



T.C.

KÜTAHYA DÜMLUPINAR ÜNİVERSİTESİ

SİMAV TEKNOLOJİ FAKÜLTESİ

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ

S-CAM ELYAF TAKVİYELİ EPOKSİ KOMPOZİT

MALZEMLERİN DELİNME ÖZELLİKLERİNİN

İNCELENMESİ

BİTİRME PROJESİ

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ

ÖMER ELİBOL 202022191166

DANIŞMAN

Dr. Öğr. Üyesi MURAT KOYUNBAKAN

KÜTAHYA, 2024



T.C.

KÜTAHYA DUMLUPINAR ÜNİVERSİTESİ

SİMAV TEKNOLOJİ FAKÜLTESİ

**S-CAM ELYAF TAKVİYELİ EPOKSİ KOMPOZİT MALZEMLERİN DELİNME
ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

ÖMER ELİBOL tarafından hazırlanan proje çalışması 12.01.2024 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Dumlupınar Üniversitesi Simav Teknoloji Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümünde Lisans **BİTİRME PROJESİ** olarak kabul edilmiştir.

Proje Danışmanı

Dr. Öğr. Üyesi MURAT KOYUNBAKAN

Dumlupınar Üniversitesi

Jüri Üyeleri

.....

.....

.....

.....

İÇİNDEKİLER

TABLO LİSTESİ	vii
ŞEKİL LİSTESİ	viii
ÖZET	x
ABSTRACT	x
TEŞEKKÜRLER	xi

BÖLÜM 1

GİRİŞ	1
-------------	---

BÖLÜM 2

KOMPOZİT	3
2.1 Kompozit malzemelerin Ana Yapısı	3
2.1.1 Matris Malzemesinden İstenilen Özellikler	4
2.1.2 Matris Malzemenin Görevleri;	5
2.1.3 Takviye Edici Malzemeye Göre Kompozit Malzemeler	5
2.2 Kompozit Ürünlerin Avantajları	6
2.3 Kompozit Ürünlerin Dejavantajları	7
2.4 Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması	7
2.4.1 Matris Yapılarına Göre Kompozitler;	7
Takviye Elemanlarına Göre Kompozitler;	8
2.4.1.1 Metal Matrisli Kompozitler	8
2.4.1.2 Seramik Matrisli Kompozit Malzemeler	9
2.4.1.3 Polimer Matrisli Kompozitler	10
2.4.1.3.1 Termoset matrisler;	10
2.4.1.3.2 Termoplastik matrisler;	10
2.4.2 Takviye Elemanlarına Göre Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması	11
2.4.2.1 Parçacık Takviyeli Kompozitler	11
2.4.2.2 Tabakalı Kompozitler	11
2.4.2.3 Karma Kompozitler	12
Kompozit Malzemelerin Mühendislik Malzemeleriyle Karıştırılması	12
2.6 Kompozit Malzemelerin Üretim Yöntemleri	13

2.7 Kompozit Malzemelerin Kullanım Alanları	14
2.8 Polimerler	15
2.8.1 Polimerlerin Özellikleri.....	15
2.8.2 Polimer Çeşitleri	16
2.8.2.1 Termoplastikler	16
2.8.2.2 Termosetler.....	17
2.8.2.3 Elastomerler (Kauçuklar)	17
2.8.3 Polimerler Elde Edilmesi	18
2.8.4 Polimerlerin kullanım alanları	18
2.9 Cam Elyaf Tarihçesi	18
2.9.1 Cam Elyaf Sınıfları	19
2.9.2 Cam Elyafı (Lifi) Üretilirken Kullanılan Ham Maddeler	19
2.9.3 Cam Elyaf Türleri	20
2.9.3.1 A-Cam Elyafı (Lifi veya Fiberi).....	20
2.9.3.2 C-Cam Elyafı.....	20
2.9.3.3 D-Cam Elyafı	20
2.9.3.4 Advantex	21
2.9.3.5 S Camı Elyafı	21
 BÖLÜM 3	
MALZEME VE YÖNTEM.....	22
3.1 S Cam Elyaf Epoksi Kompozit Plakanın Üretilmesi.....	22
3.2 Delme Deneyleri.....	25
 BÖLÜM 4	
BULGULAR VE TARTIŞMA	29
 BÖLÜM 5	
SONUÇ VE ÖNERİLER	33
KAYNAKLAR.....	34
ÖZGEÇMİŞ.....	Hata! Yer işareti tanımlanmamış.

TABLO LİSTESİ

sayfa

Tablo 3.1 Kullanılan reçine ve sertleştiricinin özellikleri.....	26
Tablo 3.2 Deney tasarımı.....	28
Tablo 4.1 Ölçülen Deformasyon Faktörleri.....	30
Tablo 4.2 Tüm yönler için üst yüzeyde hesaplanan deformasyon faktörleri.....	31
Tablo 4.3 Tüm yönler için üst yüzeyde hesaplanan deformasyon faktörleri.....	32

ŞEKİL LİSTESİ

sayfa

Şekil 2.1 Kompozit malzemenin iç yapısı.....	3
Şekil 2.2 Kompozit Malzeme.....	4
Şekil 2.3 Kompozit malzeme örneği.....	9
Şekil 2.4 Seramik malzeme mikroskop altındaki görünüşü.....	10
Şekil 2.5 Termoset matris.....	11
Şekil 2.6 Tabakalı kompozit oluşumu.....	13
Şekil 2.7 Kompozit malzemelerin mühendislik malzemeleriyle karıştırılması.....	13
Şekil 2.8 Kompozit malzeme üretim yöntemleri.....	14
Şekil 2.9 Kompozit malzemenin kullanıldığı yerler.....	15
Şekil 2.10 Polimer malzeme ve atomik yapısı.....	16
Şekil 2.11 Termoplastik örnekleri.....	17
Şekil 2.12 Termoset örnekleri.....	18
Şekil 2.13 Elastomer örnekleri.....	18
Şekil 2.14 Polimer ürünler.....	19
Şekil 2.15 S Cam elyaf.....	22
Şekil 3.1 Vakum destekli reçine transfer yöntemi.....	24
Şekil 3.2 Vakum destekli reçine transfer yöntemi ile kompozit plaka üretimi.....	24
Şekil 3.3 Deney numunesi üretim aşamaları.....	26
Şekil 3.4 CNC takım tezgahı ve bağlama düzeneği.....	27
Şekil 3.5 Deney Numunesi.....	27
Şekil 3.6 Delik etrafında oluşan deformasyonun belirlenmesi.....	28

Şekil 3.7 İnsıza ISMP-PM 200SD optik mikroskop.....	29
Şekil 3.8. Kesici takım.....	29

S-CAM ELYAF TAKVİYELİ EPOKSİ KOMPOZİT MALZEMELERİN DELİNME ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

ÖMER ELİBOL

Makine Mühendisliği Bölümü

Bitirme Projesi

Proje Danışmanı

Dr. Öğr. Üyesi MURAT KOYUNBAKAN

Polimer kompozit malzemeler günümüzde sahip oldukları üstün özellikleri nedeni ile birçok sektörde yaygın bir şekilde kullanılan mühendislik malzemeleridir. Sahip oldukları hafiflik, rijitlik ve mekanik özellikleri sayesinde S cam elyaflar, denizcilikten, havacılığa, enerji sektöründen taşımacılık sektörüne kadar yüksek dayanım gerektiren kompozit uygulamalarında tercih edilmektedirler. Polimer kompozit malzemeler son şekli verilerek üretilmelerin rağmen bu malzemeler genellikle mekanik olarak birleştirilmektedirler. Bu nedenle delme ve frezeleme işlemleri kompozit malzemeler için en çok uygulanan talaşlı imalat işlemleridir. Birleştirme işlemlerinde kullanılan cıvata ve perçinler için kaliteli delik ve kanallara ihtiyaç vardır. Bu çalışmada yaklaşık 2 mm kalınlığında vakum infüzyon yöntemi ile üretilmiş S cam elyaf takviyeli epoksi polimer kompozit malzeme üzerinde farklı kesme parametreleri ve farklı çaplar kullanılarak delik açılmıştır. Açılan delikler sonrası numune parçasının alt ve üst yüzeylerinde oluşan hasarlar optik mikroskopla incelenmiş ve deformasyon faktörleri hesaplanmıştır. Taguchi analizi için L27 ortogonal deney tasarımı seçilmiş ve cevap tabloları kullanılmıştır. Çıkış deformasyon faktörü için ilerlemenin, giriş deformasyon faktörü içinse matkap çapının daha etkin parametre oldukları tespit edilmiştir.

Anahtar kelimeler: Deformasyon faktörü, S cam, Kompozit malzeme , Delme, CETP kompozit, Delme, İtme kuvveti, Deformasyon faktörü, Taguchi analizi

TEŞEKKÜRLER

Projenin hazırlanması sırasında bilgilerini paylaşan ve yardımlarını esirgemeyen danışman hocalarımız Sayın Dr. Öğr. Üyesi Murat KOYUNBAKAN'a, atölye uygulamaları sırasında bize yardımcı olan Dr. Öğr. Üyesi Hüseyin YEŞİL ve malzeme temini konusunda yardımcı olan Dr. Öğr. Üyesi Zafer KAYA hocalarımıza, teşekkür ederiz

GİRİŞ

Kompozit en yaygın tanımıyla, farklı özelliklere sahip olan iki veya daha fazla fiziksel ve kimyasal malzemenin birleştirilmesiyle ortaya yeni ve daha güçlü malzeme çıkarılmasına kompozit denilmektedir. Ortaya çıkan ürüne ise kompozit malzeme denilmektedir.

Kompozit malzemenin tarihle olan ilişkisine bakıldığında, sanılandan çok daha öncesine, eski çağlara kadar dayanmaktadır. İlk çağlarda insanlar hayvansal ve bitkisel lifleri kırılgan ve dayanıksız malzemelerle birleştirmiştir. Böylelikle daha güçlü ve dayanıklı malzemeler elde etmişlerdir. Kompoziti kullanan ilk uygarlıklar Mezopotamyalılar ve Mısırlılardır. Mezopotamyalılar ahşap şeritleri doğal reçinelerle değişik açılarda birleştirerek yonga levha (sunta) yapmışlardır. M.Ö 'lü yıllarda yaşayan insanlar çamurun içine saman katarak evlerinin sağlamlığını arttırmışlardır. [1]

Günümüze kadar tarihte birçok örnekleri olan kompozit malzemeler gelişerek ve büyüyerek şu an önemli ve daha da gelişmeye açık bir şekilde faaliyetler sürdürülmektedir.

