

**OTOMOTİV TAŞIYICI PARÇALARINDA KULLANILAN ELYAF TAKVİYELİ
KETEN KOMPOZİTLERİN BİRLEŞTİRME YÖNTEMLERİNİN
ARAŞTIRILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Göksu ŞENTÜRK

Danışman

Prof. Dr. Hüseyin BAYRAKÇEKEN

OTOMOTİV MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİ DALI

Temmuz 2024

AFYON KOCATEPE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**OTOMOTİV TAŞIYICI PARÇALARINDA KULLANILAN ELYAF
TAKVİYELİ KETEN KOMPOZİTLERİN BİRLEŞTİRME
YÖNTEMLERİNİN ARAŞTIRILMASI**

Göksu ŞENTÜRK

Danışman

Prof. Dr. Hüseyin BAYRAKÇEKEN

OTOMOTİV MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

TEMMUZ 2024

TEZ ONAY SAYFASI

Göksu ŞENTÜRK tarafından hazırlanan “Otomotiv Taşıyıcı Yapılarında Kullanılan Elyaf Takviyeli Keten Kompozitlerin Birleştirme Yöntemlerinin Araştırılması” adlı tez çalışması lisansüstü eğitim ve öğretim yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca 04 / 07 / 2024 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından **oy birliği** ile Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Otomotiv Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Danışman : Prof. Dr. Hüseyin BAYRAKÇEKEN

Başkan : Prof. Dr. Mustafa ACARER
Selçuk Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi

..... İmza

Üye : Dr. Öğr. Üyesi İ. Sinan ATLI
Afyon Kocatepe Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi

.....İmza.....

Afyon Kocatepe Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu’nun
..... /..... /..... tarih ve
..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

.....

Prof. Dr. Bekir YALÇIN

Enstitü Müdürü

BİLİMSEL ETİK BİLDİRİM SAYFASI

Afyon Kocatepe Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- Atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,

Ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

beyan ederim.

04 / 07 / 2024

İmza

Göksu ŞENTÜRK

ÖZET
Yüksek Lisans Tezi

**OTOMOTİV TAŞIYICI PARÇALARINDA KULLANILAN ELYAF TAKVİYELİ KETEN
KOMPOZİTLERİN BİRLEŞTİRME YÖNTEMLERİNİN ARAŞTIRILMASI**

Göksu ŞENTÜRK

Afyon Kocatepe Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Otomotiv Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Hüseyin BAYRAKÇEKEN

Otomotiv sektöründe artan konfor istekleri, mühendisleri yeni arayışlara sürüklemiş; taşıtlarda maliyet düşürme ve ağırlık azaltma gibi çalışmalar, kompozit malzemelerin taşıtlarda kullanımının artmasına yol açmıştır. Kompozit malzemeler hafifliklerinin yanı sıra dayanıklılıkları ve görsel hitabetleri ile de öne çıkmasından dolayı taşıtlarda; dış trim, taşıyıcı gövde, direkler ve kapı panelleri gibi bölgelerde yoğun olarak kullanılmaya başlanmıştır. Bu çalışma kapsamında, keten fiber destekli kompozit numuneler vakum torbalama yöntemi ile üretilmiştir. Üretilen numuneler gerekli hizalamalar yapıldıktan sonra plakalar üretilmiş ve ASTM5868 standardının belirlemiş olduğu ölçülere uygun olacak şekilde kesilerek birleşimleri de yine bu norma uygun şekilde yapılmıştır. Deney sonuçlarına göre; mekanik birleştirme türü olan pop perçin ve ezme perçin metodunun çekme mukavemetleri 97,4 ve 96,9 MPa olarak hesaplanmıştır. Üçüncü birleştirme metodu olan yapıştırıcı ile birleştirme prosesinin çekme dayanımı ise 2,78 MPa olarak hesaplanmıştır.

2024, ix + 48 sayfa

Anahtar Kelimeler: Kompozit, Keten, Doğal fiber, Birleştirme

ABSTRACT

M.Sc. Thesis

RESEARCHING OF JOINING METHODS OF FİBER REİNFORCED FLAX COMPOSİTES USED İN AUTOMOTİVE CARRİER PARTS

Göksu ŞENTÜRK

Afyon Kocatepe University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department Of Automotive Engineering

Supervisor: Prof. Dr. Hüseyin BAYRAKÇEKEN

Increasing comfort demands in the automotive industry have led engineers to new searches; Studies such as cost reduction and weight reduction in vehicles have led to an increase in the use of composite materials in vehicles. Composite materials are used in vehicles because they stand out with their durability and visual appeal as well as their lightness; It has begun to be used extensively in areas such as exterior trim, carrier body, pillars and door panels. Within the scope of this study, flax fiber reinforced composite samples were produced by vacuum bagging method. After the necessary alignments of the produced samples were made, the plates were produced and cut in accordance with the dimensions determined by the ASTM 5868 standard, and their joints were also made in accordance with this norm. According to the test results; tensile strengths of the pop rivet and crush rivet methods, which are mechanical joining types, were calculated as 97.4 and 96.9 MPa. The tensile strength of the third joining method, the adhesive joining process, was calculated as 2.78 MPa.

2024, ix + 48 pages

Key Words: Composite, Flax, Natural Fiber, Joining

TEŐEKKÖR

Bu araştırmanın konusu, deneysel alışmaların y nlendirilmesi, sonuların değerlendirilmesi ve yazımı aşamasında yapmış olduğu büyük katkılarından dolayı tez danışmanım Sayın Prof. Dr. Hüseyin BAYRAKÇEKEN, araştırma, uygulama ve test aşamalarında yardımlarını esirgemeyen Amperino Otomotiv şirketi ve değerli çalışanlarına, her konuda öneri ve eleştirileriyle yardımlarını gördüğüm hocalarıma ve arkadaşlarıma teőekk r ederim.

Bu araştırma boyunca maddi ve manevi desteklerinden dolayı aileme teőekk r ederim.

Göksu şENTüRK

Afyonkarahisar 2024

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
İÇİNDEKİLER DİZİNİ	iv
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ	ix
1. GİRİŞ	1
1.1 Kompozit Malzemeler	1
1.1.1 Kompozit Malzemelerin Yapısı	2
1.1.1.1 Matris Fazı.....	2
1.1.1.2 Takviye Fazı	4
1.2 Kompozit Üretim Yöntemleri.....	5
1.2.1 Açık Kalıp Üretim Yöntemleri	5
1.2.1.1 El Yatırma Yöntemi	5
1.2.1.2 Püskürtme Yöntemi.....	6
1.2.1.3 Elyaf (Filament) Sarma Tekniği.....	6
1.2.2 Kapalı Kalıp Üretim Yöntemleri.....	7
1.2.2.1 Reçine Transfer Kalıplama (RTM) Yöntemi	7
1.2.2.2 Vakum İnfüzyon Yöntemi.....	8
1.2.2.3 Vakum Torbalama Yöntemi.....	9
1.2.2.4 Sıcak Presleme Yöntemi (SMC-BMC-Prepreg)	9
1.2.2.5 Pultrüzyon Yöntemi	9
1.2.2.6 Sürekli Laminasyon Yöntemi.....	10
1.2.2.7 Reaksiyonlu Üretim (SRIM, RRIM).....	10

1.3 Yeşil Kompozit.....	11
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI.....	12
2.1 Otomotiv Sektöründe Kompozit Malzemeler Üzerinde Yapılan Ar-Ge Çalışmaları.....	12
2.2 Otomotiv Sektöründe Doğal Elyaf Takviyeli Kompozitleri Kullanan Firmalar	16
2.2.1 Doğal Elyaf Takviyeli Kompozitlerin Otomotiv Gövdelerinde Kullanımı	17
2.2.2 Doğal Elyaf Takviyeli Kompozitlerin Otomotiv Trim Panellerinde Kullanımı	19
2.3 Birleştirme Literatürü	21
2.3.1 Mekanik Birleştirme	21
2.3.2 İkincil Birleştirme	22
3. MATERYAL METOD	24
3.1 CAD Tasarımı.....	24
3.1.1 Deney Plakalarının Modellenmesi	25
3.1.2 Birleştirmelerin Modellenmesi	26
3.2 Üretim ve İmalat.....	27
3.2.1 Deney Plakalarının Üretimi	27
3.2.1.1 Deney Sisteminin kurulumu ve hazırlık aşaması	28
3.2.1.2 Deneyin Uygulanması ve Sistemin Çalışması	30
3.2.1.3 Kırılma ve Nihai Ürün Aşaması	32
3.2.2 Kesim ve Montaj.....	33
3.2.3 Mekanik Birleştirme	33
3.2.4 İkincil Birleştirme	36
4- BULGULAR.....	40
4.1 Mekanik Birleştirme	40
4.2 İkincil Birleştirme.....	40
5- TARTIŞMA VE SONUÇ	42
6- KAYNAKLAR	43
ÖZGEÇMİŞ	46

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler

%	Yüzde
°	Derece
°C	Santigrat Derece
mm	Milimetre
MPa	Megapascal
N	Newton
g/cm ³	Gram / santimetreküp
CO ₂	Karbondiyoksit
mmHg	Milimetre cıva

Kısaltmalar

ASTM	Amerikan Test ve Malzeme Kurumu
BMC	Yığın Kalıplama Bileşeni
CAD	Bilgisayar Destekli Tasarım
NCAP	Avrupa Yeni Araç Programı
NFC	Doğal Elyaf Takviyeli Kompozit
RTM	Reçine Transfer Metodu
RIM	Reaksiyon Enjeksiyon Kalıplama
SMC	Plaka Kalıplama Bileşeni

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1	Takviye çeşitleri ve matris yapısı	2
Şekil 1.2	Termoset matris olarak epoksi reçine örneği	4
Şekil 1.3	Kompozit malzemelerde form çeşitleri.....	5
Şekil 1.4	El yatırma yöntemi.....	6
Şekil 1.5	Püskürtme tekniği şematik biçimi.....	6
Şekil 1.6	Elyaf sarma düzeneği ve tekniği	7
Şekil 1.7	RTM metodu.....	8
Şekil 1.8	Vakum infüzyon yöntemi	8
Şekil 1.9	Sıcak presleme şematizasyonu.....	9
Şekil 1.10	Pultrüzyon hattı.....	10
Şekil 1.11	Sürekli laminasyon yöntemi	10
Şekil 1.12	Reaksiyonlu üretim	11
Şekil 2.1	Üç nokta bükülmesinin kompozit kirişteki sayısal sonuçları	12
Şekil 2.2	Otomotiv kapısında kullanılan kompozit kiriş.....	13
Şekil 2.3	Biyokompozit tampon kirişinin sanal çarpışma analizi yer değiştirme sonuçları	13
Şekil 2.4	Darbe testi düzeneği.....	14
Şekil 2.5	Kapı kirişlerinin 3 boyutlu modeli.....	15
Şekil 2.6	Gerinim geçmişi ve yer değiştirme karşılaştırması.....	15
Şekil 2.7	Çekme testi Yapılmış geleneksel bağlantı yöntemi ile birleştirilen keten kompozit	16
Şekil 2.8	Keten kompozit ve gövde	17
Şekil 2.9	Keten kompozit parçalara sahip BMW M4 GT4.....	18
Şekil 2.10	Keten kompozit parçalara sahip Porsche 718 Cayman GT4 CS MR	18
Şekil 2.11	Keten kompozit gövdeli Spark Odyssey All-Electric SUV	19
Şekil 2.12	Otomotiv trim panellerinde keten kompozitler.....	20
Şekil 2.13	Polestar Precept biyo kompozit iç trimleri.....	20
Şekil 2.14	Volvo EX30 keten kompozit iç kapı trimi.....	21
Şekil 2.15	Ezme Perçin	22
Şekil 2.16	EFBOND DA 150 VE EFBOND DW 646 yapıştırıcı komponentleri	23
Şekil 3.1	İş akış şeması	24
Şekil 3.2	Deney plakasının modellenmesi	25
Şekil 3.3	Birleştirme numunelerinin deney plakasına yerleşimi.....	26
Şekil 3.4	Birleştirmelerin modellenmesi.....	27

Şekil 3.5 Rulo biçimindeki keten elyaf.....	28
Şekil 3.6 Deney plakasının $203,2 \times 200 \times 2,5$ boyutlarında kesilmesi.....	28
Şekil 3.7 Vakum bandı.....	29
Şekil 3.8 Reçine sertleştirici karışımı	30
Şekil 3.9 Sistem basıncı	30
Şekil 3.10 Vakum infüzyon deney düzeneği	31
Şekil 3.11 Sisteme reçine girişi.....	32
Şekil 3.12 Tez çalışması için üretilen ürün görünüşü	32
Şekil 3.13 Montaj öncesi işaretleme	34
Şekil 3.14 Delik delme.....	34
Şekil 3.15 Pop perçin uygulaması.....	35
Şekil 3.16 Ezme perçin uygulaması.....	35
Şekil 3.17 Aktüatör uygulaması.....	36
Şekil 3.18 Primer uygulaması	37
Şekil 3.19 Yapıştırıcı uygulaması	37
Şekil 3.20 Yapıştırma işlemi	38
Şekil 3.21 Yapıştırma işlemi kesiti	38
Şekil 3.22 Çekme testi	39
Şekil 4.1 İkincil birleştirme grafiği	40

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 1 Mekanik birleştirme sonuçları	40
Çizelge 2 İkincil birleştirme sonuçları	41
Çizelge 3 Genel sonuçlar	41



1. GİRİŞ

Günümüz teknolojisinde kullanılan araçların üretim yöntemleri gelişen teknoloji ile değişim göstermektedir. Bu değişim ile araçlarda ağırlık azaltılması hedeflenmekte ve bu hedefi yakalamaya çalışırken maliyeti de düşürmek amaçlanmaktadır. Bu hedefler otomotiv pazarını kompozit malzemelere yöneltmiştir.

Otomotiv sektörü her geçen gün genişlemekte ve ilerlemektedir. Otomotiv parçalarında kullanılan malzemeler ise doğamıza her gün fazlasıyla zarar vermektedir. Otomotiv üretiminin her geçen gün artması sebebiyle üretimde kullanılan malzeme tüketimi ve ortaya çıkan atık miktarı da artmaktadır. Bu nedenle de bu sektörde geri dönüşüm konusunun önemi giderek artmaktadır. Türk otomotiv sektörünün 2015 yılında 2010 yılına kıyasla çelik tüketiminin %24, çelik dışı metaller tüketiminin %25, tüm metaller toplam tüketiminin %24, kauçuk tüketiminin %28 ve plastik tüketiminin de %31 artacağı tahmin edilmektedir. En yüksek tüketim artışının plastik malzemelerde olacağı görülmektedir (İnt. Kyn. 1).

