



T.C.
NECMETTİN ERBAKAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



ELEKTROMOBİL KOMPOZİT ŞAŞI
TASARIM VE İMALATI

Erhan ŞAN

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı

Ağustos-2017

KONYA

Her Hakkı Saklıdır

TEZ KABUL VE ONAYI

Erhan ŞAN tarafından hazırlanan “ELEKTROMOBİL KOMPOZİT ŞASI TASARIM VE İMALATI” adlı tez çalışması .../.../... tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliğı / oy okluğı ile Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliğı Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmza

Başkan

Yrd. Doç. Dr. Murat DİLMEÇ

Danışman

Prof. Dr. Hüseyin ARIKAN

Üye

Yrd. Doç. Dr. Mehmet Turan DEMİRCİ

Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. Ahmet COŐKUN
FBE Müdürü

Bu tez alıŐması Necmettin Erbakan Üniversitesi – Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi tarafından **161331001** nolu proje ile desteklenmiştir.

TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.

İmza

Erhan ŞAN

Tarih: 21/08/2017

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ELEKTROMOBİL KOMPOZİT ŞASI TASARIM VE İMALATI

Erhan ŞAN

**Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı**

Danışman: Prof. Dr. Hüseyin ARIKAN

2017, 76 Sayfa

Jüri

**Prof. Dr. Hüseyin ARIKAN
Yrd. Doç. Dr. Murat DİLMEÇ
Yrd. Doç. Dr. Mehmet Turan DEMİRCİ**

Petrol türevleri yakıldığında ortaya çıkan zehirli gazlar ve benzin motorlarının çalışmasında oldukça önemli görevler üstlenen kurşun elementinin egzoz gazıyla çevreye yayılması ayrıca benzinli motorlarda kullanılan ve sıklıkla değiştirilen kullanılmış motor yağları önemli ölçüde hava ve çevre kirliliğine yol açmaktadır. Temiz ve yaygın bir enerji kaynağı olan elektrik enerjisinin bu konunun dışında bırakılması ise mümkün değildir. Elektromobil adı verilen otomobiller çeşitli türlerdeki elektrik motorları ile hareket ettirilmektedirler. Bir elektrikli otomobilin tahrik sistemi temel olarak elektrik enerjisi kaynağı, elektrik motoru ve kontrol sisteminden oluşmaktadır. Elektrikli otomobiller, atık gazlar oluşturmamaları ve motor yağı kullanmaması sonucu çevre dostu olmalarının yanında bir mekanik vites kutusuna ihtiyaç duymamaları, frenleme esnasında enerjiyi geri kazanabilmeleri, sessiz çalışmaları gibi özellikleri ile klasik içten yanmalı motorlara sahip otomobillere karşı önemli avantajlar sağlamaktadırlar.

Bu çalışmada ise elektrik enerjisi ile çalışan bir araç için kompozit şasi tasarımı ve imalatı ele alınmaktadır. Tasarımda, bataryadan elde edilen kısıtlı enerjinin en verimli şekilde kullanılabilmesi için aracın mümkün olduğunca hafif imal edilmesi planlanmıştır. Ayrıca günümüzde kullanılan klasik araç şasilerinden farklı olarak dayanım yönünden de katkı sağlanması hedeflenmektedir. Bu amaçla ilk etapta üretimde kullanılacak karbon ve cam elyaf kumaşlardan numuneler alınarak mekanik testler yapıldı. Elde edilen test sonuçları SolidWorks kompozit modülü yardımı ile şasi tasarımının yapısal analizi ve aerodinamik özellikleri incelendi. Ardından şasi imalatı için gerekli çalışmalar yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Analiz, Cam elyaf, Elektromobil, Karbon Elyaf, Kompozit Şasi, Mekanik Testler, Tasarım

ABSTRACT

MASTER'S THESIS

DESIGNING AND MANUFACTURING OF ELECTROMOBILE COMPOSITE CHASSIS

Erhan ŞAN

**NECMETTİN ERBAKAN UNIVERSITY INSTITUTE OF SCIENCE AND
TECHNOLOGY
THE DEPARTMENT OF MECHANICAL ENGINEERING**

Advisor: Prof. Dr. Hüseyin ARIKAN

2017, 76 Pages

Jury

Prof. Dr. Hüseyin ARIKAN

Assist. Prof. Dr. Murat DİLMEÇ

Assist. Prof. Dr. Mehmet Turan DEMİRCİ

When Petroleum was burned, weather and environmental are polluted because of exhaust gases and engine oils. electrical energy is clean and a common energy, it can not leave out of issue. Electromobile is moved with electric motors of various types. The drive system of an electric car occurs basicly from electric power supply, electric motor and control system. Electromobiles doesn't generate exhaust gas and doesn't use engine oil. Electromobiles doesn't have mechanical gearbox, It can gain again during braking and It can run quietly. Therefore It has important adnavtages according to conventional internal combustion engine.

This study include design of composite chasis and production for a vehicle powered by electricity. To the limited energy available from the battery can be used most efficiently that is planned to product as very ligt at the desing. As differently classic car chassis also used today, The additives are intended to provide in the strength direction. Firstly; taking samples to be used in the production of carbon and glass fiber cloth was made mechanical tests. The obtained test results were examined structural analysis and aerodynamic characteristics with SolidWorks composite module, Necessary works were done to product chassis later.

Keywords: Analysis, Carbon Fiber, Composite Chassis, Design, Electromobile, Glass Fiber, Mechanic Tests

ÖNSÖZ

Bu çalışmamda, bilgisi ve tecrübesiyle tezin her aşamasında bana yön veren değerli danışman hocam Prof. Dr. Hüseyin ARIKAN'a teşekkür ederim.

Tez çalışmalarım süresince yardımlarını ve bilgilerini esirgemeyen Yrd. Doç. Dr. Mehmet KAYIRICI, Öğr. Gör. Onur GÖK hocalarıma, Kadir Çınar Bey'e, TÜBİTAK'ın düzenlediği Elektromobile yarışmasına Pars isimli aracın üretiminde görev alan öğrenci arkadaşlar adına Kaan ALKAN'a destekleri için teşekkür ederim.

Bu tez çalışması Necmettin Erbakan Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü tarafından 161331001 nolu Yüksek Lisans Tez Projesi kapsamında desteklenmiştir. Bu desteklerinden dolayı Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğüne teşekkür ederim.

Ayrıca çalışmalarım sırasında yanımda olan maddi ve manevi yardımlarını benden esirgemeyen aileme teşekkürü bir borç bilirim.

Erhan ŞAN
KONYA-2017

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
ÖNSÖZ	vi
İÇİNDEKİLER	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	ix
1. GİRİŞ.....	1
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI	3
2.1. Elektromobil ve Günümüzdeki Yeri.....	3
2.1.1. Elektrikli Araçlar Daha Fazla Yaygınlaşacak Mı?	3
2.1.2. Elektrikli Otomobillerin Topluma Yararı Nedir?	4
2.2. Kompozit Malzemeler	4
2.2.1. Kompozit Malzeme Oluşturulma Amacı.....	5
2.2.2. Kompozit Ürünlerin Avantajları - Dezavantajları	5
2.2.3. Kompozit Malzemelerin Uygulama Alanları	6
2.3. Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması	6
2.3.1. Matris Malzemesine Göre Sınıflandırma.....	6
2.3.2. Takviye Malzemelerine Göre Sınıflandırma	7
2.4. Elyafli Kompozitler	10
2.4.1. Cam Elyaflar	11
2.4.2. Bor Elyaflar.....	14
2.4.3. Alümina Elyaflar.....	15
2.4.4. Karbon Elyaflar.....	15
2.4.5. Grafit Elyaflar	18
2.4.6. Aramid Elyaflar	18
2.5. Kompozit Malzeme Üretim Yöntemleri	19
2.5.1. El Yatırma Yöntemi (Hand Lay-Up).....	19
2.5.2. Vakum İnfüzyon Yöntemi	22
2.5.3. Diğer Yöntemler	22
2.6. Araç Şasilerinde Kompozit Malzeme Kullanımı.....	25
2.6.1. Güneş Enerjili Araç Şasisinde Kompozit Levha Kullanımı	25
2.6.2. F1 Araçlarında Kullanılan PMK Malzemeler.....	26
2.6.3. Alfa Romeo 4C'nin karbon fiber şasesi	27
2.6.4. Güneş Enerjisi ile Çalışan Araç İçin Monokok Kompozit Gövde Tasarımı Ve İmalatı	28
2.7. İşleme Esnasında Ahşap Malzemenin Yüzey Pürüzlülük Parametreleri.....	29
İşleme Merkezi Yardımıyla Yüzey Pürüzlülüğünün Belirlenmesi.....	29

3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	31
3.1. Karbon ve Cam Elyaf Numulerinin Hazırlanması	32
3.2. Numunelerin Mekanik Testi	36
3.2.1. Deneylerin Yapılma Amacı	36
3.2.2. Tanımlamalar ve Teorik Bilgi.....	37
3.2.3. Numunelerin Çekme Testi	40
3.3. Kompozit Şasi Tasarımının Yapılması	41
3.4. Mdf Kalıp ve Kompozit Şasi İmalatı.....	42
3.5. Kompozit Şasi Tasarım Analizinin Yapılması	46
4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA.....	47
4.1. Deney Sonuçları.....	47
4.2. SolidWorks Kompozit Modülü Analizi.....	61
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	72
5.1 Sonuçlar	72
5.2 Öneriler	73
KAYNAKLAR	74
ÖZGEÇMİŞ	76

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

Ra	: Ortalama yüzey pürüzlülüğü
σ	: Gerilme
ϵ	: Birim şekil değiştirme
E	: Elastisite modülü
KD	: Kesit daralması
KU	: Kopma uzaması
P	: Kuvvet
Ao	: İlk kesit alanı
d	: Malzemenin Yoğunluğu
σ_k	: Kopma dayanımı
σ_a	: Akma dayanımı
$\sigma_{\check{c}}$: Çekme dayanımı
Ak	: Kırılma anında kesit alanı
Vo	: İlk hacim
N	: Kuvvet birimi
Lo	: İlk boy

Kısaltmalar

SiC	: Silisyum Karbür
HT	: Yüksek çekme mukavemeti
PVA	: Polivinil Alkol
PVC	: Polivinil Klorür
VON	: Von Mises Stresi
CAD	: Bilgisayar destekli tasarım

1. GİRİŞ

Dünya genelinde her geçen gün elektrikli araçlar konusunda teknolojik önemli adımlar atılmaktadır. Bu araçların ekonomik olmalarının yanında, küresel ısınma ve mevsim farklılıklarında önemli etken olarak bilinen gaz emisyonlarını önlemektedir. Elektrikli araçlar bu bilgiler ışığında kaynakların verimli kullanımı ile otomotiv dünyasının geleceğini temsil etmektedir. Elektrikli otomobiller, klasik içten yanmalı araçlara oranla %90'a varan enerji tasarrufu sağlamalarının yanında çevre konusunda duyarlı, gürültü kirliliği yapmayan ve ekonomik birer araçlar olarak karşımıza çıkmaktadır[1].

Günümüz teknolojisinde mukavemet konusu ve ürünlerin ekonomik olması ön plana çıkarılarak gelişmektedir. Özellikle otomotiv sektöründe yüksek mukavemet özelliklerine sahip, sünek, kolay şekillendirilebilen, ekonomik ve daha hafif malzemelerin kullanımının sağladığı fırsatlar kendini hissettirmektedir. Bu yüzden kullanılan malzemelere bakıldığında, çeliklere alternatif olarak düşünülen malzemelerin hafiflik ile birlikte çeliklere benzer özellikler göstermesi beklenmektedir[2].

Araçların ağırlığını azaltmak için otomotiv sektöründe yakıt tüketimi olarak ciddi anlamda tasarruflara yol açan malzemeler tercih edilmektedir. Bunlara ilave olarak elektrikle çalışan araçların ağırlık konusunda ciddi sıkıntılar yaşayacağı düşünülürse malzeme tercihi daha da önem kazanmaktadır. Kompozit malzemelerin tercih edilmesindeki en önemli etkenlerin başında bu durum gelmektedir.

En yaygın olarak kullanılan kompozit malzemeler polimer matrisli olanlardır. Metaller kadar dayanıma sahip olarak üretilmeleri de mümkündür. Aracın cam elyaf takviyeli polimer kompozit kullanılarak yapılmış olan ön kısmı 35 mil/saat çarpma testini geçtiği bilinmektedir. Çarpışma sonrasında çelik malzeme kadar güvenlik sağlaması yanında, polimer matrisli kompozitler titreşim kontrolü gibi özellikleriyle de daha yüksek performanslar göstermektedir[3].

Elektromobil araçların günümüzde öne çıkan bu özelliklerinin yanı sıra; tez kapsamında elektromobil araç için imalatı yapılacak olan şasinin kompozit malzemedan tasarlanıp imal edilmesi amaçlanmıştır. Aracın üç boyutlu modellemesi SolidWorks programı yardımı ile yapılırken, şasiye ait kalıplar bu program kullanılarak elde edilmiştir. Şasi malzemesi olarak ise; yüksek mukavemet özellikli ve düşük yoğunluğa sahip karbon elyaflar kullanılmıştır. Üretilen şasi TÜBİTAK'ın düzenlediği

Elektromobile yarışmasında üniversite takımının Pars isimli elektromobil aracında kullanılmıştır.

Şasi imalatında en basit ve pratik yöntem olan El Yatırma Yöntemi (Hand Lay-Up) karbon elyaf ve cam elyaf kullanılarak uygulanmıştır.



2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

2.1. Elektromobil ve Günümüzdeki Yeri

Elektrikli otomobiller, kullandığı elektrik enerjisinden dolayı bu isim verilmiştir. Elektrikli araçların, otomotiv sektöründe ileri dönemlerde önemli etki yaratacağı düşünülerek, bu tarz elektrikli arabaların çevre kirliliğini azaltıcı ve yakıt tasarrufu sağlayıcı avantajlar sağlaması beklenmektedir. Karbondioksit oranını azaltıcı etkenin elektrikle çalışan sistemlere bağlı olduğu ve %30'luk bir azalma sağlayacağı düşünülmektedir.

Elektrikli otomobillerde bir veya daha fazla elektrik motorlarının kullanılarak, bataryalardan ve diğer enerji depolayan cihazlarından depoladığı elektriği kullanarak sürülebilir otomobildir. Elektrik araçlara ait motorlar ani tork vermektedir, güçlü ve dengeli hızlanma sağlayabilmektedir[4].

2.1.1. Elektrikli Araçlar Daha Fazla Yaygınlaşacak Mı?

2015 yılının sonlarına kadar Türkiye'de otuz bine yakın elektrikli araçların yollarda olması ve 2020 yılı başıyla birlikte otomobil satışlarının yüzde 10 gibi bir kısmının elektrikli araçlardan oluşacağı düşünülmektedir. Deloitte'nin raporuna bakılarak 2020 yılında dünyada yaklaşık 13 milyon elektrikli aracın kullanılacağı düşünülmektedir.



Şekil 2.1. Elektrikli Otomobil [5]

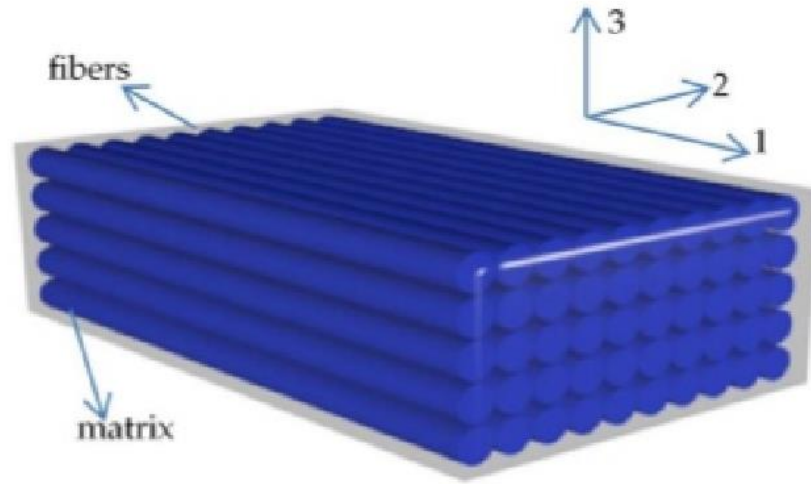
2.1.2. Elektrikli Otomobillerin Topluma Yararı Nedir?

Elektrikli otomobiller, enerjinin daha ucuz olduğu zamanlarda (gece, hafta sonu vs.) şarj edilme eğiliminde olunduğundan enerjinin kullanımı daha dengeli hale getirebileceklerdir[5].

2.2. Kompozit Malzemeler

Birbirlerine karışmayan iki veya daha fazla bileşenin bir araya gelmesi ile oluşan malzemelere denmektedir. Kompozitin özelliği, kendisini oluşturan malzemelerin özelliklerinden daha üstündür.

Bileşen malzemelerin mekanik performansları ve özellikleri bağımsız davranışlarından daha üstün olacak şekilde Makroskobik boyutta iki veya daha fazla fazdan oluşan bir malzeme sistemidir. Fazlardan biri genellikle süreksiz, daha rijit ve güçlü olan takviye elemanı, diğeri ise daha az rijit ve dayanıksız olan matris elemanı olarak adlandırılır [6].



Şekil 2.2. Kompozit Elemanları [7]

Kompozit malzemeler üç temel elemandan oluşmaktadırlar;

1. Matriks
2. Takviye Elemanı
3. Katkılar

2.2.1. Kompozit Malzeme Oluşturulma Amacı

- ❖ Rijit Olması
- ❖ Kırılma Tokluğu
- ❖ Yüksek Sıcaklık Özellikleri
- ❖ Elektrik İletkenliği
- ❖ Hafiflik – Ağırlık
- ❖ Çekme Dayanımı
- ❖ Aşınma Dayanımı
- ❖ Yorulma Dayanımı
- ❖ Korozyona Dayanım
- ❖ Isıl İletkenlik
- ❖ Akustik İletkenlik
- ❖ Ekonomiklik
- ❖ Estetik Görünüm[8]

2.2.2. Kompozit Ürünlerin Avantajları - Dezavantajları

Kompozit malzemeler özgül ağırlıklarının düşük olması, düşük ağırlıktaki yapılarda ciddi avantajlar sağlamaktadır.

Avantajları:

- ❖ Yüksek Mukavemet Özellikleri
- ❖ Kolay Şekillendirilme Özellikleri
- ❖ Elektriksel Özellikleri
- ❖ Isıya ve Ateşe Dayanıklı Olmaları
- ❖ Titreşim Sönümlenme Özelliği
- ❖ Korozyona ve Kimyasal Etkilere Karşı Direnç
- ❖ Kalıcı Renklendirilme

Dezavantajları:

- ❖ Hammaddesinin pahalı olması
- ❖ Malzemenin kalitesinin üretim yöntemi kalitesiyle ilgili olması
- ❖ Kompozitlerin gevrek olmalarından dolayı kolaylıkla zarar görebilmesi
- ❖ Malzemelerin sınırlı raf ömürleri vardır [9]

2.2.3. Kompozit Malzemelerin Uygulama Alanları

Kompozit malzemeler uzay sanayisi yanında birçok alanda geniş bir kullanım hacmine sahiptirler[7].

2.3. Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması

Kompozit malzemeleri, kendisini oluşturan matris ve takviye elamanına bağlı olarak çeşitli sınıflara ayrılmaktadırlar.

2.3.1. Matris Malzemesine Göre Sınıflandırma

- ❖ **Polimer Matrisli:** Matris malzemesi reçineler, takviye malzemesi olarak da fiberler kullanılır.
- ❖ **Metal Matrisli:** Otomotiv sanayisinde kullanılan malzemelerdir.
- ❖ **Seramik Matrisli:** Genellikle, çok yüksek sıcaklıklarda çalışan yapılarda kullanılırlar.

2.3.1.1. Polimer Matrisli Kompozitler:

Plastikler malzemeler monomer adı verilen kimyasal yapıya sahip sentetik malzemelerdir.

Uzun ve karmaşık yapıya sahip olan plastiklerin kendisinden farklı malzemeler ile uyum sağlayıp düzgün bir yapı oluşturması gerçekten zordur. Lineer yapıdaki polimerlerin içyapısı haşlanmış makarna gibi iç içe geçmiş şekildedir. Birçok temel yapıya sahip plastiklerde bölgesel düzen oluşabilir. Amorf ana yapı içinde oluşan küçük kristal yapıları bölgeler kristalitler olarak adlandırılır, kristaller oluşarak rastgele yönlendirilir.

Kristalleşme işlemi soğuma hızının yavaş olmasına bağlıdır. Ayrıca mekanik özelliklerde kristalleşme derecesine bağlı olarak artar. Plastik malzemeler hafif olmalarının yanında kolay işlenebilirlik özelliklerinden ötürü geniş kullanım alanlarına sahiptirler[11].

Endüstride çok geniş kullanım alanı bulunan kompozitler liflerle pekiştirilmiştir. Pekiştirici malzemesi olarak genelde cam, karbon, kevlar ve boron lifleri kullanılır.

Polimer esaslı kompozit malzemelerde yaygın olarak kullanılan bağlayıcı elemanlar epoksi ve polyesterdir. Kompozitin dayanımı ile pekiştirici liflerin sayısı arasında doğru orantı vardır. Polimer esaslı kompozitlerin en önemli özelliklerinin başında yüksek özgül mukavemet(mukavemet/ özgül ağırlık) ve özgül elastisite modülüne değerlerine sahip olmaları gelmektedir. Bu özelliklerinden dolayı diğer malzeme gruplarından üstün özelliklere sahiptirler.

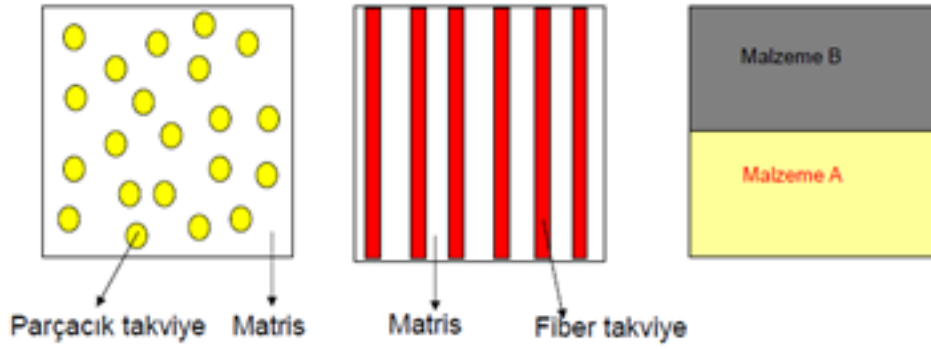
Bu durumlara örnek vermek gerekirse yüksek mukavemetli çeliklerde özgül mukavemetin 110 Nm / gr olmasına karşın cam fiber – polyesterlerde 620 Nm/gr dır. Diğer taraftan karbon lifi epoksidede 700 Nm/gr ve kevlar epoksidede 886 Nm/gr dır. Diğer taraftan karbon liflerinin özgül elastisite modülü alüminyumunkinin 5 katı kadardır. Bu üstünlüklerinden dolayı polimer kompozitler uçak ve uzay endüstrisinde alüminyum alaşımları tercih edilir [12].

Çizelge 2.1. Lifli Kompozitlerin Özellikleri

Malzeme	Özgül Ağırlık gr/cm³	Çekme Mukavemeti N/mm²	Elastik Mukavemeti N/mm²
Cam Elyaf - Polyester	1,5 – 2,1	200 – 340	55000 - 130000
Karbon Elyaf - Epoksi	1,5 – 1,8	1860	145000
Kevlar - Epoksi	2,36	2240	76000
Boron Lifi - Epoksi	1,4	1240	176000

2.3.2. Takviye Malzemelerine Göre Sınıflandırma

- ❖ **Lif Takviyeli Kompozitler**
- ❖ **Partikül Takviyeli Kompozitler**
- ❖ **Tabakalı (lamina) Kompozitler**
- ❖ **Dolgu Yapılı Kompozitler**



Şekil 2.3. Kompozit Çeşitlerinin Şematik Görünümü [12]

Kompozit yapıda takviye malzemesinin fonksiyonları:

- ❖ Yük taşıyabilmek. Takviye malzemesi yükün % 70-90 oranında taşımada yardımcıdır.
- ❖ Mukavemet, direnç özelliği, termal stabilite sağlamak.
- ❖ Elektrik iletkenliği veya yalıtımı sağlamak[10].