Kompozit Malzemelerde sanayiye bakıldığı zaman tasarımların en büyük sorunlarından biri malzeme seçimleridir 20.yüzyılın başına kadar metal malzemeler birçok endüstri alanında insanlığın bu sorununa çözüm olmuştur. Fakat gelişen teknoloji birlikte özellikle savunma sanayi ve ulaşım sektöründe kullanılan yapılarda ağırlığa oranla yüksek mukavemet istenilen bir durum oluşmuştur. Fakat rekabetçi piyasa şartları, malzemelerin tüketimindeki artış, teknik özelliklerin yanında algısal özellikleri de ön plana çıkarmıştır. Malzeme seçiminde ürünün görünüşü, dokusu gibi algısal yönlerinin yanında, korozyon dayanımı, mukavemet, iletkenlik gibi teknik özellikleri de büyük önem taşımaktadır. Dünyada ileri malzemeler alanında yapılan tasarımlar ve deneysel çalışmalar kompozit malzemelerin bu alanda kullanıcının isteklerini karşıladığı gözlemlenmiştir. Günümüzde kompozit üzerine yapılan çalışmalar kompozit malzemelerin gelişimini sağlamıştır. Yaygın olarak mühendislik yapı ve uygulamalarında kullanılmaya başlanmıştır. [2]

Kompozit malzemelerde gerek matris reçine özellikleri takviye malzemesinin türü ve yerleştirme biçimi, kompozit malzemenin mekanik. Kimyasal ısı özelliklerini geliştirdiğinden dolayı, diğer imalat malzemelerine oranla kompozit malzemeler çok farklı boyuta taşımaktadır. Konvansiyonel malzemelerle imalat yapılırken yalnızca malzemeye şekil vermekle yetinilirken, kompozit ürün imalatında şekil verilirken, aynı zamanda malzemenin

kendisinde üretilmektedir. Konvansiyonel malzemelere kıyasla kompozit malzemeler sahip oldukları yüksek mukavemet, yüksek ısıl direnç, üstün korozyon dayanımı ve hafiflik gibi özelliklere sahip olmasından dolayı kara, deniz ve havacılık sanayi, inşaat ve medikal gibi birçok endüstri alanında kullanılmaktadır.[2]

Daha önceden yapılan çalışmalarda elyaf ve reçine malzemesinin birlikte uyumlu bir birleşen olarak mühendislik alanında kullanılmaya başlanmıştır. Elyaf takviyeli kompozitler ilave edilen lif, yönlenme ve lif miktarı gibi takviyenin olması malzemenin mekanik özelliklerin gelişimine büyük katkı sağlamaktadır. Bunların yanı sıra takviye elemanı olarak karbon, bor, aramid ve cam gibi sentetik elyaflar ile bambu, pamuk, jüt ve kenaf gibi doğal elyaflar takviye elemanları olarak kullanılmaktadır. Reçine malzemeleri olarak da termoplastik ve termosetler kullanılmaktadır. Termoplastiklere göre termosetler kolay üretilbilme ve daha uygun fiyatlı olduğundan dolayı daha çok tercih edilmektedir.

Polyester, epoksi ve fenolik reçineler yaygın olarak kullanılan termosetlerdir. Epoksi reçineler kimyasal ve mekanik özellikleri, elektriksel iletkenlik ve aşınma direncine karşı başarılı bir ürün olsa da maliyet bakımında pahalıdır. Ancak cam elyaflar maliyet, elektriksel yalıtkanlık ve kimyasal dayanıklılık akımından polimer matrisli kompozitlerde ideal takviye elemanı olarak kullanılmaktadır.

Cam elyaf sektörünün gelişmiş olması nedeniyle ucuz ve kolayca bulunabilmektedir. Yüksek mukavemetlidir. Isıl dirençleri düşüktü. Ayrıca birçok plastik ürün güçlendirici olarak kullanılmaktadır. Kimyasal malzemelere karşı dirençli ve nem soğurma özelliği yoktur. S tipi cam elyaflar yüksek performans sağlayan türlerindendir. Normal cam elyaf ürünlerinden daha çok miktarda silika seviyesi ile üretilmektedir. S tipi cam elyaflar tekstil ve kompozit endüstrisi için üretilmiştir. Yüksek sıcaklık ve darbe dayanımına sahiptir. Hafif olmasından dolayı otomotiv, havacılık, gıda, uzay teknolojisi, eğlence ve inşaat gibi birçok alanda kullanılmaktadır. Son yıllarda çevre dostu ve geri dönüşüme uyumlu yeni nesil reçineler, biyolojik esaslı polimerler, ultra küçük moleküler yapılar ve nano polimerlerin, kompozit sektörünün yakın gelecekteki işlevlerini etkilemesi beklenmektedir.

KOMPOZİT

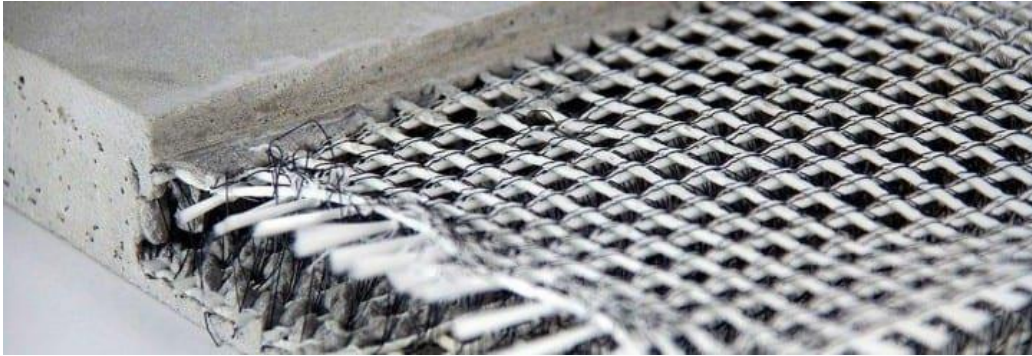
2.1 Kompozit malzemelerin Ana Yapısı

Kompozit malzemeler özet olarak ‘makro ölçüde birbirinden farklı iki veya daha fazla bileşenin bir ara yüzey boyunca bir araya gelmesiyle oluşan malzemeler’ şeklinde tanımlanabilir. Kompozit üretimindeki amaç, tek başına uygun olmayan birbiri içerisinde çözünemeyen malzemeleri kullanım alanlarına uygun özellikleri verebilecek duruma getirmek için yeni özellikler katmaktır. Yeni özelliklerden kasıt ise dayanıklılık, hafiflik, esneklik ve maliyet gibi

Kompozit malzemeler ana yapısı iki bileşenden oluşmaktadır.

- 1) Takviye malzeme (Çelik, karbür, aramid, naylon vb.)
- 2) Matris Malzeme (Polimer, metal ve metal alaşımı, seramik esaslı malzemeler)

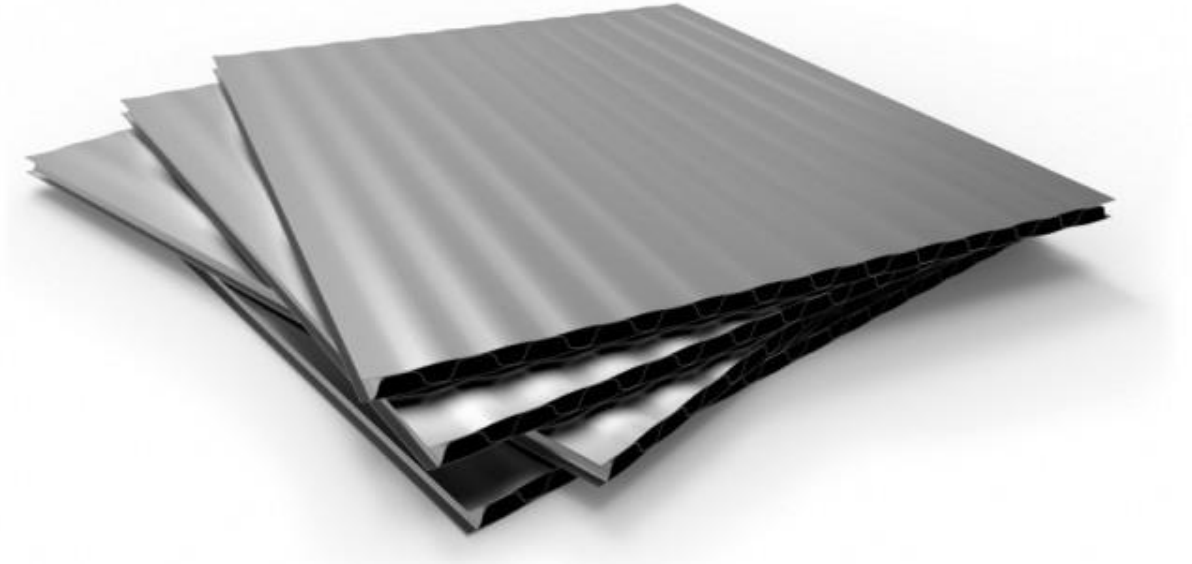
Bu malzemeler birbirlerinden farklı fiziksel özelliklere sahiplerdir. Bir araya getirilmeleri ile oluşan kompozit malzeme her ikisinden farklı özelliklere kavuşur. Genel olarak takviye malzemesi taşıyıcı görev üstlenir ve etrafında bulunan matris faz ise onu bir arada tutmaya ve desteklemeye yarar. Çok eskilere dönüldüğünde kerpiç evlerin ana malzemesi olan toprağa karıştırılan saman malzemesi de ayrı bir Honeycomb Panel matrisi örneğidir. Matris bütünleştiren malzeme anlamlarına gelmekte olup, eklendiği malzemeyi kenetleyip dayanımını artırmaktadır[5]



Şekil 2.1 Kompozit malzememin iç yapısı [4]

Amerika’ da 1930 yılında cam elyafın bulunması ile birlikte modern kompozitin üretimi başlamış ve cam elyaf takviyeli kompozit malzemeler dünya pazarında yerini almıştır. 1990-2000’li yıllarda ise 4. Nesil Kompozit çağı olarak adlandırılmaktadır. Kompozit malzemeler 1990’ların başlarında ana üretim ve inşaatla yaygın hale geldi.

Kompozit malzeme maliyetlerinin mühendislik plastikleri ve metaller gibi geleneksel olan endüstriyel tasarımcılar, yapı, elektrik-elektronik, gıda gibi sektörlerde her geçen gün üretim oranı dahada artan kompozit ürünler tasarlama başladı. Kompozit malzemenin en önemli özelliği mikro düzeyde homojen olmasıdır.



Şekil 2.2 Kompozit Malzeme [5]

2.1.1 Matris Malzemesinden İstenilen Özellikler

Matris malzemelerinden istenen belli başlı özellikler vardır. Bunlar;

- ✓ Darbeye karşı dayanıklı olması,
- ✓ Çekme oranının düşük olması,
- ✓ Kaymaya karşı dayanımın yüksek olması ,
- ✓ Öz kütlesinin düşük olması,

- ✓ Elastik uzama miktarının fazlam olması,
- ✓ Nem emme miktarının az olması,
- ✓ Zararlı kimyasalların etkilerine dayanıklılık, [6]

2.1.2 Matris Malzemenin Görevleri;

Matris malzemelerinin karşım içindeki görevleri aşağıdaki gibidir.

