

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**FARKLI KARBON TEKSTİLLERİYLE VE REÇİNELERLE OLUŞTURULAN
KARBON KOMPOZİTLERİN KARAKTERİZASYONU**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

SEVİM ÖRS

Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı

Kimya Mühendisliği Programı

TEMMUZ 2014

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**FARKLI KARBON TEKSTİLLERİYLE VE REÇİNELERLE OLUŞTURULAN
KARBON KOMPOZİTLERİN KARAKTERİZASYONU**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**SEVİM ÖRS
506101040**

Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı

Kimya Mühendisliği Programı

**Tez Danışmanı: Prof. Dr. Ahmet SİRKECİOĞLU
Eş Danışman: Prof.Dr. M.Ferhat YARDIM**

TEMMUZ 2014

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 506101040 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi **Sevim ÖRS**, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “**FARKLI KARBON TEKSTİLLERİYLE VE REÇİNELERLE OLUŞTURULAN KARBON KOMPOZİTLERİN KARAKTERİZASYONU**” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Prof. Dr. Ahmet SİRKECİOĞLU**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Eş Danışman : **Prof.Dr. M.Ferhat YARDIM**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Prof. Dr. Hüsnü Atakül**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Prof. Dr.Yuda Yürüm
Sabancı Üniversitesi

Prof. Dr.Mualla Öner
Yıldız Teknik Üniversitesi

Teslim Tarihi : **11 Temmuz 2014**
Savunma Tarihi : **16 Temmuz 2014**

ÖNSÖZ

Bu tezin başından beri benden desteğini ve sabrını esirgemeyen değerli danışman hocalarım Prof. Dr. Ahmet Sirkecioğlu ve Prof. Dr. Ferhat Yardım’a teşekkürlerimi sunarım.

Çalışma boyunca beni destekleyen ve yalnız bırakmayan Annem’e, kardeşlerime ve arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Varlığını ve desteğini hep yanımda hissettiğim babama teşekkür ederim.

Bilime, eğitim ve çalışanına verdiği değerden dolayı METYX Composites ailesine canı gönülden teşekkür ederim.

Mayıs 2014

Sevim ÖRS
(Kimya Mühendisi)

İÇİNDEKİLER

Sayfa

İÇİNDEKİLER.....	vii
KISALTMALAR.....	ix
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xi
TERMİNOLOJİ.....	xiii
ŞEKİL LİSTESİ.....	xv
ÖZET.....	xvii
SUMMARY.....	xix
1. GİRİŞ.....	23
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI.....	29
2.1 Karbon Elyaf Takviyeli Kompozit Malzemeler.....	29
2.1.1 Polymer matrisli karbon kompozit malzemeler.....	9
2.1.2 Karbon-metal matrisli kompozitler.....	23
2.1.3 Karbon-seramik matrisli kompozitler.....	24
2.1.4 Karbon-karbon matrisli kompozitler.....	24
2.2 Karbon Elyaf Kumaş Çeşitleri.....	47
2.2.1 Dokuma örgüler.....	47
2.2.2 Çok yönlü (multiaxial) örgüler.....	48
2.2.3 Karbon spreading (yayma) teknolojisi.....	51
2.3 Kompozit Üretim Yöntemleri.....	53
2.3.1 El yatırma yöntemi.....	53
2.3.2 Sprey kalıplama / püskürtme.....	54
2.3.3 İplik sarma.....	55
2.3.4 İnfüzyon.....	55
2.3.5 Reçine transfer yöntemi (RTM).....	56
2.4 Kompozit Malzemelerin Karakterizasyonu.....	56
2.4.1 Mekanik karakterizasyon.....	57
2.4.2 Yüzey karakterizasyonu.....	61
2.4.3 Termal karakterizasyon.....	62
3. DENEYSEL ÇALIŞMA.....	65
3.1 Amaç.....	65
3.2 Deneyde Kullanılan Malzemeler, Alet ve Cihazlar.....	65
3.3 Vakum İnfüzyon.....	71
4. SONUÇLAR.....	77
4.1 Karbon Elyaf Kompozitlerin Farklı Gramaj, Yayılma Tex (Spread Tow), Reçine ve Kumaş Tiplerinin Karakterizasyonu.....	77
4.1.1 Farklı Gramajlarda Üretilen Kompozitlerin İncelenmesi.....	77
4.1.2 Spread Edilmiş Kumaşlardan Elde Edilen Kompozitlerin Karşılaştırılması.....	81
4.1.3 Farklı Tür Kumaşlar ile Üretilen Kompozit Malzemelerin Karşılaştırılması.....	89
4.2 Farklı Açılarda Yerleştirilmesi ile Elde Edilen Kompozitlerin İncelenmesi....	97

4.3 Taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile Yüzey Karakterizasyonu	112
5. GENEL SONUÇLAR.....	117
KAYNAKLAR.....	119
ÖZGEÇMİŞ.....	123

KISALTMALAR

CLT600S_E	: 600gr,0°/90° Yönlü,spread edilmiş, multiaksiyel,epoksi ile üretilmiş karbon kompozit
CLT600_E	: 600gr,0°/90° Yönlü,spread edilmemiş, multiaksiyel,epoksi ile üretilmiş karbon kompozit
CW600_E	: 600gr,Spread edilmemiş, Dokuma,epoksi ile üretilmiş karbon kompozit
CLT600_VE	: 600gr,0°/90° Yönlü,spread edilmemiş, multiaksiyel,vinilester ile üretilmiş karbon kompozit
CLT600S_VE	: 600gr,0°/90° Yönlü,spread edilmiş, multiaksiyel,vinilester ile üretilmiş karbon kompozit
CW600_VE	: 600gr,Spread edilmemiş, Dokuma,vinilester ile üretilmiş karbon kompozit
CLT300S_E	: 300gr,0°/90° Yönlü,spread edilmiş, multiaksiyel,epoksi ile üretilmiş karbon kompozit
CT300S_E_0°	: 300gr,0° Yönlü,spread edilmiş, multiaksiyel,epoksi ile üretilmiş karbon kompozit
CT150S_E_0°	: 150gr,0° Yönlü,spread edilmiş, multiaksiyel,epoksi ile üretilmiş karbon kompozit
CT150S_E_5°	: 150gr,5° Yönlü,spread edilmiş, multiaksiyel,epoksi ile üretilmiş karbon kompozit
CT150S_E_10°	: 150gr,10° Yönlü,spread edilmiş, multiaksiyel,epoksi ile üretilmiş karbon kompozit
CT150S_E_15°	: 150gr,15° Yönlü,spread edilmiş, multiaksiyel,epoksi ile üretilmiş karbon kompozit
CT150S_E_20°	: 150gr,20° Yönlü,spread edilmiş, multiaksiyel,epoksi ile üretilmiş karbon kompozit
CT150S_E_25°	: 150gr,25° Yönlü,spread edilmiş, multiaksiyel,epoksi ile üretilmiş karbon kompozit
CT150S_E_30°	: 150gr,30° Yönlü,spread edilmiş, multiaksiyel,epoksi ile üretilmiş karbon kompozit
CT150S_E_35°	: 150gr,35° Yönlü,spread edilmiş, multiaksiyel,epoksi ile üretilmiş karbon kompozit
CT150S_E_40°	: 150gr,40° Yönlü,spread edilmiş, multiaksiyel,epoksi ile üretilmiş karbon kompozit
CT150S_E_45°	: 150gr,45° Yönlü,spread edilmiş, multiaksiyel,epoksi ile üretilmiş karbon kompozit
CT150S_E_90°	: 150gr,90° Yönlü,spread edilmiş, multiaksiyel,epoksi ile üretilmiş karbon kompozit
Tg	:Camsı Geçiş Sıcaklığı

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 1.1 : Bazı liflerin ve metallerin çekme dayanımı ve çekme modülleri.....	3
Çizelge 2.1 : Bazı termoset malzemelerin mekanik ve fiziksel özellikleri.....	17
Çizelge 3.1 : 12 K karbon elyafın teknik özellikleri	44
Çizelge 3.2 : 24 K karbon elyafın teknik özellikleri	44
Çizelge 3.3 : Çalışmada kullanılan karbon kumaş özellikleri.....	45
Çizelge 4.1 : Farklı gramajlarda üretilen kumaşların özellikleri	55
Çizelge 4.2 : Kuponların çekme testi sonuçları	56
Çizelge 4.3 : Kuponların ortalama çekme testi sonuçları.....	56
Çizelge 4.4 : Kuponların basma testi sonuçları.....	57
Çizelge 4.5 : Kuponların ortalama basma testi sonuçları	58
Çizelge 4.7 : Farklı yöntemlerle (spread – nonspread) ve Vinilester reçine ile üretilen kumaşların özellikleri	59
Çizelge 4.8 : Kuponların çekme testi sonuçları	60
Çizelge 4.9 : Kuponların ortalama çekme testi sonuçları.....	60
Çizelge 4.10 : Kuponların basma testi sonuçları.....	61
Çizelge 4.11 : Kuponların ortalama basma testi sonuçları	61
Çizelge 4.12 : Farklı yöntemlerle (spread-nonspread) üretilen kumaşların karşılaştırma analizleri	62
Çizelge 4.13 : Farklı yöntemlerle(spread – nonspread) üretilen kumaşların özellikleri	63
Çizelge 4.14 : Kuponların çekme testi sonuçları	64
Çizelge 4.15 : Kuponların ortalama çekme testi sonuçları.....	64
Çizelge 4.16 : Kuponların basma testi sonuçları.....	65
Çizelge 4.17 : Kuponların ortalama basma testi sonuçları	65
Çizelge 4.18 : Farklı yöntemlerle (spread-nonspread) ve Epoksi reçine ile üretilen kompozit malzemelerin karşılaştırma analizleri.....	66
Çizelge 4.19 : Farklı dokuma tipleri ile üretilen kumaşların özellikleri.....	67
Çizelge 4.20 : Kuponların çekme testi sonuçları	68
Çizelge 4.21 : Kuponların ortalama çekme testi sonuçları.....	68
Çizelge 4.22 : Kuponların basma testi sonuçları.....	69
Çizelge 4.23 : Kuponların ortalama basma testi sonuçları	69
Çizelge 4.24 : Farklı dokuma tipleri ve Vinilester reçine ile üretilen kompozit malzemelerin karşılaştırma analizleri.....	70
Çizelge 4.25 : Farklı dokuma tipleri ile üretilen kumaşların özellikleri.....	71
Çizelge 4.26 : Kuponların çekme testi sonuçları	72
Çizelge 4.27 : Kuponların ortalama çekme testi sonuçları.....	72
Çizelge 4.28 : Kuponların basma testi sonuçları.....	73
Çizelge 4.29 : Kuponların ortalama basma testi sonuçları	73
Çizelge 4.30 : Farklı dokuma tipleri ile üretilen kumaşların karşılaştırma analizleri	74
Çizelge 4.31 : Farklı açılar ile üretilen kumaşların özellikleri.....	76
Çizelge 4.32 : Kuponların çekme testi sonuçları (0 ⁰ - 25 ⁰)	79

Çizelge 4.33 : Kuponların çekme testi sonuçları ($30^0 - 90^0$)	80
Çizelge 4.34 : Kuponların ortalama çekme testi sonuçları ($0^0 - 25^0$)	81
Çizelge 4.35 : Kuponların ortalama çekme testi sonuçları ($30^0 - 90^0$)	82
Çizelge 4.36 : Kuponların basma testi sonuçları ($0^0 - 25^0$)	85
Çizelge 4.37 : Kuponların basma testi sonuçları ($30^0 - 90^0$)	86
Çizelge 4.38 : Kuponların ortalama basma testi sonuçları ($0^0 - 25^0$)	87
Çizelge 4.39 : Kuponların ortalama basma testi sonuçları ($30^0 - 90^0$)	88
Çizelge 4.40 : Farklı açılar ile üretilen kumaşların karşılaştırma analizleri	89

TERMİNOLOJİ

Teks: 1 kilometre fiberin (lifin) ağırlığıdır.

Gramaj: 1 metrekare kumaşın ağırlıdır.

Dokuma: Dokuma, belli kaidelere göre iki iplik sisteminin dik açı yaparak çaprazlamasından oluşan bir tekstil işlemidir. Meydana gelen iplik çaprazlamasına bağlama veya örgü (doku) adı verilir.

Multiaksiyel: Elyafların, belirli açılarda, birbirileri üzerine dikilmesi ile oluşturulmuş kumaşlardır.

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1 : Kompozit malzemenin çekme uzama eğrisi	2
Şekil 1.2 : Kompozit sektörünün yıllara göre gelişimi.....	4
Şekil 2.1 : Kompozit malzemelerin ana elemanları	7
Şekil 2.2 : Kompozit malzeme mikro yapısının şematik gösterimi	42
Şekil 2.3 : PAN ve Zift prosesleri ile karbon fiber üretimi.....	14
Şekil 2.4 : Çekme dayanımı ve elastik modülü üzerine sıcaklığın etkisi	16
Şekil 2.5 : Termoset moleküllerin kür işlemi sırasında çapraz bağlanması	18
Şekil 2.6 : İzofthalik polyeesterin ideal kimyasal yapısı.....	20
Şekil 2.7 : Epoksi bazlı vinilesterin kimyasal yapısı.....	20
Şekil 2.8 : Alfa epoksi	21
Şekil 2.9 : Epoksi molekülünün ideal kimyasal yapısı.....	22
Şekil 2.10 : Düz (plain) dokuma	25
Şekil 2.11 : Twill dokuma.....	25
Şekil 2.12 : Tek yönlü örgüler	26
Şekil 2.13 : 0°/90° (solda) ve +45°/-45° (sağda) açılı biaxial cam elyaf örgüler	27
Şekil 2.14 : 0°/+45°/-45° diziliminde bir triaxial kumaş yapısı	27
Şekil 2.15 : Karbon spreading teknolojisi.....	29
Şekil 2.16 : Spread edilmiş ipliklerle üretilmiş biaksial karbon kumaş	29
Şekil 2.17 : Kompozit malzemenin oluşumu	30
Şekil 2.18 : El yatırma yöntemi.....	31
Şekil 2.19 : Sprey kalıplama yöntemi.....	32
Şekil 2.20 : Reçine transfer yöntemi (RTM)	33
Şekil 2.21 : Karbon Kompozitlerde görünen hata çeşitleri.....	39
Şekil 3.1 : Spiral hortum.....	46
Şekil 3.2 : Delikli ayırıcı film	46
Şekil 3.3 : Reçine kaçış kabı	47
Şekil 3.4 : Vakum pompası.....	47
Şekil 3.5 : Çekme cihazı	48
Şekil 3.6 : Vakum infüzyon prosesi	49
Şekil 3.7 : Referans çizgisi belirlenmiş karbon kumaş.....	50
Şekil 3.8 : Tartımı alınan karbon kumaş.....	50
Şekil 3.9 : Tebleme işlemi	53
Şekil 3.10 : Kuponların kesilmesi	53
Şekil 3.11 : Plaka kalınlık ve sertlik ölçümleri.....	54
Şekil 4.1 : CLT150-15° Numunesinin SEM görüntüleri.....	90
Şekil 4.2 : CLT150-15° Numunesinin SEM görüntüleri.....	90
Şekil 4.3 : CLT150-45° Numunesinin SEM görüntüleri.....	91
Şekil 4.4 : CLT600° Numunesinin SEM görüntüleri.....	92
Şekil 4.5 : CLT600° Numunesinin SEM görüntüleri.....	92
Şekil 4.6 : CLT600° Numunesinin SEM görüntüleri.....	93

Şekil 4.7 : CLT600° Numunesinin SEM görüntüleri.....	93
---	-----------

FARKLI KARBON TEKSTİLLERİYLE VE REÇİNELERLE OLUŞTURULAN KARBON KOMPOZİTLERİN KARAKTERİZASYONU

ÖZET

Havacılık, uzay ve savunma gibi endüstrideki hızlı teknolojik gelişim ve artan rekabet, yüksek performansa sahip ürünlerin tasarlanmasına, bu durumda da hafif ve yüksek mukavemetli malzemelerin gerekli kılınmıştır. Bu ihtiyaca cevap vermek üzere, 1950 yılından itibaren kompozit malzemeler üretilmeye başlanılmış ve gün geçtikçe kullanım alanları giderek yaygınlaşmıştır.

Kompozit malzemeler, sağladıkları avantajlar ve uygulama alanlarındaki çeşitlilik dolayısı ile bugün tekstil dünyasında önemli bir yer işgal etmektedir. Kompozit tekstilinin neredeyse sonsuz bir konfigürasyonda üretilebilme imkanı, bu konuda yeni araştırmalara ve gelişmelere yol açmıştır. Kullanılan matris elemanı ve takviye elemanı, kompozitlerin karakterizasyonunu birebir etkilediğinden dolayı bu çalışmada bu değişiklikler ortaya koyulmuştur.

Kompozitler iki temel bileşenden oluşurlar: bağlayıcı veya matris ve takviye elemanı. Takviye elemanı kompozit maddede mukavemet ve sertlik sağlarken, matrisin yapı içerisinde birden fazla görevi vardır. Matris, takviye elemanını bir arada tutan bağlayıcı görevi görür, onu çevresel etkenlere karşı korur ve dışarıdan gelen etki ve yükleri takviye elemanına iletir. Aynı zamanda takviye elemanını yönlendirerek yapıyı bir arada tutmaya yardımcı olur. Matris ve Takviye Elemanı bu yapının içerisinde kendi kimyasal ve fiziksel özelliklerini korurken, oluşturdukları yapıya bu özelliklerden bağımsız, farklı özellikler katarlar.

Kompozit malzemeler, farklı şekil ve boyutlarda üretilebilirler. Bu sayede; yüksek mukavemet, sertlik ve korozyona karşı dayanım gibi üstün özelliklerini bir çok farklı alanda kullanabilirler. Bu çalışmada, sahip olduğu yaygın kullanım alanı ve üstün özellikler nedeniyle polimer matris - karbon kompozit malzeme seçilmiştir.

Vakum infüzyon yöntemiyle, farklı tekstiller ve reçineler kullanılarak üretilen karbon kompozitlerin karakterizasyonu, çekme testi, sertlik ve kompozit malzemenin elyaf oranı ile belirlenmiştir.

Bu çalışmada, karbon kumaşların gramaj farklarının kompozit özelliklerini ortaya koymak için 150 gr/m² ve 300 gr/m² kumaşlardan üretilen kompozit malzemelerin karakterizasyonu yapılmıştır ve gramajı düşük olan kumaşın daha iyi çekme ve basma dayanımına sahip olduğu görülmüştür.

Daha sonra, karbon kumaş tekstilinde yeni bir üretim tekniği olan yayılmış(spread) elyaf bu teknolojiye sahip olmayan aynı gramajdaki karbon kumaşlarla karşılaştırılmıştır. Yayılmış elyaf yöntemi ile hazırlanan kumaşların daha kapalı bir yüzey oluşturmamasından dolayı, kompozit malzemenin daha homojen bir elyaf-reçine dağılımı gösterdiği bilinmektedir. Epoksi ve Vinilester reçine kullanılarak yapılan karşılaştırmada, her iki reçine içinde, yayılmış elyaf ile üretilen kompozit malzemenin daha iyi sonuç verdiği gözlemlenmiştir.

Karbon Elyaf tekstilinde kullanılan diğ er bir tekstil türü dokuma ve multiaksiyel oluşudur. Dokuma kumaşlarda elyaflar biri arasından geçirilerek birbirine tutturulur. Multiaksiyel kumaşlarda ise elyaflar, belirli açılarda, birbirileri üzerine dikilmesi ile oluşturulur. Bu çalışmada, dokuma ve multiaksiyel olarak üretilen karbon kumaşlar hem epoksi hem de vinilester reçine ile üretilmiştir. Dokuma kumaşlara göre daha az kumaş boşluğu içeren multiaksiyel kumaşların her iki reçinede de daha iyi sonuç verdiği g r lm ştir.

Kompozit sektöründe bir problem olarak bilinen elyaf yönünün kalıba doğru yerleştirilememesi, kompozit malzemenin mekanik özelliklerini değiştirdiği bilinmektedir. Bu çalışmada, farklı a ı sapmalarıyla oluşturulan karbon kompozit plakaların karakterizasyon değişiklikleri ortaya konmuştur. Elyaf yönlerinin, 0^0 den 45^0 ye kadar, 5^0 lik açı sapmalarıyla ile oluşturulan karbon kompozitlerinin sapma açılarının değerleri artıkça mekanik değerlerinin düştüğü g r lm ştir.

CHARACTERIZATION OF CARBON COMPOSITES PREPARED WITH DIFFERENT FABRICS AND RESINS

SUMMARY

Composite materials, are materials made from two or more constituent materials with significantly different physical or chemical properties, that when combined, produce a material with characteristics different from the individual components. The individual components remain separate and distinct within the finished structure. The new material may be preferred for many reasons: common examples include materials which are stronger, lighter or less expensive when compared to traditional materials.

Competition is getting harder day by day on the industries like military equipments, ballistics, space. These industries need lightweight and high impact resistance high strength on their raw materials. With these needs, composite materials started to get produced at 1950 and this industry is growing bigger since that day.

Carbon fiber composites, particularly those with polymeric matrices, have become the dominant advanced composite materials for aerospace, auto- mobile, sporting goods, and other applications due to their high strength, high modulus, low density, and reasonable cost.

Composite materials are covering a huge role in textile industry with their advantages of easy-to-process and variety of uses. Composite textile industry has many various production methods and therefore researches are ongoing on all of those methods. The type of matrix and reinforcement has a huge impact on composite characterization. This impact is shown in this study.

Composite materials have two main raw materials: polymer or matrix and reinforcement. Reinforcement gives the strength and stiffness to the composite. On the other hand, matrix has many various functions in the structure. Matrix acts as a binder to reinforcement, protects it from environmental effects and transfer impacts and pressure to the reinforcement. Although, it redirects the reinforcement to help maintaining the structure. Matrix and reinforcement keep their own chemical and physical properties in this composite structure and they also give more properties to the structure independent from their own properties.

Composite materials, can be produced in many different shapes and sizes. With this properties, they can be used in many different areas with their superior functions such as high strength, stiffness and corrosion resistance. In this study, polymer matrix – carbon composites have been chosen for its superior properties and various application areas.

In the production of composites, it is significant to choose suitable matrix and reinforcement. In this study, polymer matrix was chosen because of superior properties. The most common advanced composites are polymer matrix composites. These composites consist of a polymer thermoplastic or thermosetting reinforced by

carbon fiber. These materials can be fashioned into a variety of shapes and sizes. They provide great strength and stiffness along with corrosion resistance. The reason for those being most common is their low cost, high strength and simple manufacturing principles. The other important step is choosing of appropriate reinforcement. The carbon fibers have upper hand qualifications from other reinforcement in many applications. Carbon fiber is defined as a fiber containing at least 92% carbon. Carbon fibers generally have excellent tensile properties, low densities and high thermal and chemical stabilities in the absence of oxidizing agents, good thermal and electrical conductivities, and excellent creep resistance.

The global carbon fiber polymer matrix composites market is growing rapidly and developing technologically. The role of carbon fiber polymer matrix is increasing day by day in daily life. New applications of carbon fiber polymer matrix composites are fast growing to include aerospace, automotive and general industry that are expected to lead to important and continued growth of this sector over the next decade.

Carbon fiber polymer-matrix composites have enjoyed widespread use in the aerospace, automobile, marine, sports, construction, biomedical and other industries because of the decreasing price of carbon fiber. The areas of aerospace applications are space vehicles, military aircraft, helicopters, commercial aircraft and commercial aircraft engines. Carbon fiber polymer-matrix composites are used for decreasing weight in the automobiles. The usage of the carbon fiber epoxy-matrix composites in the automobile industry are body panels, structural members, bumpers, wheels, drive shaft, engine components and suspension systems.

Composite materials can be produced through hand lay-up molding, spray-up molding, compression molding, resin transfer molding, injection molding, reaction injection molding, pultrusion and filament winding. Vacuum infusion is a widely used process for the manufacturing of large composite structures. Its popularity is partly due to the low cost of the tooling and environmental safety. Vacuum infusion method was used for the manufacture of carbon fiber epoxy composite in this study experimentally.

With different types of textiles and resins, vacuum infusion method has been chosen for production. Tensile test, stiffness and amount of fibers are calculated to obtain composite characterization.

In this study, 150 gr/m² and 300 gr/m² fabrics have been used in composites and compared to see their performance with different weight of fabrics. After all the tests, lightweight fabrics improves the performance of carbon composites according the obtained results.

After these tests, spreading method is also tested with the same weight fabrics, spreaded and unspreaded type of production. The fabrics which are produced with spreading technology are more homogeneous compared to unspreaded. Epoxy and vinylester are used for this comparison and with both resins, spreaded fabrics shown better results.

In this study, weaving and multiaxial production techniques are used. In application of weaving technique, carbon fibers pass between each other. In multiaxial fabrics, fibers weaved on each other with certain angles. Epoxy and vinylester are used with both techniques. Multiaxial fabrics showed better results than weaving with either resins.

Implementing the direction of fibers in mould is a known problem for composite industry. This problem also affects the mechanical properties of composite. In this study, characterization changes are shown on carbon composite plates produced with different angles. Between 0° and 45° , 5° angle change is applied during the production of carbon composites and results shown that when the angle goes higher, mechanical properties decrease.

GİRİŞ

İki veya daha fazla kimyasal özellikleri farklı olan malzemelerin birleşmesinden oluşan yapıya kompozit denir. Bu birleşimde giren malzemeler kendi yapısal özelliklerini korurken, birleşim sonrası ortaya çıkan yapıya kendi özelliklerinden farklı özellikler katarlar. Yüksek mukavemet, hafiflik, tasarım esnekliği, boyutsal stabilite, yüksek dielektrik direnimi, korozyon dayanımı, kalıplama kolaylığı, yüzey uygulamaları, yüksek ısıl dayanım, şeffaflık özelliği, yüksek kimyasal direnç, titreşim sönümlendirme, akustik iletkenlik, ses tutuculuğu veya ses yutuculuğu gibi özellikler örnektir [1,2].

Aynı yönlü aramid ve karbon fiber takviyeli epoksi kompozit malzemeler, çelik ve alüminyumdan yaklaşık 4-6 kat daha yüksek spesifik çekme dayanımına sahiptir. Aynı yönlü grafit takviyeli epoksi, çelik ve alüminyumdan yaklaşık 3,5-5 kat daha yüksek spesifik çekme dayanımına sahiptir. Kullanım yerine ve özelliklerine bağlı olarak gereksinim duyulan özellikler artırılır, kontrol edilir. Karmaşık parçaların tek olarak üretilmesinden dolayı parça sayısının azalmasını sağlarlar. Böylece ara birleştirme detay ve parçalarının azalmasıyla üretim süresi kısalmaktadır [2,3].

Buna karşılık bazı dezavantajları; hammaddenin pahalı olması, lamine edilmiş kompozitlerin özellikleri her zaman ideal olmaması, kalınlık yönünde ve katlar arası düşük dayanıklılıkta olmasıdır. Malzemenin kalitesi üretim yöntemlerinin kalitesine bağlıdır, standartlaşmış bir kalite yoktur. Kompozitler kırılğan (gevrek) malzeme olmalarından dolayı kolaylıkla zarar görebilirler, onarımları yeni problemler yaratabilir [4].

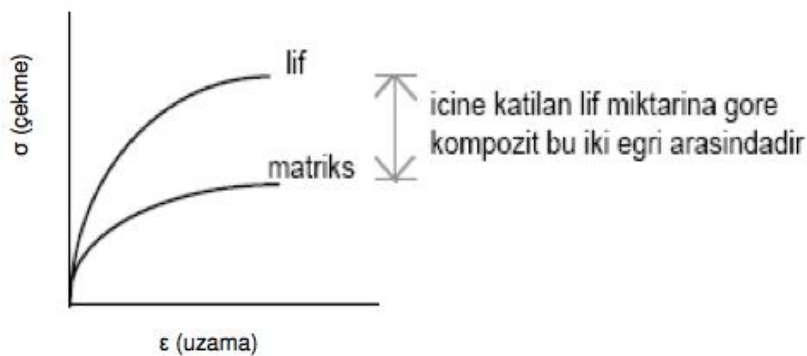
Kompozitler iki temel bileşenden oluşurlar: bağlayıcı veya matris ve takviye elemanı. Takviye elemanı kompozit maddede mukavemet ve sertlik sağlarken, matrisin yapı içerisinde birden fazla görevi vardır. Matris, takviye elemanını bir arada tutan bağlayıcı görevi görür, onu çevresel etkenlere karşı korur ve dışarıdan gelen etki ve yükleri takviye elemanına iletir. Aynı zamanda takviye elemanını yönlendirerek yapıyı bir arada tutmaya yardımcı olur. Matris ve Takviye Elemanı

bu yapının içerisinde kendi kimyasal ve fiziksel özelliklerini korurken, oluşturdukları yapıya bu özelliklerden bağımsız, farklı özellikler katarlar. En bilenen karbon kompozit sınıfları; polimer-matris kompozitler, karbon-matris kompozitler, metal-matris kompozitler ve seramik-matris kompozitler olarak sıralanabilir.

Kompozitlerin üretimindeki en önemli kriterlerden bir tanesi, doğru matris ve takviye elemanı seçimidir. En yaygın üstün özellikli kompozitler, polimer-matrisler ile üretilmektedir. Bu kompozitler, cam, aramid veya karbon elyaflar ile güçlendirilmiş termoplastik veya termoset polimerler içerir. Kompozit malzemeler, farklı şekil ve boyutlarda üretilirler. Bu sayede; yüksek mukavemet, sertlik ve korozyona karşı dayanım gibi üstün özelliklerini bir çok farklı alanda kullanabilirler. Bu çalışmada, sahip olduğu yaygın kullanım alanı ve üstün özellikler nedeniyle polimer matris - karbon kompozit malzeme seçilmiştir.

Diğer bir önemli kriter ise takviye elemanı seçimidir. Karbon elyaflar, yapısal özellikleri nedeniyle bu alanda diğer takviye elyaflarına göre öne çıkarlar. Karbon elyaf, içerisinde en az %92 karbon içeren bir yapıya sahiptir. En önemli özellikleri; çok iyi çekme dayanımına sahip olması, düşük yoğunluklu yapısı, oksidasyon ajanlarının bulunmadığı ortamlardaki yüksek termal ve kimyasal stabilitesi, iyi iletkenliği ve sünmeye karşı dayanımıdır [5].

Şekil 1.1’de kompozit malzemenin çekme uzama eğrisinin hangi aralıkta olduğu gösterilmiştir [6].



Şekil 1.1 : Kompozit malzemenin çekme uzama eğrisi

Cam, karbon, aramit, bor, polietilen, poliamit, poliester, doğal lifler veya dokumalar kompozit hazırlamada kullanılan liflere örneklerdir. Çizelge 1.1’de takviye amacıyla sık kullanılan bazı liflerin ve metallerin çekme dayanımı ve çekme

modülü değerleri verilmiştir. Bu lifler içerisinde genel amaçlı ticari kompozitlerde en fazla cam lifler, ileri kompozitlerde ise aramit ve karbon lifler kullanılmaktadır [7].