Belli Başlı Takviye Elemanları (Fiber)

- ❖ Karbon Fiber
- ❖ Cam Fiber
- ❖ Boron
- ❖ Alüminyum oksit
- ❖ Silisyum karbür
- ❖ Organik moleküller (aramidler)

❖ Partikül Esaslı Kompozitler

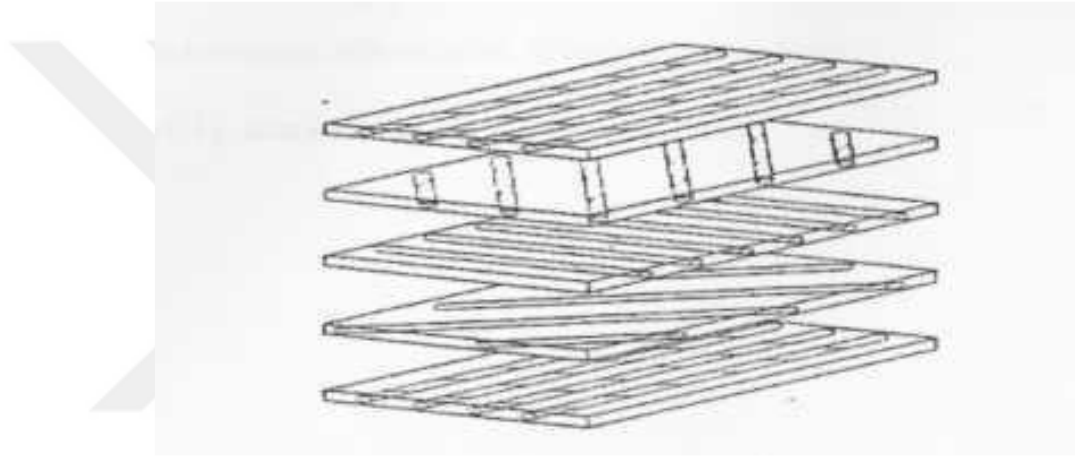
Partikül esaslı kompozitler matris elemanının içinde farklı bir malzemenin bulunması yoluyla elde edilirler.

Bu kompozit türü dayanımı geliştirici özelliğinden ziyade beklenilenin dışında birleştirilmiş özellikler elde etmek için tasarlanmaktadır. Bu kompozit çeşidi; metal matrisli, seramik matrisli ve polimer matrisli kompozitlerin birleşiminden oluşabilmektedir. Sert metal uçları ve beton malzemede örnek olarak gösterilebilir. Yapının dayanım özellikleri partiküllerin sertliğine bağlıdır. En yaygın tip plastik matris içinde yer alan metal parçacıklardır. Metal parçacıkları elektrik iletkenliği sağlar.

❖ Tabaka Yapılı Kompozitler

Bu kompozitler, en eski ve en yaygın kullanım alanlarına sahiptirler. Bu tür kompozitler aynı olmayan özelliklere sahip iki ya da daha fazla tabakanın kombinasyonu ile gerçekleşir. Çok farklı kombinasyonlarla tabakalı kompozit üretimi mümkündür.

Değişik türde elyaflara sahip tabakaların birleşmesi ile yüksek mukavemet sonuçlarına ulaşılır. Isıya ve neme oldukça dirençlidirler. Metallere nazaran kompozit malzemeler daha düşük ağırlığa sahiptir ve aynı zamanda daha mukavemetli özelliklere sahip olmalarından dolayı tercih edilmektedirler.



Şekil 2.4. Açılı tabakalara sahip bir kompozitin şematik gösterimi [9]

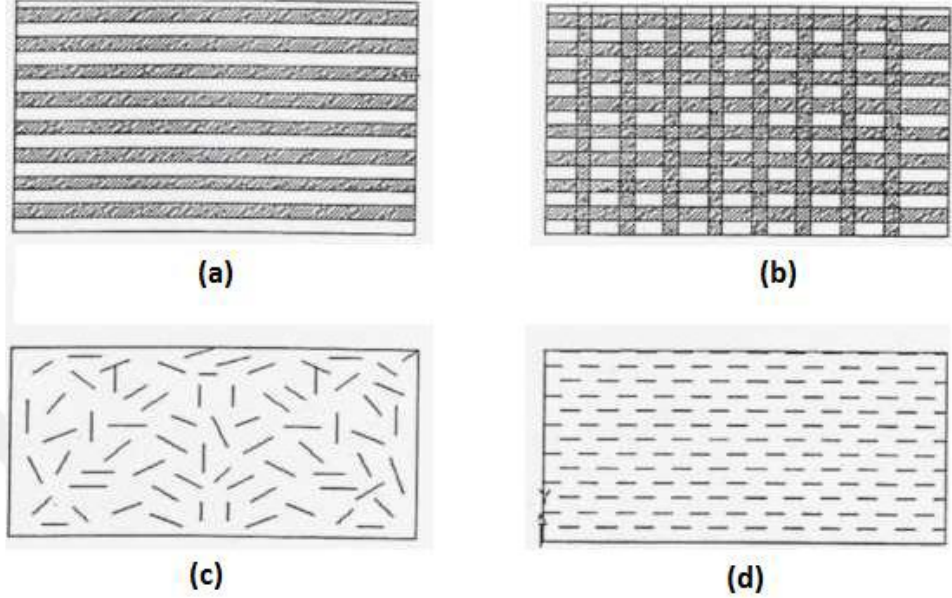
❖ Dolgu Yapılı Kompozitler

Bu yapıdaki malzemeler matris elemanının dolgu malzemesi ile doldurulması şeklinde oluşmaktadır. Matris farklı geometrik yapıya sahip olabilmektedir. Petek yapıda ya da süngerimsi yapıların içerisine metalik, seramik veya organik dolgu malzemeleri yer alabilmektedir[9].

❖ Fiber Esaslı Kompozitler

Üretilen malzemelerin birçoğu fiber şeklinde üretildiği için kullanılan fiber miktarına bağlı olarak çok farklı dayanım özellikleri verebilmektedir.

Fiber esaslı kompozit malzemelerin performans özelliklerini belirleyici en kritik etmenler; fiberlerin şekli, uzunlukları, yön çeşitleri, matrisin mekanik özellikleri ve fiber - matris ara yüzey özellikleridir.



Şekil 2.5. Farklı çeşitlerde fiber yapılar

- a) Tek yönlü pekiştirilmiş sürekli fiber kompozit
- b) Örgü formunda fiberlerle pekiştirilmiş kompozitler
- c) Rastgele yönlenmiş süreksiz fiber kompozit
- d) Yönlendirilmiş süreksiz fiber kompozit

2.4. Elyaflı Kompozitler

İnce yapıdaki elyafların bir araya gelmesi ile oluşan kompozitlerdir. Elyafların yapı içerisindeki yerleşimleri kompozitin dayanım özellikleri adına önemlidir.

Fiberlerin dayanımı kompozit yapının dayanımı açısından önemlidir. Fiberlerin uzunluk ve çaplarının artması taşınan yük ile doğru orantılıdır. Piyasada oldukça geniş kullanım alanlarına sahiptirler. Pekiştirici olarak cam, karbon, kevlar ve boron elyafları kullanılmaktadır.

Çizelge 2.2. Bazı Elyaf Liflerin Özellikleri

Malzeme	Özgül ağırlık gr / cm ³	Çekme kuvveti N / mm ²	Elastisite modülü N / mm ²
Cam Elyaf	2,54	2410	70000
Karbon Elyaf	1,75	3100	220000
Kevlar Elyaf	1,46	3600	124000

Bilinen en yaygın takviye elemanları sürekli fiberlerdir. Bu fiberler kompozitlerin oluşturulmasında etkilidir. Bilinen en eski elyaf türü cam fiberlerdir. Ayrıca, fiberlerin yüksek mekanik özelliklere sahip olmalarındaki temel nedenler şu özelliklere bağlıdır;

- Üstün mikro yapısal özellikler, tane boyutlarının küçük oluşu ve küçük çapta üretilmeleri.
- Elyafalara iletilen yük miktarının boy/çap oranı artması ile doğru orantılı olması
- Yüksek elastisite modülüne sahip olması

2.4.1. Cam Elyaflar

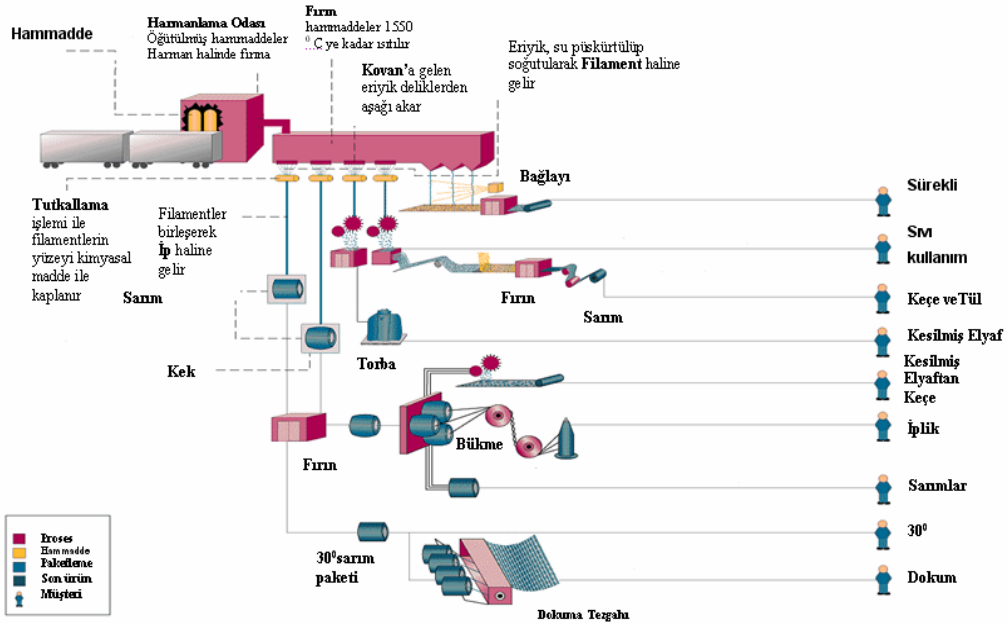
Cam elyaflar farklı tiplerde imal edilmektedirler. Cam elyaf; am elyaf silika, kolemanit, alüminyum oksit, soda gibi malzemelerden üretilmektedir. Cam elyaf, bilinen en yaygın kompozittir.

Cam Elyafların Özellikleri

- Yüksek çekme dayanımına sahiptir olan cam elyafların birim başına mukavemetleri çelikten daha yüksektir
- Nem absorbe etme özellikleri yoktur, fakat bazı matris malzemesine bağlı olarak ikisi arasında nem etkisine bağlı olarak bir çözülme olabilmektedir. Özel fiber kaplama yöntemleri yardımı ile bu durum ortadan kaldırılabilir.
- Elektrik iletkenlikleri yoktur. Bu özelliklerinden dolayı cam elyaf kullanılarak elektriksel yalıtım işlemi yapılabilir.

Çizelge 2.3. Cam Elyaf Tiplerine Ait Özellikler

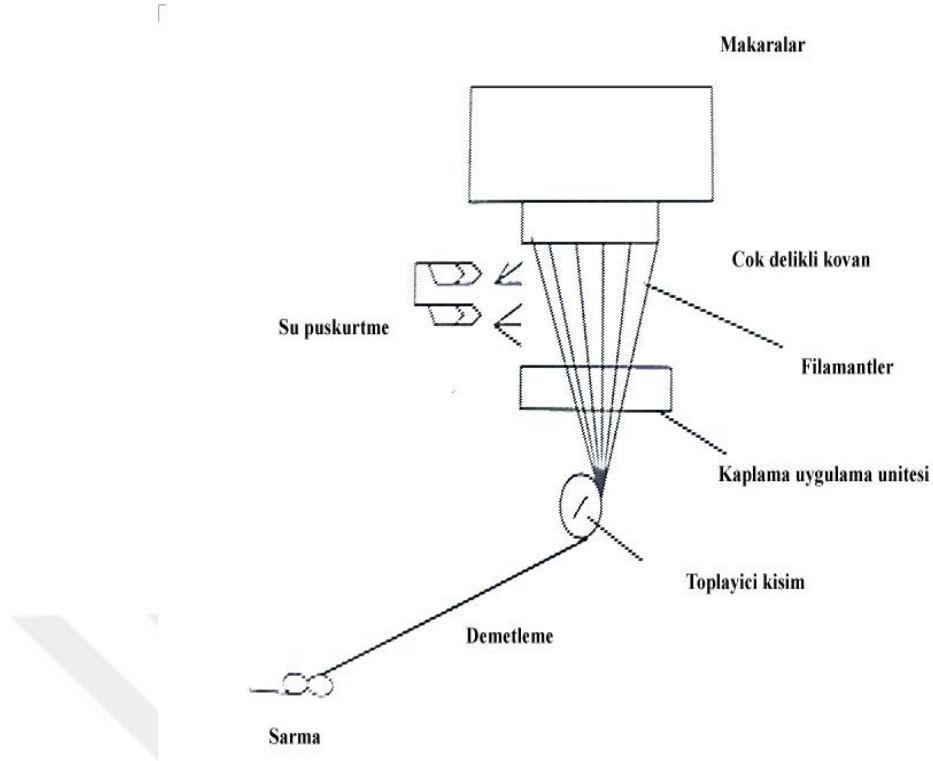
Özellikler	Cam Tipi			
	A	C	E	S
Özgül ağırlık (gr / cm ³)	2.50	2.49	2.54	2.48
Elastisite modülü (Gpa)	-	69.0	72.4	85.5
Çekme mukavameti (Mpa)	3033.0	3033.0	3448.0	4585.0
Isıl Genleşme katsayısı (m / m°Cx10-6)	8.6	7.2	5.0	5.6
Yumuşama sıcaklığı (°C)	727.0	749.0	841.0	970.0
Katkı malzemeleri (%)				
SiO ₂	72.0	64.4	52.4	64.4
Al ₂ O ₃ , Fe ₂ O ₃ , CaO	0.6	4.1	14.4	25.0
M ₂ O	10.0	13.4	17.2	-
Na ₂ O, K ₂ O	14.2	9.6	0.8	0.3



Şekil 2.6. Cam Elyaf Üretimi

❖ Mekanik Lif Çekme Yöntemi

Kovan içerisinde geçen fiberler mekanik olarak çekilir ve ardından sarılma işlemi yapılır. Bu yöntemin şematik gösterimi Şekil 7'de mevcuttur. Cam elyaflar için en çok kullanılan yöntemlerin başında gelmektedir.

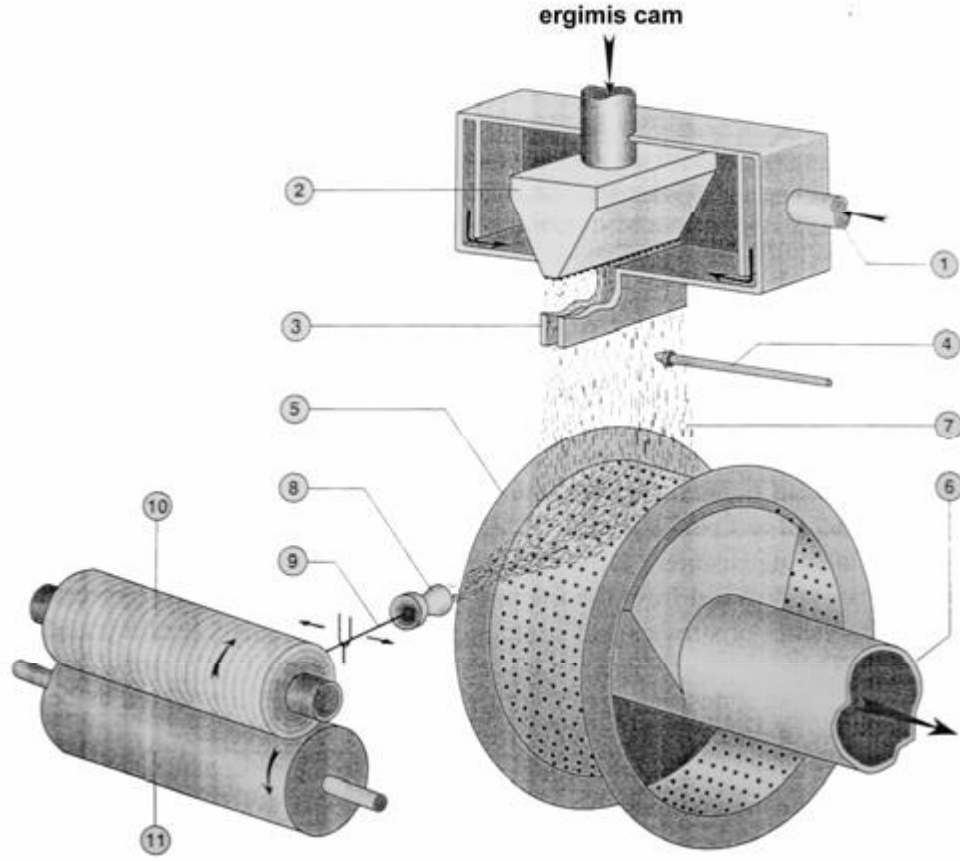


Şekil 2.7. Mekanik Lif Çekme Yöntemi

❖ Pnömatik Lif Çekme Yöntemi

Bu yöntem ile ısıtıcı yardımı ile çıkarılan fiberler delikli bir tambura püskürtülerek vakumlanır. Bu şekilde yapılan üretim şekli ile 5-80 mm arasında fiberler elde edilir.

- (1) Basınçlı Hava Girişi,
- (2) Joule Etkisi İle Isıtılmış Kovan,
- (3) Etekler;
- (4) Spray Boyutunu Ayarlayan Aparat,
- (5) Delikli Tambur,
- (6) Tambur Vakumu;
- (7) Akan Fiberler
- (8) Fiberler İçin Toplama Çemberi
- (9) İplik
- (10) Şekillendirme Makarası
- (11) Sarım Makarası



Şekil 2.8. Pnömatik Lif Çekme Yöntemi

2.4.2. Bor Elyafı

Kompozit yapıya sahiptirler. Filamanın üzerine bor kaplanarak imal edilirler. Yeni bir yöntem olan karbon çekirdekte kullanılabilir. Bor-Tungsten elyafı, sıcak tungsten filamanın hidrojen ve bor triklorür (BCl₃) gazından geçirilmesi ile üretilir. Böylece Tungsten filamanın dışında bor plaka oluşur. Değişik çaplarda bor elyaf üretilmektedir. Tungsten çekirdek ise her daim 0.01 mm çapında üretilir. Bor elyafı yüksek çekme mukavemetine ve elastik modülüne sahiptir.

Çizelge 2.4. Bor Elyaf lar Mekanik Tablosu

Özellik	Bor	Bor + B4C	SiC
Özel Dayanım R_m / r (kNm/kg)	1460	1540	1300
Çekme Dayanım R_m (MPa)	3800	4000	3900
Spesifik Modül E/r (MNm/kg)	165	165	140
Elastiklik Modülü E (GPa)	430	430	410
Çap (mm)	100-150	100-150	100-150
Yoğunluk (g/cm^3)	2,6	2,6	3

2.4.3. Alümina Elyaf lar

Alümina elyaf ların basma mukavemetleri yüksek olmasına karşın çekme mukavemetleri çok iyi değildir. Uçak motorlarında sıkça kullanılmaktadırlar.

2.4.4. Karbon Elyaf lar

Karbonlar çok iyi elektrik iletkenliği sağlamaktadırlar. Karbon elyaf in kullanılmasındaki en önemli etkenlerin başında sertliğinin diğer elyaf lara göre 3 ile 5 kat arasında değişkenlik göstermesidir. Epoksi ile karıştırıldığında aşırı derecede yüksek şekilde mekanik özellikler sergilemektedir. Yapılan sürekli çalışmalar ışığında karbon fiberde de sürekli gelişim ve değişim söz konusudur. Bu yüksek özelliklerine sahip olmasının yanında; karbon elyaf kullanılarak yapılan üretimler oldukça maliyetlidir. Bu yüzden daha çok uçak sanayinde, spor malzemelerinde veya tıbbi malzemelerin yüksek değerli uygulamalarında kullanılmaktadır.

1. Yüksek çekme mukavemetine ve 200 - 300 GPa değerinde orta elastik modüle sahip olan elyaf lar (High Tensile Strength “HT”)

2. 400 GPa değerinde yüksek elastik modüllü elyaf lar (High Module “HM”)

Biline en önemli yanları düşük yoğunluk, yüksek mukavemet ve tokluk değerlerine sahip olmalarıdır. Karbon elyaf ların en önemli özellikleri düşük yoğunluğun yanı sıra yüksek mukavemet ve tokluk değerleridir. Sürtünmeye karşı dirençlidirler. Ayrıca nemden etkilenmemektedirler. Aşınma ve yorulmaya karşı dayanımları oldukça yüksektir. Bu sebeplerden dolayı askeri ve sivil uçak yapım aşamalarında sıklıkla

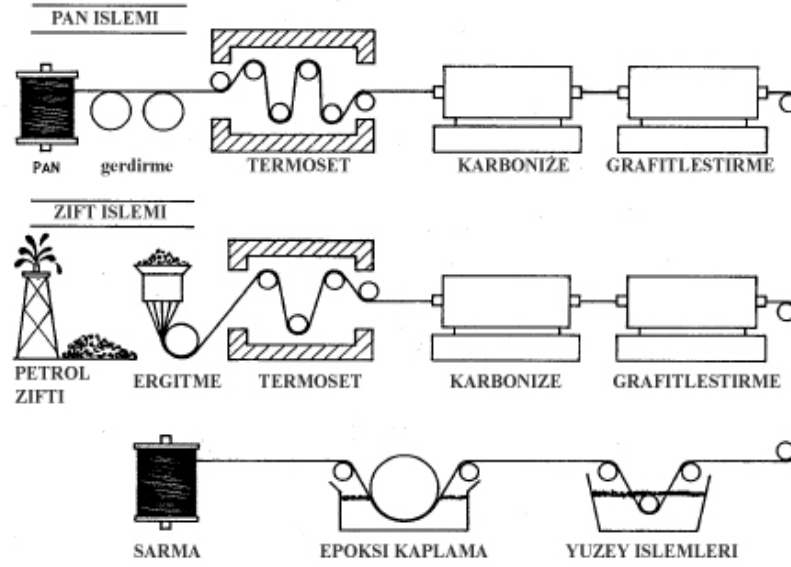
kullanılmaktadırlar. Karbon elyafların en sık kullanıldığı matris elemanları plastik matrisler ve epoksi reçinelerdir. Ayrıca karbon elyaflar alüminyum, magnezyum gibi metal matrislerle de kullanılırlar.