- ✓ Darbelere karşı malzemenin korunması.
- ✓ Korozyon gibi istenmeyen etkilerden koruması.
- ✓ Lifler arasında gerilimin sağlanması.
- ✓ Çatlakların önlemesi ve kopma süresini geciktirmesi.
- ✓ Çatlak ilerlemesini önler ve kopma süresini geciktirir.
- ✓ Elyaf malzemelerde homojenlik sağlamaktadır. [6]

2.1.3 Takviye Edici Malzemeye Göre Kompozit Malzemeler

Kompozit malzemeler takviye elemanlarıyla elde edilmektedir. Bu takviye elemanları ise;

- ✓ Parçacık takviyeli kompozitler
- ✓ Elyaf takviyeli kompozitler
- ✓ Tabakalı kompozitler
- ✓ Kurma kompozitler olarak sınıflandırılmaktadır.
- ✓ Genel kullanım amaçları maliyeti düşürmektedir.

2.2 Kompozit Ürünlerin Avantajları

Kompozit malzemelerin diğer ürünlere göre avantajlara sahiptir.

- ✓ Çatlak ilerleme olayı minimize edilir.
- ✓ Titreşimleri absorbe etme özelliği sağlanmıştır.
- ✓ Yüksek mukavemet
- ✓ Kompozitlerden bazıları çok yüksek akma sınırı değerine sahiptir.
- ✓ Hafiflik, montaj ve sevkiyat kolaylığı
- ✓ Metale göre düşük maliyet
- ✓ Korozyon problemi yoktur.
- ✓ Yorulma dirençleri oldukça düşüktür.
- ✓ Tasarım esnekliği vardır.
- ✓ Çevre dostudur.
- ✓ Elektrik ve su yalıtım özelliğine sahiptir.
- ✓ Çalınma riski yoktur.
- ✓ Kalıplama kolaylığına sahiptir.
- ✓ Antibakteriyeldir.
- ✓ Sıcaklıktan ve soğuktan etkilenmemektedir.
- ✓ Metale göre düşük maliyetlidir. [7]

2.3 Kompozit Ürünlerin Dezavantajları

Kompozit ürünler avantajlarının yanında dezavantajları da vardır.

- ✓ Metallere yapışmazlar. Fırınlanmadan kullanılamazlar.
- ✓ Hammaddenin pahalı olması.
- ✓ Malzemenin kalitesi üretim yöntemlerine bağlıdır. Standartlaşmış bir kalitesi yoktur.
- ✓ Değişik doğrultuda mekanik özelliklere sahiptir.
- ✓ Kurutma teknikleri uzun zaman alabilmektedir
- ✓ Aynı kompozit malzemeler için çekme, basma, kesme, eğilme mukavemet değerleri farklılık gösterebilir.
- ✓ Bazı kurutma teknikleri uzun süreler alabilmektedir.
- ✓ Delik delme ve kesme türü işlemler liflerde açılmaya yol açmaktadır.
- ✓ Bazı malzemelerin sınırlı raf ömürleri vardır. Saklama koşulları farklılık gösterebilmektedir. [7]

2.4 Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması

Kompozit malzemelerin oluşturulmasında sonsuz sayıda malzeme kombinasyonu oluşturulabilir. Bu da kompozit malzemelerin sınıflandırılmasında kesin bir sınır çizilmesini mümkün kılmamakla birlikte, kompozit malzemeleri, yapılarındaki malzemeler ve yapılarındaki bileşenlerin şekline göre farklı biçimde sınıflandırılabilir [8]

2.4.1 Matris Yapılarına Göre Kompozitler;

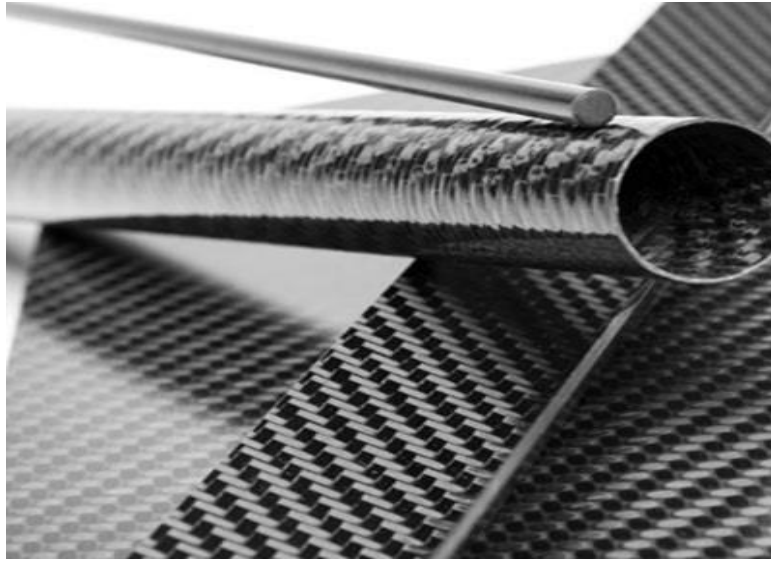
- Metal Matrisli Kompozitler
- Seramik Matrisli Kompozitler
- Polimer Matrisli Kompozitler
 - 1) Termoplastik Malzemeler
 - 2) Termoset Malzemeler
 - 3) Elastomer Malzemeler

Takviye Elemanlarına Göre Kompozitler;

- Elyaf Takviyeli Kompozitler
- Polimer Takviyeli Kompozitler
- Tabakalı Kompozitler
- Karma (hibrit) Kompozitler [10]

2.4.1.1 Metal Matrisli Kompozitler

1960'lı yılların başında malzemelerin kullanım sıcaklığının üzerinde sıcaklıklarda kullanılabilecek ve daha yüksek mukavemet özelliğine sahip malzemelere ihtiyaç duyulması nedeni ile metal matrisli kompozit malzemeler geliştirilmiştir. Metal matrisli kompozitler, sıcak haddeleme, sıvı metal emdirme, tez metalürjisi ve buhar çökeltme metotları ile üretilmektedir. [3]



Şekil 2.3 Kompozit malzeme örneği [10]

Metal Matrisli Kompozitlerin Avantajları;

- ✓ Yüksek tokluk ve darbe dayanımı,
- ✓ Neme karşı dayanım,
- ✓ Karmaşık şekillerin üretimi,
- ✓ Sıfıra yakın atık ve hurda,

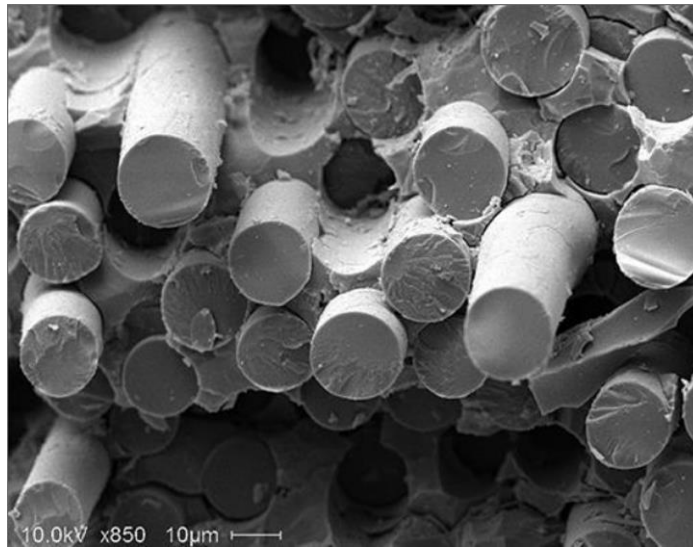
- ✓ Tekrara üretilebilir içyapı özellikleri,
- ✓ Yüksek üretim hızı,
- ✓ Yüksek elektriksel ve ısıl iletkenlik

Kompozit malzemeler geniş kullanım alanlarına sahiptir. Kullanım alanları ise;

- ✓ Spor aletlerin de ;
- ✓ Otomotiv endüstrisinde;
- ✓ Savunma sanayi;
- ✓ Uçakların iniş takımlarında;
- ✓ Haberleşme cihazlarında;
- ✓ Uzun ve havacılıkta platform taşıyıcı parçalarda sıkça kullanılmaktadır.

2.4.1.2 Seramik Matrisli Kompozit Malzemeler

Seramik matrisli kompozitler yüksek sıcaklıkta çalışması istenen yerlerde kullanılır. Seramik malzemeler hem düşük yoğunlukları nedeniyle daha hafif, hem de yüksek oksidasyon dirençleri sebebiyle yüksek sıcaklıklarda kullanılmaya oldukça elverişli malzemelerdir. Eritilmiş matrisin sızdırılması ve sıcak preslenmesi, kimyasal kaplama ve sızdırma yöntemleri kullanılan üretim biçimleridir.



Şekil 2.4 Seramik malzeme mikroskop altındaki görünüşü [11]

Seramik malzemelerin özellikleri;

- Sert olmalarından dolayı zor işlenmekte,
- Kimyasal ve termal dayanımları,
- Düşük yoğunluk,
- Ergime noktası düşük olmasından kaynaklı yüksek sıcaklıklarda kullanılabilir. [3]

2.4.1.3 Polimer Matrisli Kompozitler

Polimer matrisli kompozitler, çoğunlukla petrokimya esas ürünlerdir ve günümüzde en yaygın kullanıma alanı olan malzemelerdir. Polimerik kompozitler korozyona dirençli, uzun süre kullanıma uygun, işlenmesi kolay, şekillendirilebilir, birim kütle başına yük kapasitesi yüksek malzemelerdir. Plastikler polimer matrisli polimer malzeme grubundadır. Belli bir şekle getirilebilir veya kalıplanabilirler. Plastiklerin kullanım avantajlarına bakıldığında ise;

- İyi bir yalıtım özelliği gösterme
- Parça sayısının az olmasından tasarım kolaylığı,
- Hafif ve taşınması kolay malzemelerdir.
- Montajlaması basittir

Polimer matrisli kompozitler, termoset ve termoplastik olarak ikiye ayrılmaktadır. [12]

2.4.1.3.1 Termoset matrisler;

- ✓ lif takviyeli kompozit yapımında daha fazla kullanılmaktadır.
- ✓ Sıvı halde bulunurlar,
- ✓ Katılaştırıcı ilavesi ile öne jel haline gelir ve sonra da katılaşır.
- ✓ Termoset reçineler izotermiktir.
- ✓ Lif takviyeli kompozit yapımında genellikle düşük viskozitede olmaları tercih edilir. [13]

2.4.1.3.2 Termoplastik matrisler;

- ✓ Genellikle sünek ve ısı ile eritilebilirler
- ✓ Soğutma ile katılaştırılırlar
- ✓ Tekrara şekil verilebilir
- ✓ Amorf veya yarı kristalin yapıda olabilirler.
- ✓ Amorf termoplastikler de moleküller gelişigüzel düzenlenmiş bir yapıdadır.
- ✓ Kristalin bölgede ise moleküller sıkı paketlenmiş düzenli bir yapıdadır.[14]