Küresel iklim değişikliği farkındalığının tetiklemesiyle artan çevre duyarlılığı, her sektörde olduğu gibi kompozit malzeme sektöründe de karşılık bulmuş ve sektör temsilcilerini çevreci çözümler araştırmaya itmiştir. Karbon ayak izini düşürmek ve doğaya verilen zararı minimuma indirmek için konvansiyonel malzemeler olan sentetik elyafların yerine doğal elyaflar tercih edilmeye başlanması bu bağlamda atılmış bir adım olarak değerlendirilebilir. Otomobil iç parçalarının da dâhil olduğu birçok endüstriyel üründe doğal elyaf uygulamaları görmek mümkündür. (Cihan vd. 2022).

Doğal elyaftan üretilen kompozit malzemeler parça ağırlığını azaltmaya ve böylelikle de toplam enerji tüketimini kısımaya yardımcı olmaktadır. Bunun yanında NFC'lerin kalıplama sürecinde de cam elyafının kalıplanmasına kıyasla daha az enerji tüketiliyor. Bu da üretim maliyetlerini %10 kadar azaltmayı mümkün kılıyor (İnt. Kyn. 2).

1.1 Kompozit Malzemeler

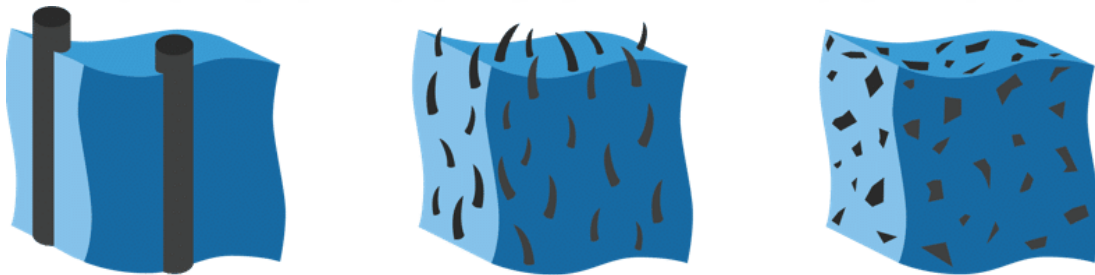
Kompozit malzeme, iki veya daha fazla malzemenin bir araya getirilmesi, son birleşimin, kendisini oluşturan malzemelerin her birinin özelliklerinden daha üstün özelliklere sahip olması olarak tanımlanabilir (Dagdag vd. 2019). Birbirlerinin dezavantajlı yönlerini geliştirerek yeni

ve avantajlı özellikler elde etmek amacı ile bir araya getirilmiş farklı tip malzemelerden oluşan son ürün olarak da adlandırılabilir. Kompozit malzemeler ağır olmaması, dayanıklılığı gibi birbirinden farklı iyi yanları nedeniyle günümüzde fazlaca kullanılmaktadır.

1.1.1 Kompozit Malzemelerin Yapısı

Kompozit malzeme, iki veya daha fazla bileşen malzemeden üretilen bir malzemedir. Bu kurucu malzemeler, oldukça farklı kimyasal veya fiziksel özelliklere sahiptir ve tek tek elemanlardan farklı özelliklere sahip bir malzeme oluşturmak için birleştirilir. Kompozit malzeme; iki ya da daha fazla sayıda farklı malzemenin en iyi özelliklerini tek bir malzemede toplamak amacıyla, makro-düzeyde birleştirilmesiyle oluşturulan yeni malzemedir. Başka bir deyişle birbirlerinin zayıf yönlerini geliştirerek üstün özellikler elde etmek amacı ile bir araya getirilmiş farklı tür malzemelerden veya fazlardan oluşan malzemeler olarak da adlandırılabilir.

Kompozit malzemeler, matris ve takviye olmak üzere çift ana yapıda incelenir. Bunlardan matris fazı ana yapıyı oluşturur. Temel görevi takviye bileşeninin etrafını sararak bir arada ve istenilen formda durmasını sağlamaktır (İnt. Kyn. 2).



Şekil 1.1 Takviye çeşitleri ve matris yapısı (İnt. Kyn. 2)

1.1.1.1 Matris Fazı

Matris, malzemenin tasarım şeklini korurken takviye fazını bir arada tutmalı ve uygulanan herhangi bir kuvveti ara yüz bağlantısı üzerinden hasar vermeden takviye fazına iletmeli ve dağıtmalıdır. İdeal bir matris malzemesinin lifleri çok iyi sarması, uygun şekilde çevrelemesi gerekir. Kompozit yapılarda, taşıyıcı takviye elemanlarının işlevlerini yerine getirmedeki ana rol, temel malzemenin (matris) mekanik özellikleri tarafından oynanır.

Matris fazının ana yapıdaki görevleri şu şekilde özetlenebilir (İnt. Kyn. 2);

- Matris malzemesi elyafları bir arada tutar ve böylece elyafların bireysel hareketini engeller.
- Matris malzemesi, kompozit malzemeye uygulanan yükü fiberlere aktarır.
- Matris malzemesi kompozit malzemeye şeklini verir ve sertliğini sağlar.
- Matris malzemesi, kompozit malzemeyi çevresel faktörlerin neden olduğu kimyasal ve fiziksel hasarlardan korur.

Kompozit malzemeler matris fazının türüne göre metal matrisli, seramik matrisli ve polimer matrisli kompozitler olmak üzere üç ana grupta incelenebilir. Metal matrisli kompozit malzemeler ana malzemeleri çeşitli metaller ve metal alaşımları olan kompozitlerdir. Bu kompozitlerde metal yapıya gömülü olan ikinci faz (takviye) farklı geometrik şekillere sahip olabilmektedir. Metal esaslı malzemeler takviye edildiği malzemelere göre üstün özelliklere sahiptir. Seramiğin yüksek elastisite modülünü metallerin plastik deformasyon özellikleriyle birleştirerek aşınmaya dayanıklı ve çekme dayanımı yüksek malzemeler elde etmek mümkündür. (Vasiliev ve Morozov 2001).

Seramik matrisli kompozit malzemelerdeki seramik malzemeler yüksek sıcaklıklara dayanıklı oldukları için oldukça kullanışlıdır (d= 1,5 – 3,0 g/cm³). Seramik bazlı kompozit malzemeler genellikle yüksek sıcaklıklarda çalışması gereken parçalar için kullanılır. Sert ve kırılgan oldukları için süneklikleri ve toklukları çok düşük olup, termal şoklara karşı dayanıklı değildirler (İnt. Kyn. 2).

Polimer matrisli kompozitler öncelikle petrokimya endüstrisinin ürünleridir ve günümüzde en yaygın kullanılan malzemelerdir. Polimer kompozitler korozyona dayanıklı, uzun süreli kullanıma uygun, işlenmesi kolay, kalıplanmaya uygun, birim kütle başına yüksek yük taşıma kapasitesine sahip malzemelerdir (Vasiliev ve Morozov 2001). Polimer matrisli kompozitler termoset ve termoplastik olmak üzere iki gruba ayrılır. Termoset matrisler, genellikle sıvı halde bulunur ve elyaf takviyeli kompozitlerin üretiminde kullanılırlar. Bu matrislere sertleştirici eklendiğinde önce jel haline gelir, sonra sertleşir. Termoset reçineler izotropiktir. Elyaf takviyeli kompozitler üretilirken genellikle düşük viskoziteye sahip olmaları nedeniyle tercih

edilirler. Yaygın kullanılan termoset reçineler fenolik reçineler, epoksiler, poliestерler, vinilesterler ve poliüretanlardır.



Şekil 1.2 Termoset matris olarak epoksi reçine örneği (İnt. Kyn. 2)

Termoplastik matrisler ise genellikle sünektirler ve ısıtıldıklarında eriyebilir, soğutulduğunda sertleşebilirler. Bu onlara şekil değiştirme yeteneği verir. Termoplastikler amorf veya yarı kristal olabilir. Amorf termoplastiklerde moleküller rastgele düzenlenir. Kristalin bölgede moleküller sıkı bir şekilde paketlenmiş, düzenli bir yapıya sahiptir.

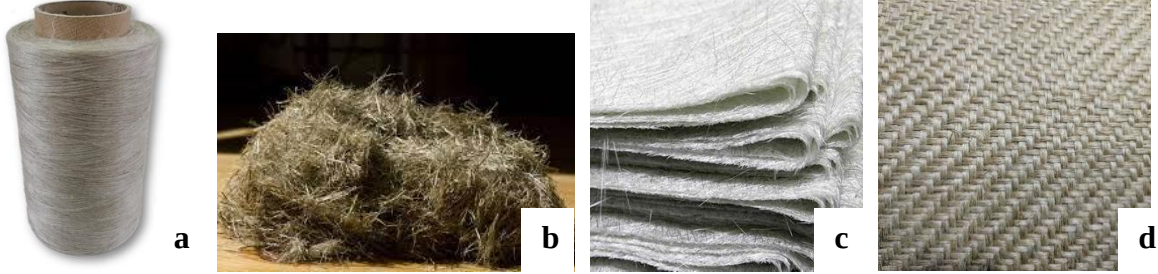
1.1.1.2 Takviye Fazı

Takviye elemanı; kompozit üzerindeki yükün çoğunu taşır. Yükün takviye elemanına aktarılabilmesi için bileşenler arasındaki fiziksel ve kimyasal uyumun iyi olması ve arayüzey bağının güçlü olması gerekir. Takviye elemanlarının ısıl genleşme katsayıları ile matris malzemesini arasındaki uyum, kalıcı yapısal gerilmelerin önlenmesi açısından önemlidir.

Modern yapısal kompozitlerde en yaygın kullanılan fiber türleri fiberglas, aramid ve karbondur. Elyaf takviye çeşitleri ise cam elyaflar, karbon elyaflar, boron elyaflar, alüminyum oksit elyaflar, silisyum karbür elyaflar, doğal lif elyaflar, şeklinde sıralanabilir (İnt. Kyn. 2).

Ayrıca takviye malzemesi olan elyaflar, formlarına göre; Fitol (Roving), Kırpılmış (Chopped), Keçe Formu, Dokuma (Sürekli Form) dört ana grupta incelenmektedir. Bu formlardaki farklılıklar aynı zamanda fiberlerin hangi üretim yönteminde kullanılacağını da belirlemektedir.

Her formun uygun olduğu bir üretim yöntemi vardır. Yani her form çeşidi her üretim yönteminde kullanılamamaktadır.



Şekil 1.3 Kompozit malzemelerde form çeşitleri

a- Fitol (roving), **b-** Kırpılmış (chopped), **c-** Keçe formu, **d-** Dokuma (sürekli form) form tipleri (İnt. Kyn. 3)

1.2 Kompozit Üretim Yöntemleri

Belirtilen özellik ve şekle sahip polimerlere dayalı kompozit malzeme üretmek için birçok yöntem vardır. Özellikle termoset matrislerin kullanıldığı kompozit sektöründe kullanılan üretim yöntemleri; "Açık kalıp üretim yöntemleri" ve "Kapalı kalıp üretim yöntemleri" olmak üzere iki ana başlık altında incelenebilir (İnt. Kyn. 4).

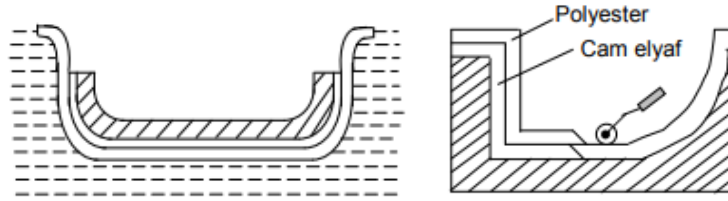
1.2.1 Açık Kalıp Üretim Yöntemleri

Bu yöntemde çok sayıda döküm üretmek için tekrar tekrar kullanılabilen kalıcı bir kalıp veya kılavuz kullanılır. Bu formlar bozulabilir ve kalıcı olarak ikiye ayrılır.

1.2.1.1 El Yatırma Yöntemi

Bu, düşük ila orta hacimli temaslı kalıplamadır ve genellikle tekne gövdeleri, tanklar, inşaat panelleri ve kutular gibi büyük yapısal parçaları yapmak için kullanılan en basit yöntemdir. Bu yöntemde genellikle keçe veya kumaş formundaki elyaf hazırlanmış bir kalıp üzerine veya içine yerleştirilerek elyafın ıslanması sağlanır. Bu işlem istenilen kalınlık ve çok katmanlı kaplama elde edilene kadar devam eder. Kalıp üretiminde balmumu, kil, ahşap, metal, kağıt, plastik gibi

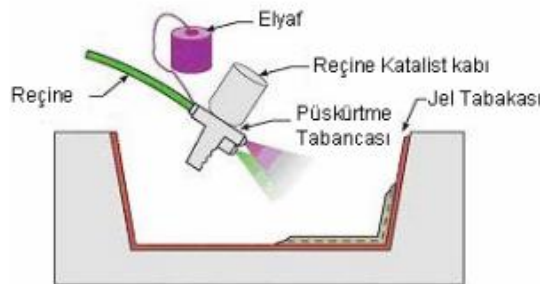
çeşitli malzemeler kullanılmakta; Kalıptan ayırma işleminde polivinil alkol, silikon ve mineral yağlar kullanılmaktadır. Bu yöntemle elde edilebilecek maksimum lif hacim faktörü %30'dur.



Şekil 1.4 El yatırma yöntemi (Deniz 2025)

1.2.1.2 Püskürtme Yöntemi

Püskürtme tekniği, el yatırma tekniğinin araçsal bir şekli olarak düşünülebilir. Bir teknik olarak elle döşeme bu teknik, elle döşeme teknelerinden ve küçük ve orta boy teknelerden, tanklardan, duş ünitelerinden ve daha büyük karmaşık şekillerden daha üstündür. Teknikte kırılan elyaflar, içine sertleştirici ilave edilen reçine ile birlikte özel bir tabanca ile kalıp yüzeyine püskürtülür. Elyafların kesilmesi işlemi, tabanca üzerinde bulunan ve bağımsız olarak çalışan kırma makinesi ile gerçekleştirilir (Deniz, 2025).



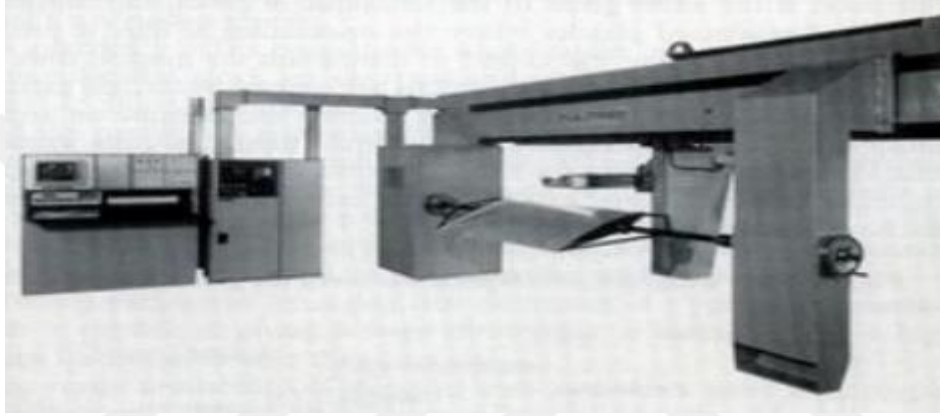
Şekil 1.5 Püskürtme tekniği şematik biçimi (Deniz, 2025)

1.2.1.3 Elyaf (Filament) Sarma Tekniği

Bu yöntem özel şekillendirilmiş ürünlerin seri üretimi için uygundur. Elyaf sarma yöntemi, sürekli elyaf şeritlerinin reçine ile ıslatıldıktan sonra bir makaradan çekildiği ve dönen bir kalıba sarıldığı yöntemidir. Sürekli elyafların farklı açılarda kalıba sarılmasıyla farklı mekanik özelliklere sahip ürünler elde edilebilir. Yeterli miktarda elyaf katmanı sarıldıktan sonra ürün sertleşir. Daha sonra dönen kalıp ayrılır. Bu yöntemle yapılan ürünler genellikle silindirik

borular, otomobil şaftları, uçak su depoları, yat direkleri ve dairesel basınç tanklarıdır (İnt. Kyn. 4).

