

**T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**AHŞAP TAKVİYELİ PLASTİK KOMPOZİT MALZEME ÜRETİMİNDE
FERROMANGAN CÜRUFUNUN ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI**

DİLEK YAĞAN

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
METALÜRJİ VE MALZEME MÜHENDİSLİĞİ
ÜRETİM METALÜRJİSİ ANABİLİM DALI**

**DANIŞMAN
PROF. DR. AHMET EKERİM**

İSTANBUL, 2013

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**AHŞAP TAKVİYELİ PLASTİK KOMPOZİT MALZEME ÜRETİMİNDE
FERROMANGAN CÜRUFUNUN ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI**

Dilek YAĞAN tarafından hazırlanan tez çalışması 12.07.2013 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Metalürji ve Malzeme Mühendisliği Üretim Metalürjisi Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

Prof. Dr. Ahmet EKERİM
Yıldız Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri

Prof. Dr. Ahmet EKERİM
Yıldız Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Adem BAKKALOĞLU
Yıldız Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Turgay AKBULUT
İstanbul Üniversitesi

ÖNSÖZ

Dünyada kullanım yerlerinin sayısı ve popülerliği gittikçe artan ahşap plastik kompozitlerinin farklı fraksiyonlarda üretimi ve üretilen bu materyallerin fiziksel, mekaniksel ve teknolojik özelliklerini kapsayan yüksek lisans tezim ve yüksek lisans eğitimim boyunca desteğini esirgemeyen, her konudaki üstün bilgi ve tecrübesine güvendiğim değerli hocam Prof. Dr. Ahmet Ekerim 'e tüm ilgi ve alakalarından dolayı teşekkür ederim. Ayrıca tez uygulama aşamasında desteğini eksik etmeyen İstanbul Üniversitesi Odun Mekaniği ve Teknolojisi Anabilim Dalı Öğretim Üyelerinden Prof. Dr. Turgay Akbulut'a, Araştırma Görevlilerinden Alperen Kaymakçı ve Zeki Candan 'a ve tez sonuçlarını SPSS programında değerlendiren Karadeniz Teknik Üniversitesi Ağaç İşleri Endüstri Mühendisliği Bölümü Araştırma Görevlilerinden değerli arkadaşım Aydın Demir 'e teşekkürü bir borç bilirim.

Haziran, 2013

Dilek YAĞAN

İÇİNDEKİLER

Sayfa

SİMGE LİSTESİ.....	vii
KISALTMA LİSTESİ.....	viii
ŞEKİL LİSTESİ.....	ix
ÇİZELGE LİSTESİ	xi
ÖZET	xii
ABSTRACT.....	xiii
BÖLÜM 1	
GİRİŞ.....	1
1.1 Literatür Özeti	1
1.2 Tezin Amacı	1
1.3 Orijinal Katkı.....	2
BÖLÜM 2	
KOMPOZİT MALZEME	3
2.1 Kompozit Malzeme Tanımı	3
2.2 Kompozit Malzemelerin Kullanım Alanları	5
2.3 Ahşap-plastik Kompozit Malzeme Tanımı.....	7
2.4 Ahşap-Plastik Kompozit Malzemelerin Kompozisyonu: Termoplastikler .	11
2.4.1 Polietilen(PE)	11
2.4.1.1 Düşük Yoğunluklu Polietilen (LDPE)	13
2.4.1.2 Doğrusal düşük yoğunluklu PE (LLDPE).....	14
2.4.1.3 Orta Yoğunluklu Polietilen (MDPE)	15
2.4.1.4 Yüksek Yoğunluklu Polietilen (HDPE)	16
2.4.2 Polipropilen (PP)	18
2.4.3 Polivinil klorid(PVC)	20
2.4.4 Akrilonitril-bütadien-stiren kopolimer(ABS).....	22
2.4.5 Naylon 6 ve diğer poliamidler	23

2.5	Ahşap-Plastik Kompozit Malzemelerin Kompozisyonu: Selüloz ve Lignoselülozik Dolgular	25
2.5.1	ABD Patentli Ahşap-plastik kompozitlerinde (WPC) Selüloz dolgu maddelerinin tarihçesi.....	26
2.5.2	Dolgu Maddeleri Olarak Lignoselülozik Liflerin Genel Özellikleri.....	27
2.6	Ahşap-Plastik Kompozit Malzemelerin Kompozisyonu: Mineral Dolgu Maddeleri.....	34
2.6.1	Mineral dolgu maddelerinin genel özellikleri.....	35
2.6.1.1	Kimyasal kompozisyonu	35
2.6.1.2	En-Boy oranı	35
2.6.1.3	Yoğunluk (Özgül Ağırlık)	35
2.6.2	Mineral dolgu maddesi çeşitleri ve özellikleri	37
2.6.2.1	Doğal Kalsiyum Silikat (Wollastonite)	37
2.6.2.2	Talk	39
2.6.2.3	Kalsiyum Silikat.....	40
2.6.2.4	Kalsine Kaolin	41
2.6.2.5	Perlit	42
2.6.2.6	Boraks.....	43
2.6.2.7	Halosit.....	43
BÖLÜM 3		
MATERYAL VE YÖNTEM		44
3.1	Materyal.....	44
3.2	Yöntem.....	49
3.2.1	Birim Hacim Ağırlığı	49
3.2.2	2-24 Saat, 1-2 hafta ve 30 gün Su İçerisinde Bekletme Sonucu Kalınlığına Şişme.....	51
3.2.3	2-24 Saat, 1-2 hafta ve 30 gün Su İçerisinde Bekletme Sonucu Su Alma.....	53
3.2.4	Statik Eğilme Direnci.....	53
3.2.5	Eğilmede Elastikiyet Modülü	55
3.2.6	Çekme Direnci ve Kopmada Uzama Deneyi	57
3.2.7	Termogravimetrik Analiz (TGA)	59
BÖLÜM 4		
BULGULAR.....		60
4.1	Birim Hacim Ağırlığı.....	60
4.2	2-24 Saat, 1-2 hafta ve 30 gün Su İçerisinde Bekletme Sonucu Kalınlığına Şişme.....	62
4.3	2-24 Saat, 1-2 hafta ve 30 gün Su İçerisinde Bekletme Sonucu Su Alma .	66
4.4	Statik Eğilme Direnci	71
4.5	Eğilmede Elastikiyet Modülü	73
4.6	Çekme Direnci ve Kopmada Uzama Deneyi.....	75
4.7	Termogravimetrik Analiz (TGA)	78
BÖLÜM 5		

SONUÇ VE ÖNERİLER	85
KAYNAKLAR	87
ÖZGEÇMİŞ	89

SİMGE LİSTESİ

P	Gazlar için permeabilite
D	Difüzyon katsayısı
S	Çözünürlük katsayısı
G	Kalınlığına şişme oranı
t_1	Deney numunesinin suya daldırmadan önceki kalınlığı
t_2	Deney numunesinin sudan çıkarıldıktan sonraki kalınlığı
D	Yoğunluk
m	Ağırlık
V	Hacim
G	Su alma oranı
w_1	Deney numunesinin suya daldırmadan önceki ağırlığı
w_2	Deney numunesinin sudan çıkarıldıktan sonraki ağırlığı
f_m	Eğilme direnci
F_{max}	Kırılma anındaki maksimum kuvvet
L_s	Dayanak noktaları arasındaki uzaklık
b	Numune genişliği
a	Numune kalınlığı
E_M	Eğilmede elastikiyet modülü
F_2-F_1	Yük-eğim diyagramı oranlılık bölgesindeki yük artışı
a_2-a_1	F_2-F_1 kuvvet artışları nedeniyle deney parçası uzunluğunun ortasında meydana gelen eğim
$\epsilon_{//}$	Çekme direnci
F	Numunenin orta kısmının enine kesit alanı
KU	Kopmada uzama miktarı
L_0	Numunenin ilk ölçü uzunluğu
L_K	Numunenin kırılma anındaki uzunluğu

KISALTMA LİSTESİ

ABS	Akrilonitril bütadien stiren kopolimer
AERT	Advanced Environmental Recycling Technologies
ASTM	American National Standards Institute
HDPE	Yüksek yoğunluklu polietilen
LDPE	Düşük yoğunluklu polietilen
MAPE	Maleic anhydride-grafted polietilen
MDPE	Orta yoğunluklu polietilen
PE	Polietilen
PP	Polipropilen
PVC	Polivinil klorür
SPSS	Statistical Package for the Social Sciences
TG	Termogravimetri
TGA	Termogravimetrik Analiz
WPC	Wood and Plastics Composite

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2. 1	Ahşap-plastik kompozit malzemenin dış cephe ve banyoda kullanım örnekleri	9
Şekil 2. 2	Ahşap-plastik kompozit malzemenin çeşitli kullanım alanları	10
Şekil 2. 3	2008'den 2016 yılına kadar 4.6 milyon metrik ton (1000 kg) ahşap-plastik kompozitler için Pazar araştırması	10
Şekil 2. 4	PE' nin polimerizasyonu, polietilen sentezi	12
Şekil 2. 5	LDPE'nin dallanması	14
Şekil 2. 6	LDPE'nin kimyasal yapısı	14
Şekil 2. 7	LLDPE'nin dallanması	15
Şekil 2. 8	Nova Chemicals'da geliştirilmiş işlenebilirlik, beyazlık, sertlik ve malzeme tokluğuna sahip deneysel MDPE.....	15
Şekil 2. 9	HDPE'nin dallanması	16
Şekil 2. 10	Polipropilenin mikro dallanmış kimyasal yapısı	19
Şekil 2. 11	Polipropilen formları	19
Şekil 2. 12	PVC'nin kimyasal yapısı	20
Şekil 2. 13	PVC molekülü parçası	21
Şekil 2. 14	ABS polimeri içindeki monomerler	22
Şekil 2. 15	Naylon6 ve naylon6,6'nın kimyasal zincir yapısı	23
Şekil 2. 16	Naylon 6,6'nın kimyasal sentezi.....	23
Şekil 2. 17	Naylonun genel kimyasal yapısı	24
Şekil 2. 18	Naylon 6'daki tekrar bloğu.....	24
Şekil 2. 19	Yapraklı, iğne yapraklı ağaçların kimyasal kompozisyonu	27
Şekil 2. 20	Odunun kimyasal bileşenleri	28
Şekil 2. 21	Bir polisakkarit olan ve bitki hücre duvarında bulunan selülozun kimyasal yapısı	29
Şekil 2. 22	Selüloz zinciri içindeki iki glukoz molekülünün yapısı	29
Şekil 2. 23	Üstteki benzer İki glukoz molekülünün üç boyutlu yapısı	29
Şekil 2. 24	Lignin yapısının gösterimi	30
Şekil 2. 25	Bacalı olmayan ekstrüderin bir görüntüsü.....	33
Şekil 2. 26	Bacalı bir ekstrüderin vida kabarcık görüntüsü	33
Şekil 2. 27	Wollastonitin moleküler yapısı	37
Şekil 2. 28	Talkın moleküler kristal yapısı.....	39
Şekil 2. 29	Ca ₂ SiO ₄ 'in yapısı	40
Şekil 2. 30	Perlitin kimyasal kompozisyonu	42

