan geri kazanma üniteleri ile geri kazanılabilir. İşlem güçlü hamur üretimi için uygun ise de yeterli teknoloji seviyesinde olmayan ve kimyasal madde tedariginde güçlükleri bulunan memleketlerde problem çıkarmaktadır.

Gazete kağıtları %100 oranında mekanik rafinör, termomekanik veya kimyasal termomekanik hamurdan yapılabilirse de çeşitli bakımlardan bir miktar sülfat prosesi ile imal edilmiş selüloz katılması uygun görülmektedir. Dergi kağıtlarında mekanik hamur %60 ile %100 oranında kullanılmaktadır. Kaliteli baskı kağıtları ise %100 kimyasal hamurdan imal edilmektedir. Oluklu mukavva ve çimento torba kağıtlarında genellikle mukavemeti yüksek sülfat hamuru kullanılmaktadır.

Önceki kısımlarda bahsedilen hammaddelerden anlatılan metotlarla elde edilen kağıt hamuru (selüloz), hamur hazırlama bölümünde işlem gördükten sonra dolgu, boyar madde gibi katkı maddeleri ilave edildikten sonra kağıt makinesine verilmektedir. Kağıt makinesine çok düşük yoğunlukta (yaklaşık %1-1,5) verilen hamur, çeşitli kademelerden geçerek suyu uzaklaştırılır. Bunlar şekillendirme, presleme, kurutma ve gerekirse yüzey basıncı düzgünleştirme veya kaplama işlemleridir. Üretilen kağıt, makinenin genişliğinde olan tampon adı verilen bir ruloya sarılır. Bu kağıt kesilerek bobin veya tabaka haline getirilir ve kullanıma sunulur.

1.9.6. KAĞIDIN ÖZELLİKLERİ

Kağıt, ağırlık üzerinden satıldığından nem miktarı önem taşır. Kağıt kuru ise kırılığandır ve elektriklenir. Kağıdın nemi yükseldikçe bozulmaya başlar. Ticari nem değeri %7'dir. Kağıdın sahip olduğu nem değeri görüldüğünden daha karmaşıktır. Tüm kağıtlar %65 nisbi nem ve 20⁰C'de kondisyonlanınca aynı nem oranına sahip olacakları düşünülür ama aslında durum farklıdır. Kağıdın nem oranı farklı etkenlere bağlıdır.

Kağıdın rutubeti, histerezis olayı nedeniyle, kuru halden mi yoksa yaş halden mi kondisyonlandığına bağlı olarak değişir. Ayrıca, kağıdı oluşturan lif cinsine göre nem değeri değişecektir. Kuru halden itibaren kondisyonlandığında yaklaşık olarak mekanik hamur %11, ağartılmamış hamur %8, ağartılmış hamur %7, pamuk %6,5 nem içerir. Dolgu ve katkı maddeleri de rutubeti etkiler. Dövme miktarı arttıkça kağıdın rutubet miktarı da artar.

Kağıdın kalınlığı önemli özelliklerinden biridir. Dövme miktarı arttıkça kalınlık azalacaktır.

Bir kağıdın çekme direnci, lifler arası bağların sayısı ve sağlamlığına, bir ölçüde de kağıt şeridinin uzunluğuna bağlıdır. Kopma uzunluğu mutlak bir değer olup, m² ağırlığı belli bir kağıt için geçerlidir. Kağıt aynı kalmakla birlikte, ağırlığı azalır veya çoğalırsa kopma uzunluğuna tekabül eden çekme direnci de azalır çoğalacaktır.

Bir çok kullanım yeri için enerji absorpsiyonu, dayanma süresini arttırdığından çekme direncinden daha önemlidir. Kağıdın gerilmesini etkileyen bir çok faktör vardır. Lif elastikliği ve sağlamlığı, kağıdın yoğunluğu, formasyon ve kurutma koşulları gibi faktörler gerilmeyi etkiler. Özellikle kağıdın kurutma sırasında büzülmeyle bırakılıp bırakılmadığı önemlidir. Eğer uzama miktarı arttırılmak istenirse krepleme yapılabilir.

Patlama direnci, lifler arası bağ miktarına, bireysel lif sağlamlığına bağlı olup, kağıdın makine yönü ve enine yön sağlamlık oranından ve kağıdın gerilme miktarından etkilenir. Dövme miktarına bağlı olarak kopma direncinin artışına paralel bir gelişme gösterir.

Lif uzunluğu ve lifler arasındaki bağlar yırtılma direnci için önemli etkilere sahiptir. Lif uzunluğu arttıkça yırtılma direncinin de arttığı iyi bilinmektedir. Çünkü uzun lifler gerilmeyi ve enerjiyi daha geniş bir alana yayarlar. Oysa küçük lifler, gerilmeyi daha küçük alanlara toplarlar. Lif uzunluğu aynı kalmak şartıyla, lifler arası bağların artması yırtılma direncini artırır. Düşük oranda bağ, yırtılmayı azaltır. Çünkü lifler, birbirlerinden daha kolay ayrılırlar. Lifler arası bağlar arttıkça, yırtılma artar, sonra azalmaya başlar. Başlangıçtaki yırtılma direnci, yoğunluğun, bağ miktarının, lif uzunluğu ve lif sağlamlığının bir fonksiyonudur. Başlangıçta dövme ile yırtılmanın bir miktar artması bağ miktarının artmasına bağlanmaktadır. Yoğunlukla yırtılma indisi arasında bir ilişki olup, maksimum yırtılmanın yoğunluğun $0.58 - 0.60 \text{ g/cm}^3$ değerleri arasında olduğu gözlemlenmiştir.

Lif uzunluğu dövme ile azaldığından, nişasta, protein, yapay polimerler gibi bağ oranını arttıran maddeler kullanılarak kopma uzunluğu artırılıp, lif uzunluğu, dolayısıyla da yırtılma direnci yüksek tutulabilir. Yırtılma direnci son derece önemli bir özelliktir. Makine, kalenderler ve bobin üzerinde, baskı sırasında, ambalaj kağıtları kullanımı sırasında yırtılmaya karşı dayanım gereklidir. Döner baskı makinelerinde de yırtılma direnci önemlidir. Çimento torba, kese kağıdı, karton kutu gibi kullanım yerlerinde yırtılma en önemli özelliktir.

1.10. YAPIŞTIRICILAR

1930'lu yıllara kadar ağaç işleri sanayisinde, bitkisel ve hayvansal ürünlerden elde edilen yapıştırıcılar kullanılmaktaydı. II. Dünya Savaşı sonrası yapılan çalışmalar, yapıştırıcıların üretimine de büyük katkılarda bulunarak yeni yapıştırıcı türlerinin bulunmasına neden olmuştur. Böylece sentetik yapıştırıcılar üretilmeye başlanmıştır (Selbo 1975).

Sentetik yapıştırıcıların üretime katılması, tabakalı ahşap malzemelerin geliştirilmesinde önemli rol oynamıştır. Hatta bazı malzemelerin mamul hale getirilmesinde birleştirici olarak kullanılan vida, ağaç ve metal çivilerin yerini artık yapıştırıcı maddeler almıştır (Özen 1978).

Tutkal çeşitlerinden biri termoset tutkallar, diğeri ise termoplastik tutkallardır. Termoset sentetik reçine tutkallar yavaş yavaş donar, bir defa donunca tekrar kullanılmazlar. Termoplastik reçine tutkalları eriticinin buharlaşması ile donar ve ısıtılarak tekrar kullanılabilirler (Hammond 1990).

Ambalaj endüstrisinin can damarlarından biri olan yapıştırıcılar, günümüzde yaşanan teknolojik gelişmeler sonucunda çeşitlenerek geniş bir ağa ulaşmıştır. Kemik tutkalı, kazein, nişasta ve dekstrin gibi doğal esaslı yapıştırıcıların yanı sıra 1930'lardan bu yana kullanılan PVA (polivinil asetat) bazlı preparatlar ve çok çeşitli sentetik tutkalların piyasaya çıkmasıyla yapıştırıcılar, çok geniş bir alanda çeşitli sektörlerin yararlandığı vazgeçilmez bir ürün grubu haline dönüşmüşlerdir. Bu büyük yapıştırıcı grubu, bugün ambalaj endüstrisinin hizmetindedir. Yapıştırıcılar, ambalaj endüstrisinde, oluklu mukavva üretiminde, karton kutu, kağıt torba, oluklu mukavva kutuların yapıştırılmasında, fleksibl ambalaj üretiminde (kağıt, karton, alüminyum folyo ve plastik filmlerin çeşitli kombinasyonlarında oluşan laminasyonlarında), kompozit kutu, kağıt esaslı varil üretiminde, metal kutu ve cam ambalajların etiketlenmesinde zamklı bantlar ve zarflarda kullanılır. Çevre ambalaj ilişkisi çerçevesinde arayışlar sonucu ortaya çıkan teknolojik yenilikler yapıştırıcı dünyasını

zenginleştirmiştir. Su bazlı laminasyon yapıştırıcılar, süper- high solid-laminasyon yapıştırıcıları, solventsiz laminasyon yapıştırıcıları yapıştırıcı dünyasında atılan dev adımlardır. Ambalaj endüstrisinde kullanılan yapıştırıcıları sentetik reçineler, nişasta kökenliler, protein kökenliler olmak üzere üç başlık içinde toplayabiliriz. Yapılan bu çalışmada sentetik reçine grubuna dahil olan polivinil asetat bazlı yapıştırıcı kullanılmıştır.

1.10.1. Sentetik Reçineler

Polivinil Asetat Esaslı Yapıştırıcılar: Emülsiyon , polivinil asetat ve kopolimer esaslıdır. Polivinil asetat su, kömür, kireç ve sirke asidinden kimyasal yollarla üretilir. Kok kömürü ile sönmüş kireç kızdırılarak karpit haline dönüştürülür. Karpite su eklenerek asetilen gazı elde edilir. Asetilen ile sirke asidi birlikte vinil esteri oluştururlar. Vinil ester moleküllerine monomer denir. Bu küçük moleküller, istenilen molekül ağırlığı basamağına erişinceye kadar birbirlerine bağlanabilirler. Vinil ester, polimerleştirilerek polivinil asetat üretilir. Kimyasal yönlendirmelerle farklı özelliklerde tutkallar elde edilebilir. Bu tutkallar, polivinil asetat dispersiyonu olup asit karakterlidirler.

Piyasada, formika tutkalı, beyaz tutkal, plastik tutkal gibi değişik isimlerle anılırlar. Teknik adı polivinil asetat tutkalıdır. Polivinil asetat bir tür suni reçinedir.

Bu tutkallar termoplastik özelliktedirler. Yani kurumuş tutkal filmi sıcakta yumuşar ve yapışma zayıflar, soğuyunca ise tekrar sertleşir. PVA esaslı yapıştırıcılar suyun buharlaşması ya da yapıştırılan malzeme tarafından emilmesiyle katılaşır. Katılaşma zamanı oldukça kısa olup 45 saniye civarındadır. Sulu yapıştırıcılar içinde en çabuk katılaşanıdır. Tutkal yüzeye sürüldükten sonra biraz fazla bekletilirse, kendi kendine kurur ve yapışma özelliğini kaybeder. Bu bakımdan tutkalın açıkta kalma zamanı önemlidir. Bu süre 5-20 dk arasında değişir. PVA yapıştırıcıların ortam ısısı

20⁰C civarında en iyi sonucu verir. Beyaz, süt görünümünde, süt ile yoğurt kıvamı arasındadır. Beyaz renkli çok ince ve sıvıdan koyudur.

1 m² yzeyeye 150-160 gr dolayında kullanılır. 12⁰C'nin altında kullanılmamalıdır. Genellikle su geçirmez, çabuk uygulanır, koku yapmaz, tadı değiştirmez. Makine kullanımlı, dayanıklı, çabuk yıpranmaz yağ geçirmez. Karton, yapıştırmada, biçim vermede, tp yapımında, tepsi kap ve torba kapamada, mukavva pencerelerde kullanılır.

Polivinil asetat tutkalı, soğuk olarak uygulanabilmesi, kolay sürülmesi, çabuk sertleşmesi, kokusuz ve yanmaz oluşu ve işlenişi sırasında kesici aletleri yıpratmaması gibi özellikleri yanında, mekanik dayanımı sınırlı olup, uygulandıktan sonra sıcaklık arttıa yumuşamakta ve 70⁰C'den itibaren bağlantı maddesi görevini gerektiği gibi yapmamaktadır.

Yapışma olayı, dispersiyon taneciklerinin birbirleriyle birleşebilme kabiliyetine bağlıdır. Taneciklere birleşebilme özelliğini kazandırmak için bazı yumuşatıcı, sertleştirici katkı maddelerinden yararlanılabilir.

Polivinil asetat tutkalı, TS 3891 standardında belirtilen esaslara göre yoğunluğu 1,1 gr/cm³, viskozitesi 160-200 cps, pH değeri 5, presleme süresi, soğuk tutkallamada 20⁰C'de 20 dk, 80⁰C'de 2 dk olarak verilmektedir. Presleme ortamında soğuyuncaya kadar dinlendirilmesi gerekmektedir (Bison 1999).

1.11. ELASTO PLASTİK GERİLME ANALİZİ

Malzemelerin elasto plastik durumu, elastik bölge aşılarak belirli bir gerilme değerine ulaştıktan sonra malzemenin gösterdiği davranışlar olarak incelenebilir. Plastik deformasyonlar yük kalktıktan sonra geri dönmez.

Plastik deformasyonun başlangıcı bir akma kriteri yardımı ile belirlenmekte olup, akma sonrası deformasyon malzeme direncinin büyük ölçüde düşüşü sonucu çıkmaktadır. Malzemenin elasto plastik davranışını hesaplamak için çeşitli metotlar vardır. Genelde aşağıda belirtilen 3 temel prensibe dayanır:

- 1) Direngenlik matrisi değişimi metodu
- 2) Başlangıç şekil değişimi metodu
- 3) Başlangıç gerilme metodu

Direngenlik matrisi değişimi metodu, plastik deformasyon bölgesinde her iterasyon sonunda direngenlik matrisinin yeniden hesaplanmasını gerektirir. Bu da problem çözme süresini uzattığı için pek tercih edilmez.

Başlangıç şekil değişimi metodunda elastik olarak hesaplanmış gerilme için malzemenin gerçek davranışına uygun bir elasto plastik başlangıç şekil değiştirmesi aranır. Metot, akma başladıktan sonra da mukavemet artışı devam eden malzemeler için geliştirildiğinden ϵ_0 'ın tanımlanamadığı durumlarda bu metot kullanılmaz. İdeal elasto plastik malzeme gibi.

Başlangıç gerilmesi metodu, Zienkiewicz'in çalışmalarına dayanır ve elasto plastik problemlerin çözümü için en çok kullanılan metottur. Teori, tek boyutlu bir problemin zorlanmasına dayanılarak anılmış, çok eksenli gerilme durumu için genelleştirilmiştir.