Spiral sarma işleminde mandrel döner ve elyaf besleme makinesi ileri geri hareket eder ve elyaf helisel bir eğri ile sarılır. Spiral sarımda lifler birbirinin üzerinden geçer ve uçları kapalı olan kısımlarda kalıplar daha sonra içeriden çıkarılabilen malzemelerden (örneğin daha sonra çözünen katı tuz) yapılır. Sarma işlemi, doğru elyaf yönelimini korurken beklenen iş yüklerini karşılamak üzere tasarlanmıştır (Deniz, 2025).



Şekil 1.6 Elyaf sarma düzeneği ve tekniği (Deniz, 2025)

1.2.2 Kapalı Kalıp Üretim Yöntemleri

Döküm teknolojisinde daha yaygın olarak kullanılan kapalı kalıplar, kalıbın sıvı metalle doldurulmasını sağlayan yolluk sistemine sahiptir. Kapalı kalıp üretim yöntemlerinde ürünü tamamen saran kalıp kullanılır. Açık kalıp uygulamalarına göre daha iyi ürün elde etmek mümkündür.

1.2.2.1 Reçine Transfer Kalıplama (RTM) Yöntemi

Karmaşık ve yüksek mukavemetli cam elyaf plastiklerin büyük hacimlerde ve yüksek basınç altında üretimi için uygun bir yöntemdir. Yaygın olarak kullanılan lifler cam, grafit ve asbesttir. Kullanılan reçineler polyester, epoksi ve fenolik reçinelerdir. Kalıplar erkek (pozitif) ve dişi (negatif) olmak üzere iki parçadan oluşur ve genellikle elektrikle ısıtılır. Levha veya döküm

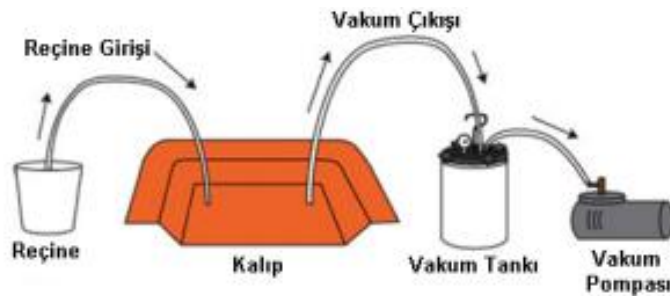
kalıplama bileşigi, ilave miktarda reçine içeren bir boşluk veya matkapla birlikte bir preste açık bir kalıba yerleştirilir. Hidrolik sistemin sağladığı presleme sıcaklığı ve presleme basıncı reçine sistemine uygulanır ve parçanın kalınlığına bağlıdır. Basınç 1 ila 14 MPa arasında değişebilir. Isıtma sıcaklığı polyester için 115 – 140 °C, epoksi reçineler için 125 – 175 °C, fenolik ve silikon reçineler için 150 °C'nin üzerindedir. Parçanın kalınlığına, boyutuna ve şekline bağlı olarak işlem döngüsü 1-5 dakika sürer ve ardından bitmiş parçayı çıkarmak için kalıp açılır. Araba ön tamponları, ev aletleri ve elektrikli parçalar tipik endüstriyel parçalardır. (Demirkesen 1991).



Şekil 1.7 RTM metodu (Demirkesen 1991)

1.2.2.2 Vakum İnfüzyon Yöntemi

Bu yöntem, RTM yöntemine ek olarak, içerideki havayı çıkarmak ve reçinenin elyafın içine iyi bir şekilde nüfuz etmesini sağlamak için bir vakum kullanır. Bu, elyafın bir kalıba yerleştirilmesini gerektirdiğinden önemli ölçüde beceri gerektirir. Kalıp kapalı olduğundan zararlı gazlar azalır ve gözenekli bir ürün elde edilebilir. Bu yöntem karmaşık parçalar üretebilir. Concorde uçaklarının ve Formula 1 araçlarının bazı parçaları bu yöntem kullanılarak yapılmaktadır (Genç ve Arıcı 2008).



Şekil 1.8 Vakum infüzyon yöntemi (Genç ve Arıcı 2008).

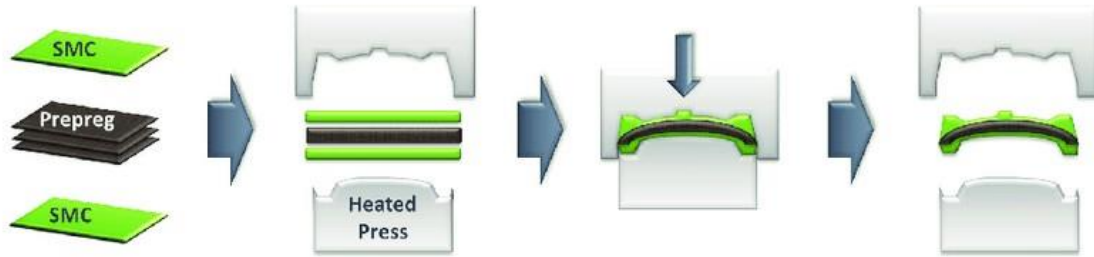
1.2.2.3 Vakum Torbalama Yöntemi

Bu, ıslatılmış elyafların (elle döşendikten sonra) veya önceden emprenye edilmiş malzemelerin bir vakum torbası kullanılarak vakum altında kürlenmesine dayanan bir üretim yöntemidir. Bu uygulamanın amacı; Bu, fazla reçine ve hava boşluklarının kompozit yapıdan uzaklaştırılması ve yüksek lif içeriğine sahip bir ürün üretilmesi için gereklidir (İnt. Kyn. 4).

Vakum torbalama işlemi basınçlı torba kalıplama, vakumlu torba kalıplama ve otoklavda torba kalıplama olarak üç şekilde yapılabilir;

1.2.2.4 Sıcak Presleme Yöntemi (SMC-BMC-Prepreg)

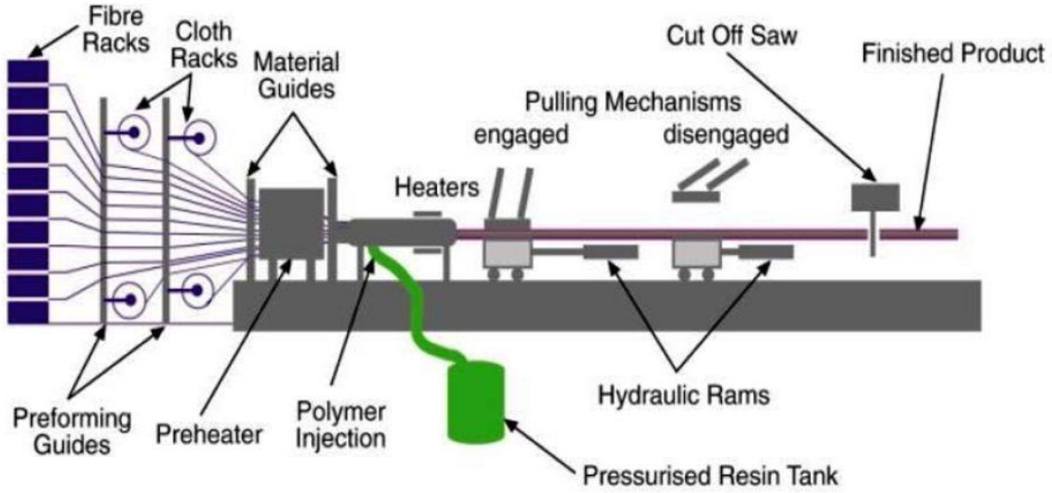
Hazır (reçine ve elyaf karışmış haldeki) bileşenler; Metal kalıplarda preslenerek ısı ve basınç altında sertleştirilmesi esasına dayanan bir üretim yöntemidir. Bu yöntem kompozitlerin seri üretimi için uygundur. Bu yöntemde amaç reçine ve elyafı daha üretim alanına gelmeden önce karışmış olarak hazır halde alıp daha önceden ısıtılmış kalıpta formlama esasına dayanır.



Şekil 1.9 Sıcak presleme şematizasyonu (Genç ve Arııcı 2008).

1.2.2.5 Pultrüzyon Yöntemi

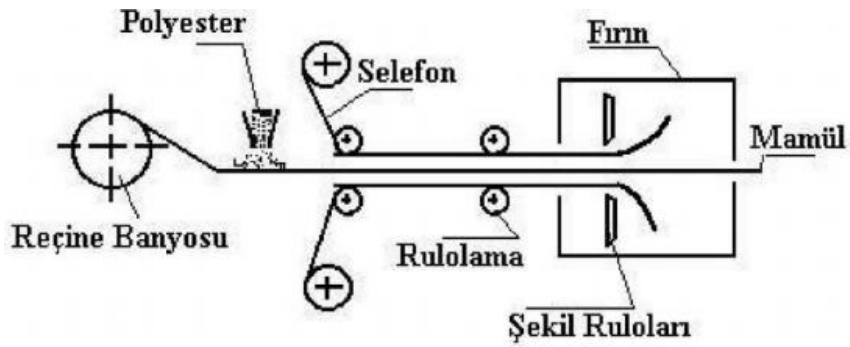
Sürekli profil, boru vb. Çekme ve Ekstrüzyon kelimelerinden türetilmiştir. Kompozit ürünlerin üretimine olanak sağlayan bir yöntemdir. Reçine banyosunda emprenye edilen elyaf fitillerinin veya kumaşların sıcak kalıplardan geçirilerek şekillendirilip sertleştirilmesi, ardından makine hattı boyunca çekilerek belirli ebatlarda kesilmesi prensibine dayanmaktadır (İnt. Kyn. 4).



Şekil 1.10 Pultruzyon hattı (İnt. Kyn. 5)

1.2.2.6 Sürekli Laminasyon Yöntemi

Kompozit ürünlerin levha halinde üretilmesine olanak sağlayan bu süreçtir. Fiber takviyeli kompozit paneller, fiber takviyeli reçinenin özel laminatörlerde ısı ve basınç altında hızla kürlenmesi ve soğutulması, ardından makaralara sarılması veya belirli boyutlarda kesilmesiyle yapılır (İnt. Kyn. 4).



Şekil 1.11 Sürekli laminasyon yöntemi (İnt. Kyn. 6)

1.2.2.7 Reaksiyonlu Üretim (SRIM, RRIM)

Bu, iki reaktif bileşenin karıştırılıp kalıp boşluğuna enjekte edilmesi ve burada reaksiyonun katılaşmasına neden olan bir üretim yöntemidir. Bu başvurudaki reçineler genellikle poliüretandır (PUR) ve bazen disiklopentadien (DCPD) de kullanılır (İnt. Kyn. 6).



Şekil 1.12 Reaksiyonlu üretim (İnt. Kyn. 6)

1.3 Yeşil Kompozit

Doğal fiber kompozitler (NFC), aynı ağırlıktaki fiberglastan %25-30 daha güçlüdür. Doğal elyaflardan yapılan kompozit malzemeler parçanın ağırlığının azaltılmasına ve dolayısıyla genel enerji tüketiminin azaltılmasına yardımcı olur. Ayrıca NFC eğirme işlemi, fiberglas eğirme işlemine kıyasla daha az enerji tüketir. Bu, üretim maliyetlerini %10'a kadar azaltmanıza olanak tanır (İnt. Kyn. 7).

Bu bilgiler göz önünde bulundurulduğunda, otomobil malzemelerinde, özellikle (BIW) olarak adlandırılan otomobil üst şasi yapısında, çelik malzemeler yerine keten kompozitlerin yaygın olarak kullanılması, keten elyaflarının doğada bulunan keten bitkisinden üretildiği ve yaygın olarak tüketildiği için doğaya verilen zararı azaltacaktır.

Keten kompozitlerin takviye malzemesi olan keten kumaşların yoğunluğu ağırlıkça dikkate alınır ve araştırma sonucu $1,4(\text{g}/\text{cm}^3)$ olarak saptanır. Yine kompozit malzeme perspektifinden bakıldığında, takviye olarak geleneksel kumaşların (cam ve karbon kumaş gibi) kullanıldığı kompozitler için karbon fiberlerin yoğunluğu kullanılan hammaddelere bağlıdır. Yapılan araştırmalara göre karbon kumaş yoğunluğu $(1,6-2,2 (\text{g}/\text{cm}^3))$, Cam elyafların ise $(2,54 (\text{g}/\text{cm}^3))$ olarak ifade edilir. Bu sayısal veriler göz önüne alındığında, aynı ve aynı epoksi kullanılarak üretilmiş olmaları durumunda reçineler, Keten kumaşla güçlendirilmiş kompozitler. Bu, kumaşla güçlendirilmiş kompozitlere kıyasla %40-45'e kadar ağırlık azalmasına olanak tanımaktadır (Yaman vd. 2007).

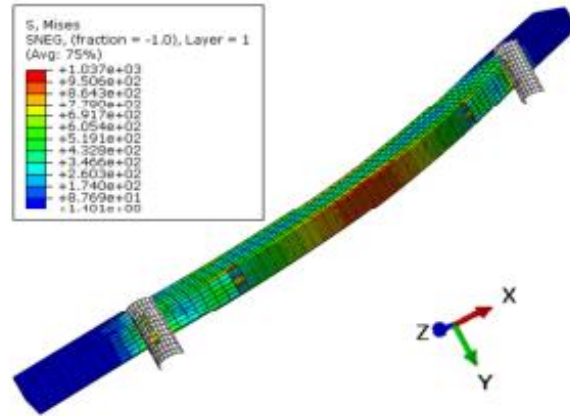
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Literatür araştırmalarında; kompozit malzemelerin üretimi, kullanımı ve testleri ile ilgili çok sayıda yayın olduğu görülmüş ve Kompozit malzemelerin üretim yöntemleri, üretim yöntemleri ile alakalı deneyler vb. konularda çok sayıda araştırma ve makaleler olduğu gözlemlenmiştir.