Şekil 2. 31	Boron silikatın yapısı	43
Şekil 3. 1	Ferromangan üretim prosesi.....	45
Şekil 3. 2	Ferromangan üretimi sonunda açığa çıkan cüruf.	47
Şekil 3. 3	Ekstrüder makinesi.....	47
Şekil 3. 4	Burguların kırılmasıyla elde edilen peletler	48
Şekil 3. 5	Denemelerde kullanılan enjeksiyon makinesi.	48
Şekil 3. 6	Denemelerde üretilen ahşap plastik kompozit örnekler	49
Şekil 3. 7	Denemelerde kullanılan hassas tartı ve mikrometre.....	50
Şekil 3. 8	Yoğunluk testi için kullanılan numuneler	50
Şekil 3. 9	Denemelerde kullanılan su tankı	52
Şekil 3. 10	Kalınlığına şişme ve su alma testi için kullanılan kontrol numuneleri	52
Şekil 3. 11	Eğilme direnci testi için kullanılan numuneler.....	54
Şekil 3. 12	Eğilmede elastikiyet modülü testleri için kullanılan kontrol numuneleri	56
Şekil 3. 13	Çekme direnci testi için kullanılan numuneler	57
Şekil 3. 14	Denemelerde kullanılan çekme direnci cihazı	57
Şekil 3. 15	Çekilen kontrol örneği	58
Şekil 3. 16	Denemelerde kullanılan TGA cihazı	59
Şekil 4. 1	Gruplara göre yoğunluk ortalamaları dağılımı	61
Şekil 4. 2	Grupların zamana göre kalınlığına şişme oranlarının dağılımı.....	64
Şekil 4. 3	Grupların zamana göre su alma oranlarının dağılımı.....	68
Şekil 4. 4	Gruplara göre eğilme direnci dağılımı.....	71
Şekil 4. 5	Gruplara göre eğilmede elastikiyet modülü dağılımı.....	73
Şekil 4. 6	Gruplara göre çekme direnci dağılımı.....	75
Şekil 4. 7	Gruplara göre kopmada uzama oranlarının dağılımı	77
Şekil 4. 8	Kontrol grupları için termogravimetrik analiz grafiği.....	79
Şekil 4. 9	Saf ahşap plastik kompozit malzeme numuneleri için termogravimetrik analiz grafiği	80
Şekil 4. 10	%10 cüruf takviyeli ahşap plastik kompozit malzeme numuneleri için termogravimetrik analiz grafiği.....	81
Şekil 4. 11	%20 cüruf takviyeli ahşap plastik kompozit malzeme numuneleri için termogravimetrik analiz grafiği.....	82
Şekil 4. 12	Grupların sıcaklığa göre termogravimetre yüzdelerinin değişimi	84

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2. 1	Ahşap plastik kompozit malzemenin diğer malzemelerle karşılaştırılması.....	8
Çizelge 2. 2	Kalıplanmış veya preslenmiş Polietilen.....	13
Çizelge 2. 3	Termoplastiklerin bazı önemli özellikleri.....	25
Çizelge 2. 4	Yapraklı, iğne yapraklı ağaçların kimyasal kompozisyonu.....	31
Çizelge 2. 5	Doldurulmuş plastik yoğunluğu üzerine dolgu maddelerinin özgül ağırlığa etkisi.....	35
Çizelge 3. 1	Katkı maddeli Ahşap plastik kompozit malzeme üretim dizaynı.....	46
Çizelge 4. 1	Ahşap plastik kompozit malzemelere ait yoğunluk değerleri.....	60
Çizelge 4. 2	Yoğunluk ortalamalarının Duncan test sonuçları.....	61
Çizelge 4. 3	Denemelerde kullanılan numunelerin kalınlığına şişme oranları.....	63
Çizelge 4. 4	Kalınlığına şişme oranlarının Duncan test sonuçları.....	65
Çizelge 4. 5	Denemelerde kullanılan numunelerin kalınlığına şişme oranları.....	67
Çizelge 4. 6	Su alma oranlarının Duncan test sonuçları.....	69
Çizelge 4. 7	Ahşap plastik kompozit malzemelere ait eğilme direnci değerleri	71
Çizelge 4. 8	Eğilme direnci için Duncan test sonuçları	72
Çizelge 4. 9	Ahşap plastik kompozit malzemelere ait eğilmede elastikiyet modülü değerleri.....	73
Çizelge 4. 10	Eğilmede elastikiyet modülü için Duncan test sonuçları.....	74
Çizelge 4. 11	Ahşap plastik kompozit malzemelere ait çekme direnci değerleri.....	75
Çizelge 4. 12	Çekme direnci için Duncan test sonuçları.....	76
Çizelge 4. 13	Ahşap plastik kompozit malzemelere ait kopmada uzama oranları.....	77
Çizelge 4. 14	Kopmada Uzama Oranına için Duncan test sonuçları.....	78
Çizelge 4. 15	Grupların rastgele belirlenmiş sıcaklık değerlerine göre yüzde olarak TG ortalamaları.....	83

**AHŞAP TAKVİYELİ PLASTİK KOMPOZİT MALZEME ÜRETİMİNDE
FERROMANGAN CÜRUFUNUN ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI**

Dilek YAĞAN

Metalürji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Ahmet EKERİM

Son yıllarda yeni, yenilikçi, yapı malzemelerinin geliştirilmesi; özellikle inşaat alanında yeni nesil, akıllı, rekabetçi ve çevre dostu malzemelerin piyasaya sunulması büyük ilgi görmektedir. Ahşap plastik kompozit malzeme de piyasada popülerliği artmaktadır. Hem malzemeye kazandırdığı olumlu özellikler hem de maliyeti nedeniyle son yıllarda çok daha fazla tercih edilmektedir.

Bu çalışmada, ahşap plastik kompozit malzemenin, saf plastik malzemeye göre farklı karakterizasyonu ve ilave edilen eşit oranlarda CaO, SiO₂, MnO 'dan oluşan cürufun malzemeye etkisi araştırılmıştır. Pilot tesiste üretilen malzemelerden alınan numuneler, laboratuarda bir dizi teste tabi tutulmuştur. Testler sonucunda, Ahşap plastik kompozit malzemenin, saf plastik malzemeye göre yoğunluk, su alma ve kalınlığına şişme, eğilme direnci ve elastikiyet modülü, çekme direnci ve termogravimetrik analiz bakımından üstün olduğu görülmüştür. İlave edilen cürufun ise ahşap plastik kompozit malzemeye sadece termogravimetrik analizde olumlu bir katkı sağladığı görülmüştür. Diğer testlerde, saf ahşap plastik kompozitten istatistiksel olarak farklı olmayan ortalamalar elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Ahşap plastik kompozit, ferromangan cürufu, termogravimetrik analiz

ABSTRACT

INVESTIGATION OF THE EFFECT OF SLAG OF FERROMANGANESE IN WOOD PLASTIC COMPOSITE MATERIAL PRODUCTION

Dilek YAĞAN

Department of Metallurgical and Materials Engineering

MSc. Thesis

Adviser: Prof. Dr. Ahmet EKERİM

The development of new, innovative, building materials presents great interest especially construction sector in the last decades where a variety of new generation, smart, competitive and eco friendly materials have been established in the market. The Popularity of wood plastic composite material is increasing in the market at the present day. Because of both positive features of the material imparted and its cost, it is even more preferred in recent years.

In this study, different characterization of wood plastic composite material according to the pure plastic material and the effect of slag of ferromanganese which added in equal proportions of CaO, SiO₂, MnO was investigated. The specimens were taken from material which was produced at the pilot plant were conducted in series of laboratory tests. As a result of tests; wood plastic composite material was superior in terms of density, water absorption and thickness swelling, flexural strength and modulus of elasticity, tensile strength, and thermogravimetric analysis in comparison with the pure plastic material. Slag of ferromanganese which was added in it has provided positive contribution to wood plastic composite material in thermogravimetric analysis. In other tests, the averages which are not statistically different from pure wood plastic composite were obtained.

Keywords: Wood plastic composite, slag of ferromanganese, thermogravimetric analysis

1.1 Literatür Özeti

Tüm dünyada ve ülkemizde hızlı nüfus artışına paralel olarak orman kaynaklarına olan ihtiyaç hızla artmaktadır. Buna bağlı olarak da kaynakların cevap verememesi yeni alternatiflerin bulunmasını zorunlu hale getirmiştir. Ülkemizde atık halde bulunan biokütlenin değerlendirilmesi ile bu ihtiyaca cevap verilebileceği gibi aynı zamanda ormanlar üzerinde bulunan baskıda azaltılacaktır. Ayrıca yeni ürünlerin geliştirilmesi ile bu materyaller için yeni pazarlar açılmış olacaktır. Saf plastik malzemeden elde edilen ürünlere göre atık malzemeden elde edilen plastik kompozitler geri dönüşüm açısından daha avantajlıdır. Kullanım ömrü dolan malzemenin yeniden geri dönüştürülmesi kolay olduğu gibi yeni atık oluşumunu önlemektedir. [1]

Bunun yanında petrokimyasal bir ürün olan plastiğin kısıtlı ve pahalı olması yeni yapı malzemelerinin geliştirilmesine neden olmaktadır. Özellikle de inşaat alanında yeni nesil, akıllı, rekabetçi ve çevre dostu malzemelerin piyasaya sunulması büyük ilgi görmektedir. Bu malzemelerden ahşap plastik kompozitler, mobilya ve otomotiv sektörlerinde de kullanılabilmektedir.

1.2 Tezin Amacı

Bu tez, ahşap takviyeli plastik kompozit malzeme üretimi, karakterizasyonu ve son malzeme davranışı için bazı önemli özelliklerin optimizasyonu ile ilgilidir. Burada iki çeşit malzemenin üretimi ve karakterizasyonu söz konusudur; bunlardan birincisi

polietilen matrisli ahşap unu takviyeli kompozit malzemenin üretimi ve ikincisi ise cüruf takviyeli polietilen matrisli kompozit malzemenin üretimi ve karakterizasyonunun incelenmesidir. İncelenecek özellikler, yoğunluk, kalınlığına şişme, su alma, eğilmede elastikiyet modülü, eğilme direnci, çekme direnci, kopmada uzama, termogravimetrik analizdir. Bu tezin amacı, yukarıda belirtilen özelliklerinin optimizasyonu ve nihai ürünün performansını artırabilecek uygun katkı maddelerinin araştırılmasıdır.

1.3 Orijinal Katkı

Denemelerde, ahşap takviyeli plastik kompozit malzemeye takviye edilen cüruf ile malzemenin, fiziksel, mekaniksel ve teknolojik özelliklerinde iyileşme meydana gelip gelmediğine bakılmıştır. Denemelerde yapılan testler sonucunda termogravimetrik analizde olumlu bir katkı sağlanmış diğer testlerde ise saf ahşap takviyeli plastik kompozitin değerlerine eşdeğer sonuçlar elde edilmiştir.

KOMPOZİT MALZEME

2.1 Kompozit Malzeme Tanımı

Kompozit malzeme, iki ya da daha fazla malzemenin, kullanım amacına uygun, üstün özelliklere sahip daha yararlı bir malzeme oluşturmak için, belirli proseslerden geçirilerek birleştirilmesi sonucu üretilen malzeme olarak adlandırılabilir. Kompozit malzemelerin üç ana elemanı bulunmaktadır. Bunlar:

1. Matriks: Termoset veya termoplastik polimer malzeme olarak sürekli fazı oluşturur. Termosetler grubunda ağırlıklı olarak poliyesterler kullanılır. Bunun yanı sıra vinil ester bisfenol, epoksi reçine ve fenolik reçinelerin kullanımı da giderek yaygınlaşmaktadır. Termoplastik grubunda yaygın olarak poliamid ve polipropilen kullanımını görmekteyiz (yaklaşık % 68.3), bunların yanı sıra hibrid formda polietilen ve polibutilen tereftalat, polietereterketon ve polietersulfon kullanımı da dikkat çekmektedir.