Çizelge 2.5. Karbon Fiber Kumaşının Teknik Özellikleri

Özellikler	
Lif açıları (derece)	0-90
Ağırlık (gr/m ²)	200
Çekme dayanımı (Mpa)	3800
Elastisite modülü (GPa)	240
Kopmadaki birim boy değişimi (%)	1,6
Yoğunluk (gr/m ³)	1,78

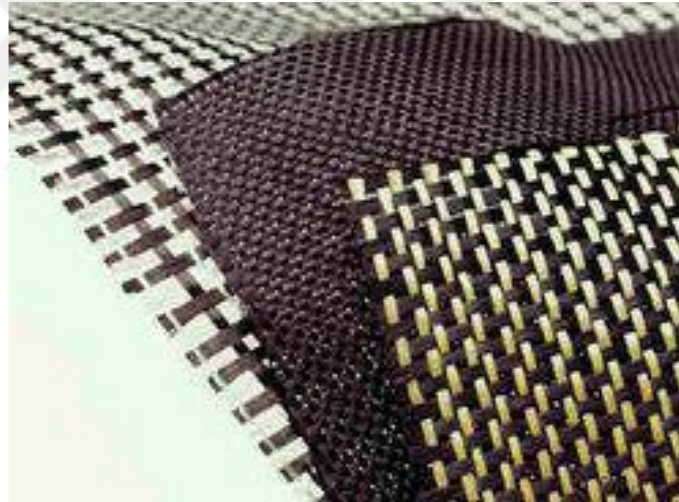
Karbon Elyaf Üretimi

Genel olarak karbon elyaflar iki malzeme kullanılarak elde edilirler; Zift ve PAN (Poliakrilonitril). Zift tabanlı karbon elyaflar daha düşük mekanik özelliklere sahiptirler. Yapısal uygulamalar haricinde fazla bir kullanım alanı bulunmamaktadır. PAN tabanlı yapıya sahip olan karbon elyaflar daha çok tercih edilmektedir ve daha yüksek mekanik özelliklere sahiptirler. Bu elyaflar ile önce gerdirilerek termoset işlemlerle 400°C'nin üzerine ısıtılır. İlk etapta organik malzeme oksidasyonuna neden olur. Ardından 800 Daha sonra 800°C' de bulan sıcaklıklarda malzemeye vakum altında karbonizasyon işlemi uygulanır ve karbon dışındaki empüritelerden arındırılır. Malzemenin karbonizasyonundan sonra elyaflar %50 ile %100 arasında gerdirilerek 1100 °C ile 3000 °C arasında ısıtılarak grafitleştirme işlemi yapılır. İşlemlerin sonunda fiberlere yüzey işlemleri uygulanarak epoksi matris malzemesi ile kaplama işlemi gerçekleştirilir. Bunun sebebi ise epoksi-fiber bağının güçlü olmasını sağlamaktır.

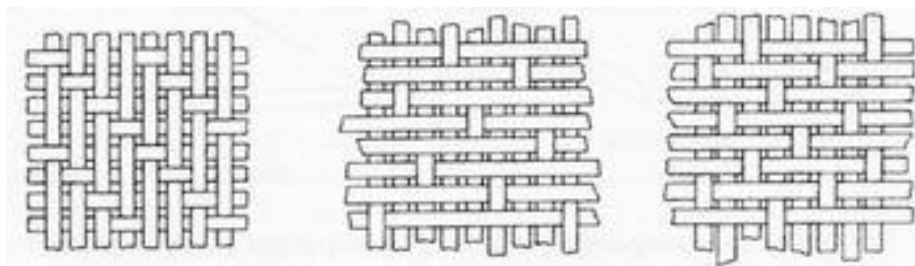


Şekil 2.9. PAN Ve Zift Proseslerinin Şematik Gösterimi

❖ Karbon Fiber Örnekleri



Şekil 2.10. Farklı Karbon Elyaf Dokuma



Şekil 2.11. Elyaf Dokuma Türleri

2.4.5. Grafit Elyaf lar

Grafit elyaf lar yaklaşık 0.008 mm çapında üretilirler. PAN bazlı grafit elyaf lar çeşitli özelliklerde üretilirler. Elyaf imalatında genellikle rayonun yerine poliakrilonitril (PAN) kullanılır. PAN bazlı elyaf lar 2413 ila 3102 MPa değerinde çekme mukavemetine sahiptirler ve maliyetleri düşüktür.

2.4.6. Aramid Elyaf lar

Aramid “aromatik polyamid”in teriminin kısaltılmış halidir. Polyamidler uzun zincirli polimerlerdir, Altı karbon atomu birbirine hidrojen ile bağlanarak aramid oluşmaktadır. İki farklı tip aramid elyaf mevcuttur. Bunlar Du Pont firması tarafından geliştirilen Kevlar 29 ve Kevlar 49 ’dur. Mekanik özellikleri elyaf eksenini boyunca çok iyi özellik sergilerken dik doğrultuda çok zayıf özelliklere sahiptir. Aramid elyaf lar düşük ağırlık, yüksek çekme mukavemeti ve düşük maliyet özelliklerine sahiptir. Darbe dirençleri yüksektir, gevrekliği grafitin gevrekliğinin yarısı kadardır. Bu sebeplerden dolayı kolay şekil alabilirler. Doğal kimyasallar yardımı ile dirençli yapıya sahiptirler ancak asit ve alkalilerden etkilenir. Uygulamada farklı ihtiyaçları karşılama adına çok farklı özelliklerde aramid fiber üretilmiştir[13].

Çizelge 2.6. Aramid Fiberlerin Mekanik Özellikleri[13]

Özellik	Kevlar 29	Kevlar 49	Kevlar 149	Twaron	Technora
Maksimum Uzama %	3,6	1,9	1,5	3	4
Spesifik Dayanım Rm/r (kNm/kg)	2080	2070	1630	1800	2010
Çekme Dayanım Rm (MPa)	3000	3000	2400	2600	2800
Spesifik Modül E/r (MNm/kg)	42	82	110	42	65
Elastiklik Modülü E (GPa)	60	120	160	60	90
Çap (mm)	12	12	12	12	12
Yoğunluk r (g/cm ³)	1,44	1,45	1,47	1,44	1,39

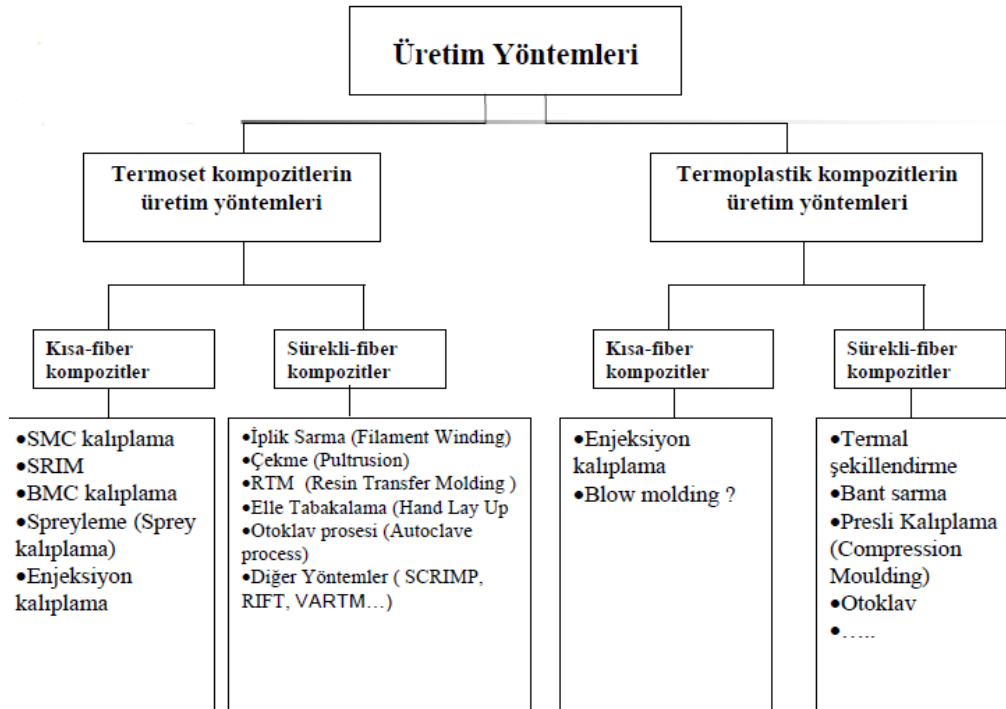
2.5. Kompozit Malzeme Üretim Yöntemleri

Kompozit malzemeler; kendisinin oluşturan malzemelerin en iyi yanını öne çıkararak üretilmektedir. Bu yüzden hafiflik ve yüksek mukavemet değerleri istenilen noktalarda kompozit malzemeler sıklıkla kullanılmaktadırlar.

Kompozit malzeme üretimi yapılarak daha yüksek mukavemet değerleri, daha rijit malzemeler, daha yüksek korozyon ve aşınma dirençleri, hafiflik, yüksek yorulma ömrü ve ısıya karşı dayanıklılık gibi özellikler elde edilebilir. Aslında her bir özellik istenilen ya da ihtiyaç duyulan noktada artırılarak üretim yapılır. Böylece; uygun kompozit malzemeler kullanılan matriks ve fiberin özelliklerini taşıyacak şekilde elde edilebilir. Çok farklı çeşitte ve sayıda kompozit malzeme üretim yöntemi vardır. Bunlardan en çok kullanılan yöntemler aşağıdaki bölümde anlatılacak olanlardır[13].

Son yıllarda malzemelerden istenen daha yüksek mukavemet, daha iyi rijitlik, daha iyi korozyon ve aşınma direnci, hafiflik, yüksek yorulma ömrü ve ısıya dayanıklılık gibi beklentiler artmıştır. İstenen bu özelliklerin ışığında metal ve seramiklerin yerini elyaf takviyeli kompozitler almıştır[14].

Çizelge 2.7. Kompozit Üretimi [15]

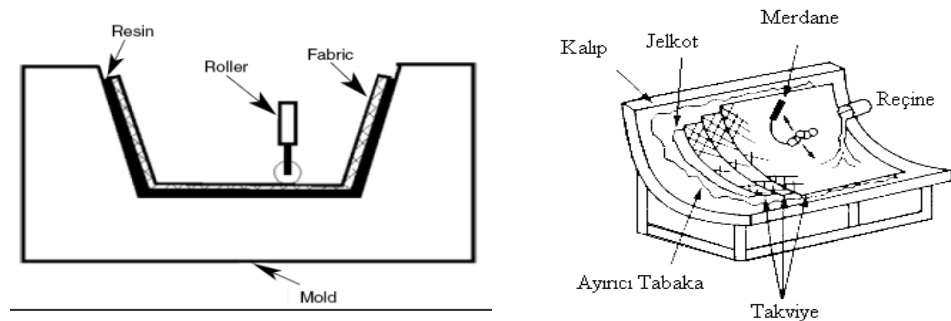


2.5.1. El Yatırma Yöntemi (Hand Lay-Up)

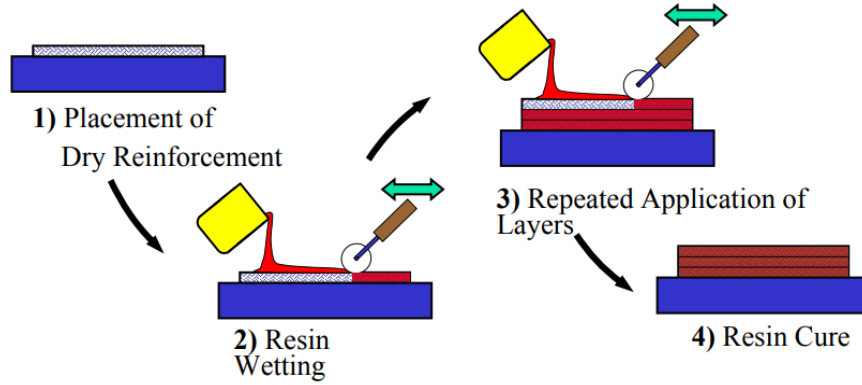
Tez kapsamında Elektromobil şasi imalatında kullanılacak yöntemdir. Kompozit üretiminde kullanılan en basit yöntemdir. Genel olarak keçe şeklinde ya da elyaf kumaş

gibi dokumalar önceden hazır bulunan kalıp içerisine serilerek, matris malzemesi olan reçineyi bir fırça yardımı ile elyaf yüzeyine sürülür. Bu işlem istenilen kalınlığa kadar ettirilir ve böylece tabakalı yapıya sahip kompozit üretilmiş olur. Bu yöntem en uygun reçineler; polyester ve epoksidir. Tutuşmayı engellemek, hafiflik elde etmek, görünümü güzelleştirmek gibi nedenlerden dolayı reçineye değişik dolgu maddeleri katılmaktadır, reçinelerin kalıp yüzeyine yapışmaması için polivinil alkol (PVA), silikon, madeni yağlar ve vaks gibi kalıp ayırıcılar kullanılır. Elyaf reçine oranı %30'lara varan kompozit üretimi yapılabilir, daha fazla elyaf hacim oranı için prepregler kullanılır. Prepregler polimer reçine ile doyurulmuş sürekli elyaftan oluşan ve kısmen kurutulmuş kompozitlerdir, prepregler özellikle uçak ve uzay sanayiinde kullanılırlar, maliyetleri yüksek olduğundan çok az sayıda parça ve prototip imaline uygundur[13]. Yöntemin aşamaları şu şekildedir.

1. Kalıp güzelce silindikten sonra vaks kalıp ayırıcı sürülür
2. Süngerle ikinci ayırıcı olarak PVA sürülür.
3. Fırçayla viskozitesi yüksek Jelkot sürülür
4. Daha sonra takviye elemanı olan elyaf hazırlanır
5. Reçine hazırlanarak dolgu maddeleri katılır.
6. Jelkot üzerine fırça ile reçine sürüldükten sonra keçe veya kumaş şeklindeki elyaf yerleştirilir ve fırça darbeleriyle reçine emdirilir.
7. Rulo kullanılarak hava kabarcıkları çıkarılır.
8. Tüm bu işlemler istenilen kalınlığa ulaşıncaya kadar devam ettirilir ve ürün kalıptan ayrılarak çıkartılır.



Şekil 2.12. El Yatırma Yöntemi[16]



Şekil 2.13. El Yatırma Yöntemi[16]

Avantaj, dezavantajları ve uygulama alanları şu şekildedir:

Avantajları:

- ❖ Öğrenilmesi ve uygulanması çok kolaydır
- ❖ Özellikle oda sıcaklığında pişen reçinelerin kullanımında düşük maliyet
- ❖ Yönteme uygun malzeme temini çok kolaydır
- ❖ Spreyleme' ye oranla daha fazla fiber yoğunluğu ve sürekli (uzun) lif kullanımı

Dezavantajlar:

- ❖ Bu yöntem üretimi gerçekleştiren kişinin el becerisine bağlıdır.
- ❖ Yüksek "Fiber Hacimsel Yoğunluğuna" ulaşmak çok zordur.
- ❖ Fazla miktarda reçine kullanılmadığında hava boşlukları ve kumaş üzerinde ıslanmayan yerler kalmaktadır.
- ❖ Bu yöntemde kullanılan reçinelerin yoğunluğu ve viskozitesi düşüktür. Bu tür reçinelerin insan sağlığı açısından ağır molekülü reçinelere oranla daha zararlıdır.
- ❖ Pahalı havalandırma sistemleri olmaksızın Polyester ve vinilester için havaya karışan Styrene konsantrasyonunu yasal sınırlarda tutmak zordur.

Uygulama Alanları:

- ❖ Rüzgâr türbin kanatları, plakalar, tekne üretimi, mimari amaçlı kalıplamalarda

2.5.2. Vakum İnfüzyon Yöntemi

Kompozit şasi için kullanılan malzemelere ait numuneler bu yöntem yardımı ile gerçekleştirilmiştir. Bu yöntem reçinenin malzemeye vakum yoluyla emdirilmesi işlemidir. Dar aralık ölçülerinin ve uzun akış yollarının söz konusu olduğu yerlerde reçinenin mümkün olduğu kadar kısa sürede güçlendirme elyaflarına emdirilmesi gerekmektedir. İnfüzyon yönteminin genel sistemi aynı olmakla beraber uygulama yolları farklılıklar gösterebilmektedir[17].

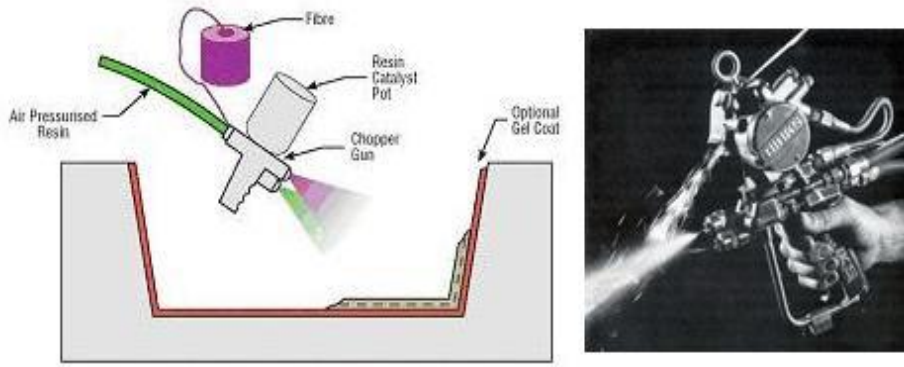


Vakum infüzyon üretim yöntemi aşamaları şu şekildedir: Vakum pompası, vakum tankı (reçine toplama tankı), kalıp ve reçine kovası. Bu dört bölümün bağlantıları ve şekilleri değişebilir ancak genel sistem mantığı hep aynıdır [18].

2.5.3. Diğer Yöntemler

❖ Püskürtme (spray-up)

Bu yöntem elle yatırma yöntemine ilave olarak el tabancası yardımı ile yapılmaktadır. Elyaf lar alınıp kalıp yüzeyine kırılmış şekilde konularak, tabanca içerisine sertleştirici ve reçine ilavesi yapılarak püskürtülür. Elyaf ların kırılması ise tabanca üzerindeki bir mekanizma yardımı ile yapılmaktadır. Püskürtme işlemi tamamlandıktan sonra rulo ile yüzey temizlenerek ürün hazır hale getirilmiş olur[9].



Şekil 2.15. Yöntemin Görseli

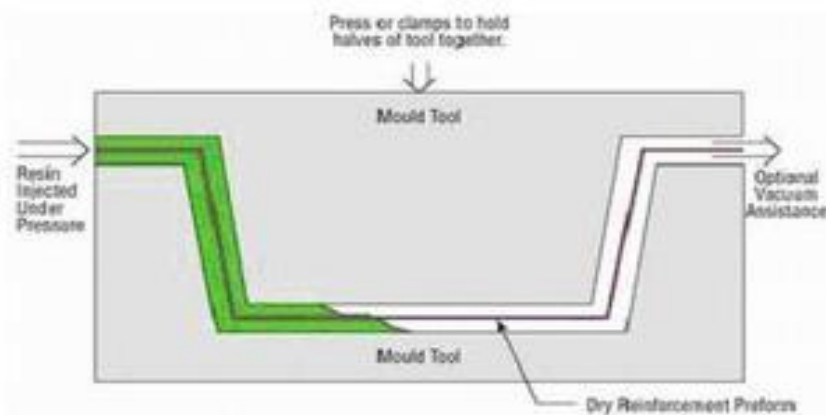
Tabanca[9]

❖ Santrifüj Kalıplama

Silindirik yapıdaki kapların yapımında kullanılmaktadır. Bu kalıpların içerisine önce kırılmış elyaf ve daha sonra sertleştirici katılarak silindirik kalıplara reçine ile beraber konulur. Kalıpların döndürülmesi esnasında kalıba sıcak hava üflenerek sertleştirme işlemi yapılır. Bu sayede pürüzsüz bir parça yüzeyi imal etmek mümkündür[13].

❖ Reçine Enjeksiyon Metodu

Bu yöntem yardımı ile erkek ve dişi olmak üzere iki farklı yüzey elde edilerek düzgün bir yapı imalatı gerçekleştirilmektedir. Üretilmiş olan özel keçe cam kalıplar yerleştirilerek kalıplar ağzı kapatılır. Hazırlanmış olan reçine yığını enjeksiyon bölgesinden, belirli bir basınç yardımı ile polyster kalıp içerisine enjekte edilmektedir. Bu yöntem kullanılarak daha hızlı ve maliyeti düşük ürünler elde edilebilir.



Şekil 2.16. Reçine Enjeksiyon Metodu[9]

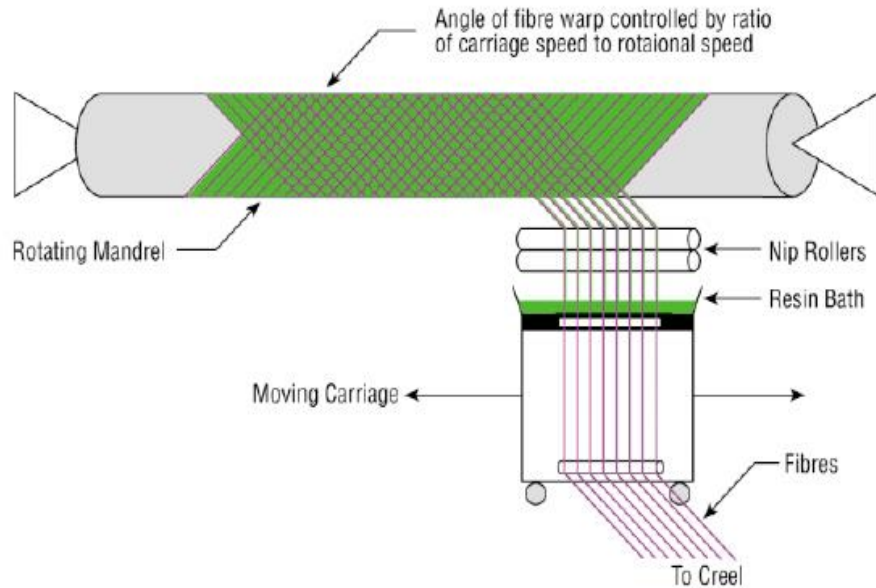
❖ Profil çekme yöntemi (pultrusion)

Bu işlem ile belirli bir sabit kesite sahip profillerin üretilebildiği düşük maliyetli bir üretim yöntemidir. Reçine banyosundan geçirilen takviye malzemesi 120-150 °C ısıtılmış olan şekillendirilmiş kalıp içerisinden geçilerek sertleşmesi sağlanır. Genel olarak kullanılan parlak çelikten yapılmaktadır. Yüklerin enine taşınabilmesi için özel dokunmuş malzemeler kullanılması gerekmektedir[9].

❖ Elyaf Sarma Yöntemi (Filament Winding)

Bu yöntem yardımı ile silindirik yapıdaki ürünlerin imalatı yapılabilmektedir. Bu yöntem ile sürekli elyaflar reçine banyosundan geçirilip ıslandıktan sonra makaralar üzerinden dönen mandrel üzerine sarılmaktadır. Sürekli fiberlerin farklı sarım açıları ile kalıba sarılmasıyla mekanik özellikleri farklı ürünler elde edilebilmektedir. Uygun olan fiber sayısına göre ürünün imalatı gerçekleştirilir. Daha sonra döner şekilde kalıp ayrılır[9].

Bu yöntem ile daha kaliteli ve yüksek dayanımlı ürünler elde etmek mümkündür. Mandrel üzerine elyaf sarılarak üretim gerçekleştirildiği için iç yüzeyler pürüzsüz parçalar imal edilebilmektedir. Polyester, epoksi ve silikon gibi farklı reçineler kullanılabilir. Kuru sarma ve yaş sarma gibi iki çeşit imalat çeşidi vardır. Ayrıca sürekli fiberler parça üzerine düzlemsel veya helisel sarılabilmektedir[13].



Şekil 2.17. Elyaf Sarma Yöntemi[15]

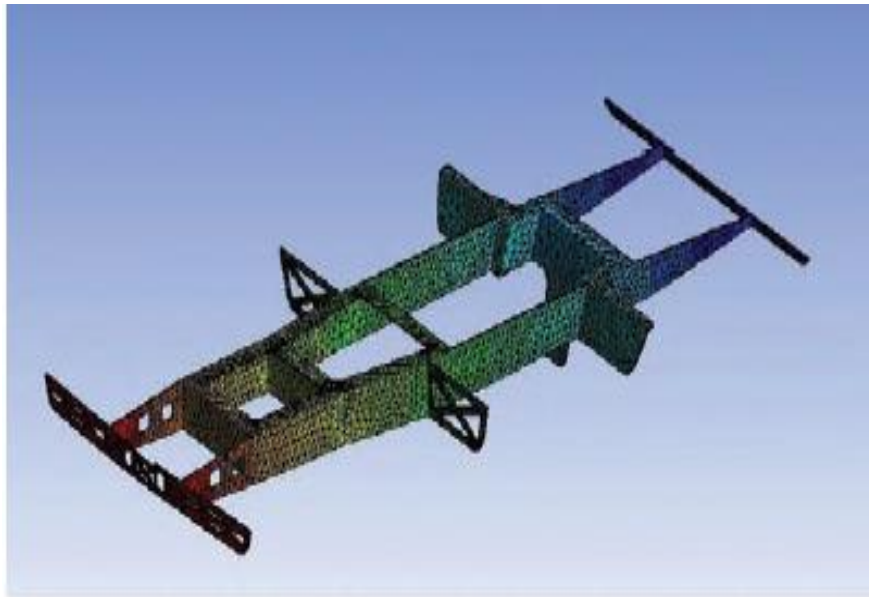
2.6. Araç Şasilerinde Kompozit Malzeme Kullanımı

Kompozit şasi imalatı gelecek dönemlerde otomotiv sektöründe yaygınlaşması beklenmektedir. Birçok otomobil firması katma değer olarak kompozit malzemelere yönelmiştir. Pazarda bir adım öne çıkma yönünde büyük avantaj sağlayan kompozit ürünler, gelecek dönemlerde adından fazlasıyla söz ettireceğinden şüphe yoktur.