2.4.2 Takviye Elemanlarına Göre Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması

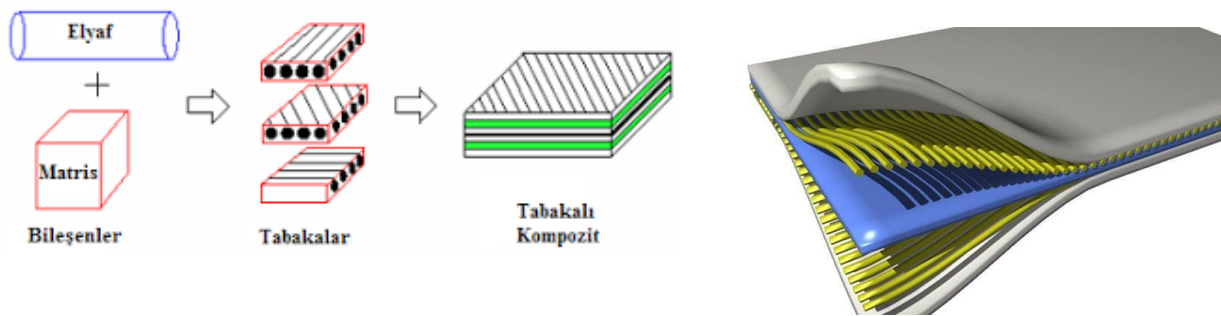
Kompozit malzemelerin en yaygın türü elyaf takviyeli kompozitlerdir. Elyaf takviyeli kompozitlerde takviye malzemesi olarak sırayı cam almıştır. Matris malzeme olarak plastik reçineler en fazla kullanılan tür olup bunlardan da polyester ucuzluğu sebebi ile ilk sırayı almıştır. Lif takviyeli kompozit malzemeler, moleküler boyutta bakımından birbirinde farklıdırlar ve mekanik olarak birbirlerinden ayrılabilirler. Matris termoset veya termoplastik olabilir. Takviye lifleri, uzun liflerden, dokuma kumaş, kısa kesilmiş lifler gibi değişik formatlarda olabilir. [15]

2.4.2.1 Parçacık Takviyeli Kompozitler

Takviye malzemesinin boyutları, takviye malzeme özelliklerinin, kompozit malzemeye olan katkısını belirlemektedir. Parçacıklar, çoğunlukla kompozitin sertliğini arttırmakta etkili fakat dayanımı arttırmakta fazla bir etkisi yoktur. Parçacık dolgular her ne kadar yaygın olarak fiziksel ve mekanik özellikleri artırmak için kullanılsa da birçok durumda sadece maliyeti düşürmek için kullanılmakta. Parçacık dolgulu malzemelerde performansı etkileyen çok değişik unsurlar vardır. Örnek olarak parça boyutlar boyut dağılımı, yüzey enerjileri, hacimsel oranlar, homojen dağılıp dağılmadığı gibi. [16]

2.4.2.2 Tabakalı Kompozitler

En eski ve en yaygın kullanılan bir yöntemdir. Farklı elyaf yönlendirmelerine sahip tabakaların birleşimi ile çok yüksek mukavemet değerleri elde edilebilir. Isı ve neme karşı dayanıklı yapılardır. Metallere göre hafiftirler. Pek çok katmanlı kompozit düşük maliyet, yüksek dayanım veya hafifliğini korurken, aşınma direnci, mükemmel ısıl genleşme özelliklerini kapsamaktadır.

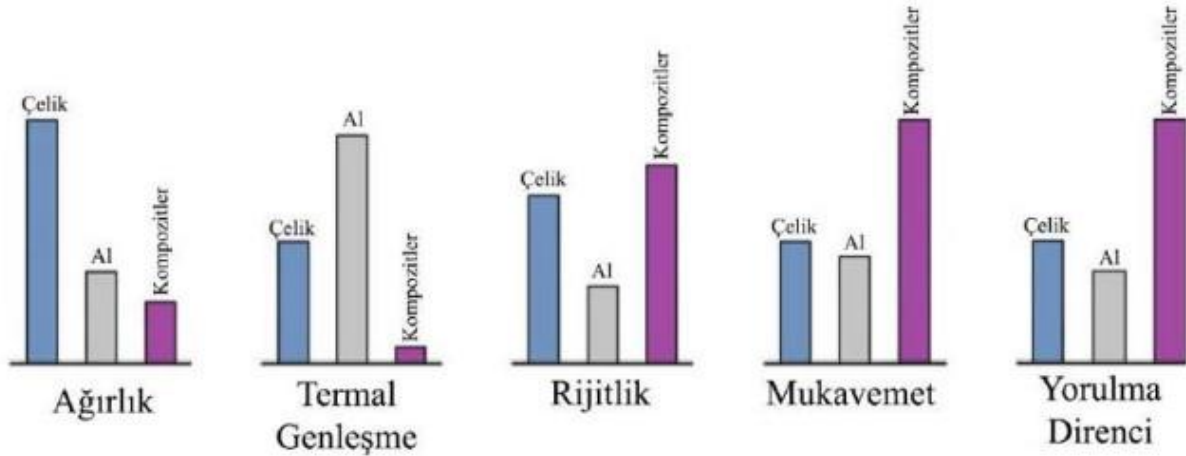


Şekil 2.6 Tabakalı kompozit oluşumu

2.4.2.3 Karma Kompozitler

Aynı kompozit yapıda iki ya da daha fazla takviye elemanı bulunması olasıdır. Bu tip kompozitlere “Hibrid Kompozitler” denir. Bu olan yeni tip kompozitlerin geliştirilmesi için uygundur. Örneğin, kevlar ucuz bir elyaftır ancak basma mukavemeti düşüktür. Grafit ise, düşük tokluğa sahip, pahalı ancak iyi basma mukavemeti olan bir elyaftır. Bu iki elyaf kullanılarak tasarlanan hibrid kompozitin tokluğu grafit kompozitten iyi, maliyeti düşük ve basma mukavemetinde kevlar elyaflı kompozitten daha yüksektir.

Kompozit Malzemelerin Mühendislik Malzemeleriyle Karıştırılması



Şekil 2.7 Kompozit malzemelerin mühendislik malzemeleriyle karıştırılması [17]

2.6 Kompozit Malzemelerin Üretim Yöntemleri

- Elle Yatırma
- Hızlı Katılaştırma
- Plazma Püskürtme
- Yarı Katı Karıştırma
- Toz Metalürjisi
- Vakum İnfüzyon
- Reçine Enjeksiyon Kalıplama Tekniği
- Sıvı Metal Emdirme
- Sıkıştırılmalı veya Sıvı Dövme Döküm
- Elyaf Sarma
- Basıncılı ve Basıncısız İnfiltrasyon
- Sıcak Presleme ve Sıcak İzostatik Presleme
- Sıvı Metal Karıştırması
- Difüzyon Bağlama ve Vakum Presleme
- Prepreg kalıplama tekniği

2.7 Kompozit Malzemelerin Kullanım Alanları

Kompozit malzemeler geniş kullanım alanlarına sahiptir. Bunlar;

✓ Uzay Teknolojisi ve Havacılık Sektörü

✓ Savunma Sanayii

✓ İnşaat Sektörü

✓ Otomotiv Sektörü

✓ Ulaşım Sektörü

✓ Sağlık Sektörü

✓ Kimya Sanayii

✓ Robot Teknolojisi

✓ Elektrik-Elektronik Teknolojisi

✓ Gıda ve tarım Sektörü

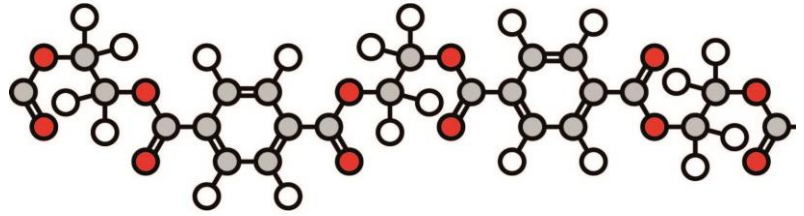
✓ Müzik Aletleri Endüstrisi



Şekil 2.9 Kompozit malzemenin kullanıldığı yerler [6]

2.8 Polimerler

Polimer terimi yunanca “polus” yani çok anlamına gelmektedir. Ve “meros” parça anlamına gelen kelimelerden türetilmiştir. Yapısı çok sayıda tekrar eden birimlerden oluşan molekülleri ifade etmektedir. Genel özellik yelpazesinden dolayı hem sentetik hem de doğal polimerler, günlük yaşamda temel ve her yerde bulunan bir rol oynarlar. Polimerler polistiren gibi bilinen sentetik plastiklerden biyolojik yapı ve işlev için temel olan DNA ve proteinler gibi doğal biyopolimerlere kadar çeşitlilik gösterirler. Yaygın olarak görülen polimerler hidrokarbon, karbon ve hidrojenden oluşurlar. Bu tür polimerlerde belirtilen uzun zincirler bulunur. Bu zincirler birbirlerine bağlıdır. Bazı polimerler ise karbon dışında elementler içeren omurgalara sahiptirler. [18]



Şekil 2.10 Polimer malzeme ve atomik yapısı [18]

2.8.1 Polimerlerin Özellikleri

Polimerler özellikleri bakımından önemli malzemelerdir.

- ✓ Saydamdırlar.
- ✓ Polimerler, büyük moleküller olduğu için moleküller arası Van Der Waals çekim kuvvetleri de büyüktür.
- ✓ Polimerlerin erime ve kaynama noktaları monomerlere göre oldukça yüksektir.
- ✓ Polimerler kimyasallara karşı dayanıklıdır.
- ✓ Polimerler oda sıcaklığında zaman bağlı olarak şekil değişimine uğrarlar.
- ✓ Yüksek sıcaklıklarda çalışılabilen ve yüksek mukavemet özellikleri kazandırılan kompozit polimerler de geliştirilmiştir.

- ✓ Polimerler hem elektrik hem de termal izolatörleri olabilir.(buzdolabı, tencere kupları, yalıtımlı bardaklar, soğutucular gibi.)
- ✓ Polimerler su alma eğilimine sahiptir.
- ✓ Polimerler çok kuvvetlidir ve önemli derece kuvvetlidir. (kurşun geçirmez yelek, oyuncak ve uzay istasyonlarının iskeletleri gibi.)
- ✓ Polimerler her zaman polimerlerden yapılmaz. Ham petrol, doğalgaz ya da kömürden de elde edilebilir.

2.8.2 Polimer Çeşitleri

Binlerce farklı polimer sentezlenmiş durumda ve gelecekte muhakkak daha fazlası üretilecektir. Konvensiyel olarak incelersek, tüm polimerler proses özelliklerine veya polimerizasyon mekanizmasının çeşidine göre esasında üç grupta tayin edilebilir.