2.1 Otomotiv Sektöründe Kompozit Malzemeler Üzerinde Yapılan Ar-Ge Çalışmaları

Lim ve Lee (2002) Yaptıkları çalışmada alüminyum ve çelik malzemelerden daha çok mukavemetli ve hafif olan cam elyaf takviyeli fiber kompozit malzemeler kullanılmıştır. Kiriş profili kare olarak seçilmiş olup yuvarlak kiriş profil malzemeye göre eğilme karşı göstermiş olduğu kuvvet daha iyidir.

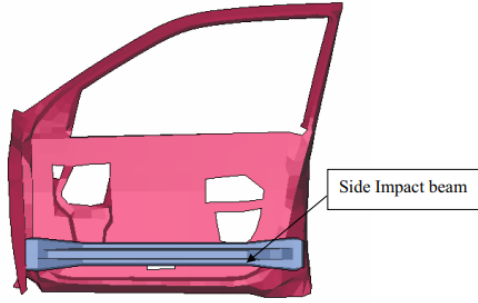
Üretilen kiriş malzemeye eğme ve bağlantı noktalarına çekme testleri yapılmıştır. Kompozit kiriş malzemesi üzerine bir teflon filmi, iki adet saten örgülü prepreg ve tek yönlü prepreg malzeme serilmiştir. Deneyler sonucunda üretilen kompozit kirişin yüksek mukavemetli çelik kirişten %70 daha hafif olduğu ve yeterli darbe dayanıma sahip olduğu görülmüştür.



Şekil 2.1 Üç nokta bükülmesinin kompozit kirişteki sayısal sonuçları (Lim ve Lee 2002)

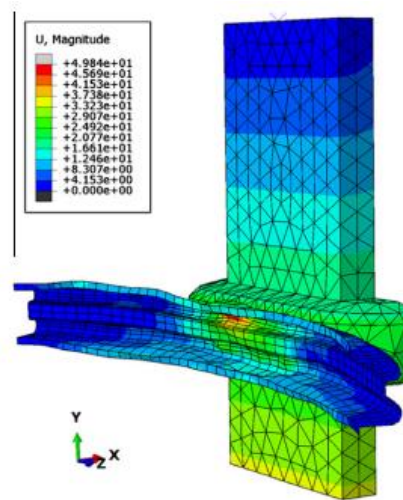
Basavaraju (2005) Yaptıkları çalışmada yan darbe kirişi Karbon/Epoksi AS4/3051- 6 kompozit malzeme kullanarak imal edilmiştir. Kiriş FMVSS 214 (Federal Motorlu Araç Güvenliği Standardı) ve IIHS (Otoyol Güvenliği Sigorta Enstitüsü) yan darbe emniyet standartlarına göre deneysel olarak incelenmiştir. Yapılan deneylerde Ford Taurus arabası model olarak

kullanılmış olup Sonlu elemanlar metodu ve Ulusal çarpışma analiz merkezi (NCAC) tarafından geliştirilen hareketli bariyer kullanarak test yapılmıştır. Deneyler sonucunda üretilen kompozit kirişin yüksek mukavemetli çelik kirişten %65 daha hafif olduğu ve çeliğe göre daha yüksek darbe enerjisi sönmülemeye sahip olduğu görülmüştür.



Şekil 2.2 Otomotiv kapısında kullanılan kompozit kiriş (Basavaraju 2005)

Davoodi vd. (2011) Yaptıkları çalışmada sekiz farklı taşıt ön tamponlarını cam elyaf kompozit malzemeden yapılmış ve testler yapılmıştır. Tamponun kompozit malzemeden üretmek için ağırlık, şekil değiştirme enerjisi, kütle, maliyet, kolay üretim ve gövde tasarımı olmak üzere altı kriter belirlenmiştir. Sekiz farklı taşıt tamponlarının kalınlıkları ve genel boyutları aynı mekanik özelliklere sahip tamponların düşük darbe testi standart koşullar altında Abaqus V16R9 ile simüle edilmiştir. Deneysel sonucunda cam elyaf takviyeli kompozit malzemelerin küçük boyutlu araç tamponlarında daha etkili olduğu sonucuna varılmıştır.



Şekil 2.3 Biyokompozit tampon kirişinin sanal çarpışma analizi yer değiştirme sonuçları (Davoodi vd. 2011)

Kim ve Kang (2014) Yaptıkları çalışmada otomobillerin yan darbe kiriş mukavemetini test etmek için çarpışma deney düzeneği maliyetli ve zaman almaktadır. Dolayısıyla modellenmesi yapılan çelik kirişlerin daha az maliyetle deneysel yapılması için darbe test cihazının geliştirilmesi üzerinde çalışmalar yapmışlardır.

Deney cihazı konfigürasyonu geliştirilmiş ve kirişe kuvvet uygulamak için serbest düşüm yöntemi kullanılmış olup sonlu elemanlar yöntemi ile analiz yapılmıştır. Çalışmalar sonucunda ideal deney cihazı yapılandırılması belirlenmiştir.

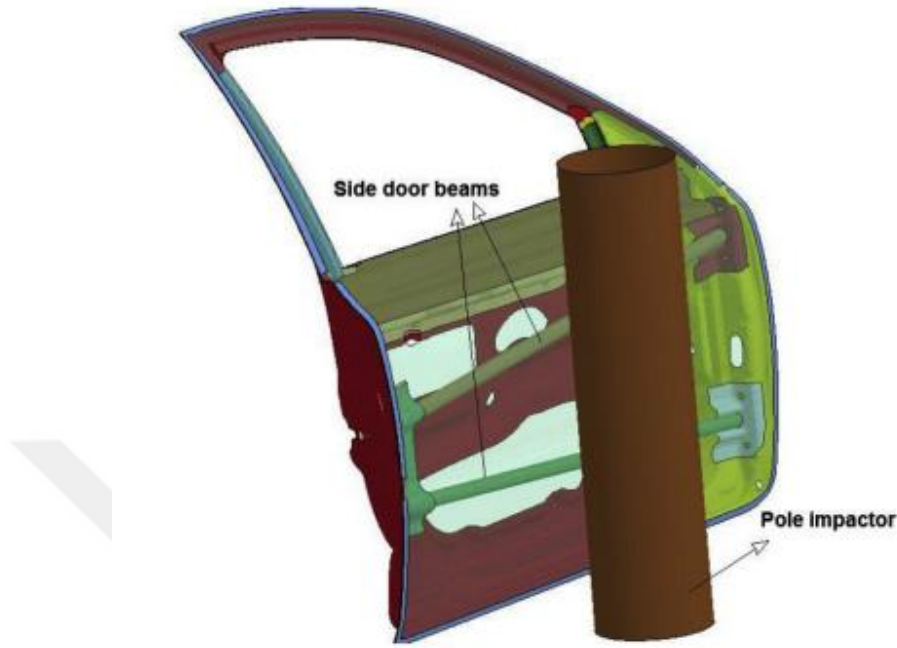


Şekil 2.4 Darbe testi düzeneği (Kim ve Kang 2014)

Ghadianlou vd. (2013) Yaptıkları çalışmada taşıtların yan kapı kirişlerin malzemesi ve kiriş malzemenin geometrisi araştırılmıştır. Yan darbe kiriş geometri olarak dört farklı profil belirlenmiştir. Malzeme olarak alüminyum magnezyum ve çelik kullanılmıştır. Farklı profil ve malzemeler kullanılarak üretilen kirişler nümerik ve deneysel olarak incelenip sonlu elemanlar metodu ile analiz edilmiştir.

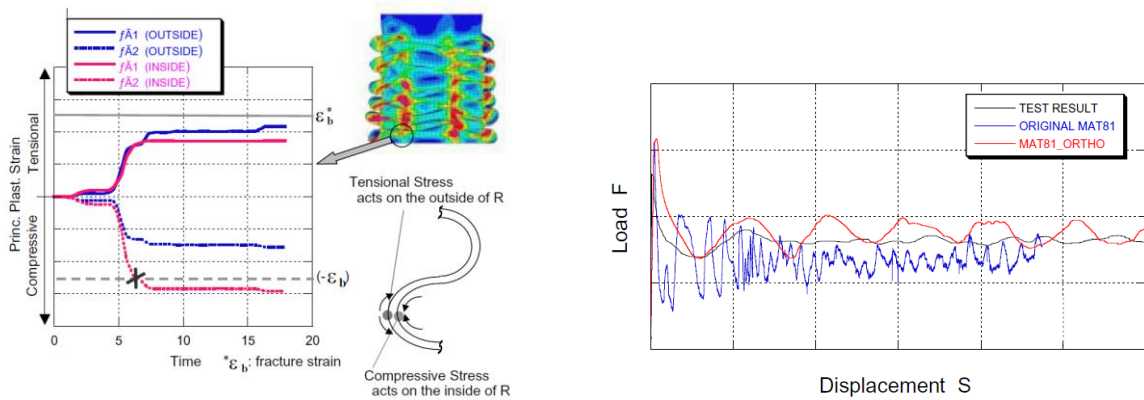
Deney düzeneği olarak da Federal Motorlu Araçlar Emniyet Standardı (FMVSS 214) ve Euro NCAP testi uygulanmıştır. Deneyler sonucunda gerçekleştirilen optimizasyon ile “h” kiriş

profili diğerlerine göre daha dayanıklı olduğu anlaşılmış olup ve oluşan deformasyonda %80 oranında azaldığı görülmüştür.



Şekil 2.5 Kapı kirişlerinin 3 boyutlu modeli (Ghadianlou vd. 2013)

Tsuchida vd. (2003) Yaptıkları çalışmada kiriş malzemesi olarak alüminyum alaşımlı malzeme kullanılmıştır. Hidrolik bir silindir ile taşıt yan kapısına darbe uygulanmıştır. Aynı zamanda kiriş malzemeye 3 nokta eğme testi de uygulanmış olup bu iki durum MAT81_ORTO programı ile hasar analizi test edilmiştir.



Şekil 2.6 Gerinim geçmişi ve yer değiştirme karşılaştırması (Tsuchida vd. 2003)

Fiorea vd. (2018) Cam elyaf katmanlarının cam elyaf ve keten elyaf kullanılarak üretilen hibrit yapıli kompozit malzemelerin mukavemeti üzerindeki etkisini değerlendirmişlerdir. Laminasyonların uygulama sırasına bağlı olarak menteşe bağlantılarının performansını değerlendirmek için bindirme yatak testleri yapmışlardır. Hibrit lamnasyonların mekanik davranışını daha iyi tanımlamak için tamamen cam ve keten elyaflar da karşılaştırmışlar ve özellikle bağlantı geometrisi değiştirildiğinde yükleme ve hasar mekanizmaları araştırmışlardır. Ayrıca mekanik arıza ve bağlantı geometrisi arasındaki ilişkiyi daha iyi açıklığa kavuşturmak için sabitlenmiş hibrit kompozit laminatın ana arıza modlarını gruplandıran deneysel bir arıza haritası kullanmışlardır. Deneysel sonuçlar, cam elyaf ve keten elyaf kullanılarak üretilen hibrit yapıli kompozit malzemelerin cam kumaşın dış katmanlarının varlığının, mekanik olarak bağlanan bağlantıların mekanik özellikleri üzerinde olumlu bir etkiye sahip olduğunu göstermiştir. Ek olarak, hibrit yapıda, keten bazlı kompozit laminasyonların bağlantı tasarımını destekleyen geniş bir bağlantı geometrisi aralığında yatak arıza mekanizması meydana geldiğini gözlemlemişlerdir.



Şekil 2.7 Çekme testi Yapılmış geleneksel bağlantı yöntemi ile birleştirilen keten kompozit. (Fiorea vd. 2018)

2.2 Otomotiv Sektöründe Doğal Elyaf Takviyeli Kompozitleri Kullanan Firmalar

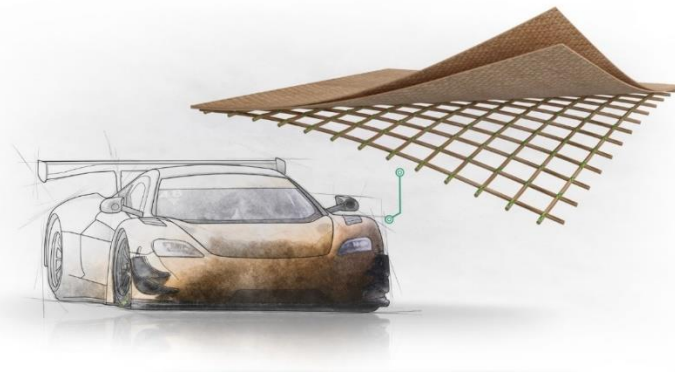
Yapılan araştırmalarda; otomotiv sektöründe, doğal elyaf takviyeli kompozitlerin özellikle de keten elyaf takviyeli kompozitlerin, Otomotiv iç mekan, dış trim gibi görsel parçalarda olduğu gibi taşıyıcı gövde parçalarında da sıkça tercih edildiği gözlemlenmiştir. Otomotiv sektöründe yakıt tüketimini düşürmek ve enerji tasarrufu sağlamak beklentilerini karşılayabilmek için kompozit malzemelerin kullanımı artmaktadır. Günümüzde çevresel özellikler ve düşük maliyetler nedeniyle öte yandan ağırlık azaltma konusundaki gereklilik ve zarurette kompozit

malzeme içerisinde sentetik liflerin yerini alması için doğal liflerin kullanılması cazip hale gelmeye başlamıştır (Torun 2021).

Ayrıca, otomotiv sektöründe artan konfor beklentilerini karşılamak amacıyla son yıllarda NVH yani ses ve titreşim yalıtımı büyük önem taşımaktadır. Yenilenebilir tarımsal ürün olmaları sayesinde sürdürülebilir ürün yaşam döngüsü sunan keten ve kenevir lifleri, aynı zamanda yapılarında bulunan ve lümen adı verilen boşluk sayesinde hem düşük özgül ağırlık değerleri hem de ses ve ısı yalıtım performansları ile dikkat çekmektedir. Bu da sektörün NFC konusundaki atılım ve projelerinin sebebini göstermektedir (Grohe 2004).

2.2.1 Doğal Elyaf Takviyeli Kompozitlerin Otomotiv Gövdelerinde Kullanımı

RACE TECH Editörü Wiliam Kimberley, 2018'de, Dünya Motor Sporları Sempozyumunda "Karbon fiberin 37 yıl önce motor sporları pazarına girmesinden bu yana ilk kez, gövde için alternatif bir malzeme var ve motor sporlarını geleceğe hazırlamak ve yeni nesilleri çekmek için açıkça bir adım var." dedi. Baş olarak Karbon fiberleri takviyeli doğal fiber kompozitlerle değiştirmeye yönelik çözümü, en büyük yarış serilerinden bazılarında yayında ve sezonlardır dünya çapındaki pistlerdeki yerini kanıtladı (İnt. Kyn. 8).



