

**T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ÇİNKO BORAT KATKILI CTP KOMPOZİT MALZEMELERİN
ÜRETİMİ, MEKANİK VE KİMYASAL ÖZELLİKLERİNİN
İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Sinan GÖKTAŞ

Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı

MART 2023

**T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ÇİNKO BORAT KATKILI CTP KOMPOZİT MALZEMELERİN
ÜRETİMİ, MEKANİK VE KİMYASAL ÖZELLİKLERİNİN
İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Sinan GÖKTAŞ

Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Dr.Öğr.Üyesi Serdar ASLAN

MART 2023

Sinan Göktaş tarafından hazırlanan “ÇİNKO BORAT KATKILI CTP KOMPOZİT MALZEMELERİN ÜRETİMİ, MEKANİK VE KİMYASAL ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ” adlı tez çalışması 03.03.2023 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı’nda Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Tez Jürisi

Jüri Başkanı :	Dr.Öğr.Üyesi Mustafa AKÇİL Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi	
Jüri Üyesi :	Doç.Dr. Serdar ASLAN Sakarya Üniversitesi	
Jüri Üyesi :	Doç.Dr. Mehmet UYSAL Sakarya Üniversitesi	



ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ

Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Lisansüstü Eğitim-Öğretim Yönetmeliğine ve Yükseköğretim Kurumları Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiği Yönergesine uygun olarak hazırlamış olduğum “ÇİNKO BORAT KATKILI CTP KOMPOZİT MALZEMELERİN ÜRETİMİ, MEKANİK VE KİMYASAL ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ” başlıklı tezin bana ait, özgün bir çalışma olduğunu; çalışmamın tüm aşamalarında yukarıda belirtilen yönetmelik ve yönergeye uygun davrandığımı, tezin içerdiği yenilik ve sonuçları başka bir yerden almadığımı, tezde kullandığım eserleri usulüne göre kaynak olarak gösterdiğimi, bu tezi başka bir bilim kuruluna akademik amaç ve unvan almak amacıyla vermediğimi ve 20.04.2016 tarihli Resmi Gazete’de yayımlanan Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin 9/2 ve 22/2 maddeleri gereğince Sakarya Üniversitesi’nin abonesi olduğu intihal yazılım programı kullanılarak Enstitü tarafından belirlenmiş ölçütlere uygun rapor alındığını, çalışmamla ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun ortaya çıkması halinde doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi beyan ederim.

(03/03/2023)

(imza)

Sinan GÖKTAŞ



TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın yapılmasında ve tamamlanmasında her türlü desteğü esirgemeyen, bilgi ve tecrübelerinden yaralandığım tez danışmanım Doç.Dr. Serdar ASLAN hocama en içten dileklerle teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmanın yapılması için destek olan Cosmo Polimer ve Kompozit firmasına ve Arş.Gör. Erhan DURU hocama teşekkürlerimi sunarım.

Son olarak, tüm eğitim hayatım boyunca büyük bir sabırla maddi ve manevi desteklerini benden esirgemeyen aileme sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Sinan GÖKTAŞ



İÇİNDEKİLER

Sayfa

ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ	v
TEŞEKKÜR	vi
İÇİNDEKİLER	ix
KISALTMALAR	xii
SİMGELER	xii
TABLO LİSTESİ	xv
ŞEKİL LİSTESİ	xvii
ÖZET	xx
SUMMARY	xxiii
1. GİRİŞ	1
2. POLİMERLER	9
2.1. Polimerlerin Sınıflandırılması	12
2.1.1. İnorganik polimerler	12
2.1.2. Organik polimerler	12
2.1.2.1. Doğal polimerler	12
2.1.2.2. Sentetik polimerler	12
2.1.2.3. Yarı sentetik polimerler	13
2.1.2.4. Hidrojeller	13
2.2. Polimerlerin Kullanım Alanları	14
2.3. Piroliz	14
2.4. Alev Geciktiriciler	15
2.4.1. Fiziksel etki	18
2.4.2. Kimyasal etki	18
2.4.3. UL-94 testi	19
2.5. Alev Geciktirici Katkı Maddeleri	19
2.5.1. Mineral alev geciktiriciler	19
2.5.1.1. Metal hidroksitler	20
2.5.1.2. Boratlar	20
2.5.2. Halojenli alev geciktiriciler	20
2.5.3. Fosfor bazlı alev geciktiriciler	21
2.5.4. Azot bazlı alev geciktiriciler	21
3. KOMPOZİT MALZEMELER	23
3.1. Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması	23
3.1.1 Metal matrisli kompozitler	23
3.1.2. Seramik matrisli kompozitler	23
3.1.3. Polimer matrisli kompozitler	24
3.1.3.1. Termoset matrisli kompozitler	24
3.1.3.2. Termoplastik matrisli kompozitler	25
3.2. Polimer Matrisli Kompozitlerin Üretim Yöntemleri	26
3.2.1. Açık Kalıp sistemleri	26
3.2.1.1 El yatırma işlemi	26

3.2.1.2 Püskürtme.....	28
3.2.1.3 Vakum poşeti kalıplama.....	28
3.2.2. Kapalı kalıp sistemleri.....	29
3.2.2.1 Soğuk pres kalıplama.....	29
3.2.2.2 Sıcak pres kalıplama.....	29
3.2.2.3 Reçine enjeksiyonu.....	30
3.2.2.4 Reçine transfer kalıplama(RTM).....	30
3.2.3 Otomatik sistemler.....	30
3.2.3.1 Filament sarma.....	30
3.2.3.2 Pultrüzyon.....	31
3.3. Kompozit Malzemelerin Mekanığı.....	31
3.3.1. Mikromekanik.....	32
3.3.2. Makromekanik.....	35
3.4. Kompozit Malzemelerin Özelliklerine Etki Eden Faktörler	39
4. MATERYEL VE ÜRETİM YÖNTEMİ	41
4.1. Malzeme Seçimi	41
4.1.1. Matriks: polyester.....	41
4.1.2. Takviye cam elyaf	41
4.1.3 Çinko borat.....	42
4.2. Üretim yöntemi.....	43
4.2.1 Üretilen numuneler.....	46
4.3. Uygulanan deneyler	47
4.3.1 Çekme testi deneyi.....	47
4.3.2 Darbe testi deneyi.....	48
4.3.3 Eğme testi deneyi.....	49
4.3.4 Alevlenebilirlik.....	50
5. ARAŞTIRMA BULGULARI	53
5.1. Çekme Deneyi Bulguları	53
5.2. Eğme Deneyi Bulguları	56
5.3. Darbe Deneyi Bulguları.....	59
5.4. Alevlenebilirlik UL94 Yatay ve Dikey Yanma Bulguları.....	59
5.4.1 Yatay yanma tesiti bulguları.....	59
5.4.2 Dikey yanma testi bulguları.....	63
6. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	65
KAYNAKLAR.....	67
ÖZGEÇMİŞ.....	71



KISALTMALAR

ABS	: Akrilonitril bütadien stiren
AL(OH)₃	: Alüminyum hidroksit
ATH	: Alüminyum tri-hidroksit
B₂O₃	: Bor oksit
BMC	: Toplu kalıplama bileşimi
CTP	: Cam elyaf takviyeli polyester
CH₃	: Metil grubu
FEP	: Florlu etilen propilen
LOI	: Düşük oksijen indeksi
MDH	: Magnezyum di-hidroksit
Mg(OH)₂	: Magnezyum hidroksit
MMK	: Metal matrisli kompozit
PE	: Polietilen
PEEK	: Polietereterketon
PMK	: Polimer matrisli kompozit
PP	: Polipropilen
PS	: Polistiren
PTFE	: Polietrafloroetilen
PVC	: Polivinil klorür
RTM	: Reçine trasnfer kalıplama
SMC	: Levha kalıplma bileşimi
SMK	: Seramik matrisli kompozit



SİMGELER

C^*	: Ortalama Kompozitin Sertliği
C_f	: Fiber sertliği
C_m	: Matris sertliği
t	: Zaman
ρ	: Yoğunluk
ρ	: Yoğunluk
E	: Elastisite Modülü
ν	: Poisson's Oranı
ε	: Şekil Değiştirme
V_f	: Fiber Hacim Oranı
V_m	: Matris Hacim Oranı
W_m	: Matrisin Kütle Oranı
W_f	: Fiberlerin Kütle Oranı

TABLO LİSTESİ

Sayfa

Tablo 1.1. Kompozitlerin basit sınıflandırma şeması.....	2
Tablo 1.2. Çeşitli cam elyaf sınıflarının fiziksel özellikleri.....	3
Tablo 1.3. Kompozit malzemelerin kullanım alanları.....	4
Tablo 4.1. Çinko boratın fiziksel özellikleri.....	42
Tablo 4.2. Çinko boratın kimyasal bileşimi.....	42
Tablo 4.3. UL94 V yanıcılık testi için malzemelerin sınıflandırılması.....	51
Tablo 4.4. UL 94 HB yanıcılık testi için malzemelerin sınıflandırılması.....	52
Tablo 5.1. Çekme Deneyi Sonuçları.....	55
Tablo 5.2. Eğme Deneyi Sonuçları.....	58
Tablo 5.3. Darbe Deneyi Sonuçları.....	59
Tablo 5.4. Çinko borat eklenmemiş numunelerin yanma süreleri.....	59
Tablo 5.5. %10 Çinko borat eklenmiş numunelerin yanma süreleri.....	60
Tablo 5.6. %15 Çinko borat eklenmiş numunelerin yanma süreleri.....	61
Tablo 5.7. %20 Çinko borat eklenmiş numunelerin yanma süreleri.....	61
Tablo 5.8. %25 Çinko borat eklenmiş numunelerin yanma süreleri.....	62
Tablo 5.9. UL94 dikey yanma sınıflandırma tablosu.....	63



ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1. Kompozit malzemenin fazları.....	1
Şekil 2.1. Polimerlerin yapısı.....	9
Şekil 2.2. Etilen gazının katyonik polimerizasyonu.....	10
Şekil 2.3. Polipropilen oluşumu.....	10
Şekil 2.4. Kauçuk oluşumu.....	11
Şekil 2.5. PVC oluşumu.....	11
Şekil 2.6. Yanma döngüsü.....	16
Şekil 3.1. a) Jelkot kaplama fırça veya yumuşak rulo ile uygulanır, Jelleşmesine izin verilir, b) Takviye malzemesi uygulanır. c) Fırça veya yumuşak rulo ile laminasyon reçinesi uygulanır. d) (b), (c) ve (d)'yi gerekli birikim elde edilene kadar tekrarlayın	27
Şekil 3.2. Püskürtme yöntemi uygulanışı.....	28
Şekil 3.3. Vakum infüzyon yöntemi.....	29
Şekil 3.4. Kompozit yapısı.....	32
Şekil 3.5. x,y ve z koordinatlarında üç boyutlu bir küp üzerinde gösterilen gerilim bileşenleri.....	36
Şekil 4.1. Biaxial Dokuma Kumaş.....	41
Şekil 4.2. Keçe elyaf.....	41
Şekil 4.3. Çinko borat.....	42
Şekil 4.4. Numune Kalıpları; (a) 3mm b) 4mm.....	43
Şekil 4.5. Çinko boratın karıştırılması.....	43
Şekil 4.6. Kalıplara takviye ve matrisin rulo fırça ile uygulanması.....	44
Şekil 4.7. Press içindeki kalıplar.....	44
Şekil 4.8. Üretilen numune plakalar.....	45
Şekil 4.9. Plakaların CNC ile çekme deneyi numunelerinin kesimi.....	45
Şekil 4.10. a) Çinko borat katkısız, b) %10 Çinko borat katkılı, c) %15 Çinko borat katkılı, d) %20 Çinko borat katkılı, e) %25 Çinko borat katkılı.....	46
Şekil 4.11. a) Çinko borat katkısız, b) %10 Çinko borat katkılı, c) %15 Çinko borat katkılı, d) %20 Çinko borat katkılı, e) %25 Çinko borat katkılı	46
Şekil 4.12. a) Çinko borat katkısız, b) %10 Çinko borat katkılı, c) %15 Çinko borat katkılı, d) %20 Çinko borat katkılı, e) %25 Çinko borat katkılı.....	46
Şekil 4.13. a) Çinko borat katkısız, b) %10 Çinko borat katkılı, c) %15 Çinko borat katkılı, d) %20 Çinko borat katkılı, e) %25 Çinko borat katkılı	47
Şekil 5.1. Çinko Borat katkısı eklenmemiş numunelerin çekme deneyi grafiği(K1 1.numune, K2 2.numune, K3 3.numune).....	53
Şekil 5.2. %10 Çinko Borat katkısı eklenmiş numunelerin çekme deneyi grafiği(%10-1 1.numune, %10-2 2.numune, %10-3 3.numune).....	53
Şekil 5.3. %15 Çinko Borat katkısı eklenmiş numunelerin çekme deneyi grafiği(%15-1 1.numune, %15-2 2.numune, %15-3 3.numune).....	54

Şekil 5.4. %20 Çinko Borat katkısı eklenmiş numunelerin çekme deneyi grafiği(%20-1 1.numune, %20-2 2.numune, %20-3 3.numune).....	54
Şekil 5.5 %25 Çinko Borat katkısı eklenmiş numunelerin çekme deneyi grafiği(%25-1 1.numune, %25-2 2.numune, %25-3 3.numune).....	55
Şekil 5.6. Çinko Borat katkısı eklenmemiş numunelerin eğme deneyi grafiği(K1 1.numune, K2 2.numune, K3 3.numune).....	56
Şekil 5.7. %10 Çinko Borat katkısı eklenmiş numunelerin eğme deneyi grafiği(%10-1 1.numune, %10-2 2.numune, %10-3 3.numune).....	56
Şekil 5.8. %15 Çinko Borat katkısı eklenmiş numunelerin eğme deneyi grafiği(%15-1 1.numune, %15-2 2.numune, %15-3 3.numune).....	57
Şekil 5.9. %20 Çinko Borat katkısı eklenmiş numunelerin eğme deneyi grafiği(%20-1 1.numune, %20-2 2.numune, %20-3 3.numune).....	57
Şekil 5.10. %25 Çinko Borat katkısı eklenmiş numunelerin eğme deneyi grafiği(%25-1 1.numune, %25-2 2.numune, %25-3 3.numune).....	58
Şekil 5.11. Çinko Borat katkısı eklenmemiş numunelerin yanma sonrası görüntüsü.....	60
Şekil 5.12. %10 Çinko Borat katkısı eklenmiş numunelerin yanma sonrası görüntüsü.....	60
Şekil 5.13. %15 Çinko Borat katkısı eklenmiş numunelerin yanma sonrası görüntüsü.....	61
Şekil 5.14. %20 Çinko Borat katkısı eklenmiş numunelerin yanma sonrası görüntüsü.....	62
Şekil 5.15. %25 Çinko Borat katkısı eklenmiş numunelerin yanma sonrası görüntüsü.....	62



ÇİNKO BORAT KATKILI CTP KOMPOZİT MALZEMELERİN ÜRETİMİ, MEKANİK VE KİMYASAL ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

ÖZET

Bu çalışmada, elektrik sanayinde yoğun olarak kullanılan cam elyaf takviyeli polyester malzemenin, çinko borat katkısı ile üretimi, malzemede meydana gelen mekaniksel ve kimyasal etkileri araştırılmıştır. Yapılan bu işlemde hedef, kullanılan malzemelerin birbirlerinin zayıf olan yönlerini daha fazla iyileştirmek ve istenilen yönde daha fazla özellik katan bir malzeme elde etmektir. Kompozit malzemelerin geliştirilme amacı genellikle belirli bir kullanım için, belirli bir özellik dengesi elde etmektir. Elektrik sanayinde oldukça sık kullanılan cam elyaf takviyeli kompozit malzemelerin tercih edilme sebebi öncelikle, mukavemetli olması, yoğunluğunun düşük olması, yalıtkan olması ve alev geciktirici özellikte olmasıdır. Polimer matrisli kompozit malzemeler matris olarak polimer ve takviye olarak elyaf kullanılarak üretilen kompozitlerdir. Polimerler matrisli kompozitlerin oda sıcaklığındaki yüksek performansı, maliyetsiz oluşu ve kolay üretilmesi kompozitler arasında çok sık tercih edilmesinin nedenidir. Polimerler doğalarının gerektirdiği üzere yanıcı malzemelerdir. Polimerler düşük sınırlı oksijen indeksine sahiptir ve yanma (UL-94) testinde başarılı bir sonuç veremez ve bu sebeple günlük hayatta uygulamaları insan hayatı için büyük bir yangın sorunu ortaya çıkarır. Bu malzemeler sadece polyester ve cam elyaf olarak bu özellikleri tam anlamıyla karşılayamamaktadır. Bu yüzden katkı malzemelerine ihtiyaç vardır. Polimerlerin alev geciktirici davranışını yükseltmek, kullanımlarını çoğu uygulamaya yaymak büyük bir zorluktur. Halojenli katkı maddeleri gibi çeşitli alev geciktirici katkı maddeleri, çevre üzerindeki kanıtlanmış veya şüphelenilen olumsuz etkileri nedeniyle aşamalı olarak kullanımdan kaldırılırken, polimerlerin yangına tepkisi ve yangına dayanıklılık performansları açısından güvenlik gereksinimleri şu anda giderek daha zor hale geliyor. Tüm alev geciktiriciler, ısıtma, piroliz, ateşleme veya alev yayılması sırasında yanma sürecine müdahale etmek için kimyasal ve/veya fiziksel bir mekanizma yoluyla buhar fazında veya yoğun fazda hareket eder. Örneğin, dolgu maddelerinin dahil edilmesi esas olarak polimeri seyreletme ve bozunma gazlarının konsantrasyonunu azaltma işlevi görür.

Boratlar, alev geciktirici özelliklere sahip bir inorganik katkı maddesi ailesidir. Bunlar arasında $2ZnO \cdot 3B_2O_3 \cdot 3.5H_2O$ gibi çinko boratlar en sık kullanılanlardır. 290 ve 450 C arasındaki endotermik bozunmaları (503 kJ/kg) su, borik asit ve bor oksit (B_2O_3) açığa çıkarır. Oluşan B_2O_3 350°C'de yumuşar ve 500°C'nin üzerinde akar ve koruyucu bir camsı tabaka oluşumuna yol açar. Oksijen atomları içeren polimerler söz konusu olduğunda, borik asidin varlığı dehidrasyona neden olarak karbonize bir tabaka oluşumuna yol açar. Bu tabaka polimeri ısı ve oksijenden korur. Böylece yanıcı gazların salınımı azaltılır. Çinko Borat; polivinil klorür, polietilen, polipropilen, naylon, epoksi, poliesterler, termoplastik elastomerler ve kauçuklar gibi polimer sistemlerinde alev geciktirici, duman ve parlama baskılayıcı ve anti-ark ajan olarak kullanılmaktadır. Çinko borat ile üretilen plastik malzemeler, daha dayanıklı ve kaliteli ürünlere dönüşür.

Termoset reçineler, işlenmesi en basit plastik malzemeler arasındadır. Gerekli olan tek şey aktivat rde karıştırmak, bir kalıba dökmek, soğumaya bırakmak ve ardından kalıptan çıkarmak. Kalıp konturlarının birebir aynısı ısı ve basınç gerektirmeden üretilir. Kalıp, yüzey sızdırmaz ise metal, ahşap, plastik, hatta alçı veya karton gibi hemen hemen her türlü gözeneksiz malzemeden yapılabilir. Daha yüksek bir üretim hızı isteniyorsa, ısıtılmış bir kalıp kullanılabilir. Isı, kürleme sürecini hızlandırır, daha eksiksiz bir k r sa lar ve daha uzun bir kap ömrü sağlayan aktivatörlerin kullanımına izin verir.

Malzemeyi üretmek için el yatırması + soğuk press yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntemde kalıp iki taraflı olduğu için üretilen malzemenin iki yüzü de parlak olarak çıkmaktadır. Numunelere %10,%15,%20,%25 oranlarda çinko borat eklenerek malzeme üzerinde mekaniksel ve kimysal  zellilerine etkisi incelenmiştir.

Numunelerin  ekme dayanımı özelliklerini belirlemek için ISO 527 – 1’e uygun çekme testi, e me dayanımı özelliklerini belirlemek için ISO 178’e uygun e me testi, darbe dayanımı özelliklerini belirlemek için ISO 179’e uygun darbe testi yapılmıştır. Yanma  zellikleri UL94 yatay ve dikey yanma testi ile belirlenmiştir.

Sonuç olarak cam elyaf takviyeli kompozit malzemeye eklenen çinko borat, %10 eklendiğinde çekme dayanımında ve e me dayanımında artış meydana gelmiştir. Oran artıkça çekme dayanımı d  m  t r. %15 oranında eklendiğinde darbe dayanımında en yüksek sonuç elde edilmiştir. Yanma  zellikleri ise yatay yanma testine göre yavaş yanan (HB) malzeme olarak sınıflandırılmıştır. Dikey yanma testinde standartların (V0,V1 ve V2) hiçbirini kar ılamamıştır.



ZINC BORATE-CONTAINING GFRP PRODUCTION AND EXAMINATION OF MECHANICAL AND CHEMICAL PROPERTIES

SUMMARY

In this study, the production of glass fiber reinforced polyester material, which is used extensively in the electrical industry, with the addition of zinc borate, and its mechanical and chemical effects on the material were investigated. The aim of this process is to improve the weak aspects of the materials used and to obtain a material that adds more properties in the desired direction. The purpose of developing composite materials is usually to achieve a certain balance of properties for a particular use. Glass fiber reinforced composite materials, which are frequently used in the electrical industry, are preferred primarily because they are durable, have a low density, are insulating and have flame retardant properties. Polymer matrix composite materials are composites produced using polymer as matrix and fiber as reinforcement. The high performance, cost-effectiveness and easy production of polymers matrix composites at room temperature are the reasons why they are frequently preferred among composites. Polymers are, by their very nature, flammable materials. Polymers have a low limited oxygen index and cannot give a successful result in the combustion (UL-94) test, and therefore their applications in daily life pose a great fire problem for human life. These materials cannot fully meet these features as only polyester and glass fiber. Therefore, additives are needed. Raising the flame retardant behavior of polymers, extending their use to most applications, is a major challenge. While various flame retardant additives, such as halogenated additives, are being phased out due to their proven or suspected adverse effects on the environment, safety requirements in terms of polymers' fire response and fire resistance performance are currently becoming more stringent. All flame retardants act in the vapor phase or condensed phase through a chemical and/or physical mechanism to interfere with the combustion process during heating, pyrolysis, ignition or flame propagation. For example, the inclusion of fillers mainly functions to dilute the polymer and reduce the concentration of decomposition gases.