Çizelge 1.1 : Bazı liflerin ve metallerin çekme dayanımı ve çekme modülleri [7]

Lif veya metal	Çekme dayanımı(MPa)	Çekme modülü(GPa)
Karbon lifi	2000-3500	325-440
Aramit lifi	3100-3600	60
E-cam lifi	2400	70
S-cam lifi	3450	85
Alüminyum	130-180	72
Titanyum	250-400	105
Paslanmaz çelik	206-520	196

Elyafların ince çaplı olarak üretilmeleri ile büyük kütleli yapılara oranla yapısal hata olasılıkları en aza indirilmiştir. Bu nedenle üstün mekanik özellikler gösterirler. Ayrıca, elyafların yüksek performanslı mühendislik malzemeleri olmalarının nedenleri aşağıda verilen özelliklere de bağlıdır:

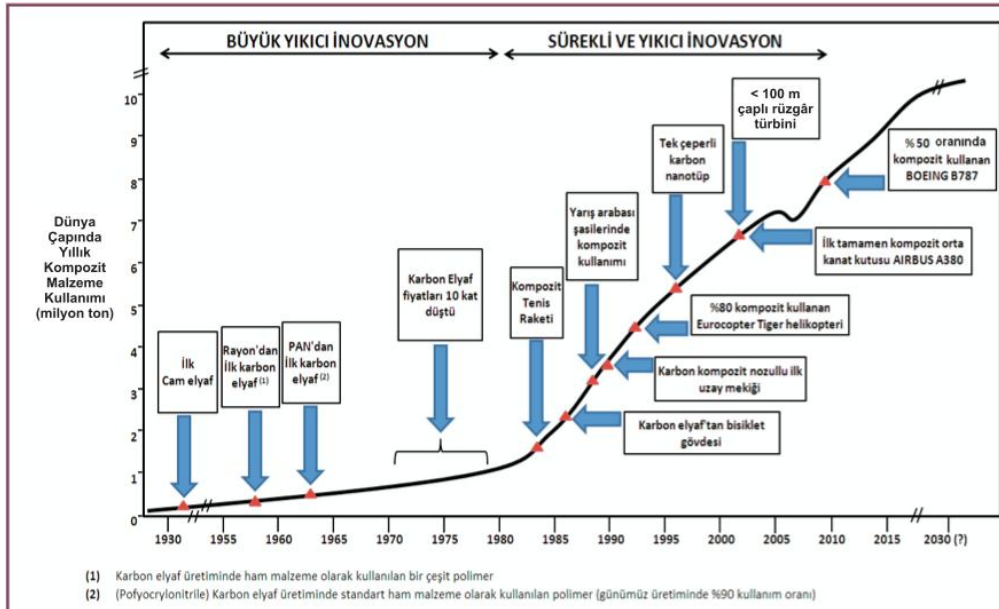
1. Üstün mikroyapısal özellikler, tane boyutlarının küçük oluşu ve küçük çapta üretilmeleri.
2. Boy/çap oranı arttıkça matris malzeme tarafından elyaflara iletilen yük miktarının artması.
3. Elastisite modülünün çok yüksek olması [7]

Kompozitler için üretim yöntemleri; el yatırması, spreyleme, filament sarma, pultrizyon, infüzyon ve reçine transfer (RTM) olarak sıralanabilir. Büyük yapıların üretiminde en yaygın kullanılan yöntem vakum infüzyon yöntemidir. Ekipman maliyetini düşük ve çevreci bir prosese sahip olması da, tercih edilme nedenlerindendir. Bu çalışmada karbon elyaf-epoksi reçineli kompozit, vakum infüzyon yöntemi ile üretilmiştir.

Karbon elyaf fiyatlarının düşmesi ile birlikte başta uzay havacılığı, otomotiv ve yatçılık olmak üzere spor, inşaat, biyomedikal gibi sektörlerde de kullanım oranı artmıştır. Uzay havacılığı alanındaki en önemli uygulama örnekleri uzay araçları olarak verilebilir. Havacılıkta ise hem sivil hava taşıtları, hem de askeri uçak ve helikopterlerde kullanımı oldukça yaygındır. Otomotiv sektöründe, düşük yoğunluğa sahip olması sayesinde araçların ağırlığının azaltılmasında kullanılmaktadır [8]. Formula 1 araçlarının şaseleri tamamen karbon elyaf

kompozitler ile üretilmektedir. Sektördeki üst sınıf araba üreticileri tarafından ise; şase, tamponlar, aks, motor ekipmanları ve süspansiyon sistemleri gibi aracın bir çok yerinde kullanılmaktadır.

Global alanda kullanımın artması ile birlikte üretim teknolojileri de hızla gelişmektedir. Günlük hayatta kullanımı da günden güne artmaktadır. Önümüzdeki dönemde uzay endüstrisi, havacılık gibi sektörlerde daha geniş çaplı kullanımı görülecektir. Kompozit sektörünün gelişmesi ve farklı özelliklere sahip daha iyi kompozitlerin üretilmesi ile birlikte, kullandığı sektörlerde aynı oranda gelişecektir [9]. Kompozit sektörünün yıllara göre gelişimi Şekil 1.1'de verilmiştir.



Şekil 1.2 : Kompozit sektörünün yıllara göre gelişimi

2009'daki ekonomik krizdeki durgun dönemi ayrı tutarsak, karbon elyaf-polimer matris kompozit sektörü geçtiğimiz yıllarda oldukça hızlı gelişmiştir. Sektördeki teknolojik gelişmeler, pazara da yön vermeye başlamıştır. Pazarla entegre bir şekilde gelişen üretim teknolojileri sayesinde, yeni ve farklı sektörlerde kompozit malzemenin kullanılmasına yardımcı olmuştur [10].

Karbon elyaf, üretim prosesine bağlı olarak, farklı filament çaplarında ve ağırlıklarında üretilirler. Üretilen bu iplikler direk reçine ile işlem görerek kompozit malzeme oluşturacağı gibi, ek bir işlem olarak, farklı örgü çeşitlerinde örülüp kumaş halinde de kompozit malzeme üretimi için kullanılır. Bu kumaşlar, kompozit

mazlemenin tasarımına göre, farklı gramajlarda, farklı açılarda ve farklı örgü tiplerinde olmaktadır.

Polimer-matris kompozitler, kolay üretim yöntemi ve düşük maliyetleri sebebiyle oldukça yaygınlaşmıştır. Bu çalışmanın ilk bölümü için seçilen epoksi ve vinilester reçineler birer polimer-matris çeşididir. Polyestere göre daha iyi dayanım gösteren bu iki reçinenin farklı karbon elyaf tekstilleriyle oluşturulan kompozit malzemelerin karakterizasyonu nasıl değiştirdiği ortaya konulmuştur.

Bu çalışmada, düşük gramajlı kumaştan üretilen kompozitlerin, daha yüksek gramajlı kumaşlara göre daha iyi çekme dayanıma sahip olduğu gözlenmiştir. Yayılmış (sperad) teks ile üretilen kumaşların, Yayılmamış teks ile üretilen kumaşlardan oluşturulan kompozit malzemelere göre daha iyi çekme dayanımına sahip olduğu gözlenmiştir. Epoksi reçinenin, vinilester reçineye istinaden daha iyi mekanik sonuçlar verildiği bu çalışmada gözlemlenmiştir.

Karbon kumaşlı kompozit malzemelerin tasarımı, daha iyi dayanım gösterdiği için, elyaf yönüne göre yapılmaktadır.

Bu çalışmada, tüm özellikleri aynı olan (gramajı, ve miktarı) karbon kumaşın, aynı reçine ile, 0° den 45° kadar 5° lik açı değişimi ile üretilen karbon kompozitin karakterizasyonundaki değişim ortaya konmuş ve elyaf yönünde ki sapmaların mekanik değerlerinde düşüşe sebep olduğu görülmüştür.

LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Karbon Elyaf Takviyeli Kompozit Malzemeler

Kompozit malzemeler, birden fazla malzemenin içiçe geçmiş halde bulunduğu yapıya verilen isimdir. Herhangi bir reaksiyona maruz kalmadan, fiziksel yollarla bir araya getirilirler [11].

Kompozit malzemeler, yaşam kalitesini arttırmaya yönelik bir çok uygulamada kullanıldıkları için, günden güne daha yaygın hale gelmektedirler. Havacılık, otomotiv ve denizcilik başta olmak üzere bir çok sektörde sıklıkla kullanılmaktadırlar. Kompozitler üzerine yapılan araştırmaların hızlanarak devam etmesinin en önemli nedeni, sahip oldukları mukavemet, hafiflik, uzun ömür gibi özelliklerin daha da iyileştirilme çalışmalarıdır.

Kompozit malzemelerin iki ana elemanı bulunmaktadır. Bunlar Şekil 2.1 deki gibidir.



Şekil 2.1 : Kompozit malzemelerin ana elemanları

Matris: Takviye elemanını bir arada tutan bağlayıcı görevini görür, onu çevresel etkenlere karşı korur ve dışarıdan gelen etki ve yükleri takviye elemanına iletir. Aynı zamanda takviye elemanını yönlendirerek yapıyı bir arada tutmaya yardımcı olur.

Takviye Elemanı: Kompozit maddede mukavemeti ve sertliği sağlar. Malzemenin mekanik özelliğini çoğunlukla takviye elemanına bağlıdır.

Karbon kompozitler çelik konstrüksiyonlarda 5 kat daha dayanıklı iken 5 kat daha hafiftir. Benzer şekilde alüminyum konstrüksiyonlar ise 7 kat daha dayanıklı, 2 kat daha rijit ve 1,5 kat daha hafiftir. Katrandan üretilen karbon elyafların elektriksel iletkenliği bakırdan 3 kat daha fazladır [12]. Bilinen tüm metallerden daha iyi yorulma özelliği olan malzeme yine Karbon elyaflı kompozitlerdir. Karbon elyaf yüksek sıcaklara dayanabildiği için uçak frenlerinde ve roketlerde kullanılmaktadır [13].

Karbon fiber kompozit dendiği zaman, yapıyı oluşturan malzemelerin en azından birinin karbon fiber olması, kısa veya sürekli, tek yönlü veya çok yönlü kumaş olması gereklidir.

Yüksek dayanım ve modüle sahip olan karbon fiberler, hassas bir yapıya sahip polimer, metal, karbon ve seramiklere takviye olarak eklenerek sağlam bir yapı oluşturulmasında kullanılır. Verimli bir takviye için en önemli kriter, fiber dokular ve matris arasında oluşturulan bağlardır. Tek yönlü bir kompozitte, eksenel gerilim kuvveti, fiber-matris arasındaki bağdan bağımsızdır. Ancak çapraz gerilim kuvveti ve eğilme kuvveti direkt olarak fiber-matris arasındaki bağlardan etkilenir. Buna rağmen, bazı özel durumlarda fiber-matris arasındaki bağlar gereğinden fazla kuvvetli olursa malzemenin daha kırılğan olmasına neden olabilir. Bunun nedeni ise, oluşan kuvvetli bağların yüzey üzerinde çatlamalara neden olmasıdır.

Fiber-matris arasındaki bağlar; mekanik bağ, kimyasal bağ ve van der waals kuvvetlerini içerir. Kimyasal bağlanma, buradaki en kuvvetli bağdır. Bu kuvvet kullanılan fiberlerin boyutu ve uygulanan kimyasal işlem değiştirilerek arttırılabilir [14].

Eğer fiber ve matrisler 3 boyutlu bir düzlem oluşturuyor ise, oluşan parçanın mekanik özelliği fiber ve matrisin arasındaki bağa bağlıdır. Bu bağ, fiber-matris arasındaki yüzeyde pürüzlülük oluşturarak birbirine tutunmasını sağlar. Bu bağda oluşan en ufak bir değişiklik mekanik özellikleri etkiler [15].

Kimyasal bağlar ve van der waals bağların oluşması için, fiber ile matrisin yakın temasta bulunması gereklidir. Bunun sağlanabilmesi için matris veya öncü matrisin nüfuz edilme sırasında karbon fiberlerin yüzeyini ıslatması gerekir. Bu işlem için matrisin çeşidine göre kimyasal müdahale veya kaplama uygulanabilir. Islatmanın

arttırılması için nüfuz edilme işlemi sırasında yüksek basınç da kullanılabilir. Bir yöntem olarak ıslatma ajanı (sizing) kullanılabilir [8].

Karbon fiber fiyatlarındaki düşme ile birlikte kullanım alanları oldukça artmıştır. Bu durum, karbon fiber üzerine yapılan araştırma çalışmalarının artmasına neden olmaktadır.

1.1.1 Polymer matrisli karbon kompozit malzemeler

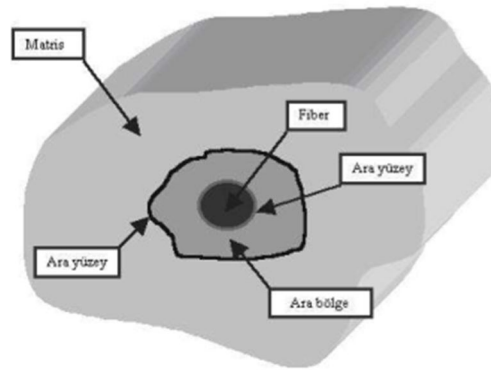
Kompozitler malzemelerin % 90'ı polimer esaslı matrislerle üretilmektedir. İleri plastik-polimer grubu matris malzemelerin çoğunlukla elyaf formunda sert, dayanımlı malzemelerle takviye edilmeleri bu gruptaki kompozit malzemeleri oluşturmaktadır. En tipik örnek, artık günümüzde gelenekselleşmeye başlayan ve "fiberglass" olarak bilinen poliester esaslı reçinelerin cam elyafla takviyesiyle üretilen malzemelerdir. Ancak ileri kompozitler grubunda daha üstün fiziksel, kimyasal ve mekanik özelliklere sahip elyaflar kullanılmaktadır. Bu malzemeler yüksek dayanım (çekme ve basma dayanımı), yüksek elastik modül ve yüksek tokluğa sahiptirler [2].

Polimer kompozitlerin en önemli özellikleri yüksek özgül mukavemet (mukavemet/özgül ağırlık) ve özgül elastisite modülüdür. Dolayısıyla bu özelliklerden dolayı diğer malzemelere üstün durumundadırlar. Örneğin yüksek mukavemetli çeliklerde özgül mukavemetin 110 Nm/g olmasına karşın cam lifi-poliesterlerde 620 Nm/g'dır. Diğer taraftan karbon elyaf-epoksi kompozit malzemelerin 700 Nm/g'dır. Diğer taraftan karbon elyaflarının özgül elastisite modülü alüminyuma oranla 5 kat fazladır. Bu üstünlüklerinden dolayı polimer kompozitler uçak ve uzay endüstrisinde alüminyum alaşımlarına istinaden tercih edilirler. Matris olarak kullanılan polimerler ucuz ve üretimde kullanımı diğer matrislere oranla daha kolay malzemelerdir. Diğer taraftan düşük elastik modüle ve düşük kullanım sıcaklığına sahiptirler. Kompozit malzemelerde polimer matris olarak kullanılan genelde iki tip plastikler mevcut olup bunlar; termosetler ve termoplastikler. Termosetler grubunda ağırlıklı olarak poliester ve epoksi reçine kullanılır. Bunun yanı sıra vinilester/bisfenol ve fenolik reçinelerin kullanımı da giderek yaygınlaşmaktadır. Termoplastik grubunda yaygın olarak poliamid ve polipropilen kullanımı görülür (yaklaşık %68.3) [3,7].

Karbon Fiber Kompozitler, genellikle polimetrik matrislerden oluşur.[8] Günümüzde havacılık, otomotiv, enerji sektörleri yaygın bir kullanıma sahip olmasının yanında, yüksek mukavemet, yüksek modül, düşük yoğunluk ve uygun maliyetli malzeme gerektiren sektörlerde kullanımı giderek artmaktadır.[16]

Polimer matrisli kompozitlerin üretimi, diğer kompozit türlerine göre oldukça kolaydır. Bunun en önemli nedeni ise proses sıcaklığının düşük olmasıdır. Epoksi, fenolik gibi termoset reçineler için proses sıcaklığı 20-200 arasında değişirken, polyimide, polyethersulfone, polyetheretherketone, polyetherimide ve polyphenyl sulfide gibi termoplastiklerde proses sıcaklığı 300 ile 400°C arasında değişir.

Fiber takviyeli kompozit malzemelerin mikro yapısı, Şekil 2.2’de gösterildiği gibidir. Genel olarak fiber dolgu, bağlayıcı matris ve ıslatma ajanından (sizing) oluşur [14].



Şekil 2.2 : Kompozit malzeme mikro yapısının şematik gösterimi

1.1.1.1 Takviye elemanı

Elyaf takviyeli kompozit malzemeler, genellikle yeterli basınç dayanımına oranla çekme, eğilme, çarpma dayanımları çok düşük düzeyde kalan veya zayıf yapılı, kırılğan malzemenin zayıf olan yönlerinin iyileştirilmesi, kırılğanlığın giderilmesi, malzemenin sünekleştirilmesi gibi amaçlarla bu özellikleri iyileştirecek nitelikte elyaflarla donatılmasıyla üretilen kompozitlerdir. Elyaf tanımı, makroskobik açıdan homojen, boyu kesitinin en az 100 katı olan esnek malzemeler şeklinde yapılır ve değişik elyaflar kompozitlerde takviye amacıyla kullanılır. Elyaf takviyeli kompozitlerde dışarıdan yapılan yüklemeleri karşılayan ana bileşen elyaftır, polimer matris ise elyafları istenilen geometride bir arada tutan çevreyi oluşturur [2,7].

Elyaf takviyeli polimerik kompozitler hazırlanırken elyaflar açısından bazı temel noktalara dikkat edilmesi gerekir. Bu noktalar: elyafın mekanik özellikleri, elyaf miktarı, elyaf kalınlığı ve elyafın yönlendirme biçimidir.

Elyafın mukavemeti kompozit yapının mukavemeti açısından çok önemlidir. Ayrıca, elyafların uzunluk/çap oranı arttıkça matris tarafından elyaflara iletilen yük miktarı artmaktadır. Genel bir kural olarak kompozitlerin mekanik dayanımı içlerindeki elyaf miktarı arttıkça yükselir, elyaf oranı belli bir değere ulaştıktan sonra azalmaya başlar. Bunun nedeni, artışına bağlı olarak kompozit içerisindeki polimer miktarının azalmasıdır. Polimer, kompozit içerisindeki oranı belli bir değerin altına düştüğünde matris işlevini kaybeder ve elyafları bir arada tutamaz [7].

Elyaf kalınlığı kompozit özelliklerini etkileyen bir diğer önemli faktördür. İnce elyaflarla hazırlanan kompozitlerde polimerin elyafı ıslattığı alan büyüktür. Elyaf-polimer değme yüzeyinin artması, elyaf-polimer etkileşimleri artırarak kompozit içerisinde yük (enerji) dağılımını kolaylaştırır. Bu nedenle aynı kütlede ince ve kalın elyaflarla takviye edilen kompozitlerden, ince elyaflarla takviye edileni daha dayanıklıdır.

Morais ve arkadaşları cam, karbon ve aramid dokumalarla takviyeli kompozitlerin tekrarlanan düşük enerjili darbelere karşı dayanımlarında tabaka kalınlığının etkisini darbe enerjilerinin iki derecesi için belirlemişlerdir. Elde edilen sonuçlar göstermiştir ki kesin bir enerji derecesinin altında, konu ile ilgili belirlenen en değişken çarpma direnci tabakanın enine kesitidir [17].

Elyaf demet haline getirildiklerinde her zaman yapımlarında kullanılan polimerin yığın haline göre daha dayanıklıdır. Elyaf demeti üzerine dışarıdan bir etki yapıldığında, demette bulunan elyaflardan bazıları kopabilir veya yüzeylerinde çatlama, çizilme vb kusurlar oluşabilir. Demetin dış kuvvetler karşısında aldığı bu tür zararlar, yalnız etkilenen elyaflarla sınırlı kalır ve demet içerisindeki diğer elyaflara aktarılmaz. Yığın halindeki bir maddenin (cam parçası, polimer parçası vb) herhangi bir bölgesinde oluşan kusur malzeme içerisinde ilerler ve sonuçta

malzemeyi kullanılamaz hale getirebilir. Bu özellik elyaf takviyeli kompozitlerin üstünlüklerinden birisidir.

Elyafların matris içindeki yerleşimi kompozit yapının mukavemetini etkileyen önemli bir unsurdur. Uzun elyafların matris içinde birbirlerine paralel şekilde yerleştirilmeleri ile elyaflar doğrultusunda yüksek mukavemet sağlanırken, elyaflara dik doğrultuda oldukça düşük mukavemet elde edilir, iki boyutlu yerleştirilmiş elyaf takviyelerle her iki yönde de eşit mukavemet sağlanırken, matris yapısında homojen dağılmış kısa elyaflarla ise izotrop bir yapı oluşturmak mümkündür. Elyaflar kompozit içerisine uygun geometrilerde yerleştirilerek, kompozitin çekme gibi yüklemelere farklı yönlerde farklı yanıtlar vermesi sağlanır. örneğin kompozitin kopma dayanımı, elyafların yönlendirildiği eksene 90° lik açıdan yapılan yüklemelerde en büyük olacaktır. Benzer şekilde vurma dayanımı, ısı iletkenlik, ısı genleşme gibi davranışlar da elyafların yönlenme eksenine açısal olarak bağlıdır. Elyaflarla yapılan takviye, elyaf yönlenmesi ayarlanarak sözü edilen özellikler yöne bağlı kontrolüne olanak sağlar [7].

Kompozit malzeme yapısında kullanılan elyafların tümü, takviye elemanı olarak adlandırılır. Bu elyaflar, aşağıda detaylı olarak açıklanmıştır. Bu çalışmada kullanılan tek elyaf tipi karbon elyaftır.

Cam elyaf

Cam elyaf, camın çok ince iplikler halinde üretilmiş haline verilen isimdir. Yaygın olarak cam takviyeli plastik olarak bilinen fiberglass üretiminde kullanılır. Karbon elyafa göre daha dayanıksız olmasına rağmen, maliyeti daha uygun olduğu için kullanım alanı geniştir. Isı, elektrik ve ses yalıtımı özellikli kumaşların üretiminde, otomotiv sektöründe, çatı panellerinde ve spor malzemelerinde kullanılır [13].

Aramid elyaf

Aramid elyaflar, cam elyaflara göre daha dayanıklı yapıları ve yüksek ısı dirençleri nedeniyle özellikle balistik sektörde geniş bir kullanım alanına sahiptirler. En bilinen kullanım alanı kevlar zırhlardır. Şok yüklere karşı dayanım gösterdikleri için, savunma sanayinde, çelik yeleklerin üretiminde kullanılırlar [13].

Karbon fiber

Karbon, yoğunluğu 2.268 g/cm³ olan kristal yapıda bir malzemedir. Karbon elyaflar cam elyaflardan daha sonra gelişen ve çok yaygın olarak kullanılan bir elyaf grubudur. Karbon ve grafit elyaflar organik maddelerden üretildikleri için organik fiber olarak da adlandırılırlar. Ham madde olarak PAN, Selüloz (Rayon) ve Zift (Pitch) olarak kullanılır. Dolayısı ile de üretildikleri maddelere göre isim alırlar. Günümüzde rayon sadece çok düşük modüllü elyaflar için kullanılır. Bu hammadde inert bir atmosferde 1000- 3000°C civarına ısıtılır ve aynı zamanda çekme kuvveti uygulanır. Bu işlem mukavemet ve tokluk sağlar. Ancak yüksek maliyet nedeniyle rayon elyaflar uygun değildirler. Elyaf imalatında genellikle rayonun yerine poliakrilonitril (PAN) kullanılır. PAN bazlı elyaflar 2413 ile 3102 MPa değerinde çekme mukavemetine sahiptirler ve maliyetleri düşüktür. Petrolün rafinesi ile elde edilen zift bazlı elyaflar ise 2069 MPa değerinde çekme mukavemetine sahiptirler. Mekanik özellikleri PAN bazlı elyaflar kadar iyi değildir ancak maliyetleri düşüktür[18]

Karbon elyaf lifleri en az %92 oranında karbon içerdiği bilinmektedir [8]. Karbon Elyaf, kesikli (kısa) ve sürekli olarak üretilmektedir. Ayrıca yapısı kristal, amorf veya kısmen kristal olabilir.[21]

Karbon elyaf, genel olarak epoksi matrisler ile birleştirildiğinde olağanüstü dayanıklılık ve sertlik özellikleri gösterir. Karbon elyafın nispeten yeni bulunan bir malzeme olması ve geliştirme çalışmalarının devam etmesinden dolayı, karbon elyaflarının çeşitleri sürekli olarak değişmektedir. Karbon elyafının üretimi, cam ve aramid elyaflara göre pahalı olduğu için, öncelikli olarak uçak sanayinde, spor gereçlerinde veya tıbbi malzemelerin yüksek değerli uygulamalarında kullanılmaya başlanmıştır [22].

Karbon elyafları piyasada 2 biçimde bulunmaktadır: Sürekli Elyaflar ve kırılmış elyaflar. Bu elyaflar bütün reçinelerle kombine edilebilirler.

Kırılmış elyaflar; sürekli elyafların kırılmasından oluşur. Genellikle enjeksiyon kalıplamada ve basınçlı kalıplarda makine parçaları ve kimyasal valf yapımında kullanılırlar. Sürekli elyaflara istinaden daha az mukavimlerdir.

Karbon elyafı çoğunlukla iki malzemedен üretilir;

- Zift

- PAN (Poliakrilonitril)

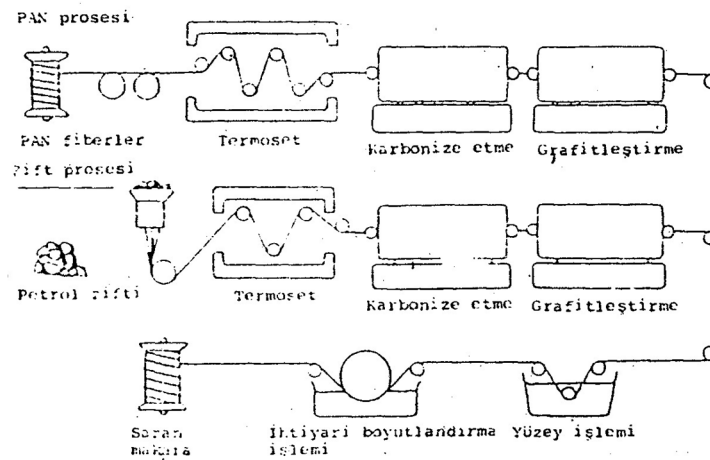
Zift tabanlı karbon elyafları göreceli olarak daha düşük mekanik özelliklere sahiptir. Buna bağlı olarak yapısal uygulamalarda nadiren kullanılırlar. Karbon elyafın gerçek özellikleri üretim metoduna bağlıdır. Endüstriyel olarak karbon elyaf üretim metotları termal oksidasyon ve organik precursor kullanılarak grafitleme işlemleridir [3]. PAN tabanlı karbon elyafları kompozit malzemeleri daha sağlam ve daha hafif olmaları için sürekli geliştirilmektedir. PAN'ın karbon elyafına birbiri takip eden dört aşamada dönüştürülmektedir;

Oksidasyon: Bu aşamada elyaflar hava ortamında 300 derecede ısıtılır. Bu işlem, elyaftan Hidrojenin ayrılmasını daha uçucu olan Oksijenin eklenmesini sağlar. Polimer, bu aşamada kararlı bir halka yapısına dönüşür. Bu işlem sırasında elyafın rengi beyazdan kahverengiye, ve sonunda siyah olur.

Karbonizasyon: Elyafların yanıcı olmayan atmosferde 3000° C'ye kadar ısıtılmasıyla liflerin 100% karbonlaşma sağlanması aşamasıdır. Karbonizasyon işleminde uygulanan sıcaklık üretilen elyafın sınıfını belirler.

Yüzey İyileştirmesi: Bu aşama ile karbonun yüzeyinin temizlenmesi ve elyafın kompozit malzemenin reçinesine daha iyi yapışabilmesi için elektrolitik banyoya yatırılması sağlanır.

Kaplama: Elyafın reçine ile kompozit malzeme oluşturabilmesi için bir arayüz uygulanması gerekir (sizing). Elyaf kimyasal ile kaplanarak üretim sonlandırılır.[18]



Şekil 2.3 : PAN ve Zift prosesleri ile karbon fiber üretimi

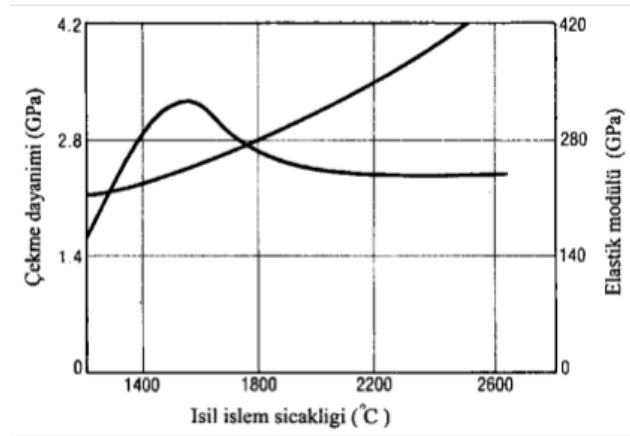
Karbon lifleri liflerle donatılı kompozitlerin üretiminde kullanılan önemli bir lif türüdür. 1960'lı yılların ikinci yarısından itibaren kullanılmaya başlamış olan bu liflerin, düşük yoğunluğuna karşın çekme dayanımı ve E-modülü yüksektir. Yüksek sıcaklıklara dayanabilen karbon liflerinin özellikleri, üretimindeki son işlemin sıcaklığına bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Uygulamada 6 ile 10 µm arasında değişen çaptaki liflerin 1000-1500 adetlik demetlerinden oluşan fitil ve dokumalar kullanılmaktadır. Üstün özelliklerinin yanı sıra son derece pahalı olan karbon lifleri, özellikle uzay ve havacılık endüstrisinde yararlanılan bir malzeme niteliğindedir. Yüksek maliyeti nedeniyle yapı alanında kullanılmamaktadır [19].

Karbon elyafların en önemli özellikleri düşük yoğunluğunun yanında yüksek mukavemet ve tokluk değerleridir. Karbon elyaflar, nemden etkilenmezler ve sürünme mukavemetleri çok yüksektir. Aşınma ve yorulma mukavemetleri oldukça iyidir. Bu nedenle askeri ve sivil uçak yapılarında yaygın bir kullanım alanına sahiptirler. Karbon elyaflar çeşitli plastik matrislerle ve en yaygın olarak epoksi reçinelerle kullanılırlar. Ayrıca karbon elyaflar alüminyum, magnezyum gibi metal matrislerle de kullanılırlar.