Şekil 2.8 Keten kompozit ve gövde (İnt. Kyn. 8)

BMW M4 GT4 modelinde motor kaputu ve ön tampon alt parçalarında keten elyaf takviyeli kompozitleri kullanmıştır. Bu sayede toplam araç gövdesinde ağırlık azaltma ve keten elyafın ses izolasyon özelliği ile motor bölümü izolasyonuna katkı sağlamayı hedeflemiştir (İnt. Kyn. 8).



Şekil 2.9 Keten kompozit parçalara sahip BMW M4 GT4 (İnt. Kyn. 8)

Yeni BMW M4 GT4'te keten elyaf çözümleri, sadece kaput ile sınırlı kalmamakla birlikte; kabinin tamamında ön panel ve orta konsolun yanı sıra ön spoiler, kapılar, bagaj ve arka çamurluk gibi gövde bileşenlerinde kullanılmıştır. Çatı haricinde, yenilenebilir, yüksek performanslı keten malzemelerle değiştirilmemiş neredeyse hiçbir karbon fiber takviyeli plastik (CFRP) bileşen bulunmamaktadır.

Porsche 718 Cayman GT4 CS MR Porsche Motorsport, tamamen doğal gövde kitine sahip 718 Cayman GT4 CS MR model aracında keten kompozit teknolojisiyle; Çevre dostu, CO₂ emisyonlarında %85'e kadar azalma gibi avantajları beraberinde getirmektedir. Bu teknoloji aynı zamanda güvenlik açısından çarpışma durumunda ani değişiklikler olmaksızın esnek davranış sağlamaktadır (İnt. Kyn. 8).



Şekil 2.10 Keten kompozit parçalara sahip Porsche 718 Cayman GT4 CS MR (İnt. Kyn. 8)

İsviçreli sürdürülebilir hafif ağırlık uzmanları, Extreme E Şampiyonası'nın açılış sezonunda yarışan dokuz Spark Odyssey (Spark Odyssey All-Electric SUV) tamamen elektrikli SUV'nin tümü gövdesi için doğal elyaf kompozit çözümlerini kullanmaktadır. Sürdürülebilir kompozitler, motor sporları da dâhil olmak üzere pek çok sektör için ileriye dönük pratik bir yol göstermektedir. Karbon elyafın tedariği, kullanımı ile ilgili üretim, tüketim, atık ve emisyonların hacmi göz önüne alındığında, sürdürülebilir kompozitlerin uygulanması doğru yönde atılmış açık bir adımdır.



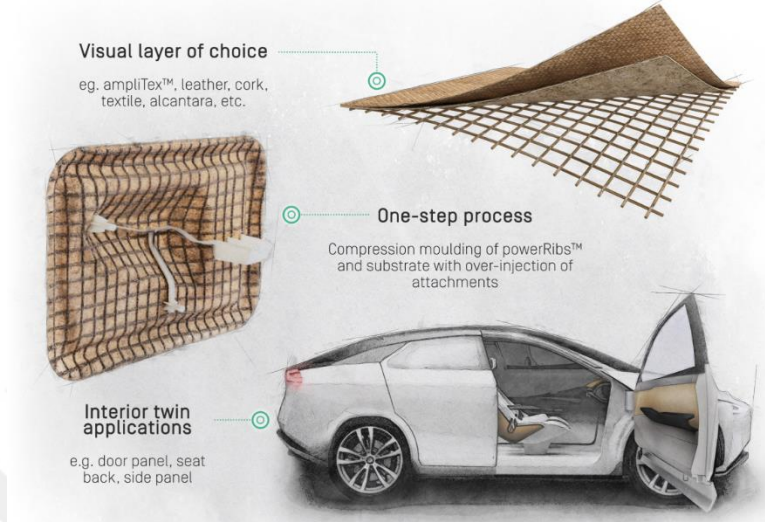
Şekil 2.11 Keten kompozit gövdeli Spark Odyssey All-Electric SUV (İnt. Kyn. 8)

Keten Kumaşın ağ takviyesi, doğal elyafın performansını karbon elyafın performansına yükseltmek için ketenin yüksek spesifik bükülme sertliğini kullanır ve aynı zamanda CO₂ emisyonlarını %85 oranında azaltır. En yeni keten kumaşlarla birleştirilen Odyssey'in çözümleri, karbon fiberle aynı sertlik ve ağırlığa sahip sağlam bir gövde yapısı oluştururken güvenliği ve şok emilimini artırır. Doğal elyaftan yapılmış gövde, karbon elyaf gibi keskin, tehlikeli döküntüler yerine, darbe durumunda küt kenarlı parçalar üreten esnek kırılma yapısı nedeniyle sürücülerin, görevlilerin ve seyircilerin yaralanma riskini en aza indirmektedir. Ek olarak %250 iyileştirilmiş sönümleme özellikleri, titreşimi ve gürültü seviyelerini azaltarak sürücünün konforunu arttırmakta ve yarış boyunca yorgunluğu azaltmaktadır (İnt. Kyn. 8).

2.2.2 Doğal Elyaf Takviyeli Kompozitlerin Otomotiv Trim Panellerinde Kullanımı

Doğal elyaf takviyeli kompozitlerin, termoplastik kullanan sürdürülebilir hafif çözümleri, ağırlığı %50'ye kadar ve iç panellerdeki plastik miktarını %70'e kadar azaltabilmektedir. Bu sayede hem kullanılan malzemelerin etkisi hem de yakıt tüketimi azaltılabilmektedir. Çözüm

uygun maliyetlidir ve yüksek hızlı üretim hatlarına kolayca entegre edilebilir. Doğal bitkilerden elde edilen teknik kumaşlar, işlevsel ve görsel bir katman oluşturmak için birlikte çalışarak yeni tasarım olanaklarının önünü açmaktadır (İnt. Kyn. 9).



Şekil 2.12 Otomotiv trim panellerinde keten kompozitler (İnt. Kyn. 9)

Polestar markası Precept isimli modelinde iç mekanda çevre dostu doğal elyaf takviyeli kompozitlerin ağırlık hafifletme çözümlerinden kapsamlı bir şekilde yararlanmaktadır. Çevresel etkiyi azaltmak amacıyla Polestar Precept, koltuk arkılığı da dahil olmak üzere çok çeşitli iç panellerde doğal fiber takviyeli kompozitlerini kullanıyor (İnt. Kyn. 9).



Şekil 2.13 Polestar Precept biyo kompozit iç trimleri (İnt. Kyn. 9)

Volvo EX30'un gösterge paneli ve kapılarında isteğe bağlı kaplama olarak keten elyaf kompozitler sunulmaktadır. Doğal elyaf kompozitlerin Formula 1, Formula E ve SuperFormula gibi zorlu motor sporları ortamlarında kendilerini kanıtlamış olmasına rağmen, EX30 tüketiciye ulaşan ilk Doğal elyaf kompozit kullanan üretilmiş otomobildir (İnt. Kyn. 9).



Şekil 2.14 Volvo EX30 keten kompozit iç kapı trimi (İnt. Kyn. 9)

Doğal elyaf takviyeli kompozitler, otomotiv iç parçalarında (Persico) %50 ye yakın hafiflik sağlamaktadır. Hafiflik, hem mevzuat baskısına hem de müşteri taleplerine uyum sağlayan bir mobilite sektörü için çok önem arz etmektedir. Doğal elyaf takviye teknolojisi sayesinde otomotiv iç parçaları, mukavemeti korunarak %50'ye kadar daha hafif hale getirilebildiği saptanan çalışmalar yapılmıştır. Bahsi geçen teknoloji yalnızca ağırlığın azaltılması avantajı sağlamakla kalmayıp aynı zamanda maliyetleri de düşüren, israfı ve karbon ayak izini azaltan son derece verimli çalışmadır (İnt. Kyn. 10).

2.3 Birleştirme Literatürü

2.3.1 Mekanik Birleştirme

Perçin, havacılık ve otomotiv alanında en sık tercih edilen bağlantı elemanıdır. Kayma gerilmesine karşı mukavim bir yapıdadır (Baştekelî 2020). Perçin bağlantısı, çözilemeyen bağlantı elemanlarında en eski bağlantılardan biridir. Kaynak gibi çeşitli bağlantılardan dolayı yapının bölgesel olarak zayıflamasının istenmediği ve yükün fazla olduğu yapılarda daha yoğun

olarak kullanılır. Düşük maliyeti, kullanım kolaylığı ve güvenilirliği nedeniyle sektörde en sık kullanılan birleştirme yöntemlerinden biridir. Perçinli bağlantıların en bilinen avantajları şunlardır: Üretim hacmi yüksektir, perçinli bağlantılar sadece bağlantı amaçlı değil aynı zamanda elektrik kontağı gibi birçok amaç için de kullanılabilir. İlk yatırım maliyetleri ve bakım maliyetleri düşüktür. Çeşitli malzemeler ve farklı kalınlıktaki pek çok malzeme zorlanmadan bir araya getirilebilir. Perçin malzemesi ihtiyaca göre geniş bir yelpazeden seçilebilmektedir. (Durdu 2006).

Bu bilgiler göz önünde bulundurularak ve bu tez sürecinde daha uygun çalışma olabilmesi için alüminyum perçin kullanılmıştır. Perçin türü olarak dayanıklı bağlantı için bombe başlı ezme perçin ve pop perçin seçilmiştir. Ezme perçin bombe başlı olup, pop perçin düz başlıdır. Perçin ölçüleri olarak, gövde çapı 5 mm, kafa çapı 9,5 mm olan ezme perçin tercih edilmiştir. Üst üste binen plaka bölgesinin ölçüleri göz önüne alındığında, tercih edilen ölçülerde dört tane mekanik bağlantı elemanının kullanılmasının mantıklı olduğu düşünülmüştür (İnt. Kyn. 11).



Şekil 2.15 Ezme Perçin (İnt. Kyn. 11)

Üretilen kompozit numunelerinde hasar durumundan kaçınabilmek amacıyla 120° açılı karbür malzemeli matkap uçları, yüksek devir düşük ilerleme ile kullanılmıştır (Bayraktar 2018).

2.3.2 İkincil Birleştirme

Yapışkanlı birleştirmeler kompozit malzemelerin birleştirilmesinde en yaygın yöntemlerden biridir. Yapışkan bir bağlantı, birbirine yapıştırılacak iki parçanın üst üste bindirilmesiyle veya iki uç parçanın ek bir yama ile birleştirilmesiyle yapılabilir.

Yapışma yüzeyi arttıkça yapışkan bağlantıların mukavemeti artar. Yama bağlantıların yüzey alanı daha büyük olabileceğinden bindirme bağlantılara göre daha dayanıklıdırlar. Yapışkanlı bağlantılar, kullanım kolaylığı, ek yük oluşturmaması, yapının aerodinamiğini etkilememesi ve titreşime maruz kalmaması nedeniyle, mekanik birleştirmelere alternatif olarak ikincil birleştirme yöntemi olarak tercih edilebilir (Turan 2016).

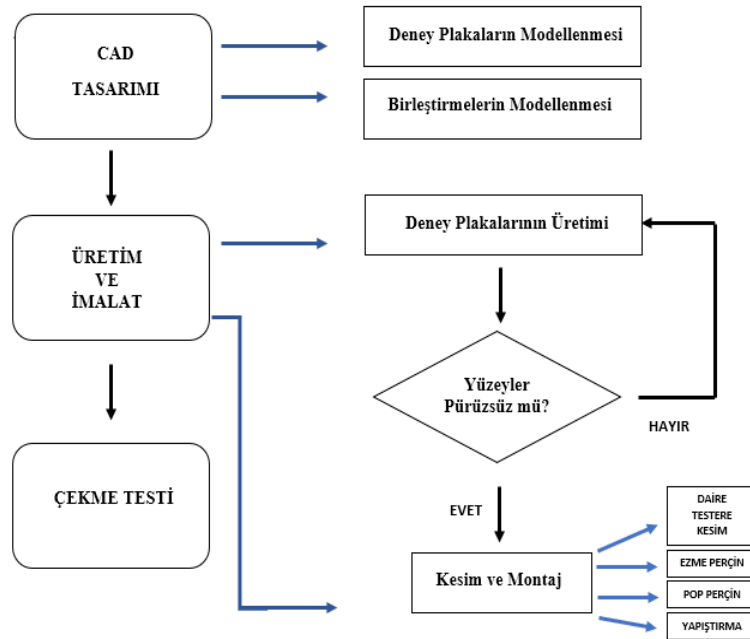
Yapıştırıcı ile birleştirme yönteminde, BASF markasının üretmiş olduğu EFBOND DA 150 adlı yapıştırıcısı kullanılmıştır. EFBOND DA 150 yapıştırıcısını kullanırken yanında primer yani astar boya olarak BASF markasının ürettiği EFBOND DV 930 ayrıca, etkileştirici olarak (yapıştırıcının B komponenti) yine BASF markasına ait olan EFBOND DW 646 komponenti kullanılmıştır. EFBOND DA 150 yapıştırıcısının Çekme Mukavemeti: 8-20 Mpa'dır.



Şekil 2.16 EFBOND DA 150 VE EFBOND DW 646 yapıştırıcı komponentleri

3. MATERYAL METOD

Bu bölümde elyaf takviyeli keten kompozit deney numuneleri, deney boyut standartları, deney kalınlık standartları göz önünde bulundurularak vakum infüzyon yöntemiyle üretilmiştir. Son ürün kalınlığına karar verirken daha önce yapılan ön çalışmalar sonucu 3, 4 ve 5 katlı kumaş denemeleri yapılmış ve istenen kalınlığa 4 katlı kumaş laminasyonu ile ulaşılmıştır. Bu sebeple çalışmalarda 4 katlı laminasyon tercih edilmiştir. Üst üste bindirme yapılarak birleştirilmiş numunelerin kayma mukavemetlerini belirlemek için ASTM5868 standardı kullanılmıştır. Bu standart kapsamında, üretilcek numunelerin genişliği 25.4 mm, uzunluğu 101.6 mm ve kalınlığı 2.5 mm'dir. Bindirme uzunluğu da 25.4 mm'dir. Numuneleri çekme hızı ise 13 mm/dk'dır (İnt. Kyn. 12).