Borates are a family of inorganic additives with flame retardant properties. Among these, zinc borates such as $2\text{ZnO} \cdot 3\text{B}_2\text{O}_3 \cdot 3.5\text{H}_2\text{O}$ are the most commonly used. Endothermic decompositions (503 kJ/kg) between 290 and 450 °C release water, boric acid and boron oxide (B_2O_3). The formed B_2O_3 softens at 350°C and flows above 500°C, leading to the formation of a protective glassy layer. In the case of polymers containing oxygen atoms, the presence of boric acid causes dehydration, leading to the formation of a carbonized layer. This layer protects the polymer from heat and oxygen. Thus, the emission of flammable gases is reduced. Zinc Borate; It is used as a flame retardant, smoke and glare suppressant and anti-arc agent in polymer systems such as polyvinyl chloride, polyethylene, polypropylene, nylon, epoxy, polyesters, thermoplastic elastomers and rubbers. Plastic materials produced with zinc borate turn into more durable and quality products.

Thermosetting resins are among the simplest plastic materials to process. All that is required is to mix in the activator, pour into a mold, let it cool, and then remove it from the mold. It is produced exactly the same as the mold contours without the need for heat and pressure. The mold can be made of almost any non-porous material such as metal, wood, plastic, even plaster or cardboard if the surface is sealed. If a higher production rate is desired, a heated die can be used. The heat accelerates the curing process, provides a more complete cure, and allows the use of activators that provide a longer pot life.

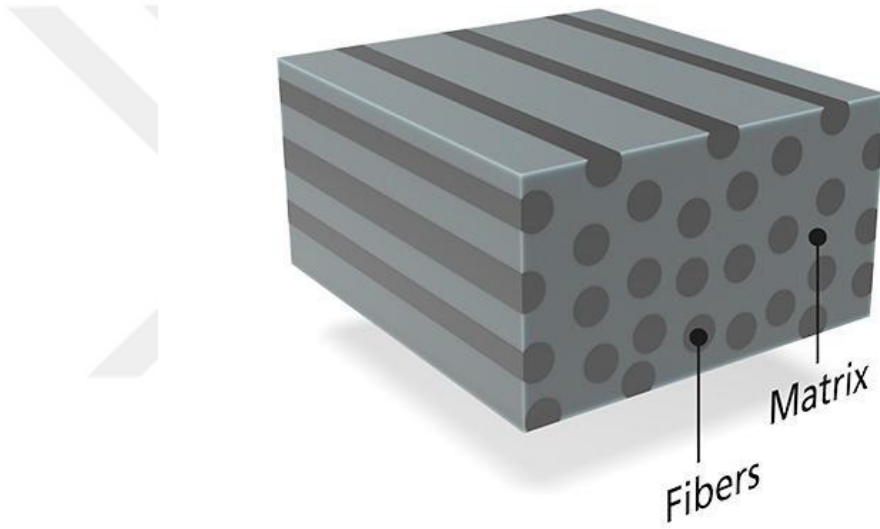
Hand lay-up and cold press methods are used for processing. In this method, since the mold is two-sided, both sides of the produced material come out bright. 10%, 15%, 20%, 25% zinc borate was added to the samples and its effect on the mechanical and chemical properties of the material was investigated.

Tensile test in accordance with ISO 527 – 1 was performed to determine the tensile strength properties of the samples, bending test in accordance with ISO 178 was performed to determine the bending strength properties, impact test in accordance with ISO 179 was performed to determine the impact strength properties. The combustion characteristics were determined by the UL94 horizontal and vertical combustion test.

As a result, when 10% zinc borate was added to the glass fiber reinforced composite material, an increase in tensile strength and bending strength occurred. As the ratio increased, the tensile strength decreased. The highest result in impact resistance was achieved when 15% was added. The burning properties are classified as slow burning (HB) material according to the horizontal burning test. It has not met any of the standards (V0, V1 and V2) in the vertical burning test.

1. GİRİŞ

İki veya daha çok malzemenin makroskobik yapıda birleştirilmesiyle, yeni bir malzemenin ortaya çıkarılması işlemi kompozit malzeme olarak açıklanabilir. Yapılan bu işlemde hedef, kullanılan malzemelerin birbirlerinin zayıf olan yönlerini daha fazla iyileştirmek ve istenilen yönde daha fazla özellik katan bir malzeme elde etmektir. Kompozitler matriks ve fiberlerden meydana gelir (Şekil 1.1) [1].

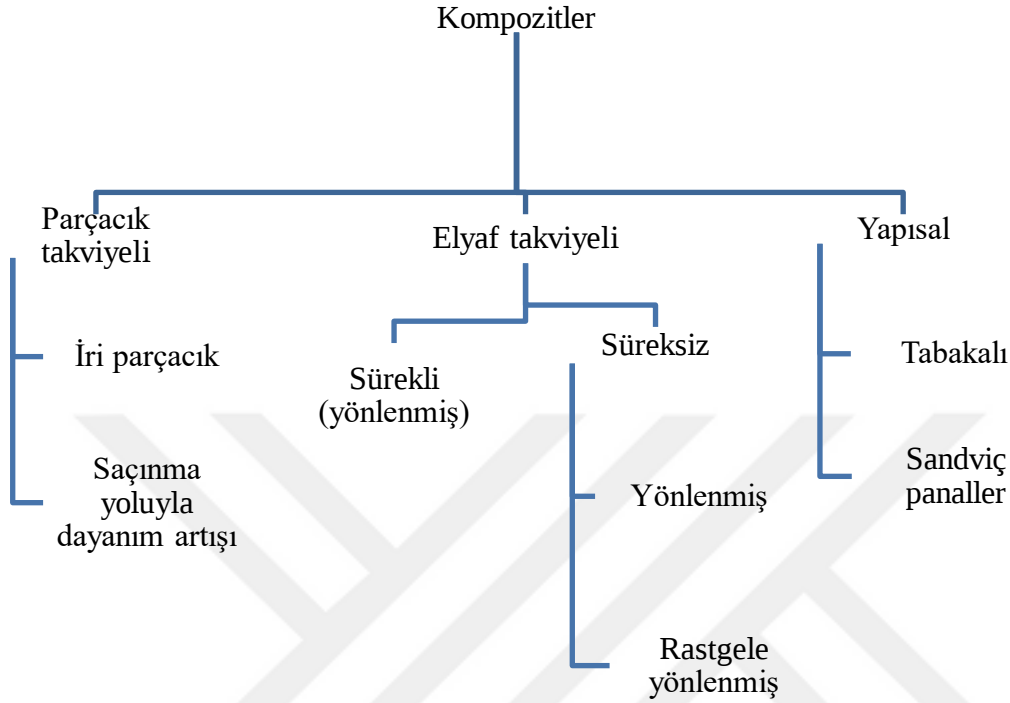


Şekil 1.1. Kompozit malzemenin fazları [1]

Günümüzde kompozit malzemelerden yararlanılan birçok tarihi yapılar bulunmaktadır. M.Ö 15. Yüzyıllarda antik Mısırlıların yaşam alanlarında kullandığı bambu ile takviye edilmiş çamur duvarlar, birleştirilmiş tabakalı tahtalar ve dövme kılıçlardaki tabakalı metaller kompozit malzemelerin yaygın kullanıldığına örnektir [2].

Kompozit malzemelerin farklı bir malzeme sınıfı olarak ortaya çıkması, cam elyaf takviyeli polimerler gibi çok fazlı kompozitlerin 20.yüzyılda, mühendislik uygulamalarında yaygın bir şekilde kullanılmasıyla başlamıştır. Kompozitler basit şekilde Tablo 1.1'deki gibi sınıflandırılabilir [3].

Tablo 1.1. Kompozitlerin basit sınıflandırma şeması [3]



Kompozit malzemeler, yüksek mukavemet/ağırlık oranları ve mükemmel yorulma direnci nedeniyle havacılık uygulamaları için en potansiyel adaylardan biri olarak kabul edilir. Polimer katkılı kompozit malzemeler, uygulama alanları gittikçe yaygınlaşmaya başlayan dolgu malzemeleriyle kullanıldığında birçok özelliğinde değişim meydana gelir. Genel olarak, yapısal uygulamalar için kullanılan kompozit malzemeler en iyi şekilde yüksek performanslı sistemler olarak sınıflandırılır ve yüksek mukavemet-ağırlık oranları sunan sentetik malzemelerden yapılırlar [4].

Ancak molekül ve atomik boyutta ortaya çıkarılan malzemeler ve alaşımlar, mikroskopik olarak homojen olduklarından dolayı kompozit malzeme kabul edilmez. Buna örnek olarak, çeliklerdeki krom ve vanadyum bir karışım meydana getirir ve bir kompozit oluşturmaz [2].

Kompozitlerin kullanım amacı sadece yapısal özellikleri değildir. Elektriksel özelliklerin önemli olduğu uygulamalarda da kullanılmaktadır. Kompozit malzemelerin geliştirilme amacı genellikle belirli bir kullanım için, belirli bir özellik

dengesi elde etmektir. Pek çok takviye türü aynı zamanda düşük termal genleşme katsayısına, aşınma diirenci, yüksek termal ve elektriksel iletkenliğe sahiptir [5].

Otomotiv, havacılık, denizcilik CTP'lerin başlıca uygulama alanlarından bazılarıdır. Enerji sektöründe CTP'ler, izalatörler, transformatörler gibi farklı malzemelerin üretiminde kullanılır [4].

Cam elyaf takviyeli kompozitler genellikle düşük ağırlık, yüksek dayanım ve yüksek elastik modülleri için tasarlanır [3].

Elyaf takviyeli kompozitlerin mekanik davranışları, elyaf mukavemetine, matris mukavemetine ve elyaf/matris arasındaki arayüzey yapışma kuvvetine bağlı olan, stres transferini mümkün kılmak için içsel yeteneklerine bağlıdır. Cam elyaflar, elyaf takviyeli kompozitlerin mekanik ve tribolojik özelliklerini geliştirmek için uzunlamasına, dokuma keçe, doğranmış elyaf ve doğranmış keçeler gibi çeşitli formlarda kullanılır. Bununla birlikte, bu tür kompozitlerin özellikleri, kompozit hazırlama sırasında döşenen liflerin doğasına ve yönüne bağlıdır. Cam elyaflar, tüm CTP'lerin yaklaşık %90'ının cam elyaftan yapıldığı ve en yaygın kullanılan polimer takviyelerinden biridir. Bunlardan en eski ve en popüler şekli E-cam veya elektrik sınıfı camdır (Tablo 1.2). Diğer cam elyaf türleri arasında A cam veya alkali cam, C-cam veya kimyasallara dayanıklı cam ve yüksek mukavemetli R-cam ve S-cam bulunur. Laboratuvar koşulları altında, cam elyafları yaklaşık 7000 N/mm²'lik çekme gerilmelerine dayanabilirken, ticari cam elyafları 2800 ila 4800 N/mm²'ye ulaşır [4].

Tablo 1.2. Çeşitli cam elyaf sınıflarının fiziksel özellikleri [4]

Cam Elyaf Sınıfları	Fiziksel Özellikler
A-Cam	Yüksek dayanıklılık, güç ve elektrik direnci
C-Cam	Yüksek korozyon direnci
D-Cam	Düşük dielektrik sabiti
E-Cam	Daha yüksek mukavemet ve elektrik direnci
AR-Cam	Alkali direnci
R-Cam	Daha yüksek mukavemet ve asit korozyon direnci
S-Cam	Daha yüksek çekme mukavemeti

Polimer matrisli kompozit malzemeler matris olarak polimer ve takviye olarak elyaf kullanılarak üretilen kompozitlerdir. Polimerler matrisli kompozitlerin oda sıcaklığındaki yüksek performansı, maliyetsiz oluşu ve kolay üretilebilmesi kompozitler arasında çok sık tercih edilmesinin nedenidir [3].

Tablo 1.3. Kompozit malzemelerin kullanım alanları [3]

Havacılık ve uzay	Kanatlar
	Pervanlar
	Planörler
	Antenler
Elektirik Elektronik	İzolatörler
	Yalıtkan platformlar
	Sayaç panoları
Ev aletleri	Buzdolabı
	Dondurucular
	Motorlu aletler
Askeriye	Miğferler
	Balistik panaller

Polimerik matris üzerine fiber takviyesinin, düşük bakım maliyeti ve kişiye özel üretimin yanı sıra hafif ağırlık, yüksek mukavemet/ağırlık oranı, mükemmel hava koşullarına dayanıklılık ve geliştirilmiş boyutsal kararlılık gibi ilave avantajlarla birlikte polimerik yapının mekanik davranışlarında önemli ilerlemeler sağladığı bulunmuştur. Belirtilen uygulama gereksinimlerine uygun özel yapım özellikler elde etmek için, farklı polimerlere sahip çeşitli lif türleri denenmiş ve lifler, elde edilen kompozitlerin mekanik, tribolojik, termal ve su emme davranışlarının iyileştirilmesine katkıda bulunmuştur. Tersine, anizotropik ve lif uzunlukları ne kadar kısa olursa, genel mekanik performansları o kadar düşük olur. Cam elyafın uzunluğu, yönü ve tipi ile ilgili gözlemlenen geniş boşluk, CTP kompozitlerinin uygulama alanını genişletir. Ayrıca, kompozit belirli herhangi bir proje için belirli mekanik ihtiyaçlara uyacak şekilde tamamen özel olarak yapılabilir ve bu da nihai uygulamalarda çok daha iyi verimliliğe yardımcı olur. Son zamanlarda kullanılan en yaygın lifler cam lifleri, karbon lifleri, aramit lifleri ve doğal liflerdir, bunların yanında naylon ve polyester lifler de yer almaktadır. Tüm bu takviyeler ideal olarak daha az yoğundur ve bu nedenle matrisi daha yüksek bir mukavemet ve sertlik ile sunar. Bununla birlikte, kompozitlerin mükemmel mukavemet/sertlik/ağırlık oranı, düşük lif yoğunluklarından dolayıdır [4].

Polimerler doğalarının gerektirdiği ürzere yanıcı malzemelerdir. Polimerler düşük sınırlı oksijen indeksine sahiptir ve yanma (UL-94) testinde başarılı bir sonuç veremez ve bu sebeble günlük hayatta uygulamaları insan hayatı için büyük bir yangın sorunu ortaya çıkarır. V-0 derecesinin gerekli olduğu elektrik sanayisinde, polimer malzemelerin kullanımı sınırlı kalmaktadır. Dolayısıyla bu, alev geciktirici epoksi ve polyester termosetleri üretmek için verimli alev geciktiricilerin geliştirilmesine neden olmuştur [6].

Doymamış polyester reçine en önemli ısıyla sertleşen reçinedir. Polyesterler yüksek mekanik özelliğe, düşük yoğunluğa, yüksek korozyon direncine, düşük maliyete ve yüksek mukavemet-ağırlık oranını gibi özelliklere sahiptir. Bu tür malzemeler endüstriyel, tarım, inşaat ve diğer endüstrilerde yaygın olarak kullanılmaktadır. Bununla birlikte, düşük alev geciktiriciliğe ve düşük yaşlanma direncine sahip olan ve yanma sırasında yüksek düzeyde ortaya duman çıkma sorunu gibi problemler polyester malzemelerin kullanılmasını büyük ölçüde sınırlar. Şu anda, uygulama

yelpazesini genişletmek için alev geciktiricilerin poliestere dahil edilmesi yaygındır. Bu nedenle, iki kategoriye ayrılabilen katkı tipi ve reaktif tipi üzerine son zamanlarda çalışmalar artmıştır. Katkı tipi alev geciktirici, polimeri alev geciktirici hale getirmek için mekanik karıştırma yoluyla polimere eklenir. Reaktif alev geciktiriciler polimerizasyona bir monomer olarak katılır, böylece polimerin kendisi alev geciktirici bileşenler içerir. Katkı tipi alev geciktiriciler, düşük maliyetleri ve kolay işlenebilmeleri nedeniyle endüstriyel üretimde daha yaygın olarak kullanılmaktadır. Katkı tipi alev geciktiriciye ek olarak, kimyasal reaksiyonla doymamış poliester moleküler zincirine alev geciktirici bir monomer eklenebilir. Alev geciktiricinin moleküler yapısı, poliesterin kimyasal yapısını kontrol etmek ve alev geciktiriciliği geliştirmek için tasarlanabilir [7].

Literatürde alevi önlemek veya en azından bir süre yayılmasını engellemek için yapılan birçok uygulama yapılmıştır. Alev geciktiriciliği ve polimerik malzemelerin güvenliğini iyileştirmek için birçok ticari alev geciktirici vardır. Halojenli ürünler, antimon trioksit ve fosfor bileşikleri en yaygın olarak kullanılan alev geciktiricilerdir. Antimon trioksit ayrıca metal içeriği nedeniyle tehlikelidir. Alüminyum trihidrat diğer alev geciktiricilerden biridir. Ucuz ve toksik değildir, ancak diğerleri kadar etkili değildir [8].

Polimer, ahşap, tekstil gibi sektörlerde oldukça sık olarak kullanılan çinko borat, alev geciktirici ve duman bastırıcı inorganik bir katkı malzemesidir. Son yıllarda Çinko Borat'ın, farklı uygulamalarda diğer alev geciktiricilerle sinerjik kullanımı bir hayli artmıştır. Örneğin, Çinko Borat halojen içeren ve halojen içermeyen sistemlerde $Al(OH)_3$ ve $Mg(OH)_2$ ile birlikte kullanılabilir. Kullanılan polimere ve karşılanacak yangın standartlarına bağlı olarak, çinko borat antimon oksit gibi diğer yangın geciktirici katkı maddelerinin kısmen veya tamamen yerine kullanılabilir. Bazı sistemlerde çinko borat, antimon oksit ile sinerjizm gösterir. Çinko Borat, yanma esnasında zehirli duman açığa çıkarmaması sebebiyle insan sağlığı ve çevre açısından olumsuz etkilere sahip değildir [9].

Çinko Borat; polivinil klorür, polietilen, polipropilen, naylon, epoksi, poliesterler, termoplastik elastomerler ve kauçuklar gibi polimer sistemlerinde alev geciktirici, duman ve parlama baskılayıcı ve anti-ark ajan olarak kullanılmaktadır. Çinko borat ile üretilen plastik malzemeler, daha dayanıklı ve kaliteli ürünlere dönüşür. Polimer

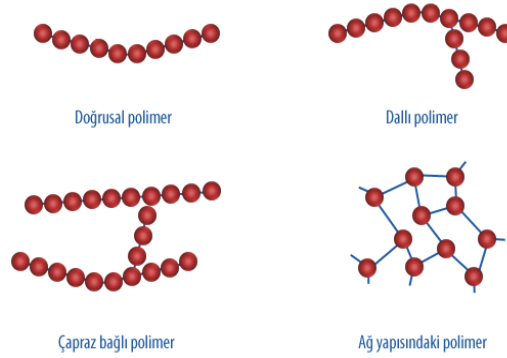
sistemininkine benzer bir kırılma indisine sahiptir, bu nedenle düşük pigment yükünün kullanılmasını sağlar ve önemli ölçüde yarı saydamlığı korur [9].





2. POLİMERLER

Polimerler, çok sayıda daha küçük moleküllerin veya monomer adı verilen tekrar eden birimlerin kimyasal bağlanmasıyla oluşan makromoleküllerdir (Şekil 2.1). Polimer molekülü içindeki monomerlerin sayısı büyük ölçüde değişebilir ve aynı polimer molekülü içinde farklı monomerlerin bulunması, göreceli yönelim ve düzende ortaya çıkan düzenliliğin derecesi de değişebilir. Birçok sentetik ve bazı doğal polimerlerde, monomerlerin sayısı, genellikle malzemenin özelliklerini uyarlamak için tam olarak belirlenebilir. Polimerler ikiye, üçer ve dörtlü olarak birbirine bağlanan monomere sırasıyla dimerler, trimerler, tetramerler ve kısa tekrar eden birimlere ayrıca oligomerler denir. Koşullara bağlı olarak, bu oligomerler, özellikle blok kopolimerler bağlamında, ön polimerler olarak da adlandırılabilir. Monomerlerin veya ön polimerlerin tek bir molekülde spesifik olarak polimer olarak adlandırılmak üzere yeterli derecede birleştiği nokta büyük ölçüde rastgeledir [10].

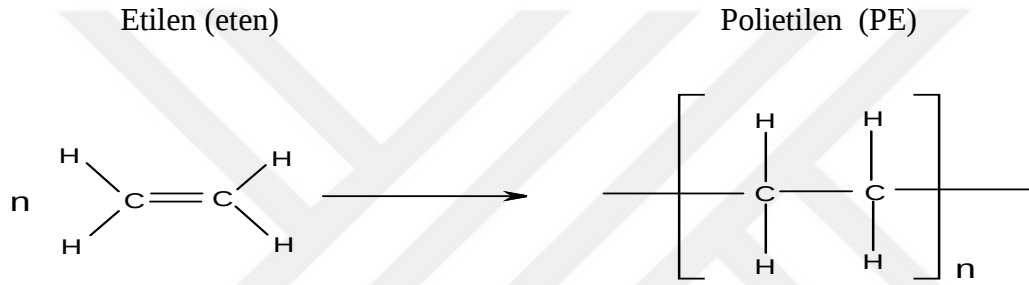


Şekil 2.1. Polimerlerin yapısı[10]

Polimerik malzemelerin popüleritesi ve çok yönlülüğü nedeniyle, bir polimer oluşturmak üzere birleşebilen monomerlerin veya oligomerlerin veya ön polimerlerin neredeyse sınırsız olası kombinasyonu vardır. En basit polimer biçimi, yalnızca bir tür monomerden oluşandır. Küçük safsızlıklar mevcut olabilir, ancak istenmeyen monomerlerin arzu edilen monomerler arasında polimerize edilme derecesi, malzemenin kimyasal ve fiziksel özelliklerini korumaya yetecek kadar küçükse, elde edilen polimer yine de bir homopolimer olarak adlandırılabilir [10].

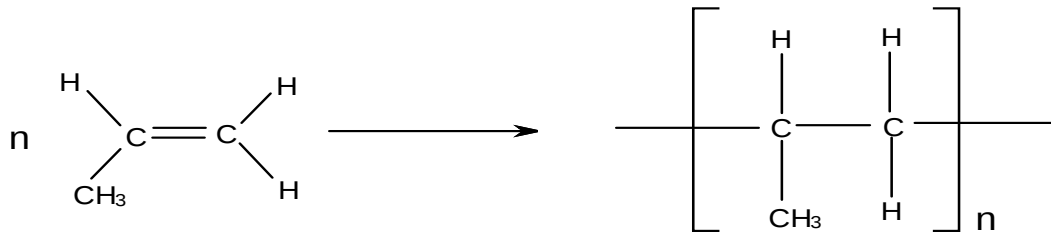
Polimer zincirleri doğrusal ve dallanmış yapıda bulunabilir. Çapraz bağlı polimerler yan dalların diğer ana zincirlere bağlanmasıyla oluşur. Günlük hayatta kullanılan polimerler çapraz bağlı polimerlerdir. Çoğunlukla polimerlerde kristal ve amorf bölgeler birlikte bulunur. Polimerlerin termal özellikleri erime ve camsı geçiş sıcaklıkları ile açıklanır. Polimer zincirleri camsı geçiş sıcaklığı T_g nin altında donmuş bir yapıda T_g nin üzerinde ise kauçuksu durumdadır. Bu sıcaklıkları yan gruplar ya da zincirin sertliği belirlemektedir [11].