Kompozit şasi ve karoseri üzerine yapılan çalışmalar gün geçtikçe artmaktadır. Yakın zamanda araç-kompozit malzeme ile ilgili çalışmalardan bazı örnekler diğer başlıklarda bahsedilecektir.

2.6.1. Güneş Enerjili Araç Şasisinde Kompozit Levha Kullanımı

Enerjinin ön planda olduğu elektrikli veya güneş enerjili araçlarda yapının ağırlığının düşük olması çok önemlidir. Yüksek hızlara çıkabildikleri de göz önüne alınarak şasinin mukavemetinin yeterli seviyede olması gerekmektedir. Karbon fiber takviyesi kullanılarak yapılan çalışmada mekanik özellik olarak uygun malzeme üretilmiştir. Şasinin analizi ANSYS 16.0 Workbench kullanılarak yapılmıştır. Test işlemi aracın ağırlığının beş katı olacak şekilde bir çarpışma uygulanarak gerçekleştirilmiştir. Bu işlem sonucunda katman kalınlıklarının yeterli olup olmadığı konusunda fikir sahibi olunmuştur. Sonuçta katman kalınlığının yetersiz olduğu anlaşılmıştır.



Şekil 2.18. Şasi üzeri etki eden gerilme dağılımı[21]

Şasinin Üretilmesi ve Araç Gövdesiyle Birleştirilmesi

Levhaların belirli ölçülerde kompozitten üretilerek, bilgisayar ortamında yapılan tasarıma uygun şekilde kesilerek aracın parçaları haline getirilmiştir. Montaj kolaylığı için parçalar birbirine geçme şekilde tasarlanmıştır. Şasiye ait parçaların kesilmesinin ardından şasi bir bütün haline epoksi yapıştırıcılar yardımı ile getirilir ve aracın gövdesiyle birleştirilir. Bu şekilde aracın şasi ve gövdesi yekpare olarak imal edilerek monokok bir gövde imalatı gerçekleştirilmiş olur.



Şekil 2.19. Şasi ve Gövde Birleştirme İşlemi[21]

Deneylerin Yapılması ve Sonuçların İncelenmesi

Numuneler 200 gr/m²'lik, 0-90 lif açılara sahip karbon fiber kumaş kullanılarak ve reçine matrisiyle ASTM standartlarına uygun olacak şekilde üretilerek çekilmiştir. Deneylerin sonucunda çekme kuvveti-uzama grafikleri elde edilmiştir[21].

2.6.2. F1 Araçlarında Kullanılan PMK Malzemeler

Şasi F1 dünyasında bilindiği şekilde tüp veya monokok olarak, aracın diğer bütün parçaları birleştirilerek oluşturulur. Ağırlık yönünden çok hafif olmasına karşın dayanım yönünden sert çarpışmalara karşı sürücüyü koruyucudur. Şasi F1 aracındaki birçok ürün gibi, karbon fiber malzemesinden imal edilmiştir. Havacılık sektöründe

kullanılabilmektedir. Çelik malzeme ile kıyaslandığında yüksek dayanım özellikleri ve düşük ağırlık gibi özelliklere sahiptir[22].

2.6.3. Alfa Romeo 4C'nin karbon fiber şasesi

Karbon fiber diğer metallere kıyasla daha sert ve dayanıklıdır. Ayrıca daha da hafiftir.

Karbon fiberler ince yapıda olmalarından dolayı istenilen dayanım özelliğine göre yerleştirilebilirler. Bu şekilde ağırlık azaltılırken bir yandan da dayanımı artırılmaktadır. Karbon fiber şasi günümüz teknolojisi sayesinde kullanılabilmektedir. Bu şekilde bir şasi üretimi ciddi anlamda el becerisi istemektedir ve bu da yöntemin dezavantajlarının başında gelir.

T700 S karbon elyaf malzemesi birçok metal malzemeye kıyasla daha üstün özelliklere sahiptir. Gün geçtikçe karbon fiber yapısı geliştirilerek daha üstün özellikte malzemeler için araştırmalar yapılmaktadır[23].



Şekil 2.20. Alfa Romeo 4C' nin karbon fiber şasesi[23]

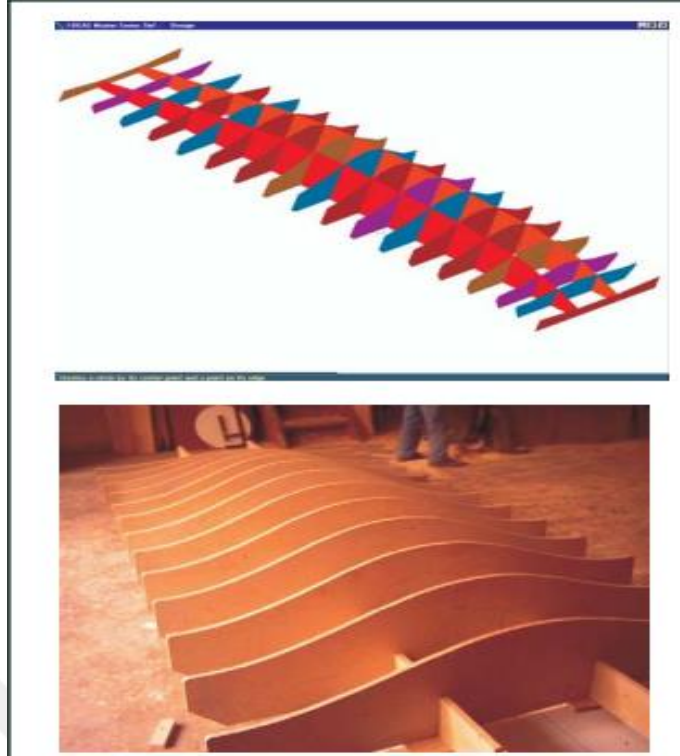
Çizelge 2.8. Karbon ve diğer malzemelerin mekanik özellikleri[23]

Material	Elastik Modülü (GPa)	Çekme Mukavemeti (Mpa)	Yoğunluk (g/cc)
Karbon Elyaf T700S	120	2550	1,57
Çelik Alaşımı AISI 5130	205	1275	7,85
Alüminyum	71,7	570	2,81

2.6.4. Güneş Enerjisi ile Çalışan Araç İçin Monokok Kompozit Gövde Tasarımı Ve İmalatı

Yrd. Doç. Dr. Aytaç Gören ve arkadaşları Formula G Yarışlarına katılacak araç için monokok gövde tasarım ve imalatını gerçekleştirmişlerdir. Tasarımda ki amaç; güneş panelleriyle depolanan enerjinin verimli şekilde kullanılmasına yöneliktir. Üretim olarak ilk başta aracın alt ve üst gövde kısımları cam fiberden yapılmıştır. Daha sonraları gövde üzerinde iyileştirme yapılarak karbon fiberden imalata geçilmiştir. Bu imalat sonunda elde edilen kompozit gövde TÜBİTAK'IN düzenlemiş olduğu Formula G yarışlarında kullanılmıştır.

İlk olarak gövdenin üç boyutlu tasarımı yapılmıştır. I-DEAS programı kullanılarak katı modelleme yapılmıştır. Kalıp üzerine kompozit malzeme giydirme işlemi yapılarak üretim gerçekleştirilmiştir. Üretim esnasında farklı teknikler kullanılarak uygun yöntem bulunmuştur[24].



Şekil 2.21. Tasarım ve İmalat Aşaması[24]

2.7. İşleme Esnasında Ahşap Malzemenin Yüzey Pürüzlülük Parametreleri

Malzemenin işleme faaliyetlerinden yüzeyinde meydana gelen yapı farklılıklar yüzey pürüzlülüğü olarak tanımlanmaktadır. Parçanın işlenmesinin ardından yüzeye ait kalitesi yüzey pürüzlülüğü olarak ifade edilebilir. Yüzey pürüzlülüğü adına yapılan çalışmalar uzan zaman öncesine dayanmaktadır. Yüzey pürüzlülük ölçümlerinde kullanılan parametrelerden bazıları; Ra, Rz, Rq, Rk, Rpk ve Rmax'dır.

İşleme Merkezi Yardımıyla Yüzey Pürüzlülüğünün Belirlenmesi

Ahşap malzemelerin yüzey kalitesinin belirlenmesinde literatür kapsamlı şekilde incelenmiştir ve son zamanlarda bu konuda çalışmalar artmaktadır.

Lemaster ve arkmelamin kaplı kompozit malzemelerin CNC ile işlenmesi esnasında meydana gelen titreşim ve bıçak aşınmasını, tezgaha bağlı bir ivme ölçer ile tespit etmişler ve bıçak aşınması ile yüzey kalitesi arasında bir korelasyon olduğunu belirtmişlerdir. Aguilera ve ark. (2000), MDF levhalarda farklı katmanlarda (3 katman halinde düşünerek) freze ile işlemede kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğünü incelemişlerdir. Çalışmada; düşük yoğunluklarda yüzey pürüzlülük değerlerinin daha

kötü olduğu, yüksek yoğunluk ve ince yonga kalınlıklarında optimum yüzey düzgünlüğünün sağlandığı ifade edilmektedir. Mitchell ve Lemaster (2002), Akçaağaç odununun CNC freze ile işlenmesi sonucu işleme parametrelerinin yüzey kalitesi üzerine etkilerini araştırmışlar, düz yüzeylerde aynı yönlü frezelemenin zıt yönlü frezelemeden daha düzgün yüzey verdiğini, enine kesit yüzeylerde ise zıt yönlü frezeleme ile daha iyi sonuç alındığını belirtmişlerdir.



3. MATERYAL VE YÖNTEM

Tez çalışması imalat süreci de dahil olmak üzere beş ana aşamadan oluşmaktadır;

- I. Kompozit Şasi İmalatında Kullanılacak Olan Karbon Ve Cam Elyaf Kumaşlara Ait Test Numunelerinin Hazırlanması
- II. Numunelerin Mekanik Teste Tabi Tutulması
- III. Kompozit Şasi Kalıp Tasarımının Yapılması
- IV. Tasarlanan Kalıbın Tezgâh Yardımı İle İşlenmesi ve Kalıp Üzerinde Kompozit Malzeme Üretim Yöntemlerinden El Yatırma Yöntemi Kullanılarak, Şasinin İmalatının Gerçekleştirilmesi
- V. Şasi Tasarımının Analiz Ortamına Aktarılması Ve Yapı Üzerine Statik Yüklemelerin Yapılması

Karbon Elyaf Kumaş Özellikleri

Kompozit malzeme üretiminde kullanılmak üzere; 200 gr/m² ağırlığında karbon elyaf kumaş piyasadan temin edilmiştir. Karbon elyaf kumaşın özellikleri çizelgede gösterilmiştir.

El yatırma işlemi için veriler %35 hacimsel yoğunluğa göre yapılmıştır.

Polyester Reçine tüketimi : 234 g/m²

Laminat kalınlığı : 0.327 mm

Çizelge 3.1. Karbon Elyaf Özellikleri

ÜRÜN KODU	Elyaf		Kalınlık	Laminat Ağırlığı	Sıklık	Elastisite Modulu	Kopmadaki Birim Boy	Elyaf Çapı	Yoğunluk
	Çözücü	Atkı							
	Tenax-E		(mm)+-%15	(gr/m ²) +-%4	adet/cm	[GPa]	[%]	[µm]	[g/cm ³]
02C200L.01	HTA 40 3k	HTA 40 3k	0,327	438	5	238	1,7	7	1,76

Polyester Reçine Özellikleri

Üretim adına sağladığı avantajlar,

- Sağladığı viskozite özelliklerinden dolayı cam ve karbon elyafı daha kolay ıslatır
- Yüksek mekanik dayanımı sağlar

Çizelge 3.2. CE 92 N8 Özellikleri

CE 92 N8 Özellikleri	Birim	Spesifikasyon Değerleri
Görünüm		Berrak
Viskozite	cps	400±60
Asit Sayısı	mgKOH/g	Max.25
Katı Madde Miktarı	%	Min.58
Jelleşme Süresi (25°C)*	dak.	8±2
Egzoterm Pik (25°C)	°C	180±20
Stabilite	ay	4
Sertlik	Barcol	Min.42
Eğilme Dayanımı	kgf/cm ²	Min.900
Çekme Dayanımı	kgf/cm ²	Min.500

Jelleşme süresi ve "Egzoterm Pik" tayini 50 mm çapında bir beherglassa konan 100 g reçineye 25°C'de % 0.25 oranında % 6'lık Kobalt Naftanat ve % 2 oranında % 50 aktif Metil Etil Keton Peroksit ilave edilmesinden sonra yapılır.

Kobalt Özellikleri (hızlandırıcı) :

Yağlı boyalarda kurutucu ve polyester hızlandırıcı olarak kullanılır. Hızlandırıcı malzemeler kürleşme sürecisini hızlandıran bileşiklerdir. 1000gr polyester reçineye, %6 (yani 60 gr) olarak kullanılır.

Polyester Reçinenin sertleşmesi için, ilk önce 1 kg polyester reçineye, 60 gr KOBALT konur ve iyice karıştırılır. Böylece karışım sertleşmeye hazırdır. Bu şekilde yani sadece KOBALT karıştırılmış halde günlerce sertleşmeden kalabilir.

- Görünüm : Violet-Mavi Renkli, Sıvı
- Yoğunluk : (25°C) 0,9±0.004 kg/m³
- Kobalt Metal Oranı : %6
- Parlama Noktası : 39 °C

3.1. Karbon ve Cam Elyaf Numularının Hazırlanması

Şasi imalatında kullanılan kompozit malzemeler farklı iki bileşenin birleşmesi ile meydana gelen yapılardır. Ögelerden biri genellikle cam elyaf, karbon, boron veya keklar gibi güçlü bir liftir. Tez kapsamında kullanılacak elyaf çeşitleri karbon ve cam elyafıdır. Karbon elyaf malzemesinin şasi imalatında kullanılmasının belli başlı sebepleri vardır.

En yaygın olarak kullanılan fiberler karbon ve cam fiberlerdir. Karbon fiberler çekme mukavemeti lif tipine göre 3,1-5,5 GPa değerlerini bulurken, Elastisite modülü

ise 240 GPa değerlerine ulaşmaktadır. Bu durum 7075 T6 Alüminyum alaşımlarına göre 10 kata varan dayanıklılık ve ağırlık olarak da %60'a varan avantaj sağlamaktadır. Alüminyum ve fiberglasa göre daha pahalı olmasına rağmen yoğunluğunun düşük olması ve buna karşılık iyi dayanım değerlerine sahip olması tercih edilmesinde etkilidir.

Çizelge 3.3. Değişik Lif Tiplerinin Mekanik Özellikleri

	Lif Çapı	Lif Yoğunluğu	Çekme Dayanımı	Elastik Çekme Modülü
Lifin Cinsi	μm	g/cm^3	Gpa	GPa
E-cam lifi	8-14	2,54	3,45	72,4
S-cam lifi	8-14	2,49	4,58	86,2
Polietilen	10-12	0,97	2,70	87
Aramid-Kevlar	12	1,44	3,62	130
HS Karbon, T300	7	1,74	3,54	230
AS4 Karbon	7	1,80	4,00	228
IM7 Karbon	5	1,80	5,41	276
GY80 Karbon	8,4	1,96	1,86	572
Boron	50-203	2,60	3,44	407

İlk olarak Polyester reçine, Sertleştirici ve Kobalt karışımı hazırlanmıştır. Karışım homojen şekilde karıştırılmıştır. Şasi imalatında kullanılan karbon ve cam kumaşlara ait numuneler Vakum İnfüzyon metodu kullanılarak hazırlanmıştır.



Şekil 3.1. Kullanılan Cam ve Karbon Kumaşlar

Karbon kumaş kullanılarak numune üretimine başlanmıştır.



şekil 3.2. Numune Hazırlamak İçin Gerekli Ekipmanlar



şekil 3.3. Karbon Kumaş Yerleřtirilmesi



şekil 3.4. Hazırlanan Numunenin Krlenmeye Bırakılması

Daha sonra üretilen plakalar vakumlu şekilde kürlenmeye bırakılmıştır. Kürlenme işleminin ardından cam kumaş için numune hazırlanmasına başlanmıştır. Cam kumaşlar hazırlanırken +45 ve -45 yönlerine dikkat edilerek üst üste kumaşlar dizilmiştir.



Şekil 3.5. Cam Numunelerin Hazırlanması

Her iki kumaş içinde kürlenme işlemleri tamamlandıktan sonra numuneler kesilerek hazırlanmıştır. Hazırlanan numunelerin çekme testi Necmettin Erbakan Üniversitesi laboratuvarında yapılmıştır.



Şekil 3.6. Hazırlanmış Numunelerden Bazıları

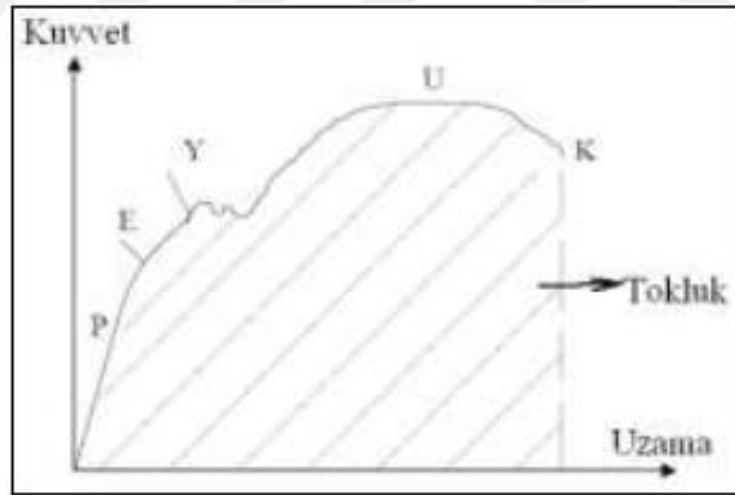
3.2. Numunelerin Mekanik Testi

3.2.1. Deneylerin Yapılma Amacı

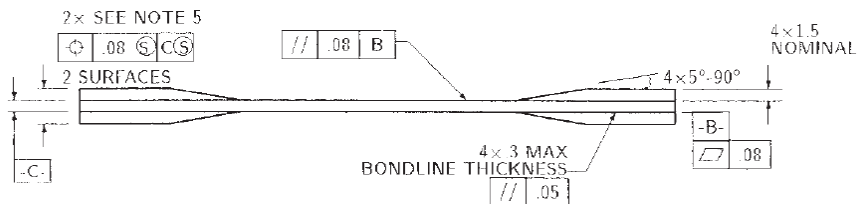
Rijit olmayan malzemeler kuvvet altında yapısal değişiklikler gösterebilmektedir. Bunların başında şekil ve boyut değişiklikleri görülmektedir. Mekanik testlerin yapılmasındaki en büyük amaç malzeme özelliklerinin anlaşılmasıdır. Bu testlerden en önemlisi çekme testidir.

Bu deneyin amacı; malzeme davranışlarını statik yüklemeler altında tespit edebilmektir. Bu yüzden üretilen test numuneleri çekme cihazlarında aksel ve değişken kuvvetlerde çekilirler.

Çekme işlemi için kullanılan çekme cihazları temel olarak iki çene, hareket mekanizmaları ve büyüklük ölçen panellerden oluşmaktadır. Bu çenelerden birisi sabitken diğer çene ise sabit hızda hareket ederek malzemeye çekme kuvveti uygular ve ölçüm propelleri yardımı ile değerler kaydedilir.



Şekil 3.7. Çekme testinde tipik kuvvet-uzama eğrisi



Şekil 3.8. D 3039 ASTM Standardına Uygun Numune Ölçüleri

Elastik yapıdaki malzemelerde kuvvet kaldırıldığında malzemede bu yönde orantılı olarak eğilim göstermektedir. Bu davranış **P** noktasına kadar devam etmektedir. **P** noktasından sonra limit aşımı ile birlikte eğim değişmektedir. Elastik davranış **E** “Elastik Limiti” noktasında sona erer. Plastik deformasyonlar **E** den sonra kalıcı olmaya başlar. Elastik bölgeden farklı olarak kuvvet kaldırıldığında deformasyon sıfırlanmaz plastik deformasyon kalıcı durumda olur.

Kuvvet uygulanmaya devam edilirse malzemeye **Y** noktasında akma davranışı gösterir. Akma noktasında kuvvet aynı iken büyük miktarda plastik deformasyon oluşur.

U noktasına malzeme üzerinde kuvvet büyüklüğü artırılarak ulaşılır. Bu bölgede malzeme kesitinde bölgesel değişimler olur. Bu bölgede malzeme boyun vermeye başlar. Daha sonra malzeme kontrolsüz olarak uzamaya devam eder ve **K** noktasında kopar.

Tokluk Kuvvet-uzama eğrisinin altında kalan alan olarak ifade edilir.

Malzemenin deformasyonuna göre sünek veya gevrek olarak adlandırılır.

3.2.2. Tanımlamalar ve Teorik Bilgi

Gerilme (σ): Birim alana etkiyen yük anlamına gelir ve aşağıdaki formülle hesaplanır.

$$\sigma = \frac{P}{A_0}$$

Birim Şekil Değişirme (ϵ): Malzemenin kuvvet altında boy değişiminin ilk boya oranı olarak ifade edilir.

$$\epsilon = \frac{\Delta L}{L_0}$$

Elastisite Modülü (E**):** Malzemenin mukavemetinin ölçüsü olarak ifade olur. Birim uzama başına gerilme olarak tanımlanmaktadır. İfade şu şekildedir:

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon}$$

Malzeme üzerindeki yüklemeler elastik bölge içerisinde gerilme ile orantılıdır bu durum Hooke Kanunu olarak ifade edilir. Elastisite modülü malzemeye göre farklılık göstermektedir

Akma dayanımı (σ_a): Uygulanan çekme kuvvetinin yaklaşık olarak sabit kalmasına karşın, plastik şekil değiştirmenin önemli ölçüde arttığı ve çekme diyagramının düzgünlük gösterdiği kısma karşı gelen gerilme değeridir,

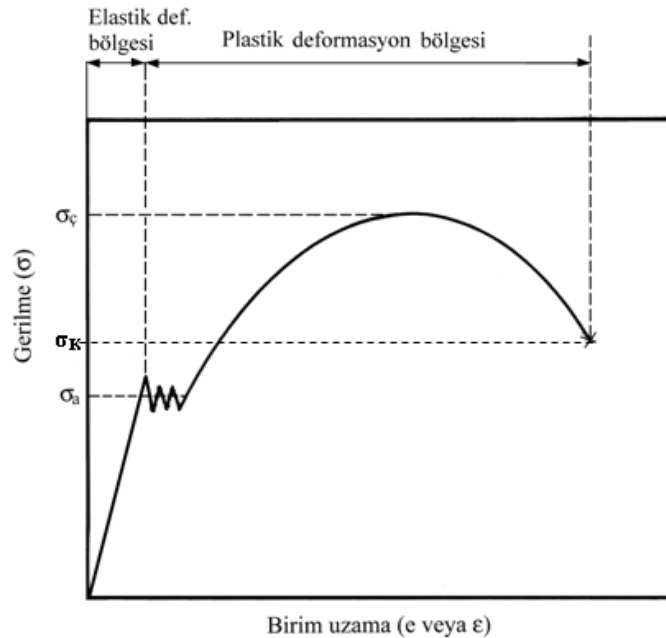
$$\sigma_a = \frac{P_a}{A_0}$$

Çekme dayanımı (σ_ζ): Bir malzemenin kopuncaya veya kırılıncaya kadar dayanabileceği en yüksek çekme gerilmesi olarak tanımlanır. Bu gerilme, çekme diyagramındaki en yüksek gerilme değeri olup, aşağıdaki formül ile bulunur.

$$\sigma_\zeta = \frac{P_{\max}}{A_0}$$

Kopma Gerilmesi (σ_K): Numunenin koptuğu andaki gerilme değeridir.

$$\sigma_K = \frac{P_K}{A_0}$$



Şekil 3.9. Düşük karbonlu yumuşak bir çeliğin çekme diyagramı

Yüzde Kopma uzaması (KU): Çekme numunesinin boyunda meydana gelen en yüksek yüzde plastik uzama oranı olarak tanımlanır. Çekme deneyine tabi tutulan numunenin

kopan kısımlarının bir araya getirilmesi ile son boy ölçülür ve boyda meydana gelen uzama

$$\Delta L = L_k - L_0$$

bağıntısı ile bulunur. Burada L_0 numunenin ilk ölçü uzunluğunu, L_k ise numunenin kırılma anındaki boyunu gösterir. Kopma uzaması ise;

$$KU(\%) = \frac{\Delta L}{L_0} \times 100$$

bağıntısı yardımıyla belirlenir. Bu değer malzemenin sünekliğini gösterir.