2. Takviye: Aramid, karbon, grafit, boron, silisyum karbür (SiC), alümina, cam ve polietilen malzemelerin kısa veya uzun devamlı elyaf formunda kullanıldığı ve matriksi yaklaşık % 60 hacim oranında pekiştirici işlevi olan malzemelerdir.

3. Katkılar: Dolgular, kimyasallar ve diğer katkıları matrikse niteliklerine göre özelliklerin geliştirilmesi amacıyla ilave edilirler.

Kompozit malzemelerde matriks ve takviye maddesi(lif malzeme) olarak iki tip temel bileşen artı dolgu maddeleri bulunmaktadır. Takviye malzemenin(lif malzeme) görevi,

kompozit malzemenin yük taşıma ve mukavemet özelliğini sağlamak; matriks malzemenin görevi ise plastik deformasyona geçişte oluşabilecek çatlakları önlemek ve buna ek olarak, yükü lifler arasına homojen bir biçimde dağıtarak fiber malzemeleri bu yük altında tutabilmektir. Dolgu maddelerinin görevi ise yukarıda da belirtildiği gibi malzemenin niteliklerine göre özelliklerinin geliştirilmesini temin etmektir.

Kompozit malzemelerin diğer malzemelere göre daha çok tercih edilme nedenleri;

- Mukavemetinin yüksek olması,
- Rijitlik açısından son derece iyi olması,
- Hafif olması,
- Beton ve ahşap malzemeye kolay yapışabilmesi,
- Korozyon ve kimyasal etkilere karşı yüksek direnç göstermesi,
- Aşınma direncinin düşük olması,
- Yorulma dayanımının yüksek olması,
- Akustik ve termal olarak çok iyi bir izolasyon malzemesi olması,
- Estetik olması,
- Kolay şekillenebilmesidir.

Bunun yanında kompozit malzemelerin bazı dezavantajları da mevcuttur. Bunlar;

- Diğer malzemelere göre pahalıdır,
- Bazı malzemelerin raf ömrü sınırlı olabilmektedir,
- Kompozit malzemeler kırılgan özelliğe sahip olabilmekte, bu da zarar görmelerine sebebiyet verebilmektedir,
- Zarar gördüklerinde onarılmaları güçtür,
- Kompozit malzemelerin standartlaşmış bir kaliteleri yoktur ve malzemenin kalitesi üretim yöntemlerinin kalitesine bağlı bulunmaktadır.

2.2 Kompozit Malzemelerin Kullanım Alanları

Havacılık sanayi; Özellikle ileri kompozit malzemeler havacılık sanayinde çok geniş uygulama alanları bulmaktadır. Kompozit malzemelerinin hafifliklerine oranla üstün mekanik özellikleri uçaklarda ve helikopterlerde sadece iç mekan değil yapısal parçalarını da polimer esaslı kompozitlerle üretilmesine neden olmaktadır.

Denizcilik sanayi;

- Yelkenli gövdesi
- Yat, tekne arkası platform
- Basamaklar
- Yelken direği

Otomotiv sanayi;

- Cam sileceği
- Filtre kutusu
- Pedallar
- Dikiz aynası
- Far gövdesi
- Hava giriş manifoldu
- Otomobil gösterge paneli
- Otomobil spoiler
- Otomobil yan gövde iskeleti
- Otomobil kaporta

Ulaşım sanayi;

- Traktör kaporta
- Kabin
- Oturma birimi
- Toplu taşıma araçları oturma birimi
- Konteynır tabanı

- Otobüs havalandırma kanalları
- Port bagaj parçaları
- Gösterge paneli
- Açık alan servis(golf arabası) araçları kaporta,tavan
- Teleferik
- Tren

Korozyona dayanıklı ürünler;

- Su tankı
- Mazgal olukları
- Yer altı boruları
- Marketlerde dondurulmuş gıda reyonu kaplaması
- Rasathane kubbesi
- Açık saha dolapları
- Çit
- İlan panoları

Spor araçları;

- Su kaynağı
- Kar kayağı
- Su kaydırakları
- Sörf tahtaları
- Bisiklet
- Reebok spor ayakkabı
- Golf sopası
- Tenis raketi
- Zıpkın gövdesi
- Palet

Saęlık;

- Tekerlekli sandalye
- Tıbbi tetkik cihazları dış muhafazaları

Formula 1 arabaları

- Motor kaplaması
- Burun kapaęı
- Ön ve kanatlar, spoiler
- Ara gövde
- Elektrik dağıtım panoları

Müzik aletleri; gitar, keman, akustik gitar, çello**Yapı sektörü;**

- Köprü tabanı
- Trabzan
- Yürüme yolları
- Taşıyıcı konstrüksiyon
- Bina balkon korkuluęu
- Kapı
- Bina kaplama panelleri
- Küvet
- Lavabo
- Sokak lambası [2]

2.3 Ahşap-plastik Kompozit Malzeme Tanımı

Termoplastiklerin odundan elde edilen lifler ya da kenevir, jüt gibi doğal bitkisel lifler, odun tozları, odun talaşı veya tarımsal bitki atıkları ile karıştırılarak belirli bir basınç ve sıcaklık altında preslenme gibi endüstriyel prosesler sonucu elde edilen malzemeye 'ahşap-plastik kompozit malzeme (Wood-Plastic Composites Materials)' denir.

Termoplastik kompozitlerde ahşap bileşenin kullanımının avantajları aşağıdaki gibidir:

- Maliyeti düşüktür
- Aşındırıcı değildir.
- Yaygın bir şekilde bulunmaktadır
- Sürdürülebilir
- Yüksek dolgu yapıcı özelliğe sahip seviyeler mümkündür
- Yüksek spesifik özellikler
- Hammaddenin ağırlığına oranla yoğunluğu düşüktür
- Esnek
- Geri dönüşebilir. [3]

Çizelge 2. 1 Ahşap plastik kompozit malzemenin diğer malzemelerle karşılaştırılması [4]

ÖZELLİKLER	AHŞAP PLASTİK KOMPOZİT	AHŞAP	PLASTİK
Güneş ışığı ve yaşlanmaya karşı dayanıklılık	***	*	**
Doğal ahşap görünümü	**	****	*
Neme dayanıklılık	**	*	***
Su emmeye karşı dayanıklılık	**	*	****
Böceklenmeye dayanıklılık	****	*	****
Kolay İşlenebilirlik	****	****	*
Bakım Kolaylığı	**	*	**
Çivilenme Kabiliyeti	**	***	*
Düşük Genleşme Oranı	**	***	*
* kötü **orta ***iyi ****çok iyi			

Ahşap-plastik kompozit malzemenin kullanım alanları:

1. Çatı ve dış cephe kaplaması,
2. Çit veya parmaklık malzemeleri,
3. Pencere ve kapı kasası,
4. Kaplama, sandal, balkon, veya merdiven alt yüzü, araba kontrol paneli,
5. Oyun alanı ekipmanları,
6. Mutfak tezgahı, masa ve sandalye, [5]



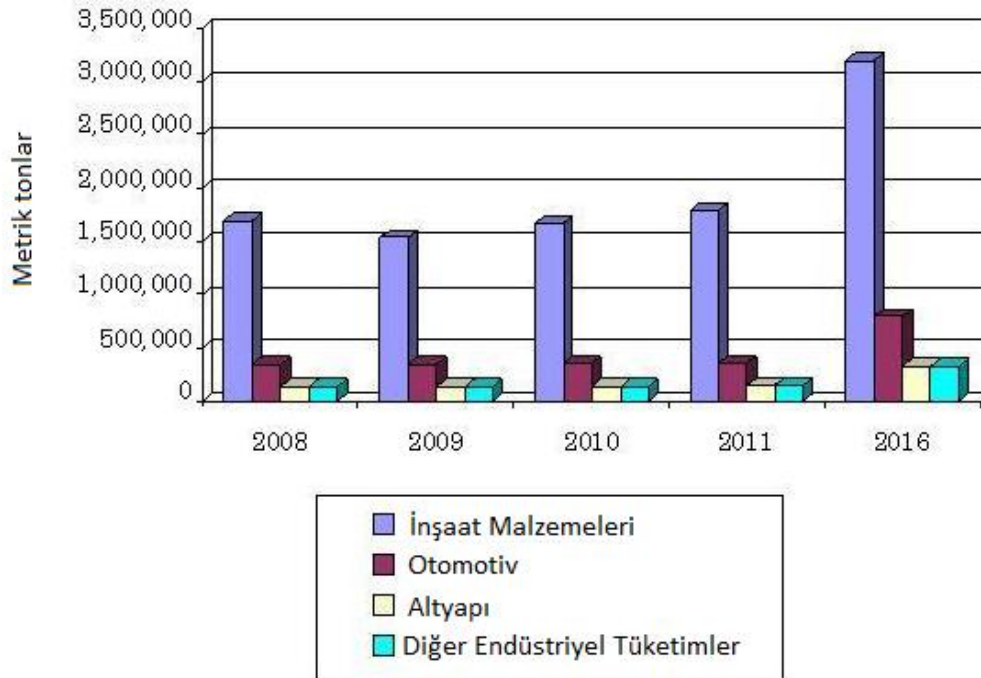
Şekil 2. 1 Ahşap-plastik kompozit malzemenin dış cephe ve banyoda kullanım örnekleri [6]

7. Yer döşemesi, raf ve kablo kanalı
8. Kepenk, korkuluk, prefabrik evler, kilitli geçitler ve marinalar,
9. Çatı kiremitleri, izolasyon panelleri ve beton kalıbı sıkıştırıcısı,
10. Otomotiv endüstrisi,
11. İzolasyon malzemesi,
12. İnşaat malzemeleri ve profiller. [5]



Şekil 2.2 Ahşap-plastik kompozit malzemenin çeşitli kullanım alanları [6]

Son yıllarda kullanımı sektörler bazında artmakta olan ahşap-plastik kompozitin, ileriki yıllar için yapılan tahminlerde talebinin arttığı gözlemlenmiştir. Bu artışında en fazla otomotiv sektöründe olması beklenmektedir. (Şekil 2. 3)



Şekil 2. 3 2008'den 2016 yılına kadar 4.6 Milyon metrik ton (1000 kg) ahşap-plastik kompozitler için küresel pazar araştırması [2]

2.4 Ahşap-Plastik Kompozit Malzemelerin Kompozisyonu: Termoplastikler

2.4.1 Polietilen(PE)

Polietilen(PE), dünyada en yaygın kullanılan plastiktir. Nispeten düşük bir ergime noktasına sahiptir(106-130 °C, PE 'nin dallanma/yoğunluk özelliğine bağlı olarak). PE yarı kristal bir polimerdir. Yani ortam sıcaklıklarında kristal ve amorf fazda bulunur. Çevre sıcaklıklarında kauçuğumsu bir tür olan polietilenin amorf kısmı, belirli bir geçiş sıcaklığında cam benzeri bir hal alır ve camsı geçiş noktası meydana gelir. Camsı geçiş noktası çok düşükten düşüğe doğru değişiklik göstermektedir(-130 °C/-20 °C). Böylece ortak sıcaklıklarda plastik sünek hale gelmektedir. Düşük camsı geçiş noktası(γ -transition) her zaman -130/-100 °C arasında mevcuttur, yüksek olanı ise (β -transition, -120 °C'ta) PE materyallerinin tümünde görülmemektedir. Polietilenler içinde diğer bir geçiş formu olan α -geçiş formu(α -transition) genellikle 10 ve 70 °C arasında bulunur ve bu durum PE'nin kristalitesi ile ilişkilidir. Ahşap-plastik kompozitleri için son iki geçiş fazı(α - and β -) daha az önem arz etmektedir. PE oldukça yumuşaktır. PE bazlı kompozit levhalar daha kolay çivi tutma, vida tutma, kesme ve biçme dayanımına sahiptir. Polietilen, polipropilen gibi, sıfıra yakın nem absorpsiyonu (tipik olarak 24 saat sualtı batırıldıktan sonra % 0.02) ve sülfürik, hidroklorik, nitrik gibi güçlü asitler içeren kimyasal maddelere karşı çok yüksek direnç gösterir. Sadece bazı uçucu asitler PE boyası üretebilirler, açığa çıkarabilirler. Ancak bu asitler evlerde yaygın değildir.