Günlük hayatta en sık kullandığımız polimer Polietilen (PE)'dir. Petrol rafinasyonu ile birlikte ortaya çıkan etilen gazının katyonik polimerizasyonu sonucu üretilir.(Şekil 2.2) [12].



Şekil 2.2. Etilen gazının katyonik polimerizasyonu [11]

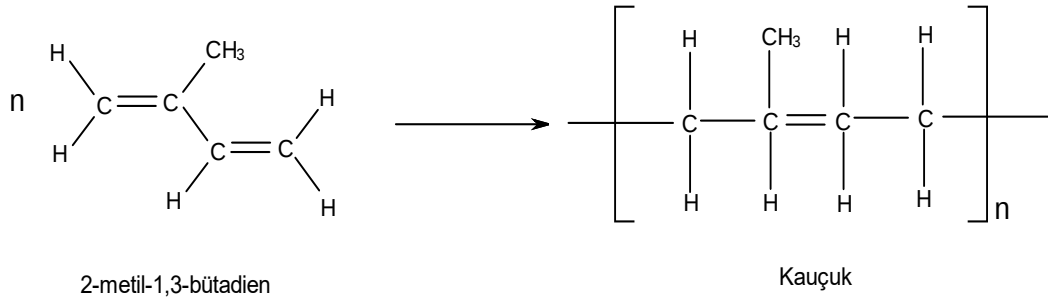
Polipropilen (PP), propilenden üretilir. Polietilenden sadece bir metil grubu (CH_3) farkı vardır, fakat bu fark fiziksel özelliklerinde oldukça büyük fark ortaya çıkarır. Her şeyden önce PE'ne göre çok elastiktir. Bu sebepten dolayı özellikle plastik ip, şeker ve un çuvalı ve boru (su borusu, doğal gaz borusu) imalatında kullanılır (Şekil 2.3) [12].



Şekil 2.3. Polipropilen oluşumu[12]

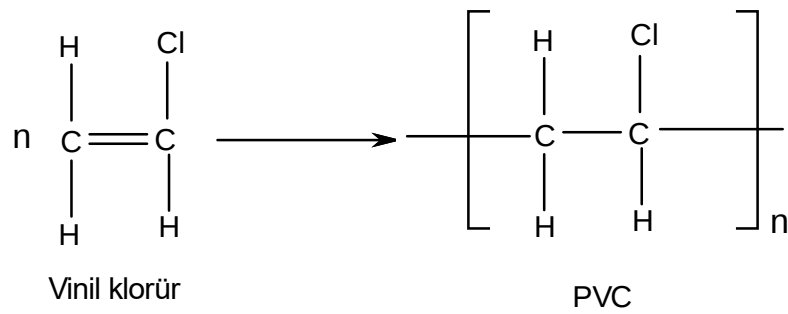
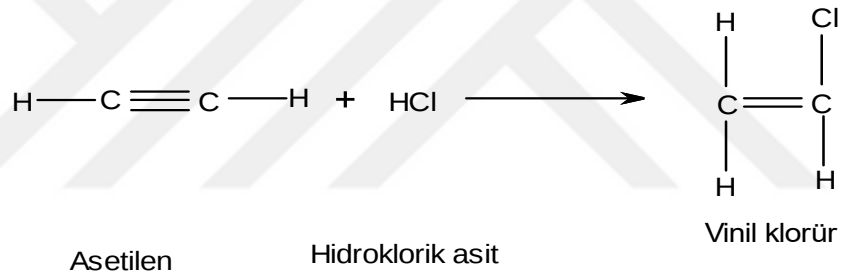
Doğal yollarla elde edilebilen ancak yapay olarak üretilen kauçuk çok faydalı polimerlerden biridir. Hevea Braziliensis adlı kauçuk bitkisinden üretilir. Bitki kabuğu kesilirse lateks adını verilen bir sıvı akar, kısa sürede bu sıvı rengi siyahlaşarak

kauçuğa dönüşür. 2-metil-1,3-bütadien adlı monomerin polimerleşmesi sonucu oluşur (Şekil 2.4). Günümüzde en çok kullanıldığı alan otomobil lastiği üretimidir [12].



Şekil 2.4. Kauçuk oluşumu[12]

Günlük yaşantımızda en sık karşılaştığımız ve kullandığımız polimerlerin başında Polivinil klorür (PVC) gelir. Etilenin klor gazı ile oksidatif yükseltgenmesinden ortaya çıkan vinil klorür monomerinin asidik veya radikalik başlatıcılarla polimerleştirilmesinden üretilir (Şekil 2.5) [12].



Şekil 2.5. PVC oluşumu [12]

2.1. Polimerlerin Sınıflandırılması

Polimerler, ilk olarak polimer omurgası boyunca karbon atomları içerip içermediklerine göre (inorganik ve organik) ayırt edilebilirler. Daha sonra, polimerin omurgasını oluşturan atomların spesifik kimliğine veya görelî sırasına ve ayrıca oluşumlarına göre sınıflandırılırlar [10].

2.1.1. İnorganik polimerler

İnorganik polimerler, moleküler zincirin birincil omurgasının karbon dışındaki atomlardan oluştuğu makromoleküllerdir. İnorganik polimerlerin örnekleri arasında polisilanlar (Si-Si bağları), polisiloksanlar (Si-O bağları veya silikonlar), polisilazanlar (Si-N bağları), polisülfidler (S-S bağları), polifosfazenler (P-N bağları), poliborazilenler (B-N bağları) ve politiaziller (S-N bağları) bulunur [10].

2.1.2. Organik polimerler

Organik polimerler, moleküler zincirin birincil omurgasının en azından kısmen karbon atomlarından oluştuğu makromoleküllerdir. Oksijen, nitrojen ve diğerleri gibi diğer atomlarla birlikte karbondan oluşan polimer omurgaları, ilginç bir şekilde, omurgayı yalnızca karbon içeren polimerlerden daha yaygındır. Organik polimerler, çevredeki bulunabilirliklerine göre doğal veya sentetik olarak daha fazla sınıflandırılabilir [10].

2.1.2.1. Doğal polimerler

- Polisakkaritler: nişasta, selüloz, glikojen, pektin, deniz yosunu sakızları (örneğin agar), bitkisel sakızlar,
- Poliipeptitler (proteinler): ipek, kolajen, kazein, albümin, globulin, keratin, insülin, DNA, RNA ve diğerleri,
- Hidrokarbonlar: kauçuk ve güta perka veya poliizopren [10].

2.1.2.2. Sentetik polimerler

Sentetik polimerler termoplastikler ve termosetler olarak ikiye ayrılır. Termoplastikler, bir sıcaklıkta katı halde bulunan ve çok spesifik yüksek sıcaklıklarda bükülebilir hale gelmek üzere yumuşayan polimerlerdir. Bu malzemeleri ilgili geçiş sıcaklıklarının altına geri soğutmak, birleşen zincirler arasındaki moleküller arası

kuvvetlerin yeniden oluşması nedeniyle bir kez daha katılaşmalarını sağlar. Kimyasal (kovalent) bağlar bu işlemle oluşmaz veya kırılmaz. Termoplastiklerin örnekleri arasında naylon, polivinil klorür, polietilen, polistiren, polipropilen, florokarbon reçineleri, poliüretan, akrilat reçineleri, poli (glidikolik asit), poli (laktik asit) ve poli dahil olmak üzere çeşitli tanımların kopolimerleri yer alır [10].

Termosetler, ısıtıldığında ilişkili zincirlerle kimyasal (çoğunlukla kovalent) bağlar oluşturan polimerlerdir. Bu bağlar belirli sıcaklıkların altında tutulurken, kürlenmiş malzemeyi belirli bir noktanın ötesinde ısıtmak, termoset malzeme içindeki bağların ayrışmasına neden olur. Termoplastiklerde bulunan daha tersinir moleküller arası kuvvetlerin aksine, ısıyla sertleşen malzemelerin fiziksel özellikleri, kürlendikten sonra sabitlenir. Termoset örnekleri arasında polietilen (çapraz bağlı) (PE), fenolikler, alkidler, polyesterler (CO–O bağları) ve poliüretanlar (omurga boyunca O–CO–N bağları) bulunur [10].

2.1.2.3. Yarı sentetik polimerler

Bu polimerler, büyük ölçüde, bölme, ekleme, çapraz bağlama ya da başka yollarla bir şekilde post-fonksiyonel hale getirilmiş, doğal olarak oluşan polimerlerden oluşur. Yarı sentetik polimerlerin bazı örnekleri, suni ipek, metilselüloz, selüloz asetat ve modifiye nişastalardır [10].

2.1.2.4. Hidrojeller

Hidrojeller, suda şişen hidrofilik bir ağdan oluşur. Bu ağlar, malzemenin şişme kapasitesini ve deforme olabilirliğini kontrol etmek için değişen derecelerde çapraz bağlanabilir. Homopolimerler veya kopolimerler olarak var olabilirler ve genellikle biyolojik olarak uyumludurlar ve bozunmaya karşı düşük hassasiyetleri vardır. Hidrojeller, çözünen difüzyon hızlarını, yüzey özelliklerini, kırılma indekslerini ve mekanik özellikleri belirleyen çok çeşitli şişme özellikleriyle üretilir. Selüloz türevleri diğer polimerlerden daha yüksek derecede şişer. Hidrojeller, doğal olarak oluşan, tam sentetik veya yarı sentetik olmalarına rağmen ayrı bir sınıf olarak bahsetmeye değerdir. Örnekler, değişen derecelerde çapraz bağlanmaya sahip olabilen selüloz ve poli (etilen glidikol) türevlerini içerir [10].

2.2. Polimerlerin kullanım alanları

Polimerler hemen hemen her çalışma ortamında bir şekilde kullanılmaktadır. Birçok polimerin sentezi ve işlenmesindeki çok yönlülük, bu geniş kullanımı sağlar. Saf, çapraz bağlı olmayan polimerler, belki de çapraz bağlı emsallerinden daha az kullanılır. Birçok malzemede, işleme koşulları, çok çeşitli mekanik özellikler üretmek için polimer zincirlerinin çapraz bağlar yoluyla birbirine bağlanmasına neden olabilir. Bir örnek olarak, PE, çapraz bağlantının türüne ve derecesine bağlı olarak elastik ve esnek veya sert ve pürüzsüz olabilir. Düşük yoğunluklu PE, kateterlerde tüp olarak kullanılırken, ultra yüksek moleküler ağırlıklı PE, total kalça veya diz replasmanlarında yaygın olarak kullanılır; yüksek yoğunluklu ve pürüzsüz yüzey, diğer malzemelerle düşük sürtünme sağlar ve yapay eklem dayanıklılığını artırır [10].

2.3. Piroliz

Polimerik malzemeler artan sıcaklıklarda toksik ve tahriş edici dumanlar yayabilir. Bununla birlikte, yayılan dumanların oluşum hızı ve bileşimi, farklı plastikler için değişiklik gösterir ve büyük ölçüde sıcaklığa bağlıdır. Bazı yaygın örnekler, polivinil klorür (PVC), PE, polipropilen, polistiren (PS), akrilonitril bütadien stiren (ABS) kopolimeri ve politetrafloroetilen (PTFE) gibi termoplastikleri içerir. Bir polimerin ana monomerleri, parçalanmak üzere ısıtıldığında, genellikle piroliz ürünlerinden biridir. PVC'ler, yangın sırasında HCl salabildikleri için bir endişe kaynağıdır; poliüretan hidrojen siyanür gazı verebilir [10].

Normal eriyik işleme sıcaklıklarına maruz kaldığında, çoğu plastik, genellikle maruz kalma standartlarının oldukça altındaki konsantrasyonlarda, küçük miktarlarda toksik buharlardan oluşan karmaşık karışımlar üretecektir. Ancak tahriş edici aerosoller ve gazlar da üretilebilir, bu da süreç uygun şekilde kontrol edilmezse duyuşal tahriş şikayetlerine neden olabilir. Teflon olarak da bilinen PTFE, yapışmaz pişirme kapları, ev tipi kazanlar, ütüler, ütü masası örtüleri, katı yakıt brülörleri ve ısı lambaları için kaplama olarak kullanılan yapışmaz (yağlayıcı) özelliklere sahip sentetik bir polimerdir. Tavalar kuru kaynatıldığında veya doldurulmamış tencereler ısıtıldığında problemler ortaya çıkar. PTFE'nin yanı sıra tereyağı veya mısır yağı, kuşlarda ölüme

neden olabilecek piroliz ürünleri üretebilir. PTFE pirolize maruz kaldığında, hayvanlar ve insanlar için toksik olan florlu bileşikler de dahil olmak üzere hem gaz halindeki hem de partiküllü malzemeler açığa çıkar ve kuşlar en duyarlıdır. İnsanlarda dumanlara maruz kalma, polimer-duman ateşi adı verilen geçici, ateşli, grip benzeri bir sendroma yol açabilir. Polimer dumanı ateşi, sıcak bir polimerden çıkan dumanların solunmasıyla ortaya çıkar ve tipik grip semptomları (titreme, ani ateş, ağrı hissi, göğüste sıkışma, baş ağrısı, öksürük, bacaklarda güçsüzlük ve halsizlik) ile karakterizedir. Bu semptomlar, herhangi bir kalıntı etkisi olmaksızın tam iyileşmeden önce 18-48 saat sürer. PTFE veya poli florlu etilen propilen (FEP) dumanlarına insanlarla aynı şekilde tepki veren hiçbir hayvan türü henüz bulunamadı. Diğer polimer dumanları solunduğunda benzer olaylar veya duman ateşi bildirilmemiştir. Polimer-duman ateşinden bilinen ölüm yoktur [10].

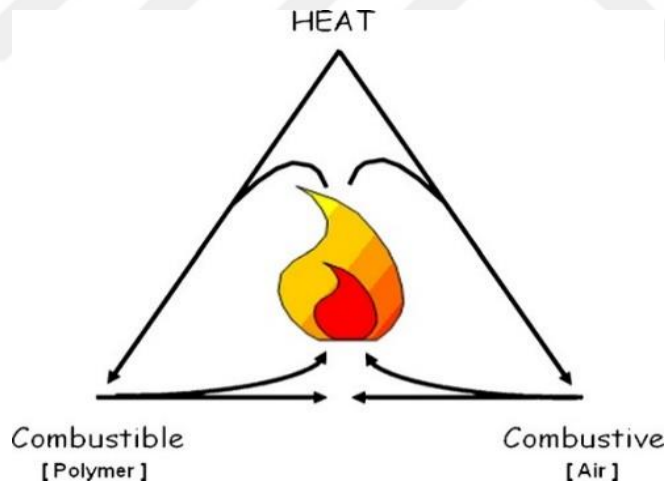
2.4. Alev Geciktiriciler

Artık 21. yy'da polimer malzemeler daha fazla ortamda ve daha zor ortam şartlarında kullanılmaktadır. Polimerlerin yanıcılığını ve zehirli duman üretimini düşürmek için alev geciktiricilerin kullanılması, yeni malzemelerin geliştirilmesi ve uygulanmasının önemli bir parçası haline gelir. Örneğin, havacılık ve uzay endüstrisinde, ağırlıktan tasarruf ederken aynı zamanda yükü artırmaya yönelik güçlü bir ekonomik zorunluluğa yanıt olarak metallerin yerini almak üzere gelişmiş kompozit malzemeler geliştirilmektedir [13].

Ancak polimerler, nispeten yüksek yanıcılıklarıyla da bilinirler; çoğu zaman yanma sırasında aşındırıcı ve zehirli gazların veya dumanın ortaya çıkması gibi sonuçları vardır. Polimerlerin alev geciktirici davranışını yükseltmek, kullanımlarını çoğu uygulamaya yaymak büyük bir zorluktur. Halojenli katkı maddeleri gibi çeşitli alev geciktirici katkı maddeleri, çevre üzerindeki kanıtlanmış veya şüphelenilen olumsuz etkileri nedeniyle aşamalı olarak kullanımdan kaldırılırken, polimerlerin yangına tepkisi ve yangına dayanıklılık performansları açısından güvenlik gereksinimleri şu anda giderek daha zor hale geliyor. Bu nedenle birleşik zorluk, polimer malzemeler için etkili ve çevre dostu alev geciktirici sistemler geliştirmekten ibarettir. Bilimsel ve teknik literatür, esas olarak ilgili polimerin doğasına ve kimyasal yapısına, ayrışma moduna ve gerekli yangın güvenliği seviyesine ve ayrıca ortaya çıkan malzemelerin

küresel performanslarına bağlı olan polimer yangın direncini geliştirmek için çok çeşitli ve verimli stratejiler içerir [14].

Esas olarak karbon ve hidrojenden oluşan kimyasal yapıları nedeniyle, polimerler oldukça yanıcıdır. Yanma reaksiyonu iki faktör içerir: bir veya daha fazla yanıcı madde (indirgeyici madde) ve bir yanıcı madde (oksitleyici madde). Yanıcı genellikle havadaki oksijendir. Tüm süreç, genellikle, bir ısı kaynağı nedeniyle polimerik malzemenin sıcaklığında, polimer bağlarının kesilmesine neden olacak bir dereceye kadar bir artışla başlar. Elde edilen polimer parçalarının uçucu kısmı havaya yayılır ve yanıcı bir gaz karışımı (yakıt olarak da adlandırılır) oluşturur. Bu gaz halindeki karışım, kendiliğinden tutuşma sıcaklığına (yanma reaksiyonunun aktivasyon enerjisine ulaşıldığı sıcaklık olarak tanımlanır) ulaşıldığında tutuşur ve ısı açığa çıkar. Alternatif olarak, yakıt, harici bir yoğun enerji kaynağı (kivılcım, alev vb.) Yanma döngüsünün ömrü, yakıtın yanması sırasında açığa çıkan ısı miktarına bağlıdır. Serbest kalan ısı miktarı belirli bir seviyeye ulaştığında, katı fazda yeni bozunma reaksiyonları başlatılır ve bu nedenle daha fazla yanıcı madde üretilir. Yanma döngüsü böylece korunur ve yangın üçgeni olarak adlandırılır (Şekil 2.6) [14].



Şekil 2.6. Yanma döngüsü[14]

Bu küresel süreç karışıktır ve katı, gaz ve arayüzey fazlarında çeşitli reaksiyonları ve taşıma olaylarını içerir. Isıtma, harici bir ısı kaynağından (radyasyon, konveksiyon veya iletim), malzeme içinde indüklenen kimyasal bir işlem (fermantasyon, oksidasyon, vb.) veya başlatılan yanma reaksiyonunun ekzotermikliğinden kaynaklanan termal enerji katkısından kaynaklanabilir. Polimerlerde, yanmayı

başlatmak için gereken enerji miktarı, malzemenin fiziksel özelliklerine göre değişir. Örneğin, yarı kristal termoplastiklerin ısıtılması sırasında polimer yumuşar, erir ve damlar. Bu işlemler sırasında polimer tarafından depolanan enerji, hem ısı depolama kapasitesine hem de füzyon entalpisine ve kristallik derecesine bağlıdır. Bu nedenle, polimer sıcaklığındaki artış ve ilgili hız, öncelikle ısı akışına, ilgili reaksiyonların ekzotermikliğinden kaynaklanan sıcaklık farkına ve yarı kristal termoplastiğin özgül ısı ve termal iletkenliğine bağlıdır. Buna karşılık, amorf termoplastikler ve çoğu termoset durumunda, bir erime noktasının olmaması nedeniyle, ısıtma aşaması doğrudan polimer bozunmasına yol açar. Bir polimerin termal bozunması (yani kovalent bağ ayrışması), bir enerji girişi gerektiren endotermik bir olgudur. Sisteme sağlanan enerji, kovalent olarak bağlı atomlar arasındaki bağlanma enerjisinden daha yüksek olmalıdır (çoğu C-C polimeri için 200-400 kJ/mol). Ayrışma mekanizması, en zayıf bağlara ve ayrıca katı ve gaz fazlarında oksijenin varlığına veya yokluğuna büyük ölçüde bağlıdır. Genel olarak, termal bozunma, ısı ve oksijenin etkilerinin bir kombinasyonunun sonucudur. Bu nedenle oksitleyici olmayan termal bozulma ile oksitleyici termal bozulma arasında ayrım yapabiliriz. Alev geciktirici sistemlerin, polimer yanma sürecini engellemesi veya durdurması amaçlanmıştır. Alev geciktirici sistemler, doğası gereği fiziksel veya kimyasal olarak hareket edebilir. Polimer yanması ile ilgili çeşitli işlemlere müdahale edebilirler. Alev geciktiriciler iki kategoride sınıflandırılabilir:

- Katkı alev geciktiriciler; bunlar genellikle dönüştürme işlemi sırasında dahil edilir ve bu aşamada polimer ile reaksiyona girmez, ancak yangın başlangıcında yalnızca daha yüksek sıcaklıkta reaksiyona girer; bunlar genellikle makromoleküller içerebilen mineral dolgu maddeleri, hibritler veya organik bileşiklerdir.

- Reaktif alev geciktiriciler; ilave alev geciktiricilerin aksine, bunlar genellikle polimere sentez sırasında (monomerler veya öncü polimerler olarak) veya bir reaksiyon sonrası proseste (örneğin kimyasal aşılama yoluyla) eklenir. Bu tür alev geciktiriciler, polimer zincirlerine entegre edilmiştir [14].

Tüm alev geciktiriciler, ısıtma, piroliz, ateşleme veya alev yayılması sırasında yanma sürecine müdahale etmek için kimyasal ve/veya fiziksel bir mekanizma yoluyla buhar fazında veya yoğun fazda hareket eder. Örneğin, dolgu maddelerinin dahil edilmesi esas olarak polimeri seyreltme ve bozunma gazlarının konsantrasyonunu azaltma

işlevi görür. Hidratlı dolgu maddeleri ayrıca yanma yüzeyindeki piroliz bölgesini soğutmak için yanıcı olmayan gazlar yayar veya endotermik olarak ayrışır. Halojen, fosfor ve antimon buhar fazında, ekzotermik süreçleri kesintiye uğratmak ve yanmayı bastırmak için radikal bir mekanizma ile hareket eder. Fosfor ayrıca, gaz halindeki ürünlerin aleve yayılmasını önlemek ve polimer yüzeyini ısı ve havadan korumak için bir bariyer görevi gören yüzeyde kömür oluşumunu teşvik eden yoğun fazda da hareket edebilir. Alev geciktirici mekanizmanın diğer bir ana kategorisi, malzemelerin ateşe veya ısıya maruz kaldıklarında şişerek, genellikle karbonlu, gözenekli köpüklü bir kütle oluşturmak üzere şişen ve bu da ısı, hava ve piroliz ürününe karşı bir bariyer görevi gören 'intümesan' olarak bilinen mekanizmadır. Bir şişen malzeme formülasyonunda, genellikle bir kömür oluşturuucu madde, kömür oluşumu için bir katalizör ve bir köpürtücü madde bulunur. Bazen, birden fazla bileşiği içeren bu mekanizmaların kombinasyonu yoluyla sinerjistik yaklaşımın kullanılması arzu edilir. Bunun mükemmel bir örneği, bir dereceye kadar aynı anda köpürtücü ajan, katalizör ve kömür oluşturuucu olarak üç rolü yerine getiren melamin fosfatlardır [13].