2.8.2.1 Termoplastikler

Plastikler, tıpkı halk dilindeki kelime anlamına karşılık gelir ve birçok kez ısıtılarak yeniden şekillendirilebilirler. Günümüzde kullanımı en yaygın gruptur. Çoğunlukla doğrusal zincirler içerir. Yaygın olarak kullanılan örnekleri; polistiren, polietilen (PE), polivinil klorür (PVC). [19]



Şekil 2.11 Termoplastik örnekleri [19]

2.8.2.2 Termosetler

Ağsı yapıya sahip amorf polimerlerdir. Şekillendirmek istediğimizde kalıcı sertleşirler ve ısı verdiğimizde yumuşamazlar ve hatta yüksek sıcaklıklara çıktığında zincir ve bağ yapıları kırılıp bozulabilirler. [20]



Şekil 2.12 Termoset örnekleri [20]

2.8.2.3 Elastomerler (Kauçuklar)

Elastisite özelliği yüksek ve aynı zamanda amorf yapıya sahiptirler. Viskoziteye sahip olan elastomerler bu sebeple viskoelastisite olarak bilinirler. [21]



Şekil 2.13 Elastomer örnekleri [21]

2.8.3 Polimerler Elde Edilmesi

Polimerler monomerlerin kimyasal reaksiyonu ile elde edilir. Doğada bu işlem doğal polimerlerin oluşumuyla sonuçlanırken, sentetik polimerler ise insan tarafından yapılmaktadır. Polimerler, en başından beri (örneğin selüloz, nişasta ve doğal kauçuk) çevremizde doğal olarak bulunmaktadır. İnsan yapımı polimerik malzemeler on dokuzuncu yüzyılın ortalarından beri incelenmekle birlikte günümüzde polimer endüstrisi hızla gelişmiştir. Öyle ki; bakır, çelik, alüminyum ve diğer bazı endüstrilerden daha büyük bir yere sahiptir. [18]

2.8.4 Polimerlerin kullanım alanları

Hem doğal hem de sentetik polimerler, insan hayatının rahatlığı ve kolaylaştırılmasında dikkate değer bir şekilde yer alır ve bilişim teknolojileri, ilaç, beslenme, iletişim, ulaşım, sulama, konteyner, giyim, binalar, otoyollar vb. alanlarda direkt olarak yaşamın kendisinden sorumludur.



Şekil 2.14 Polimer ürünler [22]

2.9 Cam Elyaf Tarihçesi

- ✓ Cam elyafın, ilk olarak hayatımıza girdiği dönemler olan Rönesans döneminde kadehler ve vazoların süslenmesinde kullanılmıştır. Bu süslerde cam teller ile yapılmıştır.
- ✓ Rastgele uzunluklardaki elyaf yığınının oluşan cam yünü, 20. yüzyılın başında Avrupa’da, çubuklardan yatay olarak döner bir tambura liflerin çizilmesini içeren bir süreç kullanılarak üretildi. Bundan onlarca yıl sonra, bir eğirme işlemi geliştirildi ve patent alındı. Kısacası, cam elyaf I. Dünya Savaşı sırasında ilk kez Almanya’da üretildi.
- ✓ Cam elyafın ilk olarak endüstriyel üretimini 1930’lu yıllarda Amerika’da gerçekleştirdi.

- ✓ Owens-Illinois firmasında bir araştırmacı olarak görev yapan Russell Games Slayter'dı. 1932 yılında erimiş cam yığını üzerine basınçlı hava jetini yönlendirdiğinde, cam elyafının eri üretimi de keşfedilmiş oldu. [23]
- ✓ Kompozit materyal olarak havacılık endüstrisinde 1942 yılında uygulanmıştır.
- ✓ Havacılık endüstrisinden kullanımdan sonra S-2 tipi cam elyafı başta olmak üzere birçok ticari alanda kullanılmaya başlanmıştır.
- ✓ 1960'lı yıllardan sonra yüzey, çatı, cephe kaplamalarında, tekstil sektöründe, otomotiv sektöründe, uçak üretimi ve zırh yapında sıkça kullanılmaya başlanmıştır. [23]

2.9.1 Cam Elyaf Sınıfları

- ✓ İlk etapta cam elyafını sınıflandırmak gerekir ise genel ve özel olarak sınıflandırmak mümkündür. En bilinen formülü olan e-cam elyafı ticari anlamda “gene cam elyaf” olarak isimlendirilmektedir. Diğer tip cam lifleri ise özel tip olarak adlandırılmaktadır.
- ✓ Özel Amaçlı cam elyafı olarak S-cam, D-cam, A-cam, ECR-cam, ultra saf silika fiberler, içi boş elyaflar ve trilobal lifler vb. özel amaçlı cam elyaflarıdır. Bu tipler kendi içlerinde de birçok çeşide sahiplerdir.
- ✓ A, C, D, E, Advantex, ECR, AR, R, S-2, M, T, Z olarak adlandırılan cam elyaf tipleri en yoğun şekilde kompozit malzeme oluşturmak için kullanılan elyaf (lif veya fiber) türleridir. Bu Cam elyaflarının kullanılması ile oluşturulan kompozit malzemelere genel olarak fiberglass malzeme olarak isim verilmiştir.

2.9.2 Cam Elyafı (Lifi) Üretilirken Kullanılan Ham Maddeler

Cam elyafını oluşturan temel madde aslında bilinen camdır. Doğada bulunan camlardan farkı cam elyafı üretimine kullanılacak olanlar soda-kireç veya boraks silikatlarıdır.

Soda-kireç camı, kireç taşının (CaC_2), soda (Na_2CO_2) ve kum (SiO_2) ile 1400-1500°C dolayında sıcaklıklarda eritilmesi ile üretilir.

Bu üretilen cama Alüminyum, Bor, Kalsiyum, Magnezyum, Çinko, Baryum, Lityum, Karışık

Alkaliler, Zirkonyum, Titanyum, demir içeren oksitler veya flor gibi elementler katılarak hem ticari cam elyafı üretimi sağlanmakta ve kullanım alanlarına göre de istenilen özellikler verilmek

2.9.3 Cam Elyaf Türleri

2.9.3.1 A-Cam Elyafı (Lifi veya Fiberi)

- ✓ Fiberglas için kullanılan ilk cam türüdür.
- ✓ A-cam elyafı, alkali-kireç veya soda kireç camı kırılmış ve kırılmaya hazır olan, cam kırığı olarak adlandırılan cam elyafıdır.
- ✓ Alkali kireç cam elyaflarıdır.
- ✓ Bor katkılı veya katkısız olabilirler.
- ✓ Bileşimlerinde yüzde 0,8'den az olmayacak şekilde alkali oksit bileşikler bulunur.
- ✓ E-tipi cam elyaflarından beklenen dayanıklılık, yapısal denge ve elektriksel dayanımların çok gerekli olmadığı durumlarda soda kireci silikat camlarının içeriğe katılması ile üretilir.

2.9.3.2 C-Cam Elyafı

- ✓ Korozyon yaratan ortamlarda yapısal denge sağlayan kalsiyum borosiklat içeren cam elyaf tipidir.
- ✓ Temas edilen kimyasalların pH değeri ister alkali ister asit değerlerinde olsun cam elyafı yüksek dayanım sağlar.

2.9.3.3 D-Cam Elyafı

- ✓ Önemli bir cam elyaf türü de D-Tipi cam elyafıdır.
- ✓ Boron trioxide bileşimini yoğun olarak içerir.
- ✓ Boron trioxide cam ve emayeler için akıcı madde üretiminde, bor karbür gibi diğer bor bileşiklerinin sentezlenmesi için başlangıç materyali olarak ve ısı dayanımı ve termal şok dayanımı borosilikat camların üretiminde kullanılır
- ✓ Ayrıca boron trioxide'in en önemli kullanım alanlarından biri de optik kablo yapımında kullanıma fiberlerin oluşturulmasında cam elyaf katkı maddesi olarak kullanılmasıdır.

2.9.3.4 Advantex

- ✓ 1976 yılında tanıtılmıştır.
- ✓ E-CR ismiyle de anılmaktadır.
- ✓ E camın bor içermeyen ikamesi olarak kullanılan alüminosilikat cam, güçlendirici özellikleri ile asit direnci gösteren bir cam türüdür.

2.9.3.5 S Camı Elyafı

- ✓ 1960' ların başlarında, Owens-Corning ve ABD Hava Kuvvetleri arasındaki ortak çalışmasıyla ilk yüksek mukavemetli cam elyafı olan S camı stratejik füzelerde ve diğer askeri ürünlerde kullanılmak üzere geliştirilmiştir.
- ✓ 1966-1968 yıllarında Owens-Corning S-2 cam adı ile ticari uygulamalar için piyasaya sürmüştür.
- ✓ S cam elyaflar, kompozit uygulamalarda, tekstil altlıklarında veya takviye malzemesi olarak üretilen magnezyum alümino-silikattır.
- ✓ Aşırı sıcaklık koşulları altında yüksek mukavemet ve elastisite modülü ile dayanıklılık gerektiren kompozit yapısal uygulamalarda kullanılan S camlar S-2 cam, U cam, T cam ve Zen Tron isimleriyle piyasadan temin edilebilen ticari isimleri vardır. [24]



Şekil 2.15 S Cam elyaf

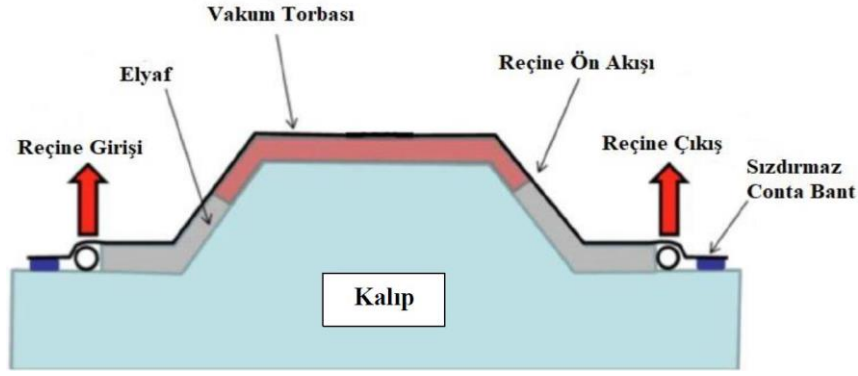
MALZEME VE YÖNTEM

Kompozit malzemeler en az iki ya da daha fazla farklı malzemenin birleştirilmesi ile meydana gelen mühendislik malzemelerdir. Kullanılan reçine türüne ve elyaf çeşit ve şekline bağlı olarak üretim yöntemleri değişmektedir. Üretim yöntemin belirlenmesinde parça sayısı ve geometrisi de önemli bir kriterdir. Bu bölümde S-cam elyaf takviye epoksi kompozit malzemelerin üretimi ve delik delme işlemi deneysel çalışmaları açıklanacaktır.