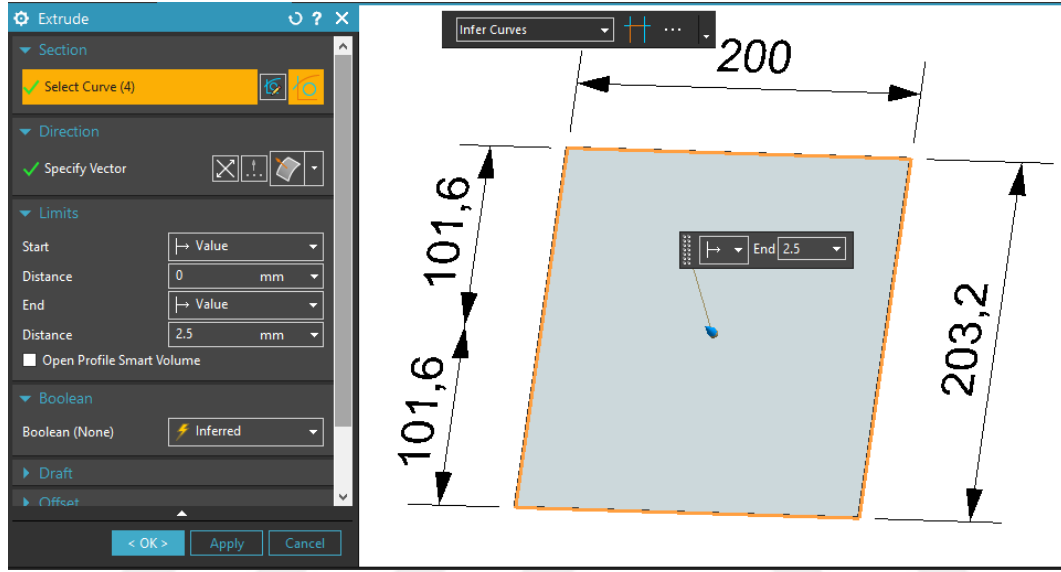
Şekil 3.1 İş akış şeması

3.1 CAD Tasarımı

Deney numuneleri üretilmeden önce tüm yapılacak işlemler 3 boyutlu ortamda modellenmiştir. Bu modelleme sayesinde, imalat öncesi hazırlıkların, özellikle ölçülendirme ve toleranslandırma konusunda sorun yaşanmaması hedeflenmiştir.

3.1.1 Deney Plakalarının Modellenmesi

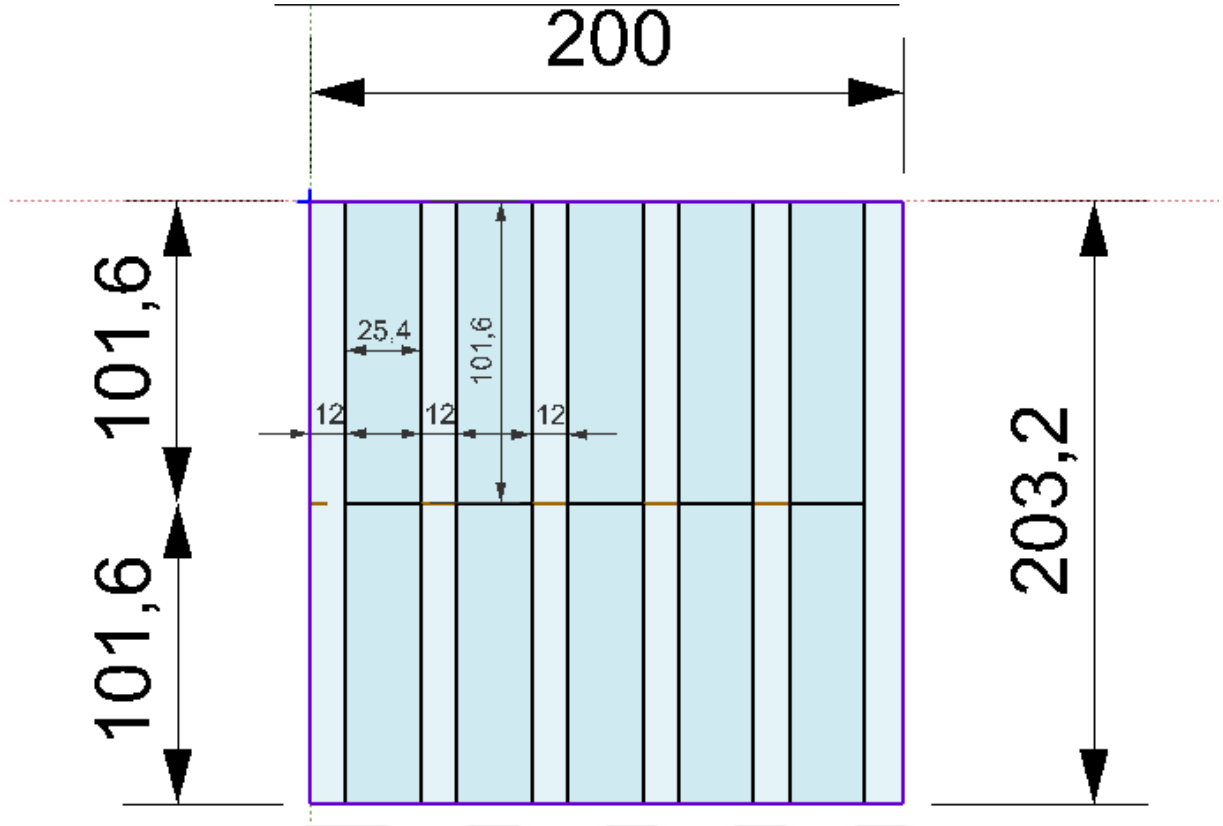
Deney plakaları modellenirken; çekme testi için her numuneden 5 adet olması gereksinimi göz önüne alınmıştır. Deney numunelerinin mukavemet özelliklerini belirlemek için ASTM5868 genişliği 25.4 mm, uzunluğu 101.6 mm ve kalınlığı 2.5 mm, bindirme uzunluğu da 25.4 mm olan numuneler hazırlanmıştır.



Şekil 3.2 Deney plakasının modellenmesi

Şekil 3.2' de bir adet üretilecek keten kompozit deney plakası görülmektedir. Numunelerin kalınlığının 2.5 mm olması gerektiği için derinlik doğrultusunda Extrude komutu ile 2.5 mm kalınlık CAD ortamında uyarlanmıştır. Deney numunelerinin uzunluğunun 101.6 mm olması gerekliliğinden dolayı, üretilecek 1 adet plakaların boyu 203.2 mm olarak belirlenmiştir. Yani bir plakadan 2 adet üstlü altı şekilde toplam 10 adet numune çıkarılması planlanırken toplamda da her birleştirme yöntemi için 1 plakadan 5'er adet numune alınması sağlanmıştır.

Birleştirme iki numune içermekte olduğundan 5 adet birleştirme numunesinin elde edilmesi için toplam 10 adet numune üretilmesi gerekmektedir. Tüm bu bilgiler göz önüne alındığında, gerekli adetteki deney numunelerinin sağlanabilmesi için keten kompozit deney plakalarından, belirlenen ölçülerde, her bağlantı metodu için birer tane olacak şekilde toplamda 3 adet plaka üretilmesinin yeterli olacağı yapılan CAD tasarımından saptanmıştır.

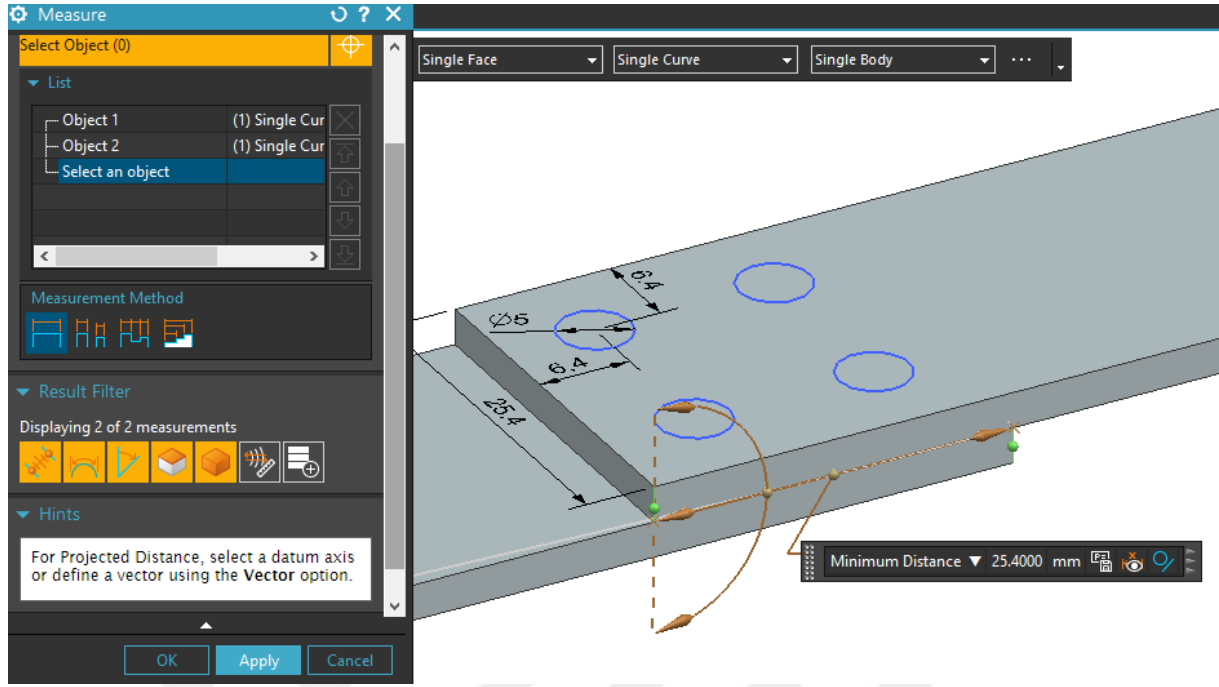


Şekil 3.3 Birleştirme numunelerinin deney plakasına yerleşimi

Şekil 3.3’ te çekme testinde kullanılacak ve seçilen birleştirme metotları ile montajları gerçekleştirilecek her bir deney numunelerinin üretimi yapılacak plaka içerisindeki yerleşimleri gözlemlenmektedir. Üretim yapılacak kalıbın ölçülerinin maksimum el verdiği ölçü hesaplanarak numuneler arası 12 mm emniyet mesafesi bırakılmıştır, bu ölçü tolerans açısından yeterli olacaktır. Numune boyutları göz önüne alınarak, CAD ortamında yapılan bu yerleşimlerden, daha önce boyu belirlenen deney plakası eninin 200 mm olmasının yeterli olacağı saptanmıştır. Belirlenen ölçülere, üretimde kullanılacak kalıba göre deney plakalarının yerleşimi göz önünde bulundurularak karar verilmiştir.

3.1.2 Birleştirmelerin Modellenmesi

Birleştirmeler modellenirken dikkat edilmesi gereken en önemli hususlar bindirme ölçüleri ve deliklerin ölçüleri, bindirme alanındaki konumları ve sayılarıdır. Tezin üçüncü bölümünün başında bindirme ölçüsünün 25.4 mm olması gerektiği belirtilmiştir. Ayrıca 2. bölümde mekanik birleştirmelerde 5 mm çapındaki ezme perçin ve pop perçin kullanılacağı ve bindirme ölçüsüne göre her birleştirmede 4 adet bağlantı elemanı kullanılacağı belirtilmiştir.



Şekil 3.4 Birleştirmelerin modellenmesi

Şekil 3.4’ te mekanik birleştirmenin modellenmesi gözlemlenmektedir. Bindirme ölçüsünün 25.4 mm olarak uyarlanması, çapları 5 mm olan 4 deliğin bindirme alanına eşit ölçülerde yerleştirilmesi gibi unsurlar CAD ortamında hazırlanmıştır. Mekanik birleştirme için yapılan bu modelleme ikincil birleştirmede de kullanılabilir. Bindirme ölçüsü değişmemekte yalnızca delikler yok sayılmaktadır. Yapıştırma ile birleştirmede delik gereksinimi yoktur.

3.2 Üretim ve İmalat

CAD ortamında 3 boyutlu katılama ile tasarımları ve üretim planlamaları tamamlanan deney numunelerinin Amperino Otomotiv firması atölyesinde vakum infüzyon yöntemi ile üretimi açıklanmıştır.

3.2.1 Deney Plakalarının Üretimi

Kompozit deney plakaları üretilirken vakum infüzyon metodu kullanılmış, 3 farklı bağlantı metodu tercih edildiği için (pop perçin, ezme perçin, ikincil birleştirme) 3 farklı deney plakası üretimi gerçekleştirilmiştir. Deney plakaların üretimi ve mekanik birleştirmeleri olan ”pop perçin” ve ”ezme perçin” ile birleştirme işlemleri sırasında ”Amperino Otomotiv Mekatronik

Sanayi A.Ş.” laboratuvarlarından yararlanılmıştır. İkincil birleştirme yani yapıştırıcı ile birleştirme esnasında ise ”BASF Chemetall Sanayi Kimyasalları Ticaret ve Sanayi A.Ş.” şirketinin laboratuvarlarından yararlanılmıştır.

3.2.1.1 Deney Sisteminin kurulumu ve hazırlık aşaması

Reçine infüzyon deney sistem hazırlığı 3 aşama altında incelenebilir. Bunlarda birinci adımda yapılması gereken keten kumaşların istenen düzeylerde ve yapılmak istenen dizilimdeki laminasyonlara uygun olarak kesilerek hazır hale getirilmesidir.



Şekil 3.5 Rulo biçimindeki keten elyaf

Şekil 3.5’ te Rulo biçiminde tedarik edilen keten elyaf kumaşlar görülmektedir. Daha önce CAD tasarımı esnasında saptanan toplam 3 adet ve $203,2 \times 200 \times 2.5$ mm boyutlarındaki plaka üretimi gereksinimlerine göre keten elyaf kumaşların kesilmesi ve deneye hazırlanması gerekmektedir.



Şekil 3.6 Deney plakasının $203,2 \times 200 \times 2.5$ boyutlarında kesilmesi

Şekil 3.6’ da deney boyutlarına uygun hazırlanmış keten kumaşlar gözükmemektedir. Keten Kompozit plakanın üretim sonrası 2.5 mm kalınlığında olabilmesi için laminasyona girecek kumaş sayılarının belirlenmesi aşamasında bireysel kalınlıkları hesaba katılarak toplam 5 adet kumaş üst üste aynı boyutlarda kesilerek hazırlanmıştır.

İkinci adımda yapılması gereken sistemde kullanılacak sarf malzemelerin hazırlanarak eksiksiz olarak deney düzeneğinde yerine konulması adımlarını kapsar. Kesilen kumaşlar cam tezgâha, tezgâhın boyutları göz önünde bulundurularak uygun biçimde dizilmeden önce cam tezgâha bir kalıp ayırıcı uygulama işlemi gerçekleştirilir ve sonrasında kumaşlar tezgâha dizilir. Kumaşlar tezgâha dizildikten sonra vakum battaniyesi, akış filesi, vakum naylonu, vakum hortumları ve konektörler gibi tüm sarf malzemeler uygulanarak vakum bandı ile tezgâh ve vakum naylonu arasında vakum hattı kurulmuştur.



Şekil 3.7 Vakum bandı

Şekil 3.7’ de kalıp cam tezgahı ve vakum naylonu arasında kalan, deney için kesilen keten kumaşların ve sistemde kullanılacak sarf malzemelerin bulunduğu bölgede uygulanması gereken vakum hattını sağlayacak vakum bandı görülmektedir.