2.4.1. Fiziksel etki

Alev geciktirici ilave malzemesinin endotermik bozunması, ısı tüketimi ile bir sıcaklık düşüşüne sebep olur. Bu, reaksiyon ortamının polimer yanma sıcaklığının altına bir miktar soğutulmasını içerir. Bu kategoride sırasıyla yaklaşık 200 ve 300 C'de su buharını serbest bırakmaya başlayan hidratlı tri-alümina veya magnezyum hidroksitten bahsedebiliriz. Böyle belirgin bir endotermik reaksiyonun bir "ısı alıcı" olarak hareket ettiği bilinmektedir [14].

Alev geciktiriciler, inert gazların (H_2O , CO_2 , NH_3 vb.) oluşumu ile ayrıştığında, reaktiflerin konsantrasyonunu ve tutuşma olasılığını sınırlayan yanıcı gaz karışımı seyreltilir. Sonuç olarak, üretilen bozunma gazlarının miktarı önemli ölçüde azalır. Ayrıca, yakıt gazları oksijenden fiziksel olarak ayrılabilir, bu da yanma işleminin sürdürülmesini önler [14].

2.4.2. Kimyasal etki

Yangın sürecinin kimyasal modifikasyonu yoluyla alev geciktiriciliği, gaz halinde ve yoğun fazda ortaya çıkabilir. Yanma reaksiyon yolunun bu modifikasyonu,

reaksiyonun ekzotermikliğinde belirgin bir azalmaya yol açar, bu da sıcaklıkta bir azalmaya ve dolayısıyla üretilen yakıtta bir azalmaya yol açar. Yoğun fazda, alev geciktiriciler tarafından kimyasal reaksiyon oluşur ve alev geciktiriciler polimer zincirlerinin kopmasını hızlandırabilir. Alternatif olarak, alev geciktirici, bozulan polimer zincirlerinin kimyasal dönüşümü ile polimer yüzeyinde karbonlaşmış veya camsı bir tabakanın oluşmasına neden olabilir. Bu kömürleşmiş veya camlaşmış katman, gaz fazı ile yoğunlaştırılmış faz arasında fiziksel bir yalıtkan tabaka işlevi görür [14].

2.4.3. UL94 testi

UL94 testleri seti, cihaz ve cihazlardaki parçalar için plastik malzemelerin yanıcılığı testleri olarak “Underwriters” Laboratories tarafından onaylanmıştır. Bir dizi yanıcılık testi içerir (küçük ve büyük alevli dikey testler, dökme ve köpüklü malzemeler için yatay testler, radyan panel alev yayılma testi). Uygulama ve kullanım açısından, en yaygın olarak kullanılan test, küçük bir aleve maruz kalan dikey dökme malzemelerin tutuşabilirliğini ve alev yayılımını ölçmek için UL94 V'dir. Bu test, küçük alevler (50 W) için uluslararası bir standardın (IEC 60695-11-10) konusudur. Malzemeleri V-0, V-1 veya V-2 olarak sınıflandıran basit bir dikey yanma testidir [14].

2.5. Alev Geciktirici Katkı Maddeleri

2.5.1. Mineral alev geciktiriciler

Herhangi bir tür inorganik dolgu maddesi, hatta inert bile olsa, polimerlerin ateşe tepkisini çeşitli nedenlerle etkileyebilir:

- yanıcı ürünlerin içeriğini azaltır;
- elde edilen malzemenin ısı iletkenliğini ve tüm termofiziksel özelliklerini değiştirir;
- ortaya çıkan malzemenin viskozitesini değiştirir;

Tüm bu eylemler, polimerin yangın performansı üzerinde dolaylı bir etkiye sahiptir. Bu sebeble, bazı mineraller, yüksek sıcaklıktaki davranışlarından dolayı özellikle alev geciktirici olarak kullanılmaktadır. Yukarıda belirtilen genel etkilerin yanı sıra, bu inorganik dolgu maddeleri doğrudan fiziksel alev geciktirici etkiye sahiptir. Sıcaklık arttıkça, bu dolgu maddeleri endotermik olarak ayrışır ve bu nedenle enerjiyi emer.

Ayrıca, yanıcı gazları seyrelten ve ayrıca koruyucu bir seramik veya camsı tabaka oluşumunu teşvik edebilen yanıcı olmayan moleküller (H_2O , CO_2) salmaktadırlar [14].

2.5.1.1. Metal hidroksitler

Polimer alev geciktiriciler olarak kullanılmaları için metal hidroksitlerin endotermik olarak ayrışması ve polimer işleme sıcaklık aralığından daha yüksek bir sıcaklıkta ve polimer bozunma sıcaklığı civarında su salması gerekir. En yaygın olarak kullanılan iki mineral alev geciktirici, alüminyum tri-hidroksit (ATH) ve magnezyum dihidroksittir. Alüminyum tri-hidroksitin ($Al(OH)_3$) endotermik bozunması 180 ve 200 C arasında meydana gelir ve suyun salınmasına ve alümina oluşumuna yol açar: $2Al(OH)_3 = Al_2O_3 + 3H_2O$ (1050 kJ/kg) [14].

2.5.1.2. Boratlar

Boratlar, alev geciktirici özelliklere sahip başka bir inorganik katkı maddesi ailesidir. Bunlar arasında $2ZnO \cdot 3B_2O_3 \cdot 3.5H_2O$ gibi çinko boratlar en sık kullanılanlardır. 290 ve 450 C arasındaki endotermik bozunmaları (503 kJ/kg) su, borik asit ve bor oksit (B_2O_3) açığa çıkarır. Oluşan B_2O_3 350°C'de yumuşar ve 500°C'nin üzerinde akar ve koruyucu bir camsı tabaka oluşumuna yol açar. Oksijen atomları içeren polimerler söz konusu olduğunda, borik asidin varlığı dehidrasyona neden olarak karbonize bir tabaka oluşumuna yol açar. Bu tabaka polimeri ısı ve oksijenden korur. Böylece yanıcı gazların salınımı azaltılır [14].

Demirel ve ark. Yapmış olduğu çalışmada test sonuçları, cam elyaf ve alev geciktirici ilavesinin, takviyesiz PE'nin duman yoğunluğunu azalttığını göstermiştir. Ağırlıkça %15 çinko borat kullanıldığında kompozitin duman yoğunluğu değeri 3.42'dir. Kompozit numunelerin en düşük duman yoğunluğu değerinin alev geciktirici olarak çinko borat ilavesiyle elde edildiği görülmüştür [15].

2.5.2. Halojenli alev geciktiriciler

halojenli alev geciktiricilerin etkisi, halojenin şekline bağlıdır. Flor ve iyot bazlı bileşikler, polimer yanma sürecine katkıda bulunmadıkları için tercih edilmez.. Florlu bileşikler, çoğu polimerden termal olarak daha karardır ve aynı sıcaklık aralığında veya polimerlerin bozunma sıcaklığının altında halojen radikalleri salmaz. İyotlu

bileşikler, çoğu ticari polimerden daha az termal olarak kararlıdır ve bu nedenle polimer işleme sırasında halojenli türleri serbest bırakır. Brom ve klor, karbon atomları ile düşük bağlanma enerjileri nedeniyle, kolaylıkla salınabilir ve özellikle daha önce tartışılan gaz fazında meydana gelen serbest radikal mekanizmasıyla yanma prosesinde yer alabilir [14].

2.5.3. Fosfor bazlı alev geciktiriciler

Fosfor içeren alev geciktiricilerin yelpazesi son derece geniştir ve element birkaç oksidasyon durumunda mevcut olduğundan, malzemeler çok yönlüdür. Fosfinler, fosfin oksitler, fosfonyum bileşikler, fosfonatlar, elemental kırmızı fosfor, fosfitler ve fosfatların tümü alev geciktirici olarak kullanılır [13].

Çoğunda, termal ayrışma, pirofosfat yapıları üretmek ve suyu serbest bırakmak için kolayca yoğunlaşan fosforik asit üretimine yol açar. Ortaya çıkan su oksitleyici gaz fazını seyreltir. Sonuç olarak, fosforik asit ve pirofosforik asit, terminal alkollerin dehidrasyon reaksiyonunu katalize ederek karboksasyonların ve karbon-karbon çift bağlarının oluşumuna yol açabilir. Yüksek sıcaklıkta bu, daha sonra çapraz bağlı veya karbonize yapıların oluşmasına neden olabilir [14].

2.5.4. Azot bazlı alev geciktiriciler

Melamin, ağırlıkça %67 nitrojen atomu içeren 345°C erime noktası ile karakterize edilen bir malzemedir. Melamin yaklaşık 350°C'de süblimleşir. Süblimleşmenin ardından ciddi miktarda enerji emilir, bu da sıcaklığı düşürür. Bu reaksiyonlar melamin buharlaşması ile rekabet eder ve melamin buharlaşması engellenirse daha belirgindir. Melamin fosfatın termal ayrışması melamin ve fosforik asit salınımı ile melamin polifosfat oluşumuna yol açar. Melamin polifosfatın termal ayrışması, melaminin salınmasıyla melam ultrafosfat ve amonyum polifosfat oluşumuna yol açar. Bununla birlikte, gaz halindeki melamin, melam ultrafosfat gibi yoğunlaşma ürünlerinin oluşumu ile rekabet eder. Böylece melaminin yoğunlaşmasına polifosforik yapıların oluşumu eşlik eder. Amonyum polifosfat, melamin polifosfattan da oluşturulabilir. Ek olarak, amonyum polifosfat ayrışmaya ve 300°C'nin üzerinde amonyağı serbest bırakmaya meyillidir ve serbest yoğunlaştırılmış hidroksil grupları, su eliminasyonu ile çapraz bağlı yapılar (ultrafosfat) verir. Melam ultrafosfatın hidrolizi, bir melam

fosfat türevi veya melam polifosfat üretir. 410°C'nin üzerinde, ultrafosfatın termal bozunması sınırlıdır ve bunu 650°C civarında nispeten kararlı bir tortunun oluşumu takip eder. Melamin pirofosfat, termal ayrışma sırasında melamine dönüşür [14].



3. KOMPOZİT MALZEMELER

3.1. Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması

Kompozit malzemeler, matris faz tipine göre;

- Metal Matrisli Kompozitler
- Seramik Matrisli Kompozitler
- Polimer Matrisli Kompozitler olarak üç grupta sınıflandırılır.

3.1.1. Metal matrisli kompozitler

Metalik matris esas olarak alaşımlardan ve demir, magnezyum, alüminyum, bakır, titanyum, kobalt, nikel dahil olmak üzere metal oksitten oluşur. Yüksek sıcaklık uygulamalarında en yaygın olarak kobalt ve kobalt-nikel matrisleri (1000 °C'ye kadar termal kararlılık) kullanılır. Metal matrisli kompozitler, polimer veya seramik kompozitlerden çok daha iyi termal ve elektriksel iletkenliğe sahiptir, ancak zor üretim süreci nedeniyle kullanılabilirlikleri sınırlıdır [16].

3.1.2. Seramik matrisli kompozitler

Seramikler inorganik ve non-metalik maddeler içeren katı malzemelerdir. Seramikler hem kristalin hem de amorf bileşikler olarak bulunurlar. Seramiklerin başlıca özellikleri, yüksek sertlikleri, ısı ve elektriği yalıtma özellikleri, ısı ve korozyon direnci, deformasyon olmadan kırılma davranışdır [17].

Bu özelliklerinden dolayı kompozit malzemelerde matris olarak yaygın bir şekilde kullanılır. Seramik kompozitler, silikon karbür, alüminyum oksit veya alüminyum nitrür gibi bileşiklere dayanan malzemelerdir [16].

Seramik matrisli kompozitler, yüksek maliyetlerin performanstaki iyileştirmelerle dengelendiği uygulamalarda diğer malzemelerin yerini almaktadır. Seramik matrisli kompozitler türbin bıçakları, piston motor vanaları ve turbo şarj bileşenleri gibi yüksek sıcaklık uygulamalarında kullanılır. Seramik matris kullanmanın en önemli dezavantajı düşük tokluk özelliğidir [18].

3.1.3. Polimer matrisli kompozitler

Polimerik malzemeler, keşfedilmelerinden bu yana modern toplumda her yerde mevcuttur. Polimer kompozitler, polietilen, polipropilen, polyester, polistiren, poliamid gibi çeşitli yüksek moleküler sistem türlerinden ve ayrıca polimer reçinelerinden yapılan malzemelerdir. Polimer kompozitler daha düşük üretim ve işleme sıcaklıkları gerektirir.(100-400 °C). Polimer matrisler çoğunlukla cam, karbon, aramit ve doğal liflerle takviye edilir [16].

Yüksek sertlik, yüksek dayanıklılık, düşük yoğunluk ve mükemmel korozyon dayanımlarından dolayı polimer matrisli kompozitlerin kullanımı yaygındır [19].

Cam elyaf takviyeli polimer kompozitler, en sık kullanılan kompozit türüdür. Elyaf şeklinde çekilen camın içeriği E-cam olarakta isimlendirilir.

Polimer matrisli kompozitler matrisin termoset veya termoplastik polimer olmasına göre ikiye ayrılır [3].

3.1.3.1. Termoset matrisli kompozitler

Polimerlerin özellikleri, kendilerini oluşturan monomerlerin kimyasına ve bu monomerlerin polimer mimarisinde veya moleküler yapıda birbirleriyle nasıl birleştiğine bağlıdır. Özelliklerin belirlenmesindeki önemi nedeniyle, polimerler genellikle moleküler yapılarına göre sınıflandırılır. Önemli sınıflar lineer zincirli, dallı ve ağ yapılı polimerleri içerir. Bileşen molekülleri ısıtıldığında ve kimyasal reaksiyona girdiğinde, üç boyutlu bir ağ yapısı oluşturan bir sentetik polimer sınıfı olan ısıyla sertleşen polimer grubu termosetler ortaya çıkar. Bu işlem, kürleme olarak bilinir ve erimeyen ve çözülmeleyen bir malzeme ile sonuçlanır; bu özellikler, kovalent bağları içeren 3 boyutlu ağın doğrudan bir sonucudur. Bu nedenle, termoplastiklerin aksine, termosetler sıcaklık veya çözücülerle yeniden şekillendirilemez veya yeniden kalıplanamaz.

Teknolojik açıdan önemli polimerlerin birkaç sınıfı termosetlerdir. Kauçuklar, yüksek moleküler ağırlıklı polimer zincirlerinin vulkanizasyon adı verilen bir işlemde çapraz bağlanmasıyla elde edilir. Çapraz bağlar arasındaki büyük moleküler ağırlık, elastomerik davranışlarıyla sonuçlanır. Düşük moleküler ağırlıklı sıvı reçinelerden elde edilen termosetler, yüksek yoğunlukta çapraz bağlara sahip ve genellikle yüksek sertlik ve mukavemet en iyi özellikleridir. Hafifliği, düşük maliyeti ve işleme kolaylığı

ile birlikte bu özellikler, termosetleri elektronik paketlemeden uçak ve havacılıkta yapısal uygulamalar için fiber kompozit matrislerine kadar geniş bir uygulama yelpazesi için çekici kılmaktadır [20].

Önemli termoset polimerler olarak epoksi reçineler ve polyester reçineler, yüksek mekanik mukavemet, olağanüstü yapışma, kimyasal direnç ve iyi elektrik yalıtımı özelliklerine sahiptir ve bunların tümü, bu reçinelerin inşaat, otomotiv, elektronik ve havacılık alanlarında kapsamlı uygulamalar bulmasını sağlar [6].

3.1.3.2. Termoplastik matrisli kompozitler

Termoplastik polimerler, termoset plastiklerden, yumuşama veya tamamen eritilme ve ısıtıldığında yeniden şekillendirilme yetenekleriyle ayrılırken, geniş bir çalışma sıcaklığı ve basınç aralığında kimyasal ve boyutsal olarak kararlı kalırlar. Termoset matrisli kompozitler daha yaygın olmasına rağmen, termoplastik matrisli kompozitler son yıllarda büyük gelişme göstermektedir.

Bazı termoplastiklerinin kısa bir listesi;

- polistiren (PS),
- polietereterketon (PEEK),
- çeşitli polyesterler, polietilen tereftalat (PET),
- parilen ve politetrafloroetilen (PTFE)
- florlu etilen propilen (FEP)

Termoplastik matrisli kompozitlerin, termoset matrisli kompozitlere göre;

- Düşük üretim maliyeti,
- Kürleme gerektirmemesi,
- Sınırsız raf ömrü,
- Yeniden üretilebilme,
- Düşük nem içeriği, gibi avantajları vardır.

Termoplastik matrisli kompozitlerin yüksek viskoziteleri, yüksek üretim sıcaklıkları gibi dezavantajları vardır [21,22].

3.2. Polimer Matrisli Kompzitlerin Üretim Yöntemleri

Termoset reçineler, işlenmesi en basit plastik malzemeler arasındadır. Gerekli olan tek şey aktivatörde karıştırmak, bir kalıba dökmek, soğumaya bırakmak ve ardından kalıptan çıkarmak. Kalıp konturlarının birebir aynısı ısı ve basınç gerektirmeden üretilir. Kalıp, yüzey sızdırmaz ise metal, ahşap, plastik, hatta alçı veya karton gibi hemen hemen her türlü gözeneksiz malzemeden yapılabilir. Daha yüksek bir üretim hızı isteniyorsa, ısıtılmış bir kalıp kullanılabilir. Isı, kürleme sürecini hızlandırır, daha eksiksiz bir kür sağlar ve daha uzun bir kap ömrü sağlayan aktivatörlerin kullanımına izin verir.

Güçlendirilmemiş termosetlerin kalıplanmasıyla ilgili ana problemler şunlardır:

- Kalıpta hava kabarcıklarının kalma olasılığı.
- Bileşenin kalıptan çıkarılabilmesi için kalıbın tasarımı.
- Büzülme.

Termoset reçineler, sertleşme ve kürleme işlemi sırasında hacmini %8'e kadar azaltabilir. Bu, ısı büzülme molekülün büzülmesine katkıda bulunduğundan, kürleme sırasında bir sıcaklık artışı olursa artar. Sertleşme reaksiyonunun ısı ürettiğini hatırlamak önemlidir; sonuç olarak büyük reçine kütleleri "soğuk kürleme" uygulansa bile ısınabilir. Hızlı ve düzensiz büzülme, kürlenmiş parçada iç gerilimler oluşturur ve çatlamaya neden olabilir.

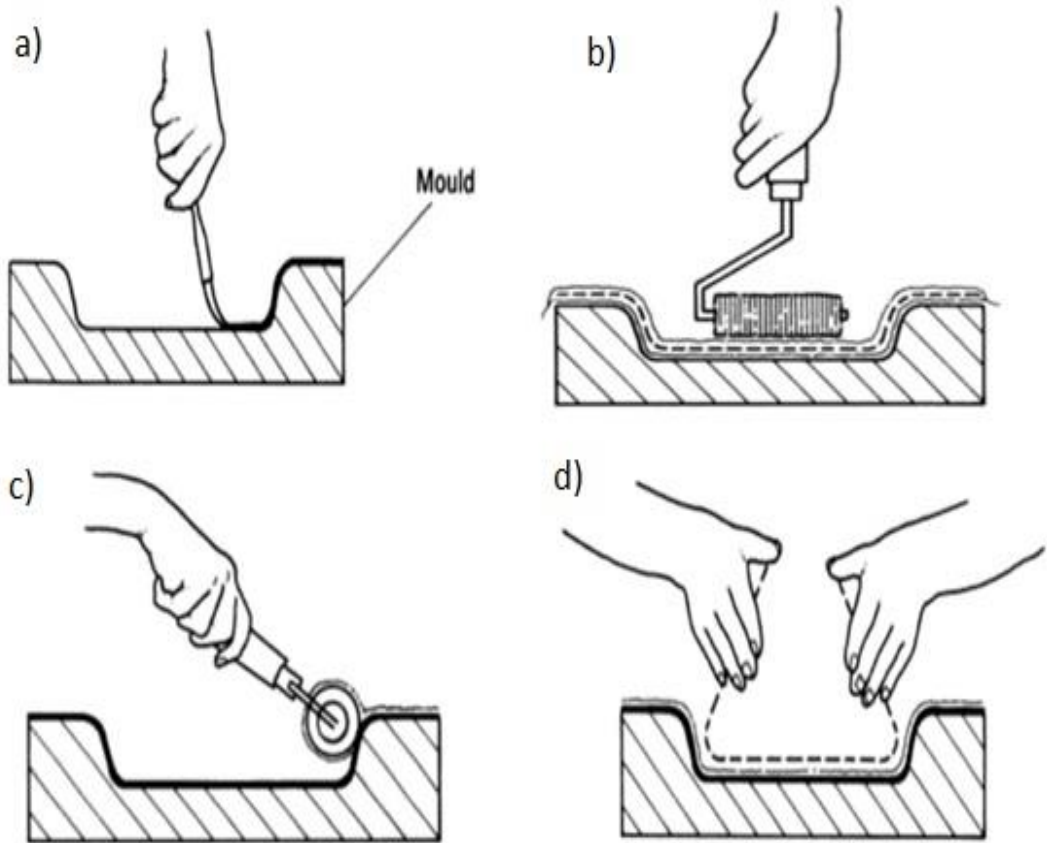
Tüm elyaf takviyeli polimer kompozit üretim süreçleri bu beş unsuru içerir. Bireysel öğeleri yürütme yöntemleri 'teknikler' olarak düşünülebilir. Bu nedenle, her bir üretim süreci, beş unsurun gerçekleştirilmesi için bir montaj dışı teknik olarak düşünülebilir. Bu önemli bir noktadır çünkü farklı teknik kombinasyonları kullanılarak kompozitlerle yapılabilecek çok sayıda işleme düzenlemesini gösterir [23,24].