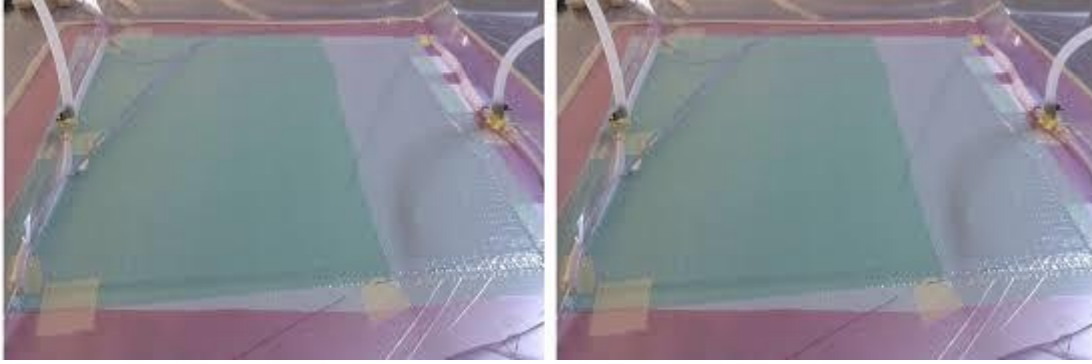
3.1 S Cam Elyaf Epoksi Kompozit Plakanın Üretilmesi

Takviye elamı olarak seçilen S cam elyaf kumaş Dost Kimya firmasından temin edilmiştir. Temin edilen kumaşın katalog bilgileri ağırlığı 190 g/m², kalınlığı 130µm, çözgü/atki oranı 28,7/27,5 şeklindedir [25].

Sertleştirici olarak Hexion287 ve epoksi olarak da Hexion MGS L285 kullanılmış ve katalog bilgilerinden alınan öneri ile karışım 40/100 olarak uygulanmıştır. Üretim yöntemi olarak vakum destekli reçine transfer yöntemi (VARTM) kullanılarak, 8 tabakalı olarak ortalama kalınlıkları 1,79 mm olan kompozit plaka üretilmiştir. Vakum destekli reçine transfer kalıplama yönteminde fiberler kalıp üzerine yerleştirilerek vakum naylonu ve bantlarla hava ortamından izole edilir. Sistem içerisindeki hava uygun yerlere yerleştirilen akış hortumları ve vakum pompasıyla boşaltılır. Reçine vakum hattının diğer ucundan vakum altındaki sistemin içine emdirilir. Fiberler tamamen ıslanmaya kadar vakum işlemine devam edilir. Son olarak oda şartlarında ya da ısı altında kürlleme sağlanarak kompozitin üretimi tamamlanmış olur [25]. Vakum destekli reçine transfer yöntemi (VARTM) kullanılarak 8 tabaka olarak üretilen kompozit plakanın kalınlığı yaklaşık 1,79 mm'dir. Plakaya oda sıcaklığında 24 saat ön kürlleme yapılmış daha sonra 80 °C sıcaklıkta post-kürlleme yapılmıştır. **Şekil 3.1**'de VARTM yöntemi şematik olarak gösterilmiştir. **Şekil 3.2**'de ise kompozit malzemenin üretimi verilmiştir.



Şekil 3.1 Vakum destekli reçine transfer yöntemi [26]



Şekil 3.2 Vakum destekli reçine transfer yöntemi ile kompozit plaka üretimi

Vakum destekli reçine transfer yönteminin bazı avantajları v dezavantajları vardır.

Avantaj:

- ✓ Tek taraflı bir kalıba ihtiyaç vardır.
- ✓ Kalıbın yüksek mukavemetli bir malzemeden yapılmasına gerek yoktur.
- ✓ Büyük parçalar bu yöntem ile üretilir.
- ✓ El yatırma yönteminde kullanılan kalıplar bu yöntem için modifiye edilerek kullanılabilir.
- ✓ Temiz imalat, vakum naylonuyla üzeri kapatılmış olan elyaf katlarına reçine ilavesi naylonun altından boru yardımı ile yapıldığından, ürün yüzeyine ve çevreye reçine genel bulaşması gerçekleşmez, reçinenin ve tepkime sonucunda ürün yüzeyinde oluşan gazların da etrafa yayılması engellenir.
- ✓ Tutarlı reçine kullanımı, infüzyon yönteminde harcanan reçine miktarı, aynı şartlar altında üretilen her üründe için aynıdır.

Dezavantaj:

- ✓ Diğer basit yöntemlere göre kullanılan ekipman sayısı fazla olduğundan daha yüksek iş gücü gerektirir ve bu sebeple de maliyet artar.
- ✓ Düşük vizkoziteye düşük reçine kullanımı mekanik özellikleri olumsuz etkileyebilir.
- ✓ Reçine ile ıslanmamış bölgeler kalabilir; bu da pahalı atık malzeme demektir.
- ✓ Zaman alıcıdır.
- ✓ Orta ve az sayılı kompozit üretimine uygundur.

İlk olarak 1930 yılında sentezlenmiş ve birçok endüstriyel uygulamalar için kullanılmış olan epoksi reçine uygulama alanları; yapı malzemeleri, kaplamalar, kompozit malzemeler, havacılık, laminantlar ve yapıştırıcılar olarak bilinmektedir. Temizlenmesi oldukça kolay olan epoksi reçineler ile yapılan kaplamalar oldukça hijyenik olmakla birlikte anti bakteriyel özellik göstermektedir. Uygulandıkları alanda toz tutma yapmayan, bu yüzden toz tutmanın istenmediği her ortamda kaplama olarak kullanılabilen epoksiler uygulandıkları yüzeylere estetik görünüş, parlaklık ve koruma ihtiva eder. Şeffaf epoksi reçineler ayrıca sanat ve hobi alanlarında kullanılmaktadır. Epoksi reçineleri endüstriyel kaplamalar, elyaf takviyeli plastikler, kaymaz kaplamalar, sert köpükler, genel amaçlı yapıştırıcılar, elektrik izolatörleri, elektronik ve elektrikli bileşenler, müzik aletleri üretimi, uzay ve havacılık sanayisi, otomotiv sanayisi, sanat ve hobi alanlarında kullanılır [27].

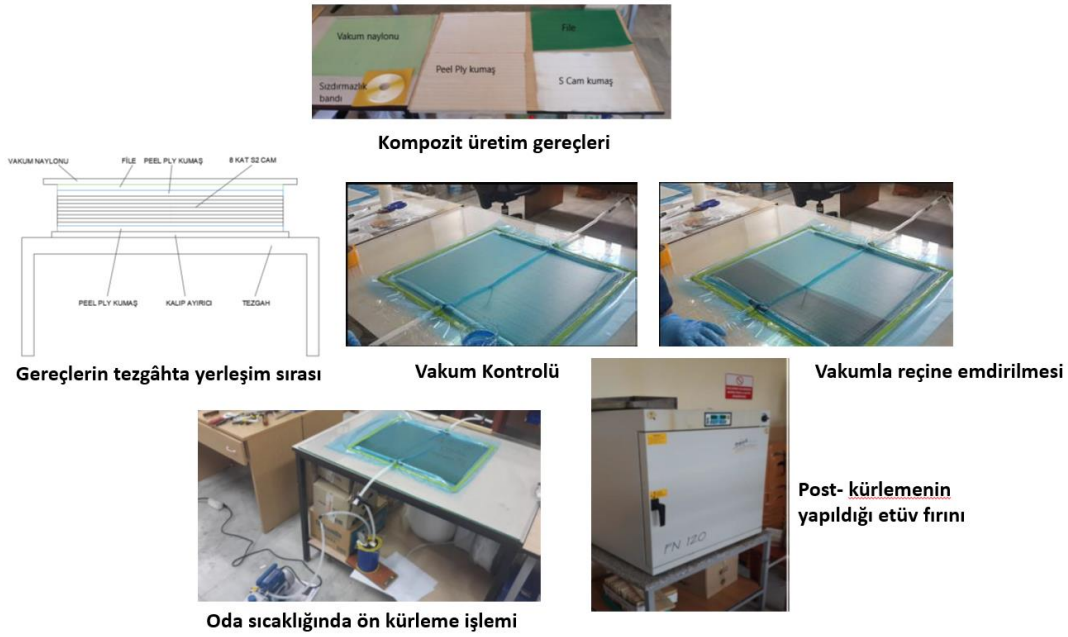
Kullanılan epoksi reçinenin üretici firma tarafından verilen özellikleri **Tablo 3.1**'da MGS L285 epoksinin genel özellikleri, karışım oranları, Laminasyon Reçinesi MGS L285 özellikleri ve sertleştirici özellikleri verilmiştir.

Sertifika	German Federal Aviation	Laminasyon Reçinesi L285 - Sertleştirici H285+H286+H287
Uygulama Alanı	Planör, motorlu planör, motorlu uçak, bot, gemi, spor aletleri, model uçaklar, kalıp ve genel uygulamalar	Ağırlıkça 100: 40+2/100: 40+2/100: 40+2
Çalışma Sıcaklığı	-60 °C / +50 °C ısı işlem uygulanmadan -60 °C / +80 °C ısı işlem uygulanarak	Hacimce 100: 50+2/100: 50+2/100: 50+2
Proses Sıcaklığı	+10 °C / +50 °C	Yoğunluk g/cm ³ 1,18-1,23
Özellikleri	Çok üst düzey uyumluluk Çok iyi mekanik ve ısı özellikler 45 dak. dan 4 saate kadar çalışma süresi	Vizkosite mPas 600-900
Depolama	Açılmamış ambalajında 24ay	Epoksi eşdeğeri gr/eşdeğer 155-170
		Epoksi değeri eşdeğer/100gr 0,59-0,65
		Refraktör indeksi 1,525-1,530

	H285	H286	H287
Yoğunluk (gr/ cm ³)	0,94-0,97	0,94-0,97	0,93-0,96
Vizkosite (mPas)	50-100	60-100	80-120
Amin değeri (mgr KOH/gr)	480-550	450-500	450-500
Refraktör indeksi	1,5020-1,5500	1,4995-1,5100	1,4950-1,4990

Tablo 3.1 Kullanılan reçine ve sertleştiricinin özellikleri

S cam elyaf takviyeli epoksi kompozit levhanın üretim aşamaları **Şekil 3.3**'te verilmiştir.



Şekil 3.3 Deney numunesi üretim aşamaları

3.2 Delik Delme Deneyleri

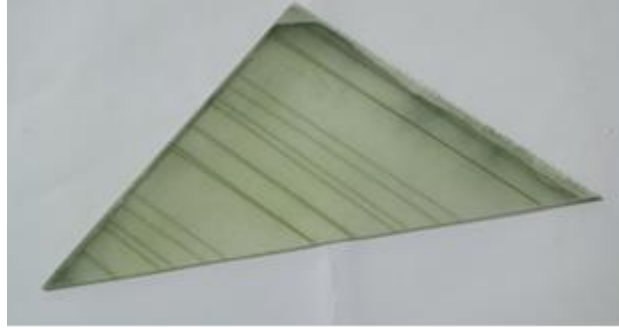
S cam elyaf takviyeli polimer kompozit malzemenin delinme özelliklerinin belirlenmesinde 6-8-10 mm çapında BOSCH marka ağaç matkabı kullanılarak farklı kesme parametreleri ile delme deneyleri Simav Teknoloji Fakültesi' de bulunan maksimum 18000 devre sahip Skilled 2040 CNC takım tezgahında kuru ortamda gerçekleştirilmiştir

Şekil 3.4'te kullanılan takım tezgahı ve bağlama düzeni verilmiştir.