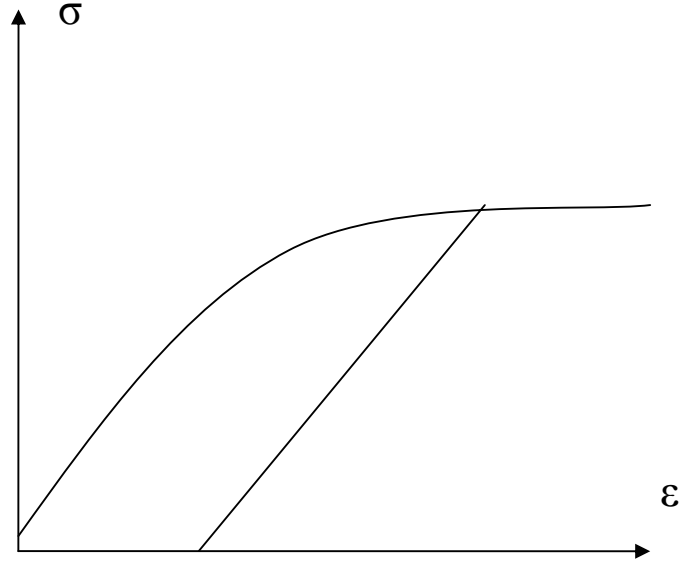
1.11.1. Plastisite Teorisi

Plastisite teorisi elasto plastik özellik gösteren malzemelerin gerilme şekil değiştirme ilişkilerini izah etmekten ibarettir. Plastik davranışlar zamana bağlı olmayan kalıcı şekil değiştirmelerle karakterize edilir. Bu şekil değiştirmeler malzemenin özelliğine göre belli bir gerilme değerine ulaşıldıktan sonra meydana gelir. Elasto plastik incelemenin yapılabilmesi için 3 şartın gerçekleşmesi gerekir:

- 1) Elastik şartlarda malzeme davranışını tanımlamak için gerilme ve şekil değiştirmeler arasında lineer bir ilişki olmalıdır.
- 2) Akmanın meydana geldiği noktada bir akma kriterinin dikkate alınması gerekir.
- 3) Akma başladıktan sonra gerilme ve şekil değiştirmeler arasında formülasyona ihtiyaç vardır.

1.12. PLASTİK DEFORMASYON

Elastik sınır içinde kalmak şartı ile izotrop bir çubuğa bir eğilme momenti uygulanır ve yükleme sona erdirilirse çubuk ilk şeklini alır. Uygulanan moment arttırıldığında çubuğun herhangi bir yerinde elastik sınır üzerinde gerilmeler oluşursa, o noktada akma meydana gelir. Eğmeye çalışan moment kaldırıldığında akma görülen kısımların dışındaki bölgeler ilk durumuna gelmeye çalışır. Çubuğun her noktasında gerilmelerin sıfır olması gerekirken, plastik deformasyona uğrayan bölgelerde gerilme olduğu görülür. Bunlar geriye kalan “artık” gerilmelerdir.



Şekil 1.8 Yükün kaldırılması halinde $\sigma - \varepsilon$ diyagramı

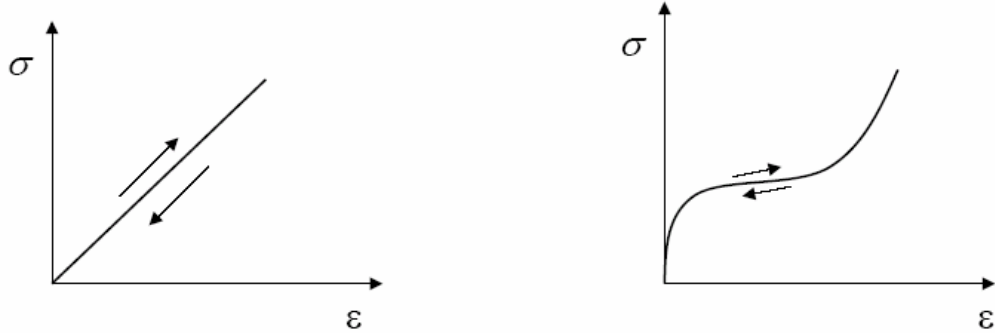
Malzeme yüzeyinde oluşturulan gerilmelerin yorulma ömrünü artırma veya azaltma yönündeki etkileri iki esasa dayanır:

- 1) Yorulma hasarları sadece çekme gerilmelerinden meydana gelir.
- 2) Malzeme yüzeyi, yüzey altına göre daha zayıftır.

Artık gerilmeler malzemede ya ısıtım işlem sebebiyle ya da mekanik yollarla oluşur. Bu gerilmeler malzemenin mukavemet açısından bazen olumlu bazen de olumsuz etki yapar. Artık gerilmeler dış kuvvetle aynı yönde etki ediyorsa malzemede hasar oluşur.

1.12.1. TANJANT MODÜLÜ

Tanjant modülü tam olarak gerilme tensörünün şekil değiştirme tensörüne göre türevlenmesi ile ortaya çıkan bir malzeme özelliğidir.



Şekil 1.9 Tanjant modülü

Burada;

$$E = d\sigma / d\varepsilon$$

değeri, tanjant modülü olarak tanımlanır.

1.13. TABAKALI KOMPOZİT MALZEMELER VE MEKANİK DAVRANIŞLARI

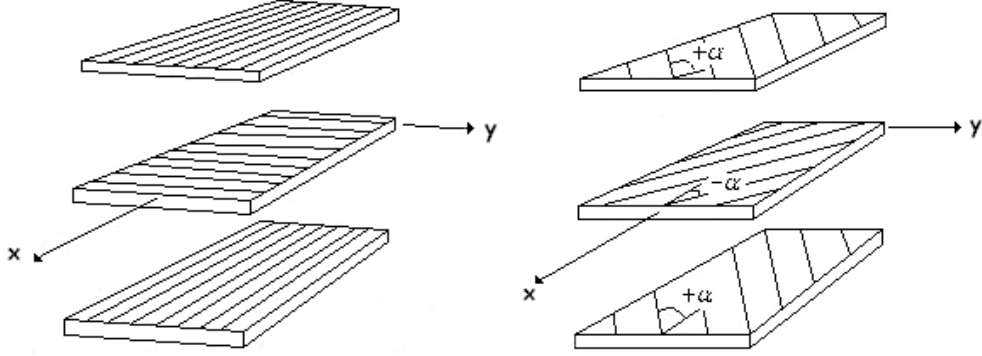
Tabakalı kompozit, iki veya daha fazla sayıda tabakacığın tek ve bütün bir eleman gibi rol alacak şekilde birbirine yapıştırılması ile oluşturulmuştur. Tabakalı kompozitlerde, tabakaların birbirine tam olarak yapıştığı var sayılır. Tabakalar, matris içerisine rastgele yönelmiş elyaf, tek yönlü elyaf veya farklı elyaf takviyeli tabakalardan oluşabilir.

Elyaf takviyeli kompozit malzemeler, geniş özelliklerine bağlı olarak tek veya çok katlı tabakalı malzemeler olarak da sınıflandırılabilir. Tek katlı kompozitler bir kaç farklı tabakadan yapılabilir. Her tabaka aynı yönelme ve özelliklere sahip, sonuçta tüm lamine tek katlı tabakalı kompozit olarak düşünülebilir. Kesikli elyaf takviye içeren kalıpta üretilen kompozitlerde de elyaf dağılımı kalınlık boyunca uniform olmamasına rağmen farklı lamine mevcut olmaz ve bu nedenle malzeme tek katlı kompozitler olarak sınıflandırılabilir.

Yapısal uygulamalarda kullanılan çoğu kompozitler çok katlıdır. Her tabaka, tasarım amaçlarına bağlı olarak değişen elyaf doğrultular ile tek katlı kompozitten oluşabilir. Genellikle her katman çok ince olup, yaklaşık 0,1 mm kalınlığında olduğundan dolayı bu şekilde kullanılmaz. Her kattaki kompoziti oluşturan elemanlar aynı ise bunlar izotropik olarak adlandırılır. Bir çok katlı kompoziti oluşturan malzemeler farklı malzemelerden oluşuyorsa bunlar ortotropik veya karma ve melez lamineler olarak adlandırılır. Buna örnek olarak da bir karma tabakalı kompozitin bir katı cam elyaf takviyeli epoksi iken, diğer tabaka ise grafit elyaf takviyeli epoksi kompozit olabilmektedir.

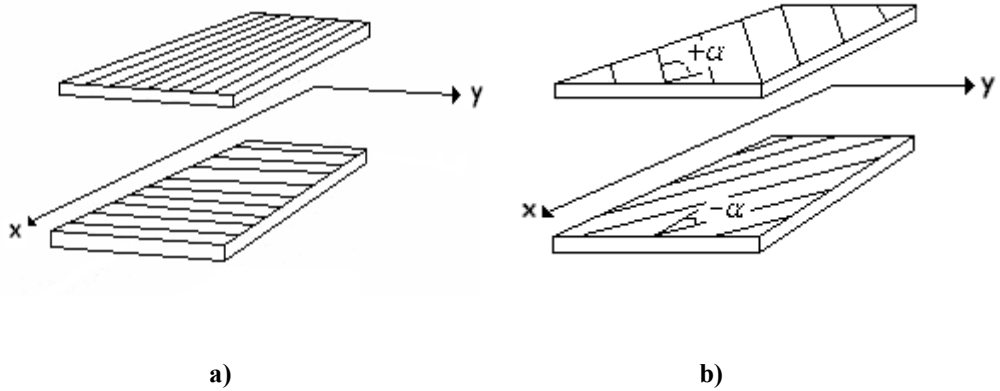
Tabakalı kompozitler, simetrik ve asimetric olmak üzere ikiye ayrılırlar. Tabakacıklar, orta yüzeyden itibaren materyal özellikleri ve geometrik bakımdan simetrik yerleştirilmişlerse bunlara simetrik tabakalar denir.

- İzotropik tabakalardan oluşan simetrik tabakalı kompozitlerde, değişik kalınlıklarda çok sayıda izotropik tabaka, orta yüzeye göre hem geometrik hem de materyal özellikleri bakımından simetrik şekilde yerleştirilmiştir.
- Ortotropik tabakalardan oluşan simetrik tabakalı kompozitlerde ise, ortotropik tabakalar, orta yüzeye göre simetrik olarak yerleştirilmiştir.



Şekil 1.10 Ortotropik tabakalardan oluşan simetrik tabakalı kompozit (Jones 1998)

Tabakalı kompozitlerin uygulanmasında dizayn ihtiyacını karşılamak için antisimetrik tabakalara ihtiyaç duyulur. Örneğin, bir tabakanın ısıya karşı koruyucu bir plaka görevi yapması istenirse antisimetrik tabaka seçilebilir. Çünkü ısı sadece bir taraftan gelecektir. Şekilde antisimetrik olarak yerleştirilen, fiber takviye açıları 0^0 ve 90^0 olan iki tabakalı bir kompozit, şekilde ise yine antisimetrik olarak yerleştirilen, fiber taviye açıları $+a$ ve $-a$ olan iki tabakalı bir kompozit görünmektedir.



Şekil 1.11 Antisimetrik tabakalar (Jones 1998)

1.14. KOMPOZİT MALZEMELERİN GERİLME ANALİZİ

Kompozit yapıların mukavemetlerinin belirlenmesi ve gerilme analizlerinin gerçekleştirilebilmesi için öncelikle kompozit malzemelerde gerilme-şekil değiştirme bağlantısının incelenmesi gerekmektedir.

Genelleştirilmiş, üç boyutlu cisimler için şekil değiştirme Hooke kanunu aşağıdaki matris şeklinde yazılabilir:

$$\begin{Bmatrix} \sigma_1 \\ \sigma_2 \\ \sigma_3 \\ \tau_{23} \\ \tau_{31} \\ \tau_{12} \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} c_{11}c_{12}c_{13}c_{14}c_{15}c_{16} \\ c_{21}c_{22}c_{23}c_{24}c_{25}c_{26} \\ c_{31}c_{32}c_{33}c_{34}c_{35}c_{36} \\ c_{41}c_{42}c_{43}c_{44}c_{45}c_{46} \\ c_{51}c_{52}c_{53}c_{54}c_{55}c_{56} \\ c_{61}c_{62}c_{63}c_{64}c_{65}c_{66} \end{Bmatrix} \begin{Bmatrix} \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \\ \varepsilon_3 \\ \gamma_{23} \\ \gamma_{31} \\ \gamma_{12} \end{Bmatrix} \quad (1)$$

Yukarıdaki matris şeklinde belirtilen gerilme şekil değiştirme bağlantısı aşağıdaki gibi ifade edilebilir:

$$\sigma_i = c_{ij}\varepsilon_j \quad i, j: 1, 2, 3, \dots, 6$$

$\sigma_i = c_{ij}\varepsilon_j$ matrisinde 36 elastik sabit vardır. Ancak matriste $c_{ij} = c_{ji}$ simetri özelliği nedeniyle bağımsız elastik sabitlerin sayısı 21'dir. (1) denklemini hiçbir simetri düzlemi içermeyen anizotropik malzemelerde gerilme deformasyon ilişkisini tanımlar. Hiçbir simetri düzlemi olmayan bu tür malzemelere “triklinik malzeme” denir.