Kompozit malzemelerde karbon ve grafit elyaflar, çeşitli şekilde, örneğin, sürekli lifler ve demetler, kırılmış elyaflar, örgü ve dokunmuş elyaflar, öğütülmüş elyaflar olarak kullanılmaktadır. Sürekli elyafların çapları genellikle 8-10 µm ve iplik demeti şeklinde yaklaşık 12-120 000 sayıdan oluşabilmektedir. Örgü şeklindeki elyaflar kompleks şekilli parçaların kalıplanarak üretilmesine daha uygundurlar.

Şekil 2.4'de tipik bir grafitleme çevirimi ve sıcaklığın çekme dayanımı ve modülü üzerine etkisi gösterilmiştir. Ticari olarak PAN karbon elyafların iki tipi mevcut olup bunlar yüksek elastik modüllü (Tip 1), yüksek dayanım (Tip 2) olanıdır. En yüksek modül 2500-3000°C de üretilir. Ancak, dayanım ince yapı ve çatlakların dağılımı ile ilgilidir. Yüksek sıcaklık matrislerinde kullanmak için elyaflar, metal veya seramik koruyucu filmleri ile de kaplanabilir. Azot atmosferinde kararlı olmasına rağmen 400°C üzerinde havada artan oranda oksitlenir. Ancak uçak frenlerinde olduğu gibi yüksek sıcaklıklarda 1000°C'nin üzerinde karbon elyaflı karbon

kompozitler dayanıklı olduklarından karbon elyafların kullanımı hızla artmaktadır [5].



Şekil 2.4 : Çekme dayanımı ve elastik modülü üzerine sıcaklığın etkisi [5]

1.1.1.2 Matrisler

Reçineler, fiber takviyeli kompozitlerin yapısında bulunan polimer yapılı katkılardır. Bütün polimerlerin ortak noktası, birbirine bağlanarak uzun zincir yapısı oluşturan küçük moleküllerden oluşmalarıdır. Doğal olmayan ve belirli bir üretim prosesi sonucu ortaya çıkan reçineler, sentetik reçine ya da reçine olarak adlandırılırlar. Polimerler, termoplastik ve termoset olmak üzere ısıya karşı verdikleri tepkiye göre ikiye ayrılırlar.

Termoplastikler: Termoplastikler, oda sıcaklığında katı malzeme olarak adlandırılır. Isıtılırsa yumuşar, sıcaklık arttıkça viskozitesi düşer. Bu özellik bunlardan yapılan ürünleri daha ekonomik yapar ve kolaylıkla şekillenmesini sağlar. Bu tekrar soğutulduğunda yeniden sertleşir. Sıvı halde bulunduğu sıcaklıklarda viskozite hali yüksektir. Bu nedenle ara yüzey bağı termosetlere göre daha zordur. Ancak şekillendirme kapasitesi iyi olduğundan bunların kullanımı yaygınlaşmaktadır. Bu polimerler kristalin veya şekilsiz (amorf) olabilir. Kristal şekilli olanlarda moleküller büyük uzaklıklarda oldukça düzenli şekil oluştururlar. Amorf polimerler de ise uzun zincirler birçok noktada birbirine dolaşmıştır. Kısa elyafla küçük hacim ortamında hamur veya levha kalıplama yöntemi ile kullanılmaktadır [3].

Termoplastikler, ısıtıldıktan sonra yumuşarlar ve eriyebilirler, ardından yapılan soğutma sonrasında tekrar sertleşerek fiziksel özelliklerini geri kazanırlar. Bu proses, yapıya herhangi bir zarar vermeksizin defalarca tekrar edilebilir. En bilinen termoplastik polimerler naylon, polipropilen, ABS olarak sıralanabilir ve bunlar ince cam elyaf vb. elyaflar ile takviye edilebilir. Tipik olarak kullanılan termoplastikler Acetal, Acrylonitrile- Butadiene-Styren (ABS), Selüloz, Poli- tetra- floretilene= Fluoropolymers (PTFE), Poli amids(PA), Polikarbonat (PC), Polietilen (PE), Polyester (PET), Polivinil klorür (PVC), Naylon 6.6, Polistiren(PS) ve Polipropilen (PP)'dir. Ancak bu üç tür olan polimerler bazen birbiri içerisine girebilir. Termoplastik olan belli polimerlerden termosetler de yapılabilir [3].

Termosetler: Kompozit malzeme matrisleri olarak en çok kullanılanlardır. Termoset plastikler sıvı halde bulunurlar, ısıtılarak ve kimyasal tepkimelerle sertleşir ve sağlamlaşırlar. Termoplastik polimerlerden farklı olarak termoset polimerlerin polimerizasyon süreci geri dönüşü olmayan bir süreçtir. Yüksek sıcaklıklarda dahi yumuşamazlar. Çizelge 2.1’de en yoğun kullanılan termosetler ve genel özellikleri yer almaktadır [3].

Çizelge 2.1 : Bazı termoset malzemelerin mekanik ve fiziksel özellikleri [3]

Malzeme	Epoksi	Polyester
Özellikler		
Yoğunluk (g/cm ³)	1,11	1,04-1,46
Elastik Modül (MPa)	7000	3400
Çekme dayanımı (MPa)	70	41-90
Kopma uzaması (%)	3-6	4,2
Isıl iletkenlik	0,19	0,19
Isıl genleşme katsayısı (1/C°)	45-65	55-100

Termosetler ise, iki ayrı komponentin karıştırılarak kimyasal etkileşime girmesi sonucu sert ve dayanıklı bir yapı oluştururlar ve bu reaksiyonun geri dönüşü yoktur. Bazı termosetlerde, bu kimyasal reaksiyon sonucu uçucu yan ürünler oluşabilir. Polyester ve epoksi gibi reçinelerde ise bu yan ürünlerin oluşumu olmadığı için bu tip termosetler endüstride daha çok tercih edilir. Kurlenme işlemi tamamlandıktan sonra termosetler tekrar ısıtılarak eski hallerine döndürülemezler. Ancak, belirli sıcaklığın üzerine çıkıldığında termosetin mekanik özellikleri belirgin bir şekilde

değişir. Bu sıcaklığa “camlaşmaya geçiş sıcaklığı (T_g)” denir ve her reçine için farklıdır. T_g’nin üzerindeki sıcaklıklarda termoset in rijit yapısı bozulur ve daha esnek, amorf bir yapıya geçiş olur. Bu fiziksel değişim, sıcaklık T_g’nin altına indirildiğinde eski haline döner. Reçinenin sahip olduğu su geçirimsizlik, renk sabitliği, kayma ve basma mukavemet değerleri de T_g üzerindeki sıcaklıklarda negatif yönde etkilenir [20].

Termoset matrisler, küçük monomer moleküllerini, uzun ve aralarında kuvvetli bağlar bulunan polimer molekülleri haline getiren kimyasal reaksiyon sonucu oluşur. Termosetler, polimerizasyonla iki kademede elde edilir. Birincisi malzemeyi ihtiva eden monomerler lineer zincirlerin bir araya getirdiği reaktörde başlarken ikinci polimerizasyon işlemi kalıplama işlemi esnasında sıcaklık ve basınçla reaksiyona girmeyen kısımlar sıvılaşarak molekül zincirleri üç boyutlu yapıya sahip olurlar. Bu reaksiyonun gerçekleşmesi için genellikle katılaştırıcı kullanılır. Katılaştırıcı ilavesi ile önce jel haline gelir ve sonra da katılaşır. Bunlar tekrar ısıtılarak yumuşatılamaz. Termoset reçineler izotropiktirler. Termal stabilite, kimyasal direnç, düşük yoğunluk termoset reçinelerin avantajlarıdır. Oda sıcaklığındaki sınırlı çalışma zamanı, katılma için geçen uzun fabrikasyon zamanı, kopma esnasındaki düşük uzama dezavantajlarıdır [3,23].

Epoksi ve poliestherler elyaf takviyeli kompozitlerde yaygın olarak kullanılan matris malzemelerdir. Bunların fiziksel ve mekaniksel özellikleri, moleküllerin büyüklüğüne, yoğunluğuna ve çapraz bağın uzunluğuna bağlıdır. Ancak poliestherler cam elyafı iyi ıslatır ve dolgu maddesi kullanılabilir. Bunların sakıncası ise sertleşme sırasında %10 kadar kendini çekme (büzülmesi) göstermesidir. Bu büzülme ise liflerin basma gerilmeleri altında burkulmasına neden olur [3,23].

Termoset malzemeler kür edildikten sonra tekrar eritilemez ve şekil verilemezler. Kür işlemi sırasında molekül zincirleri, Şekil 2.5’de görüldüğü gibi çapraz bağlanma yaparlar. Bu nedenle moleküller tekrar eritilip şekil verilemez. Çapraz bağlanma yoğunluğu ne kadar fazla ise malzeme o kadar rijit ve ısıl stabilitesi yüksek olur. Poliimidler, plastikler arasında kalıpta şekil verilebilen, ısıl direnci en yüksek polimerlerdir [23].



Şekil 2.5 : Termoset moleküllerin kür işlemi sırasında çapraz bağlanması [23]

Yaygın termoset reçineler; epoksi, poliester ve vinilesterdir. Bu malzemeler, tek parça veya iki parça sistemi olabilmektedir ve genelde oda sıcaklığında sıvı formdadır. Bu reçine sistemleri, yüksek sıcaklıklara çıkarılır veya oda sıcaklığında son şekli verilir.

Termoset kompozitleri işlemedeki avantajlar;

- 1.Başlangıçtaki reçine sistemi sıvı formda olduğundan, termoset kompozitleri işlemesi kolaydır.
- 2.Lifler, termosetlerle kolay ıslatılabildiğinden, boşluk ve gözenek daha azdır.
- 3.Termoset kompozitlerin işlenmesinde, termoplastik kompozitlere göre, ısı ve basınç gereksinimi daha azdır. Bu da enerji kazanımı sağlar.□
- 4.Termoset kompozitlerin işlenmesinde, basit ve düşük maliyetli teçhizat kullanılabilir [23].

Termoset kompozit işlemenin dezavantajları;

- 1.Termoset kompozit işleme, uzun kür zamanları gerektirir ve sonuç olarak termoplastiklere göre düşük üretim oranları elde edilir.□
- 2.Termoset kompozit parçalar, bir kez kür edilir ve katılaştırıldığında, tekrar şekil verilemez.
- 3.Termoset kompozitlerin geri dönüşümü bir sorundur [23].

Polyester reçineler

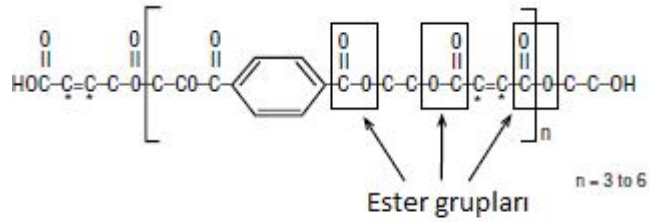
Polyester reçineler, kompozit sektöründe en çok kullanılan reçine tipidir. özellikle denizcilik sektöründe teknelerin yapımında kullanılan kompozitlerin yapısında kullanılırlar.

Polyester reçineler genellikle doymamış yapıdadır ve doğru koşullar altında çeşitli takviyeler ile kürlenebilirler. Bu kürlenme sonrasında sert ve dayanıklı yapıya

erişirler. Kullanılan takviyenin tipine göre, oluşan kompozit yapıya farklı özellikler katabilirler.

Kompozit sektöründe kullanılan iki tip polyester reçine vardır. Ortoftalik polyester daha düşük maliyetli olduğu için yaygın olarak kullanılır. İzofthalik polyester ise çok yüksek suya dayanıklılık gereken yerlerde ve özellikle deniz taşıtlarında sıklıkla kullanılmaya başlanmıştır.[24]

Şekil 2.6 da tipik bir izofthalik polyesterin ideal kimyasal yapısı görülmektedir.

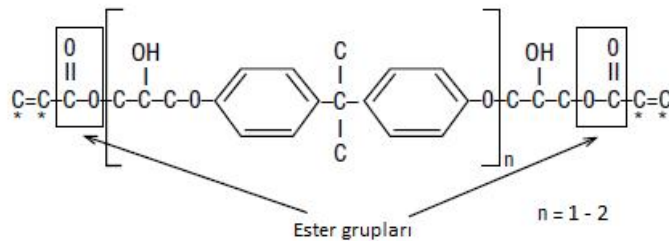


Şekil 2.6 : İzofthalik polyesterin ideal kimyasal yapısı

Vinil ester reçineler

Polyester reçinelere molekül yapısı olarak oldukça benzer olmalarına rağmen, reaktif ester gruplarının daha az sayıda ve molekülün iki uç kısmında bulunmasıyla şok yüklere karşı polyesterlere göre daha mukavimdir. Aynı zamanda polyesterlere göre daha esnek olan yapısı ile de farklılaşır. Vinil esterlerin uç kısımlarında bulunan ester grupları, hidrolizle su kaybına karşı daha hassas oldukları için vinil esterler, suya ve diğer kimyasallara karşı polyester muadillerine göre daha yüksek dayanım gösterir. Bu özelliğiyle kimyasal geçen borularda, kimyasal tanklarında ve boru hatlarında kullanılabilir.

Şekil 2.7’te, tipik bir epoksi bazlı Vinil ester’in kimyasal yapısı görülmektedir.



Şekil 2.7 : Epoksi bazlı vinilesterin kimyasal yapısı

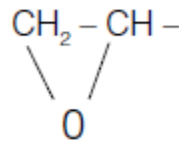
Suya karşı dirençli olma özelliği ile bazı durumlarda polyester üzerine bir kaplama şeklinde kullanılarak tekne imalatında ekstra suya dayanıklılık özelliği katabilir [24].

Epoksi reçineler

Gelişmiş kompozitlerde genellikle tercih edilen ve her tür elyaf ile kullanılabilen bir reçinedir. Epoksi reçineler, reçine türüne ve son kullanım yerine göre sıvı veya katı olarak temin edilebilir. Epoksi grubunun polimerizasyonu ile elde edilir. Bu reçineler çeşitli ajanlar varlığında, oda sıcaklığında veya yüksek sıcaklıkta kr edilerek termoset son ürün haline dönüştürülür. Epoksi reçineleri gerçekte polieter yapısındadırlar ve polieterlerin önemli bir grubunu oluştururlar [23,7].

Epoksi reçine ailesi oldukça geniş olup, şu anda üretilen en yüksek performanslı reçineler epoksi ailesindendir. Diğer reçinelerden ayrıldığı en önemli noktalar üstün mekanik özellikleri ve çevresel koşullara karşı ekstra dayanıklılığıdır. Bu zellikleri sayesinde havacılık ve uzay sektöründe önemli kullanım alanları mevcuttur. Diğer reçineler gibi suya dayanıklılığa önemli katkı sağlamalarının yanında, yüksek yapışma performansına sahiptirler. Srat teknelerinin yapımında hafif ve dayanıklı malzeme olarak epoksi reçine ile oluşturulan kompozit yapılar kullanılır. Aynı zamanda zamanla suda aşınmış olan polyester reçinelerin tamiri amacıyla üzerlerine kapatıcı bir katman olarak uygulanabilirler.

Epoksi terimi, birbirine bağlanmış olan iki karbon atomuna bağlanan bir oksijen atomunun varlığında oluşan moleküler yapıya verilen isimdir. En basit epoksi yapısı C_2H_4O kimyasal formülü ile gösterilen ve şekil 2.8’da görülen "alfa epoksi" veya "1,2 epoksi" isimli yapıdır.



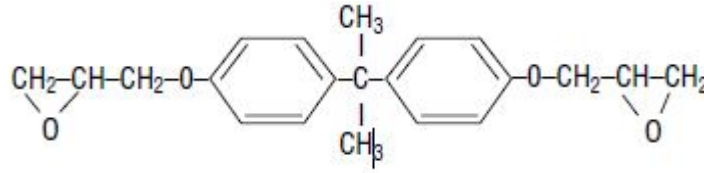
şekil 2.8 : Alfa epoksi

Kahverengi rengiyle ayırt edilebilen epoksilerin bir çok ek özelliği bulunur. Hem sıvı haldeki reçine, hem de krleme ajanları düşük viskoziteye sahiptirler ve kolay işlenebilirler. Krleme ajanının çeşitine göre 5 ile 150 derece arasındaki sıcaklıklarda kolay ve çabuk krlenebilirler. Kürlenme sırasındaki en önemli avantajları, büzülmenin az olmasıdır. Bu sayede i gerilmeleri azaltır ve

malzemenin ömrüne etki etmez. Yüksek yapışma dayanımı, kimyasallara karşı dayanımı ve iyi mekanik özelliklerinin yanında iyi bir yalıtkan görevi de görür.

Epoksilerin başlıca kullanım alanları; yapıştırıcı, su yalıtım ajanı, vernikler, boyalar ve endüstriyel uygulamalarda astardır. Oluşturdukları molekül yapısı vinil esterlerin molekül yapısına benzer olarak uzun zincirlidir ve reaktif grupları başlarda yer alır. Buradaki en önemli fark ise, bu reaktif gruplar ester grupları değil, epoksi gruplarından oluşur. Ester grubunun yapıdan çıkması ile birlikte epoksi reçinelerin su geçirimsizliği artar. Epoksi molekülü, ortasında bulunan iki benzen halkası sayesinde hem mekanik yük, hem de ısıl yüklere karşı dayanıklılık gösterir. Aynı zamanda epoksiye sertlik ve ısı geçirimsizlik verir.

Şekil 2.9’de tipik bir epoksi molekülünün ideal kimyasal yapısı verilmiştir.



Şekil 2.9 : Epoksi molekülünün ideal kimyasal yapısı

Epoksi reçineler, polyester reçineler gibi bir katalizör yardımı ile değil, bir sertleştirici yardımı ile kürlenirler. Sertleştirici çoğu zaman bir amin grubu olur ve epoksi ile reaksiyona girerek kürlenmeyi sağlar. Bu reaksiyon sırasında her amin grubuna iki adet epoksi grubu bağlanır.

Reaksiyon sonrasında ortamda serbest amin veya epoksi molekülü bulunmaması için, uygulama sırasında bu karışım oranları doğru ayarlanarak tam olarak reaksiyonun gerçekleşmesi sağlanır. Eğer doğru oranda karışım sağlanmaz ise, karışımda bulunan serbest amin veya epoksi molekülleri, kürlenme sonrası oluşan yapıda bozulmalar meydana getirebilir [5].

Epiklorhidrin ve bisfenol-A’nın bazik ortamdaki reaksiyonundan, ilk ticari epoksi reçinelerinden olan ve epoksit reçinelerin %95’ini oluşturan Diglisidil eter bisfenol-A (DGEBA) ve yüksek molekül ağırlıklı türler elde edilir. Epiklorhidrin, propilenden sentezlenir ve sentetik gliserin prosesinin ara ürünüdür. Bisfenol-A ise fenollü aseton ile oluşturulan bir petrol türevidir [7].

Isı-işlem görmüş epoksilerin dayanımı yüksek, ısı ve kimyasal dirençleri iyidir. Sertleşme sırasında kendini çekme sorunu yoktur. Bu özelliklerin yanı sıra sahip olabilecekleri formülasyonların çeşitliliği ve çok yönlü işlenebilirlik özellikleri nedeniyle epoksi termosetler, birçok uygulama alanı bulmuştur. Epoksi reçine matrisli kompozitlerin en önemli uygulamalarından biri havacılık uygulamalarıdır. Yüzey kaplamaları, endüstriyel döşemeler, cam takviyeli kompozitler ve yapıştırıcılar uygulama alanı olarak sayılabilir. Epoksinin yalıtım özellikleri değişik elektronik uygulamalarda, örneğin, transistör ve baskı devre plakalarında kullanılmalarını sağlar [3,7].

Wonderly ve arkadaşları yaptıkları çalışmada karbon elyaf/vinil ester kompozit ve cam elyaf vinil ester kompozitlerin mekanik özelliklerinin karşılaştırılmasını incelemiştir. Cam ve karbon elyaf takviyeli tabakalar iki eksenli cam ve karbon elyaflara vinil esterin vakum infüzyonu ile üretilmiştir. Cam ve karbon elyaf numunelerin dayanıklılığını belirlemek için çekme, sıkıştırma, delik açık çekme ve delik açık sıkıştırma, enine çekme, çentik ve balistik çarpma testleri uygulamışlardır. Karbon elyaf tabakalar, elyafların baskın olduğu yerde çekme yüklemesi altında ve çentik dayanım yükleme şartları altında mekanik olarak yüksek bulunmuştur. Eşit kalınlıktaki laminatlar için karbon elyaf tabakaların dayanımının cam elyaf tabaka dayanımına göre oranı elyaf çekme dayanımları oranına benzer bulunmuştur. Karbon elyaf numunelerde hasar genel olarak belirli bir bölgede ve cam elyaf numunelere göre dayanım daha fazla dağılmıştır [29].

1.1.2 Karbon-metal matrisli kompozitler

Metal matris kompozitler alüminyum, bakır, magnezyum, titanyum gibi hafif metal ve alaşımların matris işleviyle; karbon, bor ve diğer bazı metallerin elyaf, parçacık, plakacık, kıl-kristal (whisker) yapısında takviye fazını oluşturmalarından meydana gelir. Bu karma malzemeler daha üstün mukavemet, aşınma, korozyon, sertlik özellikleriyle nükleer güç ekipmanlarında, gaz türbinlerinde, uzay-havacılık, otomotiv sektöründe kullanılırlar. Seramik matris kompozitler seramik matris malzemelerin (Al_2O_3 , Si_3N_4 , SiC gibi) seramik veya metal parçacık, plakacık, kıl-kristal veya elyaf olarak takviyesiyle oluşturulan üstün ısıl dayanım ve mukavemete sahip malzemeler grubudur [3,29].

Karbon fiberler, polimer ve seramik matrislere göre elektriği ve ısıyı oldukça iyi iletirler. Bu nedenle, karbon fiberler yapıda sadece takviye görevi görmeyip, kompozite iletkenlik özelliği de katabilirler. Aynı zamanda ısıl genleşme katsayıları sifıra yakın oldukları için malzemeye bu özelliklerini de verebilirler. Isıl genleşmelerinin çok düşük olması ve ısıyı iyi iletmeleri ile uzay mekiklerinde rahatça kullanılabilirler. Karbon fiberlerin, grafitleşme ile ısıl iletkenliklerinin artması nedeniyle, yüksek iletkenlik gereken yerlerde grafitleşmiş karbon fiberler kullanılır. Bütün metallere göre daha katodik yapıda oldukları için, metal matrisler ile oluşturdıkları her yapıda metalin anot görevi gördüğü bir galvanik yapı oluştururlar. Bu durum, metalin yapısında korozyona neden olur. Bunu engellemek için genellikle metal-matris karbon fiber kompozitlerde kaplama kullanılır [8].

1.1.3 Karbon-seramik matrisli kompozitler

Seramikler düşük yoğunluklu, çok dayanıklı ve sert olmalarına rağmen aşırı derecede gevrektiler. Bunlar genellikle termal ve kimyasal etkilere karşı dirençlidirler. Ancak yüksek ergime sıcaklık dereceleri ve sertlikleri işlenmelerini zorlaştırır ve yalıtıkcandır. Kırılgan oluşları bunları potansiyel olarak güvensiz yapar. Polimer matris kompozitler ileri plastik-polimer grubu matris malzemelerin çoğunlukla elyaf formunda sert, dayanımlı malzemelerle takviye edilmeleri veya pekiştirilmeleri sonucu oluşturulur [3,30].

Karbon fiber seramik matris kompozitler, karbon-karbon kompozitlere göre oksitlenmeye karşı daha dayanıklıdır. Bu yapının en çok kullandığı alan, karbon fiber takviyeli betonlardır. Betonun yapısı oksitlenmeye sebep olan alkali yapıda olsa da, kullanılan karbon fiberin kimyasal stabilitesi, diğer fiberlere göre (cam, polipropilen vb.) çok daha iyi olduğu için kullanılmasında bir sakınca yoktur [31].

1.1.4 Karbon-karbon matrisli kompozitler

Karbon-karbon kompozitlerin üretimi genel olarak karbon yapısının sıvılaştırılarak karbon fiberler ile birleşmesi ile yapılır. Bu işlemde karbon fiber ve karbonlar emprenye edilerek mandrel üzerinde sıra ile sarım haline gelirler [32].

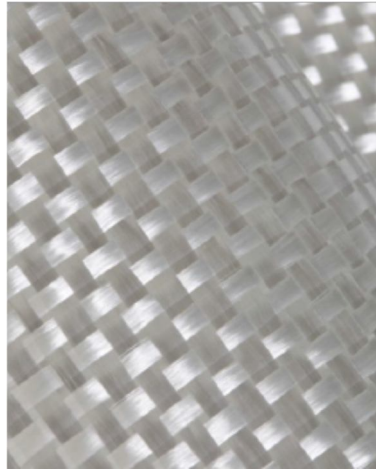
Karbon Elyaf Kumaş Çeşitleri

1.1.5 Dokuma örgüler

Dokuma örgüler 0° ve 90° yönündeki ipliklerin birbirleri üzerinden geçirilerek, üçüncü bir komponent olmadan birbirlerine tutması ile üretilen örgülerdir. Bu ipliklerin 0° yönünde olanına atkı (warp) , 90° yönünde olanına çözgü (weft) adı verilmektedir. İpliklerin birbirinden geçme şekilleri ihtiyaca göre belirlenip tiplerinin isimlendirilmeleri buna göre yapılmaktadır. Kompozit üretiminde en çok kullanılan dokuma tipleri düz, twill ve satin dokumadır [33].

1.1.5.1 Düz (plain) dokuma

Her bir atkı ipliğinin çözgü ipliklerinden 1 adet altından 1 adet üstünden olacak şekilde geçtiği dokuma tipidir. Şekil 2.14’de örnek düz dokuma gösterilmiştir.



Şekil 2.10 : Düz (plain) dokuma

1.1.5.2 Twill dokuma

Standart olarak her bir atkı ipliğinin çözgü ipliklerinden 2 tanesinin altından 2 tanesinin üstünden olacak şekilde geçerek dokunduğu örgü tipidir. Görsel olarak sık bir duruşu olduğundan dış görünümü önem arz eden kompozit parçalarda en dış yüzeyde sıklıkla kullanılır [33]. Şekil 2.15’de örnek twill dokuma gösterilmiştir.



Şekil 2.11 : Twill dokuma

Sheffer ve arkadaşları, örme yapılar ile kuvvetlendirilmiş kompozitlerin darbe dayanımlarını incelemişlerdir. S-camından 1x1 rib, interlock ve milano rib şeklinde örölmüş üç farklı yapı oluşturmuşlardır. Bu örme yapıların her birine epoksi reçine emdirilerek düz kompozit yapılar elde etmişlerdir. Elde edilen kompozitlere mukavemet testleri ve IZOD metoduna göre darbe testleri uygulanmışlardır. Her bir kompozitin ilmek sırası ve ilmek çubuğu yönündeki testlerini yapmışlardır. Testlerde standart düz dokuma cam lifinden kumaş kullanılarak kuvvetlendirilmiş kompozit referans olarak kullanılmıştır. Düz dokuma kumaş ile kuvvetlendirilen kompozitlerin en iyi mukavemet sonuçlarına sahip olduğunu görmüşlerdir. Darbe testlerinde ise, örme kumaşlarla kuvvetlendirilen kompozitlerin en iyi sonucu verdiğini görmüşlerdir. Milano rib doku ile kuvvetlendirilen kompozitin ilmek sırası yönünde, interlock doku ile kuvvetlendirilen kompozitin ise ilmek çubuğu yönünde en iyi darbe dayanımına sahip olduğunu görmüşlerdir [34].

1.1.6 Çok yönlü (multiaxial) örgüler

Son yıllarda kompozit malzeme üretiminde sıklıkla kullanılmaya başlanan çok yönlü örgülerde kullanılan malzemeye ait iplikler ince yapılı dikişler yardımı ile birbirine tutturularak tek veya çok katmanlı örgüler elde edilmektedir. Dokumaların aksine yalnızca 0° ve 90° yönlerinde iki yönlü değil, üretilecek parçanın gerekliliğine bağlı olarak farklı yön ve açılarda temin edilebilmektedir. Sağladığı mekanik özellikler de buna bağlı olarak daha yüksek değerlerde olmaktadır. Tek yönlü, çift yönlü, üç veya dört yönlü olabilmektedirler. Kullanılan dikiş ipliği hem ağırlık olarak büyük bir etkisi olmaması hem de maliyet avantajı nedeni ile polyesterden yapılmaktadır.

1.1.6.1 Tek yönlü (unidirectional) örgüler

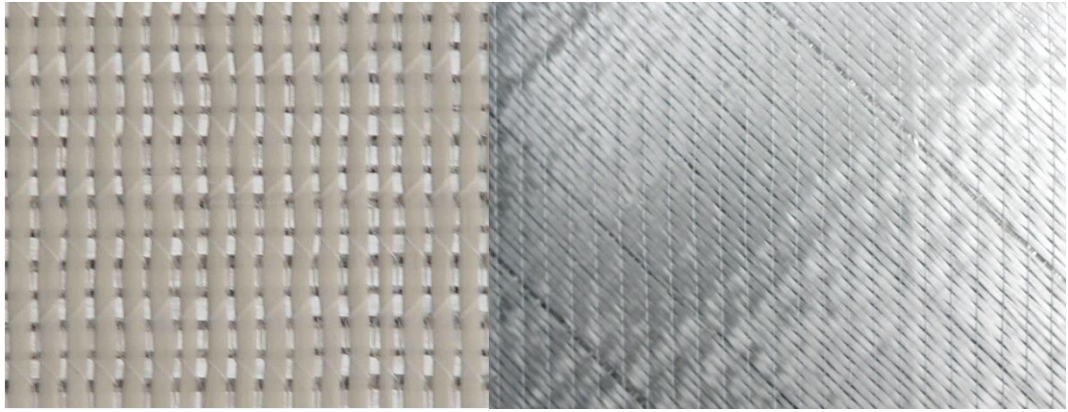
Yalnızca 0° veya yalnızca 90° yönlerinde uzanan ipliklerin birbirine dikiş ipliği ile tutturulması ile oluşan tek katmanlı bir örgüdür (Şekil 2.16).



Şekil 2.12 :Tek yönlü örgüler

1.1.6.2 Çift yönlü (biaxial) örgüler

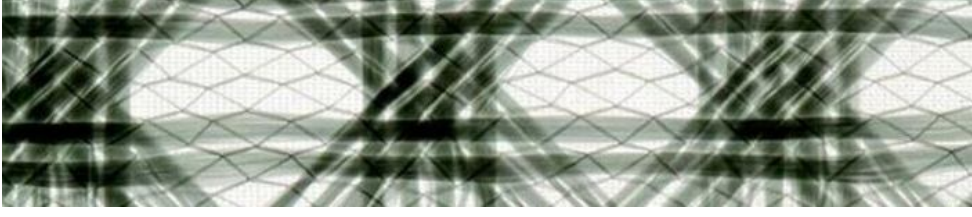
$0^\circ/90^\circ$ veya $+45^\circ/-45^\circ$ açılarda uzanan ipliklerin birbirleri üzerine 2 tabaka halinde dikiş ipliği ile dikilmesi ile oluşan iki katmanlı örgülerdir (Şekil 2.17). Zaman zaman ihtiyaca göre $+45^\circ/-45^\circ$ yerine daha farklı açı oryantasyonları da kullanılabilmektedir (örneğin $+30^\circ/-30^\circ$).