Şekil 3.4 CNC takım tezgahı ve bağlama düzeni

Delik delme işlemleri için farklı kesme parametreleri kullanılarak (ilerleme-devir-matkap çapı) 27 deney yapılmıştır. Deney numunesi **Şekil 3.5**'te ve deneysel tasarım **Tablo 3.2**'da verilmiştir.

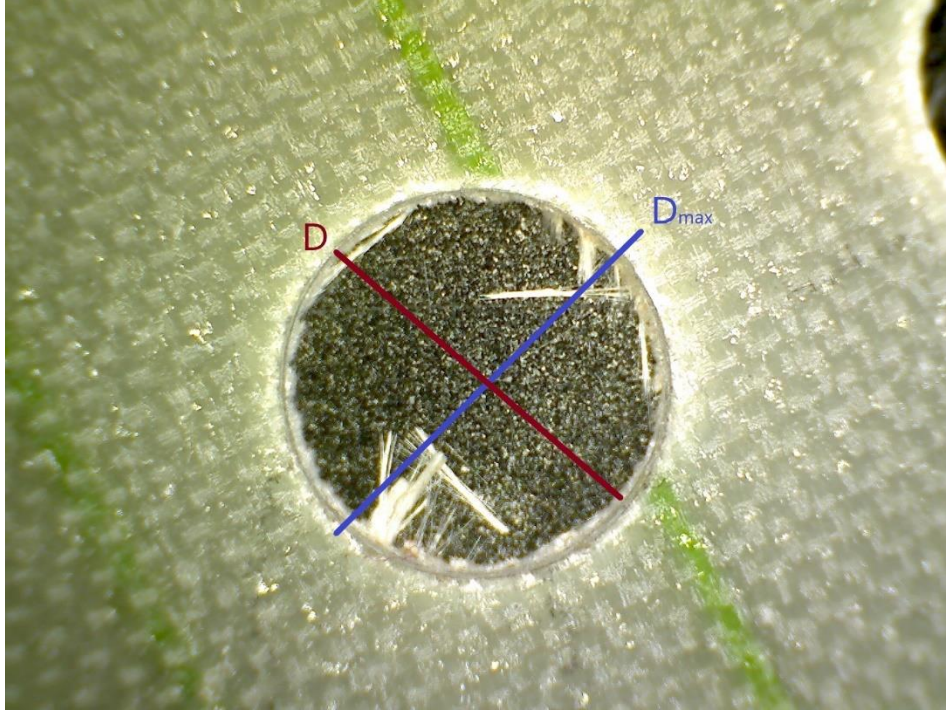


Şekil 3.5 Deney Numunesi

Devir Sayısı (dev/dak)	İlerleme (mm/dak)	Matkap Çapı (mm)
1000	20	6
1000	20	6
1000	20	6
1000	60	8
1000	60	8
1000	60	8
1000	40	10
1000	40	10
1000	40	10
1500	20	8
1500	20	8
1500	20	8
1500	60	10
1500	60	10
1500	60	10
1500	40	6
1500	40	6
1500	40	6
2000	20	10
2000	20	10
2000	20	10
2000	60	6
2000	60	6
2000	60	6
2000	40	8
2000	40	8
2000	40	8

Tablo 3.2 Deney tasarımı

Deney tasarımına uygun olarak delikler tek seferde açılmıştır. Delik açma işlemi sonucunda kompozit plakanın alt ve üst yüzeylerinde deformasyonlar meydana gelmiştir. Kompozit malzemelerin delinmelerinde meydana gelen yüzey hasarlarını belirlemek için kullanılan eşitliğe benzer şekilde delik delme işlemi sonucunda oluşan hasar tespit edilebilir. **Şekil 3.6**'de deformasyonun nasıl bulunduğu gösterilmiştir. Deney numunesinin giriş ve çıkış yüzeylerinde meydana gelen deformasyonun tespit edilmesi için **Şekil 3.7**'de verilen İnsize ISMP-PM 200SD marka optik mikroskop kullanılmıştır.



Şekil 3.6 Delik etrafında oluşan deformasyonun belirlenmesi

Delik etrafında oluşan hasarın belirlenmesi için deformasyon faktörünün bulunmasında Eşitlik 1 kullanılmıştır. Burada F_{ED} : Deformasyon faktörü, D_{max} : maksimum hasar çapı ve D delik genişliğidir.

$$F_{Def} = \frac{D_{max}}{D} \quad \text{(Denklem 3.1)}$$



Şekil 3.7 İnsıza ISMP-PM 200SD optik mikroskop

Kesici takım olarak Bosch firmasına ait 3 farklı çapta(6mm-8mm-10mm) HSS ağaç matkap takımı kullanılmıştır.



Şekil 3.8.Kesici takım

BULGULAR VE TARTIŞMA

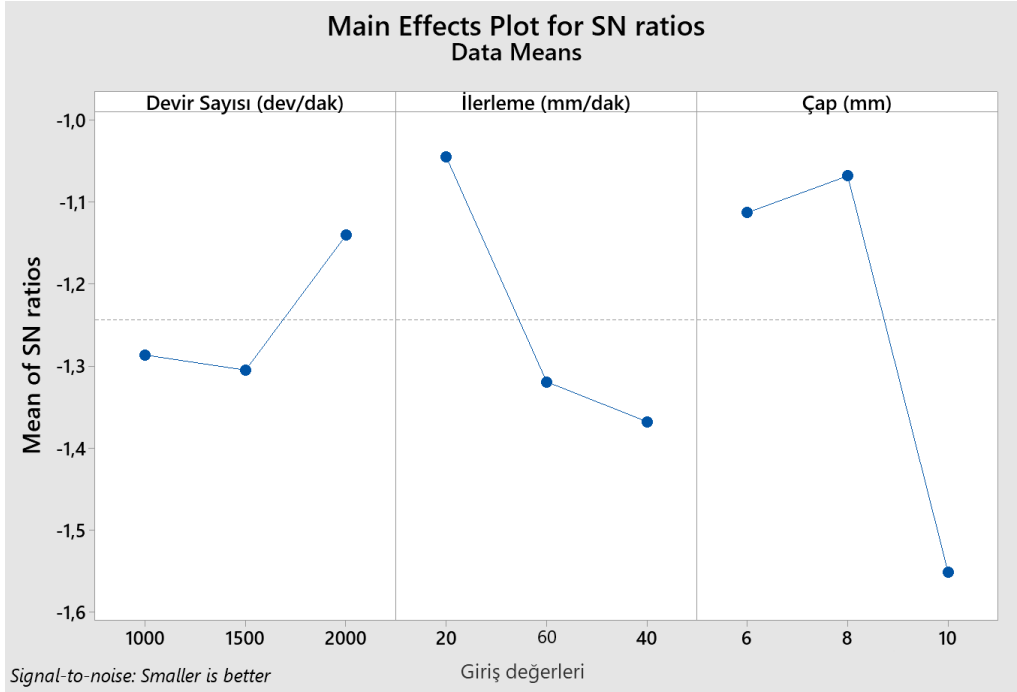
S cam elyaf takviyeli epoksi polimer kompozit numune üzerine açılan delikler sonrası yüzeylerde meydana gelen giriş ve çıkış hasarları tespit edilmiştir. Bulunan tüm sonuçlar **Tablo 4.1**'da verilmiştir.

Devir Sayısı (dev/dak)	İlerleme (mm/dak)	Çap (mm)	Deformasyon Faktörü (Giriş)	Deformasyon Faktörü (Çıkış)
1000	20	8	1,13391	1,11960
1000	20	8	1,14754	1,15072
1000	20	8	1,16296	1,14040
1000	60	10	1,13193	1,14928
1000	60	10	1,11668	1,14648
1000	60	10	1,14499	1,16069
1000	40	6	1,15906	1,22916
1000	40	6	1,34013	1,20823
1000	40	6	1,10276	1,15618
1500	20	10	1,12460	1,14702
1500	20	10	1,10982	1,15757
1500	20	10	1,16930	1,14282
1500	60	6	1,29631	1,20789
1500	60	6	1,20421	1,33137
1500	60	6	1,15802	1,14225
1500	40	8	1,17856	1,10963
1500	40	8	1,11882	1,13227
1500	40	8	1,17444	1,07880
2000	20	8	1,11396	1,24848
2000	20	8	1,14754	1,16554
2000	20	8	1,13376	1,35596
2000	60	10	1,12614	1,14021
2000	60	10	1,13722	1,13502
2000	60	10	1,16431	1,19530
2000	40	6	1,13023	1,13448
2000	40	6	1,13377	1,13689
2000	40	6	1,13391	1,11375

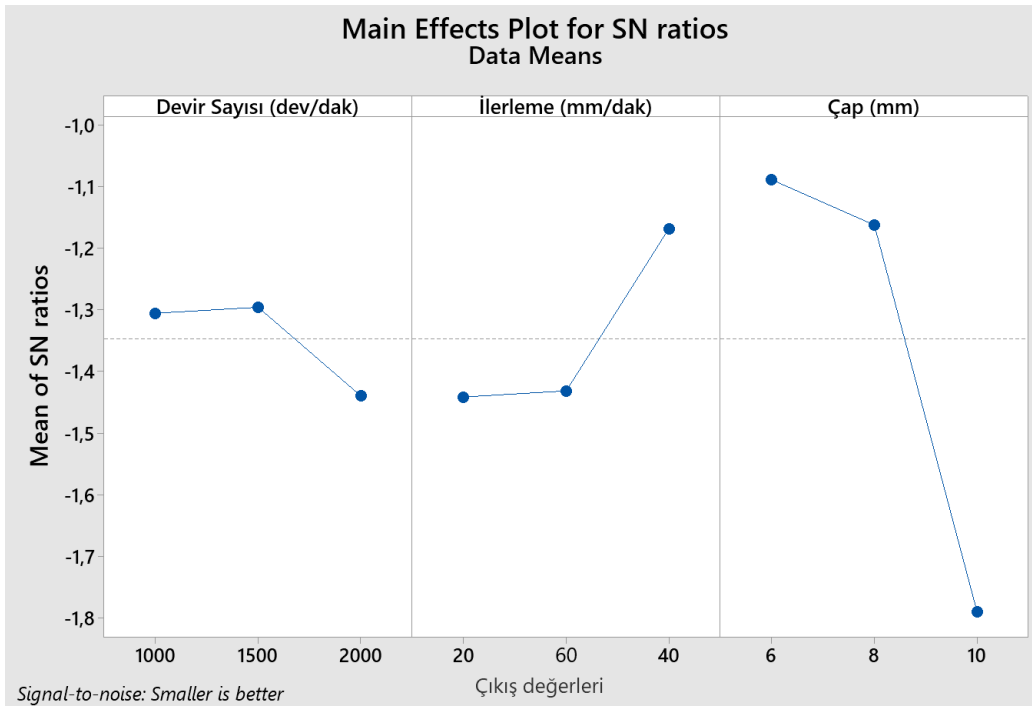
Tablo 4.1 Ölçülen Deformasyon Faktörleri

Giriş ve çıkış yönleri için yapılan deneyler sonucunda numunenin üst yüzeyinde meydana gelen ve hesaplanan deformasyon faktörleri Tablo4.2'de verilmiştir. Genel olarak devir sayısının yüksek ve ilerlemenin düşük olduğu deneylerde deformasyonun daha az

olduğu gözlemlenmiştir. Devir sayısının yüksek ve ilerlemenin en düşük değerlerinde en az deformasyon meydana gelmiştir.