Polietilen, diğer poliolefinlere göre oksidasyona karşı nispeten yüksek direnç gösterir. Dolayısıyla işlenmesi ve dış ortamlarda kullanımı için az miktarda antioksidan gerektirir. Ayrıca, polietilen oldukça esnek ve çok sert bir malzeme değildir.

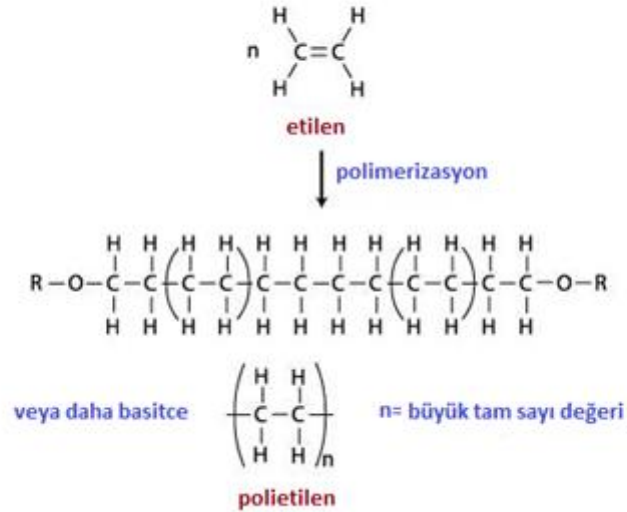
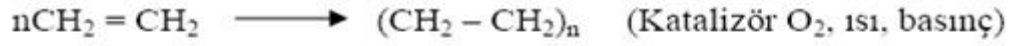
Polietilen ana formları aşağıdaki gibidir:

- Yüksek yoğunluklu PE (HDPE)
- Yüksek moleküler ağırlıktaki HDPE (HMW-HDPE)
- Ultra yüksek moleküler ağırlıklı HDPE (UHMW-HDPE)

- Düşük yoğunluklu PE (LDPE)
- Doğrusal düşük yoğunluklu PE (LLDPE)
- Çok düşük yoğunluklu PE (VLDPE).

Doğal olarak, ara formların olası tüm kombinasyonları bulunmaktadır. HMW-HDPE 200,000-500,000 Aralığında iken, UHMW-HDPE 'nin ağırlıkça ortalama molekül ağırlığı tipik olarak üç milyondan daha fazladır.

Polietilen bir katılma polimeridir. Etilen, polimerleşmeyi başlatıcı bir katalizör ile polimerleşir ve polietilen oluşur.



Şekil 2. 4 PE' nin polimerizasyonu, polietilen sentezi

Polietilen zincirindeki karbonlar trans halinde dizilmişlerdir. PE, bir çözücünde çözüldükten sonra soğutulur ve kristallendirilirse, tek – kristal hal elde edilir. Polimer zincirindeki dallanmalar kristalliğin derecesini belirlemekle birlikte, dallanma ve kristalite arasında ters bir orantı söz konusudur. Yani dallanma arttıkça molekül yapılarında kristalite genellikle azalmaktadır. Molekül yapıdaki kristallik derecesi arttıkça sertlik artmakta, bununla birlikte mekanik ve kimyasal özellikler iyileşmektedir. [7]

PE malzemelerin Temel Özellikleri

- Hafiflik ve kullanım kolaylığı
- Esneklik
- İyi kaynak özellikleri
- Dayanıklılık
- Sağlamlık
- Basınç altında ek yerlerinden çıkma ve kopma olmaması
- Çatlamaya karşı direnç
- Sıfır korozyon
- Kimyasal etkilere karşı direnç
- Düşük sürtünme etkisi [8]

Çizelge 2. 2 de verilen yoğunluk değerlerine göre polietilen sınıflara ayrılmıştır ve bu sınıflara giren kalıplanmış ve preslenmiş polietilenin 10 dakikadaki erime indisi verilmiştir.

Çizelge 2. 2 Kalıplanmış veya preslenmiş Polietilen [7]

Polietilen	Yoğunluk (g/cm ³)	Erime akış indisi(g/10 dk)
Yüksek yoğunluk	0.941-0.965	0.2-30
Orta yoğunluk	0.926-0.940	1-20
Düşük yoğunluk	0.915-0.925	0.3-26
Doğrusal düşük yoğunluk	0.915-0.925	0.1-100
Çok düşük yoğunluk	0.870-0.914	0.02-10

2.4.1.1 Düşük Yoğunluklu Polietilen (LDPE)

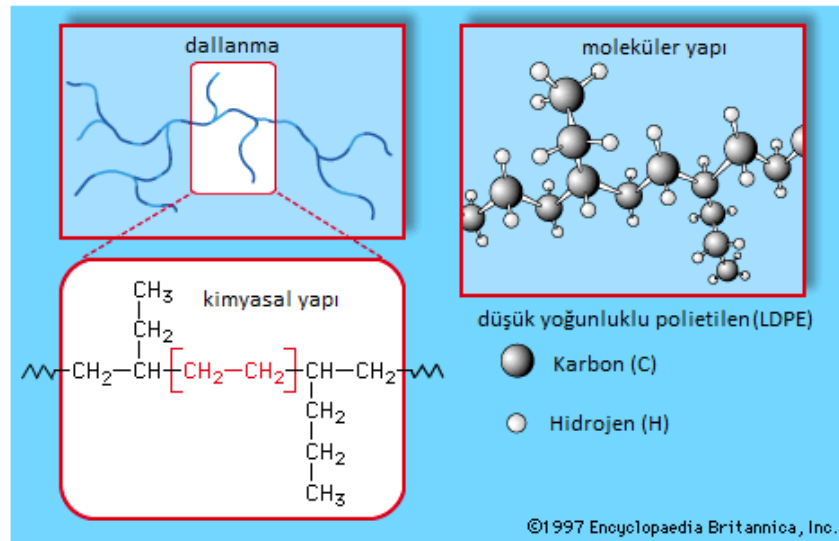
PE zinciri içindeki dallanma arttıkça, PE yoğunluğu azalır. PE 'nin doymamışlık miktarı azalan yoğunluk ile birlikte artış gösterir. Örneğin LDPE içinde metil dallanmalarının ortalama sayısı 1000 karbon başına, 0.922 g/cm³' de 21; 0.916 g/cm³'de 43'e yükselir. Vinilinden doymamış/dallanan ortalama LDPE segment sayısı 1000-Da(moleküler ağırlık)' da; 0.922 g/cm³ için 16; 0.912 g/cm³ için ise 35'tir. Bu nedenle PE 'nin

oksidasyona duyarlılığı, yoğunluğu azaldıkça artar. LDPE, HDPE 'ye göre oksidasyona karşı daha zayıftır. Bunun aksine LDPE, amorf bölgelerde kristalli olanlardan daha hızlı oksitlenen HDPE 'ye kıyasla çok daha iyi oksitlenmektedir.



Şekil 2. 5 LDPE'nin dallanması

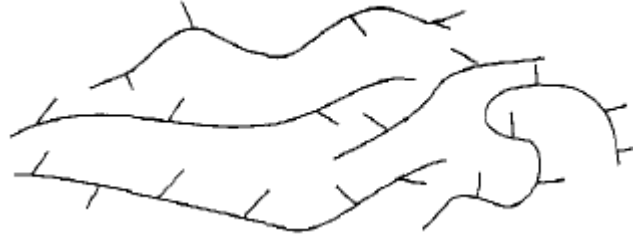
LDPE tipik olarak ana molekül zincirden dallanan uzun yan zincirine sahiptir ve bu nedenle, daha amorf bir polimerdir. Bunun sonucu olarak, daha kristalin bir yapıda olan HDPE ile kıyaslandığında daha düşük büzülme eğilimi gösterir.



Şekil 2. 6 LDPE'nin kimyasal yapısı

2.4.1.2 Doğrusal düşük yoğunluklu PE (LLDPE)

LDPE'ye benzer bir yoğunluğa, fakat bununla beraber HDPE nin doğrusallığına sahiptir. LLDPE'nin dallanmaları nispeten kısadır.



Şekil 2. 7 LLDPE'nin dallanması

Ahşap-plastik kompozit üreticilerinin hiçbiri, LLDPE bazlı kompozit dek levha (deck board) ya da aynı şekilde VLDPE (çok düşük yoğunluklu PE) ve ULDPE (ultra düşük yoğunluklu bir PE) kompozit dek levha yaptıklarını belirtmemişlerdir. Son iki polietilen, kompozit dek levha veya korkuluk sistemleri için uygun hale gelebilen son derece yüksek esneklik kabiliyetine sahiptir. LDPE kolayca başparmak tırnağıyla çizilebilir, HDPE'nin çizilebilmesi zordur ve polipropilen ise oldukça zor çizilmektedir. Bu da odun-plastik kompozitleri ile ilgilidir. Bunun nedeni; dallanmamış propilen bazlı ahşap-plastik kompozitlerin daha çok plastik gibi davranış sergilemelerindendir. Bu davranış doğrudan, malzemenin deformasyona karşı gösterdiği direnç, çentik açma direnci, çizilme ve aşınma direnci olan sertlik ile ilgilidir. Maksimum operasyon sıcaklığı, HDPE için 82 °C(180 °F) iken, LDPE için 71 °C(160 °F) kabul edilir.

2.4.1.3 Orta Yoğunluklu Polietilen (MDPE)

MDPE tipik olarak HDPE ve LDPE'nin karışımıdır.



Şekil 2. 8 Nova Chemicals'da geliştirilmiş işlenebilirlik, beyazlık, sertlik ve malzeme tokluğuna sahip deneysel MDPE.

2.4.1.4 Yüksek Yoğunluklu Polietilen (HDPE)

HDPE; LDPE'ye kıyasla daha yüksek kristaliteye sahip olması nedeniyle daha sert ve dayanıklıdır ancak daha fazla yamulma eğilimi söz konusudur. Kristal oluşumu sebebiyle daha yüksek çekme direnci söz konusudur. Çekme mukavemeti LDPE'nin 2-3 katıdır ve oldukça iyi bir basınç dayanımına (31,72 N/mm²) sahiptir. Her ikisi de genel olarak, çok iyi bir darbe mukavemetine sahip, ancak bazı HDPE malzemeleri yüksek kristalite değerinden ötürü oldukça kırılgan olabilmektedir.