Şekil 2.13 : $0^\circ/90^\circ$ (solda) ve $+45^\circ/-45^\circ$ (sağda) açılı biaxial cam elyaf örgüler

1.1.6.3 Üç yönlü (triaxial) örgüler

Genellikle ipliklerin $0^\circ/+45^\circ/-45^\circ$ (Şekil 2.18) veya $+45^\circ/-45^\circ/90^\circ$ açıları ile birbirlerine paralel olarak 3 tabaka halinde dikilmesi ile üretilen multiaxial kumaş tipleridir.



Şekil 2.14 : $0^\circ/+45^\circ/-45^\circ$ diziliminde bir triaxial kumaş yapısı

1.1.6.4 Dört yönlü (quadraxial) örgüler

$+45^\circ$, 0° , 90° , -45° dizilimi ile ipliklerin paralel olarak birbirine dikilmesi ile oluşturulan 4 katmanlı multiaxial kumaş tipidir.

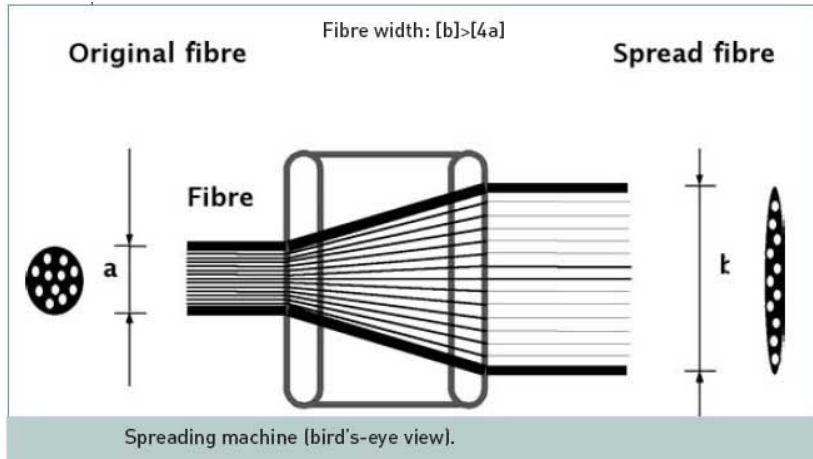
Lee ve Soutis yaptıkları çalışmada IM7/8552 tek yönlü karbon elyaf epoksi kompozitlerin sıkıştırma dayanımını eksenel yönde numune boyutunun etkisini deneysel olarak araştırmışlardır. Laminat ölçü uzunluğu, genişliği ve kalınlığı, 2 ve 4 olan bir ölçme faktörü ile 10 mm x 10 mm x 2 mm olan temel numune boyutundan arttırılmıştır. Bütün durumlarda numune boyutu arttırıldığı zaman maksimum %45 azalma ile dayanım düşmüştür; eksenel modul değerleri için anlamlı değişiklikler gözlenmemiştir. Optik mikrograflar hasar mekanizması matris parçalanması ve kırılması ile elyaf bükülmelerinin olduğunu göstermiştir. Bütün numunelerde hasar yeri, özellikle kalın olanlarda, tab uç noktalarıdır ve ölçü bölgesi geometrik devamsızlık erken hasarlara neden olmaktadır ve bu nedenle sıkıştırma dayanımı azalmıştır. İki genel yarı eşyönlü çok yönlü (MD) numuneler, biri $[45n/90n/-45n/0n]_s$ kalıplama katları ve diğer $n=2, 4$ ve 8 sayıları ile $[45/90/-45/0]_n$ s dağıtılan katlar sıkıştırma testine tabi tutulmuştur. Üç farklı ölçü bölgesi (30 mmx30 mm, 60 mmx60 mm ve 120 mmx120 mm) tek yönlü numunelere aynı testler uygulanarak boyut etkisinin olup olmadığı araştırılmıştır. Dayanım sonuçları göstermiştir ki dağıtılan katlar arttırıldığı zaman ve 2 mm kalınlıktaki numuneler karşılaştırıldığı zaman boyut etkisinin olduğu görülmemiştir. Hesaplanan tek yönlü hasar gerilimi (çok yönlü laminat içinde 0° katların) yaklaşık 1710 MPa ile 2 mm kalınlıktaki tek yönlü numunenin ortalama değeri olan 1570 MPa'dan biraz fazladır. Kalın numunelerde (>2 mm) tek yönlü sıkıştırma dayanımı tab sonlarında gerilim konsantrasyonundaki gelişim ile ve elyaf yanlış düzenlenmesi, katlarda dalgalanma ve boşluklar gibi üretimden kaynaklanan hatalar görülebilmektedir [35].

Yokozeki ve arkadaşları tek yönlü ve çok yönlü karbon elyaf takviyeli plastik (CFRP) kompozit laminatların lineer olmayan mekanik davranışları ve sıkıştırma dayanımlarını incelemişlerdir. Tek yönlü laminatların sıkıştırma davranışları ve dayanımları, yarı-izotropik laminatlarla beraber, T800H/3633 ve T800S/3900-2B kullanılarak ölçülmüştür. Tabakanın dayanım kriterine bağlı tahmin edilen sıkıştırma dayanımı deneysel sonuçlar ile uyumuştur. [45/0/-45/90]2S laminatların sıkıştırma dayanımı da ölçülmüştür. Elyaf açılarının yanlış düzenlenmeleri tek yönlü ve yarı-izotropik laminatlarda kontrol edilmiştir. Bütün laminatlarda küçük yanlış düzenlenmeler ($<1^\circ$) gözlenmiştir. Elyaf doğrultusunda lineer olmayan elastik özellikler [45/0/-45/90]2S laminatların tabaka davranışlarında göze çarpan etkilere dönüşmüştür. Yarı-izotropik laminatların sıkıştırma dayanımları 0o tabakanın dayanım kriterine bağlı olarak tahmin edilebilmiştir[36].

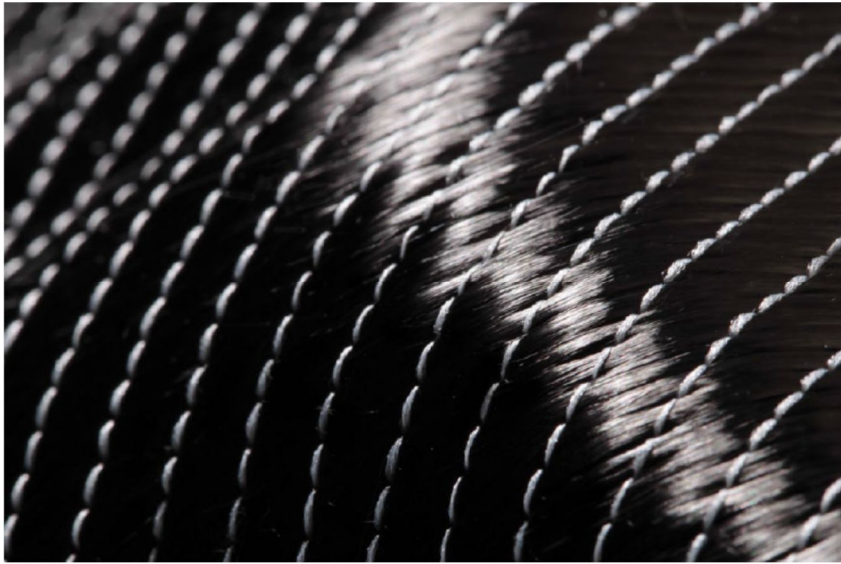
1.1.7 Karbon spreading (yayma) teknolojisi

Her bir karbon iplik telinin özel bir yöntem ile yayılarak multiaxial karbon kumaşın bu ipliklerle üretilmesiyle ultra hafif, çok daha düzgün yapıda ve dolayısıyla daha yüksek mukavemete sahip takviye elyafları elde edilmesini sağlayan yöntemdir. (Şekil 2.19)

Bu çalışmada kullanılan spread karbon kumaşlarda, karbon iplikler basınç altında ısı bir işleminden geçirilerek yayvanlaştırılmış ve kumaşlar bu ipliklerle üretilmiştir (Şekil 2.20). Bu sayede ortaya çıkan ürün “spread” uygulanmamış kumaşlara göre daha düz ve daha az boşluklu bir yapıya sahip olmuştur.



Şekil 2.15 : Karbon spreading teknolojisi



Şekil 2.16 : Spread edilmiş ipliklerle üretilmiş biaksial karbon kumaş

Yılmaz ve Sınmazçelik statik yükleme şartları altında karbon/polifenil sülfid kompozitlerin taşıma performansını araştırmışlardır. Bağlantı şişine karşı duruş dayanımı, bağlanma geometrisi, tabaka yönlenmesi, levha kalınlığı boyunca basınç dağılımı vb. gibi birleşim ve malzeme parametrelerine bağlıdır. Tek yönlü karbon elyaf takviyeli polifenil sülfid (PPS) matris kompozitlerin taşıma performansını araştırmak için, Instron 4411 kullanılarak ASTM D953 standardına göre deneyler yapılmıştır. Şişin yükleme performansı tabakaların elyaf yönlenmesi ve deformasyon özellikleri ile yakından ilgili olduğu görülmüştür. Ayrıca delik merkezinden numunenin ucuna kadar olan mesafe (E) ve plaka genişliği (W) ve iğne çapı (D) gibi geometrik parametreler malzemenin yüklemeye karşı duruş performansını dikkate değer şekilde etkilemiştir. Net çekme ve kesmeye karşı hasar

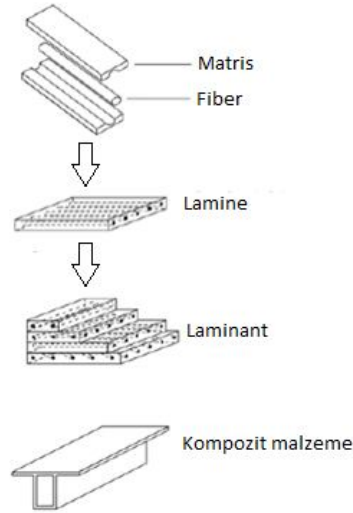
ani kırılğan şekilde fakat taşıma hasar davranışı aşamalı olarak ilerleyen şekilde olduğu görülmüştür. Laminatların elyaf yönlenmesi kompozit malzemelerin yüklemeye karşı performans durumlarını etkilediği sonucuna varılmıştır [37].

Kompozit Üretim Yöntemleri

Kompozit malzeme üretim yöntemi istenen mekanik ve fiziksel özellikleri başta olmak üzere, takviye malzemesine, matris malzemesine, parça şekline ve maliyetine bağlı olarak değişmektedir.

Kompozit üretim yöntemi, matris ve takviye elemanından sonra bir parçanın nihai durumunu belirlemede önemli rol oynamaktadır.

En genel hali ile kompozit üretimi Şekil (2.21)'de verilmiştir. Matris ve fiber mikro ölçekte birleşerek tek tabakalı bir lamine oluşturur. Bu tek tabaka lamineler ise üretilecek parça kalınlığına göre bir araya gelerek makro boyutta laminantı oluşturur. Bu birleşme istenilen mekanik özelliklere bağlı kalacak şekilde, belirli üretim yöntemleriyle yapılmalıdır.



Şekil 2.17 : Kompozit malzemenin oluşumu

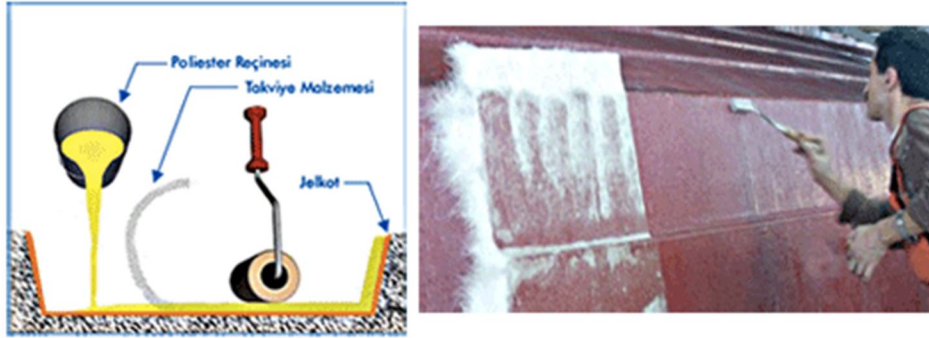
Aşağıda en çok kullanılan kompozit yöntemleri verilmiştir:

1.1.8 El yatırma yöntemi

El Yatırma Yöntemi bir kalıba elle yerleştirilen kumaşlara bir rulo veya fırça ile reçinenin emdirilmesi esasına dayanır. Daha sonra reçine emdirilmiş kumaşlar

genellikle oda sıcaklığı ve atmosferik basınç altında pişmeye/kurumaya bırakılır. Reçineler kumaşlara kat kat yedirilebildiği gibi kumaşın özelliklerine bağlı olarak çok katmana aynı anda da reçine sürülebilir.

Bu yöntemde herhangi bir termoset reçine (epoksi, poliestere, vinilester, fenolik) kullanılabilir. Takviye malzemesi olarak ise bilinen elyaflar (Cam, karbon, aramid) kullanılabilir. Şekil (2.22)'de, yapılan uygulama şematik olarak gösterilmiştir.

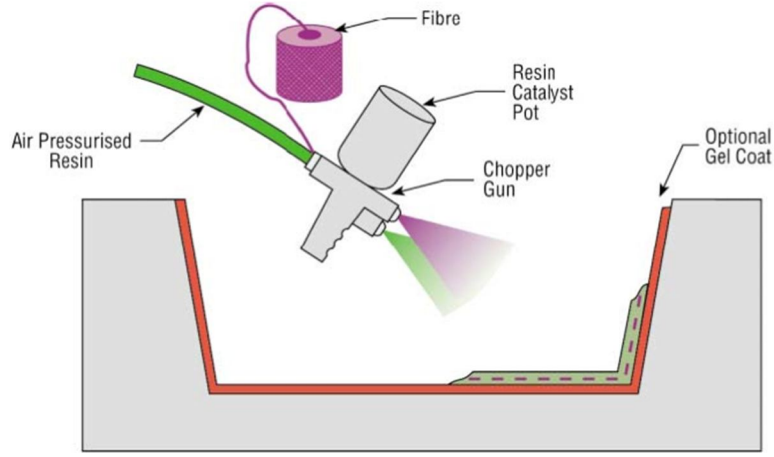


Şekil 2.18 : El yatırma yöntemi

1.1.9 Sprey kalıplama / püskürtme

Sprey kalıplama yönteminin temel esası, kompozit malzemeye uygun olarak seçilen, matris ve takviye elamanının, kaplatılmak istenen kalıp yüzeyine püskürtülmesine dayanır.

Püskürtme yöntemi, elle yatırma yönteminden farkı bu işlem için kullanılan püskürtme aletidir. Bu tabanca ile kırılmış elyaflar kalıp yüzeyine, içine sertleştiricisi katılmış reçine ile birlikte püskürtülür. Elyaf bu tabanca üzerinde bulunan özel kırpıcı apart ile püskürtmeden hemen önce belirli oranlarda kırılır. Püskürtme esnasında reçine ve kırılmış elyaf belirli oranlarda karışarak kalıp üzerine püskürtülür. Kalıp püskürtme işlemi öncesinde kalıp ayırıcı bir kimyasal ile işlem görür. Bunun amacı üretilen kompozit malzemeyi kalıptan ayırmaktır. Kalıp üzerinde bulunan kırpma elyaf ve reçine, el yatırması yönteminde olduğu gibi, yüzeyin bir rulo ile düzeltilmesiyle ürün kurlanmaya hazırlanmış olur. Reçine içerisine katılan sertleştirici oranına ve ortam sıcaklığına bağlı olarak, malzeme belirli zamanda kuru almış ve kalıptan çıkarılmak üzere hazır olur. Uygulama, şekil 2.23'de gösterilmiştir.



Şekil 2.19 : Sprey kalıplama yöntemi

1.1.10 İplik sarma

Elyaf sarma yöntemi, takviye malzemesi elyafın reçine banyosundan geçirilerek, dönen bir kalıp yüzeyine sarılması yöntemine dayanır. Kimyasal depolama tankları, borular, gaz silindirleri ve basınçlı tanklar bu yöntem ile üretilmektedir.

1.1.11 İnfüzyon

Vakumlanmış ortam içerisinde reçinenin ilerlemesi prensibiyle çalışan bu yöntemde, üretim hazırlıkları tamamlanmış ürünün el değmeden üretimi amaçlanmaktadır. Vakum infüzyon prosesi, vakum pompası, vakum tankı (reçine toplama tankı), kalıp ve reçine kovası olmak üzere 4 kısımdan oluşur [38].

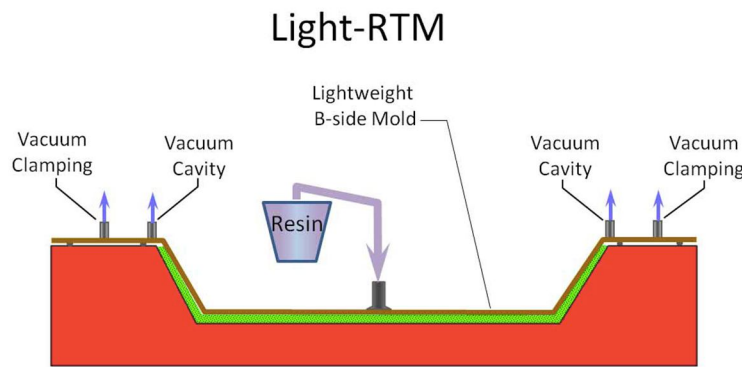
Literatürde vakum ortamında reçine infüzyonu mantığına dayanan ve farklı isimler ile adlandırılan çeşitli yöntemler (VARIM, SCRIMP, RIFT, VARTM vb.) vardır. Aralarında küçük birtakım farklılıklar olmakla birlikte temel de işlem basamakları şu şekildedir:

- Karbon kumaşlar elyaf bir kalıp içerisine malzemenin kalınlığını oluşturacak şekilde üst üste dizilir.
- Üst üste dizilen bu kumaşlar üzerine bir ayırıcı film ve reçine dağıtıcı tabaka (genellikle keçe) konulur.
- Özel olarak tasarlanmış vakum filmi ve çift taraflı yapışkan sızdırmazlık macunları kullanılarak, en üstte konularak sızdırmaz bir yapı elde edilir.
- Vakum yardımı ile reçinenin kuru kumaşlara emrilmesi sağlanır.

Genel olarak; bu yöntemde epoksi, polyester ve vinylester reçineler kullanılır. Bilinen tüm elyaflar bu yöntemde kullanılabilir.

1.1.12 Reçine transfer yöntemi (RTM)

İnfüzyon yönteminden farklı olarak burada iki kalıp (dişi ve erkek) kullanılır. RTM için özel üretilmiş olan takviye malzemeleri kalıp içine yerleştirilir. Kalıplar kapatılır. Ve malzemeye basınçlı olarak (vakum yardımıyla) reçine enjekte edilir. Genellikle, 2-10 mm cidar kalınlığına ve %20- 30 fiber oranına sahip kompozit ürünler elde edilir [22]. Şekil 2.24’de bu işlem gösterilmiştir.



Şekil 2.20 : Reçine transfer yöntemi (RTM)

Kompozit Malzemelerin Karakterizasyonu

Bir kompozit malzemenin karakterizasyonu aşağıda belirtilen başlıca deney grupları ile yapılabilmektedir:

- 1- Mekanik Karakterizasyon: Çekme Testi, Basma Testi, Eğme Testi, Poisson oranı, Yoğunluk, Barcol sertliği, Boşluk içeriği, Elyaf-reçine oranı, Nem muhtevası, gibi..
- 2- Yüzey Karakterizasyonu: Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM), Atomik kuvvet mikroskobu, Geçişli Elektron Mikroskobu (TEM) gibi...
- 3- Termal Karekterizasyon : Differansiyel Taramalı Kalorimetre (DSC), Termogravimetrik analiz (TGA), gibi..

Bu çalışmada, kompozit malzemenin karekterizasyonu elyaf oranı, sertlik, çekme ve basma testleriyle ortaya konmuştur.

1.1.13 Mekanik karakterizasyon

Mekanik özellikler, maddelerin çekme, sıkıştırma gibi dış kuvvetler karşısında gösterdikleri tepkilerin tamamını kapsar. Polimerlerin mekanik özellikleri; kimyasal ve fiziksel yapılarına, işlenme yöntemlerine, kullanım koşul (sıcaklık gibi) ve sürelerine bağlıdır. Polimerlerden üretilen malzemelerin çekme dayanımı, vurma dayanımı, sıkıştırma dayanımı, sertlik türü mekanik özellikleri, standart koşullarda veya malzemenin kullanılacağı koşullara yaklaştırılmış laboratuvar ortamında yapılan testlerle ölçülür. Test sonuçlarından iki temel bilgi elde edilir; polimerin test yapılan koşullara benzer ortamlarda, test edilen mekanik özellik açısından kullanılıp kullanılamayacağı anlaşılır ve farklı malzemelerin benzer mekanik özellikleri karşılaştırılabilir.

1.1.13.1 Çekme testi

Çekme, malzemelerin statik yük altındaki mekanik özelliklerini belirlemek ve malzemelerin özelliklerine göre sınıflandırılmasını sağlamak amacıyla uygulanan mekanik bir deneydir. Bu deney, mekanik özellikleri belirlemek amacıyla bir deney parçasının (kupon), genellikle kopuncaya kadar, gerilmesini kapsar.

Çekme deneyi ile; elastisite modülü (E), elastiklik sınırı, akma gerilmesi, çekme dayanımı (maksimum gerilme), uzama (%) ve kesit daralması (%) gibi özellikler belirlenebilir [38].

Malzemeler uygulamada yüklere veya kuvvetlere maruz kalırlar. Uygulanan bu yüklerin malzemede kalıcı deformasyona yol açmaması için ya belli bir değerin altında olması ya da bu yüklere dayanıklı uygun bir malzeme kullanılması gerekmektedir.

Çekme Gerilmesi: Çekme gerilmesi, deney esnasında herhangi bir anda deney numunesine uygulanan kuvvetin (yükün) numunenin serbest kısmının kuvvet uygulanmadan önceki enine kesitinin birim alanına düşen kısmıdır.

Çekme Mukavemeti: Çekme mukavemeti, kopma anındaki çekme gerilmesidir. Birimi MPa'dır.

Boyut Değişmeleri (uzama,gerinim) : Boyut değişmesi, numunenin serbest kısmı üzerinde alınan iki referans noktası arasındaki uzaklıkta, çekme kuvveti uygulandıktan sonra meydana gelen değişme miktarının bu referans noktaları arasındaki ilk uzaklığa oranıdır.

Kim ve arkadaşları, düşük sıcaklıklarda grafit/epoksi kompozitlerin çekme dayanımını incelemişlerdir. T700/epoksi kompozitin çekme özellikleri, çevresel bir test odasında düşük sıcaklıklarda termo-mekanik yüklemelerden geçirmişlerdir. T700/epoksi tek yönlü laminatlara termo-mekanik çekme yüklemeleri sırasıyla oda sıcaklığından (RT) -50°C'ye, RT'den -100 °C'ye ve RT'den -150 °C'ye (CT) uygulanmıştır. Sonuçlar, termo-mekanik döngü az bir etki yaptığı zaman, sıcaklık düşmesiyle çekme sertliğinin önemli bir şekilde arttığı görülmüştür. CT işleminden sonra dayanımın azalma hızı düşürüldüğü zaman, sıcaklık CT'nin altına düşerken çekme dayanımı düşmüştür. Test sonuçlarının analizi için tabakalı kompozit numunenin RT ve CT her iki sıcaklıkta termal genleşme katsayıları (CTEs) ölçülmüştür ve elyaf ve matris arayüzeyi SEM görüntüleri kullanılarak gözlemlenmiştir. T700/epoksi tek yönlü kompozitlere termomekanik yükleme döngüsünün etkilerini ve -150 °C sıcaklığın altına düştüğü zaman sertlik ve dayanımdaki değişiklikler araştırılmıştır. Çekme sertliği sıcaklık azalması ile artma eğilimi göstermiştir ve üç sıcaklık döngüsünden sonra yoğun hassasiyet oluşmuştur. Diğer bir tarafta dayanım düşmüştür. Bu sonuçlar tabakaların CTEs'nin ölçümleri ile araştırılmıştır. Çekme testi ve kırılan numunelerin fotomikrograflardan alınan sonuçlardan T700/epoksi tek yönlü tabakaların benzer sertlik ve dayanım değerleri benzer sonuçlar verme eğilimindedir [40].

Yazıcı ve Ülkü yaptıkları çalışmada iki boyutlu rasgele dağılımlı E-cam lifi/poliester matris kompozitlerde yükleme hızının mukavemet üzerine etkisini incelemişlerdir. Çalışmada iki boyutlu rasgele dağılımlı kısa cam elyafı takviyeli polyester matrisli kompozit plaklarda çekme hızının kompozit mukavemeti üzerine etkileri araştırılmıştır. Bir, iki ve üç tabakalı kompozitler üretilmiştir. Elde edilen test sonuçlarına göre çekme hızı arttıkça kompozit mukavemetinde düşme görülmüştür. Ayrıca, tabakalı kompozitin gerilme değerleri tabaka sayısı arttığında yükselse bile, bu tek tabakanın gerilme değerleri ile kıyaslandığında olması gereken

değerin çok altında çıkmıştır. Yazarların yayınladığı diğer çalışmaları ve devamı niteliğindeki bu çalışmadaki bulgular dikkate alındığında cam elyaf takviyeli polyester kompozitlerde 2D rasgele dağılımlı takviye durumunda, yükleme hızı ile kompozit mukavemetinin düştüğü ve bu düşüşte lif/matris arabiriminin önemli rol oynadığı anlaşılmıştır. E tipi cam elyafı ve Poliester matrsten oluşan kompozit malzeme için yükleme hızı arttıkça kompozit mukavemetinde bir düşüş beklenmesi gerekir. Burada hem takviye ve hem de matris malzemesinin sert ve kırılkan olmasının etkisi büyüktür. Tek tabakalı yapılarda lif/matris arabirim özellikleri etkin olup yükleme hızının artışı ile kompozit mukavemetinin azalmasının başlıca sebebidir. Tabakalı yapılarda tabakalar arası bölge kompozit mukavemetinin olması gerektiğinden daha düşük değerlerde olmasına neden olur [41].

Bu çalışmada, çekme mukavemeti testleri ISO 527-4 standardına uygun olarak yapılmıştır. ISO 527-4, izotropik ve ortotropik fiber takviyeli plastik kompozitlerin çekme özelliklerinin belirlenmesi için test koşullarını tanımlar. Bu çalışmada kompozit malzemenin maksimum gerilmesi ve malzemenin uzama yüzdesi incelenmiştir.

1.1.13.2 Basma testi

Basma kuvveti, malzemeye çekme kuvvetinin tersi yönde, malzeme yüzeyleri doğrultusunda uygulanır ve sıkıştırma sonucu malzemenin kuvvet doğrultusundaki boyutu kısılır (hacmi değişir).

Sıkıştırma gerilimi: herhangi belirli bir zamanda numuneye uygulanan sıkıştırma kuvvetinin deney parçasının başlangıç kesit alanına oranıdır. Birimi MPa'dır.

Sıkıştırma dayanımı: numunenin dayandığı maksimum sıkıştırma gerilimidir. Birimi MPa'dır.

Sudarisman ve arkadaşları yaptıkları çalışmada karbon ve silikon karbit elyafların birlikte takviyesiyle oluşan tek yönlü epoksi kompozitlerin sıkıştırma hasarını incelemişlerdir. Test numunelerinin hasarı iki ana gruba ayrılmıştır, boyuna yarık ve elyaf dolaşmaları ile sıkıştırma kesiği ve sıkıştırma buruşması adlarını almıştır.

SiC elyaf lar ve/veya C elyaf ları içeren epoksi matr isten oluşan tek yönlü elyaf takviyeli polimer kompozitler sıkıştırma yüklemesi altında test edilmiştir. şu sonuçlar elde edilmiştir; C ve SiC elyaf ların karışımından oluşan kompozitlerin, sıkıştırma dayanımı, elastik modul veya kırılma çalış malarında önemli artış not edilmemiştir. SiC elyaf ın artması ile bu elyaf ların yüksek yoğunluğ undan dolayı özgül sıkıştırma dayanımı ve özgül elastik modülü genel olarak düş müştür [42].

Pinho ve arkadaş ları tabakalı kompozitlerde çekme ve sıkış tırmada elyaf hasar biçimlerinin kırılma tokluk larını incelemişlerdir. T300/913 karbon-epoksi tabakalı kompozitte elyaf çekme hasarı ve sıkıştırma elyaf dolaşması ile kırılma tokluğ u kompakt çekme (CT) ve kompakt sıkıştırma (CC) testleri kullanılarak ölçülmüştür. Numune gerinim alanı test sırasında dijital nokta fotogrametri sistemi kullanılarak izlenmiştir. Testlerden sonra numunelerin hasar durumunu C-scan ve optik ve taramalı elektron mikroskopi yöntemleri kullanılarak araştır ılmış tır. Elyaf çekme hasarında kritik serbest kalan enerji hız ı baş lama ve yayılma değ erleri 91.6 kJ/m² ve 133 kJ/m² olarak belirlenmiştir. Elyaf sıkıştırma dolaşması için baş lama değ eri 79.9 kJ/m² elde edilmiştir fakat anlamlı yayılma değ erleri elde edilememiştir. Her iki durumda da test sonuç ları düşük sapma göstermiştir [43].

1.1.13.3 Elyaf oranı

Kompozit malzemenin karakterizasyonunda bilinmesi gereken bir diğ er değ er elyaf oranıdır. Elyaf oranı, üretilen kompozit malzemenin % olarak ne kadar elyaf içeriğ ini veren parametredir. Takviye elemanının yüzdesi malzemenin mekanik değ erlerini etkilediğ inden dolayı bu oranın yüksek olması malzemenin daha mukavim olduğ u söylenebilir.

1.1.13.4 Sertlik

Sertlik, malzemenin kendisinden daha sert ve malzemenin yüzeyinden bastır ılan cisme karş ılık gösterdiğ i direncidir. Sertlik değ erleri direkt olarak malzemelerin dayanımları ile alakalı olduğ u için büyük önem taş ır. Kompozit malzemelerde sertliğ i etkileyen kısım büyük ölçüde reçinenin tam kürleş mesi ile oluşur.

1.1.14 Yüzey karakterizasyonu

Kompozit malzemelerden imal edilen yapı elemanları genellikle üretim aşamasından ya da servis koşullarından kaynaklanan kusurlar içerirler. Karbon kompozit malzemelerinin, mekaniksel olarak dayanımı fiber – matris malzemesinin özelliklerine, üretim yöntemlerine ve çevresel faktörlere bağlı olarak değişebilmektedir. Karbon kumaş üretiminde oluşan belirli bölgelerdeki fiber eksikliği (gap), fiberin açısının sapması ve kalıba doğru açılarda serilememesi, Reçinelerdeki safsızlık miktarı ve reçine-sertleştiricinin hatalı kürleşme süresi, üretim yönteminin üretilecek ürüne uygunsuzluğu ve yanlış basınç ve sıcaklık seçimleri bu hatalara örnek olarak gösterilebilir.