Gerilme deformasyon bağlantısının tersi kompiyans matrisi s_{ij} ile ifade edilir ve gerilme deformasyon ilişkisini verir.

$$\begin{Bmatrix} \sigma_1 \\ \sigma_2 \\ \sigma_3 \\ \tau_{23} \\ \tau_{31} \\ \tau_{12} \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} s_{11}s_{12}s_{13}s_{14}s_{15}s_{16} \\ s_{21}s_{22}s_{23}s_{24}s_{25}s_{26} \\ s_{31}s_{32}s_{33}s_{34}s_{35}s_{36} \\ s_{41}s_{42}s_{43}s_{44}s_{45}s_{46} \\ s_{51}s_{52}s_{53}s_{54}s_{55}s_{56} \\ s_{61}s_{62}s_{63}s_{64}s_{65}s_{66} \end{Bmatrix} \begin{Bmatrix} \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \\ \varepsilon_3 \\ \gamma_{23} \\ \gamma_{31} \\ \gamma_{12} \end{Bmatrix} \quad (2)$$

$$\varepsilon_i = s_{ij}\sigma_j \quad i, j : 1, 2, 3, \dots, 6$$

s_{ij} matrisi de aynı c_{ij} matrisi gibi simetri özelliği gösterir, $s_{ij} = s_{ji}$ 'dir. Malzeme özelliklerinin simetri özelliği gösterdiği bir simetri düzlemi mevcut ise, rijitlik ve kompliyans matrisleri 13 bağımsız elastik sabit içerir. Bu tür malzemelere “monoklinik malzeme” adı verilir. Monoklinik malzeme için gerilme deformasyon ve deformasyon gerilme ilişkileri (3) denkleminde verilmiştir.

$$\begin{Bmatrix} \sigma_1 \\ \sigma_2 \\ \sigma_3 \\ \tau_{23} \\ \tau_{31} \\ \tau_{12} \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} c_{11}c_{12}c_{13}0_{14}0_{15}c_{16} \\ c_{21}c_{22}c_{23}0_{24}0_{25}c_{26} \\ c_{31}c_{32}c_{33}c_{34}c_{35}c_{36} \\ 0_{41}0_{42}0_{43}c_{44}c_{45}0_{46} \\ 0_{51}0_{52}0_{53}c_{54}c_{55}0_{56} \\ c_{61}c_{62}c_{63}0_{64}0_{65}c_{66} \end{Bmatrix} \begin{Bmatrix} \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \\ \varepsilon_3 \\ \gamma_{23} \\ \gamma_{31} \\ \gamma_{12} \end{Bmatrix} \quad \text{ve} \quad \begin{Bmatrix} \sigma_1 \\ \sigma_2 \\ \sigma_3 \\ \tau_{23} \\ \tau_{31} \\ \tau_{12} \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} s_{11}s_{12}s_{13}0_{14}0_{15}s_{16} \\ s_{21}s_{22}s_{23}0_{24}0_{25}s_{26} \\ s_{31}s_{32}s_{33}s_{34}s_{35}s_{36} \\ 0_{41}0_{42}0_{43}s_{44}s_{45}0_{46} \\ 0_{51}0_{52}0_{53}s_{54}s_{55}0_{56} \\ s_{61}s_{62}s_{63}0_{64}0_{65}s_{66} \end{Bmatrix} \begin{Bmatrix} \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \\ \varepsilon_3 \\ \gamma_{23} \\ \gamma_{31} \\ \gamma_{12} \end{Bmatrix} \quad (3)$$

Bir malzemenin birbirine dik üç simetri düzlemi varsa, bu düzlemin ara kesitlerine paralel koordinatlardaki gerilme deformasyon ve deformasyon gerilme ilişkileri (4) denlemindeki gibidir.

$$\begin{Bmatrix} \sigma_1 \\ \sigma_2 \\ \sigma_3 \\ \tau_{23} \\ \tau_{31} \\ \tau_{12} \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} c_{11}c_{12}c_{13}0_{14}0_{15}0_{16} \\ c_{21}c_{22}c_{23}0_{24}0_{25}0_{26} \\ c_{31}c_{32}c_{33}0_{34}0_{35}0_{36} \\ 0_{41}0_{42}0_{43}c_{44}0_{45}0_{46} \\ 0_{51}0_{52}0_{53}0_{54}c_{55}0_{56} \\ 0_{61}0_{62}0_{63}0_{64}0_{65}c_{66} \end{Bmatrix} \begin{Bmatrix} \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \\ \varepsilon_3 \\ \gamma_{23} \\ \gamma_{31} \\ \gamma_{12} \end{Bmatrix} \quad \text{ve} \quad \begin{Bmatrix} \sigma_1 \\ \sigma_2 \\ \sigma_3 \\ \tau_{23} \\ \tau_{31} \\ \tau_{12} \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} s_{11}s_{12}s_{13}0_{14}0_{15}s_{16} \\ s_{21}s_{22}s_{23}0_{24}0_{25}s_{26} \\ s_{31}s_{32}s_{33}s_{34}s_{35}s_{36} \\ 0_{41}0_{42}0_{43}s_{44}s_{45}0_{46} \\ 0_{51}0_{52}0_{53}s_{54}s_{55}0_{56} \\ s_{61}s_{62}s_{63}0_{64}0_{65}s_{66} \end{Bmatrix} \begin{Bmatrix} \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \\ \varepsilon_3 \\ \gamma_{23} \\ \gamma_{31} \\ \gamma_{12} \end{Bmatrix} \quad (4)$$

Bu tür özellikleri gösteren malzemelere “ortotropik malzeme” adı verilir ve 9 bağımsız elastik içerirler. Tek yönlü sürekli liflerle takviyelendirilmiş bir tabaka ortotropik malzemeye örnektir. Ortotropik karakterli malzemelerde, anizotropik malzemelerden farklı olarak $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ normal gerilmeleri ile $\gamma_{12}, \gamma_{23}, \gamma_{31}$ kayma deformasyonları ve $\tau_{12}, \tau_{23}, \tau_{31}$ kayma gerilmeleri ile $\varepsilon_1, \varepsilon_2, \varepsilon_3$ normal deformasyonları arasında bir etkileşim yoktur.

Elyaf takviyeli tabakalar çoğunlukla ince olduklarından düzlem gerilme durumunun geçerli olduğu, yani düzleme dik gerilmelerin etki etmediği kabul edilebilir ($\sigma_3 = 0, \sigma_4 = 0, \sigma_5 = 0$). Bu durumda 3 boyutlu Q_{ij} matrisi kullanılır. Böylecek Hooke bağıntısı aşağıdaki şekli alır:

$$\begin{Bmatrix} \sigma_1 \\ \sigma_2 \\ \tau_{12} \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} Q_{11} & Q_{12} & 0 \\ Q_{21} & Q_{22} & 0 \\ 0 & 0 & Q_{66} \end{Bmatrix} \begin{Bmatrix} \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \\ \gamma_{12} \end{Bmatrix} \quad (5)$$

Burada matrisin bağımsız elemanlarının sayısı 4’e inmiştir ve bunların mühendislik sabitleri cinsinden ifadeleri (6) denklemindeki gibidir.

$$Q_{11} = \frac{E_1}{1 - \nu_{12} \cdot \nu_{21}}$$

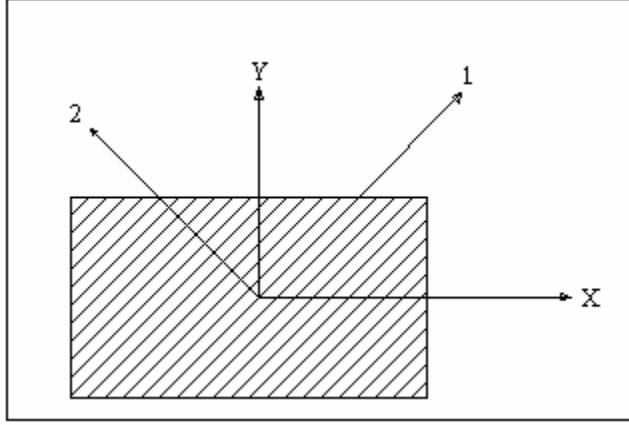
$$Q_{12} = \frac{\nu_{12} \cdot E_2}{1 - \nu_{12} \cdot \nu_{21}}$$

$$Q_{22} = \frac{E_2}{1 - \nu_{12} \cdot \nu_{21}}$$

$$Q_{66} = G_{12} \quad (6)$$

Burada E , malzemenin elastisite modülü, ν poisson oranı ve G ise kayma modülünü ifade etmektedir.

Tabakalı kompozit malzemeler genellikle farklı açılı tabakalardan meydana gelir. Bunun sebebi, farklı yönlerde de yüksek mekanik özelliklerin elde edilme çabasıdır.



Şekil 1.12 Eksen Takımları

Tabakalarda kullanılan koordinat sistemi 1-2 olarak isimlendirilirler. 1 nolu yön, takviye elemanının yönünü belirtir. 2 nolu yön ise takviye elemanına dik olan yönü gösterir. x-y koordinat sistemi ile 1-2 koordinat sistemi arasındaki bağıntı dönüşüm matrisi ile aşağıdaki şekilde sağlanabilir:

$$\begin{Bmatrix} \sigma_1 \\ \sigma_2 \\ \tau_{12} \end{Bmatrix} = [T] \begin{Bmatrix} \sigma_x \\ \sigma_y \\ \tau_{xy} \end{Bmatrix} \quad (7)$$

$$\begin{Bmatrix} \sigma_x \\ \sigma_y \\ \tau_{xy} \end{Bmatrix} = [T]^{-1} \begin{Bmatrix} \sigma_1 \\ \sigma_2 \\ \tau_{12} \end{Bmatrix} \quad (8)$$

Benzer şekilde:

$$\begin{Bmatrix} \varepsilon_x \\ \varepsilon_y \\ \gamma_{xy/2} \end{Bmatrix} = [T]^{-1} \begin{Bmatrix} \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \\ \gamma_{1/2} \end{Bmatrix} \quad (9)$$

$[T]$ dönüşüm matrisi (transformasyon tensörü T_{ij}) şu şekilde ifade edilmektedir:

$$[T] = \begin{Bmatrix} \cos^2 \theta & \sin^2 \theta & 2 \sin \theta \cos \theta \\ \sin^2 \theta & \cos^2 \theta & -2 \sin \theta \cos \theta \\ -\sin \theta \cos \theta & \sin \theta \cos \theta & \cos^2 \theta - \sin^2 \theta \end{Bmatrix} \quad (10)$$

$$\begin{Bmatrix} \sigma_x \\ \sigma_y \\ \tau_{xy} \end{Bmatrix} = [T]^{-1} [Q] \begin{Bmatrix} \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \\ \gamma_{12} \end{Bmatrix} \quad (11)$$

$$\begin{Bmatrix} \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \\ \gamma_{12/2} \end{Bmatrix} = [T] \begin{Bmatrix} \varepsilon_x \\ \varepsilon_y \\ \gamma_{xy/2} \end{Bmatrix} \quad (12)$$

$$\begin{Bmatrix} \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \\ \gamma_{12/2} \end{Bmatrix} = [R][T][R]^{-1} \begin{Bmatrix} \varepsilon_x \\ \varepsilon_y \\ \gamma_{xy/2} \end{Bmatrix} \quad (13)$$

$[R]$ Reuter matrisidir ve aşağıdaki gibi ifade etmek mümkündür.

$$[R] = \begin{Bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 2 \end{Bmatrix} \quad (14)$$

x-y koordinat eksen takımında gerilme şekil değiştirme bağıntısı aşağıdaki gibidir.

$$\begin{Bmatrix} \sigma_x \\ \sigma_y \\ \tau_{xy} \end{Bmatrix} = [T]^{-1} \cdot [Q] \cdot [R] \cdot [T] \cdot [R]^{-1} \cdot \begin{Bmatrix} \epsilon_x \\ \epsilon_y \\ \gamma_{xy} \end{Bmatrix} \quad (15)$$

1.14.1. Tabakalı Kompozit Malzemelerin Gerilme Analizler

İzotropik malzemeden imal edilmiř prizmatik bir kiriř dūřünülebilir. Çekme kuvvetine maruz kalan kiriř için herhangi bir kesitindeki normal gerilme ařaęıdaki gibi hesaplanabilir. Elastik bölgede normal birim şekil deęiřtirme:

$$\epsilon_x = \frac{P}{AE} \quad (16)$$

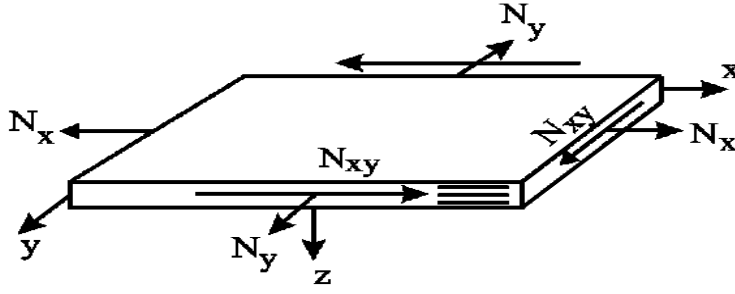
Burada E elastik modülü, P uygulanan kuvveti, A kesit alanını ifade etmektedir. Eğer kiriş sadece eğilme momentine maruz kalacaksa:

$$\epsilon_x = \frac{z}{\rho} \quad (17)$$

Burada z merkezden uzaklık, ρ kirişin eğilme yarıçapıdır.

1.14.2. Bileşke Kuvvet ve Momentler

Birleşik bir tabakada gerilmeler her bir tabakada farklı olduğundan, bu gerilmelerin bileşik tabaka kalınlığı boyunca integrasyonu ile elde edilen bileşke kuvvet ve moment aşağıdaki gibidir.



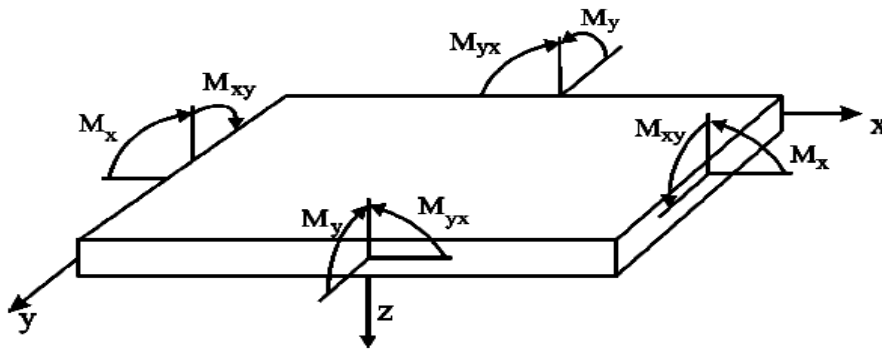
Şekil 1.13 Bileşik Tabakadaki Kuvvetler

$$N_x = \int_{-t/2}^{t/2} \sigma_x dz$$

$$N_y = \int_{-t/2}^{t/2} \sigma_y dz$$

$$N_{xy} = \int_{-t/2}^{t/2} \sigma_{xy} dz \quad (18)$$

Bileşke kuvvet ve momentler, bileşik tabakanın orta düzleminin birim uzunluğa etkiyen kuvvet ve momentler şeklinde tanımlanır.



Şekil 1.14 Bileşik Tabakadaki Momentler

$$M_x = \int_{-t/2}^{t/2} \sigma_x z dz$$

$$M_y = \int_{-t/2}^{t/2} \sigma_y \cdot z \cdot dz$$

$$M_{xy} = \int_{-t/2}^{t/2} \sigma_{xy} \cdot z \cdot dz \quad (19)$$

1.14.3. Kompozit Malzemeler İçin Hasar Kriterleri

Tabakalı kompozit malzemelerin özellikleri 1-2-3 eksenleri doğrultusunda verilir. Bir başka deyişle, tabaka şeklindeki kompozit malzemelerin takviye elemanı doğrultusundaki mukavemeti ve takviye elemanına dik doğrultudaki mukavemeti çekme/basma testleri ile belirlenir.