Yüzde Kesit Daralması (KD): Çekme numunesinin kesit alanında meydana gelen en büyük yüzde daralma veya büzülme oranı olup;

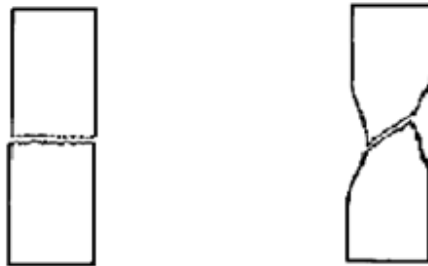
$$KD(\%) = \frac{A_0 - A_k}{A_0} \times 100$$

bağıntısı ile hesaplanır.

Burada A_0 deney numunesinin ilk kesit alanını, A_k ise kırılma anındaki kesit alanını veya kırılma yüzeyinin alanını gösterir. A_k 'nin hesaplanması için hacmin sabit kalacağı ifadesi kullanılır.

$$V_0 = V_k \Rightarrow A_0 L_0 = A_k L_k \Rightarrow A_k = A_0 \frac{L_0}{L_k}$$

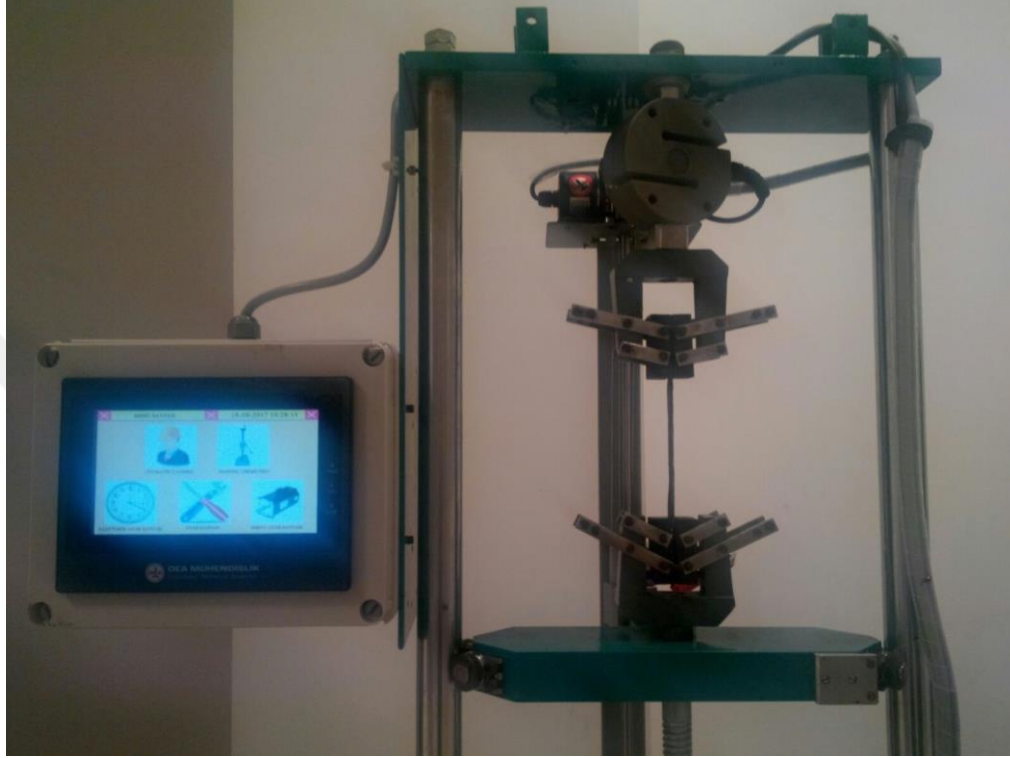
Kesit daralması, kopma uzaması gibi sünekliğin bir göstergesidir. Sünek malzemelerde belirgin bir büzülme veya boyun verme meydana gelirken, gevrek malzemeler büzülme göstermezler. Şekil 'de gevrek ve sünek malzemelerin kırılma davranışları şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 3.10. (a) Gevrek malzemenin kırılma şekli (b) Sünek malzemenin kırılma şekli.

3.2.3. Numunelerin Çekme Testi

Bu çalışmada Seydişehir Ahmet Cengiz Mühendislik Fakültesinde bulunan DEA Mühendislik markalı çekme cihazının kalibrasyonu ve modifikasyonunda yüksek lisans projesi kapsamında yapılmıştır. Cihazın modifikasyondan önce ve sonraki özellikleri aşağıdaki tabloda verilmiştir.



Şekil 3.11. Numune Çekme Testi

DEA Mühendislik markalı çekme cihazından elde edilen çekme deney sonuçları Necmettin Erbakan Üniversitesi Mühendislik Fakültesindeki SHIMADZU marka çekme testi cihazı ile kalibre edilmiştir. Numuneler çekme testlerine tabi tutularak şasi için kullanılan kompozit malzemelerin mekanik özelliklerine ulaşılmıştır.

Çizelge 3.4. Modifikasyon İşlemi

Özellik	Revizyon Öncesi	Revizyon Sonrası
Çekme Kuvveti	Max. 500 kg	Max. 2000 kg
Çekme Hızı	Max. 2 mm/dk.	Max. 5 mm/dk.
Tutma Çenesi	Vidalı Tipi	Pabuç Tipi
Yük Ölçümü	Analog	Dijital
Uzama Ölçümü	-	Ekstansometre

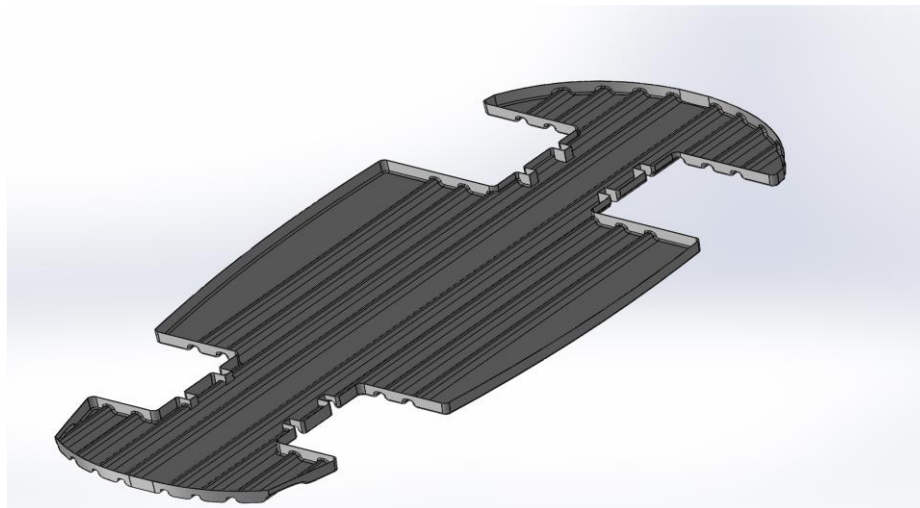
Deneyler D3039 ASTM standardına uygun şekilde 5 mm/dk hız ile yapılmıştır.



Şekil 3.12. Çekme Cihazları

3.3. Kompozit Şasi Tasarımının Yapılması

Elektromobil kompozit şasi Tasarım işlemi SolidWorks katı modelleme programı yardımı ile gerçekleştirilmiştir. Modellemeye başlarken ilk adım gövde dizaynında önemli olan parametrelerin belirlenmesidir. Bu parametreler şu şekilde sıralanabilir:



Şekil 3.13. Kompozit Şasi Tasarımının Katı Modellemesi

- ❖ Şasi genel yapısı
- ❖ Şasi üretiminde kullanılacak malzeme
- ❖ Şasiye etki edecek kuvvet noktalarının belirlenmesi

Bu şekilde tasarım işlemi tamamlandıktan sonra bu kalıbın CNC işleme tezgâhında işlenmesi için MDF ahşaptan kalıbın oluşturulması işlemine geçilmiştir.

3.4. Mdf Kalıp ve Kompozit Şasi İmalatı

CNC kesimde **pleksi, mdf, sunta, kontraplak, her türlü ağaç, dekota alüminyum** plaka işleme ve alüminyum kompozit kesim işlerine kadar birçok malzemenin kesimini ve işlemesini rahatlıkla yapabilmektedir. CNC mdf ve ahşap kesim yapılmasının avantajları düz ve pürüzsüz yüzeyler çıkartarak montaja hazır parçalar sunmaktadır.



Şekil 3.14. Mdf Kalıp CNC İşleme

Mdf Kalıp CNC İşleme

- Suntaların iç kalıp kısmı zımpara yardımıyla düzeltilmiştir ve kalıp dışına geçme kanalları açılmıştır.
- Kalıp dolgu verniği ile cilalanmıştır.
- 220 numaralı ince ağaç zımparası ile tekrar pürüzlülükler giderilmiştir.
- Kalıp yüzeyi parlatıcı vernik ile cilalanarak parlatılmış ve 1 gün kurumaya bırakılmıştır.
- Katı polivaks 1 er saat arayla kurutularak 3 kat sürülmüş ardından 24 saat beklenmiştir.



Şekil 3.15. Katı Vaks Uygulaması

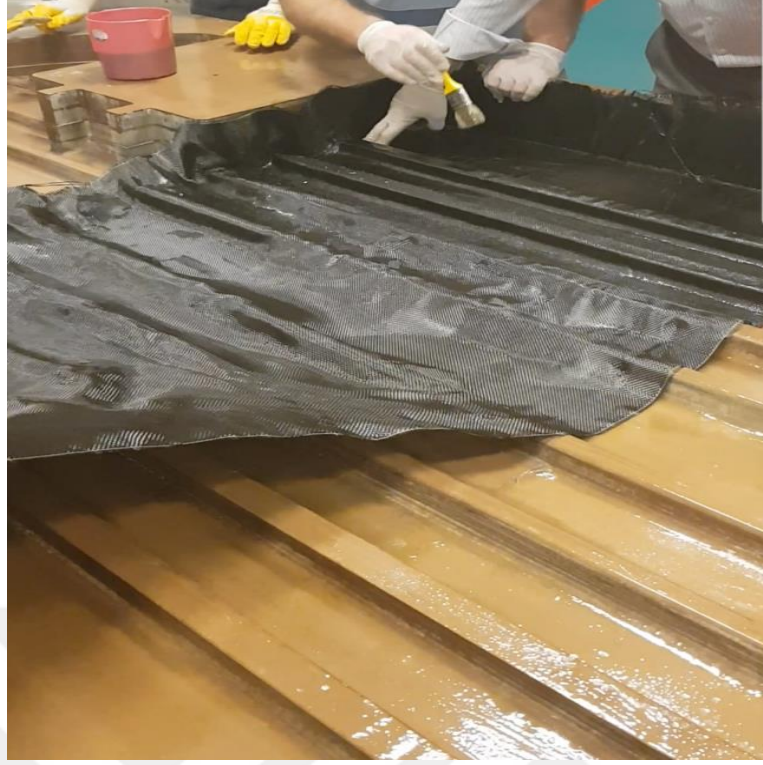
- Kuruyan katı vaks tabakası ince temizleyici bezler yardımıyla fazlası alınmıştır.

Burada önem verilmesi gereken bir nokta, dökülen malzemenin kuruduktan sonra kalıp içerisinden rahatça çıkarılabilmesi için malzeme yerleştirilmeden kalıp içerisinin jel kimyasallar ile kaplanmasıdır. Prosesin aşamaları şu şekilde özetlenebilir:

- Sıvı jel kalıp ayırıcı da sürülerek kalıp elle yatırma yöntemine hazır hale getirilmiştir.



Şekil 3.16. Sıvı Kalıp Ayırıcı



Şekil 3.17. Sıvı jel kalıp ayırıcı sürülmesi ve Fiber Serilme İşlemi



Şekil 3.18. Karbon Fiber Serilme İşlemi

- İlk katı kaplayacağımız karbon fiber kumaş parçaları uygulamadan önce kesilmiştir.
- %6 kobalt ve binde 5 akperox sertleştirici kullanılarak reçinemiz hazırlanmıştır.
- Karbon elyaflar serildikten sonra üzerlerine matris malzemesi olan polyester reçine sürülmüş ve malzeme 1 gün kuruma sürecine bırakılmıştır.
- Dayanıklılığı artırmak amacıyla 12 şer saat arayla 3 kat daha aynı polyester reçine yardımıyla cam elyaf uygulanmıştır.

Şasi kurduktan sonra kalıptan çıkarılmış ve üzerinde bazı iyileştirmeler yapılmıştır. Özellikle gövdeye kuvvetin geldiği noktalarda fazla malzeme atılması, gerektiği yerlerde burulmaların engellenmesi için ekstra desteklerin atılması ve ağırlıktan kaçınmak için modelden malzeme çıkarılması işlemleri aracın performansını arttırıcı iyileştirmeler olarak göze çarpmaktadır.



Şekil 3.19. Kompozit Kalıp Çıkartıldıktan Sonra

Bu işlemler tamamlandıktan sonra artık aracın şasisinin birebir modeli hazırlanmış oldu.

3.5. Kompozit Şasi Tasarım Analizinin Yapılması

Tasarımdan alınan CAD dosyası, SolidWorks kompozit modülüne atılmıştır. Atılan bu tasarımın kuvvet etkiyecek yüzeyleri seçilmiştir ve seçilen yüzeylere karbon elyaf kumaş mekanik özellikleri tanımlanarak katmanlar atılmıştır. Toplamda atılan 6 adet karbon fiber kumaşların her biri 0,4 mm kalınlığındadır. Katmanlar 0° ve 90° olacak şekilde serilerek işleme devam edilmiştir. Yapılan çalışma sonucunda alınan veriler ve raporlar araştırma sonuçları bölümünde detaylıca incelenecektir.



4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

Kompozit malzemelerden alınan numunelerin çekme deney sonuçları ve SolidWorks Kompozit Modülü yardımı ile analizi gerçekleştirilen kompozit şasiye ait veriler detaylı olarak aşağıda incelenmiştir.

4.1. Deney Sonuçları

Numuneler ayrı ayrı başlıklar altında incelenecektir ve son bölümde tek bir tablo altında kıyaslama yapılacaktır.

Cam Elyaf Kumaştan Üretilen Numunelerin Deney Sonuçları ve Hesaplamaları

1 nolu Cam Numune

Çekme deneyi sonucunda elde edilen numuneye ait Kuvvet-Uzama ve Gerilme-Birim Şekil Değiştirme grafikleri aşağıdaki bölümde verilmiştir.

Çizelge 4.1. Numuneye Ait Ölçüler

Numune Ölçüleri	
En (mm)	10,7
Boy (mm)	80
Kalınlık (mm)	4
Kesit Alanı (mm ²)	42,8

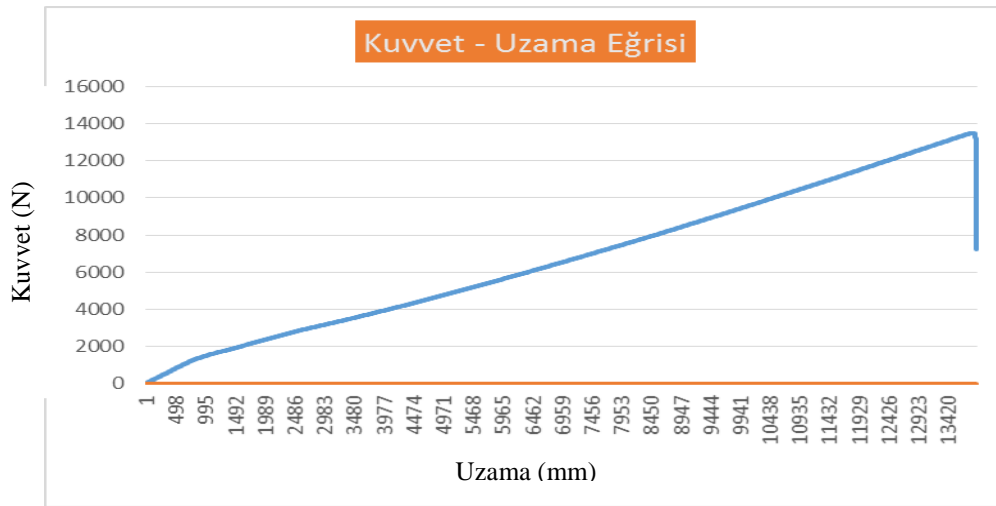
- **Elastisite Modülü (E)**

Elastisite Modülü numuneye ait çekme cihazından alınan Gerilme ve Birim Şekil Değiştirme değerlerinin oranından elde edilen maksimum sonuç olarak hesaplanmıştır.

$$E_{max} = 9440,627 \text{ MPa}$$

- **Kuvvet – Uzama Eğrisi**

Numuneye ait Kuvvet ve Uzama verileri çekme cihazından alınarak eğri çizilmiştir.



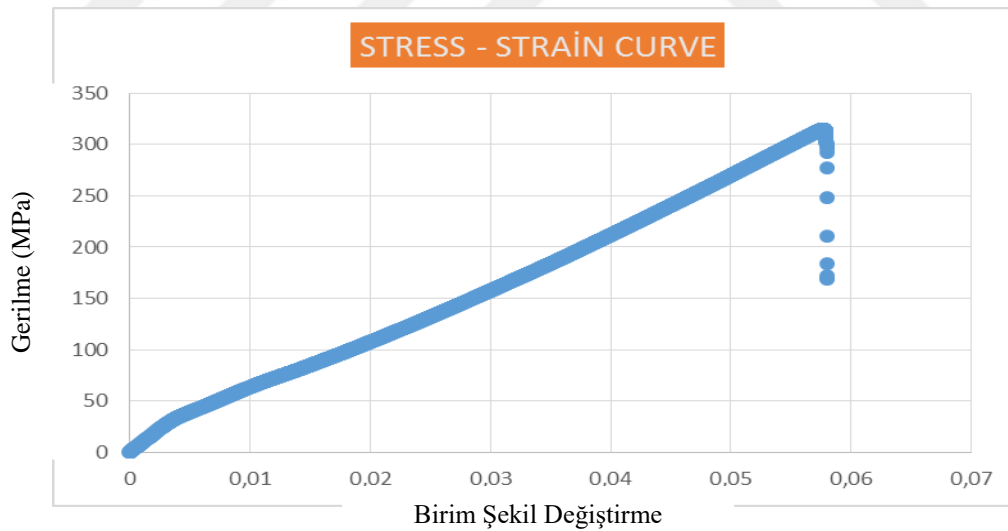
Şekil 4.1. Kuvvet – Uzama Eğrisi

- **Gerilme - Birim Şekil Değişirme**

Kuvvet değerleri sabit olan kesit alana bölünerek Gerilme değerleri bulunmuştur. Ayrıca epsilon (ϵ) değeride sabit olan numune boy ölçüsüne bölünerek değerler bulunmuştur.

$$\sigma = F/A_0$$

$$\epsilon = \Delta L/L_0$$



Şekil 4.2. Gerilme – Birim Şekil Değişirme Eğrisi

- **Akma dayanımı (σ_a):**

Akma dayanımı numune için verilere bakılarak maksimum akma kuvvetin $P_a=13498,45N$ olduğu değerde tespit edilmiştir ve numune kesit alanına bölünerek sonuç elde edilmiştir.

$$\sigma_a = \frac{P_a}{A_0}$$

$$\sigma_{ak} = \frac{13498,45}{42,8} = 315,3843 \text{ N/mm}^2$$

- **Çekme dayanımı (σ_ξ):**

Bu dayanım, çekme eğrisindeki en yüksek gerilme değeri olup, aşağıdaki formül yardımıyla bulunmaktadır.

$$\sigma_\xi = \frac{P_{\max}}{A_0}$$

Malzeme gevrek olduğu için akma noktası, malzemenin maksimum çekme noktasıdır.

Bu yüzden; Çekme kuvveti **Pç = 13498,45 N**
 Maksimum Çekme Dayanımı **$\sigma_\xi = 315,3843 \text{ N/mm}^2$**

- **Kopma Gerilmesi (σ_K):**

Malzemenin kopma anındaki gerilme değeridir.

$$\sigma_K = \frac{P_K}{A_0}$$

$P_k = 7243,52 \text{ N}$ $A_0 = 42,8 \text{ mm}^2$

Değerleri formülde yerine konularak; **$\sigma_K = 169,241 \text{ N/mm}^2$** olarak hesaplanmıştır.

- **Yüzde Kopma uzaması (KU):**

Kopma uzaması;

$$KU(\%) = \frac{\Delta L}{L_0} \times 100$$

formülü kullanılarak belirlenmektedir. Bu sonuç malzemenin süneklik özelliğini göstermektedir

$\Delta L = 4,638062 \text{ mm}$ olarak okunmuştur.

Yüzde kopma uzaması için değerler formülde yerine yazılarak;

$$KU(\%) = \frac{4,638062}{80} * 100 = 5,80$$

bulunmuştur.

- **Yüzde Kesit Daralması (KD):**

Çekilen malzemenin kesit alanında meydana gelecek en yüksek yüzde daralma veya büzülme oranı olup;

$$KD(\%) = \frac{A_0 - A_K}{A_0} \cdot 100$$

formülü ile hesaplanmaktadır. Bu formülde A_0 numunesinin ilk kesit alanını, A_K değeri ise kırılma esnasındaki kesit alanını veya kırılma yüzeyinin alanını göstermektedir. A_K değerinin hesaplanması için hacim değerinin sabit kalması ibaresi kullanılır.

$$V_0 = V_K \Rightarrow A_0 L_0 = A_K L_K \Rightarrow A_K = A_0 \frac{L_0}{L_K}$$

$$V_0 = A_0 \cdot L_0 = 42,8 \cdot 80 = \mathbf{3424 \text{ mm}^3}$$

$$V_K = A_K \cdot L_K = A_K \cdot (80 + 4,638062)$$

$$3424 \text{ mm}^3 = A_K \cdot 84,638062$$

$$\mathbf{A_K = 40,464 \text{ mm}^2} \quad \mathbf{A_0 = 42,8 \text{ mm}^2}$$

$$KD(\%) = \frac{A_0 - A_K}{A_0} \cdot 100 = \frac{(42,8 - 40,464)}{42,8} \cdot 100 = \mathbf{\%5,4079}$$

2 nolu Cam Numune

Çekme deneyi sonucunda elde edilen numuneye ait Kuvvet-Uzama ve Gerilme-Birim Şekil Değiştirme grafikleri aşağıdaki bölümde verilmiştir.