3.2.1. Açık kalıp sistemleri

3.2.1.1. El yatırması

Temelinde reçine bir kova içinde elle karıştırılır ve kalıba fırça veya tiftik rulo ile uygulanır. Bu işlemde sadece bir kalıp kullanılır. Erkek veya dişi olabilir. Normalde önce 'jel kaplama' adı verilen düzgün bir reçine tabakası uygulanır ve takviyeli tabakalara geçmeden önce jelleşmesine izin verilir. Jel kaplama kalınlığı yaklaşık 0,4-

0,5 mm olmalı ve her yerde aynı olmalıdır. Takviye genellikle reçine karıştırılmadan önce boyutuna göre kesilir. Daha sonra alternatif reçine ve takviye katmanları kalıba uygulanır ve aynı zamanda tüm havayı dışarı atarken laminatı sağlamlaştırmak ve takviyeyi tamamen emdirmek için nervürlü bir metal silindir kullanılır. Aynı şekilde, laminatın oluşumu sırasında sertleştirici nervürler, çekirdek malzemeler ve metal ek yerleştirilebilir ve sonraki katmanlarla kaplanabilir. Kompozitin kurlenmesi oda sıcaklığında gerçekleşir ve normalde 20 °C'de 28 gün sürer. Pratik amaçlar için kurlenme birkaç saat sonra tamamlanır. Ancak, maksimum performans, esasen hava koşullarına ve suya dayanıklılık için en az iki hafta önerilir. Dağınık, yoğun emek gerektiren ve kontrol edilmesi zor olmasına rağmen, elle laminasyon işlemi, doğal esnekliği ve kalıp ve ekipmandaki düşük harcama nedeniyle hala yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu tekniğin çeşitli aşamaları Şekil 3.1'de gösterilmiştir [23,24].

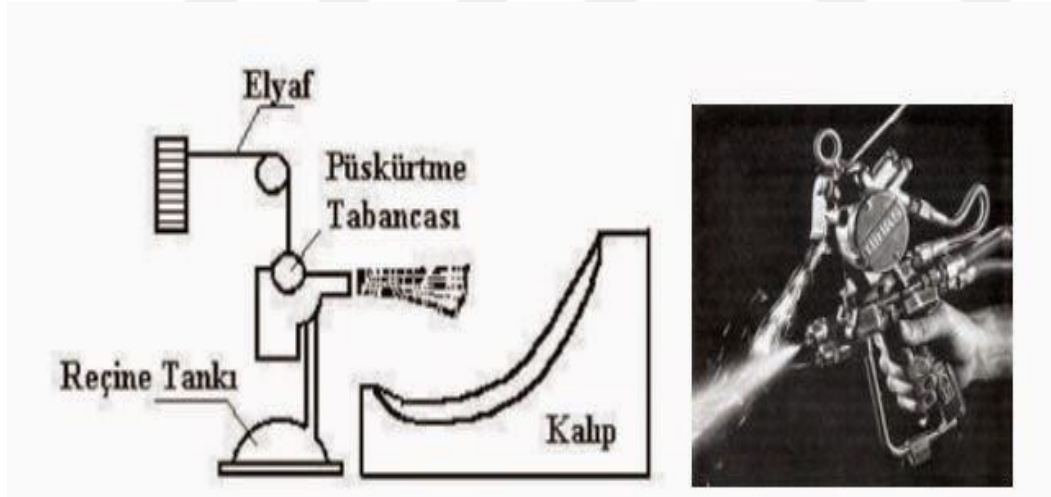


Şekil 3.1. a) Jelkot kaplama fırça veya yumuşak rulo ile uygulanır, Jelleşmesine izin verilir, b) Takviye malzemesi uygulanır. c) Fırça veya yumuşak rulo ile laminasyon reçinesi uygulanır. d) (b), (c) ve (d)'yi gerekli birikim elde edilene kadar tekrarlayın [23,24]

3.2.1.2. Püskürtme

Bu işlemin hazırlık aşamaları, el yatırmaya benzer, ancak reçine ve elyafın kalıba uygulanmasına ilişkin gerçek teknik, daha az emek yoğunudur. Püskürtme, hem reçinenin hem de elyafın aynı anda kalıba püskürtüldüğü bir işlemdir (Şekil 3.2). Reçine püskürtme tabancasına hava tahrikli bir kıyıcı ünite monte edilmiştir. Doğrayıcı, sürekli takviye tellerini yutar, keser ve kısa uzunlukta tükürür. Doğranmış lif, reçine akışı ile kalıba taşınır, böylece takviye ve reçine aynı anda dağıtılır ve konumlandırılır. Doğrayıcı ve püskürtme tabancası çıkışı, gerekli elyaf içeriğini verecek şekilde eşleştirilebilir. Konsolidasyon, elle laminasyonda olduğu gibi elle haddeleme ile yapılır, ancak takviye bağlayıcı içermediğinden ve lif içeriği daha düzgün olduğundan daha kolaydır. Püskürtme oldukça verimli bir işlemdir ancak elyaf dağılımının ve kalınlığının kontrolü tamamen operatörün elindedir ve doğası gereği rastgele kıyılmış takviye ile sınırlıdır. Bu, süreci kritik uygulamalar için uygunsuz hale getirir, ancak yüksek hacimli, kritik olmayan ürünler için popülerdir.

İnşaat sektöründe bu işlem binalar için taşıyıcı ve dolgu paneller ve sandviç paneller için kaplama malzemeleri oluşturmak için kullanılır [23,24].

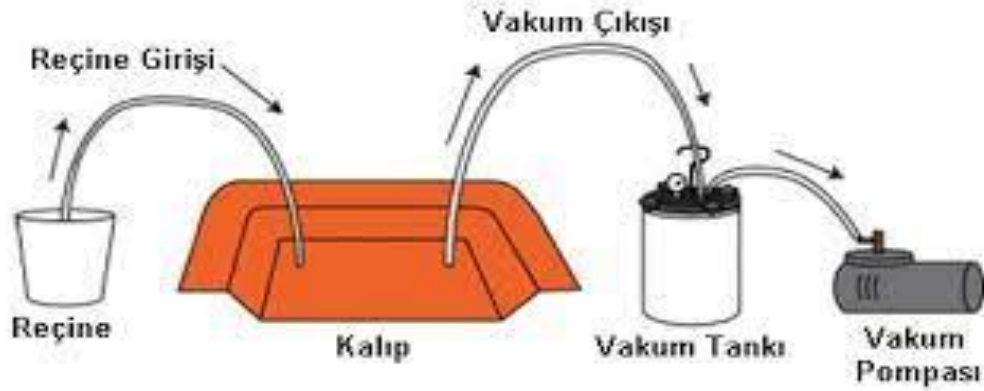


Şekil 3.2. Püskürtme yöntemi uygulaması[23,24]

3.2.1.3. Vakum infüzyon yöntemi

Bu işlem el yatırmasına benzer, ancak nihai laminat konsolidasyonu, bileşeni plastik bir filmle (vakum torbası) kaplayarak ve bileşen üzerine bir vakum çekerek elde edilir. Basınç farkı, kürlenmemiş kompoziti sıkıştırarak fazla reçineyi dışarı iter ve sıkışan

havayı dışarı çeker. Bu, elle yatırma işlemiyle üretilenden daha yüksek lif hacim oranına ve daha iyi tutarlılığa sahip bir laminat ile sonuçlanır [23,24].



Şekil 3.3. Vakum infüzyon yöntemi[23,24]

3.2.2. Kapalı kalıp sistemleri

Uzun yıllardır fiber/matris kompozitler, uyumlu kalıplar kullanılarak kalıplama işlemleriyle üretilmiştir. Bu işlemler, kompozitin her iki yüzeyinde de iyi bir cilaya sahip kalıplar üretir. Açık kalıp prosesi ile karşılaştırıldığında, bu sistem, geliştirilmiş mekanik özellikler ile kompozitte daha yüksek bir cam içeriğinin kullanılmasını sağlar [23,24].

3.2.2.1. Soğuk press kalıplama

Basınç altında ısıtılmamış eşleştirilmiş aletler, bir kalıba yerleştirilen elyaf takviyesi boyunca reçineyi emdirmek kullanılır. Elyaf ve reçine yerine yerleştirilmeden önce kalıbın yüzeyine bir ayırıcı madde ve jel kaplama uygulanır. Bu işlem, iyi yüzey kalitesine sahip küçük partiler için uygundur. Basit, düşük maliyetli ve etkilidir, ancak uzun kalıplama döngüleri gerektirir (genellikle saat olarak ölçülür) [23,24].

3.2.2.2. Sıcak pres kalıplama

Sıcak pres kalıplama, sıvı reçine kullanılarak soğuk pres ile aynı şekilde gerçekleştirilebilir. Elyaf dolgulu polimer, basınç altında bir araya getirilen ısıtılmış, eşleştirilmiş, parlatılmış metal kalıplar (yaklaşık 150 – 160 °C'de) arasında hapsedilir. Bu işlem, termoset takviyeli polimerlerin kalıplanması için en yüksek hacimli yöntemdir ve genellikle yaklaşık 10 000 parça/yıl düzeyinde ekonomik bir çıktıya ulaşır. Verimliliği korumak için reçine, takviye ve katkı maddelerinin (prepregler)

hazırlanmış kombinasyonları giderek daha fazla kullanılmaktadır. En yaygın olarak kullanılanları toplu kalıplama bileşimi (BMC) ve levha kalıplama bileşimi (SMC) olarak bilinir. Kurlenme sürecini hızlandırmak için kalıp yüzeyine ısı uygulanarak üretim hızı önemli ölçüde artırılabilir. En yüksek verimi elde etmek için kalıbın 140 °C'de olması gerekir ve bu da metal kalıpların kullanılmasını gerektirir. Bununla birlikte, günümüzde, SMC ve BMC olarak bilinen sürekli fiber prepregs levha ve hamur kalıplama bileşikleri formunda prepreg takviyelerinin kullanılması normaldir. Bu bileşikler, kıyılmış elyaf takviyesi içerir ve hem elyaf hem de reçinenin ısı ve basınç etkisi altında akabilmesi için formüle edilmiştir. Bu, karmaşık detayların basit bir malzeme paketinden kalıplanmasını sağlar. SMC ve BMC döngü süreleri normalde iki ile on dakika arasındadır; gereken kalıplama basınçları, soğuk presten çok daha yüksektir ve 10000'den az miktarların, yüksek takım maliyeti nedeniyle ekonomik olması pek olası değildir [23,24].

3.2.2.3. Reçine enjeksiyonu

Reçine enjeksiyon kalıplama, takviyenin önceden yerleştirilmiş olduğu kapalı bir kalıba enjekte edilen sıvı formüle edilmiş bir reçine kullanır. En çok jelkot ile kaplanmış pürüzsüz yüzeylere sahip parçalar için kullanılır. Takviye alt kalıptaki yerine yerleştirilir. Üst kalıp daha sonra alttakinin üzerine yerleştirilir ve sabitlenir. Reçine düşük basınçta (400 kN/m²) enjekte edilir. Reçine enjeksiyonu 80 °C'ye kadar soğuk, ılık veya sıcak kalıplarda yapılabilir [23,24].

3.2.2.4. Reçine transfer kalıplama(RTM)

RTM, çok sayıda bileşenin gerekli olduğu yerlerde uygundur. Genellikle kapalı bir metal kalıp kullanılır ve kuru elyaf ön kalıbı bunun içine serilir. Reçine daha sonra son bileşeni oluşturmak için pozitif basınç altında (bazen vakum yardımı ile) enjekte edilir. Kalıp ayrıca reçinenin sertleşmesini hızlandırmak ve böylece döngü sürelerini azaltmak için ısıtılabilir [23,24].

3.2.3. Otomatik sistemler

3.2.3.1. Filament sarma

Filament sarım, borular, tanklar, basınçlı kaplar ve yük taşıyan borular gibi yüksek performanslı içi boş simetrik ürünler üretmek için kullanılan bir tekniktir. Gerekli

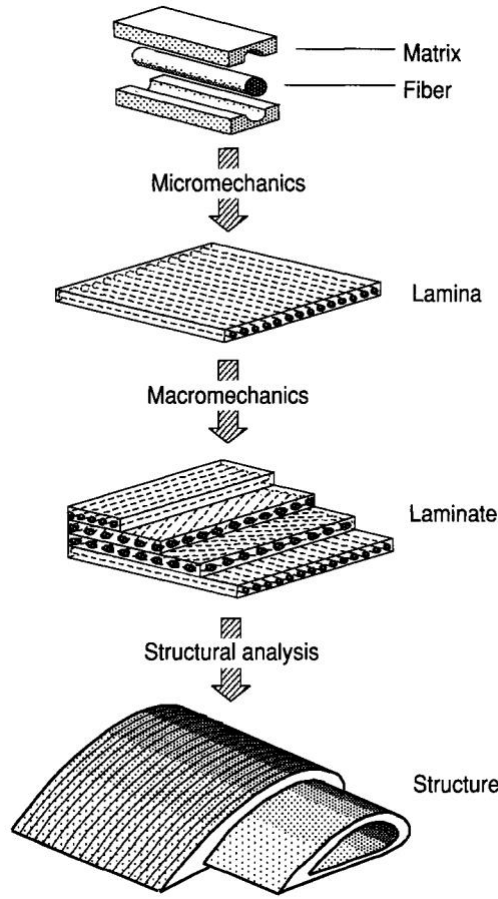
şekle sahip bir mandrel kendi ekseninde döndürülür (genellikle yatay olarak, ancak üretilecek nesnenin boyutuna ve şekline bağlı olarak) ve sürekli bir takviye filamentini ile sarılır. Fiber açısı bu nedenle belirli bir dereceye kadar kontrol edilebilir. Bununla birlikte, parçanın geometrisi genellikle elde edilebilecek açıları belirler (lifler doğal olarak yüzey profilindeki yüksek noktaları takip eder). Reçine ile ısıtılmış takviye ile tamamen sarıldığında, kaplama mandrel üzerinde veya dışında kürlenir [23,24].

3.2.3.2. Pultrüzyon

Bir pultrüzyon makinesi, düzgün bir kesite sahip sürekli uzunlukta bir kompozit malzeme üretmek için tasarlanmıştır. Hem dolu hem de içi boş profiller yapılabilir. Sürekli takviye malzemesi şeritleri, ilave olarak gerekli herhangi bir kumaş tabakası ile birlikte, askılardan çekilir ve sabit bir seviye cihazı ile donatılmış bir reçine banyosundan geçirilir. Fazla miktarda matris alındıktan sonra, doymuş lif bir dizi silme halkasından geçirilir ve ısıtılmış bir kalıbın ağızına gönderilir. Oluşturulan kompoziti sertleştirmek için kauçuk bloklar arasında sıkıca tutulur ve önceden belirlenmiş bir hızda kalıptan çekilir. Daha sonra kesme taşı ile istenilen uzunlukta kesilir. Çoğu geometrik kesit formu bu yöntemle üretilebilir. Gerektiğinde yapısal birimler olarak depolanabilir ve kullanılabilirler. Termoset reçineler neredeyse sadece kullanılır, polyeester reçine pultrüde kompozit üretiminin çoğu için kullanılır [23,24].

3.3. Kompozit Malzemelerin Mekanikliği

Kompozitlerin monolitik malzemelere göre yüksek mukavemet, yüksek sertlik, uzun yorulma ömrü, düşük yoğunluk gibi sıradışı özellikleri vardır. Korozyon direnci, aşınma direnci, görünüm, sıcaklığa bağlı davranış, çevresel kararlılık, ısı yalıtımı ve iletkenlik ve akustik yalıtımda ek iyileştirmeler gerçekleştirilebilir. Kompozit malzemelerin yüksek yapısal performansının nedeni, yüksek kuvvet/yoğunluk oranı ve modül/yoğunluk oranı ile malzemenin anizotropik ve heterojen karakterinde dayanmaktadır [25].



Şekil 3.4. Kompozit yapısı[25]

3.3.1. Mikromekanik

Mikromekanik, ortaya çıkan malzemeyi oluşturan malzemeler (lifler, matris; lif dağılımı) açısından uygun şekilde ele alır (Şekil 3.4). Buradaki en önemli hususlar, malzemenin yerel rijitliği ve temel kırılma mekanizmalarıdır.

Lif boyutları ölçeğinde bakıldığında, kompozitler yüksek sertlik ve yüksek mukavemetli lifler avantajına sahiptir. Fiberin genellikle düşük kırılma tokluğu, matris sünekliği ve fiber matris arayüzündeki enerji kaybı ile arttırılır. Matrisin stres transfer kabiliyeti, çok bölgesel ve çok yönlü arıza mekanizmalarının geliştirilmesine olanak tanır. Öte yandan, lifler mukavemet açısından nispeten yüksek bir saçılma sergiler. Liflerin etrafındaki yerel stres konsantrasyonları, enine çekme mukavemetini önemli ölçüde azaltır. Geleneksel malzemeler, mikro yapılarına ve malzemenin kırılma veya sünek davranışını etkileyen yerel düzensizliklere karşı daha hassastır. Homojenlikleri, onları uzun vadeli döngüsel yükleme altında kusur büyümesine karşı daha duyarlı hale getirir [25].

Mikromekaniğin bir amacı, kompozitin formdaki sertlik gibi ortalama elastik özellikleri için fonksiyonel ilişkiler elde etmektir (Denklem 3.1) [26].

$$C^* = f(C_f, C_m, V_f, S, A) \quad (3.1)$$

C^* = ortalama kompozitin sertliği

C_f, C_m = fiber ve matris sertliği

V_f = fiber hacmi oranı

S, A = şekli tanımlayan geometrik parametreler ve sırasıyla takviye dizisi

Malzeme mekaniği yaklaşımı, bileşendeki tek biçimli gerinim veya tek biçimli stres varsayımlarının basitleştirilmesine dayanır. Malzeme tahminlerinin mekaniği, tek yönlü sürekli fiber kompozitin Young modülü E_1 ve ana Poisson oranı ν_{12} gibi boylamsal özellikler için yeterlidir. Bu özellikler lif şekline ve dağılımına duyarlı değildir. Öte yandan, malzeme mekaniği yaklaşımı, bu tür tek yönlü malzemelerin enine ve kesme özelliklerini, yani enine modül E_2 ve kesme modülü G_{12} 'yi hafife alır.

Bu yöntemlerin amacı, malzemenin ve bileşenlerin geometrik özelliklerinin bir fonksiyonu olarak tabakanın temsili bir hacim elemanının elastik tepkisini karakterize etmektir. Spesifik olarak, temsili hacim elemanının boyuna, enine, düzlem içi kesme ve enine kesme gibi basit yüklemeler altındaki tepkisini karakterize eden ortalama özellikleri belirlemek gerekir. İlgili mühendislik elastik özellikleri şunlardır:

Young modülü: E_1, E_2, E_3

Kesme modülü: G_{12}, G_{23}, G_{13}

Poisson oranları: $\nu_{12}, \nu_{23}, \nu_{13}$

Malzeme mekaniği yaklaşımında, kompozit ya bir paralel modeli ya da bir seri modeli ile tanımlanabilir. İlkinde, takviye ve matrisin eşit düzgün gerilme altında olduğu varsayılır. Bu, sertlik için aşağıdaki ifadeye yol açar:

$$C^* = C_f V_f + C_m V_m \quad (3.2)$$

Burada;

C^*, C_f, C_m sırasıyla kompozit, fiber ve matris sertlikleridir.

Seri modelde fazların eşit ve düzgün gerilme altında olduğu varsayılır. Esneklik için ortaya çıkan ifade şu şekildedir:

$$S^* = S_f V_f + S_m V_m \quad (3.3)$$

S^* , S_f , S_m sırasıyla kompozit, fiber ve matris esneklikleridir.

Esnekliğin rijitliğin tersi olduğunu varsayarsak, $S^* = 1/C^*$, (Denklem 3.4) denklemde yerine koyulursa sertlik için aşağıdaki ilişkiyi verir,

$$C^* = \frac{1}{\frac{V_f}{C_f} + \frac{V_m}{C_m}} \quad (3.4)$$

Gerçekte, kompozitteki gerilme veya gerinme durumu tek tip değildir ve yukarıdaki ilişkiler, rijitliğin gerçek değerini sınırlayan limitleri temsil eder [25,26].

$$\frac{1}{\frac{V_f}{C_f} + V_m/C_m} \leq C^* \leq V_f C_f + V_m C_m \quad (3.5)$$

Liflerin hacim oranı için V_f , matrisin hacim oranı için V_m ve karşılık gelen kütle yoğunlukları p_f ve p_m ile, kompozitin kütle yoğunluğu (boşluksuz bir kompozit için);

$$p = p_f V_f + p_m V_m \quad (3.6)$$

Denklem (1) ile teorik kütle yoğunluğu verilir. V_f ve p_f , m için yerinde değerler olarak doğru değerleri varsayarsak, teorik kütle yoğunluğu p ile ölçülen bir p_c arasındaki fark, boşluk içeriğinin boşluk hacim fraksiyonu cinsinden belirlenmesine izin verir [25,26].

$$V_v = \frac{p - p_c}{p} \quad (3.7)$$

V_v 'nin tipik olarak %5'ten küçük olmasına rağmen, bu tür küçük boşluk içerikleri kompozitlerin kalitesini önemli ölçüde etkileyebilir. Özellikle yorulma direnci ve mukavemet parametreleri, artan boşluk konsantrasyonu ile azalır [25,26].

Kompozit malzemelerin fiber hacim oranları aşağıdaki bağlantı ile bulunabilir. Fiber hacim oranı V_f ve matris hacim oranı V_m ile gösterilirse;

$v_{c,f,m}$ = kompozit, fiber ve matris hacmi

$p_{c,f,m}$ = kompozit, fiber ve matris yoğunluğu

$$V_f = \frac{v_f}{v_c} \quad (3.8)$$

Ve

$$V_m = \frac{v_m}{v_c} \quad (3.9)$$

Hacim oranları toplamı,

$$V_f + V_m = 1 \quad (3.10)$$

Bir kompozit malzemenin fiber hacim oranı ve matris hacim oranı toplamı 1'e eşittir.

Kompozit malzemelerin kütle oranları ise;

$w_{c,f,m}$ sırasıyla, kompozit, fiber ve matris kütlesi

W_f = fiberlerin kütle  arlık oranı

W_m = matrisin kütle oranı

$$W_f = \frac{w_f}{w_c} \quad (3.11)$$

ve

$$W_m = \frac{w_m}{w_c} \quad (3.12)$$

$$\text{Kütle oranları toplamı; } W_f + W_m = 1 \quad (3.13)$$

3.3.2. Makromekanik

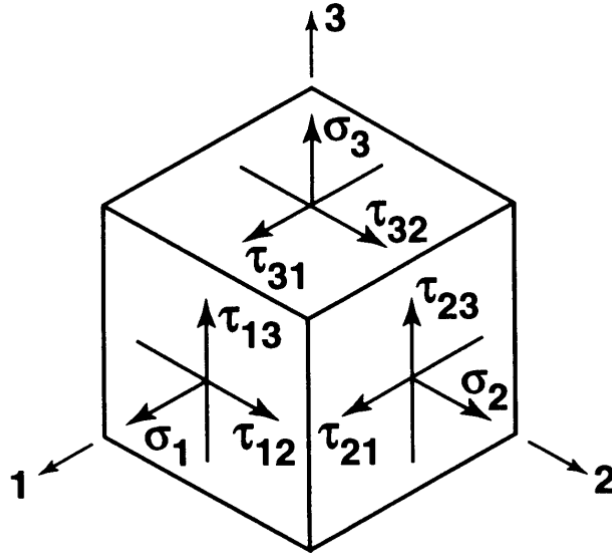
Makromekanik, malzeme özellikleri ve yapısal konfigürasyon açısından elde edilen yapısal özelliklerle ilgilenir. Buradaki en önemli hususlar, tüm kompozit yapının rijitliği ve sa lamlı ıdır. Malzemenin yarı homojen olarak ele alındığı makromekanik analizde, anizotropisi avantaj sağlamak için kullanılabilir. Ortalama malzeme davranışı, bileşenlerin özelliklerinden kontrol edilebilir ve tahmin edilebilir. Bununla birlikte, anizotropik analiz daha karmaşıktır ve hesaplama prosedürlerine daha

bağımlıdır. Öte yandan, izotropileri ve homojenlikleri nedeniyle geleneksel malzemelerin analizi çok daha basittir [25,26].