Üretilen karbon kompozitler, bu hatalardan bir ya da birden fazlasının içermesi durumunda mekaniksel dayanımları düştüğü bilinmektedir. Üst üste dizili tabakaların ayrışması anlamına gelen delaminasyon bu kusurların en önemlisidir.

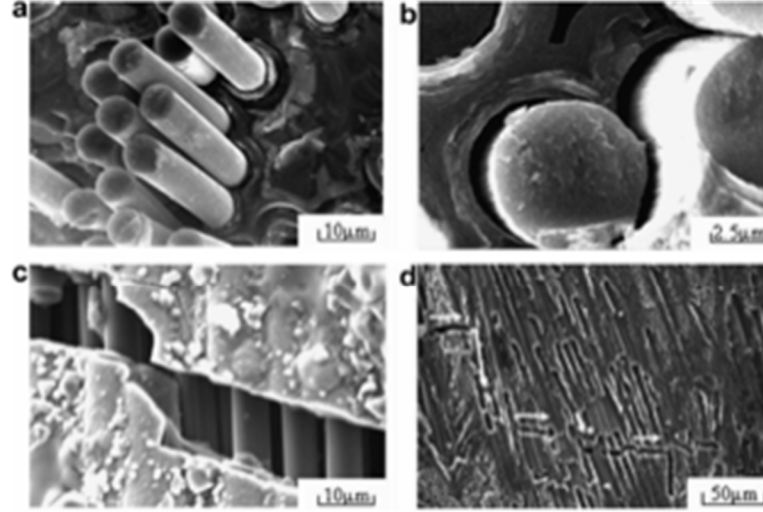
Kompozit yapının mukavemetinde önemli unsur elyaf ile matris arasındaki bağın yapısıdır. Kompozit malzemelerde kırılma yüzeylerinin incelenmesine dayanarak; takviye sistemi ile matris sistemi ara yüzeyi, matris içindeki fiber dağılımı ve matrisin takviye sistemini ıslatabilirliği hakkında bilgiyi taramalı elektron mikroskopisi yöntemini kullanarak elde edebiliriz.

1.1.14.1 Taramalı elektron mikroskobu (SEM)

Taramalı Elektron Mikroskobunda (SEM) görüntü, yüksek voltaj ile hızlandırılmış elektronların numune üzerine odaklanması, bu elektron demetinin numune yüzeyinde taratılması sırasında elektron ve numune atomları arasında oluşan çeşitli girişimler sonucunda meydana gelen etkilerin uygun algılayıcılarda toplanması ve sinyal güçlendiricilerinden geçirildikten sonra bir katot ışınları tüpünün ekranına aktarılmasıyla elde edilir. Modern sistemlerde bu algılayıcılardan gelen sinyaller dijital sinyallere çevrilip bilgisayar monitörüne verilmektedir.

Karbon kompozit malzemelerin mikroskobik ölçüde incelendiğinde, 4 farklı çeşit hata çeşidi olduğu görülmektedir ve aşağıdaki gibidir.

- Fiberlerin Matristen Sıyrılması (Pull-Out) Şekil 2.21 (a)
- Fiber ile Matrisin Arasında Boşluk Oluşması (İnterfacial Debonding) Şekil 2.21 (b)
- Fiber Köprüsü (Bridging of Fibers) Şekil 2.21 (c)
- Tabakaların ayrışması (Deflection of Crack) Şekil 2.21 (d)



Şekil 2.21 : Karbon Kompozitlerde görünen hata çeşitleri a) Fiberlerin Matristen Sıyrılması b) Fiber ile Matrisin Arasında Boşluk Oluşması c) Fiber Köprüsü d) Tabakaların ayrışması

1.1.15 Termal karakterizasyon

“Termal Analiz”, bir maddenin kontrollü biçimde ısıtılması yada soğutulması sırasındaki fiziksel özellik değişimlerinin sıcaklığın fonksiyonu olarak ölçülmesi ve yorumlanmasıdır [38].

Tam bir termal analiz sisteminde maddenin ağırlık kaybı, dönüşüm sıcaklıkları ve enerjileri, boyut değişimleri, viskoelastiklik özellikleri gözlenir. Bu ölçümler kimyasal tepkimelerin ve dinamik özelliklerin aydınlatılması, bileşim analizi, ürün kalite kontrolü açısından faydalı olur. Termal analizin en geniş uygulandığı alanlar arasında seramik malzeme, plastikler, yakıtlar, toprak ve kil endüstrisi sayılabilir [38].

1.1.15.1 Diferansiyel taramalı kalorimetre (DSC)

Diferansiyel Taramalı Kalorimetre ile termal karakterizasyon ise değişimlerin absorplanan veya açığa çıkan ısınsın, sıcaklığın fonksiyonu olarak ölçülmesi ve tanımlanması temeline dayanmaktadır. DSC yöntemi ile maddelerin camsı geçiş sıcaklığı, erime, kaynama, kristallenme ve termal bozunma yapıları incelenir. DSC hücresi esas olarak iki adet kalorimetreden oluşur. Bunlardan birine örnek içeren kapsül diğerine referans içeren kapsül yerleştirilir. Değişen sıcaklıkla birlikte her iki kapsüle aktarılan ısı farkı milivolt olarak algılanarak buradan örnek kapsülündeki örneğin aldığı veya verdiği ısı kayıt edilir. Bu ısı farkı organik veya inorganik esaslı herhangi bir malzemedeki enerji alışverişi ile paralel giden herhangi bir fiziksel veya kimyasal değişimi sıcaklığın veya zamanın fonksiyonu olarak açıklayabilme olanağı verir.

Bu tür termal analizde de örnek madde ve bir referans maddesi belli bir sıcaklık programı altında kontrollü olarak ısıtılır veya soğutulur. Bu esnada eğer referans maddede fiziksel yada kimyasal bir değişiklik oluyorsa ya enerji açığa çıkacak ya da enerji absorplanacaktır. Dolayısıyla referans madde ve örnek sıcaklıklarını aynı düzeyde tutabilmek için sistem tarafından örnekten ısı alınması veya örneğe ısı verilmesi gerekir. Bu ısı alışverişi, örnek maddenin geçirdiği dönüşümde söz konusu olan enerji değişimi ile aynıdır. İşte, Diferansiyel Taramalı Kalorimetre’de (Differential Scanning Calorimetry) bu enerji dengesi gözlenir ve yorumlanır [38].

1.1.15.2 Termogravimetrik analiz (TGA)

Bu analiz tekniği bir maddenin sıcaklığındaki değişim sırasında meydana gelen dönüşümlerdeki ağırlık değişimlerini kantitatif olarak verir. Örneğin bir maddenin dehidratasyonu veya bozunması sırasındaki ağırlık değişimlerini zaman veya sıcaklığa bağlı olarak gözlemek olanağı vardır. Ağırlık değişimi yüksek sıcaklıklarda fiziksel veya kimyasal bağların kopması veya oluşumu sonucunda meydana gelir. Bu esnada ortaya çıkacak uçucu maddeler sistemden ayrılacağı için ağırlıkta azalma kaydedilir. TGA verileri çeşitli kimyasal tepkimelerin mekanizması ve termodinamiğini aydınlatılabileceği gibi oluşan ürünler hakkında da fikir verir [38]. Termogravimetrik yöntemden elde edilen bilgiler, DSC yönteminden elde edilen bilgilere oranla daha sınırlı olup, bunun başlıca nedeni sıcaklık değişiminin analitin kütlesinde bir değişim oluşturması gerektiği içindir. Enerji değişimi yaratan

dönüşümler (fiziksel veya kimyasal) mutlaka bir ağırlık değişimi yaratmayabilir. Böyle bir değişim prosesinin DSC termogramı alınabilecekken, termogravimetrik incelemede hiçbir şey gözlenmeyecektir. Saf bir katı maddenin ergimesi buna örnektir. Ergime sırasında dışarıdan enerji absorplanır fakat hiçbir ağırlık değişimi olmaz. Ancak bunun aksi doğrudur. Yani genellikle her ağırlık değişim prosesinde mutlaka bir enerji değişimi de olur. Bu esnada absorplanan veya serbest kalan enerji miktarı DSC yoluyla ölçülebilir [39].

Termogravimetrik yöntemlerin uygulamalarının yoğunlaştığı en önemli alan, polimerlerle ilgili çalışmalar olarak gösterilebilir. Termogramlar, hazırlanan çeşitli polimer ürünleri için bozunma mekanizmaları hakkında bilgi verir. Bunlara ek olarak, bozunma şekilleri her bir polimer için karakteristik olduğundan, bunların tanınmalarında da kullanılabilmektedir [39].

DENEYSEL ÇALIŞMA

Amaç

Kompozit malzemelerde elyaf teksi, kumaş gramajı ve matris oluşturulan karbon kompozitlerin özelliklerini etkilemektedir.

Bu çalışmanın ilk kısmında, Karbon Kompozitlerin Farklı Gramaj, Yayılmış Teks (Spread Tow), Yayılmamış Teks (non-spread), Reçine ve Kumaş Tiplerinin karakterizasyonun karşılaştırılması amaçlanmıştır.

Aynı zamanda, kompozit elyafın yönü, malzemenin mekanik özelliği etkilendiğinden dolayı, bu malzemelerin kumaş tasarımı elyaf yönlerine göre yapılır. Kompozit malzemelerde elyafların, malzemenin maruz kalacağı yük yönüne göre yerleştirilmesi ve kalıp üzerine serilmesi gerekir. Üretim aşamasında yaşanan elyaf kaymalarının malzemelerin mekanik özelliklerini etkiledikleri bilinmektedir. Bu çalışmada elyaf yönünün, malzemenin kompozit özelliklerine etkisi incelenmiş, elde edilen kompozitler karşılaştırılmıştır.

Bu çalışmada diğer tüm parametreler (gramajı ve miktarı) aynı olan karbon kumaş, matris sabit tutularak, 0^0 dan 45^0 ye kadar 5^0 lik açı değişimi ile üretilen karbon kompozitler karakterize edilmiştir.

Deneyde Kullanılan Malzemeler, Alet ve Cihazlar

Karbon elyaf

Bu çalışmada, polimer matrisli kompozit plakaların üretimi sırasında takviye elemanı olarak kullanılan karbon elyafların özellikleri Çizelge 3.1 de verilmiştir.

Çizelge 3.1 : 12 K karbon elyafın teknik özellikleri

12K		Test Metodu
Çekme Dayanımı	4200 MPa	ISO 10618
Çekme Modülü	240 GPa	ISO 10618
Kopma Uzunluğu	1.8 %	ISO 10618
Yoğunluk	1.78 g/cm ³	ISO 10119
Teks	800 g/1000m	ISO 1889

Çizelge 3.2 : 24 K karbon elyafın teknik özellikleri

24K		Test Metodu
Çekme Dayanımı	4200 MPa	ISO 10618
Çekme Modülü	240 GPa	ISO 10618
Kopma Uzunluğu	1.8 %	ISO 10618
Yoğunluk	1.78 g/cm ³	ISO 10119
Teks	1600 g/1000m	ISO 1889

Karbon elyaf kumaş

Çizelge 3.3’de deneyde kullanılan karbon kumaş bilgileri verilmiştir. Buna göre ürün tipi belirtilmesi aşağıdaki şekilde yapılmıştır.

C: Karbon ipliği kullanıldığını belirtir.

L: Karbon İpliğinin 0° de olduğunu belirtir.

T: Karbon İpliğinin 90° de olduğunu belirtir.

W: Kumaş tipinin dokuma (Woven) olduğunu belirtir.

S: Yayılmış (Spread) teks ile üretilen kumaşları belirtir.

E: Kompozit Malzemedeki matris olarak Epoksi reçinenin kullanıldığını belirtir

VE: Kompozit Malzeme matris olarak Vinilester reçinenin kullanıldığını belirtir

Harf kodlamasından sonra gelen sayı, o kumaşın 1 m² sinde kaç gr karbon ipliği kullanıldığını belirtir. Bu miktara kumaşın gramajı da denilmektedir.

Buna göre çalışmada elde edilen kompozitlerin özelliklerinin kodlaması Çizelge 3.3 de verilmiştir. Kumaş gramajlarının yaklaşık ağırlıkları eşitlenmesi amacıyla kullanılan kumaş katları yine Çizelge 3.3 te verilmiştir. Buna göre, 600grlık kumaştan 4 kat kullanılırken, 300grlık kumaştan 8 kat, 150grlık kumaştan ise 16 kat kumaş, her bir kompozit plaka üretimi için kullanılmıştır.

Çizelge 3.3 : Çalışmada kullanılan karbon kumaş özellikleri

Ürün Tipi	-	Gramaj (gr/m2)	AÇI	Kesim Boyutları (cm)	Kat
CLT600S_E	Spread edilmiş elyaf	608	0°/90°	50x50	4
CLT600_E	Spread edilmemiş elyaf	635	0°/90°	50x50	4
CW600_E	Spread edilmemiş elyaf	608	-	50x50	4
CLT600_VE	Spread edilmemiş elyaf	635	0°/90°	50x50	4
CLT600S_VE	Spread edilmiş elyaf	608	0°/90°	50x50	4
CW600_VE	Spread edilmemiş elyaf	608	-	50x50	4
CLT300S_E	Spread edilmiş elyaf	308	0°/90°	60x60	8
CT300S_E_0°	Spread edilmiş elyaf	308	0°	60x30	8
CT150S_E_0°	Spread edilmiş elyaf	155	0°	50x50	16
CT150S_E_5°	Spread edilmiş elyaf	155	5°	50x50	16
CT150S_E_10°	Spread edilmiş elyaf	155	10°	50x50	16
CT150S_E_15°	Spread edilmiş elyaf	155	15°	50x50	16
CT150S_E_20°	Spread edilmiş elyaf	155	20°	50x50	16
CT150S_E_25°	Spread edilmiş elyaf	155	25°	50x50	16
CT150S_E_30°	Spread edilmiş elyaf	155	30°	50x50	16
CT150S_E_35°	Spread edilmiş elyaf	155	35°	50x50	16
CT150S_E_40°	Spread edilmiş elyaf	155	40°	50x50	16
CT150S_E_45°	Spread edilmiş elyaf	155	45°	50x50	16
CT150S_E_0°	Spread edilmiş elyaf	155	90°	50x50	16

Reçine & sertleştirici

Deneyde matris elemanın olarak kullanılan Epoksi ve vinilester reçine kullanılmıştır. Reçinelere %30 oranın sertleştirici eklenerek ortalama kürleşme süresini 2 saat düzeyinde tutulmuştur.

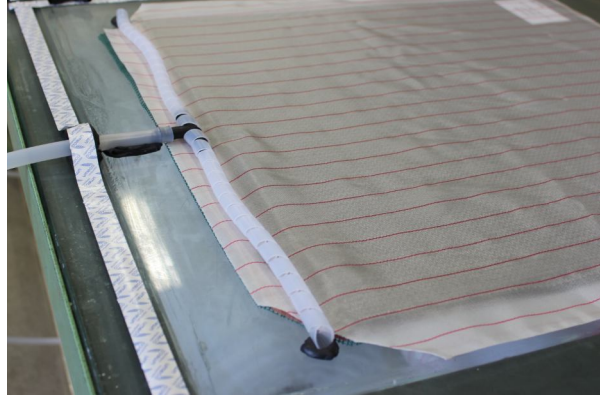
Sarf malzemeleri

Vakum naylonu : Vakum infüzyon prosesinde, üretilecek karbon kumaşlarının dış ortamdan ayırarak, kompozit üretiminde gerekli basınçta kalmasını sağlar. Karbon kumaşlar kalıp ile vakum naylonu arasında bırakılarak gerekli vakum sağlanır.

Soyma kumaşı : Kompozit parçanın vakum infüzyon prosesinden sonra, sarf malzemelerin parçadan çıkarılmasına yarayan yardımcı bir kumaştır. Bu kumaş, kalıp ayırıcı uygulanmış kalıp üzerine, karbon kumaştan önce ve hemen sonra serilir. Böylelikle karbon kumaş, soyma kumaşları arasında kalarak, kompozit parça oluşumundan sonra bu kumaş sayesinde diğer tüm vakum sarf malzemenin parçadan sökülmesine yardımcı olur.

Akış filesi : Vakum infüzyon prosesinde, vakum ile tamamen sıkıştırılmış kumaş içinden reçinenin ilerlemesini sağlamak için kullanılır.

Spiral hortum : Vakum İnfüzyon prosesinde, tek noktadan beslenen reçinenin, oluşturulacak parça boyunca eşit oranda dağıtımını sağlayan bir araçtır.



Şekil 3.1 : Spiral hortum

Keçe : Reçinenin dağıtımında spiral hortuma yardımcı, bir tür propilen kumaş çeşididir.

Vakum Macunu : Vakum naylonunun kalıba yapışmasını sağlayarak üretilcek malzemenin dış ortamla bağlantısını keser.

Delikli ayırıcı film : Reçinenin kumaşlar arasında eşit şekilde ilerlemesini sağlayarak tüm kumaşın reçine ile ıslanmasına yardımcı olur.



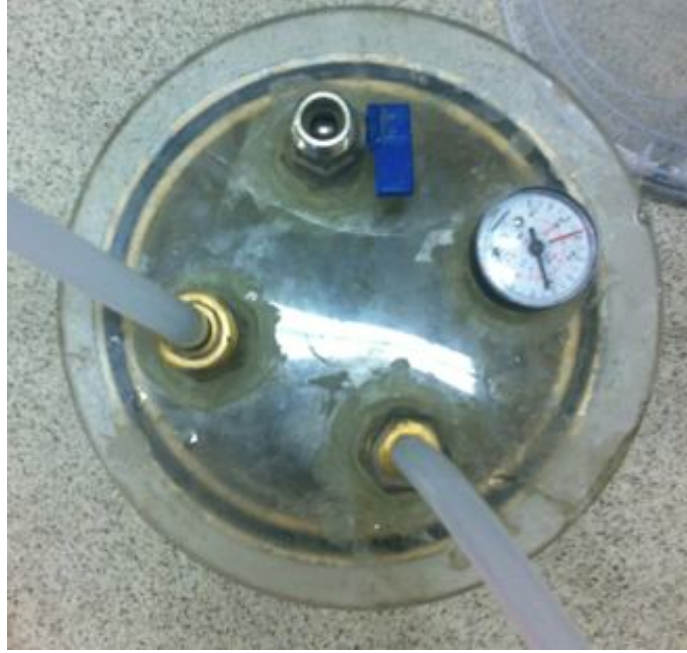
Şekil 3.2 : Delikli ayırıcı film

Vakum ölçüm aleti : İç basıncın vakum değerini gösterir. Bu alet reçine kaçış kabı üzerinde bulunur.

Vakum hortumu : Vakumun kumaş üzerinde dağılmasını sağlayan hortumdur.

Vakum bağlantı elemanları : Vakumun kumaş üzerinde kontrol edilmesini sağlayan aparatlardır.

Reçine kaçış kabı : Vakum yardımı ile çekilen reçinenin vakum hortumu ile vakum pompasına kaçmasını önleyen, fazla reçinenin toplanmasını sağlayan kaptır.



Şekil 3.3 : Reçine kaçış kabı

Aletler

Vakum pompası : Kurulmuş olan sisteme vakum uygulayarak reçinenin kürlenmesi sırasında ortamı sabit vakumda tutmaya yarar.



Şekil 3.4 : Vakum pompası

Karakterizasyonda kullanılan cihaz ve ekipmanlar

Çekme cihazı : Bu makine ile hazırlanan karbon kompozit malzeme örneklerinin çekme testi yapılmıştır. Elde edilen karbon kompozitlerin çekme testlerini

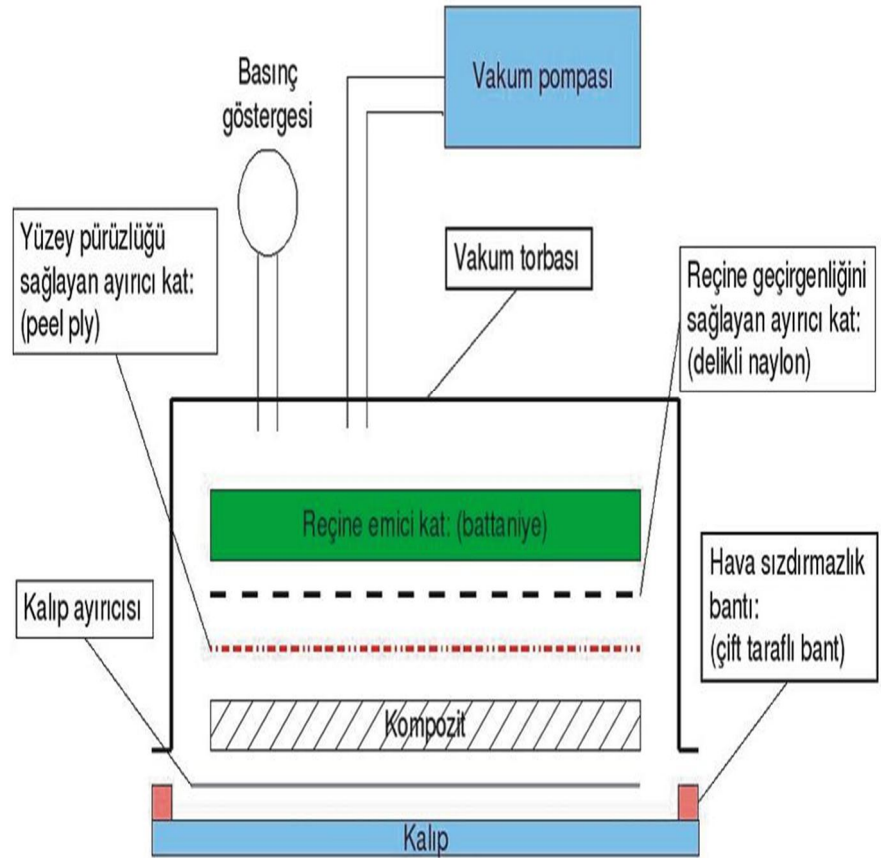
SHIMADZU marka cihaz kullanılarak yapılmıştır. Maksimum 100000 N'luk çekme gücüne sahip bu makinenin çekme hızı dakikada 2 mm olacak şekilde ayarlanmıştır. Malzemeleri test etmek için uygun sistem mekanik kamalı çeneler veya pnömatik yandan hareketli çeneler içeren bir elektromekanik test makinesidir. Çene adaptörü yüzeylerinin seçimi örnek tipine göre değişebilir ancak genelde tırtıklı yüzeyler kullanılır. Gerilmeyi doğru şekilde ölçmek için bir ekstansometre de gereklidir. Temas etmeyen ekstansometreler, örneğin İleri Düzey Video Ekstansometre (AVE), kompozit malzemelerin hatası için gerilmeyi ölçmek amacıyla çözünürlük ve doğruluğa sahiptir.



Şekil 3.5 : Çekme cihazı

Vakum İnfüzyon

Vakum infüzyonu, vakumlanmış ortam içerisinde reçinenin ilerlemesi prensibiyle çalışır. Vakum infüzyon prosesi, vakum pompası, vakum tankı (reçine toplama tankı), kalıp ve reçine kovası olmak üzere 4 kısımdan oluşur. Vakum infüzyon sisteminin şematik gösterimi Şekil 3.6 ta verilmiştir.



Şekil 3.6 : Vakum infüzyon prosesi

Karbon kumaşların kesimi

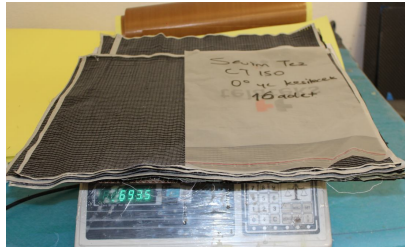
Karbon kumaşlar, 50x50 cm plaka elde edilecek şekilde, kumaş makası ile kesilmiştir. Oluşturulacak kompozit malzemenin kalınlığına göre kesilecek kumaş adetleri belirlenmiştir.

Karbon kumaşlar üzerine, çekme testinde referans alınmak üzere referans çizgisi bir bant yardımıyla Şekil (3.7)'deki gibi belirlenmiştir. Bu çizgi sayesinde elyaf yönleri tayin edilmesi amaçlanmıştır.



Şekil 3.7 : Referans çizgisi belirlenmiş karbon kumaş

Kesilen karbon kumaşlar, elyaf oranı tayininde kullanılmak üzere proses öncesinde tartılıp not edilmiştir (Şekil 3.8).



Şekil 3.8 : Tartımı alınan karbon kumaş

Kalıp yüzeyinin hazırlanması

Bu uygulamada düz plaka üretimi için kalıp yerine, cam masa kullanılmıştır. Kompozit plakalarının üretilirken, reçine sertleştikten sonra, kalıptan çıkarılabilmesi için, kalıba proses öncesinde uygun bir kalıp ayırıcı uygulanmıştır.

Soyma kumaşının eklenmesi

Soyma kumaşı infüzyon prosesinin ilk katmanını oluşturmaktadır. Soyma Kumaşı, 60x60 cm boyutlarında kalıbın üzerine yerleştirilmiştir. Bu kumaş, kompozit parçanın rahat çıkarılabilmesi, ve pürüzlü bir kompozit yüzeyi elde edebilmek için kumaşın iki yüzeyinde de kullanılır.

Delikli ayırıcı film ile akış filesinin eklenmesi

Üst kat soyma kumaşının üzerine reçinenin parça üzerinde homojen olarak ilerlemesini sağlamak için delikli ayırıcı film kullanılmıştır. Bu filmin üzerine akış filesi eklenerek reçinenin vakum altında ilerlemesi sağlanmıştır. Buna göre, akış filesi reçinenin parça üzerinde ilerlemesini sağlarken, ayırıcı film eşit olarak parça üzerine reçinenin geçişini sağlar.

Spiral hortum, vakum ve reçine girişlerinin eklenmesi

Spiral Hortum, eşit oranda reçine beslenebilmesi için, parça boyunca konulmuş ve reçine girişi bu hortuma bağlanmıştır. Parça sonuna vakum girişleri yapılarak reçine geçiş yolu belirlenmiştir.

Vakum macunun uygulanması

Vakum macunu, infüzyon prosesinin dış ortam ile olan bağlantısını kesmek için kullanılır. Bu macun, çift taraflı bir yapıştırıcı olup, kalıp ile vakum naylonu arasında sızdırmazlığı sağlar. Macun sızdırmazlığı sağlayacak şekilde uygulanmıştır.

Vakum naylonunun uygulanması

Parçanın vakum naylonu ile kapatılması için, kalıp üzerine çift taraflı vakum macunu kullanılarak, vakum torbası deney düzeneğinin üzerine kapatılmıştır. Ardından vakum çalıştırılarak, sistemin 8 bar basınç altında sabit tutulması sağlanmıştır.

Reçinenin hazırlanması

Bu çalışmada, oluşturulan her bir kompozit plaka için 1000 gr reçine kullanılmıştır. Reçine ve sertleştiricisi belirli oranda (%23) karıştırılarak, sisteme bağlanmıştır. Sistemin sıcaklığı proses öncesi ölçülerek not edilmiştir.

Sistemde vakum kaçağının olup olmadığı kontrol edilmiş, vakum sabitliği sağlandıktan sonra sistem hazır hale gelmiştir.

İnfüzyon işlemi

Vakumun sistem üzerinde açılması ile beraber, reçine besleme hattındaki kelepçe açılarak reçine geçişi başlatılmıştır. Reçine, spiral hortumdan geçerek kumaşın başladığı noktaya gelip, kumaşı ıslatmaya başlamıştır. Bu işlem kumaşın tamamı reçine ile ıslanana kadar devam etmiştir.

Reçine vakum besleme hortumundan geçip, reçine kaçış kabına gelinceye kadar vakum işlemi devam ettirilmiştir. Bu işlemin amacı, kat kat dizilen karbon kumaşlarının tamamıyla ıslandığına emin olmak için yapılmıştır.

Deneyde kullanılan reçinenin sertleştiricisine bağlı olarak ortalama 2 saatte reçinenin kürleşmesi beklenmiştir ve bu kürleşme reçinenin sıcaklığını ölçerek kontrol edilmiştir. Kürleşme sırasında kompozit malzemenin sıcaklığı belirli şekilde artmıştır. Kürleşme sıcaklığı 160° olarak ölçülmüştür.

Ardından, vakum kapatılarak reçinenin tam kürleşmesi için sistem stabil olarak 1 gün boyunca bekletilmiştir.

Sistemin açılması

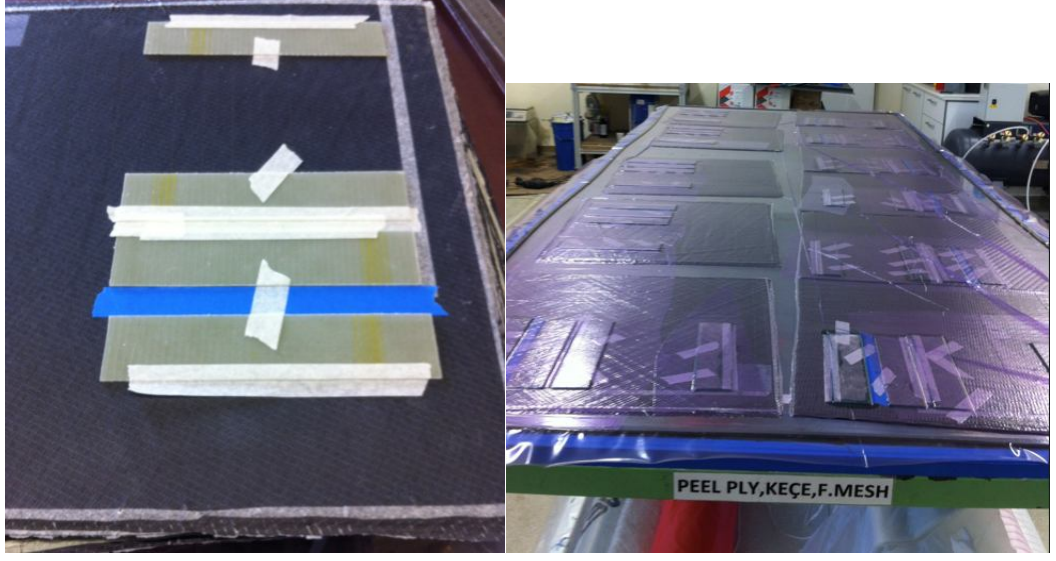
Reçinenin kürleşmesinin ardından kompozit malzeme üretilmiş olur. Vakum naylonunun açılması ile sistemin açılmasına başlanmıştır. Üzerinde sarf malzemelerin bulunduğu kompozit malzeme kalıptan çıkartılarak, soyma işlemine geçilmiştir. Kompozit malzemenin her iki yanında bulunan soyma kumaşı alınarak kompozit malzeme yapılacak testlere hazır hale getirilmiştir.