Şekil 2. 9 HDPE 'nin dallanması

Ultra yüksek moleküler ağırlıklı PE (UHMWPE) doğrusal bir homopolimerdir. Yapısal olarak HDPE 'ye benzer, ortalama olarak molekül ağırlığı 10-100 kez HDPE standart sınıflarından daha yüksektir. ahşap-plastik kompozit üreticilerinin hiçbiri "ultra yüksek moleküler ağırlıklı" PE kullandıklarını belirtmemişlerdir. HDPE 'nin kristalitesi genel olarak LDPE 'den daha yüksek olduğu gibi, kristaliteye bağlı olarak LDPE'ye göre daha yüksek HDPE özellikleri şunlardır: mukavemet, modül, yoğunluk, çekme, sürünme direnci, aşınma direnci ve sertlik. Düşük kristalinite genellikle daha iyi işlenebilirlik ve darbe dayanımı sağlamaktadır. Kristallik derecesi, kristal alanların karakteri, genellikle profilin ne kadar hızlı soğutulduğuna bağlıdır. Bu da sırasıyla ürünün büzülmesi ve kırılması üzerine etki edebilir, bunun yanı sıra gerilme ve sonuç olarak ürünün oksidasyona hassasiyeti ve termal bir genişleme-daralma söz konusu olabilir. LDPE ile karşılaştırıldığında HDPE 'nin gaz geçirgenliği önemli ölçüde daha düşüktür. [7]

Gazlar için permeabilite(P);

$$P=D \times S \quad (2. 1)$$

D=difüzyon katsayısı

S= çözünürlük katsayısıdır.

Permeabilitenin birimleri

Gaz miktarı (cm³),

Birim film kalınlığı (mm),

Birim alan (cm²),

Birim zaman (s),

Basınç farkı birim başına (cm-Hg)

Bu da sonuç olarak (cm³ • mm)/(cm² • s • cm Hg) şeklinde belirtilmiş olur. Bu birimlerde HDPE ve LDPE'nin permeabilitesi(25 °C)'ta sırasıyla; nitrojen için 1.4 ve 9.7, helyum için 11 ve 49, oksijen için 4 ve 29, karbondioksit için 3.6 ve 126'dır. [9]

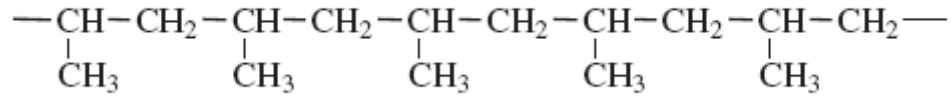
Sıcaklık artımı söz konusu olduğu zaman ise geçirgenlik miktarı her iki materyal için de artacaktır. Görüldüğü üzere LDPE, HDPE'ye kıyasla oksijen penetrasyonu oranlarının daha yüksek olmasından ötürü oksidatif degradasyona daha çok maruz kalmaktadır. Kristalin yapıdaki Lineer PE, daha amorf olan dallanmış PE'ye göre oksidasyona karşı daha stabildir. Eğer polimer eritilirse (140 °C ya da 284 °F), oksidasyon oranları hem kristalin hem de amorf PE için aynıdır. İki nedenden dolayı amorf bölgeleri polietilenin kristalin bölgelerine göre daha hızlı oksitlenir:

- Dallanma noktalarında PE'nin yüksek reaktivitesi
- Kristalin bölgelerle karşılaştırıldığında amorf etki alanlarına daha yüksek oksijen difüzyonu

Bununla birlikte, kısmen kristal PE içinde amorf alanların oksidasyonu; kristalin bölgelerin bir artış fraksiyonu nedeniyle kırılabilirliğinde belirgin bir artışa yol açmaktadır. Genel olarak yoğunluk artışı ve LDPE den HDPE'ye geçiş ile ilgili olarak aşınma direnci, kimyasal direnç, sertlik, sertleşebilirlik, gaz ve su geçirgenliği, termal genişleme ve darbe mukavemetinin artmasına yol açmaktadır. Sünme açısından, uzun süreli yüklemelere maruz kalan bir LDPE örneğinin kademeli deformasyonu, HDPE ile karşılaştırıldığında düşüktür. Bir örnek sünmeye maruz kalmış ise, bu pratik olarak geri dönüşümsüz bir durumdur. Sünme, daha yüksek bir kristaliteye sahip örneklerde daha az belirgindir. Dolayısıyla HDPE daha yüksek kristaliteye sahip olduğundan, LDPE daha çok sünme etkisine maruz kalmaktadır. PE'nin yoğunluğu ne kadar yüksek ise sünme etkisi o kadar düşüktür. Genel olarak polietilenler, PVC ve hatta naylon gibi mühendislik plastikleri ile karşılaştırıldığında kötü klasmanındadır. Polietilenlerin sünme özelliği, bunların yapısal plastik ve PE yapısal kompozit malzeme bazlı ahşap-plastik kompozit yapımı hususunda büyük engel teşkil etmektedir. Plastik odaklı örnekler, izotropik örneklerle kıyasla sünmeye daha az eğilimlidir. Aynı nedenle anizotropik özellik gösteren dek levha gibi ahşap-plastik kompozitler, plastik ile karşılaştırıldığında daha az sünme özelliği gösterirler. [7]

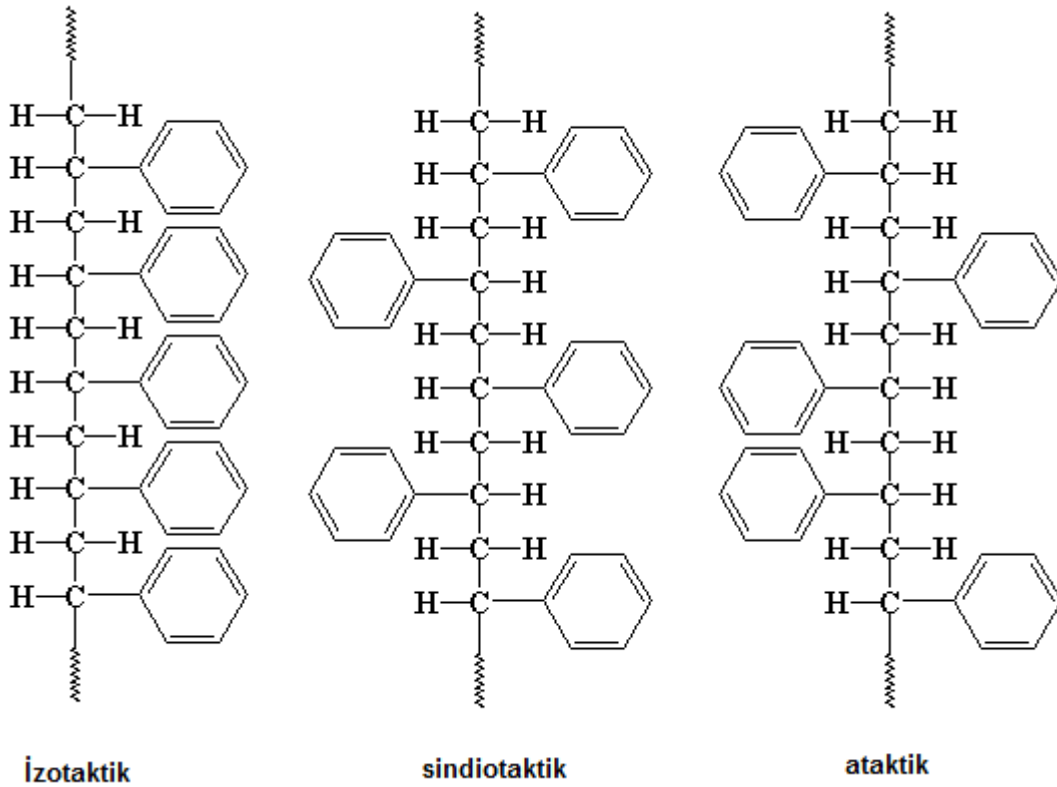
2.4.2 Polipropilen (PP)

Piyasada, polipropilen esaslı ahşap-plastik kompozit deklerin payı nispeten küçüktür. Ahşap-plastik kompozit malzemelerin satışını yapan ve bu malzemelerin %10'u polipropilen bazlı olan iki tanınmış marka vardır. Bunlar, CorrectDeck ve Cross Timber 'dır. Polietilen ile kıyaslandığında özellikle polipropilenlerin bir kısım özellikleri üstün gelmektedir; hafiflik, mukavemetlilik, sertlik; bunun yanı sıra sünme direnci, daha az aşınma ve daha az kayganlık göstermesi bakımından gelişmiş özelliklere sahiptir. Ancak polietilenden daha kırılabilir(özellikle düşük sıcaklıkta) ve sertliğinden ötürü çivi ve vida tutturmak zordur. Çivi ve vida tutma özelliği, polietilen bazlı odun-plastik kompozit levhaların kolay kurulumunu sağlamaktadır. Ayrıca PP levhaların kesilmesi ve biçilmesi PE bazlı levhalara göre daha zordur.



Şekil 2. 10 Polipropilenin mikro dallanmış kimyasal yapısı

Polipropilen, polietilenin tek düze(monoton) yapısına karşın mikro dallanmış yapıya sahiptir. Bu şekilde dallanma özelliği, polipropilenin kimyasal ve diğer özelliklerini belirlemektedir. PP, PE'ye göre daha hızlı okside olmaktadır. PP, ataktik(atactic), izotaktik(isotactic) ve sindiotaktik(syndiotactic) olarak da tanımlanır. Polipropilen zincirindeki metil yan grupları, karbon atom zincirine bağlı olarak bir bütün olarak düzlemin aynı tarafında(atactic), her iki tarafta(isotactic) ya da rast gele bir düzen içinde(syndiotactic) olabilir. Tüm bu formlar, polipropilenin homopolimerleri ile ilişkilidir.