1.14.4. Maksimum Gerilme Teorisi

Kompozit tabakada 1-2-3 eksenlerinde normal ve kayma gerilmeleri, aşağıda verilmiş olan durumları sağladıkları takdirde kompozit malzemelerde hasar meydana gelmediği kabul edilir.

$$-X^C < \sigma_1 < X^T$$

$$-Y^C < \sigma_2 < Y^T$$

$$-Z^C < \sigma_3 < Z^T$$

$$-S_{12} < \tau_{12} < S_{12}$$

$$-S_{23} < \tau_{23} < S_{23}$$

$$-S_{13} < \tau_{13} < S_{13}$$

1.14.5. Maksimum Şekil Değişirme Teorisi

Kompozit tabakalarda 1-2-3 eksenlerinde normal ve kayma şekil değiştirmeleri, aşağıda verilen durumları sağladığı takdirde kompozit malzemelerde hasar oluşmaz.

$$-\varepsilon_1^C < \varepsilon_1 < \varepsilon_1^T$$

$$-\varepsilon_2^C < \varepsilon_2 < \varepsilon_2^T$$

$$-\varepsilon_3^C < \varepsilon_3 < \varepsilon_3^T$$

$$-\gamma_{12}^F < \gamma_{12} < \gamma_{12}^F$$

$$-\gamma_{23}^F < \gamma_{23} < \gamma_{23}^F$$

$$-\gamma_{13}^F < \gamma_{13} < \gamma_{13}^F$$

1.14.6. Tsai Hill Hasar Teorisi

Tsai Hill hasar teorisi, izotropik malzemeler için geliştirilmiş Von Mises teorisinin anizotropik malzemelere uyarlanmış şeklidir. Bu teoriye göre kompozit

tabakadaki gerilme dağılımı aşağıdaki formülasyonu sağlıyorsa malzemede hasar meydana gelmeyeceği kabul edilir.

$$(G_2 + G_3) \cdot \sigma_1^2 + (G_1 + G_3) \cdot \sigma_2^2 + (G_1 + G_2) \cdot \sigma_3^2 - 2 \cdot G_3 \cdot \sigma_1 \cdot \sigma_2 - 2 \cdot G_2 \cdot \sigma_1 \cdot \sigma_3 - 2 \cdot G_1 \cdot \sigma_2 \cdot \sigma_3 + 2 \cdot G_4 \cdot \tau_{23}^2 + 2 \cdot G_5 \cdot \tau_{13}^2 + 2 \cdot G_6 \cdot \tau_{12}^2 < 1$$

$$G_1 = \frac{1}{2} \left(\frac{2}{[\sigma_2^r]^2} - \frac{1}{[\sigma_1^r]^2} \right)$$

$$G_2 = \frac{1}{2} \left(\frac{1}{[\sigma_1^r]^2} \right)$$

$$G_3 = \frac{1}{2} \left(\frac{1}{[\sigma_1^r]^2} \right)$$

(20)

$$G_6 = \frac{1}{2} \left(\frac{1}{[\tau_{12}^F]^2} \right)$$

1.14.7. Hoffman Hasar Kriteri

Bu teoriye göre kompozit malzemedeki tabaka gerilme dağılımı aşağıdaki durumu sağlıyorsa malzemede hasar meydana gelmediği kabul edilir.

$$\left[C_1 (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + C_2 (\sigma_3 - \sigma_1)^2 + C_3 (\sigma_1 - \sigma_2)^2 + C_4 \cdot \sigma_1 + C_5 \cdot \sigma_2 + C_6 \cdot \sigma_3 \right] / F < 1$$

$$\left[+ C_7 \cdot \tau_{23}^2 + C_8 \cdot \tau_{13}^2 + C_9 \cdot \tau_{12}^2 \right]$$

$$C_1 = \frac{1}{2} \left(\frac{1}{Z^T Z^C} + \frac{1}{Y^T Y^C} - \frac{1}{X^T X^C} \right)$$

$$C_2 = \frac{1}{2} \left(\frac{1}{X^T X^C} + \frac{1}{Z^T Z^C} - \frac{1}{Y^T Y^C} \right)$$

$$C_3 = \frac{1}{2} \left(\frac{1}{X^T X^C} + \frac{1}{Y^T Y^C} - \frac{1}{Z^T Z^C} \right)$$

$$C_4 = \frac{1}{X^T} - \frac{1}{X^C}$$

$$C_5 = \frac{1}{Y^T} - \frac{1}{Y^C}$$

$$C_6 = \frac{1}{Z^T} - \frac{1}{Z^C}$$

$$C_7 = \frac{1}{S_{23}^2}$$

$$C_8 = \frac{1}{S_{13}^2}$$

$$C_9 = \frac{1}{S_{12}^2}$$

(21)

1.14.8. Tsai Wu Hasar Teorisi

Tsai Wu hasar teorisi kompozit malzemelerin gerilme analizlerinde en çok kullanılan teorilerden biridir. Bu teoriye göre aşağıdaki formülasyon sağlandığında yapıda hasar meydana gelmediği kabul edilir.

$$F_i \cdot \sigma_i + F_{ij} \cdot \sigma_i \cdot \sigma_j < 1 \quad i, j : 1, 2, 3, \dots, 6$$

$$\left[\begin{aligned} & \left(\frac{1}{X^T} - \frac{1}{X^C} \right) \cdot \sigma_1 + \left(\frac{1}{Y^T} - \frac{1}{Y^C} \right) \cdot \sigma_2 + \left(\frac{1}{Z^T} - \frac{1}{Z^C} \right) \cdot \sigma_3 + \frac{\sigma_1^2}{X^T \cdot X^C} + \frac{\sigma_2^2}{Y^T \cdot Y^C} + \frac{\sigma_3^2}{Z^T \cdot Z^C} \\ & + \frac{\tau_{12}^2}{S_{12}^2} + \frac{\tau_{23}^2}{S_{23}^2} + \frac{\tau_{13}^2}{S_{13}^2} + 2 \cdot F_{12} \cdot \sigma_1 \cdot \sigma_2 + 2 \cdot F_{23} \cdot \sigma_2 \cdot \sigma_3 + 2 \cdot F_{13} \cdot \sigma_1 \cdot \sigma_3 \end{aligned} \right] < 1$$

$$F_{12}^2 = \frac{1}{X^T \cdot X^C} \cdot \frac{1}{Y^T \cdot Y^C}$$

$$F_{23}^2 = \frac{1}{Y^T \cdot Y^C} \cdot \frac{1}{Z^T \cdot Z^C}$$

(22)

$$F_{13}^2 = \frac{1}{X^T \cdot X^C} \cdot \frac{1}{Z^T \cdot Z^C}$$

1.14.9. Hashin Hasar Teorisi

Hashin hasar teorisi, hasarın şeklini ayırt edebilmektedir. Bu teoriye göre matris yapıda veya elyafta bir hasarın olup olmadığı tespit edilebilmektedir.

Matris çekme hasarının, aşağıdaki durum sağlandığında meydana geldiği kabul edilir.

$\sigma_2 > 0$ için:

$$\left(\frac{\sigma_2}{Y^T} \right)^2 + \left(\frac{\tau_{12}}{S_{12}} \right)^2 + \left(\frac{\tau_{23}}{S_{23}} \right)^2 > 1$$

Matris basma hasarının, aşağıdaki durum sağlandığı takdirde meydana geldiği kabul edilir.

$\sigma_2 < 0$ için:

$$\left(\frac{\sigma_2}{Y^C}\right)^2 + \left(\frac{\tau_{12}}{S_{12}}\right)^2 + \left(\frac{\tau_{23}}{S_{23}}\right)^2 > 1$$

Elyaf ve matris arasındaki kayma hasarının, aşağıdaki durum sağlandığı takdirde meydana geldiği kabul edilir.

$\sigma_1 < 0$ için:

$$\left(\frac{\sigma_1}{X^C}\right)^2 + \left(\frac{\tau_{12}}{S_{12}}\right)^2 + \left(\frac{\tau_{13}}{S_{13}}\right)^2 > 1$$

Elyaf çekme hasarının, aşağıdaki durum sağlandığı takdirde meydana geldiği kabul edilir.

$\sigma_1 > 0$ için:

$$\left(\frac{\sigma_1}{X^T}\right)^2 + \left(\frac{\tau_{12}}{S_{12}}\right)^2 + \left(\frac{\tau_{13}}{S_{13}}\right)^2 > 1$$

$\sigma_1 < 0$ için:

(23)

$$\left(\frac{\sigma_1}{X^C}\right) > 1$$

Yukarıda kompozit malzemeler için önemli olan hasar teorilerinden bahsedilmiştir. Maksimum gerilme teorisi, maksimum şekil değiştirme teorisi ve Hashin hasar teorileri hasar şekillerini ayırt edebilmektedirler. Diğer teorilerde hasar

şekilleri ayırt edilmemiştir. Maksimum gerilme teorisi ve maksimum şekil değiştirme teorisinde kayma gerilmesinin normal gerilme ile etkileşimi yer almamaktadır. Dolayısıyla bu teoriler konservatif teorilerdir. Hashin hasar teorisinde ise kayma gerilmesinin normal gerilmeler ile etkileşimine yer verilmiştir. Hasar şekillerini de ayırt ettiği için Hashin hasar teorileri sonlu eleman analizleri için en uygun teorilerdir.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

Hergün kullanımına alıştığımız ve artık sıradan malzemeler olarak gördüğümüz kumaş ve kağıdın bir araya gelerek oluşturacakları kompozit yapının özelliklerini belirlemeye yönelik çalışma yapılmıştır. Bu çalışmada kullanılan malzemeler ve özellikleri aşağıdaki gibidir:

3 farklı kalınlıkta %100 pamuklu dokuma kumaş:

İnce Kumaş: Kalınlığı ve gramajı diğer iki kumaşa göre daha az olan ve “ince kumaş” olarak adlandıracağımız ilk kumaşımız, bezayağı örgüsüne sahiptir ve 0.30 mm kalınlığındadır. İplik numarası Ne 40/1’dir ve gramajı da 125 gr/m^2 ’dir.

Orta Kumaş: Kalınlığı ve gramajı diğer iki kumaşın arasındadır ve “orta kumaş” olarak adlandırılacaktır. Yine bezayağı örgüsüne sahiptir ve kalınlığı 0.40 mm’dir. İplik numarası Ne 30/1’dir ve gramajı ise 148 gr/m^2 ’dir.

Kalın Kumaş: Kalınlığı ve gramajı diğer iki kumaşa göre daha büyüktür ve “kalın kumaş” olarak anılacaktır. Örgüsü yine bezayağıdır ve kalınlığı 0.78 mm’dir. İplik numarası Ne 16/2’dir, gramajı ise 360 gr/m^2 ’dir.

Kumaş özelliklerinin özeti aşağıdaki tabloda özetlenmiştir:

Tablo 2.1 Kumaş Özellikleri

	İplik Cinsi	Dokuma Örgüsü	Kalınlık (mm)	İplik Numarası (Çözgü)	Gramaj (gr/m^2)
İnce Kumaş	%100 Pamuk	Bezayağı	0.30	Ne 40/1	125
Orta Kumaş	%100 Pamuk	Bezayağı	0.40	Ne 30/1	148
Kalın Kumaş	%100 Pamuk	Bezayağı	0.78	Ne 16/2	360

Bu kumaşlarla birlikte kompozit malzeme oluşturması için kullanılan kağıtlar ise aşağıdaki gibidir:

Eskiz Kağıdı: Aydınır kağıdı olarak da isimlendirilen bu kağıt, kullanılan diğer kağıt malzemelere göre oldukça ince bir yapıdadır. Yarısaydam olan bu kağıt, kendisine uyumlu olabilecek en ince kumaşla birlikte kullanılmıştır. Eskiz kağıdının kalınlığı 0.065 mm'dir.

Karton Kağıdı: Koli gibi oluklu mukavvalarda, oluklu yapının üzerine yapıştırılan ince kağıttır ve kalınlığı 0.12 mm'dir. Rengi koli rengindedir ve kendisine uyumlu olabilecek ince kumaş ile birlikte kullanılmıştır.

İnce Oluklu Mukavva: Bir tarafı düz, diğer tarafı da oluklu yapıda olan bu kağıt malzemesi genellikle elişi malzemesi olarak kullanılmaktadır. Olukları kolideki oluklara göre daha küçük ve sıktır. Kalınlığı ise 0.30 mm'dir. Yine ince kumaşla takviyelendirilerek kullanılmıştır.

Oluklu Mukavva: Koli yapımında kullanılan oluklu mukavva oldukça kalın bir yapıya sahiptir, kalınlığı 6.00 mm'dir. Kalın yapısından dolayı orta kumaş ve kalın kumaş ile birlikte kullanılmıştır.

Kumaş ve kağıdı bir arada tutacak malzeme için çeşitli araştırmalar yapılmıştır. Yapılan denemeler sonucunda beyaz tutkalın hem yapışma, hem sürülme, hem de uygulanma özelliklerinin diğer yapıştırıcılara göre daha iyi olduğu sonucuna varılmıştır. Oda sıcaklığında uygulanabilen beyaz tutkal, yine oda sıcaklığında sertleşerek kurumaktadır. Sıvı formda olduğundan uygulanması da kolaydır.

Bir boya markasına ait tutkal kullanılmıştır ve bu tutkal polivinil asetat esaslı, su bazlı bir tutkaldır. Suya, rutubete, yağa ve petrole karşı dayanıklı olup, kokusuz ve zehirsizdir. Yapıştırılan parçaların özelliğine de bağlı olarak 90°C ısıya dayanıklıdır. 15 dk - 60 dk gibi bir sürede tam yapışma sağlanmaktadır.

Aşağıdaki tabloda oluşturulan kompozit yapılar ve bileşenleri tablo halinde verilmiştir:

Tablo 2.2 Kompozit Bileşenleri

	Kumaş	Kağıt
Kompozit 1	İnce Kumaş	Eskiz Kağıdı
Kompozit 2	İnce Kumaş	Karton Kağıdı
Kompozit 3	İnce Kumaş	İnce Oluklu Mukavva
Kompozit 4	Orta Kumaş	Oluklu Mukavva
Kompozit 5	Kalın Kumaş	Oluklu Mukavva

Bu kompozitlerin oluşumunda çeşitli denemeler sonucunda en iyi yapışma şekli belirlenmiştir. Kumaşların çözgü yönündeki özellikleri baz alınacağından kompozit oluşumunda da bu yöne dikkat edilmiştir. Aynı şekilde kağıtlarda da yön olarak aynı yön baz alınmıştır. Hem ince oluklu mukavvada hem de normal oluklu mukavvada, oluk yönünde numuneler hazırlanmıştır.

Yapıştırıcının uygulanması sırasında, eskiz kağıdı ve karton kağıdı sıvı formda olan tutkalı çok çabuk emerek gevşemişler ve zayıflamışlardır. Bu nedenle bu iki kağıt tipinin kullanıldığı kompozitlerde tutkal önce kumaşa ince bir tabaka halinde uygulanmış, üzerine hava boşluğu kalmayacak şekilde kağıtlar yapıştırılmıştır. Tutkalla karşılaşan kağıtlar, yine tutkalı bir miktar emerek genişleşmişlerdir fakat tutkalın kağıda direk uygulanmasındaki kadar büyük bozunmalar oluşmamıştır. İnce oluklu mukavva ve oluklu mukavvanın kullanıldığı kompozitlerde, tutkal öncelikle kağıt malzemeye uygulanmış, üzerine kumaş hava kabarcığı kalmayacak şekilde yapıştırılmıştır. Bu iki kalın kağıt malzemesinde tutkalı emme durumu çok fazla gözlenmediği için görünüm olarak daha düzgün bir yapışma elde edilmiştir.

3. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

Kompozit malzemelerin mekanik özelliklerini belirlemek için çekme testi yapılmasına karar verilmiştir. Çekme testi için kullanılacak numunelerin ölçüleri ASTM D 3039 standardı baz alınarak belirlenmiştir. Kumaş ve kağıt için ayrı ayrı tanımlanmış test metotları ve numune ölçüleri mevcutken, kumaş, kağıt ve kompozit için test metodunun ve numune ölçülerinin eşit olması gerektiğine karar verilmiştir. Numuneler 5 cm'lik çene arasına gelecek uzunluk haricinde 12.7 cm'lik çekme bölgesi olacak şekilde, 2.5 cm eninde hazırlanmışlardır.