Hazırlanan plakaların öncelikle ağırlıkları ölçülerek not edilmiştir.

Tebleme

Tebleme, kompozit malzemenin karakterizasyonu için yapılacak olan çekme testleri öncesinde yapılan bir ön işlemdir. Bu işlemde kompozit malzemeye ek bir parça yapıştırılarak, yapıştırmanın tüm tebleme üzerinde ince bir film oluşturacak şekilde yayılabilmesi için teblenen plakalar tekrar vakum altına alınmıştır. Bu işlemde cam masa (kalıp) üzerine alınarak, vakum infüzyonunda olduğu gibi vakum altına alınmıştır. Plakalar 1 gün süre ile vakum altında tutulmuştur. Ardından sistemin

açılması ile birlikte kupon kesim işlemi için hazır hale getirilmiştir. Kupon, her plakadan belirli sayıda kesilen çekme testi numunesidir.



Şekil 3.9 : Tebleme işlemi

Kuponların kesilmesi ve hazırlanması

Teblemesi yapılan kompozit malzemelerin, ISO527-4 standartına uygun olarak kupon kesimleri yapılmıştır.

Her bir plaka için 8 adet, 25x150 mm lik kuponlar hazırlanmıştır. Hazırlanan kuponlar 80° de 3 saat otoklavda tutularak reçinenin kürünü alması sağlanmıştır.



Şekil 3.10 : Kuponların kesilmesi

Mekanik testler

Her plaka için hazırlanan 8 adet çekme kuponu ve 8 adet basma kuponlarından, teblemesi makineye uygun olabilecek 5 adet test numunesi seçilmiştir.

Makine ayarı yapılarak test numunelerine çekme testi uygulanmış ve sonuçlar alınmıştır.

Elyaf oranının belirlenmesi

İnfüzyon prosesi öncesinde tartılan kumaşlar ile, infüzyon sonrasında tartılan kompozit plakaların ağırlık farkı ile malzemede bulunan reçine miktarı belirlenmiştir. Kullanılan elyaf ve reçine miktarları bilinen plakaların, elyaf oranları hesaplanmıştır.

Plaka kalınlıklarının ve sertliğin ölçülmesi

Plakalar düz bir zemin üzerine alınarak, sertlik ölçme cihazı ile tüm plakaların sertlik değerleri ölçülmüştür. Her plakanın 4 ayrı noktasından bu ölçüm yapılmıştır.



Şekil 3.11 : Plaka kalınlık ve sertlik ölçümleri

SONUÇLAR

Karbon Elyaf Kompozitlerin Farklı Gramaj, Yayılma Tex (Spread Tow), Reçine ve Kumaş Tiplerinin Karakterisasyonu

1.1.16 Farklı Gramajlarda Üretilen Kompozitlerin İncelenmesi

Farklı gramajlarda karbon kompozit karşılaştırması için 1 m² ağırlığı 150gr ve 300gr olan kumaşlar seçilmiştir. Üretilen CT150S_E_0° ve CT300S_E_0°kompozit plakaların özellikleri Çizelge 4.1’de verilmiştir. Buna göre 150gr olan üründen 16 kat kumaş uygulaması yapılırken, 300gr lık kumaştan 8 kat uygulama yapılmıştır.

Çizelge 4.1 : Farklı gramajlarda üretilen kumaşların özellikleri

Ürün Tipi		Gramaj (gr/m ²)	Kumaş Açısı	Kesim Boyutları (cm)	Kullanılan Kat Sayısı (Adet)	Kullanılan Reçine
CT300S_E_0°	Spread edilmiş elyaf	308	0°	60x30	8	Epoksi
CT150S_E_0°	Spread edilmiş elyaf	155	0°	50x50	16	Epoksi

CT150S_E_0° numunesi 100000Nluk çekme kuvveti uygulanmasına rağmen, kuponda kopma meydana gelmemiştir. CT300S_E_0° numunesine uygulanan çekme testleri, kompozitlerin Çizelge 4.2 de görüleceği üzere ortalama 1200Mpa mertebelerinde kopma gösterdiği görülmüştür. CT300S_E_0° numunesinde iki çekme deneyinde tebleme parçalanması görüldüğünden bu deneylerin sonuçları değerlendirme dışı tutulmuştur. Çizelge 4.2 de yapılan tüm çekme deneylerin sonuçlarını, Çizelge 4.3 te ise kuponların değerlendirilmeye alınan değerleri verilmiştir.

Çizelge 4.2 : Kuponların çekme testi sonuçları

Çekme Testi	Maks. Gerilme	Maks. Uzama
Birim	MPa	%
CT150S_E_0°	1.151,05	1,05
CT300S_E_0°_1	134,44	-5,69
CT300S_E_0°_2	961,75	8,67
CT300S_E_0°_3	1.208,37	1,13
CT300S_E_0°_4	1.187,80	0,96
CT300S_E_0°_5	1.194,34	1,30
Ortalama	937,34	1,27
Standart Sapma	460,29	5,08

Çizelge 4.3 : Kuponların ortalama çekme testi sonuçları

	Maks. Gerilme	Maks. Uzama
	MPa	%
CT300S_E_0°_3	1.151,05	1,05
Ortalama	1.151,05	2,47
Standart Sapma	-	-
CT300S_E_0°_3	1.208,37	1,13
CT300S_E_0°_4	1.187,80	0,96
CT300S_E_0°_5	1.194,34	1,30
Ortalama	1.196,84	1,13
Standart Sapma	10,51	0,17

150 ve 300 gr kumaşlarla yapılan kompozitler karşılaştırıldığında 16 kat 150gr kumaştan elde edilen kompozitler, 8 Kat 300lü kumaştan elde edilen kompozitlere kıyasla daha yüksek çekme mukavemetine sahip olduğu görülmüştür.

Çizelge 4.4 te plakaların basma testi sonuçları verilmiştir. Bu sonuçlara göre numunelerin standart sapması yüksek bulunduğundan, Çizelge 4.5 te bu numunelerden standart sapmanın minimum olacağı numuneler seçilerek değerlendirme yapılmıştır. Bu sonuçlara göre 150gr kumaş ile üretilen kompozit plakanın basma mukavemeti 300gr kumaş ile üretilen kompozit malzemeye oranla yüksek olduğu görülmüştür.

Elyaf yönü, reçine, yayılmış teks elyaflardan elde edilmiş olan kompozitlerin söz konusu bu özellikleri sabit tutularak, farklı kumaş gramajlarından elde edilen kompozitlere kıyasla Çizelge 4.6 te görüleceği üzere plakaların elyaf kumaş ağırlıkları yaklaşık eşittir. Çok az farklılık kumaş kesiminden kaynaklanmaktadır. Buna bağlı olarak kompozitte oluşturulan

matriks reçine miktarı farklılık göstermektedir. 300lük kumaş için plaka ağırlığı 860gr iken 150lük kumaş için 1080grdır. Plakaların elyaf oranları yaklaşık eşit olduğundan bu iki gramaj için karşılaştırma yapılabilir.

Çizelge 4.4 : Kuponların basma testi sonuçları

	Maks. Gerilme MPa	Maks. Uzama %
CT_150_0°_1	490,12	0,85
CT_150_0°_2	307,03	0,93
CT_150_0°_3	508,19	0,97
CT_150_0°_4	352,60	0,40
CT_150_0°_5	381,20	0,47
Ortalama	407,83	0,72
Standart Sapma	87,70	0,27
CT300S_E_0°_1	366,83	0,40
CT300S_E_0°_2	331,98	3,81
CT300S_E_0°_3	432,85	0,68
CT300S_E_0°_4	361,20	1,36
CT300S_E_0°_5	402,47	0,68
Ortalama	379,07	1,39
Standart Sapma	39,14	1,40

Çizelge 4.5 : Kuponların ortalama basma testi sonuçları

	Maks. Gerilme MPa	Maks. Uzama %
CT_150_0°_2	490,12	0,85
CT_150_0°_4	508,19	0,97
Ortalama	499,15	0,91
Standart Sapma	12,78	0,08
CT300S_E_0°_1	366,83	0,40
CT300S_E_0°_2	331,98	3,81
CT300S_E_0°_4	361,20	1,36
Ortalama	353,33	1,86
Standart Sapma	18,71	1,76

Çizelge 4.6: Farklı gramajdaki kumaşların karşılaştırma özellikleri

						Çekme Testi				Basma Testi			
Ürün Tipi	Kullanılan Reçine	Elyaf Ağırlığı (gr)	Plaka Ağırlığı (gr)	Sertlik	Elyaf Oranı	Ort. Kupon Kalınlığı (mm)	Ort. Kupon genişliği (mm)	Maks. Gerilme (Mpa)	Maks. Uzama (%)	Ort. Kupon Kalınlığı (mm)	Ort. Kupon genişliği (mm)	Maks. Gerilme (Mpa)	Maks. Uzama (%)
CT300S_E_0°	Epoksi	514,00	860,00	50-60	59,77%	3,11	25,73	1.196,84	1,13	3,20	26,22	346,94	0,60
CT150S_E_0°	Epoksi	629,00	1.080,00	50-60	58,24%	3,3	25,8	>1.151,05	>1,05	2,95	25,42	353,33	1,86

1.1.17 Spread Edilmiş Kumaşlardan Elde Edilen Kompozitlerin

Karşılaştırılması

1.1.17.1 Vinilester reçine kullanılarak hazırlanan kompozitlerde elyafların spread edilip edilmemesinin kompozit özelliklerine etkisinin incelenmesi

Vinilester reçine ile hazırlanan numunelerin spread edilmiş ve edilmemiş olanları karşılaştırmak amacıyla yapılan testte kullanılan kumaşların özellikleri Çizelge 4.7 de verilmiştir. Spread özelliğinin incelenmesi için 600gr multiaksiyel ürünlerin spread edilmiş ve edilmemiş olanı seçilmiştir. Bu kumaşların açıları Üretilen CLT600_VE ve CLT600S_VE kompozit plakaların özellikleri Çizelge 4.7’de verilmiştir. Buna göre 600gr ürünlerden 8 kat kumaş uygulaması yapılmıştır.

Çizelge 4.7 : Farklı yöntemlerle (spread – nonspread) ve Vinilester reçine ile üretilen kumaşların özellikleri

Ürün Tipi		Gramaj (gr/m ²)	Kumaş Açısı	Kesim Boyutları (cm)	Kullanılan Kat Sayısı (Adet)	Kullanılan Reçine
CLT600_VE	Spread edilmemiş elyaf	635	0°/90°	50x50	4	Vinilester
CLT600S_VE	Spread edilmiş elyaf	608	0°/90°	50x50	4	Vinilester

CLT600_VE ve CLT600S_VE numunelerine uygulanan çekme testleri, Çizelge 4.8 de verilmiştir. Çekme testlerinde alınan sonuçların standart sapması yüksek olduğundan Çizelge 4.9 da bu değerin azaltılmasıyla oluşturulmuş ve değerlendirmeye alınan deney sonuçları verilmiştir. Malzemenin maksimum uzama yüzdesi çekme cihazına bağlı olarak çalışan online kamera sistemi ile ölçüldüğünde, deney sırasında cihazın referans noktalarını tanımlayamaması ile birlikte bu değer doğru okunamamaktadır. Maksimum uzama yüzdesinin eksi (-) değerinde olması bu kupon üzerindeki referans noktasının kamera tarafından kaçırılmasından kaynaklanmaktadır.

Çizelge 4.8 : Kuponların çekme testi sonuçları

Çekme Testi	Maks. Gerilme	Maks. Uzama
Birim	MPa	%
CLT600_VE_1	658,77	2,23
CLT600_VE_2	615,65	-5,55
CLT600_VE_3	629,30	1,26
CLT600_VE_4	560,24	1,11
CLT600_VE_5	588,33	1,32
Ortalama	610,46	0,08
Standart Sapma	37,84	3,17
CLT600S_VE_1	642,26	-1,72
CLT600S_VE_2	684,40	2,11
CLT600S_VE_3	538,27	-6,96
CLT600S_VE_4	568,14	2,61
CLT600S_VE_5	578,63	2,83
Ortalama	602,34	-0,23
Standart Sapma	59,50	4,20

Çizelge 4.9 : Kuponların ortalama çekme testi sonuçları

Çekme	Maks. Gerilme	Maks. Uzama
Birim	MPa	%
CLT600_VE_2	615,65	-5,55
CLT600_VE_4	560,24	1,11
CLT600_VE_5	588,33	1,32
Ortalama	588,07	-1,04
Standart Sapma	27,70	3,91
CLT600S_VE_1	642,26	-1,72
CLT600S_VE_4	568,14	2,61
CLT600S_VE_5	578,63	2,83
Ortalama	596,34	2,72
Standart Sapma	40,10	0,16

600 gr spread edilen ve edilmeyen kompozitler karşılaştırıldığında, spread edilerek üretilen kompozitlerin, spread edilmeyen kompozitlere oranla daha yüksek çekme mukavemetine sahip olduğu görülmüştür.

Çizelge 4.10 te plakaların basma testi sonuçları verilmiştir. Bu sonuçlara göre numunelerin standart sapması yüksek bulunduğundan, Çizelge 4.11 te bu numunelerden standart sapmanın minimum olacağı numuneler seçilerek değerlendirme yapılmıştır. Bu sonuçlara göre spread

edilmiş kumaş ile üretilen kompozit plakanın basma mukavemeti, spread edilmemiş ile üretilen kompozit malzemeye oranla yüksek olduğu görülmüştür.

Elyaf yönü, reçine, gramajı aynı olan, ve elyafın spread edilme özelliğinin kıyası Çizelge 4.12 te verilmiştir. Plaka boyutları aynı olan kompozitlerin, elyaf oranı birbirine çok yakın çıkmıştır. Plakaların elyaf oranları eşit olduğundan bu iki gramaj için karşılaştırma yapılabilir.

Çizelge 4.10 : Kuponların basma testi sonuçları

Basma Testi	Maks. Gerilme MPa	Maks. Uzama %
Birim		
CLT600_VE_1	107,28	-0,40
CLT600_VE_2	117,24	0,13
CLT600_VE_3	129,28	0,57
CLT600_VE_4	136,53	0,14
CLT600_VE_5	144,03	0,45
Ortalama	126,87	0,18
Standart Sapma	14,75	0,38
CLT600S_VE_1	247,57	0,37
CLT600S_VE_2	319,66	0,46
CLT600S_VE_3	208,15	0,62
CLT600S_VE_4	193,27	0,45
CLT600S_VE_5	207,94	1,02
Ortalama	235,32	0,58
Standart Sapma	51,28	0,26

Çizelge 4.11 : Kuponların ortalama basma testi sonuçları

Basma Testi	Maks. Gerilme MPa	Maks. Uzama %
Birim		
CLT600_VE_2	117,24	0,13
CLT600_VE_3	129,28	0,57
CLT600_VE_4	136,53	0,14
Ortalama	127,68	0,28
Standart Sapma	9,74	0,25
CLT600S_VE_1	247,57	0,37
CLT600S_VE_3	208,15	0,62
CLT600S_VE_5	207,94	1,02
Ortalama	221,22	0,67
Standart Sapma	22,82	0,33

Çizelge 4.12 : Farklı yöntemlerle (spread-nonspread) üretilen kumaşların karşılaştırma analizleri

						Çekme Testi				Basma Testi			
Ürün Tipi	Kullanılan Reçine	Elyaf Ağırlığı (gr)	Plaka Ağırlığı (gr)	Sertlik	Elyaf Oranı	Ort. Kupon Kalınlığı (mm)	Ort. Kupon genişliği (mm)	Maks. Gerilme (Mpa)	Maks. Uzama (%)	Ort. Kupon Kalınlığı (mm)	Ort. Kupon genişliği (mm)	Maks. Gerilme (Mpa)	Maks. Uzama (%)
CLT600_VE	Vinilester	670,00	1.080,00	50-55	62,04%	2,74	26,14	588,07	1,22	2,87	26,21	127,68	0,28
CLT600S_VE	Vinilester	635,00	1.020,00	50-55	62,25%	3,03	25,83	596,34	2,72	2,79	26,11	221,22	0,67

1.1.17.2 Epoksi reçine kullanılarak hazırlanan kompozitlerde elyafların spread edilip edilmemesinin kompozit özelliklerine etkisinin incelenmesi

Epoksi reçine ile hazırlanan numunelerin spread edilmiş ve edilmemiş olanları karşılaştırmak amacıyla yapılmış testte kullanılan kumaşların özellikleri Çizelge 4.13’de verilmiştir. Spread özelliğinin kompozit malzemede neden olduğu karakterizasyon değişikliğini gözlemlemek için önceden spread edilmiş karbon elyaf ile spread edilmemiş karbon elyaflardan aynı gramaj ve aynı açıda kumaşları üretilmiştir. Daha sonra bu kumaşlardan epoksi reçine ile aynı ortam şartlarında kompozit plakalar üretilmiştir. Üretilen bu kompozit malzemelerin özellikleri Çizelge 4.18’de verilmiştir.

Çizelge 4.13 : Farklı yöntemlerle (spread – nonspread) üretilen kumaşların özellikleri

Ürün Tipi		Gramaj (gr/m2)	Kumaş Açısı	Kesim Boyutları (cm)	Kullanılan Kat Sayısı (Adet)	Kullanılan Reçine
CLT600S_E	Spread edilmiş elyaf	608	0°/90°	50x50	4	Epoksi
CLT600_E	Spread edilmemiş elyaf	635	0°/90°	50x50	4	Epoksi

Hazırlanan kompozit plakalardan, çekme ve basma testleri için 5 er kupon hazırlanmış ve test edilmiştir. Çekme testlerin sonuçları Çizelge 4.14 te, basma testlerin sonuçları ise Çizelge 4.16 da verilmiştir.

Çekme testlerinin sonuçları incelendiğinde spread edilmiş kumaştan elde edilen kompozitlerin spread edilmeden üretilen kumaşlara kıyasla yüksek olduğu görülmüştür. Ancak kompozit malzemelerin test sonuçlarının standart sapmaları yüksek olduğundan, standart sapmaları minimum olacak şekilde seçilerek değerlendirmeye alınan sonuçlar Çizelge 4.15te verilmiştir. Bu sonuçlara göre spread edilerek üretilen kompozit malzemenin çekme testi değeri 678Mpa civarında iken, spread edilmemiş kumaşlardan üretilen kompozit malzemenin çekme testi değeri 582Mpa olarak bulunmuştur.

Çizelge 4.14 : Kuponların çekme testi sonuçları

Çekme Testi	Maks. Gerilme MPa	Maks. Uzama %
Birim		
CLT600S_E_1	650,74	1,38
CLT600S_E_2	618,10	1,01
CLT600S_E_3	682,44	1,08
CLT600S_E_4	673,65	1,15
CLT600S_E_5	614,36	1,69
Ortalama	647,86	1,26
Standart Sapma	31,13	0,28
CLT600_E_1	517,72	10,50
CLT600_E_2	542,23	-7,80
CLT600_E_3	554,50	2,48
CLT600_E_4	548,65	1,13
CLT600_E_5	549,64	0,80
Ortalama	542,55	1,42
Standart Sapma	14,55	6,50

Çizelge 4.15 : Kuponların ortalama çekme testi sonuçları

Çekme Testi	Maks. Gerilme MPa	Maks. Uzama %
Birim		
CLT600S_E_4	682,44	1,08
CLT600S_E_5	673,65	1,15
Ortalama	678,04	1,12
Standart Sapma	6,22	0,05
CLT600_E_2	542,23	
CLT600_E_3	554,50	2,48
CLT600_E_4	548,65	1,13
CLT600_E_5	549,64	0,80
Ortalama	548,76	1,47
Standart Sapma	5,05	0,89

Çizelge 4.16 da verilen basma testi sonuçları, çekme testi sonuçlarının tersine, spread edilmemiş kumaştan üretilen kompozit malzemelerin sonuçları, spread edilmiş ürüne göre daha yüksek bulunmuştur. Bu ürünlerin değerlendirmeye alınan sonuçları ise Çizelge 4.17 de verilmiştir.

Çizelge 4.16 : Kuponların basma testi sonuçları

Basma Testi	Maks. Gerilme	Maks. Uzama
Birim	MPa	%
CLT600S_E_1	293,34	0,59
CLT600S_E_2	240,48	0,41
CLT600S_E_3	249,98	1,64
CLT600S_E_4	279,53	3,34
CLT600S_E_5	278,08	0,47
Ortalama	268,28	1,29
Standart Sapma	22,13	1,25
CLT600_E_1	297,49	3,75
CLT600_E_2	290,49	0,67
CLT600_E_3	304,81	2,45
CLT600_E_4	324,04	0,84
CLT600_E_5	313,48	0,97
Ortalama	306,06	1,74
Standart Sapma	13,19	1,33

Çizelge 4.17 : Kuponların ortalama basma testi sonuçları

Basma Testi	Maks. Gerilme	Maks. Uzama
Birim	MPa	%
CLT600S_E_1	293,34	0,59
CLT600S_E_4	279,53	3,34
CLT600S_E_5	278,08	0,47
Ortalama	283,65	1,47
Standart Sapma	8,42	1,63
CLT600_E_1	297,49	3,75
CLT600_E_3	304,81	2,45
CLT600_E_5	313,48	0,97
Ortalama	305,26	2,39
Standart Sapma	8,00	1,39

Epoksi reçine ile üretilen ve karbon elyafın spread edilme özelliğinin incelenmesi üzerine yapılan deneyin tüm sonuçları Çizelge 4.18 de verilmiştir.

Çizelge 4.18 : Farklı yöntemlerle (spread-nonspread) ve Epoksi reçine ile üretilen kompozit malzemelerin karşılaştırma analizleri

						Çekme Testi				Basma Testi			
Ürün Tipi	Kullanılan Reçine	Elyaf Ağırlığı (gr)	Plaka Ağırlığı (gr)	Sertlik	Elyaf Oranı	Ort. Kupon Kalınlığı (mm)	Ort. Kupon genişliği (mm)	Maks. Gerilme (Mpa)	Maks. Uzama (%)	Ort. Kupon Kalınlığı (mm)	Ort. Kupon genişliği (mm)	Maks. Gerilme (Mpa)	Maks. Uzama (%)
CLT600S_E	Epoksi	644,50	1.080,00	55-60	59,68%	3,06	25,9	678,04	1,12	3,10	26,58	283,65	1,47
CLT600_E	Epoksi	679,00	1.140,00	50-55	59,56%	3,07	25,78	548,76	1,47	3,21	26,36	305,26	2,39

1.1.18 Farklı Tür Kumaşlar ile Üretilen Kompozit Malzemelerin Karşılaştırılması

Multiaksiyel kumaşlar elyafların belirtilen açılarda dizilerek, bir dikiş yardımıyla birbirine tutulması ile oluşturulan kumaşlar iken, dokuma kumaşlar elyafların birbirini içerisinde ilmek atılarak tutturulması ile oluşturulur. Multiaksiyel ürünler, dokuma kumaşlara göre daha kapalı yüzeyler (homojen dağılım) göstermektedir. Bu iki kumaştan üretilen kompozit malzemenin karakterizasyonu, matris elemanını vinilester reçine ve epoksi reçine olarak ayrı ayrı yapılmıştır.

1.1.18.1 Vinilester reçine kullanılarak hazırlanan kompozitlerde kumaş tipinin kompozit özelliklerine etkisinin incelenmesi

Multiaksiyel kumaşlar ile dokuma kumaşlar arasındaki karakterizasyon farklarını belirlemek için yapılan bu çalışmada, yaklaşık olarak aynı gramajda üretilen kumaşların özellikleri Çizelge 4.19’da verilmiştir. Bu kumaşlardan vinilester reçine ile aynı ortam şartlarında kompozit plakalar üretilmiştir. Üretilen bu kompozit malzemelerin özellikleri Çizelge 4.24’de verilmiştir.

Çizelge 4.19 : Farklı dokuma tipleri ile üretilen kumaşların özellikleri

Ürün Tipi		Gramaj (gr/m2)	Kumaş Açısı	Kesim Boyutları (cm)	Kullanılan Kat Sayısı (Adet)	Kullanılan Reçine
CLT600_VE	Spread edilmemiş elyaf	635	0°/90°	50x50	4	Vinilester
CW600_VE	Spread edilmemiş elyaf	608	-	50x50	4	Vinilester

Hazırlanan kompozit plakalardan, çekme ve basma testleri için 5 er kupon hazırlanmış ve test edilmiştir. Çekme testlerin sonuçları Çizelge 4.20 te, basma testlerin sonuçları ise Çizelge 4.22 de verilmiştir.

Çekme testlerinin sonuçları incelendiğinde multiaksiyel kumaştan elde edilen kompozitlerin, dokuma kumaşdan üretilen kompozit malzemelere kıyasla yüksek olduğu görülmüştür. Ancak kompozit malzemelerin test sonuçlarının standart sapmaları yüksek olduğundan, standart sapmaları minimum olacak şekilde seçilerek

değerlendirmeye alınan sonuçlar Çizelge 4.21 de verilmiştir. Bu sonuçlara göre multiaksiye kumaşlardan üretilen kompozit malzemenin çekme testi değeri 588Mpa civarında iken, dokuma kumaşlardan üretilen kompozit malzemenin çekme testi değeri 539Mpa olarak bulunmuştur.

Çizelge 4.20 : Kuponların çekme testi sonuçları

Çekme Testi	Maks. Gerilme	Maks. Uzama
Birim	MPa	%
CLT600_VE_1	658,77	2,23
CLT600_VE_2	615,65	-5,55
CLT600_VE_3	629,30	1,26
CLT600_VE_4	560,24	1,11
CLT600_VE_5	588,33	1,32
Ortalama	610,46	0,08
Standart Sapma	37,84	3,17
CW600_VE_1	508,21	1,38
CW600_VE_2	567,92	1,51
CW600_VE_3	590,97	2,16
CW600_VE_4	490,93	1,71
CW600_VE_5	543,37	1,70
Ortalama	540,28	1,69
Standart Sapma	41,25	0,29

Çizelge 4.21 : Kuponların ortalama çekme testi sonuçları

Çekme	Maks. Gerilme	Maks. Uzama
Birim	MPa	%
CLT600_VE_2	615,65	
CLT600_VE_4	560,24	1,11
CLT600_VE_5	588,33	1,32
Ortalama	588,07	1,22
Standart Sapma	27,70	0,15
CW600_VE_1	508,21	1,38
CW600_VE_2	567,92	1,51
CW600_VE_5	543,37	1,70
Ortalama	539,83	1,53
Standart Sapma	30,01	0,16

Çizelge 4.22 de verilen basma testi sonuçları, çekme testi sonuçlarının tersine, dokuma kumaştan üretilen kompozit malzemelerin sonuçları, multiaksiyel kumaşlara

göre daha yüksek bulunmuştur. Bu ürünlerin değerlendirmeye alınan sonuçları ise Çizelge 4.23 te verilmiştir

Çizelge 4.22 : Kuponların basma testi sonuçları

Basma Testi	Maks. Gerilme	Maks. Uzama
Birim	MPa	%
CLT600_VE_1	107,28	-0,40
CLT600_VE_2	117,24	0,13
CLT600_VE_3	129,28	0,57
CLT600_VE_4	136,53	0,14
CLT600_VE_5	144,03	0,45
Ortalama	126,87	0,18
Standart Sapma	14,75	0,38
CW600_VE_1	156,44	0,45
CW600_VE_2	162,00	0,49
CW600_VE_3	180,35	0,24
CW600_VE_4	158,84	0,23
CW600_VE_5	198,38	1,85
Ortalama	171,20	0,65
Standart Sapma	17,87	0,68

Çizelge 4.23 : Kuponların ortalama basma testi sonuçları

Basma Testi	Maks. Gerilme	Maks. Uzama
Birim	MPa	%
CLT600_VE_3	129,28	0,57
CLT600_VE_4	136,53	0,14
CLT600_VE_5	144,03	0,45
Ortalama	136,61	0,39
Standart Sapma	7,38	0,22
CW600_VE_1	156,44	0,45
CW600_VE_2	162,00	0,49
CW600_VE_4	158,84	0,23
Ortalama	159,09	0,39
Standart Sapma	2,79	0,14

Vinilester reçine ile üretilen ve kumaş tipinin kompozit malzeme üzerindeki karakterizasyon değişikliğini saptamak üzere yapılan deneylerin tüm sonuçları Çizelge 4.23 te verilmiştir.

Çizelge 4.24 : Farklı dokuma tipleri ve Vinilester reçine ile üretilen kompozit malzemelerin karşılaştırma analizleri

Ürün Tipi	Kullanılan Reçine	Elyaf Ağırlığı (gr)	Plaka Ağırlığı (gr)	Sertlik	Elyaf Oranı	Çekme Testi				Basma Testi			
						Ort. Kupon Kalınlığı (mm)	Ort. Kupon genişliği (mm)	Maks. Gerilme (Mpa)	Maks. Uzama (%)	Ort. Kupon Kalınlığı (mm)	Ort. Kupon genişliği (mm)	Maks. Gerilme (Mpa)	Maks. Uzama (%)
CLT600_VE	Vinilester	670,00	1.080,00	50-55	62,04%	2,74	26,14	588,07	1,22	2,87	26,21	136,61	0,39
CW600_VE	Vinilester	632,00	960,00	60	65,83%	2,83	26,38	539,83	1,53	2,41	25,62	159,09	0,39

1.1.18.2 Epoksi reçine kullanılarak hazırlanan kompozitlerde kumaş tipinin kompozit özelliklerine etkisinin incelenmesi

Kumaş tipinin karakterizasyon farklarını belirlemek için yapılan bu çalışmada, matris elemanı olarak epoksi reçine kullanılmıştır. Üretilen dokuma ve multiaksiyel kumaşlar yaklaşık olarak aynı gramajda üretilmiş ve diğer tüm özellikleri Çizelge 4.25’de verilmiştir. Bu kumaşlardan epoksi reçine ile aynı ortam şartlarında kompozit plakalar üretilmiştir. Üretilen bu kompozit malzemelerin özellikleri Çizelge 4.30’da verilmiştir.

Çizelge 4.25 : Farklı dokuma tipleri ile üretilen kumaşların özellikleri

Ürün Tipi		Gramaj (gr/m2)	Kumaş Açısı	Kesim Boyutları (cm)	Kullanılan Kat Sayısı (Adet)	Kullanılan Reçine
CLT600_E	Spread edilmemiş elyaf	635	0°/90°	50x50	4	Epoksi
CW600_E	Spread edilmemiş elyaf	608	-	50x50	4	Epoksi

Hazırlanan kompozit plakalardan, çekme ve basma testleri için 5 er kupon hazırlanmış ve test edilmiştir. Çekme testlerin sonuçları Çizelge 4.26 te, basma testlerin sonuçları ise Çizelge 4.28 de verilmiştir.