Üçüncü ve son adımda yapılanlar; kullanılacak reçine ve sertleştirici miktarını belirlenip reçine ve sertleştiricinin ideal karışımı hesaplanmıştır. Bu kısımda bir hassas terazi yardımı ile önce kullanılacak kabın darası alınarak daha sonra reçinenin tedarik edildiği firmadan alınan reçine ve sertleştirici oranları (%65 Epoksi %35 Sertleştirici) hazırlanmış, deneyin uygulanması için yapılacak hazırlıklar tamamlanmıştır.



Şekil 3.8 Reçine sertleştirici karışımı

Reçine ve sertleştirici, reçine tedarikçisinden alınan tavsiye doğrultusunda kaba aktarımı sonrası 10 dakika duraksız bir şekilde çubuk yardımıyla karıştırılmış ve homojenlik sağlanmıştır. Hassas terazi yardımıyla sırasıyla %65 - %35 oranındaki karışımının hazırlanması Şekil 3.8’de belirtilmiştir.

3.2.1.2 Deneyin Uygulanması ve Sistemin Çalışması

Uygun reçine oranlarının hazırlanmasından sonra en önemli adım sistemin içindeki havayı tamamen çekip vakum hattının sızdırmaz olduğuna emin olmaktır. Vakum bandı ve vakum naylonunun birbirine sorunsuz yapışması, sistemin problemsiz çalışması açısından son derece kritiktir. Bu sebeple vakum naylonu vakum bandına yapıştırıldıktan sonra bir kaç kez üstüne parmaklar ile basınç uygulamak gereklidir.



Şekil 3.9 Sistem basıncı

Manometreden okunan -760 mmHg değeri, sistemin tam vakum altında olduğunun en önemli nicel göstergesidir. Sistemin tam vakum altında olmasının bu denli kritik olmasının sebebi; sistem vakum altındayken, reçine girişi açıldığında sistemin reçineye bir vakum etkisi uygulayarak elyafların doğrusal şekilde ıslanmasıdır. Eğer sistemde tam vakum etkisi sağlamazsa üretilen plakalar uygun bir deney plakası olmayacaktır. (Deniz, 2025)



Şekil 3.10 Vakum infüzyon deney düzeneği

Sisteme reçine girişi bir süreçtir ve sistem reçineyi tamamen emene kadar yani kumaşların ıslanması tamamen sağlanana kadar reçine transferi kesilmez. Şekil 3.11’ de reçine emen ve kumaşları ıslanma safhasında olan vakum infüzyon sistemi gözlemlenmektedir. Sistemde de

belirtilen boyutlardaki 3 adet deney plakasının üretildiği ve reçine tarafından ıslanmakta olduğu gözlemlenmektedir.



Şekil 3.11 Sisteme reçine girişi

3.2.1.3 Kırleme ve Nihai Ürün Aşaması

Sisteme reçine transferi tamamlandığında konnektörler kapatılarak sistemin hava ile teması kesilmiştir. İçinde reçine emmiş kumaşlar bulunan infüzyon sisteminin bu noktadan sonra hava almaması için gerekli güvenliği ön planda tutulmuştur. Sistem 1 gün boyunca kurlenmesi için bırakılmıştır.



Şekil 3.12 Tez çalışması için üretilen ürün görünüşü

Şekil 3.12 de kür sonrası kalıptan alınan final ürün deney plakası gözlemlenmektedir. Şekil 3.12 den de anlaşılacağı üzere; deney plakası üzerinde herhangi bir hava kabarcığı bulunmamaktadır. 3 adet üretilen bu deney plakaları aynı sistemden ve aynı kalıptan çıkmış olup aynı

numunelerden üretiliyor olması, deney sonucunun hassasiyeti üzerinde rol oynaması açısından dikkatli şekilde incelenmiştir.

3.2.2 Kesim ve Montaj

Deney plakaları üretimi yapıldıktan sonra sıradaki işlem; üretilen plakaların numunelere bölünmesi amacıyla kesimi ve çekme testi için seçilen bağlantı metodları ile montajdır. ASTM normuna göre üretilecek numunelerin genişliği 25.4 mm, uzunluğu 101.6 mm ve kalınlığı 2.5 mm'dir. Bu kesimin doğru bir şekilde tamamlanması amacıyla plaka üzerinde bu ölçülere uygun işaretlemeler hassas biçimde yapılmıştır. Standardın tercih edilmesinin nedeni; fiber takviyeli polimerlerin özellikle yapıştırıcı ve diğer komponentler ile birleştirilmesi üzerindeki spesifik yönelimidir. Üst üste bindirme yapılarak birleştirilmiş numunelerin çekme mukavemetlerini belirlemek için seçilen standardın normları kullanılmıştır. Numune malzemesinin otomotiv taşıyıcı yapılarında kullanılması amaçlanmıştır. İşaretlemelerin tamamlanması akabinde deney plakalarının kesilmesi işlemi sırasında "mobilya daire yatağı" makinasından yardım alınmıştır. Mobilya daire yatağı; yüksek devirle dönen çember bıçağına sahip, kesim amaçlı kullanılan bir makinedir. Bu noktada tercih edilmesinin asıl nedeni; Su jeti vb diğer yöntemlerin seri üretimde kullanılması ve prototiplemeye uygun olmamasıdır. Montaj bölümünde mekanik birleştirme başlığı altında pop perçin ve ezme perçin ile birleştirme işlemleri anlatılmış, ikincil birleştirme başlığı altında ise yapıştırıcı ile birleştirme işlemlerinden bahsedilmiştir.

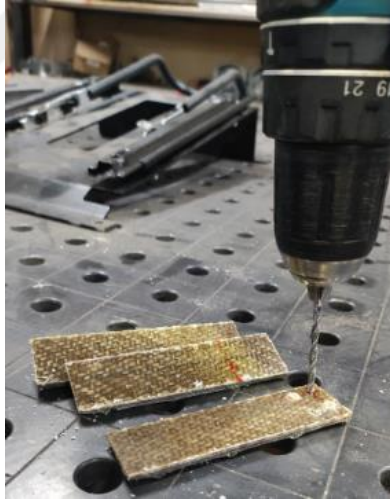
3.2.3 Mekanik Birleştirme

Perçin ile bağlantıların yapılabilmesi için hem pop perçin hem ezme perçin bağlantısı yapılmadan önce birleştirilecek parçalarda perçin çapına uygun, kullanılacak bağlantı elemanı sayısı kadar yani 4 adet delik açılmıştır. Hizalama açısından da önemli olduğundan delik açma işlemi hassas biçimde uygulanmıştır. Delik açmadan önce parça üzerinde delik konumlarını işaretlemek deliklerin konumunu doğru bir şekilde belirlemek için son derece önemlidir. Parçaların birleştirme bindirme bölgelerinin uzunluğu 25.4 mm numune genişliği de yine 25.4 mm olarak belirlenmiştir. İşaretleme yapılırken kumpas yardımıyla 25.4 mm açıklık ayarlanarak bindirme bölgesi işaretlemesi yapılmıştır. Yine kumpas yardımı kullanılarak 6.35 mm açıklığı ayarlanan kumpas ile delik merkezlerinin eksen işaretlemeleri oluşturulmuştur.



Şekil 3.13 Montaj öncesi işaretleme

İşaretleme işlemi sonrasında merkezleri belirlenen deliklerin açılmasında matkap kullanılmıştır. Delik delme sırasında matkabın, kompozit malzemelerde reçine sarma yapmaması için düşük devir ve elmas uç kullanılmıştır. Ayrıca daha önce hesaplaması yapıldığı gibi bindirme bölgesinde 5 mm çapında ezme ve pop perçin kullanılacağından 5 mm çapında 4 adet delik delinmiştir.



Şekil 3.14 Delik delme

Delikleri açılan numuneler birleştirme için hazır duruma getirilmiştir. Bu kısımdan sonra pop perçin uygulaması yapılmıştır. Numuneler 4 delik karşılıklı gelecek şekilde hizalamaları yapılarak bindirme bölgelerinden pop perçinleri takılmıştır. Pop perçinler el tabancası ile sıkılarak ilk bağlantı elemanı numuneleri elde edilmiştir. Şekil 3.15 te pop perçin uygulaması el tabancası ile birlikte görülmektedir.



Şekil 3.15 Pop perçin uygulaması

Pop perçin uygulaması tamamlandıktan sonra ezme perçin uygulaması yapılırken hazırlık aşaması her iki montaj metodu için de aynıdır. Gövde çapları da aynı olan bu iki metal bağlantı elemanı için işaretleme ve delik delme aşamalarında aynı işlemler uygulanmıştır.

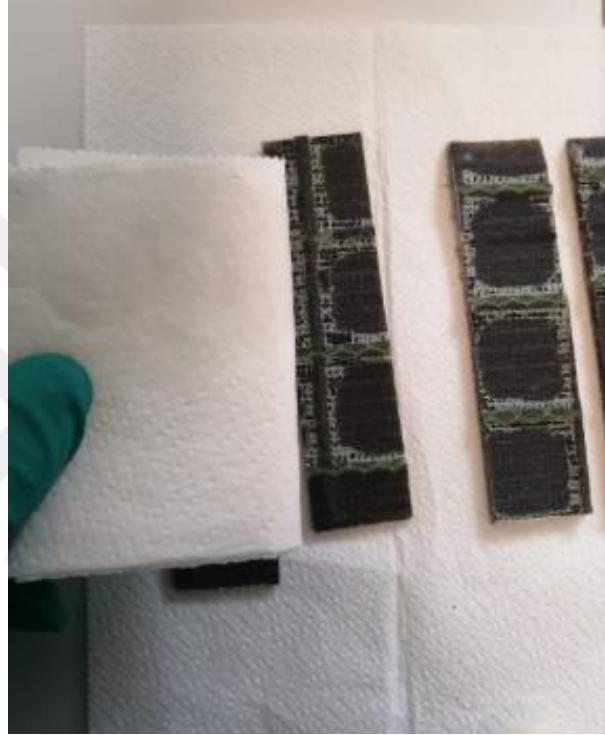
Ezme perçin gövdeleri, yine pop perçin uygulamasında olduğu gibi numunenin 4 adet deliği karşılıklı gelecek şekilde hizalama ve bindirme yapıldıktan sonra deliklere takılır. Fakat burada farklı adım olarak pop perçinde el tabancası kullanılırken ezme perçinde çekiç yardımı ile uçlar şişirilerek sıkıştırma sağlanmaktadır. Kompozit malzemelerin hasar görmemesi amacıyla çekiç darbeleri dikkatli ve oldukça hassas bir şekilde uygulanmıştır. Şekil 3.16 de uygulama gözlemlenmektedir. Uygulanan her iki perçinin de kalitesi SH – 3001 Al'dır. Çekme dayanımı ise 90 Mpa'dır.



Şekil 3.16 Ezme perçin uygulaması

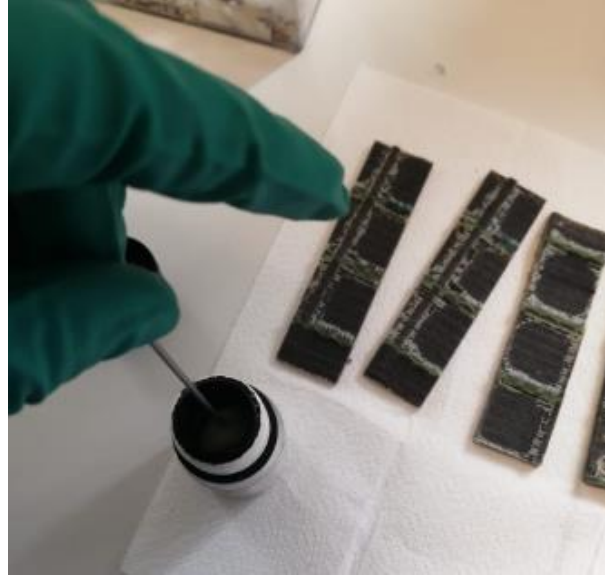
3.2.4 İkincil Birleştirme

İkincil birleştirme yöntemi olarak reçine bazlı, çift komponentli endüstriyel yapıştırıcıların kullanılacağı tezin önceki aşamalarında belirtilmişti. Endüstriyel çift komponentli yapıştırıcı uygulaması yapılırken ilk adım olarak Kompozit numunelerin yüzeylerini temizlemek amaçlı yapıştırıcı ve primerin sürüleceği bölgelerde solvent bazlı aktüatör kullanılmış, uygulaması yapılmıştır.



Şekil 3.17 Aktüatör uygulaması

Yüzey temizliği uygulaması sonrası solvent bazlı aktüatörün kuruması birkaç dakika beklenmiştir. Malzeme yüzeyi aktüatörün kuruması sonrası primer uygulamasına geçilmiştir. Çift komponentli yapıştırıcı uygulamasında primer ciddi bir önem taşımaktadır. Primer bir malzemede yüzey gerilimi arttırmakta ve malzemenin yapıştırılması için kimyasal olarak elverişli bir ortam hazırlamaktadır. Primerler, yapışmanın optimum olabilmesi amaçlı ince bir film halinde uygulanması kalın tabakalar oluşturmaması önemlidir (İnt. Kyn. 13). Bu bilgiler ışığında primer uygulaması yapılırken tel gövdeli silindirik sünger başlı bir fırça yardımı kullanılarak EFBOND DW 646 marka ve kodlu primerin uygulaması ince bir film şeklinde yapıştırılacak Kompozit numunelerinin yapışma bölgesine uygulanmıştır.



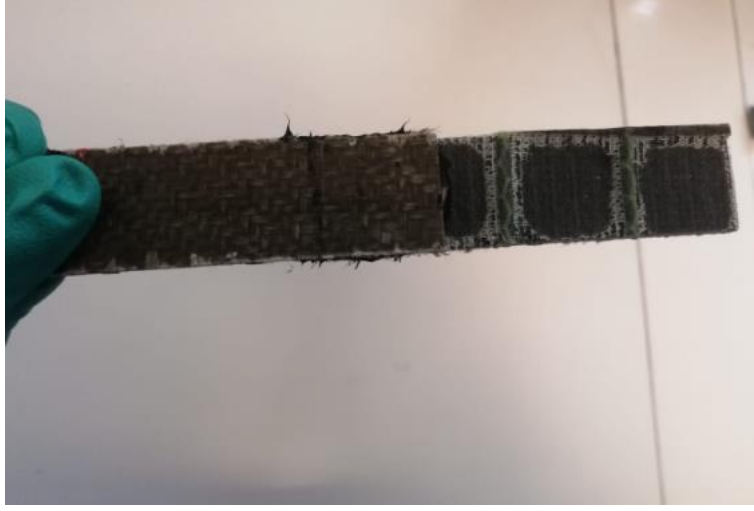
Şekil 3.18 Primer uygulaması

Primer uygulaması sonrası yine uygulama yüzeyi kuruması beklenmiştir. Bekleme zamanı dolduktan sonra a komponenti olan yapıştırıcı uygulamasına geçilmiştir b komponenti sistemin primeridir. Yapıştırıcı uygulaması yapılırken tıpkı sıcak silikon uygulamasındaki gibi sıkma tabancası kullanılmıştır. Yapıştırıcı silikon sosisi gibi tedarik edildiğinden bu metot seçilmiştir.