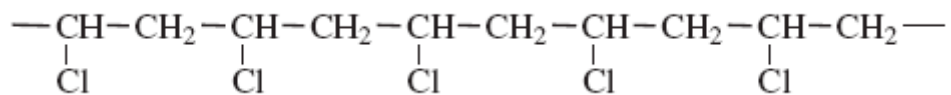


Şekil 2. 11 Polipropilen formları

Polipropilenler homopolimer ve kopolimerler olarak ikiye ayrılır. Homopolimerler daha kristalin yapıya sahip olup 161–165 °C (322–329 °F)’ta en iyi şekilde ergir, 155 °C(311 °F)’da yumuşama eğilimi gösterirler. Kopolimerler tipik olarak bir miktar etilen komonomer ve sırasıyla rastgele ve blok kopolimerleri içerir. Ergime noktaları, 140-155 °C(284-311 °F) sıcaklık aralığındadır. Polipropilen, 0.90-0.91 g/cm³ arasında spesifik bir yoğunluğa sahiptir. PP homopolimerler, kopolimerlerden daha serttir; elastikiyet modülleri sırasıyla 165.000-290.000 psi ve 130.000-175.000 psi ‘dir. Polipropilenler oksidasyona daha yatkındır, dolayısıyla PE ile karşılaştırıldığında daha yüksek miktarda antioksidan ve UV ışınlarına karşı dayanıklılık gerektirir. Bu durum, PP’nin oksijen nüfuzunun çok daha hızlı olduğunu göstermektedir. Bunun başlıca nedeni, PP’nin mikrodalgalı kimyasal yapıda olmasındandır. Ahşap-plastik kompozitlerin ekstrüzyonu için kullanılan polipropilenlerin eriyik akış indeksi(MFI) minimum 2-5 g/10’dur. Polipropilenin su absorpsiyonu polietilende olduğu gibi ihmal edilebilir düzeydedir(PP için %0.008, HDPE için %0.03). [7]

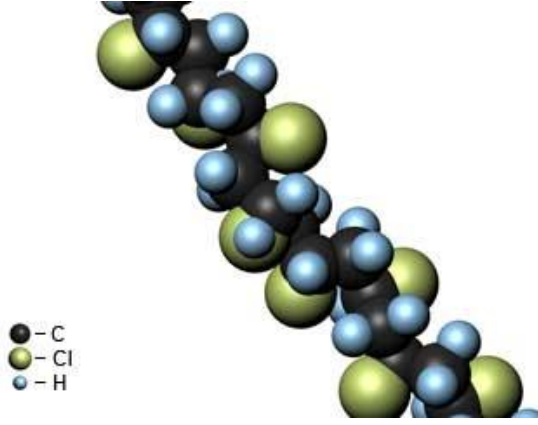
2.4.3 Polivinil klorid(PVC)

Ahşap-plastik kompozit dek piyasasında PVC bazlı materyallerin total payı, PP bazlı olanlara göre çok daha küçüktür. Sadece Boardwalk, Millenium, ve Procell gibi üç ticari marka mevcuttur. PVC kimyasal yapısı itibariyle termoplastik bir polimerdir.



Şekil 2. 12 PVC'nin kimyasal yapısı

PVC de PP gibi sindiotaktik, izotaktik ve ataktik olabilirler. PVC çoğunlukla ataktik, ancak bazı bölgelerde kristalin oluşturarak polimer kısımları sindiotaktik olabilir(genellikle% 5’e kadar düşük kristallik gibi). PVC’nin ortalama molekül ağırlığı genellikle 100.000-200.000 aralığındadır. PVC’nin sert ve plastize olmuş ya da esnek iki temel formu bulunmaktadır.



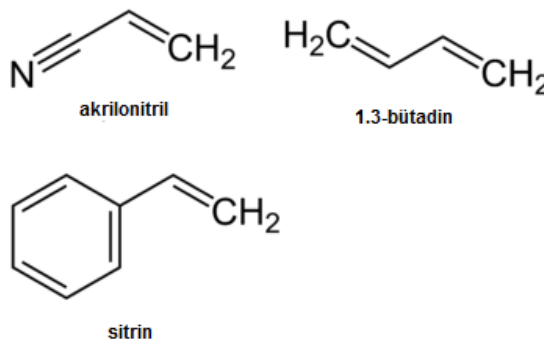
Şekil 2. 13 PVC molekülü parçası

Sert ve modifiye edilmemiş PVC, PE ve PP 'den daha sert ve daha güçlüdür. Kredi kartları sert PVC'den yapılmaktadır. Esnek, modifiye, plastikleştirilmiş PVC daha çok boru ve duş perdeleri için uygundur, kompozit dek levha üretiminde kullanılmamaktadır. PVC bazlı ahşap-plastik kompozitlerin düşük maliyetli olması ve PVC esaslı kompozit dek levha kurulumu ile ilgili güçlükleri(kesme, çivileme ve vidalama) önlemek için, PVC bazlı ahşap-plastik kompozitlerin çoğu köpüklenir. PVC polietilen ve polipropilene göre ağır malzemedir. PVC'nin yoğunluğu, HDPE (0.94-0.96 g/cm³) ve PP(0.90-0.91 g/cm³) ile kıyaslandığında 1.32-1.44 g/cm³ tür. Polietilen ve polipropilen ile karşılaştırıldığında, PVC düşük termal stabilite ve yüksek kırılma gibi bazı doğal dezavantajlara sahiptir. Çevre sıcaklıklarında PVC'nin yüksek kırılma, tipik olarak 70-90 °C(yaklaşık 160-190 °F) sıcaklık aralığında olan PVC'nin nispeten yüksek camsı geçiş sıcaklığı neden olmaktadır. Cam geçiş sıcaklığı ve erime sıcaklığı arasındaki sıcaklıklarda polimerlerin kristalin bölgeleri için zincir hareketi polimerin kristalin bölgeleri tarafından sınırlanır. Kristalin yapıları, sıcaklık kristal erime noktasına kadar tamamen hareketli değildir. PVC'nin başlıca yararlı özelliklerinden biri, alev dayanıklı olmasıdır. PVC yaklaşık % 57 klorin içerir. Mineral dolgu maddesi içeriğine ve levha şekline(içi dolu ya da boş) bağlı olarak PVC tabanlı ahşap-plastik kompozitleri için alev yayılma indeksi 25, HDPE bazlı ahşap-plastik kompozitler için ise 50-170'dir. Yandığı zaman HCl gibi toksik maddeler yaydıklarından ötürü, çevreye en fazla zarar veren termoplastik olarak kabul edilir. Hatta 70 °C(158 °F)'ın üstündeki sıcaklıklarda PVC eğer stabil değilse degradasyon ve HCl salınımı başlar. PVC esaslı malzemelerin işlenmesi ile ilgili ısıyla ilişkili olarak, toksik ve HCl'nin korozyon etkisi de söz

konusudur. PVC, 148 °C(298 °F)'de dekompoze olmaktadır. Bu durum işleme ekipmanlarında korozyona sebep olur ve korozyona dirençli metal ve kaplamalar gerektirir. Ayrıca, PVC çok dar bir işlem aralığına sahiptir hatta hafif bir ısıtma sonucunda dahi çabucak bozunmaya uğrayabilmektedir. Bu termal degradasyon, renk değişimi ve preste kötü bir koku oluşturur. Bu renk değişimi ve çevresel kaygılar ile birlikte termal istikrarsızlık (instability) PVC'nin geri dönüşümünü genellikle mümkün kılmamaktadır. [7]

2.4.4 Akrilonitril-bütadien-stiren kopolimer(ABS)

Akrilonitril-bütadien-stiren, hafif ve sert-rijit termoplastik grubudur. Bu malzeme polibütadien içinde stiren ve akrilonitrilin polimerizasyonu ile elde edilen bir kopolipolimerdir. Akrilonitril bileşeni mukavemet, ısı direnci ve kimyasal dirence katkıda bulunur. Bütadien bileşeni darbe dayanımı, sertlik ve esnekliğe katkıda bulunur. Stiren bileşeni ise sertlik ve işlenebilirliğe katkıda bulunur. Yetersiz dayanıklılık, yangına karşı düşük dayanım, yüksek yoğunluk/ağırlık ve poliolefinlerle kıyaslandığında yüksek maliyet gibi dezavantajlara sahiptir. Ahşap-plastik kompozitleri için plastik olarak ABS'nin atraktif özelliği, 100-110 °C(212-230 °F) gibi düşük erime sıcaklıklarına sahip olmasıdır. Bu, işleme sırasında yanan odun lifini tutar. Bununla birlikte, temiz ABS için önerilen işlem sıcaklığı tipik olarak 177-260 °C(351-500 °F)'dir. Bu durum ahşap-plastik kompozit üretimini zorlaştırmaktadır.

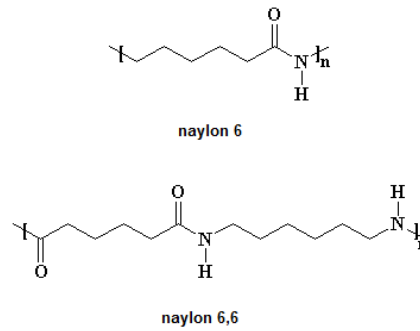


Şekil 2. 14 ABS polimeri içindeki monomerler [10]

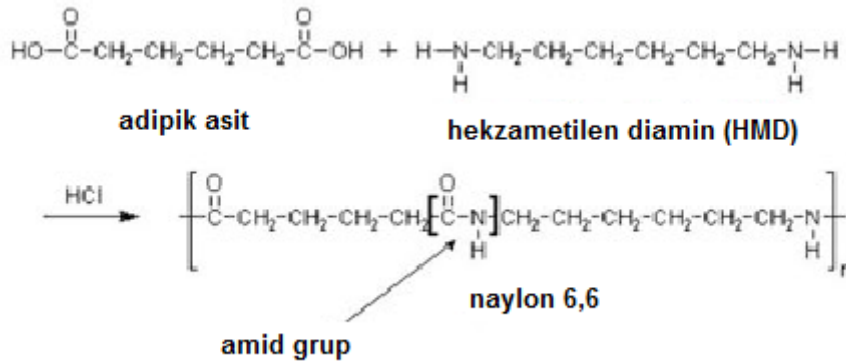
Ticari olarak, üçte iki ABS ve üçte bir odun talaşı içeren sadece bir tane ahşap-plastik kompozit ürünü mevcuttur. Bu ürün, bir korkuluk sistemidir. HDPE ile karşılaştırıldığında, ABS malzeme sıcaklığı açısından oldukça olumlu davranış gösterir. 70 ve 130 °F'de sırasıyla, ABS bazlı alt korkuluklar için esnek güç-basınç 5200+-200 psi ve 4400+-200 psi. Yani 'yüksek ısı kaybı' 800+-400 psi(%15) civarındadır. [7]

2.4.5 Naylon 6 ve diğer poliamidler

Şu anda ahşap-naylon dek levhalar ve diğer ahşap-dolgu kompozit materyalleri ticari olarak mevcut değildir. Naylon 6 ve naylon 6,6 'nın ergime sıcaklıkları sırasıyla, 216-223 °C(421-433 °F) ve 255-265 °C(491-509 °F)'dır. Bu sıcaklıklar ahşabın yanmasını önlemek açısından oldukça yüksektir. Genel olarak bu termoplastiklerin, ahşap-plastik kompozitleri içinde işlenebilmesi için 200 °C'ın altındaki sıcaklıklara maruz bırakılabileceği göz önünde bulundurulur.

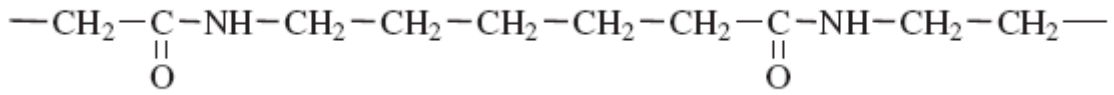


Şekil 2. 15 Naylon6 ve naylon6,6'nın kimyasal zincir yapısı

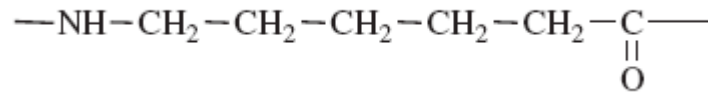


Şekil 2. 16 Naylon 6,6'nın kimyasal sentezi

Ayrıca selülozik lignini kullanarak, proses hızını arttırmak ve sıcak eriyik ile selülozun kontakt süresini kısaltmak vasıtasıyla, termo yalıtım mineralleri ile harmanlanmış ve preste kalış süresi azaltılarak selüloz-naylon kompoziti üretmek mümkün olabilir. Bu kompozitler, naylon gibi yapısal plastik olarak, yüksek mukavemet ve yüksek modüle sahip üstün özelliklerde işlenebilirler. Nylon6 ve nylon 6,6 yoğunluğu(özellik ağırlık) 1.13-1.14 g/cm³'tür. Nylon 6, nylon6,6'ya kıyasla daha düşük bir ergime noktasına sahiptir. Bu da ahşap-plastik kompozit üretmede potansiyel üretime olanak sağlaması açısından daha uygun bir durumdur. Nylon, yüksek mukavemet, modül ve darbe direncine sahip olan bir kristalin bir polimerdir.