Malzemelere uygulanan tek eksenli kuvvetler (Denlem 3.15) Hooke yasası ile ifade edilir:

$$\sigma_i = C_{ij}\varepsilon_j \quad i, j = 1, \dots, 6 \quad (3.14)$$

Burada σ_i Şekil 3.6'da x,y ve z koordinatlarında üç boyutlu bir küp üzerinde gösterilen gerilim bileşenleri, C_{ij} rijitlik matrisi ve ε_j de gerinim bileşenleridir [25,26].



Şekil 3.5. x, y ve z koordinatlarında üç boyutlu bir küp üzerinde gösterilen gerilim bileşenleri [25]

Bu eşitlik matris haline getirilirse;

$$\begin{bmatrix} \sigma_1 \\ \sigma_2 \\ \sigma_3 \\ \tau_{23} \\ \tau_{31} \\ \tau_{12} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} C_{11} & C_{21} & C_{31} & C_{41} & C_{51} & C_{61} \\ C_{12} & C_{22} & C_{32} & C_{42} & C_{52} & C_{62} \\ C_{13} & C_{23} & C_{33} & C_{43} & C_{53} & C_{63} \\ C_{14} & C_{24} & C_{34} & C_{44} & C_{54} & C_{64} \\ C_{15} & C_{25} & C_{35} & C_{45} & C_{55} & C_{65} \\ C_{16} & C_{26} & C_{36} & C_{46} & C_{56} & C_{66} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \\ \varepsilon_3 \\ \gamma_{23} \\ \gamma_{31} \\ \gamma_{12} \end{bmatrix} \quad (3.15)$$

Bir izotropik malzemede rijitlik matrisi ve elastik özellikleri tüm yönlerde aynı olduğu için matris basitleştirilirse;

$$\begin{bmatrix} \sigma_1 \\ \sigma_2 \\ \sigma_3 \\ \tau_{23} \\ \tau_{31} \\ \tau_{12} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} C_{11} & C_{12} & C_{12} & 0 & 0 & 0 \\ C_{12} & C_{11} & C_{12} & 0 & 0 & 0 \\ C_{12} & C_{12} & C_{11} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{1}{2}(C_{11} - C_{12}) & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{1}{2}(C_{11} - C_{12}) & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{1}{2}(C_{11} - C_{12}) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \\ \varepsilon_3 \\ \gamma_{23} \\ \gamma_{31} \\ \gamma_{12} \end{bmatrix} \quad (3.16)$$

Gerilim-gerinim ilişkisinin tersi, uyum matrisi S_{ij} ve gerinim-gerinim ilişkisi ile ifade edilir;

$$\varepsilon_i = \sum_{j=1}^G S_{ij} \cdot \sigma_j \quad (3.17)$$

Bu denklem matrise uygulanırsa;

$$\begin{bmatrix} \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \\ \varepsilon_3 \\ \gamma_{23} \\ \gamma_{31} \\ \gamma_{12} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} S_{11} & S_{12} & S_{12} & 0 & 0 & 0 \\ S_{12} & S_{11} & S_{12} & 0 & 0 & 0 \\ S_{12} & S_{12} & S_{11} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{1}{2}(S_{11} - S_{12}) & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{1}{2}(S_{11} - S_{12}) & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{1}{2}(S_{11} - S_{12}) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \sigma_1 \\ \sigma_2 \\ \sigma_3 \\ \tau_{23} \\ \tau_{31} \\ \tau_{12} \end{bmatrix} \quad (3.18)$$

Uyum matrisi, mühendislik birimlerini içeren ve aşağıdaki formda yazılabilen bir kavramdır:

$$\begin{bmatrix} \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \\ \varepsilon_3 \\ \gamma_{23} \\ \gamma_{31} \\ \gamma_{12} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1/E & -\nu/E & -\nu/E & 0 & 0 & 0 \\ -\nu/E & 1/E & -\nu/E & 0 & 0 & 0 \\ -\nu/E & -\nu/E & 1/E & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1/G & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1/G & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1/G\nu \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \sigma_1 \\ \sigma_2 \\ \sigma_3 \\ \tau_{23} \\ \tau_{31} \\ \tau_{12} \end{bmatrix} \quad (3.19)$$

Denklemlerden de anlaşılacağı gibi izotropik malzemelerde S_{11} ve S_{12} uyumu E , ν ve G 'ye karşılık gelir. Örneğin tek eksenli gerilmelerde;

$$\sigma_1 = \sigma_2 = \tau_{23} = \tau_{31} = \tau_{12} = 0 \quad (3.20)$$

İnce duvarlı plakalarda $\sigma_3 = \tau_{23} = \tau_{31} = 0$ denklem 3.21 olduğundan, matrisi;

$$\begin{bmatrix} \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \\ \gamma_{12} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1/E & -\nu/E & 0 \\ -\nu/E & 1/E & 0 \\ 0 & 0 & 1/G \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \sigma_1 \\ \sigma_2 \\ \tau_{12} \end{bmatrix} \quad (3.21)$$

ve stres denklemi aşağıdaki gibi yazılır;

$$\begin{bmatrix} \sigma_1 \\ \sigma_2 \\ \tau_{12} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} E/(1-\nu^2) & \nu E/(1-\nu^2) & 0 \\ \nu E/(1-\nu^2) & E/(1-\nu^2) & 0 \\ 0 & 0 & G \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \\ \gamma_{12} \end{bmatrix} \quad (3.22)$$

Ortotropik bir yapıda özellikler her yönde farklı olacağından;

$$\begin{bmatrix} \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \\ \gamma_{12} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} S_{11} & S_{12} & 0 \\ S_{12} & S_{22} & 0 \\ 0 & 0 & S_{66} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \sigma_1 \\ \sigma_2 \\ \tau_{12} \end{bmatrix} \quad (3.23)$$

$$\text{Bu açıklamada; } S_{11} = \frac{1}{E_1}, S_{22} = \frac{1}{E_2}, S_{66} = \frac{1}{G_{12}}, \text{ ve } S_{12} = \frac{-\nu_{12}}{E_2}, \quad (3.24)$$

Gerilme denklemi;

$$\begin{bmatrix} \sigma_1 \\ \sigma_2 \\ \tau_{12} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Q_{11} & Q_{12} & 0 \\ Q_{12} & Q_{22} & 0 \\ 0 & 0 & Q_{66} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \\ \gamma_{12} \end{bmatrix} \quad (3.25)$$

Liflerin hizalandığı bir x-y düzlemi ile θ açısı yapan gerilimler;

$$\begin{bmatrix} \sigma_x \\ \sigma_y \\ \tau_{xy} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \bar{Q}_{11} & \bar{Q}_{12} & \bar{Q}_{16} \\ \bar{Q}_{12} & \bar{Q}_{22} & \bar{Q}_{26} \\ \bar{Q}_{16} & \bar{Q}_{26} & \bar{Q}_{66} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \varepsilon_x \\ \varepsilon_y \\ \gamma_{xy} \end{bmatrix} \quad (3.26)$$

$\bar{Q}_{xy}$ dönüştürülmüş ters sertlik matrisidir. Bu sayede x yönündeki gerilme; $\sigma_x \cdot \cos^2\theta$ ve bu doğrultuda kayma gerilmesi; $\sigma_x \cdot \sin\theta \cdot \cos\theta$. (Denklem 3.30), [25,26]

$$\begin{bmatrix} \sigma_x \\ \sigma_y \\ \tau_{xy} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \bar{Q}_{11} & \bar{Q}_{12} & \bar{Q}_{16} \\ \bar{Q}_{12} & \bar{Q}_{22} & \bar{Q}_{26} \\ \bar{Q}_{16} & \bar{Q}_{26} & \bar{Q}_{66} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \varepsilon_{x'} \\ \varepsilon_{y'} \\ \gamma_{x'y'} \end{bmatrix} \quad (3.27)$$

Çekme ve kesme gerilmeleri;

$$\sigma_1 = \sigma_0 \cdot \cos^2\theta \quad (3.28)$$

$$\sigma_2 = \sigma_0 \cdot \sin^2\theta \quad (3.29)$$

$$\tau_{12} = -\sigma_0 \cdot \sin\theta \cdot \cos\theta \quad (3.30)$$

3.3.3. Kompozit malzemelerin özelliklerine etki eden faktörler

Elyaf takviyeli kompozit malzemeler, farklı yönlerde takviye edilmiş birden çok tabakadan meydana gelir. Bu yöntemle üretilen malzemelerin özellikleri, diğer malzemelerden farklıdır. Bu şekilde üretilen malzemelerde özellikleri etkileyen faktörler, bileşenlerin türü, elyaf hacim oranı, elyaf yönlenmesi, lif-matris ara yüzey özellikleridir [27].





4. MATERYAL VE ÜRETİM YÖNTEMİ

4.1. Malzeme Seçimi

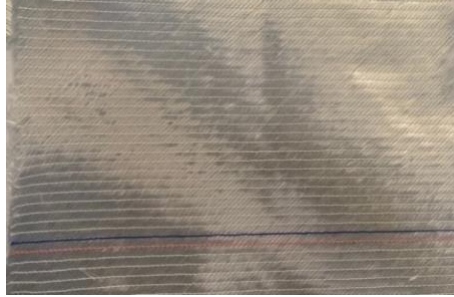
Araştırmada Eti Maden İşletmelerinden temin edilen Çinko borat ve Cosmo Polimer ve Kompozit firmasının temin ettiği, matris olarak polyeşter reçine, takviye olarak cam fiber ve yardımcı malzemeler kullanılmıştır.

4.1.1. Matris: polyeşter

Matris elemanı olarak Turkuaz Polyeşter firmasından temin edilen TP 220 tiksotropik olmayan, hızlandırıcı ihtiva etmeyen, düşük reaktif, düşük viskoziteli, ortoştalik esaslı bir doymamış polyeşter reçine kullanılmıştır.

4.1.2. Takviye: cam elyaf

Takviye elemanı olarak Şekil 4.1'deki biaşial dokuma ± 45 (800 gr/m^2) ve Şekil 4.2'deki mat keçe elyaf (450 gr/m^2) kalıp ölçüsüne ($250 \times 250 \text{ mm}$) uygun olarak hazırlanmıştır.



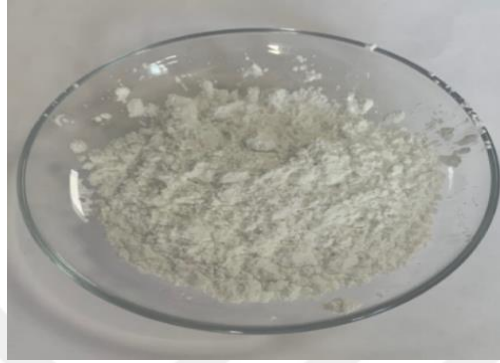
Şekil 4.1. Biaşial Dokuma Kumaş



Şekil 4.2. Keçe elyaf

4.1.3. Çinko borat

$2\text{ZnO} \cdot 3\text{B}_2\text{O}_3 \cdot 3,5\text{H}_2\text{O}$ kimyasal formüllüyle belirtilen ZnBor (Çinko Borat), sanayide sık bulunan beyaz katı, kokusuz, nem çekmez, viskoz ve granül/toz yapıda bulunan bir borattır. Yüksek dehidrasyon sıcaklığına (290-300°C) sahiptir. Suda çözünürlüğü çok düşüktür. Borik asit (H_3BO_3) ve çinko oksit (ZnO) reaksiyonu sonucu elde edilir.



Şekil 4.3. Çinko borat

Tablo 4.1. Çinko Borat'ın Fiziksel Özellikleri

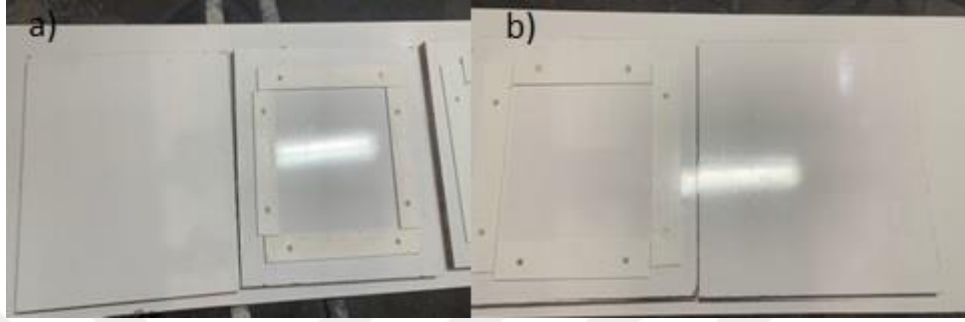
Fiziksel Özellikler	
Özgül ağırlık	2,71 (25 C)
Molekül ağırlığı	434,6 g/mol
Erime noktası	650°C

Tablo 4.2. Çinko Borat'ın Kimyasal Bileşimi

Kimyasal İçerik	
Bileşen	İçerik
B_2O_3	%46,80 - 49,20
ZnO	%36,30 - 38,70
H_2O	%12,1 - 16,9

4.2. Üretim Yöntemi

Çinko boratın, CTP kompozit malzemeye etkilerini incelemek için el-yatırması + soğuk press yöntemiyle farklı oranlarda numuneler üretildi. Numuneleri elde etmek için 3x250x250 mm ve 4x250x250mm parlak mdf'den Şekil 4.4 gibi kalıplar hazırlanmıştır.



Şekil 4.4. Numune Kalıpları; (a) 3mm (b) 4mm

%10,%15,%20,%25, oranında çinko borat tartılarak hazırlanmıştır. Hazırlanan çinko borat 1'kglık polyester içerisine karıştırılmıştır.



Şekil 4.5. Çinko boratın karıştırılması

Sertleştirici olarak meg-peroksit ve kobalt hızlandırıcı olarak, hazırlanan polyester çinko borat karışımına ilave edilmiştir. Kalıp ölçüsünde hazırlanan takviye elemanına rulo fırça yardımıyla Şekil 4.6'daki gibi uygulanmıştır.



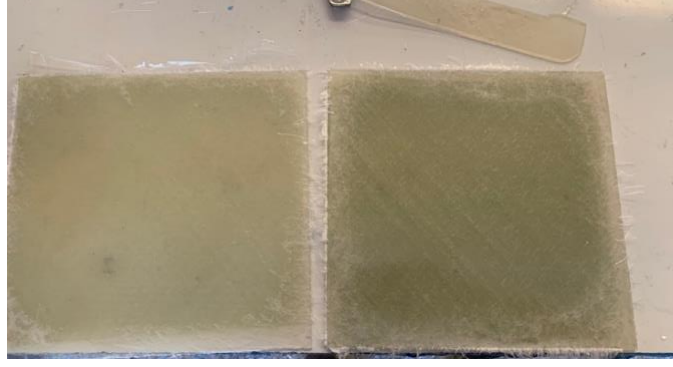
Şekil 4.6. Kalıplara takviye ve matrisin rulo fırça ile uygulanması

3 mm kalınlıkta olan kalıp için 3 adet keçe elyaf ve 1 adet biaxial (-/+ 45) dokuma kumaş kullanılmıştır. 4 mm kalınlıkta olan kalıp için 4 adet keçe elyaf ve 2 adet biaxial (-/+ 45) dokuma kumaş kullanılmıştır.

Bu yöntemde kalıp iki taraflı olduğu için üretilen malzemenin iki yüzü de parlak olarak çıkmaktadır. Numuneleri üretirken kullanılan katkı malzemesinin yüzeyi nasıl etkilediğin anlaşılması için jelkot uygulanmamıştır. Kalıp kapatıldıktan sonra soğuk press yardımıyla 50 barr basınç altında kürlenmeye bırakıldı. Numunelerin donması için yaklaşık 2 saat presste bırakıldı. Süre sonunda kalıplardan çıkarıldı.

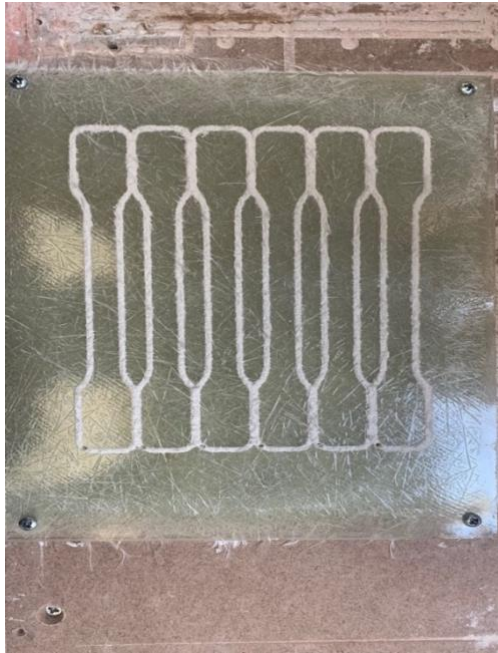


Şekil 4.7. Press içindeki kalıplar



Şekil 4.8. Üretilen numune plakalar

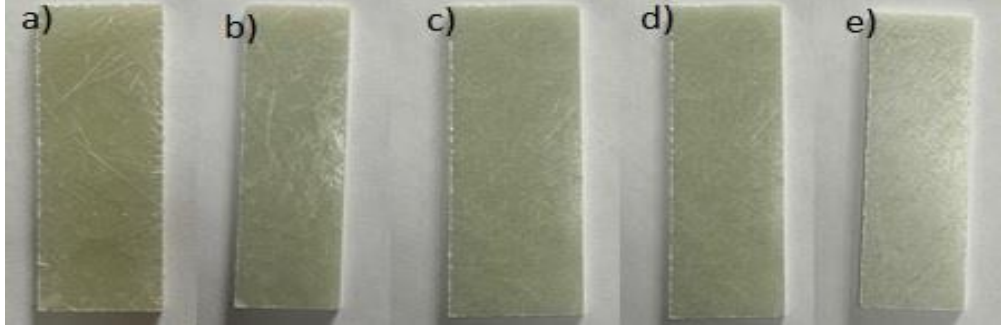
Çıkan numune plakaları standartlardaki ölçülere göre yatar testere ve CNC yardımıyla kesilmiştir.



Şekil 4.9. Plakaların CNC ile çekme deneyi numulerinin kesimi

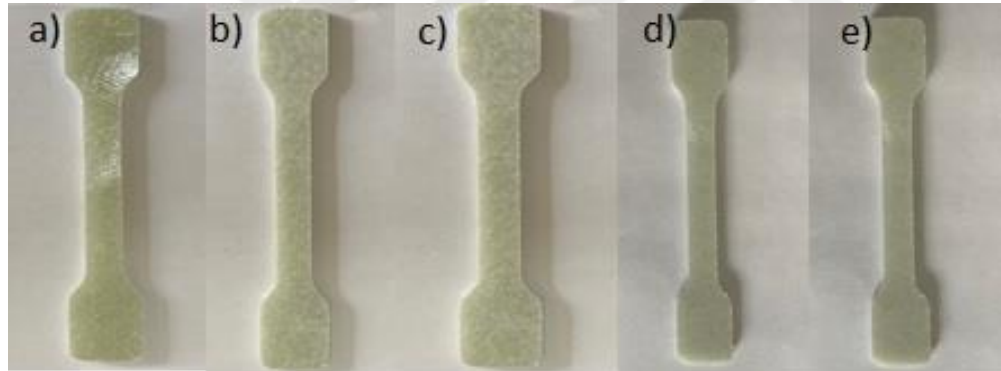
4.2.1. Üretilen numuneler

Bükülme testi numuneleri ilgili standarda (ISO 178) göre uygun ölçülerde hazırlanmıştır.



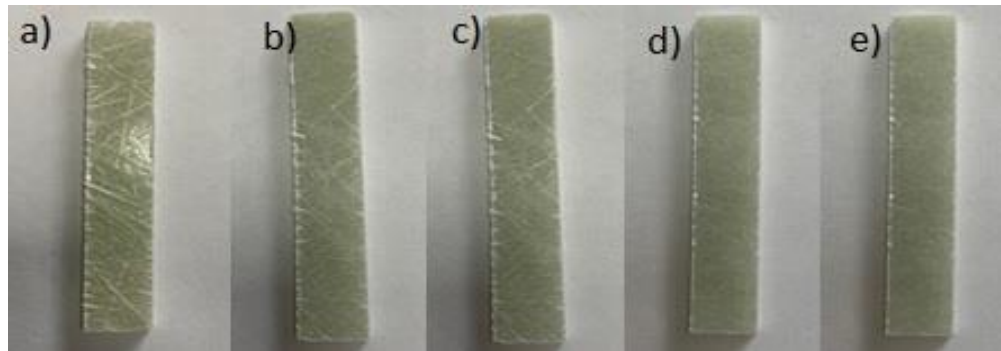
Şekil 4.10. a) Çinko borat katkısız , b) %10 Çinko borat katkılı, c) %15 Çinko borat katkılı, d) %20 Çinko borat katkılı, e) %25 Çinko borat katkılı

Çekme testi numuneleri ilgili standarda (ISO 572-2) göre uygun ölçülerde hazırlanmıştır.



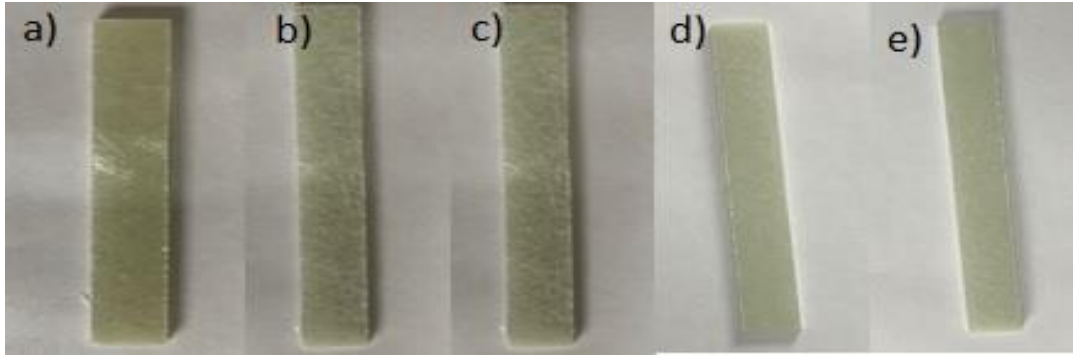
Şekil 4.11. a) Çinko borat katkısız, b) %10 Çinko borat katkılı, c) %15 Çinko borat katkılı, d) %20 Çinko borat katkılı, e) %25 Çinko borat katkılı

Charpy Darbe deneyi numuneleri ilgili standarda (ISO 179-2) göre hazırlanmıştır.