Çekme testlerinin sonuçları incelendiğinde multiaksiyel kumaştan elde edilen kompozitlerin, dokuma kumaşdan üretilen kompozit malzemelere kıyasla, vinilester reçine de olduğu gibi, daha yüksek olduğu görülmüştür. Ancak kompozit malzemelerin test sonuçlarının standart sapmaları yüksek olduğundan, standart sapmaları minumum olacak şekilde seçilerek değerlendirmeye alınan sonuçlar Çizelge 4.27 de verilmiştir. Bu sonuçlara göre multiaksiye kumaşlardan üretilen kompozit malzemenin çekme testi değeri 548Mpa civarında iken, dokuma kumaşlardan üretilen kompozit malzemenin çekme testi değeri 454Mpa olarak bulunmuştur.

Çizelge 4.26 : Kuponların çekme testi sonuçları

Çekme Testi	Maks. Gerilme	Maks. Uzama
Birim	MPa	%
CLT600_E_1	517,72	10,50
CLT600_E_2	542,23	-7,80
CLT600_E_3	554,50	2,48
CLT600_E_4	548,65	1,13
CLT600_E_5	549,64	0,80
Ortalama	542,55	1,42
Standart Sapma	14,55	6,50
CW600_E_1	456,28	0,59
CW600_E_2	417,10	1,40
CW600_E_3	385,28	1,47
CW600_E_4	453,03	0,82
CW600_E_5	85,30	0,21
Ortalama	359,40	0,90
Standart Sapma	155,95	0,54

Çizelge 4.27 : Kuponların ortalama çekme testi sonuçları

Çekme Testi	Maks. Gerilme	Maks. Uzama
Birim	MPa	%
CLT600_E_2	542,23	
CLT600_E_3	554,50	2,48
CLT600_E_4	548,65	1,13
CLT600_E_5	549,64	0,80
Ortalama	548,76	1,47
Standart Sapma	5,05	0,89
CW600_E_1	456,28	0,59
CW600_E_4	453,03	0,82
Ortalama	454,65	0,70
Standart Sapma	2,29	0,16

Çizelge 4.28 de verilen basma testi sonuçları, çekme testi sonuçlarında olduğu gibi, multiaksiyel kumaştan üretilen kompozit malzemelerin sonuçları, dokuma kumaştan üretilen kompozit malzemeye göre daha yüksek bulunmuştur. Bu ürünlerin değerlendirmeye alınan sonuçları ise Çizelge 4.29 da verilmiştir.

Çizelge 4.28 : Kuponların basma testi sonuçları

Basma Testi	Maks. Gerilme	Maks. Uzama
Birim	MPa	%
CLT600_E_1	297,49	3,75
CLT600_E_2	290,49	0,67
CLT600_E_3	304,81	2,45
CLT600_E_4	324,04	0,84
CLT600_E_5	313,48	0,97
Ortalama	306,06	1,74
Standart Sapma	13,19	1,33
CW600_E_1	268,70	1,18
CW600_E_2	285,95	7,23
CW600_E_3	307,62	0,53
CW600_E_4	257,59	3,39
CW600_E_5	282,24	0,96
Ortalama	280,42	2,66
Standart Sapma	18,92	2,79

Çizelge 4.29 : Kuponların ortalama basma testi sonuçları

Basma Testi	Maks. Gerilme	Maks. Uzama
Birim	MPa	%
CLT600_E_1	297,49	3,75
CLT600_E_3	304,81	2,45
CLT600_E_5	313,48	0,97
Ortalama	305,26	2,39
Standart Sapma	8,00	1,39
CW600_E_1	268,70	1,18
CW600_E_2	285,95	7,23
CW600_E_5	282,24	0,96
Ortalama	278,96	3,13
Standart Sapma	9,08	3,56

Epoksi reçine ile üretilen ve kumaş tipinin kompozit malzeme üzerindeki karakterizasyon değişikliğini saptamak üzere yapılan deneylerin tüm sonuçları Çizelge 4.30 da verilmiştir.

Çizelge 4.30 : Farklı dokuma tipleri ile üretilen kumaşların karşılaştırma analizleri

Ürün Tipi	Kullanılan Reçine	Elyaf Ağırlığı (gr)	Plaka Ağırlığı (gr)	Sertlik	Elyaf Oranı	Çekme Testi				Basma Testi			
						Ort. Kupon Kalınlığı (mm)	Ort. Kupon genişliği (mm)	Maks. Gerilme (Mpa)	Maks. Uzama (%)	Ort. Kupon Kalınlığı (mm)	Ort. Kupon genişliği (mm)	Maks. Gerilme (Mpa)	Maks. Uzama (%)
CLT600_E	Epoksi	679,00	1.140,00	50-55	59,56%	3,07	25,78	548,76	1,47	3,21	26,36	305,26	2,39
CW600_E	Epoksi	646,00	1.000,00	60	64,60%	2,69	26,11	454,65	0,70	2,81	26,42	278,96	3,13

Farklı Açılarda Yerleştirilmesi ile Elde Edilen Kompozitlerin İncelenmesi

Kompozit malzemelerde elyafların, malzemenin maruz kalacağı yük yönüne göre kalıp üzerine yerleştirilmesi gerekir. Üretim aşamasında yaşanan elyaf kaymalarının malzemelerin mekanik özelliklerini etkiledikleri bilinmektedir. Bu çalışmada elyaf yönünün malzemenin kompozit özelliklerine etkisi, diğer tüm parametreler (gramajı ve miktarı) aynı olan karbon kumaş ile matris sabit tutularak, 0^0 dan 45^0 ye kadar 5^0 lik açı değişimi ile üretilen karbon kompozitler karakterize edilerek saptanmıştır. Burada bahsedilen 5^0 lik açı değişimleri belirlenen referans yönüne göre sapma açılarını vermektedir. Örneğin, kumaş açısı 10^0 olan kumaşın, referans yönünü ile arasındaki açı 10^0 dir. Buna göre hazırlanan kumaşların özellikleri Çizelge 4.31 de verilmiştir. Gramajı 155 gr olan kumaştan, her açı sapması için, 16 kat açılı kumaş kesilmiş ve bu kumaşlar epoksi reçine ile 50x50cm kompozit plakaları oluşturulmuştur.

Açı sapmalarının karakterizasyon farklarını belirlemek için yapılan bu çalışmada, açılı kumaşlardan üretilen kompozit malzemelerin özellikleri Çizelge 4.40'da verilmiştir.

Çizelge 4.31 : Farklı açılar ile üretilen kumaşların özellikleri

Ürün Tipi		Gramaj (gr/m2)	Kumaş Açısı	Kesim Boyutları (cm)	Kullanılan Kat Sayısı (Adet)	Kullanılan Reçine
CT150S_E_0°	Spread edilmiş elyaf	155	0°	50x50	16	Epoksi
CT150S_E_5°	Spread edilmiş elyaf	155	5°	50x50	16	Epoksi
CT150S_E_10°	Spread edilmiş elyaf	155	10°	50x50	16	Epoksi
CT150S_E_15°	Spread edilmiş elyaf	155	15°	50x50	16	Epoksi
CT150S_E_20°	Spread edilmiş elyaf	155	20°	50x50	16	Epoksi
CT150S_E_25°	Spread edilmiş elyaf	155	25°	50x50	16	Epoksi
CT150S_E_30°	Spread edilmiş elyaf	155	30°	50x50	16	Epoksi
CT150S_E_35°	Spread edilmiş elyaf	155	35°	50x50	16	Epoksi
CT150S_E_40°	Spread edilmiş elyaf	155	40°	50x50	16	Epoksi
CT150S_E_45°	Spread edilmiş elyaf	155	45°	50x50	16	Epoksi
CT150S_E_90°	Spread edilmiş elyaf	155	90°	50x50	16	Epoksi

Çizelge 4.32 de sapma dereceleri 0° - 25° arasında olan kompozit malzemelerin çekme testi sonuçları verilmiştir. Referans değer ile yaptığı açı 0° olan kumaş – elyaf dizilim yönünde yapılan çekme testi – için kesin değerler, çekme testi cihazının kapasitesininin yetmemesi üzerine bulunamamıştır. Buna göre, oluşturulan bu kompozit malzeme 100000N luk çekme kuvvetine dayanabildiği ve malzemenin karakterizasyonu için gerekli olan çekme kuvveti değerinin bu değerinin üzerinde olduğu saptanmıştır. Çizelge 4.34 te verilen, 0° - 25° arasında olan kompozit malzemelerin değerlendirmeye alınan ve ortalama çekme testi sonuçlarına göre, bu malzemenin çekme mukavemeti için >1.151,05Mpa olarak belirlenmiştir.

Referans değer ile yaptığı açı 5^0 olan kumaş için cihaz kapasitesinde çekme testleri gerçekleştirilmiştir. Bu malzemenin, çekme mukavvemeti için 1.107,05Mpa olarak belirlenmiştir. Bu değer sapma derecesi 0^0 olan -elyaf yönünde herhangi bir sapma açısının bulunmadığı- kompozit malzemeye oranla daha düşük olup, sapma derecesinin artmasıyla çekme mukavvemeti düştüğü grlmştir.

Referans değer ile yaptığı açı 10^0 olan kumaş ile hazırlanan kompozit malzemenin, izelge 4.32 te çekme testi sonuçları verilmiş olup izelge 4.34 te değerlendirmeye alınan sonuçları ile bu malzemenin çekme mukavvemeti ortalaması 947,55Mpa olarak belirlenmiştir. Bu değer sapma derecesi 5^0 olan kompozit malzemeye oranla daha düşük olup, sapma derecesinin artmasıyla çekme mukavvemeti düştüğü grlmştir.

Referans değer ile yaptığı açı 15^0 olan kumaş ile hazırlanan kompozit malzemenin, izelge 4.32 te çekme testi sonuçları verilmiş olup izelge 4.34 te değerlendirmeye alınan sonuçları ile bu malzemenin çekme mukavvemeti ortalaması 754Mpa olarak belirlenmiştir. Bu değer sapma derecesi 10^0 olan kompozit malzemeye oranla daha düşük olup, sapma derecesinin artmasıyla çekme mukavvemeti düştüğü grlmştir.

Referans değer ile yaptığı açı 20^0 olan kumaş ile hazırlanan kompozit malzemenin, çekme mukavvemeti ortalaması 645,03Mpa olarak belirlenmiştir. Bu değer sapma derecesi 15^0 olan kompozit malzemeye oranla daha düşük olup, sapma derecesinin artmasıyla çekme mukavvemeti düştüğü grlmştir.

Referans değer ile yaptığı açı 25^0 olan kumaş ile hazırlanan kompozit malzemenin, tebleme sorunu neticesinde (tebleme plakalarının kompozit malzemeye doğru yapıştırılamaması), standartın belirlediği, kupon adeti oluşturulamamış ve 3 adet kupon hazırlanmıştır. Çizelge 4.32 te çekme testi sonuçları verilmiş olup izelge 4.34 te değerlendirmeye alınan sonuçları ile bu malzemenin çekme mukavvemeti ortalaması 520,69Mpa olarak belirlenmiştir. Bu değer sapma derecesi 20^0 olan kompozit malzemeye oranla daha düşük olup, sapma derecesinin artmasıyla çekme mukavvemeti düştüğü grlmştir.

Referans değer ile yaptığı aç 30⁰ olan kumaş ile hazırlanan kompozit malzemenin, Çizelge 4.33 te çekme testi sonuçları verilmiş olup Çizelge 4.35 te değerlendirmeye alınan sonuçları ile bu malzemenin çekme mukavvemeti ortalaması 317,02Mpa olarak belirlenmiştir. Bu değer sapma derecesi 25⁰ olan kompozit malzemeye oranla daha düşük olup, sapma derecesinin artmasıyla çekme mukavvemeti düştüğü görülmüştür.

Referans değer ile yaptığı aç 35⁰ olan kumaş ile hazırlanan kompozit malzemenin, Çizelge 4.33 te çekme testi sonuçları verilmiş olup Çizelge 4.35 te değerlendirmeye alınan sonuçları ile bu malzemenin çekme mukavvemeti ortalaması 257,00Mpa olarak belirlenmiştir. Bu değer sapma derecesi 30⁰ olan kompozit malzemeye oranla daha düşük olup, sapma derecesinin artmasıyla çekme mukavvemeti düştüğü görülmüştür.

Referans değer ile yaptığı aç 40⁰ olan kumaş ile hazırlanan kompozit malzemenin, Çizelge 4.33 te çekme testi sonuçları verilmiş olup Çizelge 4.35 te değerlendirmeye alınan sonuçları ile bu malzemenin çekme mukavvemeti ortalaması 138,75Mpa olarak belirlenmiştir. Bu değer sapma derecesi 35⁰ olan kompozit malzemeye oranla daha düşük olup, sapma derecesinin artmasıyla çekme mukavvemeti düştüğü görülmüştür.

Referans değer ile yaptığı aç 45⁰ olan kumaş ile hazırlanan kompozit malzemenin, Çizelge 4.33 te çekme testi sonuçları verilmiş olup Çizelge 4.35 te değerlendirmeye alınan sonuçları ile bu malzemenin çekme mukavvemeti ortalaması 126,06Mpa olarak belirlenmiştir. Bu değer sapma derecesi 40⁰ olan kompozit malzemeye oranla daha düşük olup, sapma derecesinin artmasıyla çekme mukavvemeti düştüğü görülmüştür.

Referans değer ile yaptığı aç 90⁰ olan kumaş-çekme yönüne dik ve bu yönde elyaf bulunmayan- ile hazırlanan kompozit malzemenin, Çizelge 4.33 te çekme testi sonuçları verilmiş olup Çizelge 4.35 te değerlendirmeye alınan sonuçları ile bu malzemenin çekme mukavvemeti ortalaması 24,38Mpa olarak belirlenmiştir. Bu değer, çekme yönünde elyaf bulunmaması sebebiyle, kompozit malzemenin matris elemanı olan ve bu yönde malzemenin mukavvemetinde birebir etikili olan epoksi reçinenin yaklaşık olarak çekme mukavemetidir.

Çizelge 4.32 : Kuponların çekme testi sonuçları (0° - 25°)

Çekme Testi	Maks. Gerilme	Maks. Uzama
Birim	MPa	%
CT150S_E_0°_1	1.151,05	1,05
Ortalama	1.151,05	1,05
Standart Sapma	-.-	-.-
CT150S_E_5°_1	1.105,72	1,12
CT150S_E_5°_2	1.142,52	1,08
CT150S_E_5°_3	1.116,24	1,27
CT150S_E_5°_4	1.183,70	1,19
CT150S_E_5°_5	1.099,20	1,04
Ortalama	1.129,48	1,14
Standart Sapma	34,52	0,09
CT150S_E_10°_1	917,46	0,86
CT150S_E_10°_2	916,20	1,11
CT150S_E_10°_3	1.005,74	1,06
CT150S_E_10°_4	952,25	0,90
CT150S_E_10°_5	942,84	0,83
Ortalama	946,90	0,95
Standart Sapma	36,46	0,13
CT150S_E_15°_1	789,65	1,22
CT150S_E_15°_2	823,16	1,02
CT150S_E_15°_3	701,62	0,94
CT150S_E_15°_4	748,19	0,80
CT150S_E_15°_5	761,07	0,89
Ortalama	764,74	0,97
Standart Sapma	45,56	0,16
CT150S_E_20°_1	598,96	1,16
CT150S_E_20°_2	636,31	1,27
CT150S_E_20°_3	570,06	1,21
CT150S_E_20°_4	644,53	1,04
CT150S_E_20°_5	654,26	1,15
Ortalama	620,82	1,17
Standart Sapma	35,27	0,08
CT150S_E_25°_1	529,53	1,69
CT150S_E_25°_2	511,85	1,48
CT150S_E_25°_3	279,72	0,76
Ortalama	406,40	1,33
Standart Sapma	132,56	0,40

Çizelge 4.33 : Kuponların çekme testi sonuçları (30°- 90°)

Çekme Testi	Maks. Gerilme MPa	Maks. Uzama %
Birim		
CT150S_E_30°_1	332,43	1,39
CT150S_E_30°_2	314,14	1,35
CT150S_E_30°_3	296,44	0,88
CT150S_E_30°_4	304,50	1,38
Ortalama	314,34	1,21
Standart Sapma	15,49	0,28
CT150S_E_35°_1	257,08	4,86
CT150S_E_35°_2	263,17	4,31
CT150S_E_35°_3	253,92	4,40
CT150S_E_35°_4	250,45	3,69
CT150S_E_35°_5	260,36	3,81
Ortalama	257,00	4,21
Standart Sapma	5,04	0,47
CT150S_E_40°_1	100,76	-5,41
CT150S_E_40°_2	137,09	3,48
CT150S_E_40°_3	141,42	3,56
CT150S_E_40°_4	139,87	3,57
CT150S_E_40°_5	136,63	3,89
Ortalama	131,15	1,82
Standart Sapma	17,11	4,04
CT150S_E_45°_1	127,73	11,77
CT150S_E_45°_2	126,65	13,27
CT150S_E_45°_3	124,13	11,46
CT150S_E_45°_4	125,71	10,81
Ortalama	126,06	11,83
Standart Sapma	1,53	1,04
CT150S_E_90°_1	24,84	0,48
CT150S_E_90°_2	25,66	0,51
CT150S_E_90°_3	22,60	0,37
CT150S_E_90°_4	23,14	0,25
CT150S_E_90°_5	25,63	0,58
Ortalama	24,38	0,44
Standart Sapma	1,43	0,13

Çizelge 4.34 : Kuponların ortalama çekme testi sonuçları (0° - 25°)

Çekme	Maks. Gerilme	Maks. Uzama
Birim	MPa	%
CT150S_E_0°_1	1.151,05	1,05
Ortalama	1.151,05	1,05
Standart Sapma	-.-	-.-
CT150S_E_5°_1	1.105,72	1,12
CT150S_E_5°_3	1.116,24	1,27
CT150S_E_5°_5	1.099,20	1,04
Ortalama	1.107,05	1,14
Standart Sapma	8,60	0,12
CT150S_E_10°_4	952,25	0,90
CT150S_E_10°_5	942,84	0,83
Ortalama	947,55	0,87
Standart Sapma	6,66	0,05
CT150S_E_15°_4	748,19	0,80
CT150S_E_15°_5	761,07	0,89
Ortalama	754,63	0,84
Standart Sapma	9,11	0,06
CT150S_E_20°_2	636,31	1,27
CT150S_E_20°_4	644,53	1,04
CT150S_E_20°_5	654,26	1,15
Ortalama	645,03	1,15
Standart Sapma	8,99	0,11
CT150S_E_25°_2	529,53	1,69
CT150S_E_25°_3	511,85	1,48
Ortalama	520,69	1,58
Standart Sapma	282,81	0,70

Çizelge 4.35 : Kuponların ortalama çekme testi sonuçları (30° - 90°)

Çekme Testi	Maks. Gerilme MPa	Maks. Uzama %
Birim		
CT150S_E_30°_1	332,43	1,39
CT150S_E_30°_2	314,14	1,35
CT150S_E_30°_4	304,50	1,38
Ortalama	317,02	1,38
Standart Sapma	20,66	0,34
CT150S_E_35°_1	257,08	4,86
CT150S_E_35°_2	263,17	4,31
CT150S_E_35°_3	253,92	4,40
CT150S_E_35°_4	250,45	3,69
CT150S_E_35°_5	260,36	3,81
Ortalama	257,00	4,21
Standart Sapma	5,04	0,47
CT150S_E_40°_2	137,09	3,48
CT150S_E_40°_3	141,42	3,56
CT150S_E_40°_4	139,87	3,57
CT150S_E_40°_5	136,63	3,89
Ortalama	138,75	3,62
Standart Sapma	2,28	0,18
CT150S_E_45°_1	127,73	11,77
CT150S_E_45°_2	126,65	13,27
CT150S_E_45°_3	124,13	11,46
CT150S_E_45°_4	125,71	10,81
Ortalama	126,06	11,83
Standart Sapma	1,53	1,04
CT150S_E_90°_1	24,84	0,48
CT150S_E_90°_2	25,66	0,51
CT150S_E_90°_3	22,60	0,37
CT150S_E_90°_4	23,14	0,25
CT150S_E_90°_5	25,63	0,58
Ortalama	24,38	0,44
Standart Sapma	1,43	0,13

Referans değeri ile yaptığı açı 0° olan kumaş – elyaf dizilim yönünde – ile hazırlanan kompozit malzemenin, Çizelge 4.36 da basma testi sonuçları verilmiş olup Çizelge 4.38 te değerlendirmeye alınan sonuçları ile bu malzemenin basma mukavvemeti ortalaması 499,15Mpa olarak belirlenmiştir.

Referans deęer ile yaptıęı açı 5^0 olan kumař ile hazırlanan kompozit malzemenin, izelge 4.36 da basma testi sonuçları verilmiř olup izelge 4.38 te deęerlendirmeye alınan sonuçları ile bu malzemenin basma mukavveti ortalaması 471,16Mpa olarak belirlenmiřtir. Bu deęer, sapma derecesi 0^0 olan kompozit malzemeye oranla daha dūřuk olup, sapma derecesinin artmasıyla basma mukavvetinin dūřtūęu grlmūřtır.

Referans deęer ile yaptıęı açı 10^0 olan kumař ile hazırlanan kompozit malzemenin, basma mukavveti ortalaması 395,71Mpa olarak belirlenmiřtir. Bu deęer, sapma derecesi 5^0 olan kompozit malzemeye oranla daha dūřuk olup, sapma derecesinin artmasıyla basma mukavvetinin dūřtūęu grlmūřtır.

Referans değer ile yaptığı açı 15^0 olan kumaş ile hazırlanan kompozit malzemenin, basma mukavveti ortalaması 446,95Mpa olarak belirlenmiştir. Ancak yapılan test sonuçları incelendiğinde, kuponlar arasında basma mukavveti değeri çok farklılık göstermekte ve alınan ortalama değer, sapma derecesi 10^0 olan kompozit malzemeye göre yüksek kalmaktadır. Bu sonuca göre bu sapma açısı ile oluşturulan testler kabul edilemez ve tekrarlanmalıdır.

Referans deęer ile yaptıęı açı 20^0 olan kumař ile hazırlanan kompozit malzemenin, basma mukavveti ortalaması 312,43Mpa olarak belirlenmiřtir. Bu deęer, sapma derecesi 10^0 - en yakın sonucu kabul edilebilir sapma açısı - olan kompozit malzemeye oranla daha dūřuk olup, sapma derecesinin artmasıyla basma mukavvetinin dūřtūęu grlmūřtır.

Referans deęer ile yaptıęı açı 25^0 olan kumař ile hazırlanan kompozit malzemenin, basma mukavveti ortalaması 240,90Mpa olarak belirlenmiřtir. Bu deęer, sapma derecesi 20^0 olan kompozit malzemeye oranla daha dūřuk olup, sapma derecesinin artmasıyla basma mukavvetinin dūřtūęu grlmūřtır.

Referans deęer ile yaptıęı açı 30^0 olan kumař ile hazırlanan kompozit malzemenin, izelge 4.37 de basma testi sonuçları verilmiř olup izelge 4.39 da deęerlendirmeye alınan sonuçları ile basma mukavveti ortalaması 216,44Mpa olarak belirlenmiřtir. Bu deęer, sapma derecesi 25^0 olan kompozit malzemeye oranla daha dūřuk olup, sapma derecesinin artmasıyla basma mukavvetinin dūřtūęu grlmūřtır.

Referans deęer ile yaptıęı açı 35^0 olan kumař ile hazırlanan kompozit malzemenin, izelge 4.37 de basma testi sonuçları verilmiř olup izelge 4.39 da deęerlendirmeye alınan sonuçları ile basma mukavvemeti ortalaması 136,01Mpa olarak belirlenmiřtir. Bu deęer, sapma derecesi 30^0 olan kompozit malzemeye oranla daha dūřuk olup, sapma derecesinin artmasıyla basma mukavvemetinin dūřtūęu grlmūřtur

Referans değer ile yaptığı açı 40^0 ve 45^0 olan kumaşlar ile hazırlanan kompozit malzemenin basma testlerinde görünen tebleme kayma problemine sebebiyle, basma testleri gerçekleştirilememiş ve sonuç alınamamıştır.

Referans değer ile yaptığı açı 90^0 olan kumaş -basma yönüne dik ve bu yönde elyaf bulunmayan- ile hazırlanan kompozit malzemenin, izelge 4.37 de basma testi sonuçları verilmiş olup izelge 4.39 da değerlendirmeye alınan sonuçları ile basma mukavvemeti ortalaması 82,83Mpa olarak belirlenmiştir. Bu değer, basma yönünde elyaf bulunmaması sebebiyle, kompozit malzemenin matris elemanı olan ve bu yönde malzemenin mukavvemetinde birebir etikili olan epoksi reçinenin yaklaşık olarak basma mukavemetidir.

Çizelge 4.36 : Kuponların basma testi sonuçları (0° - 25°)

Basma Testi	Maks. Gerilme	Maks. Uzama
Birim	MPa	%
CT150S_E_0°_1	490,12	0,85
CT150S_E_0°_2	307,03	0,93
CT150S_E_0°_3	508,19	0,97
CT150S_E_0°_4	352,60	0,40
CT150S_E_0°_5	381,20	0,47
Ortalama	407,83	0,72
Standart Sapma	87,70	0,27
CT150S_E_5°_1	508,99	5,06
CT150S_E_5°_2	477,49	0,77
CT150S_E_5°_3	421,31	1,92
CT150S_E_5°_4	464,83	0,80
CT150S_E_5°_5	342,36	0,57
CT150S_E_5°_6	540,78	0,29
Ortalama	459,30	1,57
Standart Sapma	70,12	1,80
CT150S_E_10°_1	379,00	0,73
CT150S_E_10°_2	157,41	-1,51
CT150S_E_10°_3	353,91	0,76
CT150S_E_10°_4	412,42	0,57
CT150S_E_10°_5	19,81	-1,07
Ortalama	264,51	-0,11
Standart Sapma	169,06	1,10
CT150S_E_15°_1	435,28	1,07
CT150S_E_15°_2	420,68	0,81
CT150S_E_15°_3	458,20	0,72
CT150S_E_15°_4	447,37	0,91
CT150S_E_15°_5	544,13	0,78
Ortalama	461,13	0,86
Standart Sapma	48,46	0,14
CT150S_E_20°_1	327,56	0,82
CT150S_E_20°_2	303,04	0,84
CT150S_E_20°_3	297,08	0,82
CT150S_E_20°_4	379,12	0,77
CT150S_E_20°_5	306,70	0,78
Ortalama	322,70	0,80
Standart Sapma	33,56	0,03
CT150S_E_25°_1	236,19	0,94
CT150S_E_25°_2	302,26	1,09
CT150S_E_25°_3	245,61	1,35
CT150S_E_25°_4	273,87	0,79
Ortalama	264,48	1,04
Standart Sapma	29,84	0,24

Çizelge 4.37 : Kuponların basma testi sonuçları (30°- 90°)

Basma Testi	Maks. Gerilme MPa	Maks. Uzama %
Birim		
CT150S_E_30°_1	221,04	1,40
CT150S_E_30°_2	215,93	1,28
CT150S_E_30°_3	218,43	2,67
CT150S_E_30°_4	210,34	2,32
CT150S_E_30°_5	199,24	2,09
Ortalama	213,00	1,95
Standart Sapma	8,65	0,60
CT150S_E_35°_1	143,99	1,93
CT150S_E_35°_2	139,94	1,33
CT150S_E_35°_3	129,30	1,66
CT150S_E_35°_4	130,82	2,62
Ortalama	136,01	1,89
Standart Sapma	7,10	0,55
CT150S_E_90°_1	88,88	3,74
CT150S_E_90°_2	81,65	1,18
CT150S_E_90°_3	89,17	3,56
CT150S_E_90°_4	84,01	3,13
CT150S_E_90°_5	95,39	1,27
Ortalama	87,82	2,58
Standart Sapma	5,31	1,25

Çizelge 4.38 : Kuponların ortalama basma testi sonuçları (0° - 25°)

Basma Testi	Maks. Gerilme	Maks. Uzama
Birim	MPa	%
CT_150_0°_1	490,12	0,85
CT_150_0°_3	508,19	0,97
Ortalama	499,15	0,91
Standart Sapma	12,78	0,08
CT_150_5°_2	477,49	0,77
CT_150_5°_4	464,83	0,80
Ortalama	471,16	0,78
Standart Sapma	8,95	0,02
CT_150_10°_1	379,00	0,73
CT_150_10°_4	412,42	0,57
Ortalama	395,71	0,65
Standart Sapma	23,63	0,11
CT_150_15°_1	435,28	1,07
CT_150_15°_3	458,20	0,72
CT_150_15°_4	447,37	0,91
Ortalama	446,95	0,90
Standart Sapma	11,47	0,18
CT_150_20°_1	327,56	0,82
CT_150_20°_2	303,04	0,84
CT_150_20°_5	306,70	0,78
Ortalama	312,43	0,81
Standart Sapma	13,23	0,03
CT_150_25°_1	236,19	0,94
CT_150_25°_3	245,61	1,35
Ortalama	240,90	1,14
Standart Sapma	6,66	0,29

Çizelge 4.39 : Kuponların ortalama basma testi sonuçları (30°- 90°)

Basma	Maks. Gerilme	Maks. Uzama
Birim	MPa	%
CT_150_30°_1	221,04	1,40
CT_150_30°_2	215,93	1,28
CT_150_30°_3	218,43	2,67
CT_150_30°_4	210,34	2,32
Ortalama	216,44	1,92
Standart Sapma	4,57	0,68
CT_150_35°_1	143,99	1,93
CT_150_35°_2	139,94	1,33
CT_150_35°_3	129,30	1,66
CT_150_35°_4	130,82	2,62
Ortalama	136,01	1,89
Standart Sapma	7,10	0,55
CT_150_90°_1	88,88	3,74
CT_150_90°_2	81,65	1,18
CT_150_90°_4	84,01	3,13
Ortalama	82,83	2,16
Standart Sapma	1,67	1,38

Açı sapmalarının karakterizasyon üzerindeki etkilerini belirlemek için yapılan deneylerin tüm sonuçları Çizelge 4.30 da verilmiştir.