Tablo 4.2 Giriş için SN oranları için ana etki grafiği



Tablo 4.3 Çıkış için SN oranları için ana etki grafiği

Çıkış yönler için açılan deliklerin alt yüzeylerinde meydana gelen ve hesaplan deformasyon faktörleri Tablo4.3'te verilmiştir. Şekil incelendiği zaman görüleceği üzere kompozit malzemenin 1500dev/dk ve 40mm/dk da en düşük deformasyonu verdiği gözlemlenmiştir. Deformasyon faktörü tablosunda görüldüğü gibi en düşük deformasyon değeri 1,07880 dir.

Tablo 4.4 S/N oranı için cevap tablosu

Giriş Deformasyonu				Çıkış Deformasyonu		
Seviye	Devir Sayısı (dev/dk)	İlerleme (mm/dk)	Çap(mm)	Devir Sayısı (dev/dk)	İlerleme (mm/dk)	Çap(mm)
1	-1,286	-1,045	-1,112	-1,305	-1,441	-1,089
2	-1,305	-1,349	-1,068	-1,296	-1,431	-1,162
3	-1,140	-1,367	-1,551	-1,439	-1,168	-1,789
Fark	0,168	0,323	0,483	0,144	0,273	0,700
Derecesi	3	2	1	3	2	1

Tablo 4.5 S/N oranı için varyans analizi tablosu

Kaynak	SD	Kareler Toplamı		Ortalama Kareler		Düzeltilmiş Ortalama Kareler		F-Oranı		P-Oranı	
		GDF	ÇDF	GDF	ÇDF	GDC	ÇDF	GDF	ÇDF	GDF	ÇDF
Devir Sayısı(dev/dak)	2	0,04873	0,03870	0,04873	0,038704	0,02436	0,019352	1,66	9,64	0,376	0,094
İlerleme(mm/dak)	2	0,18175	0,14401	0,18175	0,144007	0,09088	0,072003	6,20	35,85	0,139	0,027
Çap(mm)	2	0,42724	0,88871	0,42724	0,888709	0,21362	0,444354	14,58	221,24	0,064	0,004
Hata	2	0,02930	0,00402	0,02930	0,004017	0,01465	0,002008				
Toplam	8	0,68702	1,07544	Toplam							

Tablo4.4 ve Tablo 4.5 de görüldüğü gibi yapılan deney çalışmasında önem derecesi ve katkı oranlarına göre 1. En önemli etkenin matkap çapı olduğu görülmektedir. 2. En önemli etken ise ilerleme, 3. En önemli etken ise devir sayısıdır. En az deformasyona uğrayan kısım çıkış yüzeyleridir

Murat Koyunbakan ve arkadaşlarının yaptığı benzer bir makalede de benzer sonuçlar bulunmuştur. Ağaç matkabının uç profilinde merkezleme yapması için bir iğne uç bulunmaktadır. Bu iğne ucun ve kesme kenarlarının konumunun çıkış yüzeylerinde daha fazla baskı oluşmasını sağladığı düşünülmektedir. Oluşan bu baskı kuvvetleri sonucunda en altta bulunan tabaka ayrılmaya zorlanmakta bu nedenle giriş yüzeylerinden daha fazla

deformasyona uğramaktadır. Kesme hızı , ilerleme ve matkap çapının artması deformasyon faktörlerini arttırmaktadır.[29]

SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında vakum difüzyon yöntemiyle 8 kat olarak üretilmiş S cam elyaf takviyeli epoksi reçineli polimer kompozit malzemelerin işlenebilirlik özelliklileri delme deneyleri yapılarak incelenmiştir. Numune kompozit parça desteklenebilmesi ve bağlanabilmesi için bağlama aparatı kullanılarak Simav Teknoloji Fakültesi ağaç işleri atölyesinde bulunan maksimum devir sayısı 18000 olan CNC tezgahında kuru ortamda 6-8-10 mm çapında kaplamasız HSS matkap uçları kullanarak farklı kesme parametrelerinde delinmiştir. Delme deneyleri sonrası giriş ve çıkış yüzeylerinde meydana gelen deformasyonların tespiti için optik mikroskop kullanılarak görüntüler alınmış ve deformasyon faktörleri tespit edilmiştir. Elde edilen sonuçlar için Minitab yazılımı kullanılarak Taguchi Analizi ve varyansa analizi (ANOVA) yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar aşağıda listelenmiştir.

- Giriş bölgesi için yapılan incelemede en düşük deformasyon faktörü 1,10276 olarak 40 mm/dak kesme hızı, 1000dev/dk ilerleme ve çap 6 mm olan matkap ile yapılan deneyde elde edilmiştir. Çıkış deformasyon faktörü 1,07880 ile 40 mm/dak kesme hızı, 1500 dev/dk ve çap 8 mm olan matkap ile yapılan deneyde elde edilmiştir
- Yapılan Taguchi analizi sonucunda S cam elyaf takviyeli epoksi reçineli polimer kompozitlerin delinmelerinde devir sayısı ve ilerleme faktörleri açısından en önemli parametre olduğu görülmüştür

Yapılan tez çalışmasında tek bir çapta kaplamasız HSS matkap kullanılmış olup, daha fazla sonuç elde edilebilmesi için farklı geometrilerde ve farklı malzemelerden yapılmış matkapların kullanıldığı çalışmaların yapılması önerilebilir. Ayrıca S cam elyaf takviyeli tabakalı polimer kompozit malzemeler içerisine farklı katkı maddeleri ilave edilerek malzemenin mekanik ve fiziksel özelliklerinin geliştirilmesi üzerine çalışmalar yapılabilir ve ilave olarak o tür malzemeler işlenebilirlik özellikleri araştırılabilir.

KAYNAKLAR

- [1] <http://kompozithayalleri.com/kompozit-malzemeler-ve-kisa-tarihi>
- [2] Kaya, Zafer “S-CAM/EPOKSİ TABAKALI KOMPOZİTLERİN FARKLI SICAKLIKLAR VE DEFORMASYON HIZLARINDAKİ STATİK VE KIRILMA DAVRANIŞLARININ BELİRLENMESİ” Mart 2021 Uşak
- [3] <https://kompozitkimya.com.tr/kompozit-nedir/>
- [4] <https://malzemebilimi.net/kompozit-malzemenin-kullanim-alanlari.html>
- [5] elektrikde.com/kompozit-malzeme-nedir-kullanimi-ve-ornekleri
- [6] <https://kompozitkimya.com.tr/kompozit-nedir/>
- [7] <https://tolgakaranfil.webnode.com.tr/products/kompozit-malzemelerin-avantaj-ve-dezavantajlari/>
- [8] <https://cdn.bartın.edu.tr/metalurji/d7ee7cd9-f063-4669-8e1c-393503ed6ffb/kompozitmalzemelerini1giris.pdf>
- [9] <https://insapedia.com/kompozit-nedir-kompozit-malzemeler-ve-ozellikleri/>
- [10] <https://www.turkchem.net/kompozit-malzemelerin-birlestirilmesi.html>
- [11] <https://tr.pinterest.com/pin/669629038325335937/>
- [12] <https://insapedia.com/kompozit-nedir-kompozit-malzemeler-ve-ozellikleri/>
- [13] <https://firdavat.net/termoplastik-ile-termoset-arasindaki-temel-farklar-nelerdir/>
- [14] <https://www.fafvana.com.tr/elostomer-ve-termoplastikler/>
- [15] <https://insapedia.com/kompozit-nedir-kompozit-malzemeler-ve-ozellikleri/>
- [16] <https://blog.tekyaz.com/kompozit-malzemelerin-genel-ozellikleri-ve-kullanimi/>
- [17] https://www.boatbuilderturkiye.com/yayin/296/kompozit-uretiminde-vakum-infuzyon-yontemi_9113.html#.YjY_EO
- [18] <http://sirpolimer.com.tr/haber-ve-yayin/polimer-nedir>
- [19] <https://www.elektrikde.com/termoplastik-nedir-nerelerde-kullanilir/>
- [20] <https://firdavat.net/termoplastik-ile-termoset-arasindaki-temel-farklar-nelerdir/>

- [21] <https://www.fafvana.com.tr/elostomer-ve-termoplastikler/>
- [22] <https://malzemebilimi.net/polimer-nedir-polimer-cesitleri-nelerdir.html>
- [23] <https://malzemebilimi.net/cam-elyaf-nedir-nasil-uretilir.html>
- [24] <https://polser.com/tr/ctp/cam-elyaf>
- [25] Kaya,Zafer “S-CAM/EPOKSİ TABAKALI KOMPOZİTLERİN FARKLI SICAKLIKLAR VE Deformasyon Hızlarındaki Statik VE Kırılma Davranışlarının Belirlenmesi “ Doktor Tezi, Uşak Üniversitesi, 2021
- [26] Özdemir. Batuhan , “Polimer Matrisli Kompozit Malzeme İmalatı İçin Vakum Destekli Mekanizmaların Geliştirilmesi Ve Performanslarının İncelenmesi” Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, 2020
- [27] <https://kimyacibaba.com/epoksi-recine-nedir/>
- [28] F. YILDIRIM, M. KOYUNBAKAN, M.AYDIN, A.AVCI “ÜÇ BOYUTLU BOŞLUKLU POLİMER KOMPOZİTLERİN DELİNME VE FREZELENME ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ” 2-4 NOVEMBER 2017 8th INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON MACHINING
- [29] Niğde ömer Halisdemir üniversitesi mühendislik bilimleri dergisi CETP kompozitlerin ağaç matkabıyla delinme performansının deneysel incelenmesi

ÖZGEÇMİŞ

Ömer Elibol; 21.01.2001 tarihinde SAKARYA/Arifiye’ de doğdu. İlköğrenimini Üzeyir Garih Dostluk ilkulunda, liseyi Adapazarı Anadolu lisesinde tamamladı. Daha sonra 2020 yılında Dumlupınar Üniversitesi Teknoloji fakültesi Makine Mühendisliği bölümünü kazandı. Halen bu bölümü son sınıf öğrencisi olarak öğrenimini sürdürmektedir.