Önce kumaşlar ve kağıt malzemelerin tek başlarına çekme testi değerleri alınmış, daha sonra da oluşturulan kompozitlerin çekme testleri yapılmıştır. Test hızı olarak 100 mm/dk hız seçilmiştir. Çekme testlerine ait sonuçlar aşağıdaki gibidir:

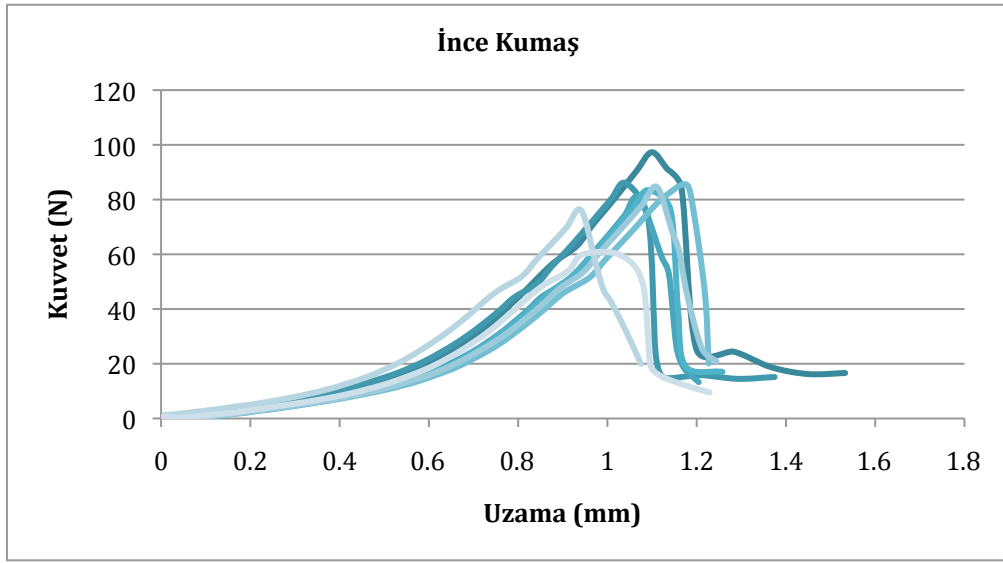
Aşağıdaki grafiklerde, kumaşlara ait tipik kuvvet-uzama eğrisi görülebilir. İnce kumaş, diğer iki kumaşa göre çok daha az uzama göstermiş ve mukavemeti de daha az çıkmıştır. Eskiz kağıdı hariç diğer kağıtlar kararlı bir eğri sonucu vermişlerdir.

Kompozit malzemelerin eğri karakterlerinin ise, kumaşa değil, kağıda yakın bir sonuç verdiği de açıkça görülmektedir.

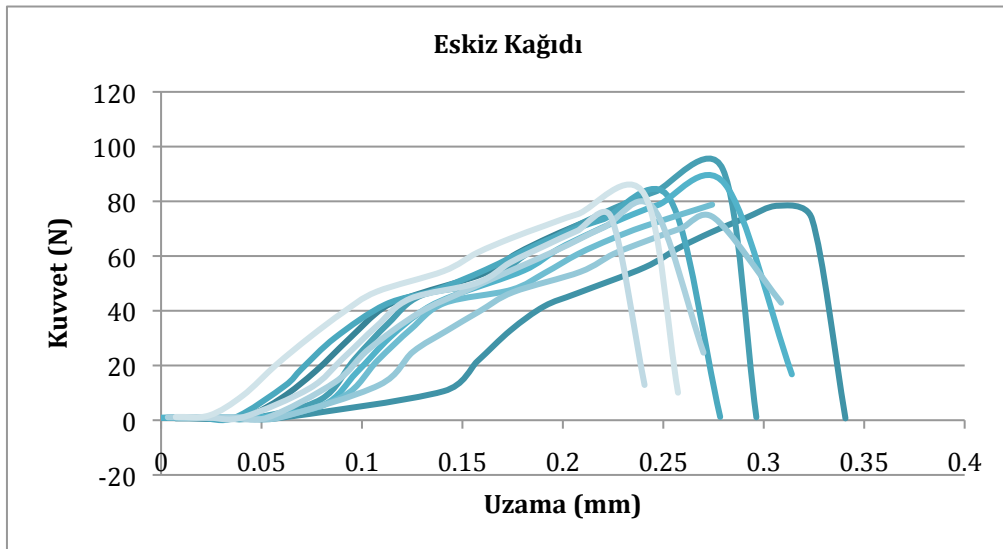
Kompozit 1

Tablo 3.1 Kompozit 1 ve Bileşenlerinin Test Sonuçları

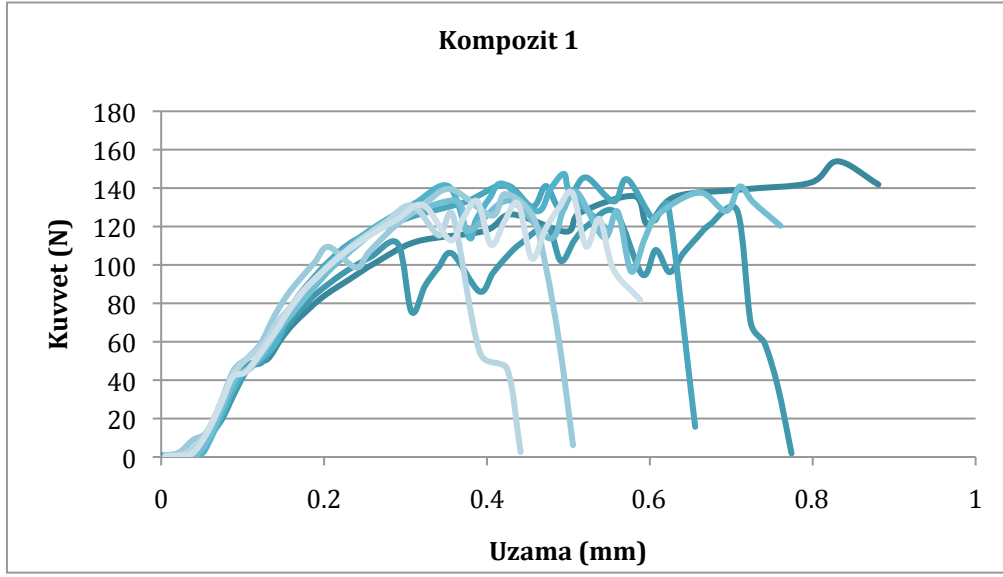
Numune	Numune Kalınlığı (mm)	Load at Max Load (kN)	Stress at Max Load (MPa)	% Strain at Max Load (%)	Young Modulus (MPa)
ince kumaş	0.3000	0.0848	11.3100	8.4930	310.7000
eskiz kağıdı	0.0650	0.0827	50.8600	2.1450	5,134.0000
kompozit 1	0.4600	0.1429	12.4300	4.3400	803.3000



Şekil 3.1 İnce Kumaş Kuvvet-Uzama Eğrisi



Şekil 3.2 Eskiz Kağıdı Kuvvet-Uzama Eğrisi



Şekil 3.3 Kompozit 1 Kuvvet-Uzama Eğrisi

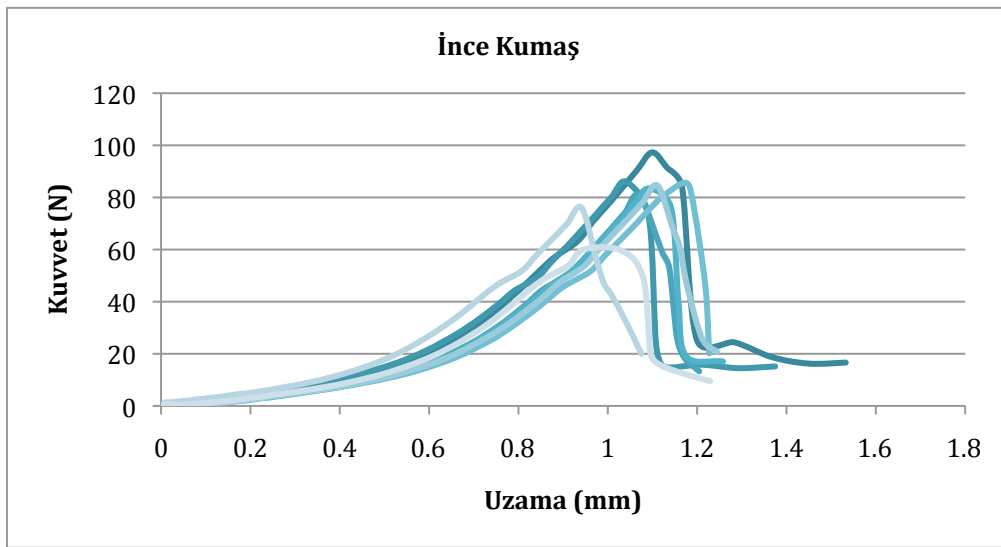


Şekil 3.4 Çekme Testi Sonrası Kompozit 1

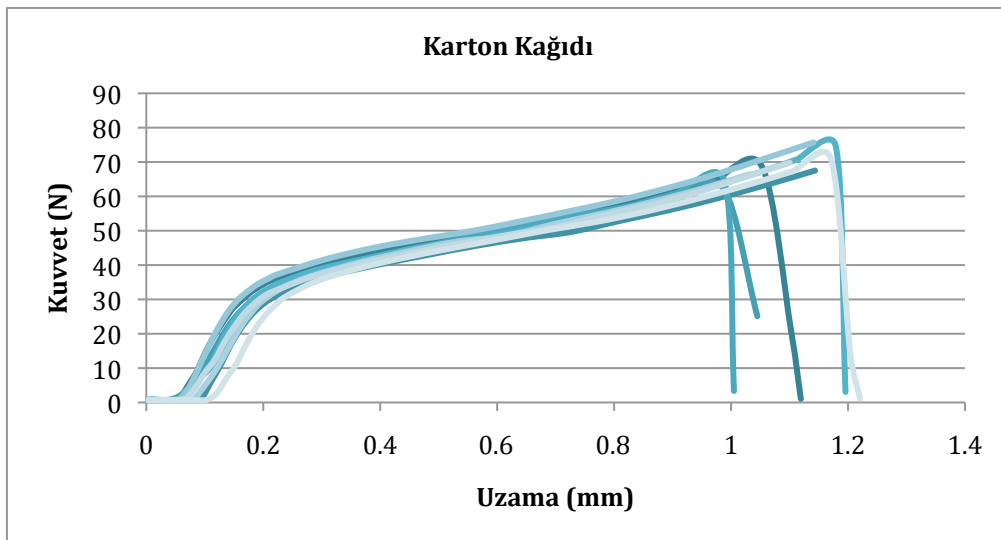
Kompozit 2

Tablo 3.2 Kompozit 2 ve Bileşenlerinin Test Sonuçları

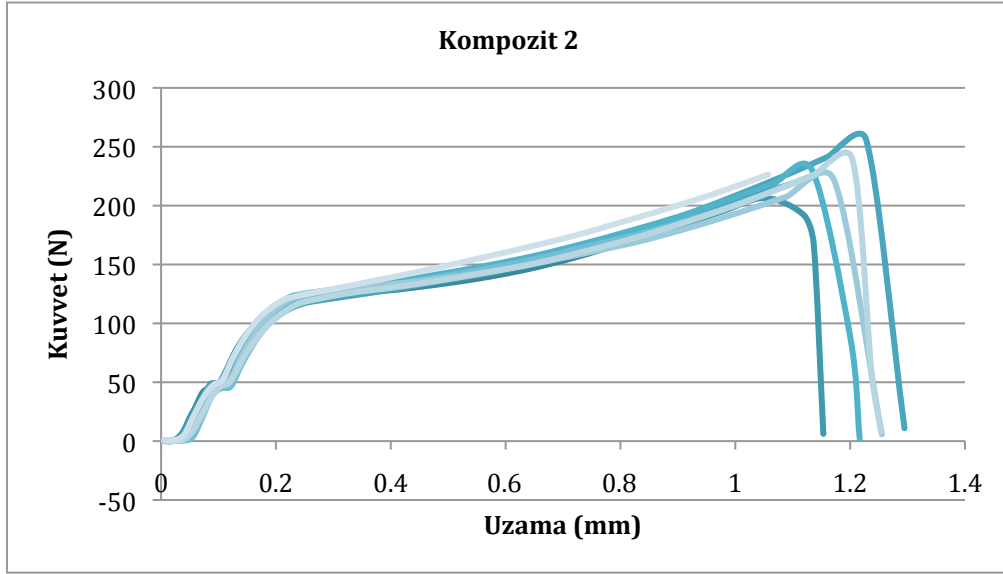
Numune	Numune Kalınlığı (mm)	Load at Max Load (kN)	Stress at Max Load (MPa)	% Strain at Max Load (%)	Young Modulus (MPa)
ince kumaş	0.3000	0.0848	11.3100	8.4930	310.70
karton kağıdı	0.1200	0.0703	23.4400	8.6080	1,314.00
kompozit 2	0.8500	0.2353	11.0700	9.2950	376.20