Şekil 2. 17 Nylonun genel kimyasal yapısı



Şekil 2. 18 Nylon 6'daki tekrar bloğu

Bu, polimerizasyon sonucu oluşan monomerlerde karbon atomlarının sayısı olarak tanımlanır. İki farklı monomerin polimer hazırlanmasında kullanılması durumunda, nylon; nylon 6,6 ya da nylon 6,6 gibi iki numara kullanılarak tanımlanır. Nylon özellikleri büyük ölçüde kristalliteden etkilenmektedir. Yavaş soğumuş nylon, % 50-60 aralığında, daha çok kristalliniteye sahip olacaktır. Hızlı bir şekilde soğutulmuş nylon ise % 10 gibi düşük bir kristalliteye olacaktır. Ayrıca yavaş soğutulmuş nylon, hızlı soğutulmuş naylona göre daha büyük kristaller içermektedir. Polar grupları varlığı (CO-NH) nedeniyle, nylon su çeker. HDPE'nin su absorpsiyonu ile karşılaştırıldığında(24 sa), PP (% 0.01'den az), PVC (% 0.1) ve ABS (% 0.3), Nylon 6, 24 saatte %1.2 su emer. Yani nylonun kristallilik derecesi düşüldükçe, su absorblama yeteneği ters orantılı olarak artar. Higroskopisiteden dolayı, eriyik işlenmeden önce nylonun kurutulması gerekir. Higroskopisiteden dolayı, nylonun nem içeriği polimerin camsı geçiş sıcaklığını etkiler. Kurutulmuş nylon 50 °C'a yakın camsı geçiş sıcaklığına sahiptir. Islak naylonda ise bu

sıcaklık 20 °C'tır. Kuru naylon ıslak naylon kıyasla ortam sıcaklığında daha kırılgandır. Elastikiyet mukavemeti naylon 6 için 66,88 N/mm²' den 96,52-113,76 N/mm²' ye kadar aralıklarda değişmektedir. Bu diğer tüm bahsedilen diğer termoplastiklere göre en yüksek miktardır. Naylon 6 için elastikiyet modülü, PVC ve ABS ile aynı oranda, 100.000-464.000 psi arasındadır.

Çizelge 2. 3 Termoplastiklerin bazı önemli özellikleri [7]

Materyal	Yoğunluk (g/cm ³)	Bükülme özellikleri		Basınç Direnci (psi)	24 saat sonra Su Absorpsiyonu	Termal Faktör Genişleme- Büzülme X10 ⁻³ (1/F)	Hava Stabilitesi
		Direnç,psi	Modüller,psi				
LDPE	0.910-0.925	Kırılmaz	30.000-50.000	Kırılmaz	< 0.01	6-12(13,1)	Orta
HDPE	0.941-0.965	1400 civarı Kırılmaz	125.000-240.000	4570	< 0.01	3-6(8-11)	Orta
PP(homopolimer)	0.90-0.91	6000-7000	165.000-290.000	6720	0.008	3.8-5.8	Orta w/UV stabilizörler
PVC (rijit)	1.32-1.44	6000 ile 10.000- 16.000 arası	350.000-600.000	10.830	0.1	2.8-3.3	Açık Renkler
ABS	1.01-1.08	4300-6400	130.000-420.000	6750	0.3	5.3	Kötü
Naylon 6	1.12-1.14	9700 ile 14.000- 16.500 arası	100.000-464.000	12.000	1.2	4.8	Kötü

Polietilenin olumsuz mekanik özellikleri rağmen, polipropilen, PVC, ABS ve naylon ile karşılaştırıldığında, HDPE; odun-plastik kompozitleri içinde en popüler yere sahiptir. Polipropilen, çok sert ve çivi-vida tutması güçtür. Polipropilen bazlı kompozitler özel sabitleme sistemleri gerektirir. PVC genellikle çevre dostu olmayan bir polimer kabul edilir. Diğer polimerler hem stabil değil, hem de kırılgan ve pahalıdır. [7]

2.5 Ahşap-Plastik Kompozit Malzemelerin Kompozisyonu: Selüloz ve Lignoselülozik Dolgular

Ahşap plastik kompozitleri, polipropilen (PP)'den polivinil klorür (PVC)'e kadar değişen polimer matris tipleri ve odun unundan ketene kadar değişen dolgu maddeleri kullanılarak üretilen ve çok farklı şekiller olabilen kompozit materyaller olarak tanımlanabilir.

2.5.1 ABD Patentli Ahşap-plastik kompozitlerinde (WPC) Selüloz dolgu maddelerinin tarihçesi

Şimdilerde ahşap-plastik kompozitleri(WPC) olarak bilinen malzeme ilk kez 1960'larda termoset kalıplama bileşikleri olarak ortaya çıkmıştır.

Ahşap-plastik kompozitlerinin gelişimi beş periyotta incelenebilir:

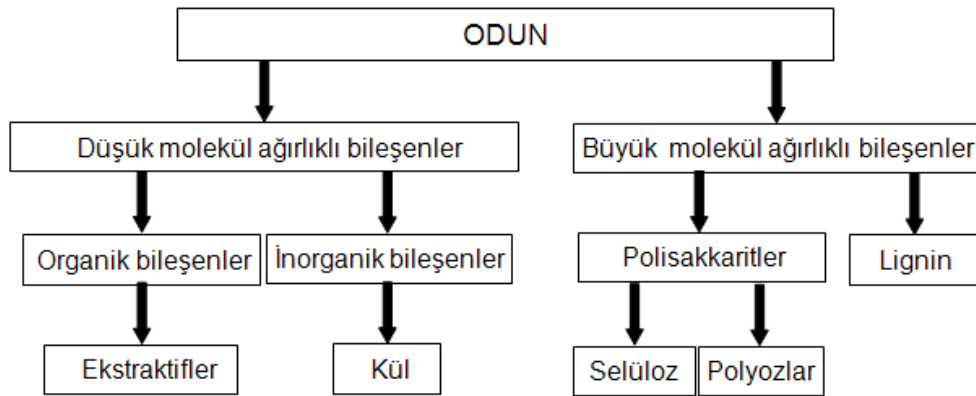
- 1- Termoset malzemelerin geliştirilmesi. Bu malzemeler 1960'lardan daha önce de mevcuttu, ancak ikinci dünya savaşından sonra endüstriyel uygulamalara geçilmiştir. Bunlardan önce Bakelite 1900'lerin başında keşfetmiş ve 1920'lerde odun ununu(tozunu) kullanmıştır. Termoset ahşap kompozitleri, ahşap-plastik kompozit malzemenin görünümü için bir temel oluşturmaktadır.
- 2- Ahşap kompozit olarak termosetlerde termoplastik polimerik malzemeye bağlayıcı geçişi ve plastik ile selüloz liflerinin uniform bir karışımını temin etmenin gerekliliğinin farkındalığına varma
- 3- Ahşap-plastik kompozitin mekanik özelliklerinin iyileştirilmesi. Odun-plastik kompozit malzemelerin diğer özellikleri de önem arz etmekle birlikte mekanik özellikler, her zaman dek levha gibi yapı ve konstrüksiyon malzemeleri için büyük önem taşımaktadır.
- 4- Kuplaj maddeleri kullanılarak, dolgu maddesi ve polimer arasındaki bir etkileşimi sağlamak suretiyle polimer matris ile, dolgu malzemesi uyumluluğunun iyileştirilmesi.
- 5- Polietilenden başka plastikler kullanılarak ahşap-plastik kompozit özelliklerinin iyileştirilmesi, örneğin, polipropilen, polivinil klorür (PVC) ve akrilonitril-butadien-stiren (ABS).

Mevcut anlayış içinde ahşap-plastik kompozit malzemelerin en yakın geçmişi 1990'lı yılların başıdır. Gelişmiş çevre geri dönüşüm teknolojileri (AERT) ve daha sonra Trex olarak adlandırılan Mobil Chemical Company'nin bir bölümü, polietilen içinde% 45-55 odun lifleri(odun elyafı) içeren sert ahşap-plastik kompozit dek levhalar yapmaya başlamışlardır. Aynı zamanda, Andersen Corporation da kapı profilleri ve pencere doğramaları gibi PVC bazlı ahşap kompozit ürünler yapmaya başladı. 1990'ların ortalarından bu yana, diğer ahşap-kompozit üreticileri bu ürün pazarını genişletmeye

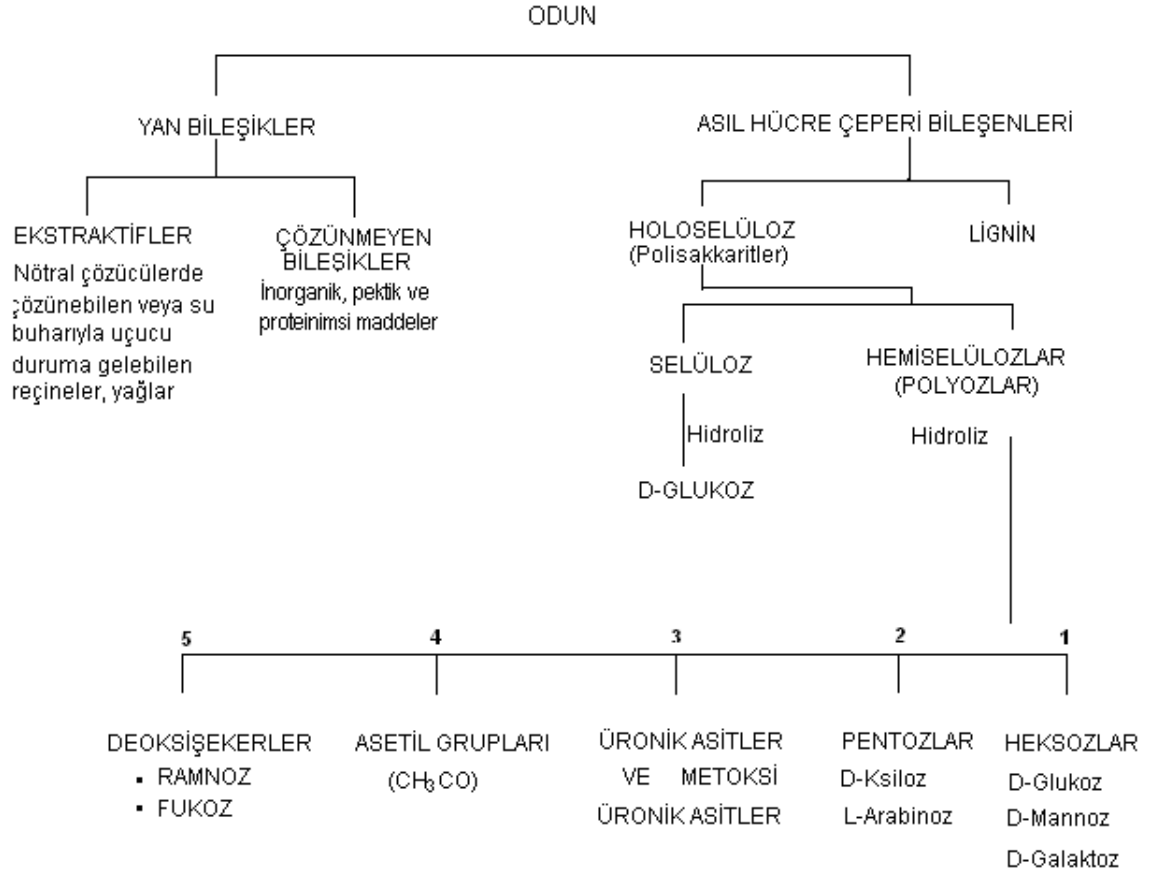
başladı. Son zamanlarda, uzun lifli selülozik lifler daha çok ilgi ve daha ileri düzeyde ahşap-plastik kompozit malzeme geliştirmek için bir ölçü olarak daha çok dikkat çekmektedir. Daha sonra, nispeten yüksek yanıcılık özelliği (PVC dayalı olanlar hariç) gibi ahşap-plastik kompozit malzemelerdeki bazı eksikliklerin giderilmesi için nanopartiküllerin umut verici bir katkı yapabileceği öne sürüldü. Köpüklenmiş ahşap-plastik kompozit son birkaç yıl içerisinde araştırmacılar ve geliştiricilerin ilgisini çekecektir. Ahşap-plastik kompozitler içinde polilaktik asit gibi biyobozunur plastikler(biodegradable plastics), birçok kişi tarafından özellikle iç mekan uygulamaları için, umut verici bir yön olarak kabul edilir. [7]