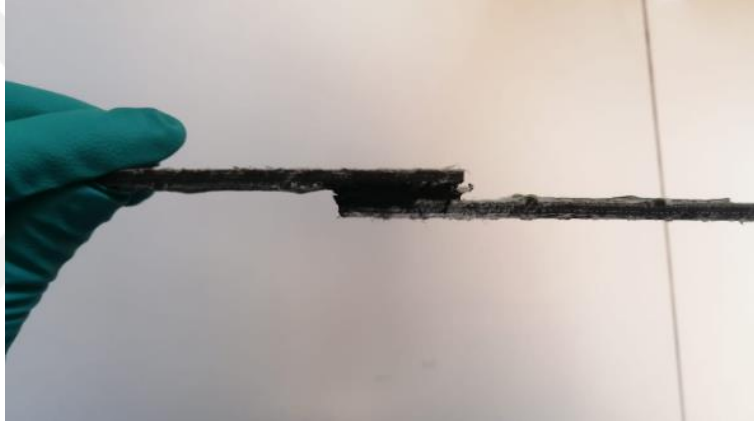


Şekil 3.19 Yapıştırıcı uygulaması

Sırasıyla; aktüatör, primer ve yapıştırıcı uygulamaları tamamlandıktan sonra numuneler daha önce standartlara göre yapılan ölçüm sonucu işaretlenen bindirme bölgelerinden yapıştırılarak kurumaya bırakılmış ve çekme testi için hazır hale getirilmiştir.



Şekil 3.20 Yapıştırma işlemi



Şekil 3.21 Yapıştırma işlemi kesiti

Şekil 3.20 ve şekil 3.21 de yapıştırma işleminin farklı görünüşleri mevcuttur. Yapıştırıcı ve bindirme bölgesi kombinasyonu görsellerde açıkça belirtilmiştir. Montajın son aşaması olan bu bölümde tüm işlemler yapılarak numuneler çekme testine hazır hale getirilmiştir. Numunelere tek bindirmeli kayma testleri “Instron” markalı 250 kN kapasiteli cihazda uygulanmıştır. Test hızı 12.7 mm/dk’dır.



Şekil 3.22 Çekme testi

4- BULGULAR

Çekme testinden alınan sonuçlar bu bölümde, mekanik ve ikincil birleştirme sonuçları olarak ayrı biçimde tablo ve grafikler şeklinde ifade edilmiştir.

4.1 Mekanik Birleştirme

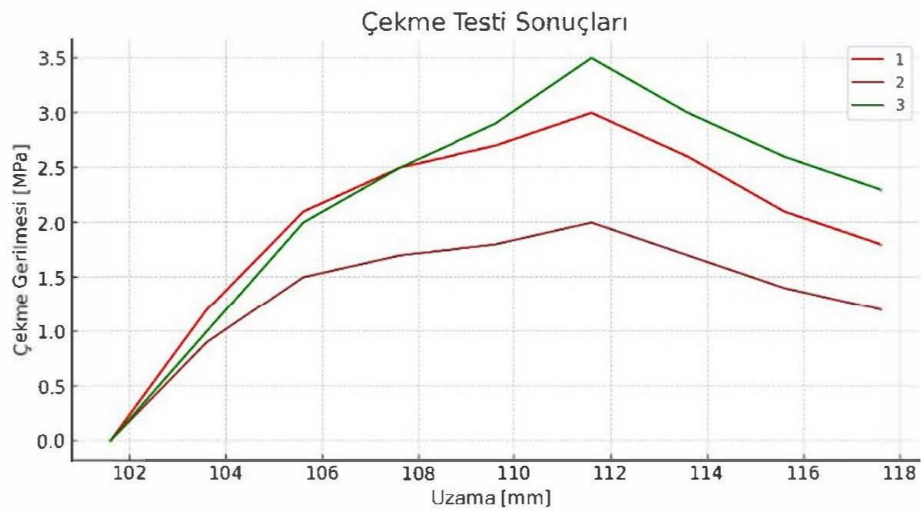
Yapılan 3 ayrı numunelerin çekme testi sonucunda ortalama çekme ve uzama değerleri “Tablo 1” de gözlemlenmektedir.

Çizelge 1 Mekanik birleştirme sonuçları

Yöntem	Gerilme (Mpa)	Uzama (mm)
Pop Perçin	97,4	3,53
Ezme Perçin	96,9	3,72

4.2 İkincil Birleştirme

Şekil 4.1’de “İkincil Birleştirme” yani yapıştırma ile birleştirmeleri yapılan 3 numuneli keten elyaf takviyeli kompozitlerin her numune için gerilme ve uzama grafikleri gözlemlenmektedir. Ayrıca grafiğin daha anlaşılabilir olması amacıyla grafikteki 3 numunenin çekme ve uzama değerlerinin aritmetik ortalaması alınarak “Tablo 2” de net sonuç olarak ifade edilmiştir.



Şekil 4.1 İkincil birleştirme grafiği

Çizelge 2 İkincil birleştirme sonuçları

Yöntem	Gerilme (MPa)	Son Boy (mm)
İkincil Birleştirme (Yapıştırma) NUMUNE -1	2,30	117,82
İkincil Birleştirme (Yapıştırma) NUMUNE -2	2,21	117,76
İkincil Birleştirme (Yapıştırma) NUMUNE -3	3,84	117,95
İkincil Birleştirme (Yapıştırma) ORTALAMA	2,78	117.84

Yüzde uzama değeri hesaplariken eşitlik 1’den yararlanılır (İnt. Kyn. 14);

$$\%uzama = \left(\frac{(\text{İlk uzunluk} - \text{Son uzunluk})}{\text{İlk uzunluk}} \right) \times 100\% \quad (\text{Eşitlik 1})$$

Bu formül ışığında ilk uzunluğun 101.6 olduğu bilinip çekme testi sonuç ortalaması olarak 117.84 değeri okunurken bu değerler formülde yerine yazıldığında sonuç %15,98 olarak hesaplanmaktadır.

Çizelge 3 Genel sonuçlar

Yöntem	Gerilme (MPa)	Uzama (mm)
Pop Perçin	97,4	105.13
Ezme Perçin	96,9	105.32
İkincil Birleştirme (Yapıştırma)	2,78	117.84

Aynı formül pop perçin için uygulandığında ilgili değerler yerine yazıldığında sonuç Pop perçin için yüzde uzama değeri; %3,47 olarak hesaplanmıştır.

Aynı formül ezme perçin için uygulandığında ilgili değerler yerine yazıldığında sonuç Pop perçin için yüzde uzama değeri; %3,66 olarak hesaplanmıştır.

5- TARTIŞMA VE SONUÇ

Bulgular kısmında “Tablo 3” deki sonuçlar göz önüne alındığında mekanik birleştirme “Ezme Perçin ve Pop Perçin” için çekme dayanımları sırasıyla 97,4 MPa ve 96,9 MPa olduğu gözlemlenmiştir. Bu iki birleştirme metodu sonuçlarının birbirine çok yakın olduğu anlaşılmaktadır. Bu da; aslında çıkan sonucun kullanılan bağlantı elemanın malzemelerinin aynı olması ile bağlantılı olduğu kanısına varılmıştır. Yani yapılan çekme testinde keten elyaf takviyeli Kompozit maksimum kuvvete dayandığı noktada, kullanılan bağlantı elemanı kaynaklı hasarın gözlemlendiği anlamına gelmektedir.

Şekil 4.1 de gözlemlenen grafik ile “Tablo 2” birbiri ile bağlantılıdır. Şekil 4.1’deki grafik çekme testi yapılan yapıştırma ile montajlı numunelerin Gerilim (Stress) – Gerinim (Strain) grafiğini ifade etmekte iken Tablo 2; yapıştırma ile bağlantının nihai sonuçlarını ifade eder. Grafik incelendiğinde pik noktaları, çekme testinde numunelerin boyun verdiği değerleri ifade eder ve bu değerler Tablo 2’de uzama sütunu olarak belirlenmiştir.

Tablo 3 göz önüne alındığında Mekanik birleştirmelerin dayanım bakımından yapıştırma ile birleştirmeye kıyasla çok ciddi bir mukavemet avantajı sağladığı gözlemlenmektedir. Mekanik Birleştirmeler sırasıyla 97,4 MPa ve 96,9 MPa çekme dayanımı gösterirken ikincil birleştirme olan yapıştırıcı ile birleştirmede ise bu sonuç 2,78 MPa’dır. Kompozit malzemelerin montaj ve birleştirilmeleri esnasında yalnızca mukavemet isteri göz önüne alınırsa mekanik birleştirmelerin tercih edilmesi deney sonuçlarına göre daha doğru olacağı saptanmıştır.

Tablodaki diğer bir parametre de uzama miktarlarıdır. Çekme testinde uzama miktarı 16,24 mm’lik değer ile daha fazla olması nedeniyle ikincil birleştirmenin diğer iki birleştirme yöntemine kıyasla daha sünek bir hasar aldığı gözlemlenmektedir. “Pop Perçin” ile birleştirme için bu uzama değeri 3,53 mm iken “Ezme Perçin” ile birleştirmede bu değer 3,72 mm’dir. Bu da, yapıştırma ile birleştirme tercih edilirse kaza anında gevrek hasar kaynaklı sivri parça tehlikesini daha minimize edeceği anlamına gelmektedir.

6- KAYNAKLAR

- Basavarju D. H, 1998, ” Design And Analysis Of A Composite Beam For Side Impact Protection Of A Sedan”, Submitted to the Department of Mechanical Engineering and the faculty of the Graduate School of Wichita State University in partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science. Bachelor of Engineering, Mysore University, India.
- Cihan M, Benaga M, RIBEIRO H, 2022, “Investigating the moisture content of flax fibre reinforced composite materials”, Turkish Journal of Maritime and Marine Sciences, 8,2,161-166
- Dagdag O, Safi Z, Hsissou R, Erramli H, El Bouchti M, Wazzan N, 2019, Epoxy prepolymers as new and effective materials for corrosion inhibition of carbon steel in acidic medium: computational and experimental studies. Sci Rep;9:1–14.
- Davoodi M.M , Sapuan S.M , Ahmad D, Aidy A, Khalina A, Jonoobi M, 2011, “Concept Selection Of Car Bumper Beam With Developed Hybrid Bio-Composite Material”. Materials and Design; 32: 4857-4865.
- Demirkesen E, 1991, Kompozit Malzemeler. İTÜ Yayını, 85, İstanbul.
- Deniz M.E, 2005, Kompozit malzemelerin üretim yöntemleri ve ısıtılma işlemle presleme tekniğini kullanarak kompozit malzeme üretecek bir düzeneğin tasarım ve imalatı, Harran Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Şanlıurfa.
- Durdu M.E, 2006, Punta kaynağı ve perçin bağlantılarının mukavemetlerinin karşılaştırılması. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek lisans Tezi, İstanbul.
- Baştekeli E.O, 2020 , “Havacılık Alanında Kullanılan Birleştirme Yöntemleri”. Mühendis ve Makina.
- Genç Ç, Arıcı. A.A, 2008, “Yat İmalatında Kullanılan CTP Malzeme ve İmalat Yöntemleri Bölüm III: İnfüzyon Yöntemi”, Gemi ve Deniz Teknolojisi Dergisi, Sayı: 178, s.16-21

- Ghadianlou A, Abdullah S. B, 2013, "Crashworthiness Design Of Vehicle Side Door Beams Under Low-Speed Pole Side Impacts" Thin-Walled Structures; 67: 25-33.
- Grohe, B, 2004, Heat conductivities of insulation mats based on water glass bonded nontextile hemp or flax fibres, Holz als Roh- und Werkstoff, 62(5): 352-357.
- Kim I.T, Kang H.S, 2014, "Development of An Impact Test Device For Light-Weight Automotive Reinforcements" Journal of the Korea Academia-Industrial Cooperation Society; 15: 5963-5967.
- Lim T.S, Lee D.G, 2002, "Mechanically Fastened Composite Side-Door Impact Beams For Passenger Cars Designed For Shear-Out Failure Modes", Mechanical Design Laboratory with Advanced Materials, Department of Mechanical Engineering, Korea Advanced Institute of Science and Technology, South Korea, Composite Structures; 56: 211–221.
- Bayraktar Ş, 2018, "Elyaf takviyeli polimer kompozit malzemelerin farklı delme yöntemleri delinmesinde kesme performansının değerlendirilmesi: Literatür Taraması".
- Torun S.B, 2021, "Availability of some environmental wastes and natural fibers in composites", Coruh University, Journal of Forestry Faculty, 22,1,126-133, Artvin (2021).
- Tsuchida T, Yamamoto S, Isomura K, 2018, " The Application Of The Damage & Fracture Material Model To Crashworthiness Evaluations For Aluminum Cars " .
- Turan K, 2016, "Kompozit malzemelerde yapışma bağlantılarının mukavemeti üzerine yama fiber takviye açısı etkisi", Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi mühendislik dergisi,7,1,129-138
- V. Fiorea , L. Calabreseb , T. Scalicia , P. Bruzzanitib , A. Valenzaa, 2018, "Bearing strength and failure behavior of pinned hybrid glass-flax composite laminates", Polymer Testing 69 310–319
- Yaman, N, Öktem T, Seventekin , 2007, "Properties of Carbon Fibers and Usage Possibilities", Tekstil ve Konfeksiyon,

İnternet kaynakları

- 1- www.tobb.org.tr, (26.09.2023)
- 2- <http://kompozithayalleri.com/matris-nedir/>, (08.10.2023)
- 3- <https://www.rockwestcomposites.com/shop/materials-tools/fabrics-pre-pregs-tow>, (17.10.2023)
- 4- <https://www.ceyrekmuhendis.com/kompozit-uretim-yontemleri/>, (23.10.2023)
- 5- <https://slideplayer.biz.tr/slide/2809456/>, (04.11.2023)
- 6- <http://kompozithayalleri.com/uretim-yontemlerine-genel-bakis/>, (09.11.2023)
- 7- <https://kompozit.org.tr/tr/dogal-elyafli-kompozitlerin-genel-gorunumu/>, (21.11.2023)
- 8- <https://www.bcomp.ch/solutions/motorsports-bodywork/>, (15.12.2023)
- 9- <https://www.bcomp.ch/solutions/automotive-interior-panels/>, (15.03.2024)
- 10- <https://www.persico.com/>, (19.03.2024)
- 11- <http://www.hedefbaglanti.com.tr/dolu-ezme-percin-pd-2044-40> (17.04.2024)
- 12- www.astm.org, (05.05.2024)
- 13- <https://www.jowat.com/tr-TR/yaptrclar/primerler/>, (12.05.2024)
- 14- [https://mm.ksu.edu.tr/depo/belgeler/ks%C3%BC%20%C3%A7ekme%20\(1\)_1702221612397020.pdf](https://mm.ksu.edu.tr/depo/belgeler/ks%C3%BC%20%C3%A7ekme%20(1)_1702221612397020.pdf), (21.07.2024)