Şekil 3.5 İnce Kumaş Kuvvet-Uzama Eğrisi



Şekil 3.6 Karton Kağıdı Kuvvet-Uzama Eğrisi



Şekil 3.7 Kompozit 2 Kuvvet-Uzama Eğrisi

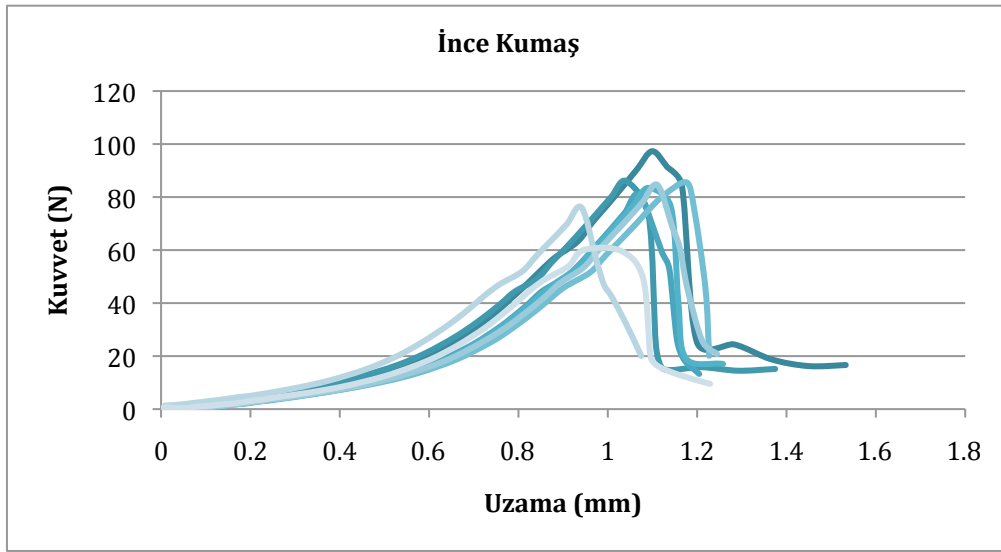


Şekil 3.8 Çekme Testi Sonrası Kompozit 2

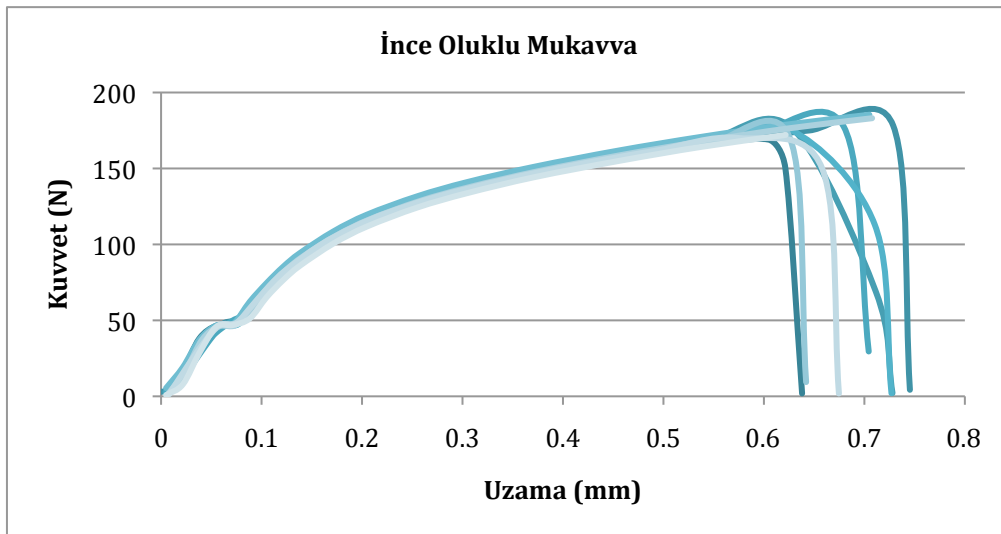
Kompozit 3

Tablo 3.3 Kompozit 3 ve Bileşenlerinin Test Sonuçları

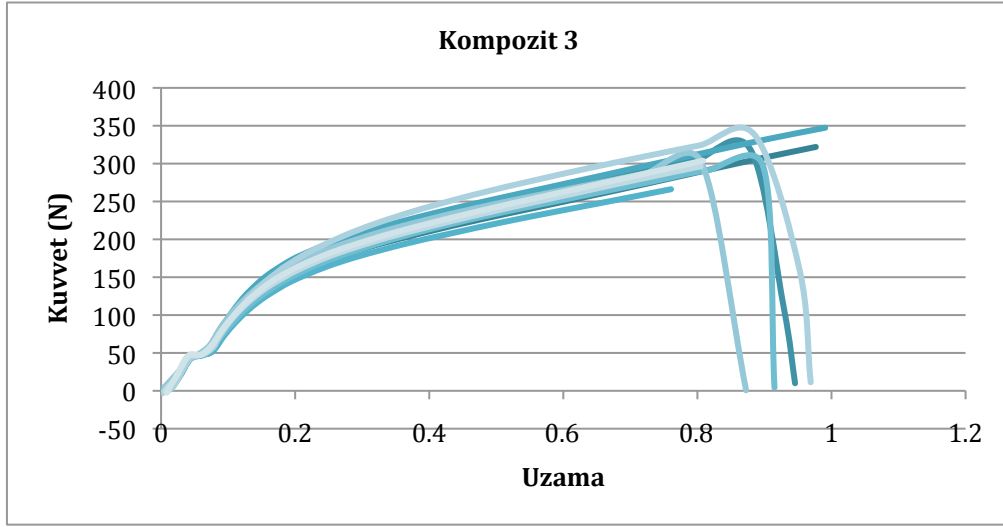
Numune	Numune Kalınlığı (mm)	Load at Max Load (kN)	Stress at Max Load (MPa)	% Strain at Max Load (%)	Young Modulus (MPa)
ince kumaş	0.3000	0.0848	11.3100	8.4930	310.70
ince oluklu mukavva	0.3000	0.1779	23.7300	5.3430	1,581.00
kompozit 3	1.6500	0.3113	7.5460	6.8830	384.00



Şekil 3.9 İnce Kumaş Kuvvet-Uzama Eğrisi



Şekil 3.10 İnce Oluklu Mukavva Kuvvet-Uzama Eğrisi



Şekil 3.11 Kompozit 3 Kuvvet-Uzama Eğrisi

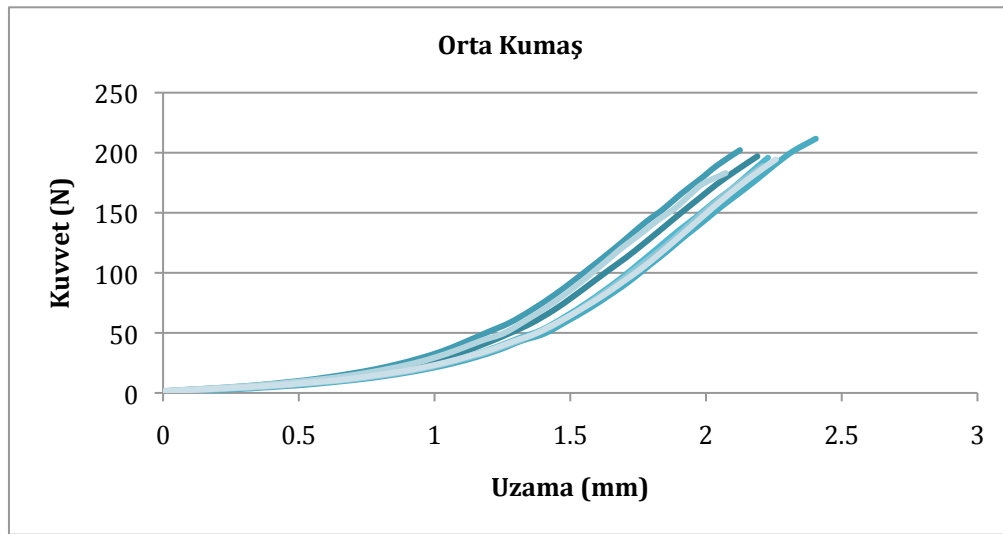


Şekil 3.12 Çekme Testi Sonrası Kompozit 3

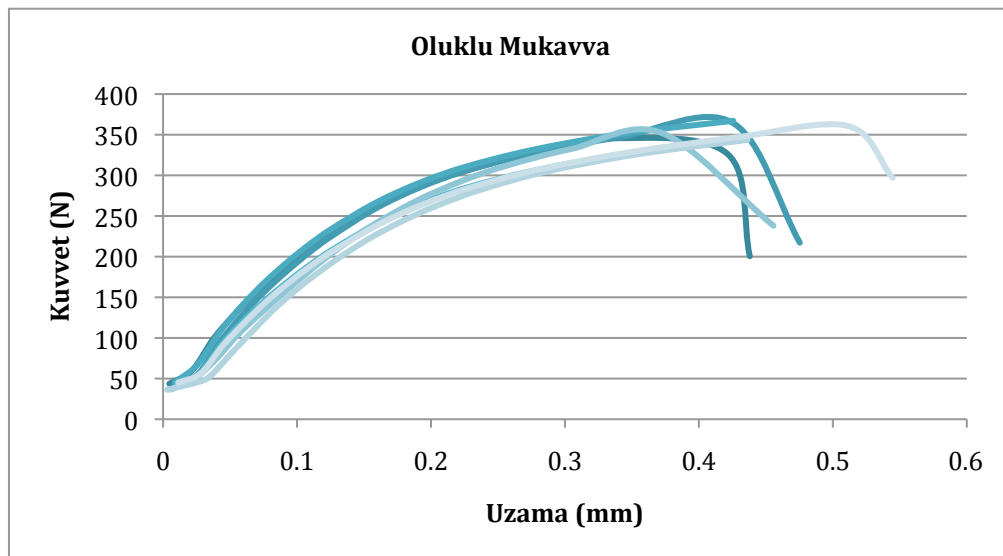
Kompozit 4

Tablo 3.4 Kompozit 4 ve Bileşenlerinin Test Sonuçları

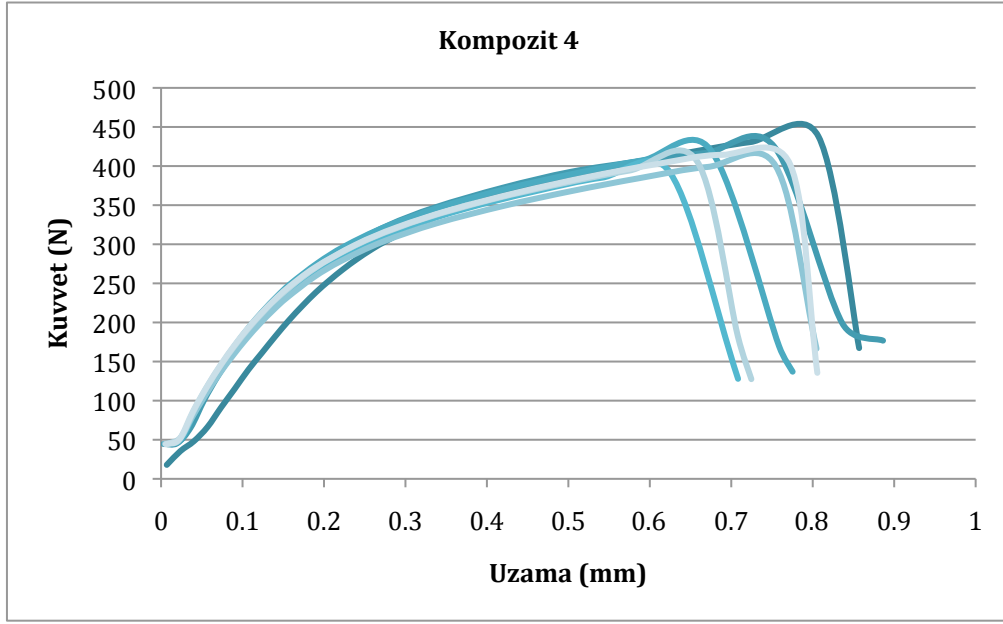
Numune	Numune Kalınlığı (mm)	Load at Max Load (kN)	Stress at Max Load (MPa)	% Strain at Max Load (%)	Young Modulus (MPa)
orta kumaş	0.4000	0.1991	19.9100	17.6000	241.30
oluklu mukavva	6.0000	0.3587	2.3910	3.5650	148.40
kompozit 4	6.6000	0.4144	2.5120	5.5440	132.30



Şekil 3.13 Orta Kumaş Kuvvet-Uzama Eğrisi



Şekil 3.14 Oluklu Mukavva Kuvvet-Uzama Eğrisi



Şekil 3.15 Kompozit 4 Kuvvet-Uzama Eğrisi

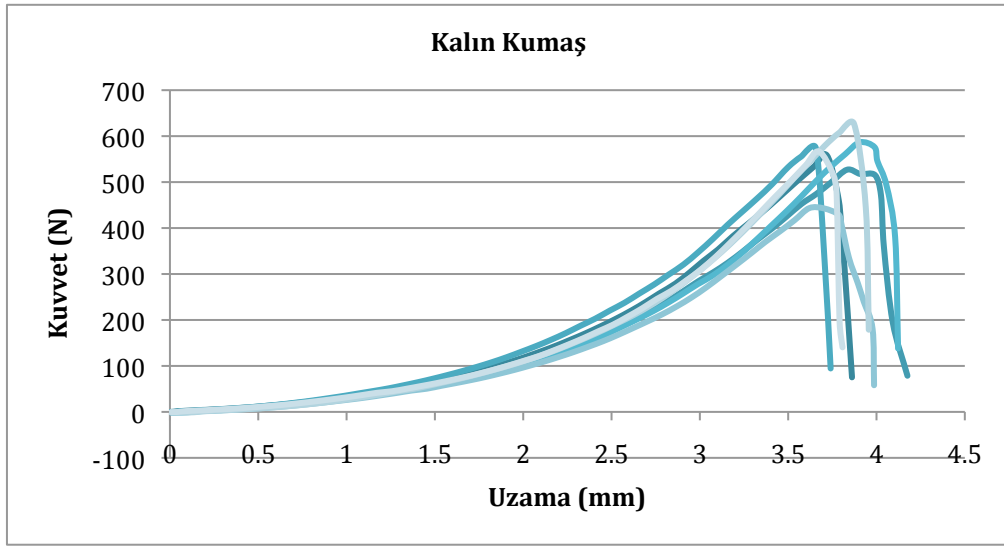


Şekil 3.16 Çekme Testi Sonrası Kompozit 4

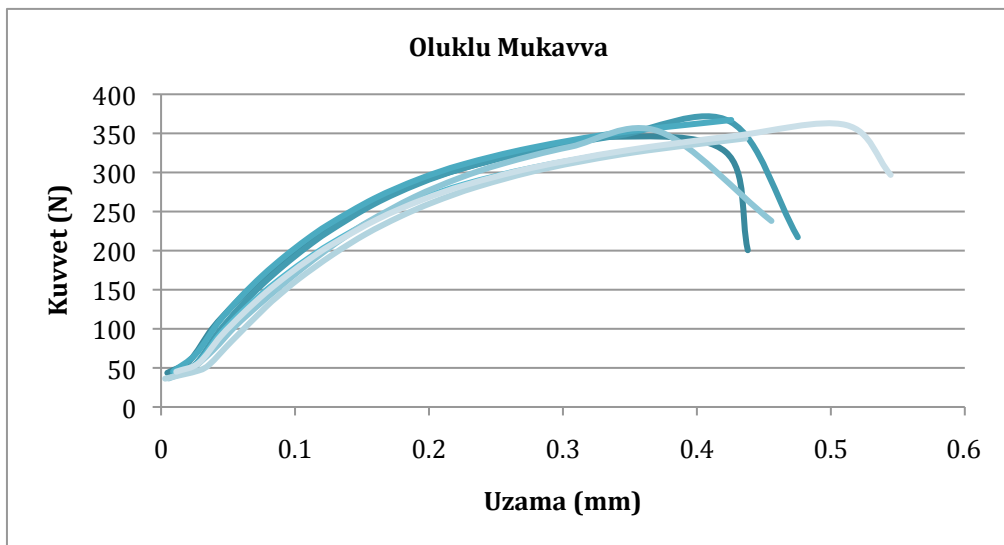
Kompozit 5

Tablo 3.5 Kompozit 5 ve Bileşenlerinin Test Sonuçları

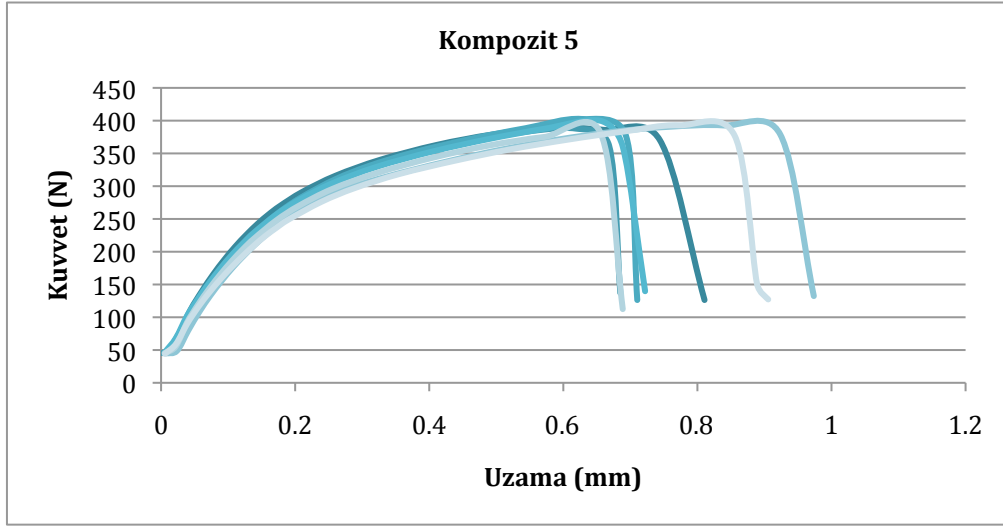
Numune	Numune Kalınlığı (mm)	Load at Max Load (kN)	Stress at Max Load (MPa)	% Strain at Max Load (%)	Young Modulus (MPa)
kalın kumaş	0.7800	0.5379	27.5900	30.5800	210.80
oluklu mukavva	6.0000	0.3587	2.3910	3.5650	148.40
kompozit 5	6.8000	0.3934	2.3140	5.4040	123.30