Çizelge 4.2. Numuneye Ait Ölçüler

Numune Ölçüleri	
En (mm)	10,45
Boy (mm)	80
Kalınlık (mm)	4
Kesit Alanı (mm ²)	41,8

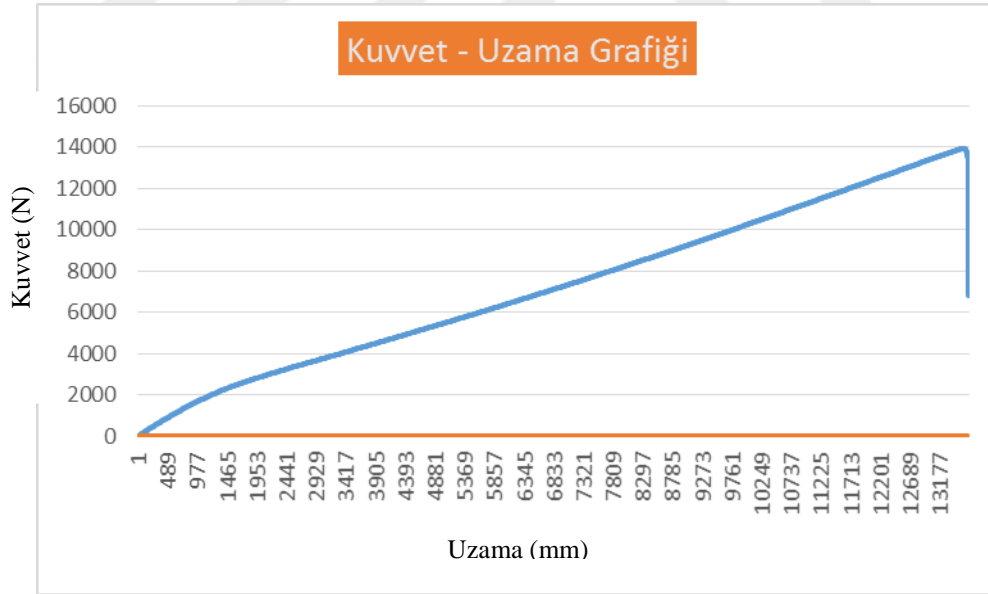
- **Elastisite Modülü (E)**

Elastisite Modülü numuneye ait çekme cihazından alınan Gerilme ve Birim Şekil Değişirme değerlerinin oranından elde edilen maksimum sonuç olarak hesaplanmıştır.

E_{max} = 11501,29011 MPa

- **Kuvvet – Uzama Eğrisi**

Numuneye ait Kuvvet ve Uzama verileri çekme cihazından alınarak eğri çizilmiştir.



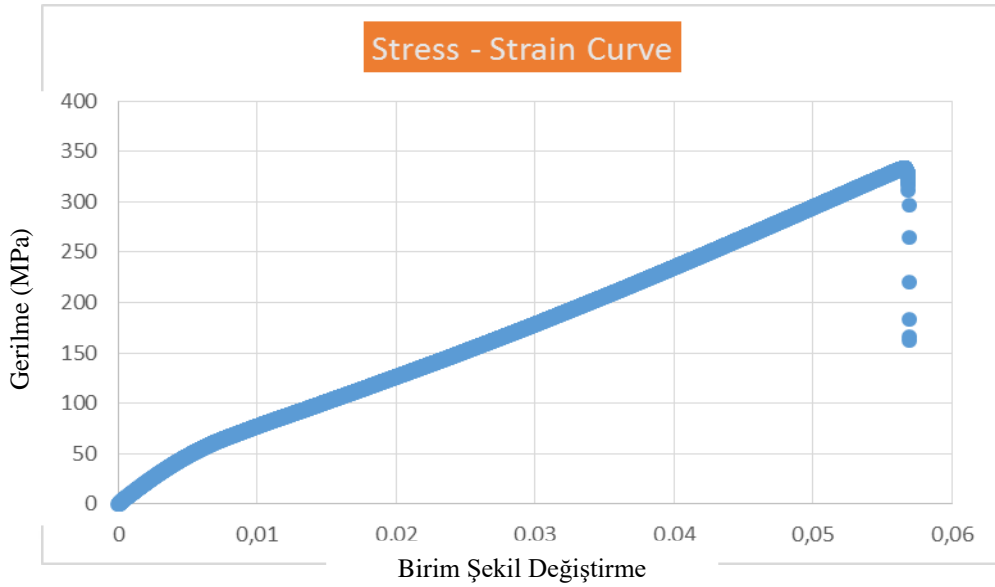
Şekil 4.3. Kuvvet – Uzama Eğrisi

- **Gerilme - Birim Şekil Değişirme**

Kuvvet değerleri sabit olan kesit alana bölünerek Gerilme değerleri bulunmuştur. Ayrıca epsilon (ϵ) değeride sabit olan numune boy ölçüsüne bölünerek değerler bulunmuştur.

$$\sigma = F/A_0$$

$$\epsilon = \Delta L/L_0$$



Şekil 4.4. Gerilme – Birim Şekil Değişirme Eğrisi

- **Akma dayanımı (σ_a):**

Akma dayanımı numune için verilere bakılarak maksimum akma kuvvetin $P_a=13954,58$ N olduğu değerde tespit edilmiştir ve numune kesit alanına bölünerek sonuç elde edilmiştir.

$$\sigma_a = \frac{P_a}{A_0}$$

- **Çekme dayanımı (σ_ζ):**

Bu dayanım, çekme eğrisindeki en yüksek gerilme değeri olup, aşağıdaki formül yardımıyla bulunmaktadır.

$$\sigma_\zeta = \frac{P_{\max}}{A_0}$$

Malzeme gevrek olduğu için akma noktası, malzemenin maksimum çekme noktasıdır.

Bu yüzden; Çekme kuvveti $P_{\text{ç}} = 13954,58 \text{ N}$
 Maksimum Çekme Dayanımı $\sigma_{\text{ç}} = 333,841 \text{ N/mm}^2$

$$\sigma_{ak} = \frac{13954,58}{41,8} = 333,841 \text{ N/mm}^2$$

- **Kopma Gerilmesi (σ_K):**

Malzemenin kopma anındaki gerilme değeridir.

$$\sigma_K = \frac{P_K}{A_0}$$

$P_K = 6789,795 \text{ N}$ $A_0 = 41,8 \text{ mm}^2$

Değerleri formülde yerine konularak; $\sigma_K = 162,435 \text{ N/mm}^2$ olarak hesaplanmıştır.

- **Yüzde Kopma uzaması (KU):**

Kopma uzaması;

$$KU(\%) = \frac{\Delta L}{L_0} \times 100$$

formülü kullanılarak belirlenmektedir. Bu sonuç malzemenin süneklik özelliğini göstermektedir

$\Delta L = 4,55055 \text{ mm}$ olarak okunmuştur.

Yüzde kopma uzaması için değerler formülde yerine yazılarak;

$$KU(\%) = \frac{4,55055}{80} * 100 = 5,69$$

bulunmuştur.

- **Yüzde Kesit Daralması (KD):**

Çekilen malzemenin kesit alanında meydana gelecek en yüksek yüzde daralma veya büzülme oranı olup;

$$KD(\%) = \frac{A_0 - A_K}{A_0} \cdot 100$$

formülü ile hesaplanmaktadır. Bu formülde A_0 numunesinin ilk kesit alanını, A_K değeri ise kırılma esnasındaki kesit alanını veya kırılma yüzeyinin alanını göstermektedir. A_K değerinin hesaplanması için hacim değerinin sabit kalması ibaresi kullanılır.

$$V_0 = V_K \Rightarrow A_0 L_0 = A_K L_K \Rightarrow A_K = A_0 \frac{L_0}{L_K}$$

$$V_0 = A_0 \cdot L_0 = 41,8 \cdot 80 = \mathbf{3344 \text{ mm}^3}$$

$$V_K = A_K \cdot L_K = A_K \cdot (80 + 4,55055)$$

$$3344 \text{ mm}^3 = A_K \cdot 84,55055$$

$$\mathbf{A_K = 39,55 \text{ mm}^2} \quad \mathbf{A_0 = 41,8 \text{ mm}^2}$$

$$KD(\%) = \frac{A_0 - A_K}{A_0} \cdot 100 = \frac{(41,8 - 39,55)}{41,8} \cdot 100 = \mathbf{\%5,38}$$

Karbon Elyaf Kumaştan Üretilen Numunelerin Deney Sonuçları ve Hesaplamaları

3 nolu Karbon Elyaf Numune

Çekme deneyi sonucunda elde edilen numuneye ait Kuvvet-Uzama ve Gerilme-Birim Şekil Değişirme grafikleri aşağıdaki bölümde verilmiştir.

Çizelge 4.3. Numuneye Ait Ölçüler

Numune Ölçüleri	
En (mm)	10,8
Boy (mm)	85
Kalınlık (mm)	2,3
Kesit Alanı (mm ²)	24,84

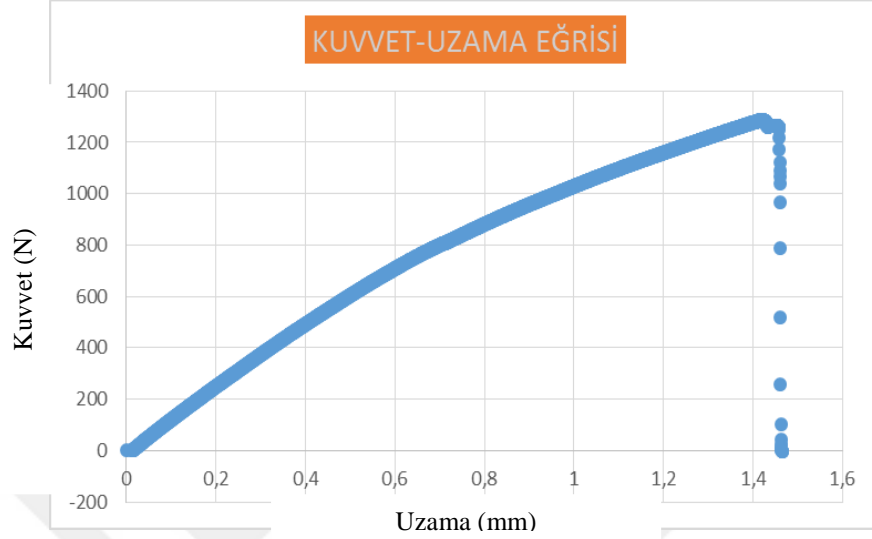
- **Elastisite Modülü (E)**

Elastisite Modülü numuneye ait çekme cihazından alınan Gerilme ve Birim Şekil Değişirme değerlerinin oranından elde edilen maksimum sonuç olarak hesaplanmıştır.

$$\mathbf{E_{max} = 4279,309619 \text{ MPa}}$$

- **Kuvvet – Uzama Eğrisi**

Numuneye ait Kuvvet ve Uzama verileri çekme cihazından alınarak eğri çizilmiştir.



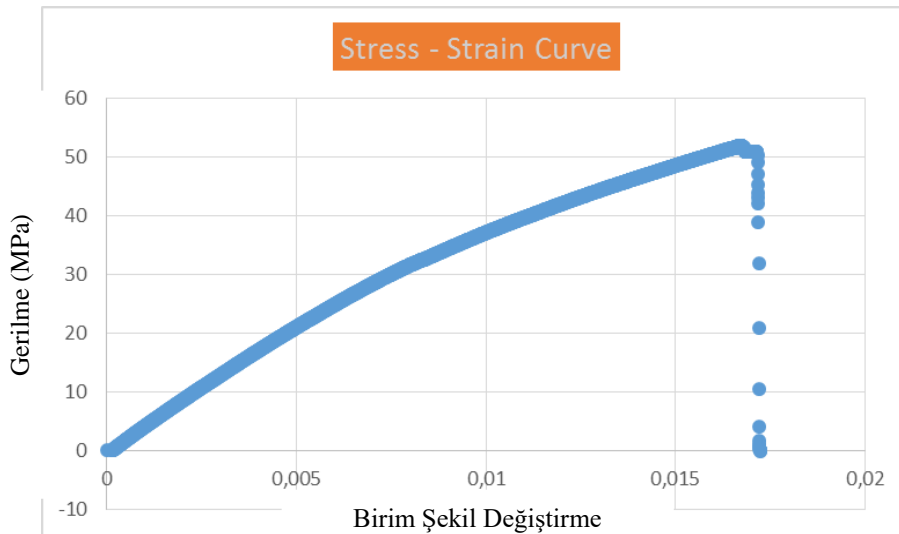
Şekil 4.5. Kuvvet – Uzama Eğrisi

- **Gerilme - Birim Şekil Değişirme**

Kuvvet değerleri sabit olan kesit alana bölünerek Gerilme değerleri bulunmuştur. Ayrıca epsilon (ϵ) değeride sabit olan numune boy ölçüsüne bölünerek değerler bulunmuştur.

$$\sigma = F/A_0$$

$$\epsilon = \Delta L/L_0$$



Şekil 4.6. Gerilme –Birim Şekil Değişirme Eğrisi

- **Akma dayanımı (σ_a):**

Akma dayanımı numune için verilere bakılarak maksimum akma kuvvetin $P_a=1288,303$ N olduğu değerde tespit edilmiştir ve numune kesit alanına bölünerek sonuç elde edilmiştir.

$$\sigma_a = \frac{P_a}{A_0}$$

$$\sigma_{ak} = \frac{1288,303}{24,84} = 51,86 \text{ N/mm}^2$$

- **Çekme dayanımı (σ_ζ):**

Bu dayanım, çekme eğrisindeki en yüksek gerilme değeri olup, aşağıdaki formül yardımıyla bulunmaktadır.

$$\sigma_\zeta = \frac{P_{\max}}{A_0}$$

Malzeme gevrek olduğu için akma noktası, malzemenin maksimum çekme noktasıdır.

Bu yüzden; Çekme kuvveti **$P_\zeta = 1288,303$ N**
 Maksimum Çekme Dayanımı **$\sigma_\zeta = 51,864$ N/mm²**

- **Kopma Gerilmesi (σ_K):**

Malzemenin kopma anındaki gerilme değeridir.

$$\sigma_K = \frac{P_K}{A_0}$$

$P_K = 102,0273$ N $A_0 = 24,84$ mm²

Değerleri formülde yerine konularak; **$\sigma_K = 4,107$ N/mm²** olarak hesaplanmıştır.

- **Yüzde Kopma uzaması (KU):**

Kopma uzaması;

$$KU(\%) = \frac{\Delta L}{L_0} \cdot 100$$

formülü kullanılarak belirlenmektedir. Bu sonuç malzemenin süneklik özelliğini göstermektedir

$\Delta L = 4,1073 \text{ mm}$ olarak okunmuştur.

Yüzde kopma uzaması için değerler formülde yerine yazılarak;

$$KU(\%) = \frac{4,1073}{85} * 100 = 4,832$$

bulunmuştur.

- **Yüzde Kesit Daralması (KD):**

Çekilen malzemenin kesit alanında meydana gelecek en yüksek yüzde daralma veya büzülme oranı olup;

$$KD(\%) = \frac{A_0 - A_K}{A_0} \cdot 100$$

formülü ile hesaplanmaktadır. Bu formülde A_0 numunesinin ilk kesit alanını, A_K değeri ise kırılma esnasındaki kesit alanını veya kırılma yüzeyinin alanını göstermektedir. A_K değerinin hesaplanması için hacim değerinin sabit kalması ibaresi kullanılır.

$$V_0 = V_K \Rightarrow A_0 L_0 = A_K L_K \Rightarrow A_K = A_0 \frac{L_0}{L_K}$$

$$V_0 = A_0 \cdot L_0 = 24,84 \cdot 85 = 2111,4 \text{ mm}^3$$

$$V_K = A_K \cdot L_K = A_K \cdot (85 + 1,462)$$

$$2111,4 \text{ mm}^3 = A_K \cdot 86,1462$$

$$A_K = 24,51 \text{ mm}^2 \quad A_0 = 24,84 \text{ mm}^2$$

$$KD(\%) = \frac{A_0 - A_K}{A_0} \cdot 100 = \frac{(24,84 - 24,51)}{24,84} \cdot 100 = \%1,33$$

4 nolu Karbon Elyaf Numune

Çekme deneyi sonucunda elde edilen numuneye ait Kuvvet-Uzama ve Gerilme-Birim Şekil Değiştirme grafikleri aşağıdaki bölümde verilmiştir.

Çizelge 4.4. Numuneye Ait Ölçüler

Numune Ölçüleri	
En (mm)	10,65
Boy (mm)	85
Kalınlık (mm)	2,3
Kesit Alanı (mm ²)	24,5

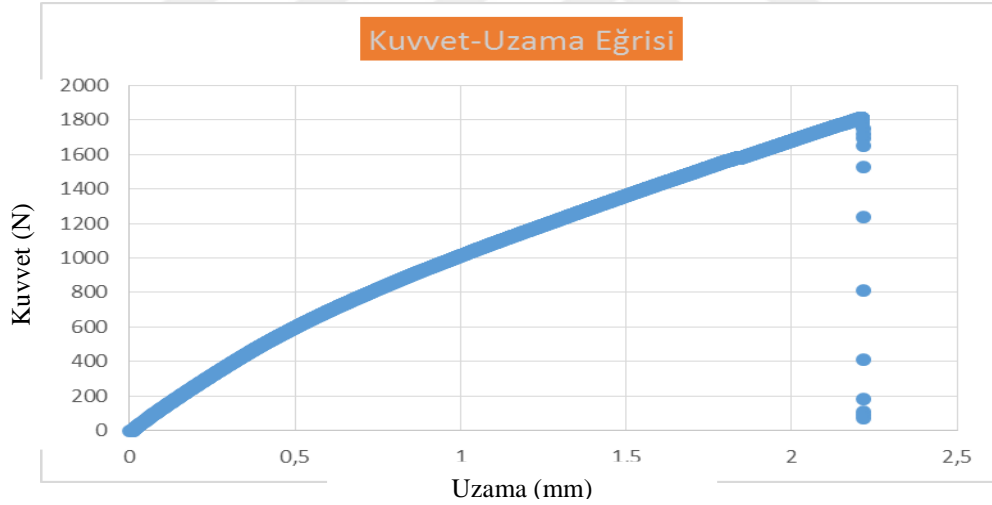
- **Elastisite Modülü (E)**

Elastisite Modülü numuneye ait çekme cihazından alınan Gerilme ve Birim Şekil Değişirme değerlerinin oranından elde edilen maksimum sonuç olarak hesaplanmıştır.

$$E_{max} = 4585,995699 \text{ MPa}$$

- **Kuvvet – Uzama Eğrisi**

Numuneye ait Kuvvet ve Uzama verileri çekme cihazından alınarak eğri çizilmiştir.



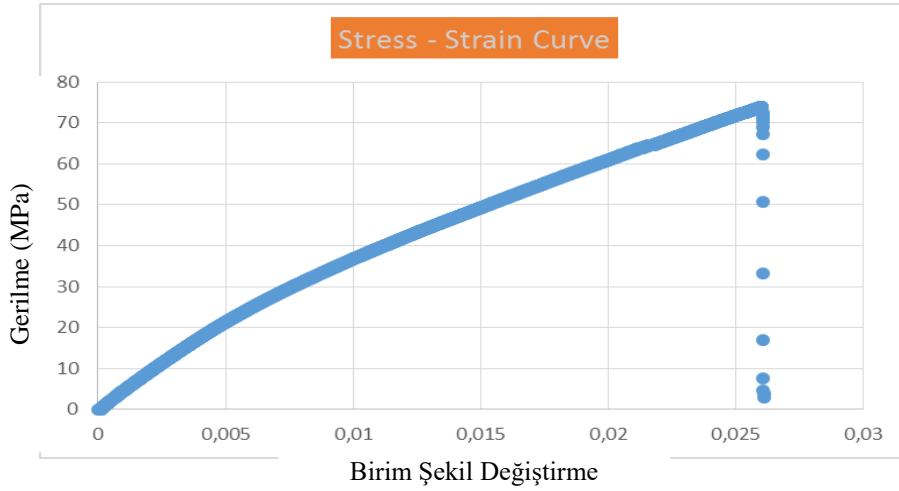
Şekil 4.7. Kuvvet – Uzama Eğrisi

- **Gerilme – Birim Şekil Değişirme**

Kuvvet değerleri sabit olan kesit alana bölünerek Gerilme değerleri bulunmuştur. Ayrıca epsilon (ϵ) değeride sabit olan numune boy ölçüsüne bölünerek değerler bulunmuştur.

$$\sigma = F/A_0$$

$$\epsilon = \Delta L/L_0$$



Şekil 4.8. Gerilme – Birim Şekil Değişirme Eğrisi

- **Akma dayanımı (σ_a):**

Akma dayanımı numune için verilere bakılarak maksimum akma kuvvetin $P_a=1810,217$ N olduğu değerde tespit edilmiştir ve numune kesit alanına bölünerek sonuç elde edilmiştir.

$$\sigma_a = \frac{P_a}{A_0}$$

$$\sigma_{ak} = \frac{1810,217}{24,5} = 73,886 \text{ N/mm}^2$$

- **Çekme dayanımı (σ_ξ):**

Bu dayanım, çekme eğrisindeki en yüksek gerilme değeri olup, aşağıdaki formül yardımıyla bulunmaktadır.

$$\sigma_\xi = \frac{P_{\max}}{A_0}$$

Malzeme gevrek olduğu için akma noktası, malzemenin maksimum çekme noktasıdır.

Bu yüzden; Çekme kuvveti

$$P_\xi = 1810,217 \text{ N}$$

Maksimum Çekme Dayanımı

$$\sigma_\xi = 73,886 \text{ N/mm}^2$$

- **Kopma Gerilmesi (σ_k):**

Malzemenin kopma anındaki gerilme değeridir.

$$\sigma_K = \frac{P_K}{A_0}$$

$$P_K = 73,41703 \text{ N} \quad A_0 = 24,5 \text{ mm}^2$$

Değerleri formülde yerine konularak; $\sigma_K = 2,997 \text{ N/mm}^2$ olarak hesaplanmıştır.

- **Yüzde Kopma uzaması (KU):**

Kopma uzaması;

$$KU(\%) = \frac{\Delta L}{L_0} \times 100$$

formülü kullanılarak belirlenmektedir. Bu sonuç malzemenin süneklik özelliğini göstermektedir

$$\Delta L = 2,996 \text{ mm} \text{ olarak okunmuştur.}$$

Yüzde kopma uzaması için değerler formülde yerine yazılarak;

$$KU(\%) = \frac{2,996}{85} * 100 = 3,525$$

bulunmuştur.

- **Yüzde Kesit Daralması (KD):**

Çekilen malzemenin kesit alanında meydana gelecek en yüksek yüzde daralma veya büzülme oranı olup;

$$KD(\%) = \frac{A_0 - A_K}{A_0} \times 100$$

formülü ile hesaplanmaktadır. Bu formülde A_0 numunesinin ilk kesit alanını, A_K değeri ise kırılma esnasındaki kesit alanını veya kırılma yüzeyinin alanını göstermektedir. A_K değerinin hesaplanması için hacim değerinin sabit kalması ibaresi kullanılır.

$$V_0 = V_K \Rightarrow A_0 L_0 = A_K L_K \Rightarrow A_K = A_0 \frac{L_0}{L_K}$$

$$V_0 = A_0 * L_0 = 24,5 * 85 = 2082,5 \text{ mm}^3$$

$$V_K = A_K * L_K = A_K * (85 + 2,218119)$$

$$2082,5 \text{ mm}^3 = A_K * 87,218119$$

$$A_k = 23,877 \text{ mm}^2 \quad A_o = 24,5 \text{ mm}^2$$

$$KD(\%) = \frac{A_o - A_k}{A_o} \times 100 = \frac{(24,5 - 23,877)}{24,5} \times 100 = \%2,543$$

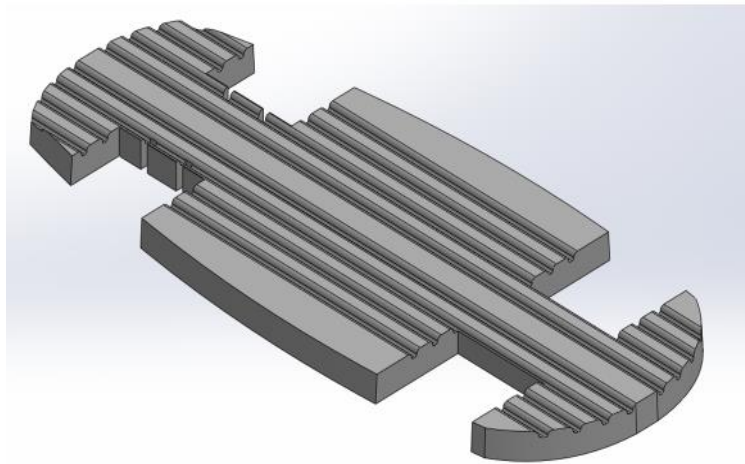
4.2. SolidWorks Kompozit Modülü Analizi

Nümerik hesaplamalarda 6 katman kullanılmıştır. Her katman için 0,4 mm kalınlık alınmıştır. Fiber yönleri 1. Katman için 90, 2. Katman için 0, 3. Katman için 90, 4. Katman için 0, 5. Katman için 90, 6. Katman için 0 derecedir

Çizelge 4.5. Karbon Fiber Katman Özellikleri

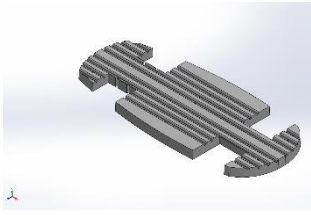
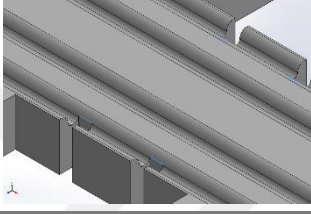
Kat	Kalınlık	Açı	Malzeme
1	0,4	90	Karbon Elyaf
2	0,4	0	Karbon Elyaf
3	0,4	90	Karbon Elyaf
4	0,4	0	Karbon Elyaf
5	0,4	90	Karbon Elyaf
6	0,4	0	Karbon Elyaf

Eleman tipi olarak Shell eleman kullanılmıştır. Matematiksel modelde bu eleman tipinde 20 mm ortalama mesh boyutu alınmıştır. Hesaplamalarımızın sonuçları elementel ve nodal gerilmeler için çıkartılmıştır. Ayrıca tasarım analiz sonuçlarını etkilemeyecek şekilde sadeleştirilmiştir.