Şekil 4.12. a) Çinko borat katkısız, b) %10 Çinko borat katkılı, c) %15 Çinko borat katkılı, d) %20 Çinko borat katkılı, e) %25 Çinko borat katkılı

Alevlenebilirlik UL94 deneyi numuneleri ilgili standarda (IEC 60695-10-11/ IEC 60893-3) göre hazırlanmıştır.



Şekil 4.13. a) Çinko borat katkısız, b) %10 Çinko borat katkılı, c) %15 Çinko borat katkılı, d) %20 Çinko borat katkılı, e) %25 Çinko borat katkılı

4.3. Uygulanan Deneyler

4.3.1. Çekme testi deneyi

Bir malzeme yüksek gerilimli deformasyona maruz kalırsa kalıcı olarak deforme olur (plastik deformasyon) ve sonuçta başarısız olur. Yeterince düşük gerilimler ve gerinimler için, polimerik malzeme lineer elastik bir katı gibi davranır. Davranışın doğrusal olmamaya başladığı noktaya orantı sınırı denir. Gerilim-gerinim eğrisindeki yerel maksimum, akma noktası olarak adlandırılır ve kalıcı deformasyonu gösterir. Karşılık gelen stres ve uzama, akma mukavemeti ve akma noktasındaki uzama olarak adlandırılır. Akma noktasının ötesinde malzeme oldukça uzar ve bu bölgeye plastik bölge denir. Daha fazla uzama, gerinim sertleşmesine ve malzemenin nihai kopmasına yol açar. Kopma noktasında karşılık gelen gerilim ve gerinim, nihai dayanım ve kopma uzaması olarak adlandırılır. Polimerik bir malzemenin gerilme-gerinim davranışı moleküler özellikler, mikro yapı, gerinim hızı ve sıcaklık gibi çeşitli parametrelere bağlıdır [28].

Çekme özellikleri, bir mekanik test ekipmanı türü olan bir çekme veya üniversal test cihazında iki kelepçe arasına bir test numunesi yerleştirilerek değerlendirilir. Kelepçeler, numune kırılana kadar gerilim uygulamak için hidrolik veya mekanik kullanılarak çekilir. Uygulanan kuvvetin yanı sıra numunede indüklenen uzama (deformasyon veya gerinim) ölçülür. Polimer numunesinin enine kesiti bilindiğinden, gerilime karşı gerinim grafiği oluşturulabilir. Kopma çekme mukavemeti, çekme modülü veya sekant modülü ve kopma anındaki uzama yüzdesi gibi çekme özellikleri

belirlenebilir. Polimerler, özellikle elastomerler, viskoelastik malzemelerdir, bu nedenle metaller veya elastik-plastik malzemeler gibi deforme olmazlar. Metaller, akma noktasının altında elastik olarak ve daha sonra akma noktasının üzerinde plastik veya kalıcı olarak deforme olur. Viskoelastik polimerler, uygulanan ve salınan gerilimlere ve gerilim oranlarına bağlı olarak viskoz sıvı ve elastik katının bir kombinasyonu gibi davranır. Test sırasında uygulanan sıcaklık ve gerinim oranı, polimerlerin gerilme mukavemetini ve mekanik tepkisini önemli ölçüde değiştirebilir. Sünek plastikler veya sert polimerler bir akma noktası sergilerken, birçok kırılğan plastik veya kompozitler ve elastomerler, bir malzeme deformasyonunun doğrusal ve elastikten doğrusal olmayan ve kalıcı hale geçtiği durumlarda gerçek bir akma noktası veya orantısız sınır sergilemez. Sonuç olarak, belirli polimerlerin akma mukavemetini (YS) belirleyemiyoruz. Malzeme mühendisleri, orantısız bir sınır olmaksızın metallerde veya plastiklerde bir akma noktası veya uzama gerilimi belirlemek için genellikle %0,1, %0,2 veya %0,5'lik belirli bir kalıcı ofset gerilimi kullanır. Bazı polimerler herhangi bir lineer elastik deformasyon sergilemeyebilir, bu nedenle gerçek bir Young elastik modülü hesaplanamaz. Bununla birlikte, belirli bir stres veya gerinimdeki bir sekant modülü hesaplanabilir. Çekme testi standartları ISO, SAE, JIS, DIN ve ASTM'den alınabilir. ISO 527- 1: Plastikler – Çekme Özelliklerinin Belirlenmesi – Bölüm 1 en yaygın olarak belirtilen plastik çekme testi standartlarıdır [29].

4.3.2. Darbe testi deneyi

Darbe testi, polimerler, seramikler ve kompozitler gibi bilinen bir malzeme numunesinin aniden uygulanan bir gerilime nasıl tepki vereceğini belirlemek için tasarlanmıştır. Darbe testi, yüksek oranlı yüklemeye direnmek için mühendislik malzemelerinin tokluğunu, kırılğanlığını, çentik hassasiyetini ve darbe mukavemetini değerlendirmek için açıkça kullanılır. Etki özelliğinin nicelleştirilebilmesi, ürün sorumluluğu ve güvenliği açısından büyük bir avantajdır. Darbe testi numunesi türleri, V-çentik, U-çentik ve anahtar deliği çentiği gibi çentik konfigürasyonlarını içerir. Darbe testi en yaygın olarak Charpy ve Izod numune konfigürasyonlarından oluşur [30].

Charpy darbe testi yapılırken, seçilen numune ile temas sağlamak amacıyla ağırlıklı bir sarkaç belirli bir yükseklikten düşürülür. Bu malzeme daha sonra, sarkacın

kırılmadan önce ve sonra yüksekliğini ölçerek ve ardından iki ölçüm arasındaki farkı elde ederek çıkarılabilecek olan enerjiyi emecektir.

Numune yatay konumda makineye yerleştirilir. Çentik U veya V şeklindedir ve sarkaçtan uzağa bakacak şekilde konumlandırılmıştır. Stresi odaklamaya ve kırığı teşvik etmeye yardımcı olur [31].

Darbe enerjisi joule cinsinden ifade edilir. Darbe gücü, joule cinsinden darbe enerjisinin çentiğin altındaki alana bölünmesiyle hesaplanır. Daha yüksek bir sayı daha sert bir malzemeyi gösterir [32].

Sıcaklık -45 °F kadar düşük olduğunda bile, hem düşük hem de ortam sıcaklıklarında bir Charpy darbe testi yapılabilir. Bu test genellikle metaller üzerinde yapılırsa da ISO 179 ve ASTM D6110 gibi polimerler ve plastikler üzerinde de yapılabilir [31].

4.3.3. Eğme testi deneyi

Eğme testi, bir plastik malzeme kirişini bükmek için gereken kuvveti ölçer ve bir malzemenin bükülme veya sertliğine karşı direncini belirler. Esneklik modülü, kalıcı deformasyondan önce malzemenin ne kadar esneyebileceğinin göstergesidir [33].

Eğme yükü genellikle meydana geldiğinden, polimerler ve fiber takviyeli kompozitler için karakteristik değerlerin belirlenmesi çok önemlidir. Bu test için sert numuneler kaçınılmazdır. Test edilen malzemeler, termoplastiklerin, termoset plastiklerin, laminatların veya elyaf takviyeli polimerlerin polimer sınıflarının bir parçasıdır. Eğme modülü E_f ve eğme mukavemeti σ_M gibi karakteristik parametreler , üç noktalı veya dört noktalı eğme testi ile belirlenebilir [34].

Eğme testi, üç noktalı yükleme koşulları altında bir kirişi bükmek için gereken kuvveti ölçer. Veriler genellikle, yükleri esnmeden destekleyecek parçalar için malzeme seçmek için kullanılır. Eğme modülü, büküldüğünde bir malzemenin sertliğinin bir göstergesi olarak kullanılır. En yaygın olarak, numune bir destek açıklığı üzerinde uzanır ve yük, belirli bir oranda üç nokta bükme üreten yükleme burnu tarafından merkeze uygulanır. Bu test için parametreler, destek aralığı, yükleme hızı ve test için maksimum sapmadır. Bu parametreler test numunesi kalınlığına dayanır ve ASTM ve ISO tarafından farklı şekilde tanımlanır. ASTM D790 için, numune %5 sapmaya ulaştığında veya numune %5'ten önce kırıldığında test durdurulur. ISO 178 için,

numune kırıldığında test durdurulur. Numune kırılmazsa, test mümkün olduğu kadar devam ettirilir ve %3,5'lik gerilim (geleneksel sapma) rapor edilir [35].

4.3.4. Alevlenebilirlik

İlgili deney cihazı Şekil 4'te gösterilmiştir. Brülör, 20 mm yüksekliğinde bir merkezi koni ve 50 W gücünde mavi bir alev üretecek şekilde kontrol edilir. Alev, numunenin altına uygulanır ve brülörün üst kısmı, numunenin alt kenarından 10 mm uzağa yerleştirilmelidir. Alev 10 saniye süreyle uygulanır ve çıkarılır. Ard alev süresi t_1 (alevin sönmesi için gereken süre) not edilir. Söndürmeden sonra, alev 10 saniye daha uygulanır. Yanma süresi t_2 , yanma süresi t_3 ile birlikte not edilir (ateş parıltısının kaybolması için gereken süre). Alev uygulaması sırasında brülör ile numune arasındaki mesafe sabit kalmalıdır. Damlalar düşerse, brülör maksimum 45° açıyla eğmeli veya numune alevinden hafifçe izole edilmelidir. Test sırasında, numunenin altında bulunan bir parça pamuğun tutuşmasına neden olan yanan damlaların varlığı not edilmelidir. Standart, beş örneğin test edilmesi gerektiğini belirtir. Numune, Tablo 2'de listelenen kriterlere göre V0, V1 veya V2 olarak sınıflandırılır [14].

3 ila 13 mm arasında kalınlığa sahip bir malzeme, dakikada 40 mm'yi aşan bir yanma hızına sahip değilse HB malzeme olarak sınıflandırılacaktır. Kalınlığı 3 mm'den az olan malzemeler için yanma hızı dakikada 75 mm'yi geçmemelidir. Malzeme, kalınlıktan bağımsız olarak 100 mm işaretinden önce yanmayı keserse de HB olarak derecelendirilecektir [36].

Tablo 4.3. UL 94 V yanıcılık testi için malzemelerin sınıflandırılması [38]

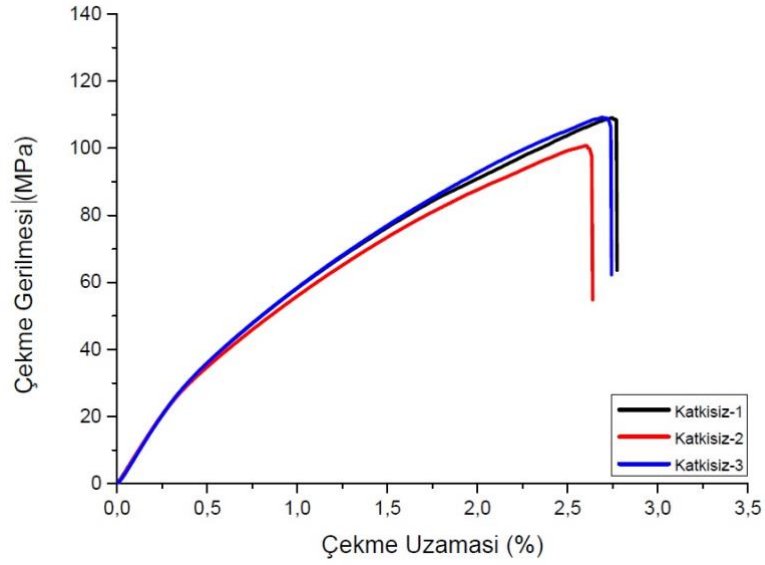
V0	t1 ve t2 her numune için 10 sn'den az beş numune için t1 + t2 50 sn'den az t2 + t3 her numune için 30 sn'den az Tutma kısıracına kadar art alev veya parlama olmaz Yanan damla yok
V1	t1 ve t2 her numune için 30 sn'den az beş numune için t1 + t2 250 s'den az t2 + t3 her numune için 60 s'den az Tutma kısıracına kadar art alev veya parlama olmaz Yanan damla yok
V2	t1 ve t2 her numune için 30 sn'den az beş numune için t1 + t2 250 s'den az t2 + t3 her numune için 60 s'den az Tutma kısıracına kadar art alev veya parlama olmaz Yanan damlalara izin verilir

Tablo 4.4. UL 94 HB yanıcılık testi için malzemelerin sınıflandırılması [38]

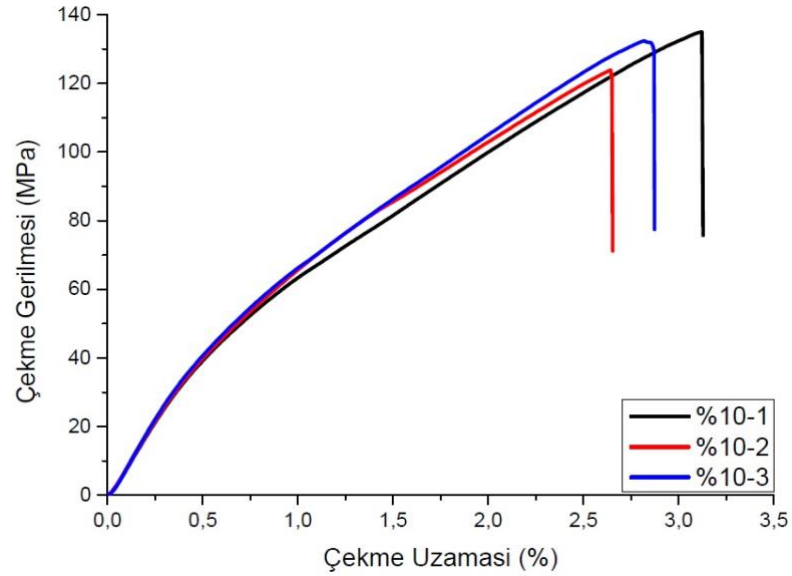
Test Kriterleri	V'de Yanma Hızı	Yanıcılık derecesi
Test numunesi kalınlığı 3-13 mm	$\leq 40\text{mm/dk}$	HB
Test numunesi kalınlığı < 3	$\leq 75\text{mm/dk}$	HB
Alev ilk işaretten önce söner	$\equiv 0\text{ mm/dk}$	HB

5. ARAŞTIRMA BULGULARI

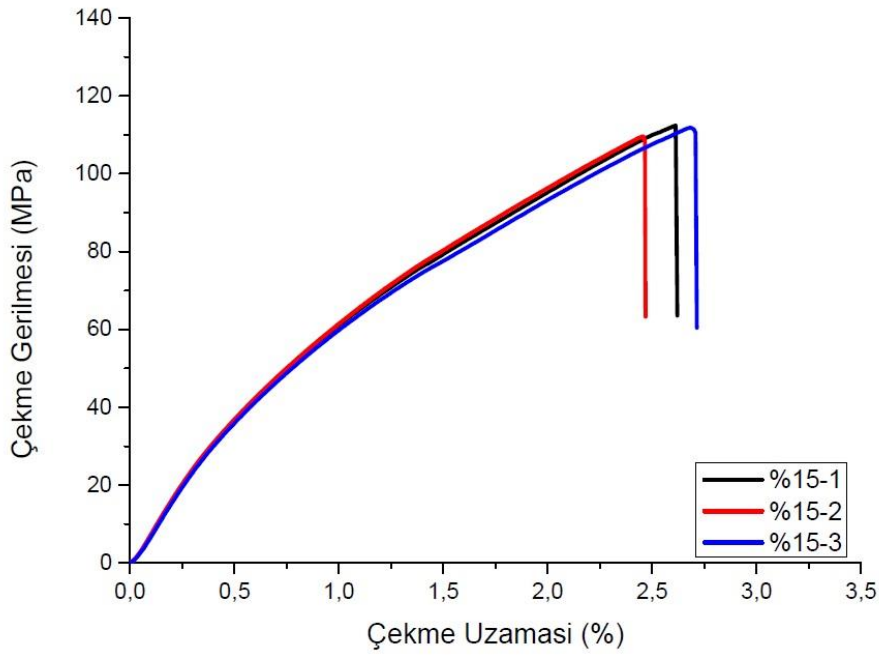
5.1. Çekme Deneyi Bulguları



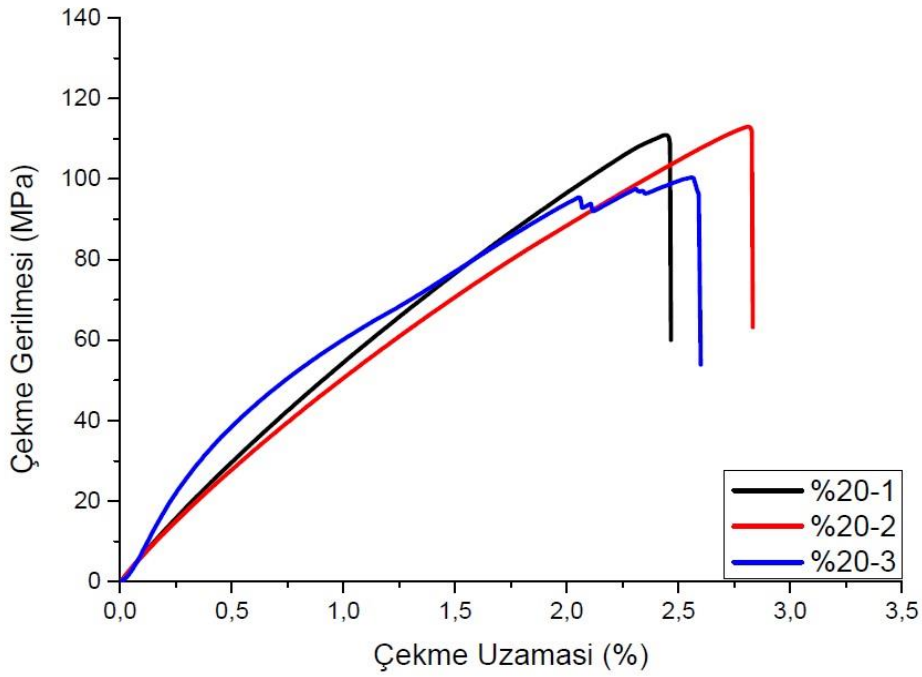
Şekil 5.1. Çinko Borat katkısı eklenmemiş numunelerin çekme deneyi grafiği(K1 1.numune, K2 2.numune, K3 3.numune)



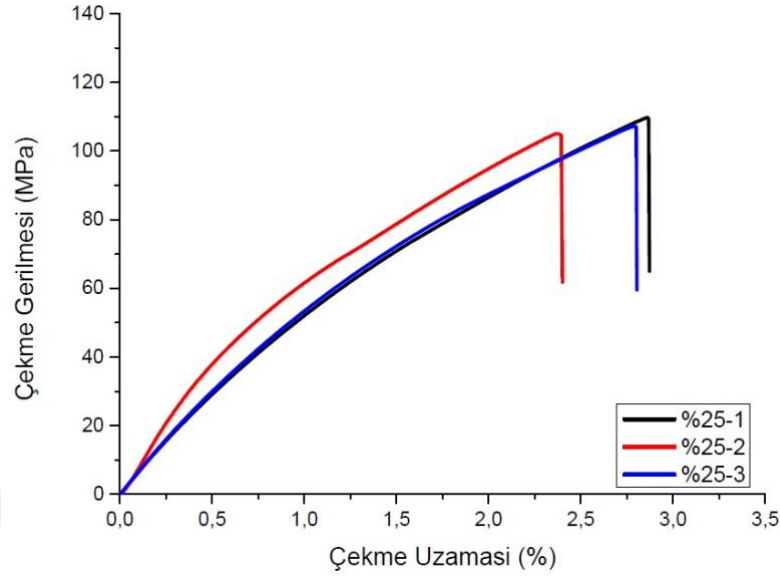
Şekil 5.2. %10 Çinko Borat katkısı eklenmiş numunelerin çekme deneyi grafiği(%10-1 1.numune, %10-2 2.numune, %10-3 3.numune)



Şekil 5.3. %15 Çinko Borat katkısı eklenmiş numunelerin çekme deneyi grafiği(%15-1 1.numune, %15-2 2.numune, %15-3 3.numune)



Şekil 5.4. %20 Çinko Borat katkısı eklenmiş numunelerin çekme deneyi grafiği(%20-1 1.numune, %20-2 2.numune, %20-3 3.numune)



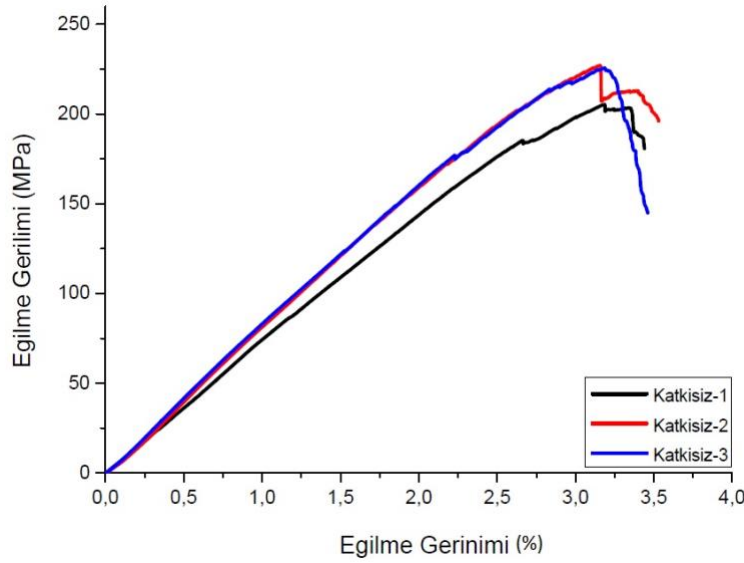
Şekil 5.5. %25 Çinko Borat katkısı eklenmiş numunelerin çekme deneyi grafiği(%25-1 1.numune, %25-2 2.numune, %25-3 3.numune)

Tablo 5.1. Çekme Deneyi Sonuçları

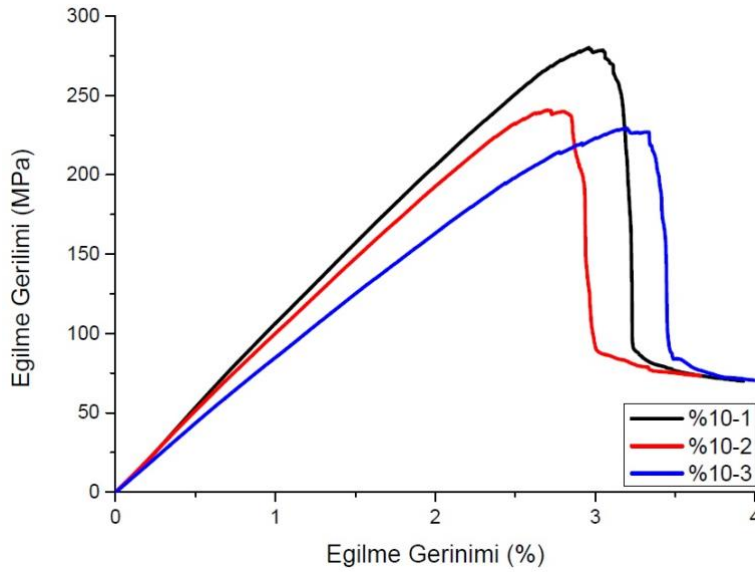
Katkı Oranı	σ (MPa)	Uzama(%)
%0	106,37	2,71
%10	130,43	2,88
%15	111,85	2,59
%20	108,09	2,62
%25	107,37	2,68

Farklı oranlarda çinko borat katkılı kompozit malzemelerin çekme deneyi sonuçları Şekil 3.1-3.5’de verilmiştir. Katkısız malzemelerde ortalama 106 MPa ile en düşük çekme gerilmesi görülmüştür. %10 çinko borat katkısı yapıldığında çekme gerilmesi, yaklaşık %22’lik bir artışla 130 MPa olmuştur. Çinko borat katkı oranı %15, 20 ve 25’lere çıkarıldığında ise sürekli bir düşüş görülmüştür. Dört farklı katkı oranında en yüksek çekme gerilmesi %10 numunelerinde görülmüştür.