Çizelge 4.40 : Farklı açılar ile üretilen kumaşların karşılaştırma analizleri

Ürün Tipi	Kullanılan Reçine	Elyaf Ağırlığı (gr)	Plaka Ağırlığı (gr)	Sertlik	Elyaf Oranı	Çekme Testi				Basma Testi			
						Ort. Kupon Kalınlığı (mm)	Ort. Kupon genişliği (mm)	Maks. Gerilme (Mpa)	Maks. Uzama (%)	Ort. Kupon Kalınlığı (mm)	Ort. Kupon genişliği (mm)	Maks. Gerilme (Mpa)	Maks. Uzama (%)
CT150S_E_0°	Epoksi	629,00	1.080,00	50-60	58,24%	3,30	25,80	>1.151,05	>1,05	3,20	26,22	499,15	0,91
CT150S_E_5°	Epoksi	777,00	1.120,00	50-55	69,38%	3,25	25,67	1107,05	1,14	3,18	25,47	471,16	0,78
CT150S_E_10°	Epoksi	793,00	1.260,00	50-55	62,94%	3,31	25,19	947,55	0,87	3,34	25,96	395,71	0,65
CT150S_E_15°	Epoksi	740,50	1.160,00	50-55	63,84%	3,20	25,42	754,63	0,84	3,29	26,14	446,95*	0,90
CT150S_E_20°	Epoksi	727,50	1.140,00	50-60	63,82%	3,19	25,14	645,03	1,15	3,26	26,22	312,43	0,81
CT150S_E_25°	Epoksi	759,50	1.200,00	50-60	63,29%	3,18	25,97	520,69	1,58	3,14	26,80	240,90	1,14
CT150S_E_30°	Epoksi	727,00	1.140,00	50-60	63,77%	3,10	26,30	317,02	1,38	3,13	26,93	216,44	1,92
CT150S_E_35°	Epoksi	760,00	1.180,00	55-60	64,41%	3,07	26,00	257,00	4,21	3,22	26,68	136,01	1,89
CT150S_E_40°	Epoksi	720,00	1.100,00	50-60	65,45%	2,91	25,10	131,15	1,82	2,89	26,32	133,30*	2,61
CT150S_E_45°	Epoksi	718,50	1.120,00	55-60	64,15%	3,03	25,38	126,06	11,83	3,02	26,50	136,04*	3,74
CT150S_E_90°	Epoksi	629,00	1.080,00	50-60	58,24%	3,20	25,33	24,38	0,44	3,11	25,32	82,83	2,16

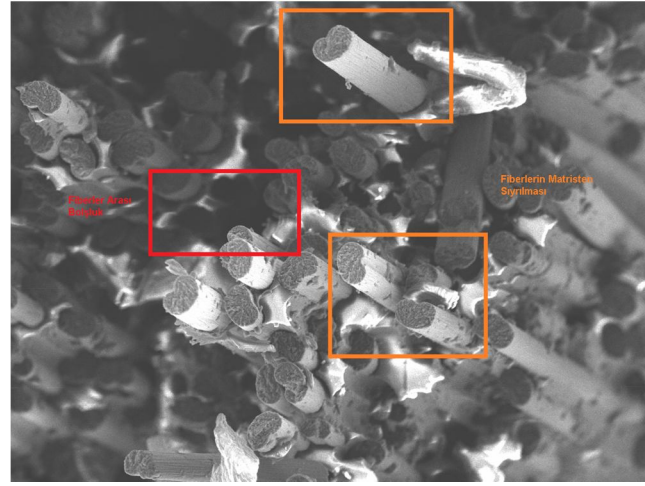
* Değerlendirmeye alınmayan test sonuçları

Taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile Yüzey Karektarizasyonu

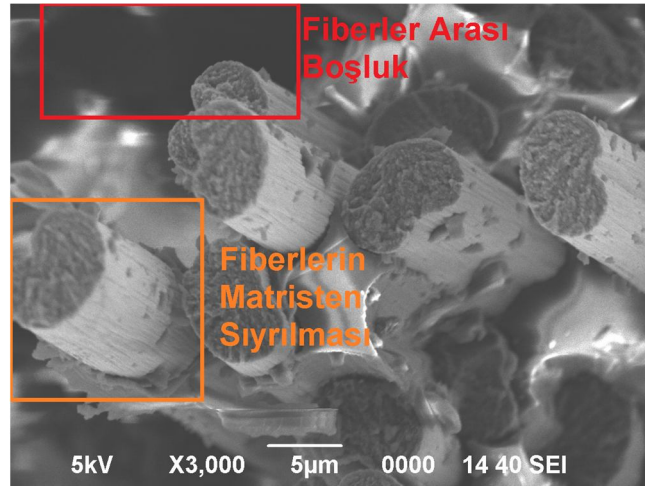
Yapılan mekanik testlerinin akabinde, 4 adet numune ürün seçilmiş ve bu test kuponlarının SEM cihazında yüzey karakterizasyonu yapılmıştır.

1.1.19 CLT150-15° Test Numunesi

CLT150-15° Test Numunesi incelendiğinde, Fiberlerin matristen sıyrılması (Pull out) ve Fiberler arası boşlukların (İnterfacial Debonding) olduğu görülmüştür. Şekil 4.1 ve 4.2 de bu hatalar gösterilmiştir.



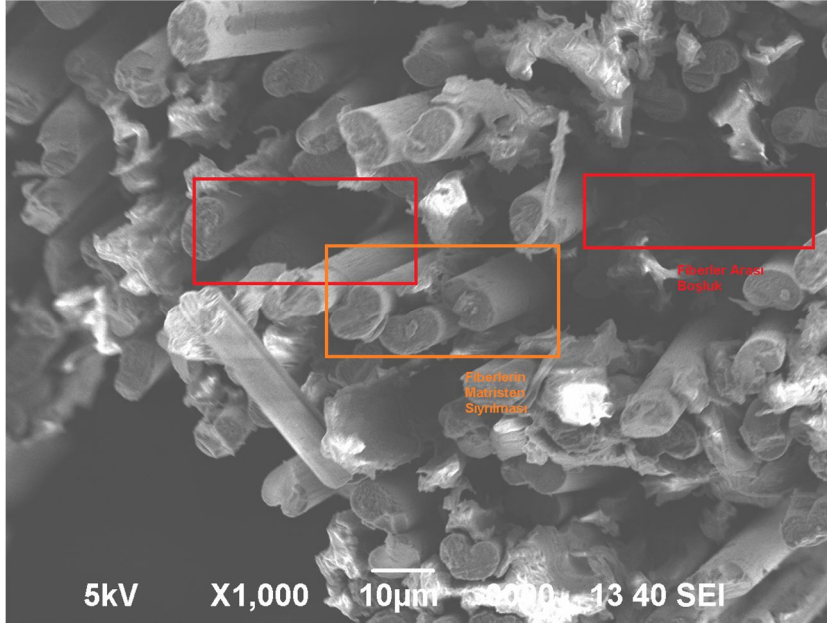
Şekil 4.1 : CLT150-15° Numunesinin SEM görüntüleri



Şekil 4.2 : CLT150-15° Numunesinin SEM görüntüleri

1.1.20 CLT150-45° Test Numunesi

CLT150-45° Test Numunesi incelendiğinde, Fiberlerin matrinden sıyrılması (Pull out) ve Fiberler arası boşlukların (İnterfacial Debonding) olduğu görülmüştür. Şekil 4.03 de bu hatalar gösterilmiştir.

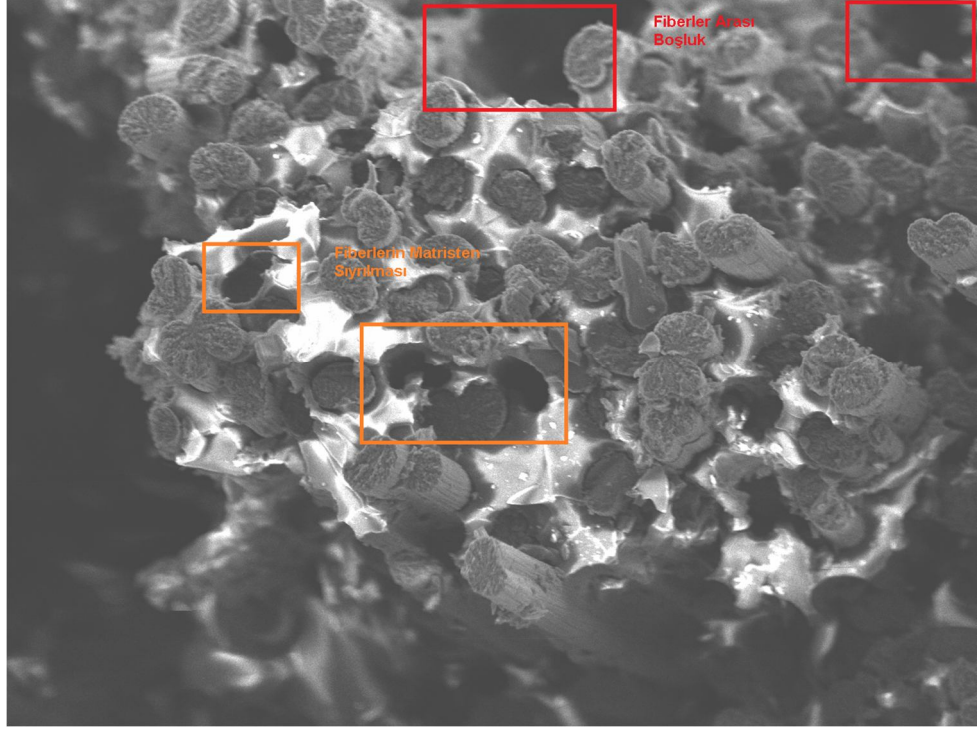


Şekil 4.3 : CLT150-45° Numunesinin SEM görüntüleri

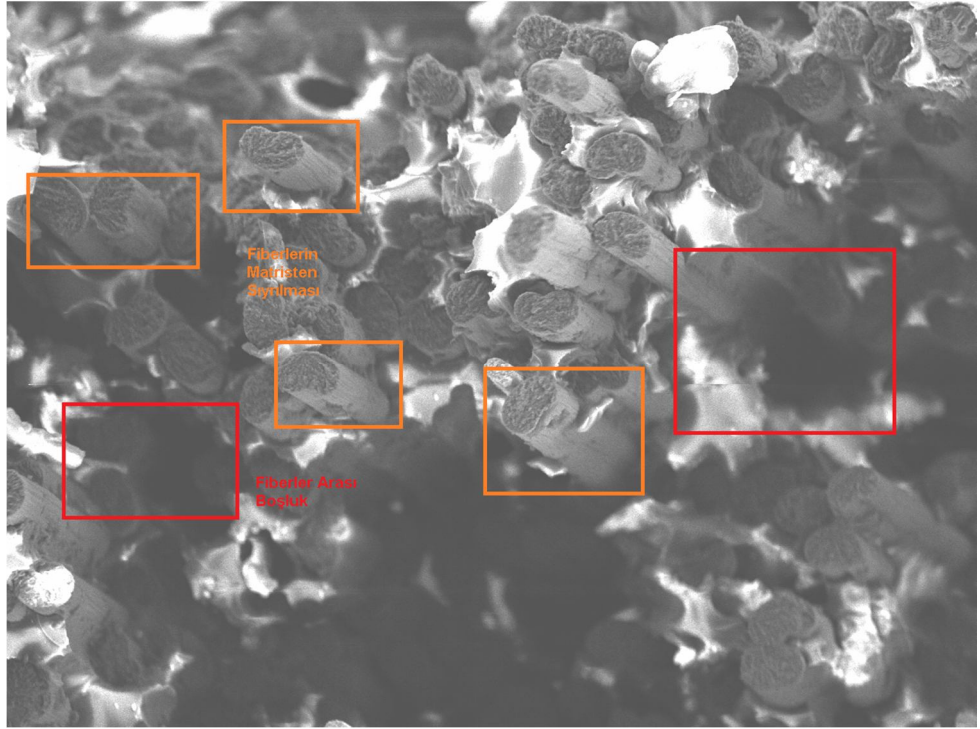
- CLT600 Test Numunesi

CLT600 Test Numunesi incelendiğinde, Fiberlerin matrinden sıyrılması (Pull out) ve Fiberler arası boşlukların (İnterfacial Debonding) olduğu görülmüştür. Şekil 4.04 ve 4.05 de bu hatalar gösterilmiştir.

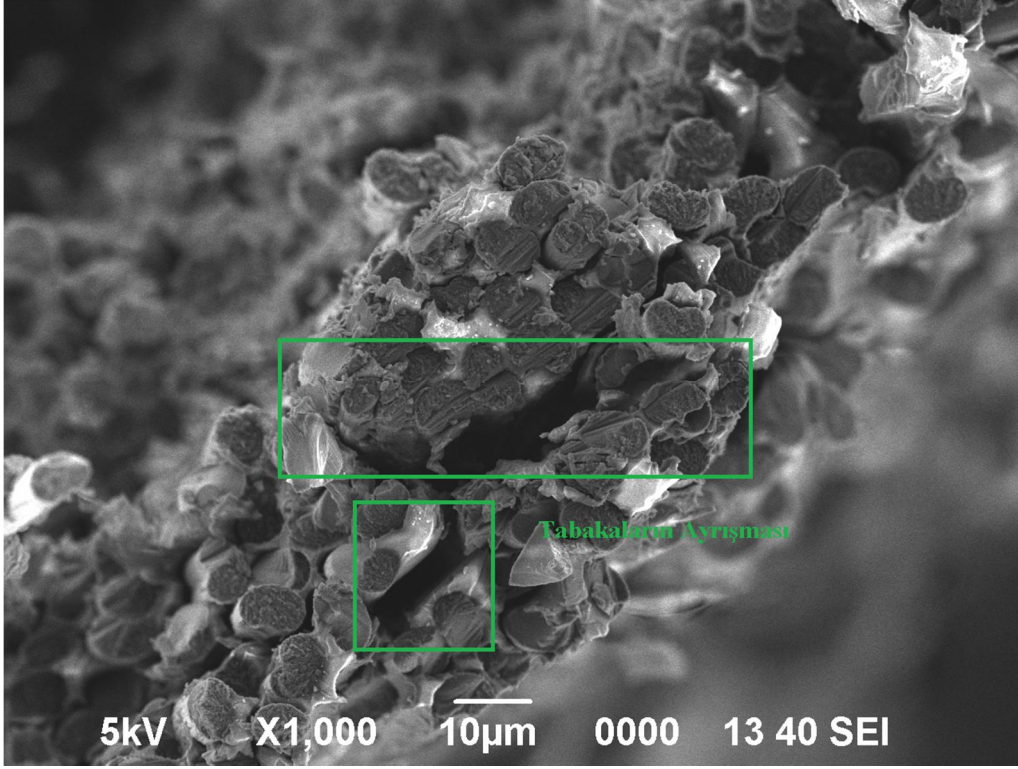
Ayrıca Şekil 4.05 incelendiğinde tabakalar halinde ayrışmalar olduğunu gözlemlenmiştir, bu durum Tabakaların ayrışması (Deflection of Crack) hatası olarak bilinmektedir. Şekil 4.06 de ise enine kesitinden bakılan numunede fiberlerin yandan kesitleri görülmektedir. Bu durumda fiberlerin kuvvet altında kayma yaptığı ve tabakalar arası ayrışmanın meydana geldiği tahmin edilmektedir.



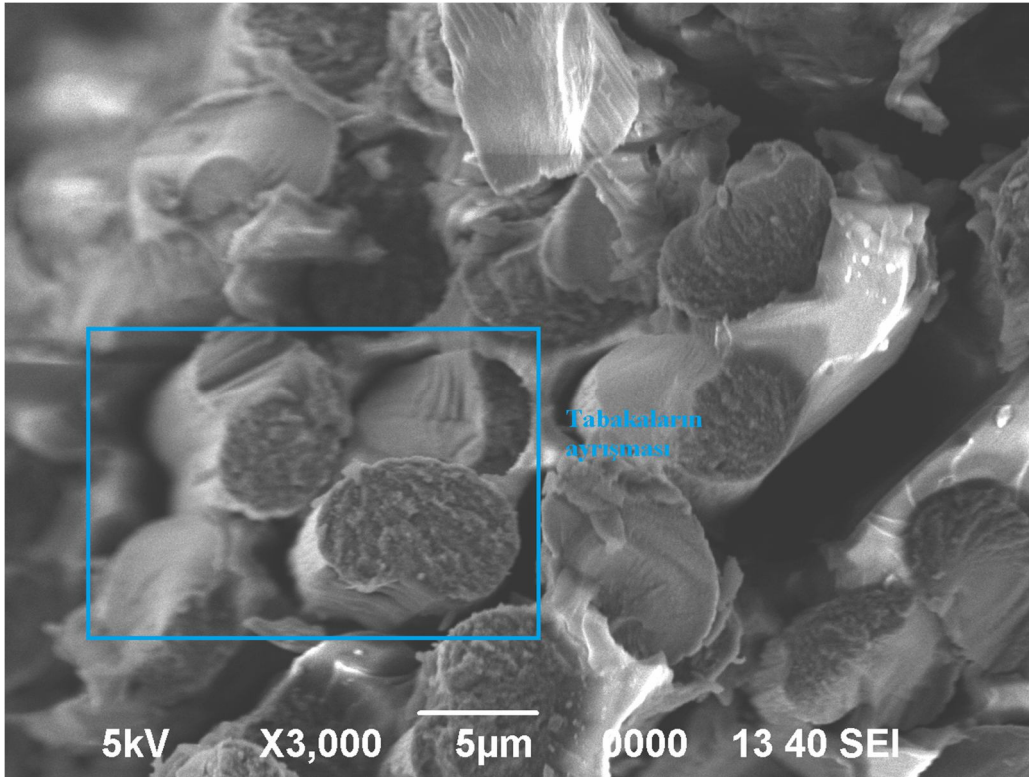
Şekil 4.4 : CLT600° Numunesinin SEM görüntüleri



Şekil 4.5 : CLT600° Numunesinin SEM görüntüleri



Şekil 4.6 : CLT600° Numunesinin SEM görüntüleri



Şekil 4.7 : CLT600° Numunesinin SEM görüntüleri

Yapılan mekanik testlerinin akabinde, test kuponları SEM cihazında yüzey karakterizasyonu yapılmış ve fiberlerin matristen sıyrılması, fiber ile matris arasında boşlukların olduğu ve tabaka ayrışmaları gözlemlenmiştir. Bu hatalar ürünün mekanik özelliklerini değiştirdiği bilinmektedir. Fiber ile matris arasında boşluk oluşması (Interfacial debonding) yüzeylerin temizlenememesi uygun yüzey hazırlanamamasından ve yabancı maddelerden kaynaklanmaktadır. Bu konulara gerekli özenin gösterilmesi ile kompozitteki bu tür hatalar önlenebilecektir. Ayrıca kompozit yapımı sırasında boşlukların oluşturulmasında önemli bir proses hatasıdır. Uygun düzenlenmemiş veya eğilmiş fiberlerde delaminasyona neden olmaktadır dolayısı ile fiberlerin kompozit düzenli yerleştirilmesi ve eğilmelerin önüne geçilmesi gerekmektedir.

GENEL SONUÇLAR

Vakum infüzyon yöntemiyle, farklı tekstiller ve reçineler kullanılarak üretilen karbon kompozitlerin karakterizasyonu, çekme testi, basma testi, sertlik ve kompozit malzemenin elyaf oranı ile belirlenmiştir.

Bu çalışmada, ilk olarak karbon kumaşların gramaj farkından kaynaklanan farklılıklarını ortaya koymak için 150 gr/m² ve 300 gr/m² kumaşlardan üretilen kompozit malzemelerin karakterizasyonu yapılmıştır. Elyaf oranları yaklaşık eşit olan bu kumaşların kompozit sertliğide birbirine eşittir. 150gr gramaja sahip kumaş ile üretilen kompozit plakanın çekme dayanımı makinenin kapasitesi yetmediğinden (Maksimum çekme kuvveti: 100.000N) tam olarak ölçülememiştir ancak bu ürün için maksimum gerilme mukavemetinin 1200MPa dan daha büyük olduğu söylenebilir. Bu yüksek çekme kuvvetine dayanan numune de herhangi bir tahribat gözlenmemiştir. 300gr gramaja sahip olan kumaş için maksimum çekme gerilme mukavemeti 1196MPa olarak ölçülmüş ve bu gramajdaki ürünün çekme testinde kırıldığı gözlemlenmiştir. Basma testinde ise, yine 150 grlık kumaştan üretilen kompozit malzemenin basma gerilme mukavemeti 300grlıktan ortama 150 MPa daha yüksek bulunmuştur. Bu duruma göre, gramajı düşük olan kumaşın daha iyi dayanıma sahip olduğu söylenebilmektedir.

Karbon kumaş tekstilinde yeni bir üretim tekniği olan yayılmış (spread) elyaf bu teknolojiye sahip olmayan aynı gramajdaki karbon kumaşlarla karşılaştırılmıştır. Epoksi ve Vinilester reçine kullanılarak ayrı ayrı olarak karşılaştırma yapılmıştır. Vinilester ile üretilen kumaşlarda çekme mukavemeti yaklaşık eşit olarak bulunmuşken, epoksi reçine ile üretilen kompozitlerde spread edilmiş ürünün çekme mukavemetinin daha yüksek olduğu görülmüştür. Spread özelliği kumaşta boşlukların kapanmasını sağlayarak daha homojen elyaf dağılımı gösterdiğinden mukavemet değerleri yükselmektedir. Ayrıca epoksi reçine ile üretilen kompozitlerin, vinilester ile üretilen kompozitlere istinaden daha mukavim olduğu görülmüştür.

Karbon Elyaf tekstilinde kullanılan diğ er bir tekstil türü dokuma ve multiaksiyel kumaş tipleridir. Dokuma kumaşlarda elyaflar birbiri arasından geçirilerek birbirine tutturulur. Multiaksiyel kumaşlarda ise elyaflar, belirli açılarda, birbirileri üzerine dikilmesi ile oluşturulur, ve multiaksiyel kumaşların dokuma kumaşlarla karşılaştırıldığında daha kapalı bir yüzeyi olduğu söylenebilir. Bu çalışmada, dokuma ve multiaksiyel olarak üretilen karbon kumaşlar hem epoksi hem de vinilester reçine ile üretilmiştir. Dokuma kumaşlara göre multiaksiyel kumaşların her iki reçinede de daha iyi çekme dayanımı sağladığı görülmüştür. Ancak vinilester reçine ile üretilen kompozit malzemelerde dokuma kumaşı daha iyi maksimum basma gerilmesine sahip olduğu görülmüştür.

Kompozit sektöründe bir problem olarak bilinen elyaf yönünün kalıba doğru yerleştirilememesi, kompozit malzemenin mekanik özelliklerini değiştirdiği bilinmektedir. Bu çalışmada, farklı a ı sapmalarıyla oluşturulan karbon kompozit plakaların karakterizasyon değişiklikleri ortaya konmuştur. Elyaf yönlerinin, 0^0 den 45^0 ye kadar, 5^0 lik açı sapmalarıyla ile oluşturulan karbon kompozitlerinin sapma açılarının değerleri artıkça mekanik değerlerinin d şt ğu görülmüştür.

Mekanik testlerinin ardından , SEM cihazında yüzey karakterizasyonu yapılmış ve fiberlerin matrizen sıyrılması, fiber ile matris arasında boşluk ve tabaka ayrışmaları gözlemlenmiştir. Mekanik  zlelikler bu hatalar sebebiyle değişmektedir.

Fiber ile matris arasında boşluk oluşması (Interfacial debonding) yüzeylerin tam temizlenememesi ve yüzeyde kalan yabancı maddeler neden olmaktadır. Yüzey temizliğine yeterince  zen gösterilmesi ile kompozitteki bu tür hatalar önlenebilecektir. Kompozit  retiminde boşlukların olmuşması önemli bir proses hatası olarak bilinmektedir. Uygun düzenlenmemiş veya eğilmiş fiberlerde delaminasyona neden olmaktadır. Bu sebeple fiberlerin kompozit düzenli yerleştirilmesi ve eğilmelerin önüne geçilmesi önem taşımaktadır.

KAYNAKLAR

- [1]Schwartz, M.M., (1983), Composite Materials Handbook, Mcgraw-Hill Book Company, New York
- [2]Ersoy, H.Y., “Kompozit Malzeme”, *Literatür Yayıncılık Dağıtım Pazarlama, San. ve Tic. Ltd. Şti., İstanbul, 11-15, 95-105, 110-116 (2001).*
- [3]Şahin, Y., “Kompozit Malzemelere Giriş”, *Gazi Kitabevi, Ankara, 1-16, 37- 41, 65-68, 79-88 (2000).*
- [4]Demirel,A.,“KarbonElyaf Takviyeli EpoksiKompozit Malzemelerin Karakterizasyonu”Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi,2007
- [5]Chung, D.D.L., 2010, Composite materials: science and applications, Springer-Verlag London Limited, New York
- [6]Olcay, Y., Akyol, M., Gemci, R., “Polimer Esasli Lif Takviyeli Kompozit Malzemelerin Arabirim Mukavemeti Üzerine Farklı Kür Metodlarının Etkisinin İncelenmesi ”, *Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Bursa, 7(1):94-96 (2002).*
- [7] Saçak, M., “Polimer Kimyası”, Gazi Kitabevi, Ankara, 85-89, 221-224,275-297, 393-397 (2002).
- [8]Chung, D.D.L., 1994, Carbon fiber composites, p. 3-13, Butterworth-Heinemann, Massachusetts
- [9]Department for Business, Innovation & Skills, the UK Composites Strategy, Dept 2009, pp. 1–30
- [10]Global Carbon Fiber Comp. Market, 2014,Market Report, Acmite Market Intelligence
- [11]Berthelot,J.M.,(1998) *Composite Materials Mechanical Behavior and Structural Analysis*, Springer Press,Berlin, Almanya
- [12]Walsh P.J., (2001) Carbon Fibers, ASM Handbook, **21**, 35-40
- [13]Yaman, N.,Öktem,T., ve Seventekin,N., (2007),*Karbon Liflerinin Özellikleri ve Kullanım Olanakları*,Tekstil ve Konfeksiyon,**2**,90-95
- [14]Kim, J.K., ve Mai,Y.W., (1998) Engineered Interfaces in Fiber Reinforced Composites, Elsevier Press,İlk Basım,sayf.14

- [15]Erden,S., Sarikanat, M. ve Yıldız, H., (2009) Karbon Fiber Takviyeli Termoplastik Kompozitlerde Ara Yüzey Dayanımının Arttırılmasında Kullanılan Yöntemler Tekstil Teknolojileri Elektronik Dergisi, 3(1), 39-56
- [16]Lennart, B.,ve Scott, R., (1997), Composites Products and Developments,Composites and Sandwich Structures,Project 4,395-400
- [17]Morais, W.A., Monteiro, S.N., J.R.M.,”Effect of the laminatethickness on the composite strength to repeated low energy impacts”,Composite Structures, 70:223-228 (2005).
- [18]İnternet: Arş. Gör. M. Emin DENİZ, Kompozit Malzemeler. http://eng-harran.edu.tr/~emin/kompozit_malzemeler.htm (05.05.2014).
- [19]Aran, A.,(1990)Elyaf takviyeli karma malzemeler”,Tc İstanbul Teknik Üniversitesi Kütüphanesi, İTÜ Rektörlük Ofset Atölyesi, 1420:95.
- [20]Chawla,K.K, (2001) *Composite Materials*,2001,Springer Press,İkinci Basım,New York
- [21]D.R. Askeland, (1989) *The Science and Engineering of Materials*, 2d ed. PWS-Kent,s. 591.
- [22] Arıcasoy, O., (2006),Kompozit Sektör Raporu, İstanbul Ticaret Odası
- [23]Ersoy, M.S.,(2005) “Lif Takviyeli Polimerik Kompozit Malzeme Tasarımı”, Yüksek Lisans Tezi, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kahramanmaraş, 1-3, 5-8, 13-18.
- [24]Orozco,R., (1999), Effects Of Toughened Matrix Resins On Composite Materialsfor Wind Turbine Blades, Yüksek Lisans Tezi, Montana State Universty, Bozeman
- [25]Hurley, S. A., “The Use of Epoxy, Polyester and Similar Reactive Polymers in Construction Volume 3 Materials Technolgy”, CIRIA Project Report 79, London, 29-36 (2002).
- [26]Arıkan, A., “Flexibility Improvement of Short Glass Fiber Reinforced Epoxy” , Yüksek Lisans Tezi , ODTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü , Ankara, 5-6, 9-10 (2001). 26
- [27]Lubin, G., “Handbook of Fiberglass and Advanced Plastic Composites”, Van Nostrand Reinhold Company, New York, 143-181, 46-84 (1969).
- [28]Goodman, S. H., “Hanbook of Thermoset Plastics 2nd ed.”, Noyes Publications, New Jersey, 193-268, (1998).
- [29]Wonderly, C., Grenestedt, J., Fernlund, G., Cepas, E., “Comparison of mechanical properties of glass fiber/vinyl ester and carbon fiber/vinyl ester composites”, Composites: Part B, xx:1-10 (2005).

- [30]**İnternet:** Sekizinci Beş Yıllık Kalkınma Planı. <http://ekutup.dpt.gov.tr/-imalatsa/kimya/oik602.pdf> (2006).
- [31]**M.Wang, W. Bonfield, M.Li ve F.Guiu,** (1997), Interphase in Composite Metarials, *Key Eng.Materials* v. **127-131**, p. 583-590
- [32]**Savage,G. Carbon-Carbon Composites,** 1993,Great Britain at the University Press, Cambridge
- [33]**METYX Composites,** (2014),Reinforcement Broshure, <http://www.metyx.com/Broshure>
- [34]**Sheffer, E., Dotan, A. & YOSEF, M.B.,** “Impact resistance of knitted reinforced composite materials”, 5 th International Textile Conference, xxx:xxx-xxx (2005).
- [35]**Lee, J., Soutis, C.,** “A study on the compressive strength of thick carbon fibre-epoxy laminates”, *Composites Science and Technology*, xxx: xxx-xxx (2007).
- [36]**Yokozeki, T., Ogasawara, T., Ishikawa, T.,** “Nonlinear behavior and compressivestrength of unidirectional and multidirectional carbon fiber composite laminates”, *Composites: Part A*, 37:2069–2079 (2006).
- [37]**Yılmaz, T., Sınmazçelik, T.,** “Investigation of load bearing performances of pin connected carbon/polyphenylene sulphide composites under static loading conditions”, *Material and Design*, 28:520-527 (2007).
- [38]**Genç, Ç.** (2006). “Cam Elyaf Takviyeli Plastiklerin Üretim Yöntemlerinin Deneysel Karşılaştırması,” Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli.
- [39]**Sozer E.M.,Simacek ve Advani S.G,** (2012), Resin Transfer Molding (RTM) in Polymer Matrix Composites, *Manufacturing Techniques for Polymer Matrix Composites*, 9, 245-309
- [40]**Kim, M.G., Kang, S.G., Kim, C.G., Kong, C.W.,** “Tensile response of graphite/epoxy composites at low temperatures”, *Composite Structures*, 79:84-89 (2007).
- [41]**Yazıcı, M., Ülkü, S.,** “İki boyutlu rasgele dağılı e-cam lifi/polyester matris kompozitlerde yükleme hızının mukavemet üzerine etkisinin incelenmesi”, *Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 8-1:53- 57 (2003).
- [42]**Sudarisman, Davies, I.J., Hamada, H.,** “Comporessivefailure ofunidirectional hybrid fibre-reinforced epoxy composites containing carbon and silicon carbide fibres “, *Composites*, 38:1070-1074 (2007).
- [43]**Pinho, S.T., Robinson, P., Iannucci, L.,** “Fracture toughness of the tensile and compressive fibre failure modes in laminated composites”, *Composites Science and Technology*, 66:2069-2079 (2006).

ÖZGEÇMİŞ

Ad Soyad: Sevim Örs

Doğum Yeri ve Tarihi: İstanbul – 07.05.1986

Adres: Ataşehir - İstanbul

E-Posta: sevimors@gmail.com

Lisans: İstanbul Teknik Üniversitesi Çevre Mühendisliği

İstanbul Teknik Üniversitesi Kimya Mühendisliği (Çift Anadal)