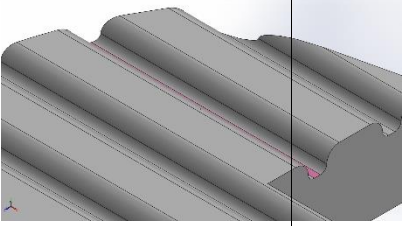
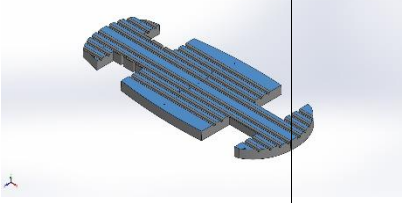


Şekil 4.9. Sadeleştirilmiş Tasarım Modeli

SolidWorks kompozit modülü ile analiz işlemi yapılırken katmanlara ait koordinat sisteminde x, y ve z koordinatların yön tanımlaması önemlidir. Yönlerin tanıtılması kriterleri şu şekildedir;

Fikstür adı	Fikstür Resmi	Fikstür Detayları		
Kayıcı Mesnet-1		Objeler: 22 yüzler Tip: Kayıcı Mesnet		
Sonuç Kuvvetleri				
Bileşenler	X	Y	Z	Sonuç
Tepki kuvveti(N)	8.45803e-005	2574.19	6.07868e-005	2574.19
Tepki Momenti(N.m)	0	0	0	1e-033
Sabitlenmiş-1		Objeler: 4 kenarlar Tip: Sabit Geometri		

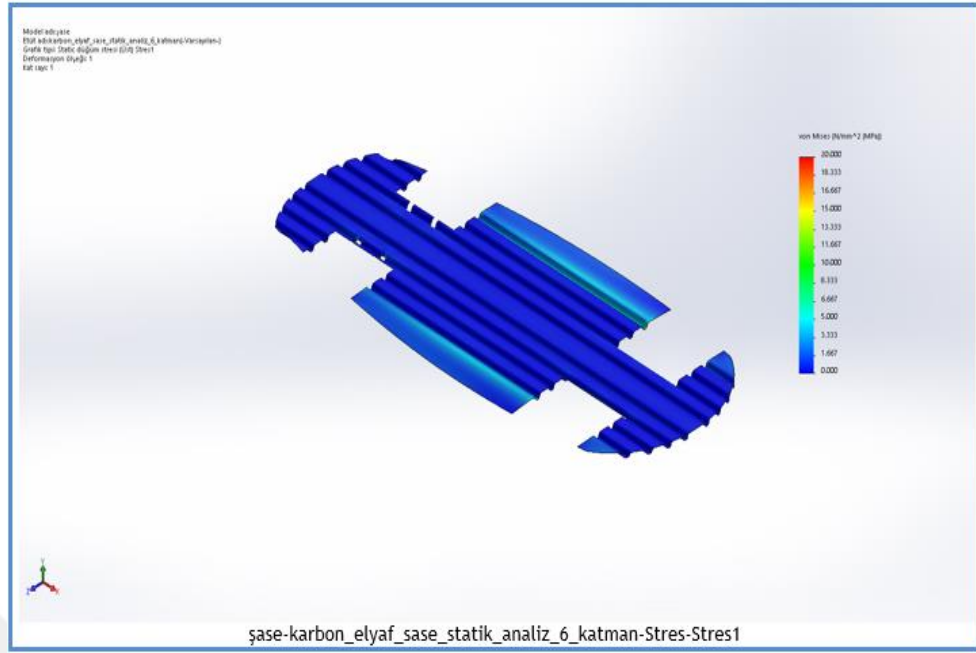
Şekil 4.13. Kuvvet Büyüklüğü ve Sabitleme Noktası

Yük adı	Resim Yükle	Yük Detayları
Yerçekimi-1		Referans: Yüz< 1 > Değerler: 0 -9.81 Birimler: SI
Kuvvet-1		Objeler: 21 yüzler Tip: Normal kuvvet uygula Değer: 2500 N

Şekil 4.14. Yük detayları

Analiz sonuçlarında her katman için ayrı ayrı maksimum gerilme bölgeleri çıkartılmıştır. Bu bölgelerden 4. Katman en büyük gerilmelerin olduğu katmandır. Gerilme yoğunluğunun en yüksek olduğu hattan 2 boyutlu gerilme grafikleri alınmıştır. Bu grafiklere göre hat boyunca 1. Katmanda ortalama 8 MPa, 2. Katmanda 15 MPa, 3. Katmanda 2 MPa, 4. Katmanda 45 MPa, 5. Katmanda 4 MPa, 6. Katmanda 5 MPa olarak ortalama gerilme değerleri elde edilmiştir.

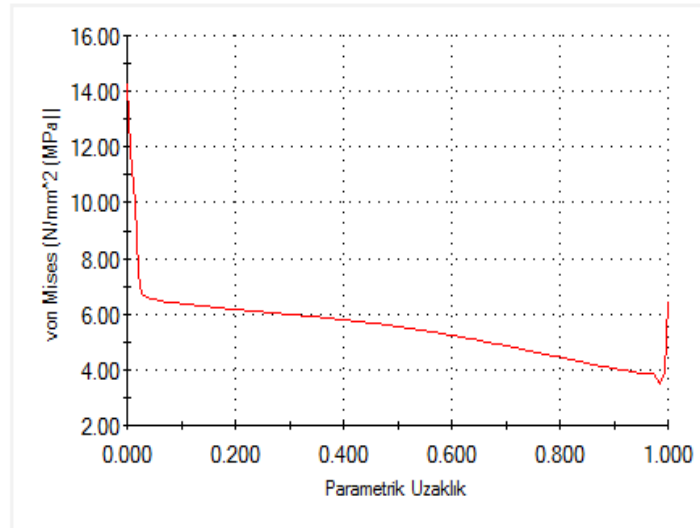
Birinci katmanda ortalama 8 MPa,



Ad	Tip	Min	Maks.
Stres2	VON: von <i>Mises Stresi</i>	0.000919752 N/mm ² (MPa) Düğüm: 6366	47.2399 N/mm ² (MPa) Düğüm: 2495

Şekil 4.15. Birinci Katmana Ait Gerilme Sonucu

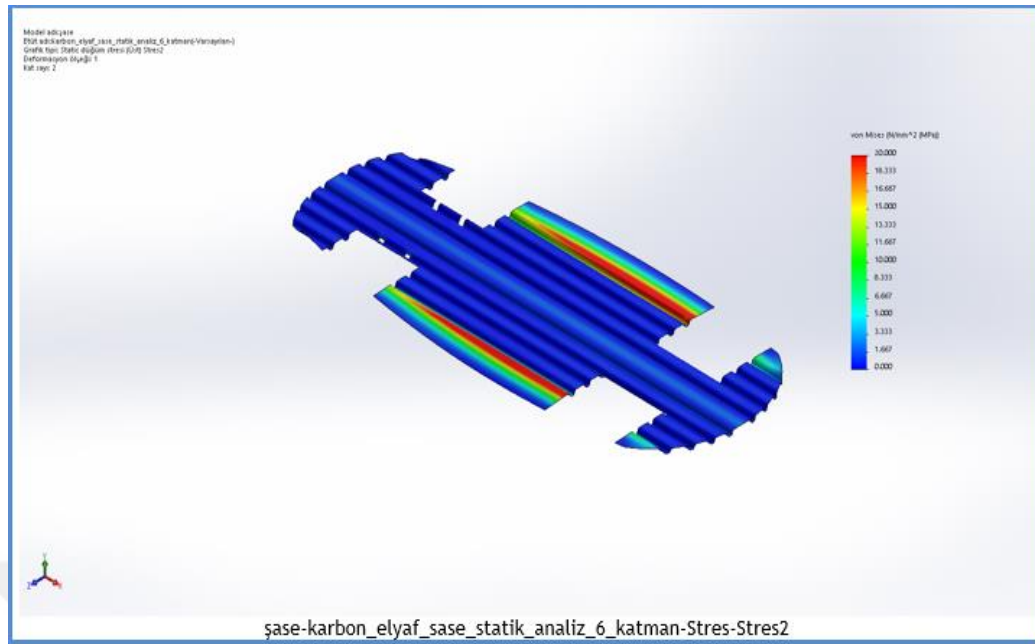
Etüt adı: karbon_elyaf_sase_statik_analiz_6_katman(-Varsayılan)
Grafik tipi: Static düğüm stresi (Üst) Stres1



0, 17.12

Şekil 4.16. Gerilmeye Ait Von Mises Eğrisi

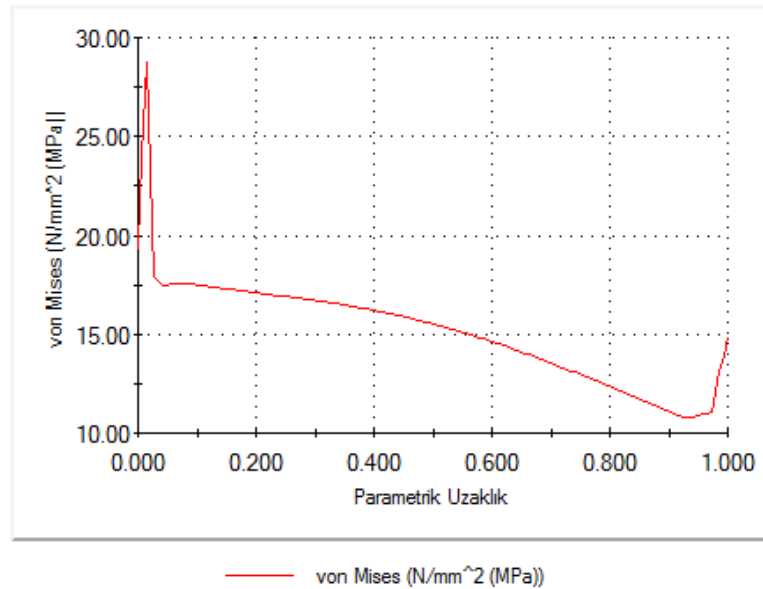
İkinci katmanda 15 MPa,



Ad	Tip	Min	Maks.
Stres2	VON: von Mises Stresi	0,00125738 N/mm ² (MPa) Düğüm: 7497	8,93073 N/mm ² (MPa) Düğüm: 2495

Şekil 4.17. İkinci Katmana Ait Gerilme Sonucu

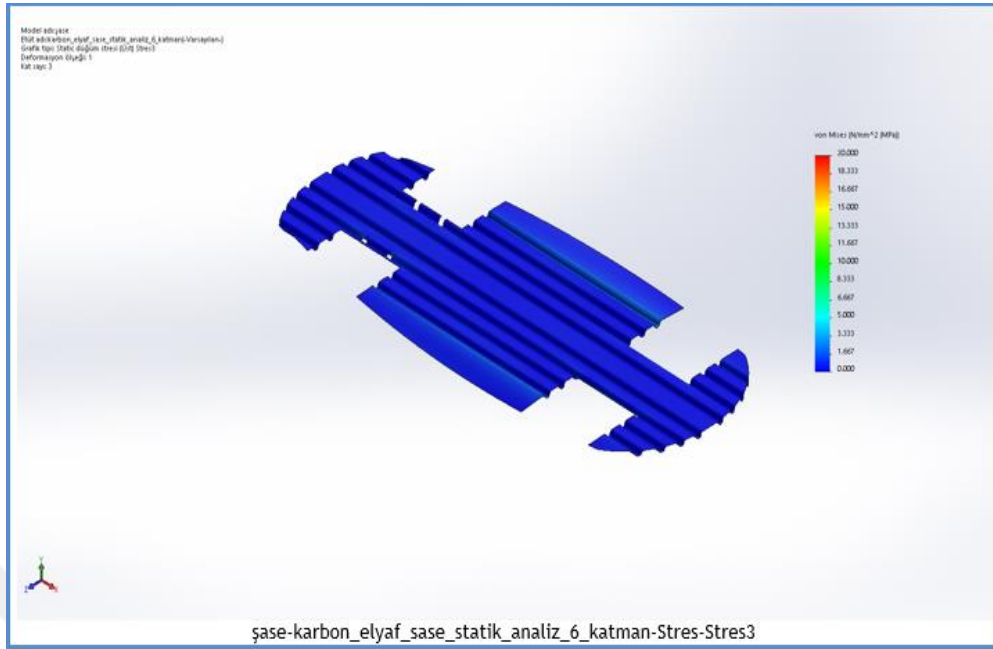
Etüt adı: karbon_elyaf_sase_statik_analiz_6_katman(-Varsayılan-)
Grafik tipi: Static düğüm stresi (Üst) Stres2



-0.0955224, 31.6

Şekil 4.18. Gerilmeye Ait Von Mises Eğrisi

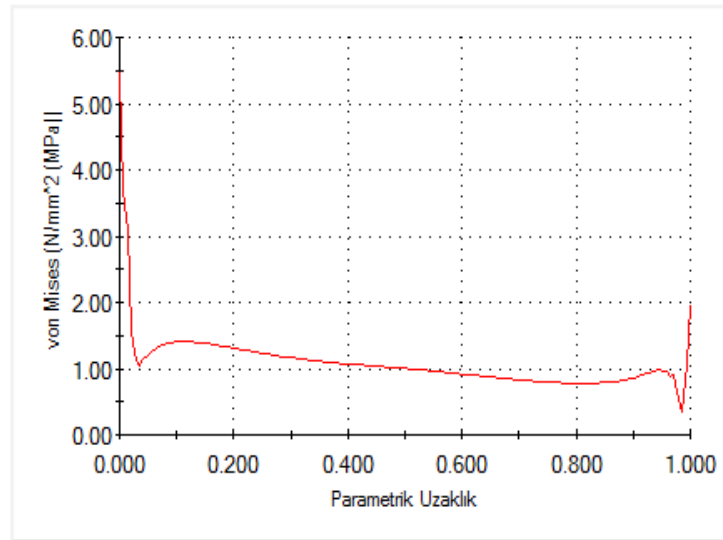
Üçüncü katmanda 2MPa,



Ad	Tip	Min	Maks.
Stres4	VON: von <u>Mises Stresi</u>	0.00112426 N/mm ² (MPa) Düğüm: 7154	62.2079 N/mm ² (MPa) Düğüm: 2494

Şekil 4.19. Üçüncü Katmana Ait Gerilme Sonucu

Eüt adı: karbon_elyaf_sase_statik_analiz_6_katman(-Varsayilan-)
Grafik tipi: Static düğüm stres (Üst) Stres3

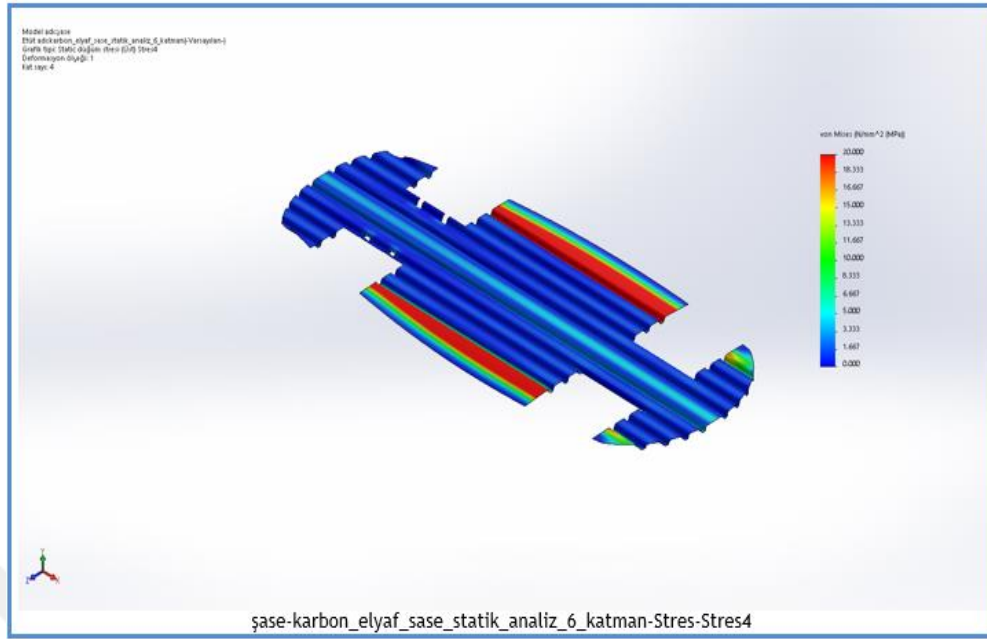


— von Mises (N/mm² (MPa))

-0.190058, 6.48

Şekil 4.20. Gerilmeye Ait Von Mises Eğrisi

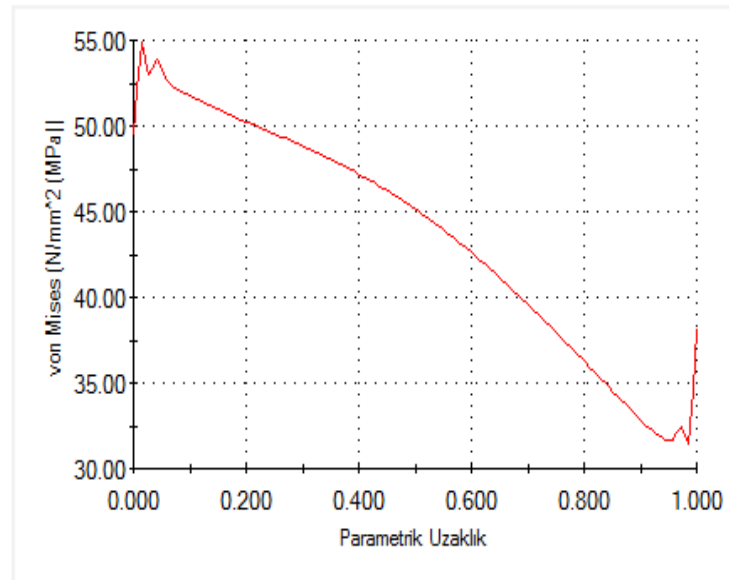
Dördüncü katmanda 45 MPa,



Ad	Tip	Min	Maks.
Stres4	VON: von Mises Stresi	0,00168805 N/mm ² (MPa) Düğüm: 43037	20,0663 N/mm ² (MPa) Düğüm: 2494

Şekil 4.21. Dördüncü Katmana Ait Gerilme Sonucu

Eğüt adı: karbon_elyaf_sase_statik_analiz_6_katman(-Varsayılan-)
Grafik tipi: Static düğüm stres (Üst) Stres4

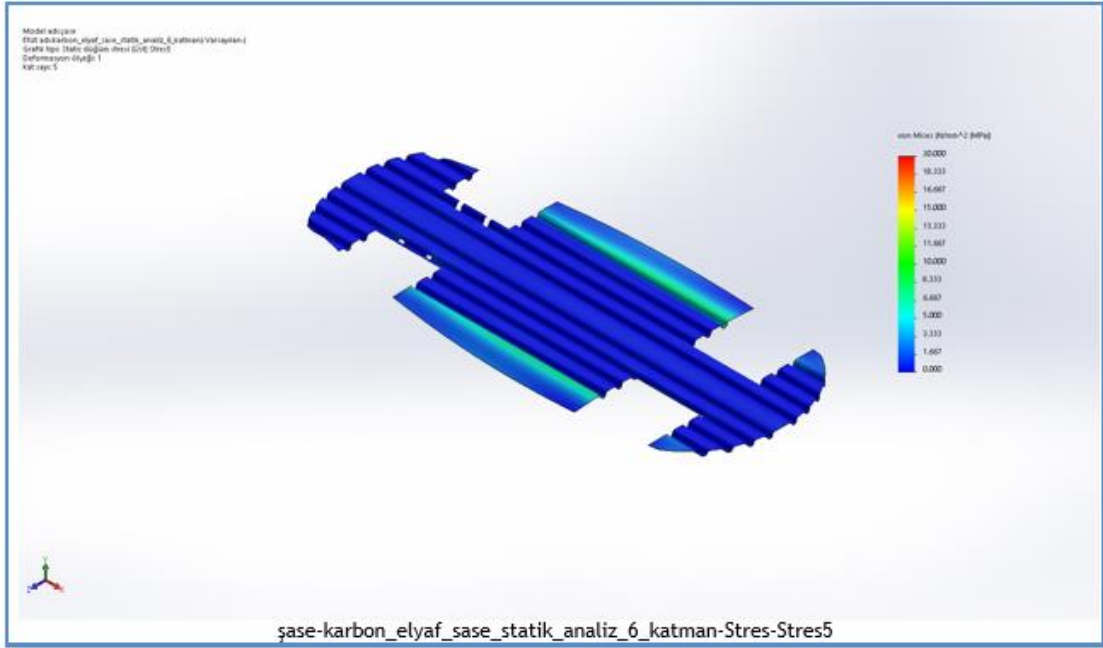


— von Mises (N/mm² (MPa))

-0.080597, 57

Şekil 4.22. Gerilmeye Ait Von Mises Eğrisi

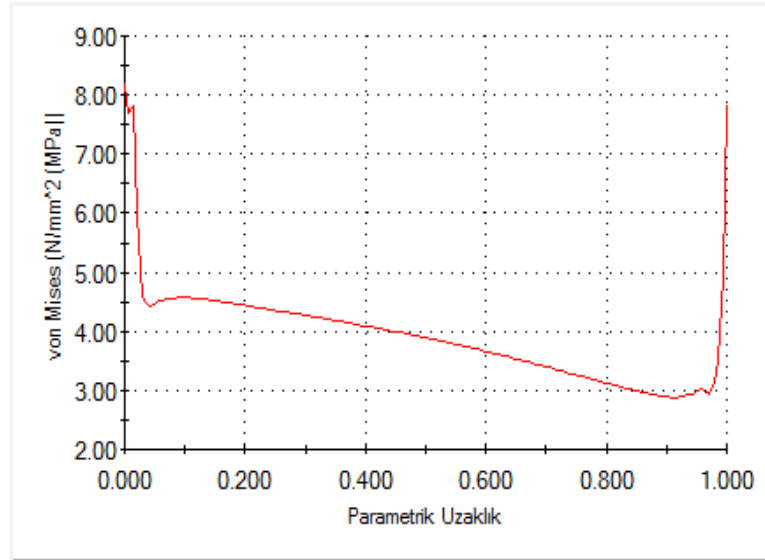
Beşinci katmanda 4 MPa,



Ad	Tip	Min	Maks.
Stres6	VON: von <u>Mises Stresi</u>	0.00340589 N/mm ² (MPa) Düğüm: 43044	28.4412 N/mm ² (MPa) Düğüm: 2494