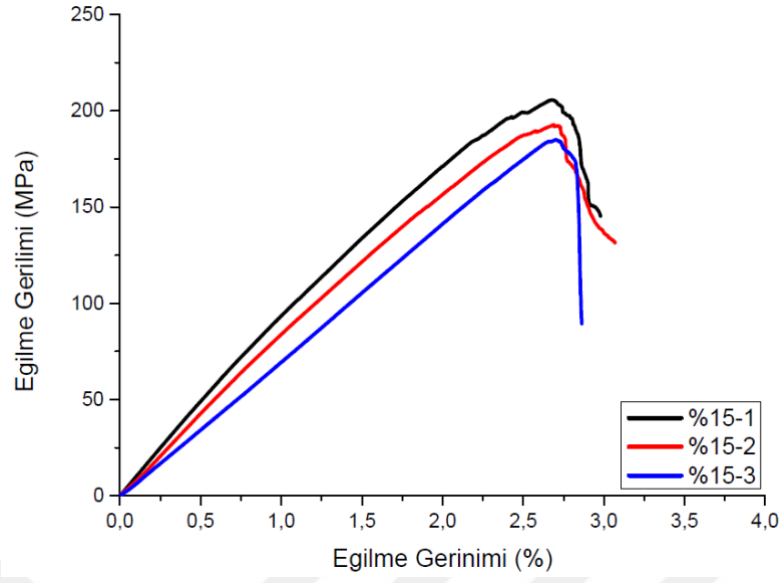
5.2. Eğme Deneyi Bulguları



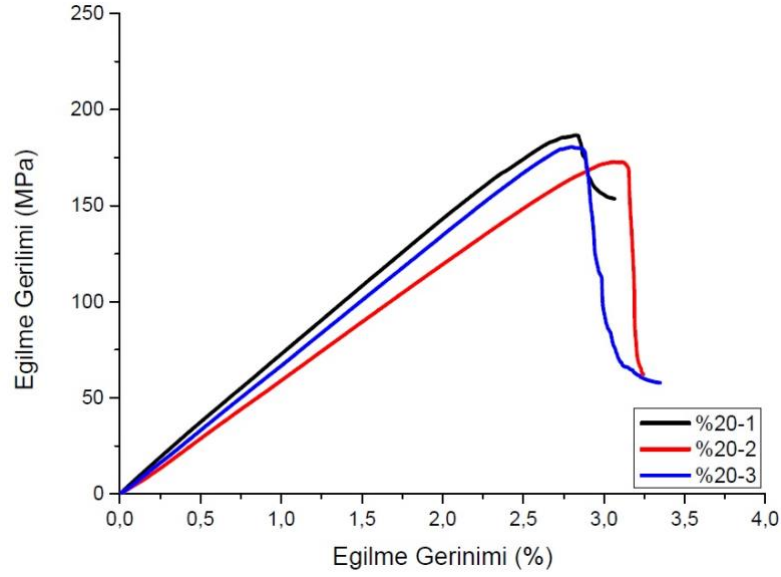
Şekil 5.6. Çinko Borat katkısı eklenmemiş numunelerin eğme deneyi grafiği(K1 1.numune, K2 2.numune, K3 3.numune)



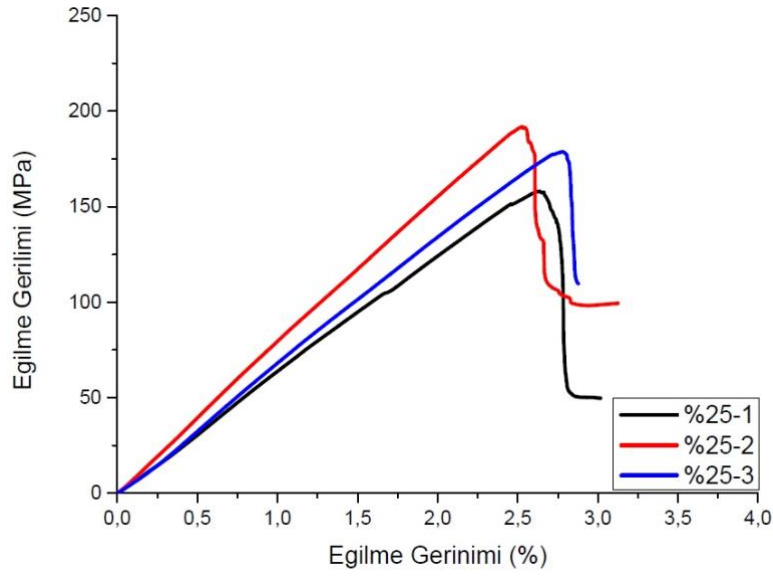
Şekil 5.7. %10 Çinko Borat katkısı eklenmiş numunelerin eğme deneyi grafiği(%10-1 1.numune, %10-2 2.numune, %10-3 3.numune)



Şekil 5.8. %15 Çinko Borat katkısı eklenmiş numunelerin eğme deneyi grafiği(%15-1 1.numune, %15-2 2.numune, %15-3 3.numune)



Şekil 5.9. %20 Çinko Borat katkısı eklenmiş numunelerin eğme deneyi grafiği(%20-1 1.numune, %20-2 2.numune, %20-3 3.numune)



Şekil 5.10. %25 Çinko Borat katkısı eklenmiş numunelerin eğme deneyi grafiği(%25-1 1.numune, %25-2 2.numune, %25-3 3.numune)

Tablo 5.2. Eğme Deneyi Sonuçları

Katkı Oranı	Flexure Stress(MPa)
%0	219,29
%10	250,13
%15	194,49
%20	180,08
%25	176,23

Farklı oranlarda çinko borat katkılı kompozit malzemelerin çekme deneyi sonuçları Şekil 3.1-3.5’de verilmiştir. Katkısız malzemelerde ortalama 106 MPa ile en düşük çekme gerilmesi görülmüştür. %10 çinko borat katkısı yapıldığında çekme gerilmesi, yaklaşık %22’lik bir artışla 130 MPa olmuştur. Çinko borat katkı oranı %15, 20 ve 25’lere çıkarıldığında ise sürekli bir düşüş görülmüştür. Dört farklı katkı oranında en yüksek çekme gerilmesi %10 numunelerinde görülmüştür.

5.3. Darbe Deneyi Bulguları

Darbe deneyi sonuçlarının bulunduğu Tablo 5.3'e göre en yüksek darbe dayanımı %15 çinko borat ilave edilen numunelerde 17,75 Re[kJ/m²] olarak bulunmuştur. Katkı oranı arttığı durumda ise %25 ilave edilen numunede çekme dayanımının 9,43 kJ/m² düştüğü görülmektedir.

Tablo 5.3. Darbe Deneyi Sonuçları

Katkı Oranı	Re[kJ/m ²]
%0	5,51
%10	6,21
%15	17,75
%20	17,15
%25	9,43

5.4. Alevlenebilirlik UL94 Yatay ve Dikey Yanma Bulguları

5.4.1. Yatay yanma testi bulguları

Tablo 5.4. Çinko borat eklenmemiş numunelerin yanma süreleri

Numune	Yanma Süresi(s)
K-1	306.00
K-2	326.00
K-3	315.00
Ort.	315.67



Şekil 5.11. Çinko Borat katkısı eklenmemiş numunelerin yanma sonrası görüntüsü

Tablo 5.5. %10 Çinko borat eklenmiş numunelerin yanma süreleri

Numune	Yanma Süresi(s)
%10-1	335.00
%10-2	342.00
%10-3	339.00
Ort.	338.67

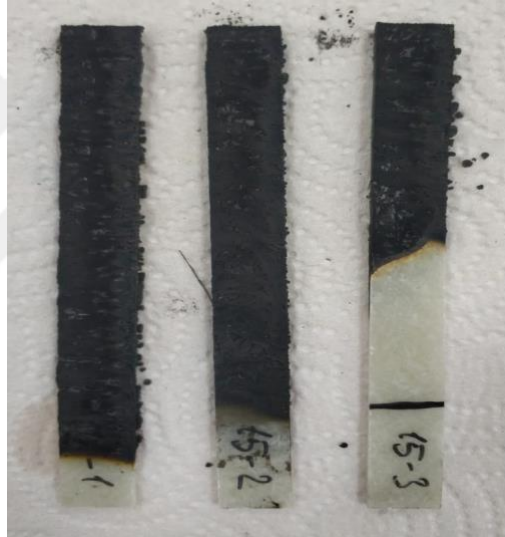


Şekil 5.12. %10 Çinko Borat katkısı eklenmiş numunelerin yanma sonrası görüntüsü

Tablo 5.6. %15 Çinko borat eklenmiş numunelerin yanma süreleri

Numune	Yanma Süresi(s)
%15-1	367.00
%15-2	352.00
%15-3*	266.00
Ort.	359.50

3.numune 100mm sınırına ulaşamadan erken söndüğü için ortalamaya katılmamıştır.



Şekil 5.13. %15 Çinko Borat katkısı eklenmiş numunelerin yanma sonrası görüntüsü

Tablo 5.7. %20 Çinko borat eklenmiş numunelerin yanma süreleri

Numune	Yanma Süresi(s)
%20-1	390.00
%20-2	373.00
%20-3	364.00
Ort.	375.67



Şekil 5.14. %20 Çinko Borat katkısı eklenmiş numunelerin yanma sonrası görüntüsü

Tablo 5.8. %25 Çinko borat eklenmiş numunelerin yanma süreleri

Numune	Yanma Süresi(s)
%25-1	412.00
%25-2	401.00
%25-3	389.00
Ort.	400.67



Şekil 5.15. %25 Çinko Borat katkısı eklenmiş numunelerin yanma sonrası görüntüsü

Yatay yanma sonuçlarına göre 30 sn alev sonrası bütün numuneler 25 mm'lik referans çizgisini geçmiştir. Ancak katkı oranı artıkça 100 mm referans çizgisine hızı düşerek daha yavaş yanarak ulaşmıştır. Bu nedenle çinko borat katkılı numuneler UL94 HB olarak sınıflandırılmıştır.

5.4.2. Dikey yanma testi bulguları

Tablo 5.9. UL94 Dikey yanma sınıflandırma tablosu

Katkı Oranları	Yanma Süresi (s) ≤10 - ≤30	Toplam Yanma Süresi ≤50 - ≤250	Numunenin Tamamının Yanması	Alev Parçacıkları Tarafından Tutuşan Pamuk	V0	V1	V2
%0	X	X	EVET	HAYIR	X	X	X
%10	X	X	EVET	HAYIR	X	X	X
%15	X	X	EVET	HAYIR	X	X	X
%20	X	√	EVET	HAYIR	X	X	X
%25	X	√	EVET	HAYIR	X	X	X

UL94 Dikey yanma testi sonuçları Tablo 5.9'da verilmiştir. Bu sonuçlara göre %0 ,%10, %15 çinko borat eklenmiş numunelerin yanma süreleri 30 sn fazla sürmektedir. Sınıflandırmanın yapılabilmesi için gerekli olan maksimum süre olan 250 saniyeyi geçmektedir. Ve numunelerin tamamı yanmaktadır. Bu nedenle numunelerin hiçbirisi UL94 dikey yanma sınıflarından hiç birine girmemektedir. %20 ve %25 çinko borat eklenmiş numunelerin toplam yanma süresi 250 saniyenin altında değer vermektedir. Ancak yanma süresi 30 saniyeden fazla olduğu için ve numunenin tamamı yandığı için herhangi bir UL94 dikey yanma sınıflandırması için uygun değildir. Ancak hiçbir numune deney düzeneğinin altında bulunan pamuğu parça kaybederek yakmamıştır. Bu nedenle çinko borat eklenmiş numuneler V0 ve V1 sınıfındaki gerekliliği sağlamıştır. Ancak bütün gereklilikler ele alındığında çinko borat katkılı numuneler UL94 dikey yanma testindeki V0,V1 ve V2 standartlarının hiçbirini karşılamamaktadır.



6. SONUÇLAR

Üretilen numunelere %10, %15, %20, %25 oranında çinko borat eklenmiştir. Numunelerin çekme özellikleri tayini için ISO-527-1 standardında çekme testi yapılmıştır.

Referans alınan çinko borat eklenmemiş numuneye göre, katkı oranı %10 olan numude en yüksek değer 130,43 MPa olarak elde edilmiştir. (Tablo 5.1) Katkı oranı artıkça çekme özelliklerinde düşüş meydana gelmiştir.

Eğme deneyi ISO-178 standardına göre yapılmıştır. Referans alınan numuneye göre, eğme özellikleri %10 çinko borat eklenen numunede en yüksek değer 250,13 MPa olarak elde edilmiştir. (Tablo 5.2) Katkı oranı artıkça eğme özelliklerinde düşüş meydana gelmiştir.

Darbe deneyi ISO 179 standartlarına göre yapılmıştır. Referans alınan numuneye göre, darbe dayanımı %15 çinko borat eklenmiş numunede en yüksek değerine 17,75 kJ/m² ulaşmıştır. (Tablo 5.3) Katkı oranı artıkça dayanımı düşmüştür.

Alevlenebilirlik deneyi UL94 standartlarına göre dikey ve yatay olarak yapılmıştır. Yatay yanma sonuçlarına göre 30 sn alev sonrası bütün numuneler 25 mm'lik referans çizgisini geçmiştir. Bu nedenle çinko borat katkılı numuneler UL94 HB olarak sınıflandırılmıştır. Dikey yanma sonuçlarına göre %0, %10, %15 çinko borat eklenmiş numunelerin yanma süreleri 30 sn'den fazla sürmektedir. Sınıflandırmanın yapılabilmesi için gerekli olan maksimum süre olan 250 saniyeyi geçmektedir. Ve numunelerin tamamı yanmaktadır. Bu nedenle numunelerin hiçbirisi UL94 dikey yanma sınıflarından hiç birine girmemektedir. %20 ve %25 çinko borat eklenmiş numunelerin toplam yanma süresi 250 saniyenin altında değer vermektedir. Ancak yanma süresi 30 saniyeden fazla olduğu için ve numunenin tamamı yandığı için herhangi bir UL94 dikey yanma sınıflandırması için uygun değildir. Ancak hiçbir numune deney düzeneğinin altında bulunan pamuğu parça kaybederek yakmamıştır. Bu nedenle çinko borat eklenmiş numuneler V0 ve V1 sınıftaki gerekliliği

sağlamıştır. Ancak bütün gereklilikler ele alındığında çinko borat katkılı numuneler UL94 dikey yanma testindeki V0, V1 ve V2 standartlarının hiçbirini karşılamamaktadır (Tablo 5.9).

Sonuç olarak çinko borat, cam elyaf takviyeli polyester kompozit malzemenin mekanik özelliklerine katkı sağlasada, alevlenebilirlik özelliklerine etksi sınırlı kalmıştır.



KAYNAKLAR

- [1] Sayer, M., Hibrit kompozitlerin darbe davranışlarının incelenmesi, Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Doktora Tezi, 2009.
- [2] Şahin, Y. Kompozit Malzemelere Giriş, Gazi Yayın Evi, Ankara, 1-436, 2005.
- [3] Callister, D.W. Materials Science and Engineering, Nobel Yayın, Ankara, 1-992, 2013.
- [4] Prashanth S., Subbaya KM., Nithin K., Sachhidananda S., Fiber reinforced composites - A review, J Material Sci, 6:341. doi:10.4172/2169-0022.1000341
- [5] ASM Handook Composite (2001), ASM International, USA.
- [6] Huo, S., Song P., Yu, B., Ran, S., Chevali, V., Phosphorus-containing flame retardant epoxy thermosets: Recent advances and future perspectives, Progress in Polymer Science 114, 2021
- [7] Jiang, M., Zhang, Y., Yu, Y., Zhang, Q., Huang, B., Chen, Z., Chen, T., Jiang J., Flame retardancy of unsaturated polyester composites with modified ammonium polyphosphate, montmorillonite and zinc borate, Applied Polymer Sci, 2018.
- [8] Yıldız, B., Seydibeyog, M., Güner, F., Polyurethane–zinc borate composites with high oxidative stability and flame retardancy, Polymer Degradation and Stability 94, 2009, 1072–1075.
- [9] Eti Maden İşletmeleri (2021, 23 Aralık). Etimaden. https://www.etimaden.gov.tr/storage/pages/November2020/TR_etiznbor.pdf.
- [10] Polymers, SE Gad, Gad Consulting Services, Cary, NC, USA, 2014.
- [11] Okay, O., Polimerik malzemelerin bugünü ve yarını, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Kimya Bölümü,
- [12] Polimerler Ve Kullanım Alanları (2022, 18 Ocak). <https://acikders.ankara.edu.tr/mod/resource/view.php?id=10632>
- [13] Lu, SY., Hamerton I., Recent Developments in chemistry of halogen-free flame retardant polymers, Prog. Polym. Sci. 27, 2002, 1661-1712.

- [14] Laoutid, F., Bonnaud, L., Alexandre, M., Lopez-Coesta, J-M., New prospects in flame retardant polymer materials: From Fundamentals to nanocomposites, *Materials Science and Engineering R*, 2009, 100-125.
- [15] Demirel, M., Pamuk, V., Dilsiz, N., Investigation of flame retardancy and physical-mechanical properties of zinc borate/boric acid polyester composites, Department of Chemical Engineering, Gazi University, Maltepe, Ankara, 2009.
- [16] Bosacka, A., Zienkiewicz-Strzalka, M., Actual Challenges, Opportunities and perspectives of composite materials, *Annales Universitatis Mariae Curie-Sklodowska, Lublin, Polonia*, 10.17951/aa 2019.
- [17] Boccaccini, A.R., İçinde: *Ceramics*. Imperial Collage London, UK, 26-36.
- [18] Choi, A.H., Heness, G., Ben-Nissan, B., Using finite element analysis to understand the mechanical properties of ceramic matrix composites, Faculty of Science, University of Technology Sydney, 377-399, 2018.
- [19] Xu, C., Synthesis of hybrid carbon nanotube yarn and sheet and their applications, *Nanotube Superfiber Materials (Second Edition)*, 897-914, 2019.
- [20] Li, C., Strachan, A., Molecular scale simulations on thermoset polymers: A review, Department of Materials Engineering and Birck Nanotechnology Center, Purdue University, Polym. Sci., Part B., Indiana, 103-122, 2014.
- [21] Tsao, C., W., Devoe, D., Bonding of thermoplastic polymer microfluidics, Department Of Mechanical Engineering, *Microfluid Nanofluid* 6:1-16, 2009.
- [22] Freile-Pelegrin, Y., Madera-Santana, T., Characterization techniques for algae-based materials, 2017.
- [23] Hollaway, L., *Handbook of Polymer Composites for Engineers*, Woodhead Publishing Limited, Cambridge England, 1994.
- [24] Halliwell, S.M., *Polymer Composites in Construction*, BRE Centre for Building Fabric, 2000.
- [25] Daniel, I.M., Ishai O., *Engineering Mechanics of Composite Materials*, Second Edition, Oxford University Press, 2006.
- [26] Kaw, A.K., *Mechanics of Composite Materials*, Second Edition, Taylor and Francis Group, 2006.
- [27] Sarıbiyık, M., Use of Analytical Method for Determination of Material Properties of Pultruded GRP box Section, *SAÜ, Fen Bilimleri Dergisi*, Mart 2011.

- [28] Milisavljevic J., Petrovic E., Tensile Testing for Different Types of Polimers, University Of Nis, Faculty of Mechanical Engineering, 2012,
- [29] How to perform Tensile Testing on Polymers (2022, 26 Nisan). Insights. <https://insights.globalspec.com/article/7810/how-to-perform-tensile-testing-on-polymers>
- [30] Saba, N., Jawaid, M., Sultan, M.T.H., An Overview of Mechanical and Physical Testing of Composite Material, Laboratory of Biocomposite Tecnology, 2019.
- [31] The Process of Plastic Impact Testing and Impact Sample Preparation for Plastics (2022, 13 Mayıs). Nextgentest. <https://www.nextgentest.com/blog/the-process-of-plastic-impact-testing-and-impact-sample-preparation-for-plastics>
- [32] Charpy Impact ISO 179 (2022, 28 Nisan). Intertek. <https://www.intertek.com/polymers/testlopedia/charpy-impact-iso179/>
- [33] Shrivastava, A., Introduction to Plastics Engineering, Plastic Desing Library, 2018.
- [34] Mechanical Tests (2022, 26 Haziran), Polymerservice. <https://www.polymerservice-merseburg.de/en/plastics-testing/mechanical-tests/bend-test.html>
- [35] Flexural Properties Testing (2022, 14 Temmuz). Intertek. <https://www.intertek.com/polymers/testing/flexural-properties/>
- [36] Flammability UL94 (2022, 14 Temmuz), Omnexus. <https://omnexus.specialchem.com/polymerproperties/properties/flammability-ul94>



ÖZGEÇMİŞ

Ad-Soyad : Sinan GÖKTAŞ

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2018, Pamukkale Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Bölümü

MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLER:

- 2019-Halen Cosmo Polimer ve Kompozit San.Tic.Ltd.Şti. Üretim Müh.

TEZDEN TÜRETİLEN ESERLER:

- Göktaş S., Aslan S.,Duru E. (2022, 111-116, Eylül). Çinko Borat Katkılı CTP Kompozit Malzemelerin Üretimi, Mekanik Ve Kimyasal Özelliklerinin İncelenmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi - EJOSAT*, Sakarya, Turkey.