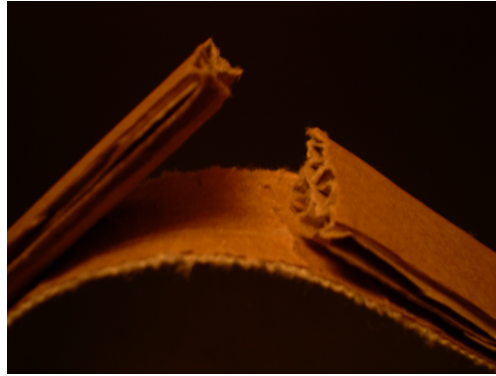
Şekil 3.17 Kalın Kumaş Kuvvet-Uzama Eğriai



Şekil 3.18 Oluklu Mukavva Kuvvet-Uzama Eğrisi



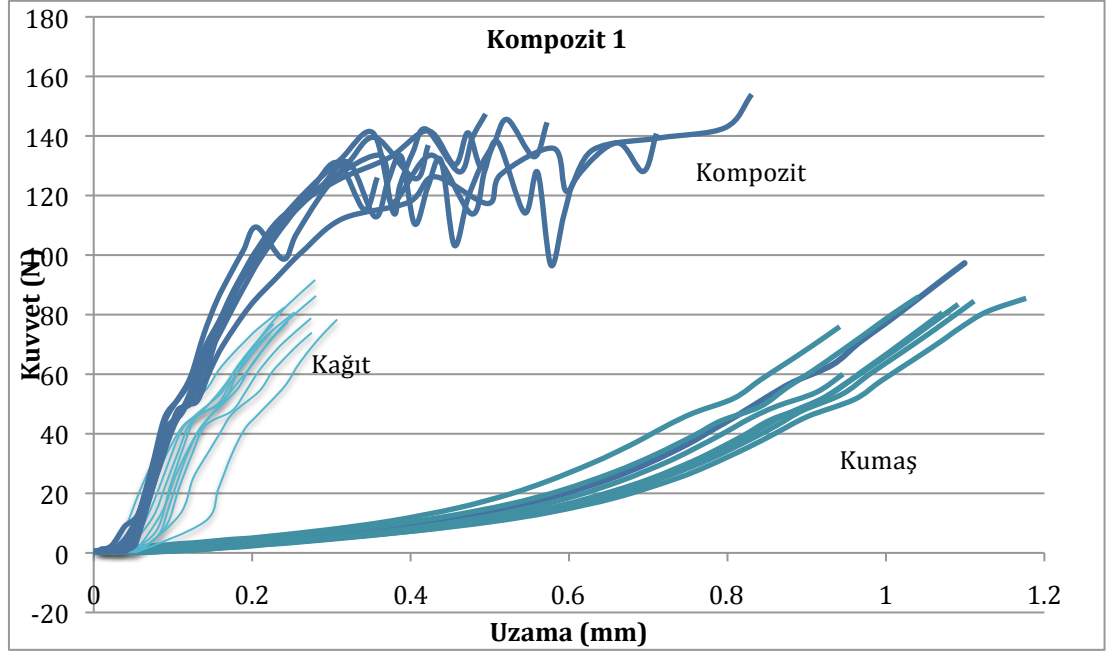
Şekil 3.19 Kompozit 5 Kuvvet-Uzama Eğrisi



Şekil 3.20 Çekme Testi Sonrası Kompozit 5

SONUÇ

Yapılan test sonuçları ile ilgili değişimleri daha net görmek amacıyla aşağıdaki grafikler incelenmelidir. Her bir kompozite ait grafikteki değerler, bileşenlerinin değerleri ile birlikte verilmiştir.

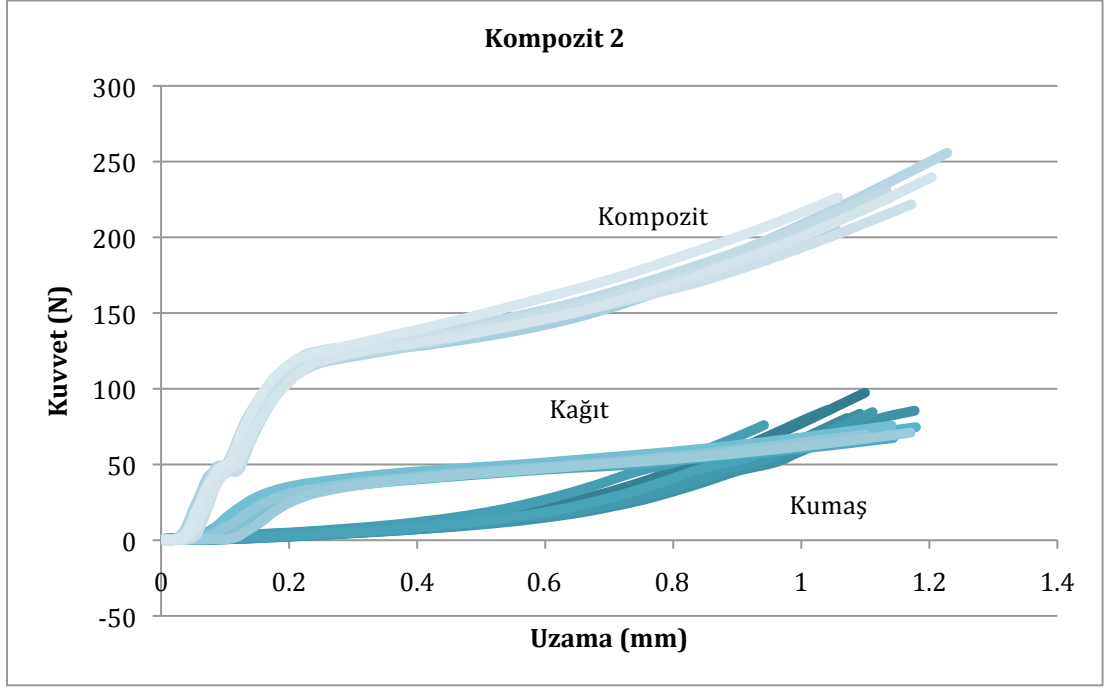


Şekil 4 Kompozit 1

Bu grafikte hem kumaş eğrilerini, hem kağıt eğrilerini hem de bu iki malzemenin birbirine yapıştırılmasıyla oluşturulan kompozitin eğrileri görülebilmektedir. Kumaş, esnek malzeme gibi davranarak kağıda göre yüksek uzama göstermiştir. Burada kullanılan kağıdın çok ince yapısından dolayı mukavemet değeri düşüktür. İnce yapıda ve yarısaydam olan eskiz kağıdı, lif bağlanmasının zayıf olduğu bölgelerden kopma davranışı gösterecektir. Kompozit malzemenin baskın özellikli olan kumaşa yakın davranış sergilenmesi beklenebilir. Fakat eğriler göstermiştir ki, kompozit malzemenin kuvvet - uzama eğrileri karakteristik olarak kağıda benzemektedir. Kumaş sünek malzeme özelliği gösterirken, kağıt ve kompozit kırılğan malzeme eğrisi vermişlerdir.

Kompozit malzemenin eğrisinde meydana gelen dalgalanmaların sebebi ise; kağıdın zayıf olan noktalardan kopması fakat kumaşın çekme testine devam etmesinin sonucudur. Kuvvet uygulanmasıyla beraber malzemede bir gerilme oluşur. Oluşan gerilmeler nedeniyle kağıt en zayıf noktasından kopma/yırtılma gösterir. Kumaş bu noktada kopmadığı için test devam eder. Gerilme artar, gerilmeye karşı kompozit malzemede mukavemet de artar. Bir sonraki zayıf nokta kopmasına kadar bu durum bu şekilde tekrarlanarak devam eder.

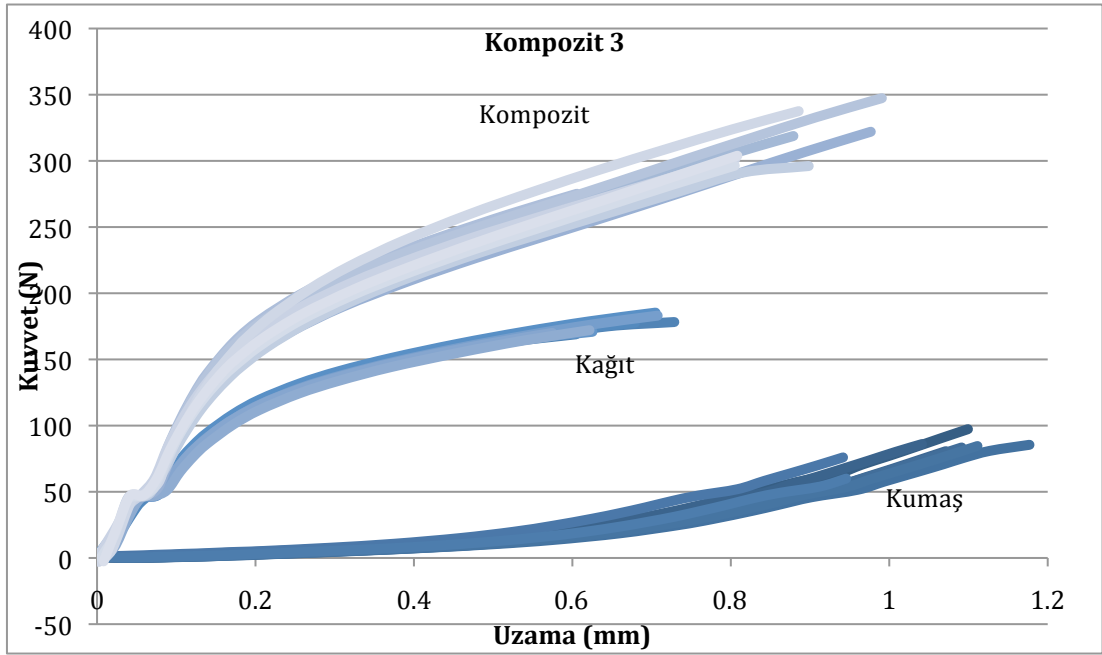
Buradan kolayca anlaşılacağı üzere, tutkalın kağıdı ve kumaşı birbirine çok iyi yapıştırdığı sonucu çıkar. Kullanım alanı olarak da hem kumaşların, hem de kağıtların yapıştırma işleminde tutkal verimli bir bağlayıcı malzemedir. Kompozit yapıda kağıt tabakasında kopmalar meydana gelir ama kağıttan ayrılma, yani delaminasyon meydana gelmez.



Şekil 5 Kompozit 2

Karton kağıdının eğrisi, eskiz kağıdının eğrisine göre hem çok daha kararlı bir yapı sergilemektedir, hem de çok daha esnek malzeme özelliği göstermektedir. Bu kompozit malzemedeki mukavemetin kumaşın ve kağıdın mukavemetinin çok üstünde çıkması kayda değer bir sonuçtur. Eskiz kağıdı ve ince kumaş kompozitine göre, karton kağıdı ve ince kumaş kompoziti çok daha uygun bir birleşme ortaya koymuşlardır. Mekanik özellikleri daha yakın olan bu iki malzemedeki oluşan kompozitin mukavemetinin bu şekilde yüksek çıkmasının ardından, özellikleri yakın iki malzemenin birleşmesinden çok daha iyi sonuçlar alındığı ortaya çıkmaktadır.

Kompozit yine kağıdın eğrisinin karakteristik özelliklerini taklit etse de, hem kumaştan hem de kağıttan çok daha fazla dayanım sergilemiştir. Aynı zamanda uzama değeri de bileşenlerinin uzama değerlerinden fazladır. Bu iki bileşende de yapışma özelliği çok iyidir, delaminasyon gerçekleşmemektedir. Ancak burada ince kağıtlarla çalışılmasının bir dezavantajı olarak yapışma sırasında hava kabarcıkları tamamen yok edilememektedir.

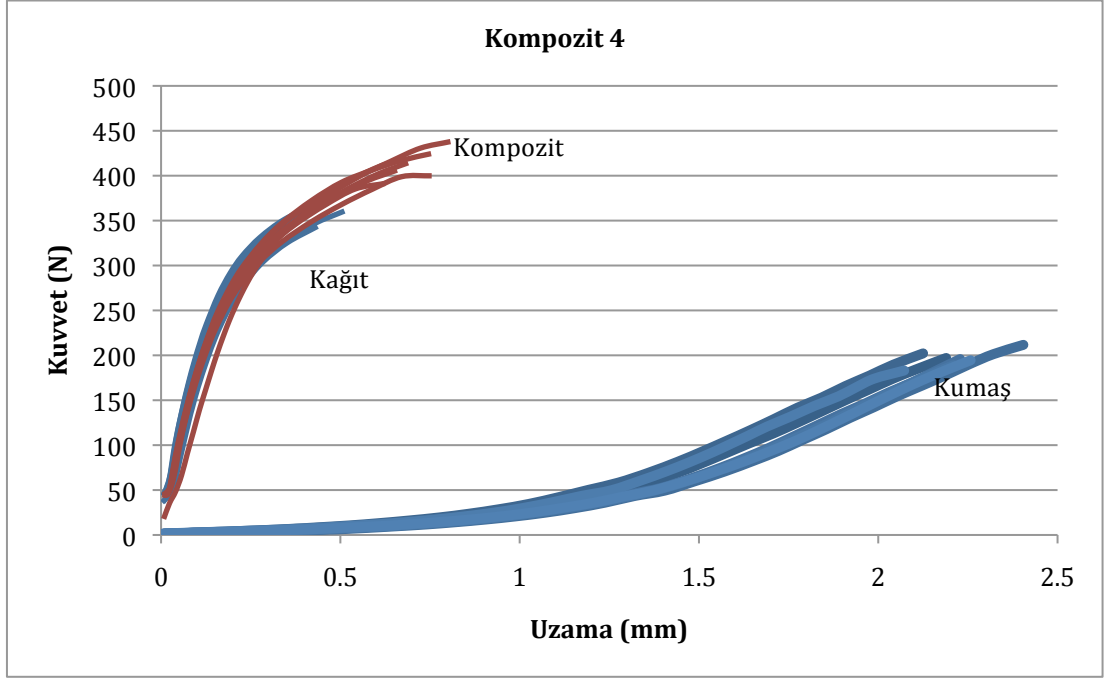


Şekil 6 Kompozit 3

İnce kumaş ve ince oluklu mukavva ile oluşturulan kompozit 3, yine bileşenlerinden daha yüksek bir dayadım göstermiştir. Kompozitin eğrisi yine kağıdın eğrisinin karakteristik özelliklerini taşımaktadır. Yapışma yine iyi düzeydedir, laminasyon görülmemektedir.