Şekil 4.23. Beşinci Katmana Ait Gerilme Sonucu

Etüt adı: karbon_elyaf_sase_statik_analiz_6_katman(-Varsayılan-)
Grafik tipi: Static düğüm stresi (Üst) Stres5

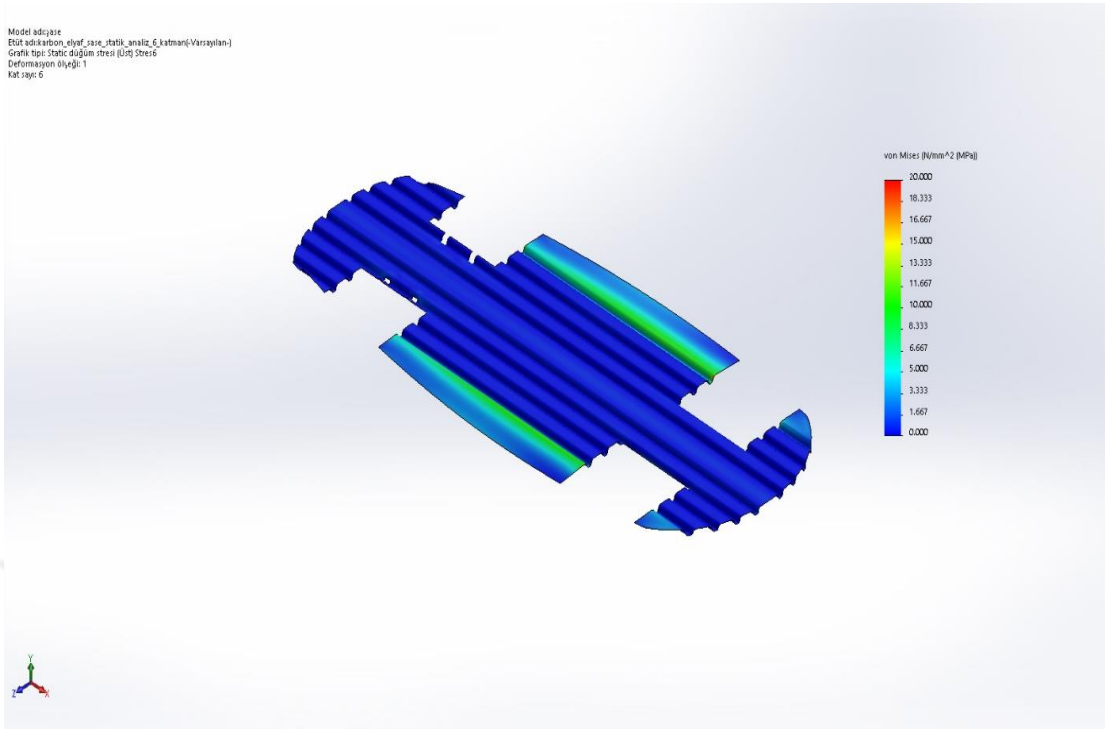


— von Mises (N/mm² (MPa))

-0.0204678, 9.34222

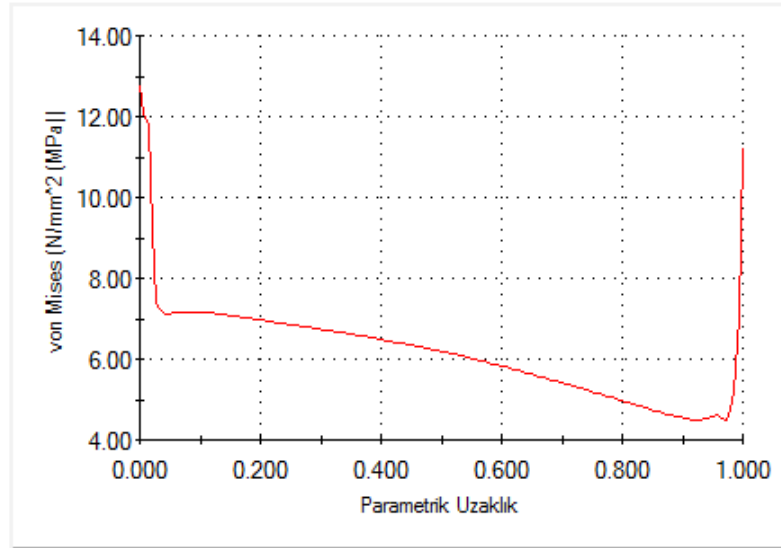
Şekil 4.24. Gerilmeye Ait Von Mises Eğrisi

Altıncı katmanda 5 MPa,



Şekil 4.25. Altıncı Katmana Ait Gerilme Sonucu

Etüt adı:karbon_elyaf_sase_statik_analiz_6_katman(-Varsayılan-)
Grafik tipi: Static düğüm stresi (Üst) Stres6

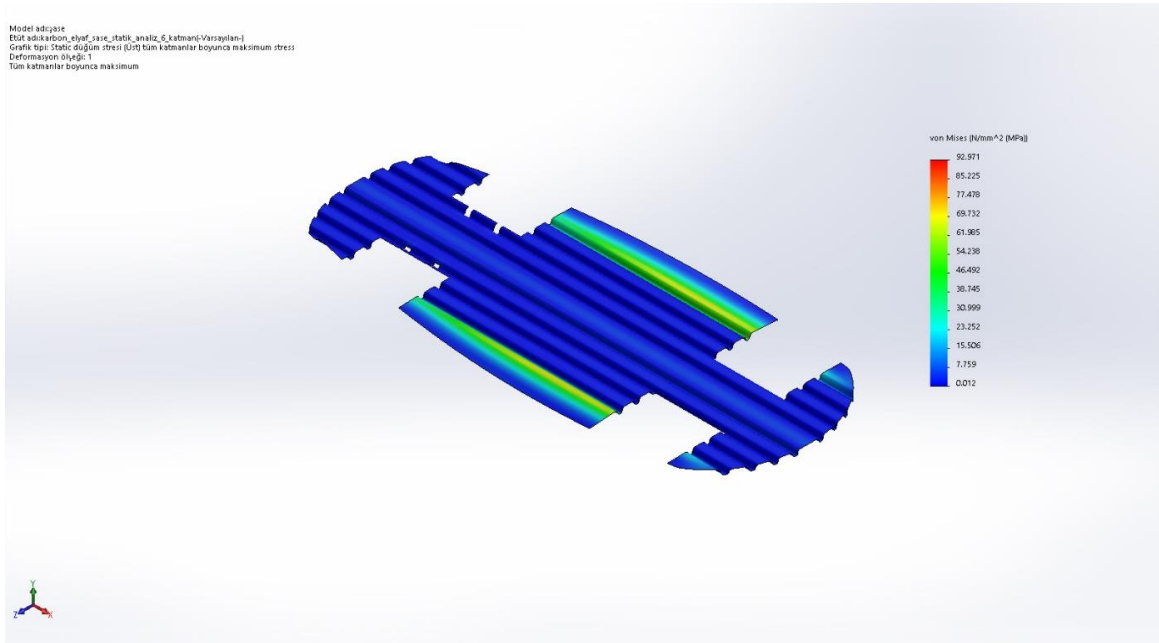


— von Mises (N/mm² (MPa))

-0.191045, 14.7556

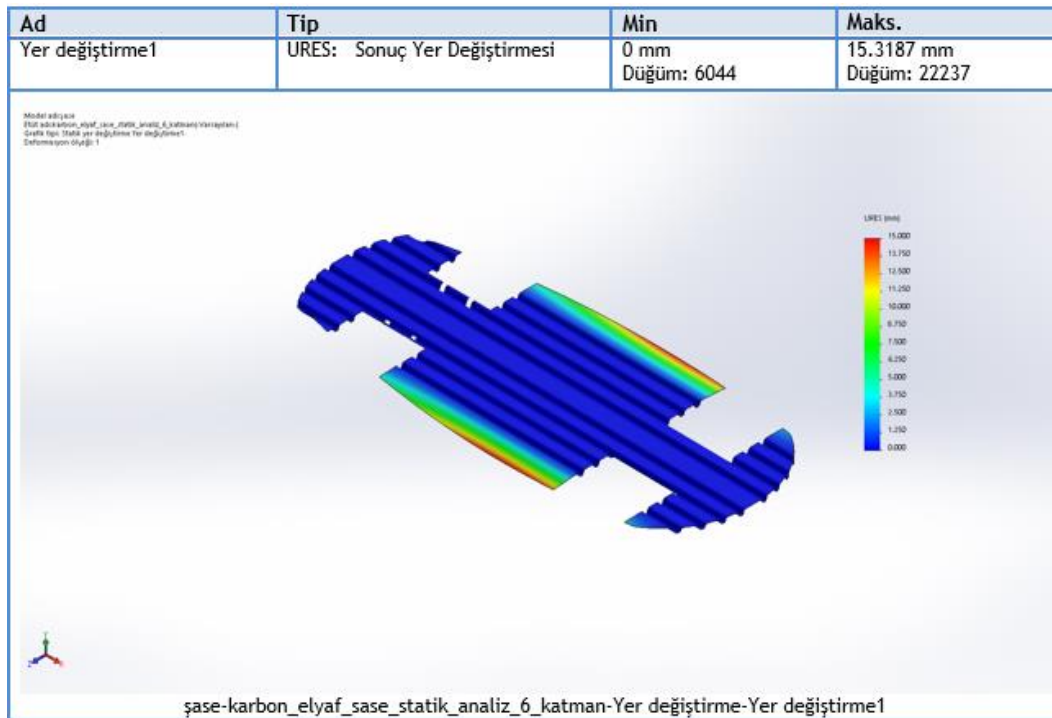
Şekil 4.26. Gerilmeye Ait Von Mises Eğrisi

Tüm katmanlar boyunca oluşan maksimum gerilmeler aşağıdaki şekilde görülmektedir.



Şekil 4.27. Bütün Katmanlara Ait Maksimum Gerilme Sonucu

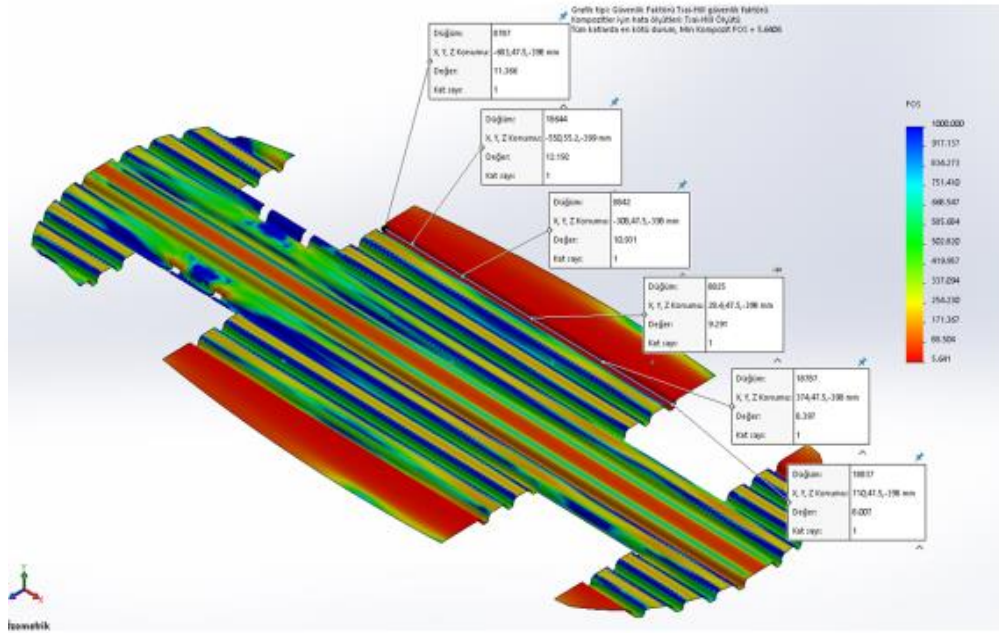
Analizler sonucunda, şasemiz 15 mm y ekseninde maksimum yer değiştirme olduğu gözlenmiştir ve bu değer in çıktığı bölge çok küçük bir aralıktadır.



Ad	Tip	Min	Maks.
Gerinim1	ESTRN: Eşdeğer Gerilme	1.24893e-007 Eleman: 13456	0.000600509 Eleman: 15475

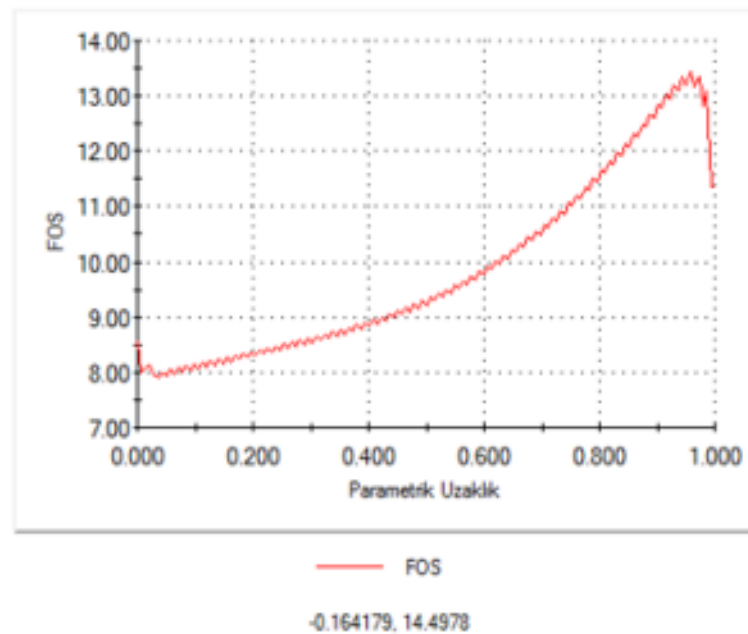
Şekil 4.28. Şasi Üzerinde Yer Değişime Ait Görsel

Hasar kriteri olarak Tsai-Hill kullanılmıştır. Bu kritere göre emniyet katsayısı hesaplandığında şaseimiz en az 5 kat güvenlidir. Ayrıca, 100 kat güvenli olduğu bölgeler yoğunluktadır. Gerilmenin en yüksek olduğu 1. Bölgeden emniyet katsayısı grafiği alındığında ortalama 12 kat güvenli çıkmaktadır.



Şekil 4.29. Tsai-Hill Hasar Kriterine Ait Görsel

Etüt adı: karbon_elyaf_sase_statik_analiz_6_katman(-Varsayılan-)
Grafik tipi: Güvenlik Faktörü Tsai-Hill güvenlik faktörü



Şekil 4.30. Tsai-Hill Hasar Kriterine Ait Grafik

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

5.1 Sonuçlar

Bu tez çalışması, elektromobil kompozit şase tasarım ve imalatının yapılması, üretim öncesinde kullanılan karbon - cam fiber kumaşlara ait çekme numunelerin hazırlanması ve çekme numunelerinin revizyonu gerçekleştirilmiş olan çekme cihazı yardımı ile yorumlanması gibi konularını içermektedir.

- ✓ Elektromobil kompozit şase için tasarlanan model ve ona uygun olarak imalatı gerçekleştirilen kalıp uygun hassasiyetlere sahip olarak imal edilmiştir.
- ✓ Şasenin imalatında kullanılan malzemelerin analiz programları yardımı ile gerekli malzeme kalınlıklarının tespit edilmesi sağlanmıştır.
- ✓ Kalıp içerisinde üretimi gerçekleştirilen kompozit şasenin, el yatırma yöntemi kullanılarak istenilen özellik ve yapıya sahip olması sağlanmıştır.
- ✓ Kompozit şasenin üretiminde kullanılan Vakum infüzyon yöntemi ile numuneler istenilen özelliklere sahip olarak üretilmiştir.
- ✓ Revizyonu tez çalışması süresince gerçekleştirilen çekme cihazının uygunluğunun ve doğruluğunun görülmesi sağlanmıştır.

El yatırma metodu ile üretilen Karbon fiber kumaş takviyeli malzemenin mekanik özelliklerinin belirlenmesine yönelik olarak yapılan çekme deneylerinde malzemenin lineer elastik bir davranış gösterdiği ve gevrek kırılma sergilediği tespit edilmiştir. Yapılan deneysel çalışmalarda elyaf hacim oranı arttıkça, elastisite modülünün arttığı, Poisson oranının ve yüzde uzamanın (sünekliğin) azaldığı tespit edilmiştir. Malzeme elastisite modülünün elde edilmesine yönelik olarak yapılan deneysel çalışmalarda bu sonuçlara ulaşılmıştır.

Bu çalışmada malzeme mekanik özellikleri deneysel olarak incelenmiştir.

Yapılan çalışmalara göre:

- ✓ El yatırma metodu ile üretilen CRTP malzeme lineer elastik davranış göstermekte ve gevrek kırılma sergilemektedir.
- ✓ Deneysel çalışmalar ve hesaplamalar; elyaf hacim oranı arttıkça, Elastisite modülünün arttığını göstermiştir.

- ✓ El yatırma metodu ile üretilen CRTP malzeme mekanik özelliklerinin elyaf hacim oranlarına bağlı olduğu ve elyaf hacim oranlarını değiştirmek sureti ile istediğimiz mekanik özelliklere sahip malzeme üretilebileceği tespit edilmiştir.

5.2 Öneriler

Kompozit yapıda liflerin hatalı yönleneşmesi, elyaf - matris arasındaki oluşun bağıın iyi olmayışı, elyafın matris içerisinde uniform dağılmayışısı, matrisi oluşturan plastiğın erken jelleşmesi sırasında içyapıda oluşun iç gerilmeler ve kompoziti oluşturan malzemelerin mekanik özellikleri gibi faktörler kompozit malzemenin çekme dayanımı olumsuz yönde etkilemektedir. Uygulamadaki bu hatalar azaltıldıkça kompozit malzeme deneylerinden elde edilen veriler daha doğru sonuçlara vereceğı düşünölmektedir.

CRTP sektöründe her geçen gün mevcut malzemelerin iyileştirilmesine yönelik çalışmalar yapılmaktadır. Bu malzemeyi ön plana çıkaran özelliklerden biri de istenilen özelliklerde üretilebilme imkânı sunmasıdır. CRTP'lerin mukavemetini değiştirmek için içerisindeki elyaf hacim oranlarının değiştirmek en etkili yöntemlerden bir tanesi olduğu bilinmektedir.

Kompozit malzeme üretiminde oluşabilecek hataların azaltılması neticesinde deney sonuçlarının daha doğru sonuçlar doğuracağı bilinmektedir.

KAYNAKLAR

1. Olmuş, U., 2014, İnternet kaynağı [online], Çukurova Üniversitesi Elektromobil Aracı, Çukurova Üniversitesi, https://prezi.com/exvyty_gpiap/cukurova-universitesi-elektromobil-araci/ [Ziyaret Tarihi: 15.07.2017]
2. Yeter, A., 2010, Otomotiv Sanayiinde Kullanılan Polimerik Malzemeler, Kale Oto Radyatör San. Tic. A.Ş.,
https://biltek.sanayi.gov.tr/Bilimsel%20almalarmz/Otomotiv_Plastikleri.pdf
3. Yaylacı, E., 2011, İnternet Kaynağı [online], Otomobillerde Kullanılan Pmk Malzemeler, <http://eyupyaylaci.com/otomobillerde-kullanilan-pmk-malzemeler/> [Ziyaret Tarihi: 15.07.2017]
4. İnternet kaynağı [online], <http://elektromobil.nedir.net.tr/> [Ziyaret Tarihi: 15.07.2017]
5. İnternet Kaynağı [online], <http://www.otovolt.com/elektrikli-otomobil-nedir/> [Ziyaret Tarihi: 15.07.2017]
6. Özen, Y. D. Kompozit Malzeme Üretim Yöntemleri. Şanlıurfa.
7. İnternet kaynağı [online], <http://www.zinisan.com.tr/html/kompozit.pdf> [Ziyaret Tarihi: 15.07.2017]
8. Aran, P. Metal Matrisli Kompozit Malzemeler, İstanbul.
9. Onat, D. D., 2015, Kompozit Malzemeler Ders Notu, Sakarya Meslek Yüksekokulu Makina Ve Metal Teknolojileri Bölümü Metalurji Programı, Sakarya
10. İnternet kaynağı[online],
http://abis.bozok.edu.tr/dosya/dosyalar/120/2_%20Takviye%20ve%20Matris%20Malzemeleri.pdf [Ziyaret Tarihi: 15.07.2017]
11. Eker, P. A., 2014, Kompozit Malzemeler, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul
12. ÜNAL, Y. D., (tarih yok), KOMPOZİT MALZEMELER.
13. Kompozit Malzeme Üretim Yöntemleri,
<http://www.deu.edu.tr/userweb/mehmet.aktas/Kompozit%20Malzemeler/Ders%20%203/3.pdf> [Ziyaret Tarihi: 15.07.2017]
14. Teknik Tekstil,Kompozit Üretim Yöntemleri,

<http://tekstilteknik.blogspot.com.tr/p/kompozit-uretim-yontemleri.html> [Ziyaret Tarihi: 15.07.2017]

15. Kompozit Üretim Yöntemleri,

http://kisi.deu.edu.tr/cesim.atas/kompozit/4_%20Uretim%20Yontemleri.pdf
[Ziyaret Tarihi: 15.07.2017]

16. http://kisi.deu.edu.tr/cesim.atas/kompozit/4_%20Uretim%20Yontemleri.pdf

17. Genç, Ç., 2006, Cam Elyaf Takviyeli Plastiklerin Üretim Yöntemlerinin Deneysel Karşılaştırması, Yüksek Lisans, Kocaeli Üniversitesi

18. Mangino, E., 2004, “The Research Requirements of The Transport Sectors to Facilitate An Increased Usage of Composite Materials”, Centro Ricerche Fiat

19. Genç, Ç., Arıcı, A.A., 2008, “Yat İmalatında Kullanılan CTP Malzeme ve İmalat Yöntemleri Bölüm III: Infüzyon Yöntemi”, Gemi ve Deniz Teknolojisi Dergisi, Sayı: 178, s.16-21

20. Yurttaş, Ç., Afşar, E., 2000, “CTP Teknolojisi”, 4. basım, Cam Elyaf, 8-44

21. Gören, Y., A, Arslan, Y., 2015, Güneş Enerjili Araç Şasisinde Kompozit Levha Kullanımı, Dokuz Eylül Üniversitesi,
<http://www.putech-composites.com/Haber/Gunes-Enerjili-Arac-Sasisinde-Kompozit-Levha-Kullanimi.html>

22. Bayrak, A., Türkuzan, M., 2014, İnternet Kaynağı [online], Otomobil Bileşenleri Şase, <http://muhendisbeynesivar.blogspot.com.tr/2014/03/otomobil-bilesenleri-1-sase.html> [Ziyaret Tarihi: 15.07.2017]

23. Özgür, Ö., B, Gören, Ö., A., Polat, C., Güneş Enerjisi ile Çalışan Araç İçin Monokok Kompozit Gövde Tasarımı ve İmalatı,
http://www1.mmo.org.tr/resimler/dosya_ekler/4c4c17332cace21_ek.pdf?dergi..
[Ziyaret Tarihi: 15.07.2017]

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : ERHAN ŞAN
Uyruğu : T.C.
Doğum Yeri ve Tarihi : ELBİSTAN 09.11.1991
Telefon : 0541 906 46 70
Faks :
e-mail : erhansan70@gmail.com

EĞİTİM

Derece	Adı, İlçe, İl	Bitirme Yılı
Lise	: Özel İlkem Güneş Lisesi	2009
Üniversite	: Karabük Üniversitesi Makine Mühendisliği	2015
Yüksek Lisans	: Necmettin Erbakan Üniversitesi Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı	2017
Doktora	:	

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görevi
2015 - 2016	Konpar Dış Ticaret Ltd Şti	Üretim Sorumlusu
2016 - 2017	Saf Kompozit Makina Enerji San. Ve Tic. Ltd. Şti.	AR-GE Mühendisi
2017-2017	Mepsan Petrol Cihazları A.Ş.	Üretim Koordinatörü

UZMANLIK ALANI

Kompozit Üretim Yöntemlerinden Filament Sarım Tekniğinde Yapılan Çalışmalar

YABANCI DİLLER

İngilizce