Oluşturulan kompozit malzeme, kumaşın 3 katı, kağıdın ise 1,5 katı yüke dayanabilmektedir. Uzama özelliği ise açıkça kağıttan daha fazladır. Bu kompozit malzemede taşıyıcılık görevi tamamen kumaşa değildir. Kağıt malzemenin de yapısı gereği yük taşıması en az kumaş kadardır. İlk iki kompozit malzemede kumaş taşıyıcılık görevini daha çok üstlenmektedir.

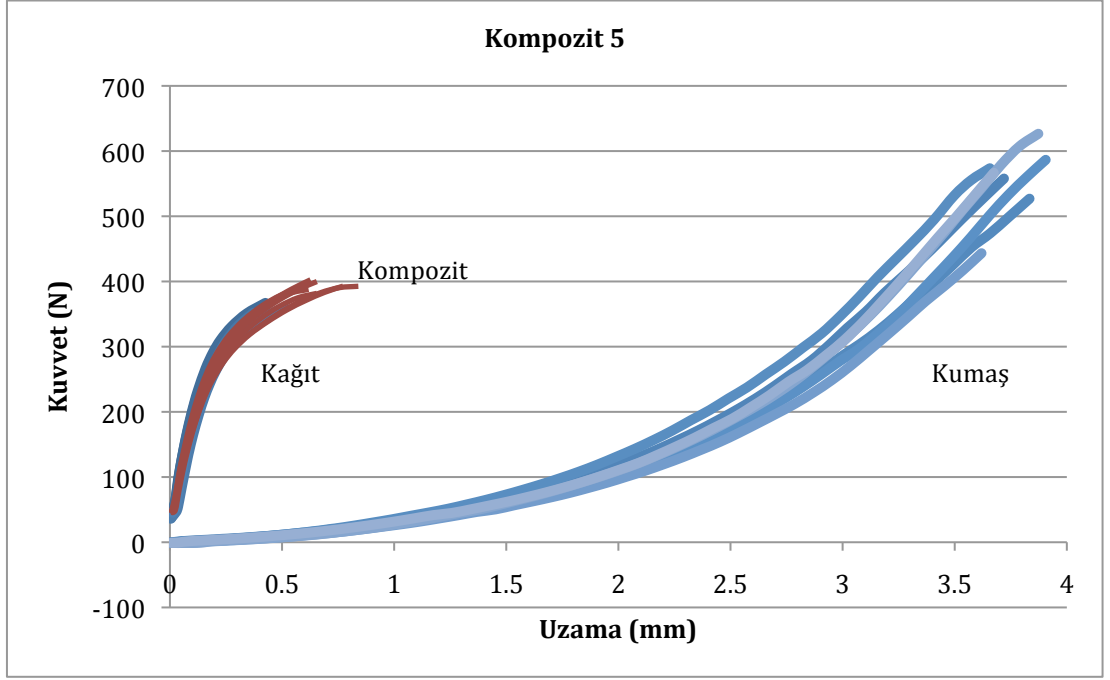
Kompozit malzemedeki lineer elastik bölgenin ardından bir boyun verme bölgesi görülmektedir. Kompozite bu özelliği veren ince oluklu mukavva, yani kağıttır. Elastik bölgenin çok küçük olduğu şaşırtan bir sonuç değildir, kağıt esnek malzeme sınıfına dahil değildir. Bu nedenle kısa bir süre sonra boyun verme görülür. Burada, kopma olmadan yapıda oluşan açılmaların eğriye etkisi görülmektedir.



Şekil 7 Kompozit 4

Kalın oluklu mukavva (iki kat oluk) ile orta kumaşın birleşiminden oluşan bu kompozitin eğrisi kağıt malzemenin eğrisi ile çakışmıştır. Kumaş kalın ve mukavemetli bir kumaş olduğundan, kopmadan önce nispeten yüksek bir uzama değeri vermiştir. Burada oluklu mukavva kompozit malzemeye özelliklerini veren baskın bileşen durumundadır. Kompozitin kağıttan daha fazla yüke dayanmasını sağlayan ise kumaştır. Yine kumaş, kompozit malzemeye bir miktar uzama özelliği de katmıştır.

Kompozit malzeme, boyun verme bölgesinden sonra kumaş devreye girerek yapının bozunmasını engellemiştir. Buradaki yapışma yine son derece iyidir ve delaminasyon görülmemektedir. Bu kompozit malzemelerde kağıt koparak testi sonuçlandırmıştır. Test sonunda kumaşlarda kopma meydana gelmemiştir. Kumaş bir miktar uzama özelliği katmış olsa bile, kompozit yapı asıl olarak kağıt malzemenin özelliklerini taşımaktadır.



Şekil 8 Kompozit 5

Çok daha kalın bir kumaşla oluklu mukavva malzemenin birleşiminden oluşan kompozit 5'in grafiği de şekildeki gibidir. Burada iki kumaş için, kompozitlere etkileri açısından belirgin bir fark bulunmamaktadır. Bunun bir sebebi de, seçilen kumaşın, oluklu mukavvaya göre daha mukavemetli olmasıdır.

Kompozitin eğrisi, kağıt malzemenin eğrisi ile çakışmaktadır, kumaşın etkisi ise, bir miktar uzama değerinin artması şeklinde görülebilir. Testler sırasında kağıt kopmaya uğrarken, kumaşlar kopma göstermemişlerdir.

Burada kullanılan bağlayıcı malzemenin etkisi de göz ardı edilmemelidir. Tutkal sertleşerek yapışma sağlar. Tutkalın iki malzemenin ayrılmasını önlediği çıkan sonuçlardan görülebilmektedir ve tutkalın sert yapısından dolayı mukavemet üzerinde pozitif etkisinin olduğu düşünülebilir.

Günlük hayatımızda sıklıkla kullandığımız bu iki malzemenin farklı özelliklerinden yararlanabilmek için bir araya getirilmesi ile elde edilen

sonuçlar kayda değerdir. Yapılan alışma sonucunda, uygun iki malzeme seçildiğinde oluşturulan kompozit malzemenin mekanik özellikleri belirgin bir Şekilde artmaktadır.

Çalışmada hedeflenen; kolay elde edilebilecek malzemelerle çeşitli özellikler elde etmek ve bu özelliklerden faydalanma Şeklini bulmaktır. Kumaş çok mukavim bir yapıya sahipken, çok da dökümlü bir yapıdadır. Katlanabilme, dikilebilme, yapışabilme dolayısıyla da kolay Şekillendirilebilme özelliğine sahiptir. Kumaş gibi düzlemsel olan kağıt ise, kumaş kadar mukavemetli değildir. Çoğu durumda kolayca yırtılabilmektedir. Kağıtın en büyük özelliği ise nem alımı sonrasında mukavemetinin belirgin bir Şekilde düşmesidir. Buna karşılık kumaşın nemle mukavemeti düşmez, aksine özellikle pamuklu kumaşlarda mukavemet nemle artabilmektedir.

Doğru seçilen bir bağlayıcı ile birleştirildiklerinde kumaş ve kağıtın uyum içerisinde hareket edebildiği görülmüştür. Bu sayede negatif özellikleri ortadan kaldırmak amaçlı bu tip kompozit yapıların kullanılabileceği sonucu çıkmaktadır.

Kumaş, nemden negatif etkilenen kağıtın dağılmasını, parçalanmasını önleyerek yapıyı bir arada tutacaktır. Aynı Şekilde kağıtın patlama mukavemetini de yükseltici etki edecektir. Kağıtın en önemli özellikleri olan, yırtılma, patlama mukavemeti gibi değerler kumaş ile takviyelendirme sonucunda yükseltilebilecek ve kullanım alanlarını genişletebilecektir.

Tüm bu olumlu etkilerin yanında, her iki malzemenin de boyanabilirlik özellikleri yüksektir. Hafif yapıya sahip olmaları da yine bir avantajdır.

Yapılacak ileriki çalışmalarda, bu iki malzemenin nem altında davranışlarının incelenmesi sonucu, kağıt ve kumaşın bir araya gelmesiyle oluşan kompozit yapı için yeni kullanım alanları belirlenebilir.

KAYNAKLAR

- 1) ALAR, G. 2002. Tabakalı Kompozit Plaklarda Sonlu Eleman Yöntemiyle Elastik Plastik Gerilme Analizi. Erzurum, 155 s.
- 2) ARAN, A. 1990. Elyaf Takviyeli Karma Malzemeler. İstanbul.
- 3) DOĞANAY, S. 2007. Lif Takviyeli Marina Kompozitlerin Aşınma ve Yorulma Davranışının İncelenmesi. Bursa, 90 s.
- 4) DURSUN, T. 2006. Cıvata Bağlantılı Tabakalı Kompozit Levhalarda Hasar Analizi. Ankara, 194 s.
- 5) EKREM, M. 2006. Cam Kumaş Takviyeli Termoplastik Kompozitlerin Mekanik Özellikleri ve Kırılma Davranışları. Konya, 108 s.
- 6) GAGGAR, S. K., BROUTMAN, L. J. 1975. Effect of Crack Tip Damage on Fracture of Random Fiber Composites. Materials Science and Engineering, Vol 21, p. 177-183.
- 7) GENÇ, M. S. 2005. Yapıştırıcı ile Birleştirilmiş Tek Yönlü Tabakalı Kompozit Tek Bindirme Bağlantılarında Hasar Oluşumu ve Gelişimi. Kayseri, 219 s.
- 8) HAMMOND, J. J. 1990. Ağaç İşleri Teknolojisi, 554 s.
- 9) JONES, R. M. Mechanics of Composite Materials. Taylor and Francis, New York, p. 147-235.
- 10) KARA, M. 2006. Düşük Hızlı Darbeye Maruz Tabakalı Kompozitlerin Dinamik Cevabı. Konya 93 s.
- 11) KARADENİZ, E. 1989. Elyaf Takviyeli Plastik Kompozitlerin Mukavemeti. İstanbul, 83 s.
- 12) KARAKAYA, Ş. 2007. Tabakalı Kompozit Plakların Gelişmiş Global Optimizasyonu Teknikleriyle Yapısal Optimizasyonu. Afyon, 98 s.
- 13) KİNİT, A. 2008. Tabakalı Kompozit Malzemelerin Serbest Titreşim Analizi. İzmir, 31 s.
- 14) KORKMAZ, B. 1987. Kompozit Malzemeler Yüksek Lisans Tezi. Bursa.
- 15) KÖŞKER, R. 2002. Tek Yönlü Lifli Elastik ve Viskoelastik Kompozitlerin İç Stabilitesi ve Gerilme Durumuna Ait Bazı Problemler. İstanbul, 149 s.

- 16) LAUKE, B., POMPE, W. 1986. Fracture Toughness of Short Fibre Reinforced Thermoplastics. Compos Sci Technol, Vol 26, No 1, p. 37-57.
- 17) ÖZEN, R. 1978. Ağaç Malzeme Yapıştırıcı Malzemeleri Ders Notları, Trabzon.
- 18) PARHİZGAR, S., ZACHARY, L. W., SUN, C. T. 1982. Determination of Fracture Toughness of Unidirectionally Fiber Reinforced Composites. Fracture of Composite Materials, Proceedings of the Second USA USSR Symposium, Bethlehem, PA, Netherlands, p. 215-230.
- 19) SAKİN, R. 1994. Düzlemsel Rastgele Dağılımlı Keçe Elyafı ile Takviyeli Kompozit Malzemede Kırılma Tokluğunun Elyaf Hacmi Elyaf Yönlenmesi ve Deformasyon Hızı ile Değişiminin Saptanması. Balıkesir, 219 s.
- 20) SELBO, M.L. 1975. Adhesi and Bonding of Wood. Dep. Agr. Technical Bulletin, no: 1512, p. 1-3
- 21) SOLMAZ, M. Y., GÜR, M. 2007. Tabakalı Kompozit Plakalarda Takviye Malzemesi ve Oryantasyon Açısının Gerilme Analizine Etkisi. Doğu Anadolu Bölgesi Araştırmaları, Elazığ, s. 16-25.
- 22) ŞAHİN, Y. 2000. Kompozit Malzemeler Giriş. Ankara
- 23) ŞAHİN, M. 2008. Burkulmaya Maruz Tabakalı Kompozit Plakların Deneysel ve Nümerik Analizi. Sivas, 78 s.
- 24) TAŞ, H. H. 2000. Ahşap Esaslı Levhalarda Köşe Birleştirme Tipi ve Tutkal Çeşidinin Diyagonal Basma ve Çekme Direncine Etkileri. Isparta, 59 s.
- 25) TÜRKMEN, H. S. 1997. Katmanlı Kompozit Panellerin Anlık Basınç Yüküne Dinamik Cevabı. İstanbul, 90 s.
- 26) ULCAI, Y. 2002. Polimer Esaslı Lif Takviyeli Kompozit Malzemelerin Arabirim Mukavemeti Üzerine Farklı Kür Metotlarının İncelenmesi. Bursa.
- 27) UZMAN, İ., YAYLA P. 1987. Elyaf Takviyeli Kompozit Malzemelerde Tabaka Ayrılması. Üçüncü Ulusal Kırılma Konferansı Bildirileri, Trabzon, s. 109.
- 28) ÜNAL, A., KELEŞOĞLU, E. 1991. Farklı Destekli CTP'de Kırılma Tokluğunun Fiber Yönüne Bağlı Olarak Değişimi. Üçüncü Ulusal Kırılma Konferansı Bildirileri, İstanbul, 187 s.

29) WU, E. M. 1967. Application Fracture Mechanics to Anisotropic Plates.
Trans Asme J Appl Mech, Vol 34, No 4, p. 967-974.

30) <http://www.hho.edu.tr/huten/2003>

ÖZGEÇMİŞ

1984 Çanakkale doğumlu yazar, ilk ve orta öğrenimini Bursa Özel İlkbahar İlköğretim Okulu'nda burslu olarak tamamlamıştır. Fen Lisesi sınavlarında Türkiye genelinde ilk 1500 kişi arasına girerek Bursa Özel Nilüfer Fen Lisesi'nde burslu okumaya hak kazanarak, buradaki öğrenimini 2002 yılında tamamlamıştır. 2006 yılında Uludağ Üniversitesi Tekstil Mühendisliği'nden mezun olan yazar, özel bir şirkette yurtdışı satınalma sorumlusu olarak görev yapmaktadır.