2.5.2 Dolgu Maddeleri Olarak Lignoselülozik Liflerin Genel Özellikleri

Ağaç malzemenin(odun) kimyasal yapısı oldukça karmaşıktır. Bu materyalin üç temel bileşeni, odun çeperinde fazla oranda bulunan ve yüksek molekül ağırlığına sahip selüloz, lignin ve hemiselülozdur. Selüloz ve hemiselüloz polisakkarittir.

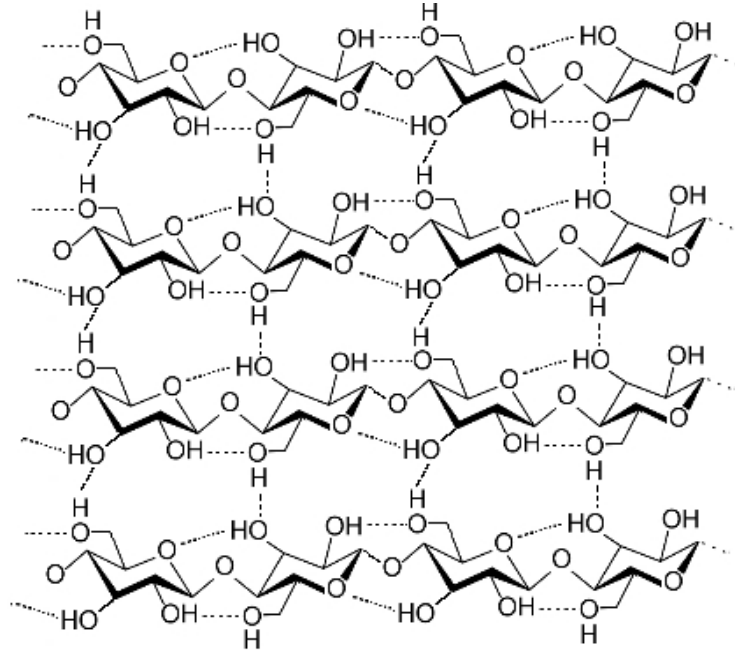


Şekil 2. 19 Yapraklı, iğne yapraklı ağaçların kimyasal kompozisyonu

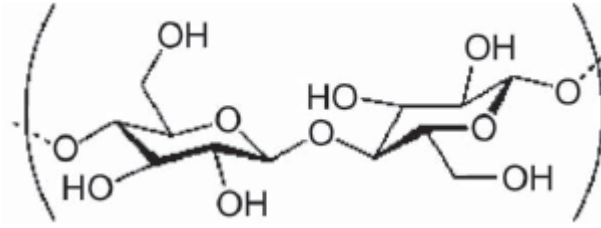


Şekil 2. 20 Odunun kimyasal bileşenleri [11]

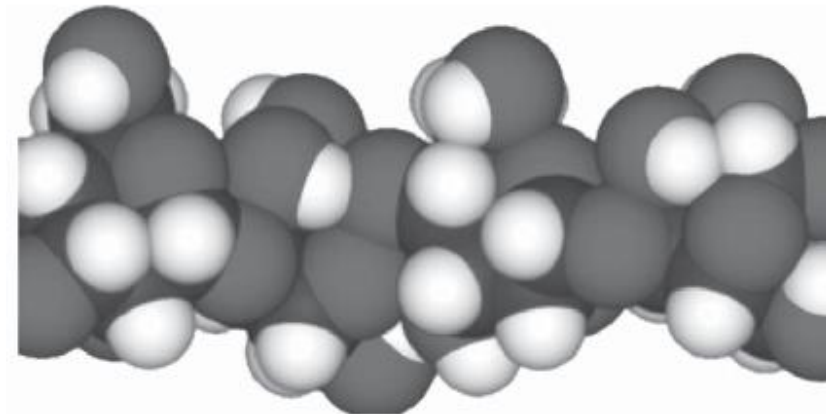
Selüloz, odunun ana bileşenidir ve iğne yapraklı ve yapraklı ağaçların yaklaşık yarısını oluşturmaktadır. Selüloz, B-D-Glukozdan meydana gelmiş, yüksek molekül ağırlığındaki lineer bir polimerdir.



Şekil 2. 21 Bir polisakkarit olan ve bitki hücre duvarında bulunan selülozun kimyasal yapısı



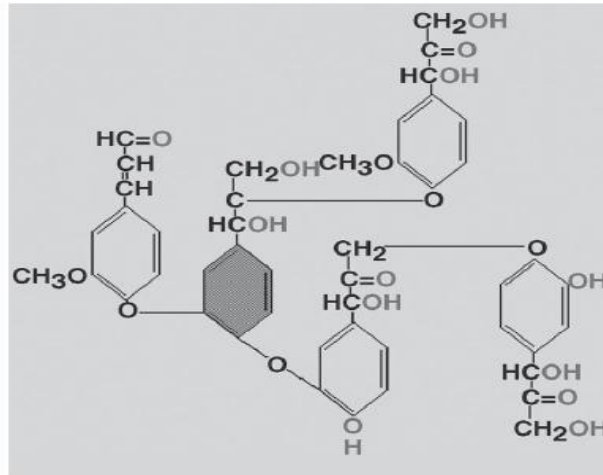
Şekil 2. 22 Selüloz zinciri içindeki iki glukoz molekülünün yapısı



Şekil 2. 23 Üstteki benzer iki glukoz molekülünün üç boyutlu yapısı

Hemiselüloz; hücre çeperinde selüloza yakın; hekzoz, glukoz, mannoz, galaktoz ve pentoz, ksiloz ve arabinoz gibi selülozdan daha kısa bir şekilde dallanmış beş ya da altı halkalı karbon zincirleri içerirler.

Lignin; polisakkarit lifleri arasındaki boşlukları dolduran, yapısı diğer polisakkaritlerden çok farklı olan fenol propan bazlı aromatik bir yapıya sahip katılmış bir polimerdir. [11]



Şekil 2. 24 Lignin yapısının gösterimi

Bitki materyali, selüloz, hemiselüloz ve lignin bileşiklerini içermesinin yanı sıra yapısal olmayan ekstraktif maddeler de içerirler. Ekstraktif maddelere örnek olarak terpenler, pinenler, taninler, karbonil bileşikleri ve benzeri verilebilir. Bu maddeler, oduna spesifik bir koku vermesinin yanında, kurutma sırasında ağaç malzemenin yüzeyine yayılıp yapışma özelliklerini olumsuz etkileyebilmekte ve bazıları da mikrobiyal özelliklere sahip olabilmektedirler.

Lignoselüloz, odunsu materyaller içinde bitki hücrelerini güçlendiren yapısal komponentlerin bir kombinasyonudur. Ağaç malzemeye mukavemet ve dayanıklılık açısından pozitif etki ettiği düşünülen lignin, yüksek bir polimerik malzeme, çapraz bağlanmış ve oldukça aromatik bir yapıdadır. Aslında, ağacın dik durmasını sağlama açısından desteklik görevi de görmektedir. Ayrıca ağaca büyük oranda selülotik mikropların erişmesini yavaşlatır. Lignin, bitki materyali kuvvetli asitlerle hidrolize edildikten sonra 'kalan kalıntı' olarak tanımlanabilir. Lignin, odun matriksinden penetre

olan büyük bir polimerik molekül olarak kabul edilebilir. Selüloz, lignin ve hemiselülozun aksine daha düzenli bir yapıya sahiptir ve bu maddelerin miktarları sıralanacak olursa selülozun en fazla orana sahip olduğu görülecektir; ağaç malzemenin(odun) hücre çeper yapısında %40-50 selüloz, %20-35 hemiselüloz, %20 lignin ve %0-5 oranında ve düşük molekül ağırlığına sahip ekstraktif madde(yabancı madde) bulunmaktadır. Lignin, büyük ölçüde kimyasal hamur oluşturma işlemleri sırasında odundan çıkarılır; bu nedenle kağıt yapımında açığa çıkan çamur, genellikle %1-5 oranında küçük bir miktar lignin içermektedir.

Genellikle, odun sıcaklık altında ya da polietilenin ergime noktası olan 110-130 °C (230–266 °F) derecede dehidrasyona uğramaya başlar. Bu, bitki materyalinin her üç ana bileşeninin polimerizasyon derecesinin azalmasına ki nem varlığında hızlanma eğilimi gösterir; sebep olmaktadır. Lignin 150 °C(300 °F) sıcaklığında degrede olmaya başlar, hemiselüloz ise 160 °C(320 °F) sıcaklığında degrede olmaya başlar. Tüm bu prosesler, poroziteyi arttıran uçucu maddeler bırakır ve sonuç olarak bacalı ekstruderler kullanılmadığı sürece çıkan kompozit malzeme yoğunluğu azalır.

Ligninin yapraklı ve iğne yapraklı ağaçlarda yüzdesel olarak farklılık göstermektedir (Çizelge 2. 4). Selüloz açısından neredeyse eşit olmasına rağmen iğne yapraklılar, daha fazla lignin içermektedir.

Çizelge 2. 5 Yapraklı, iğne yapraklı ağaçların kimyasal kompozisyonu

Bileşen	Yapraklı Ağaçlar (%)	İğne Yapraklı Ağaçlar (%)
Selüloz	44 ± 3	42 ± 2
Hemiselüloz	32 ± 5	26 ± 3
Lignin	18 ± 4	29 ± 4
Mineraller (silis)	0.2 – 0.8	0.2 – 0.8

Ligninin zararlı etkileri

Lignin fotosentetif bir materyal olmakla beraber, ahşap ve ahşap-plastik kompozit malzemelerin renk solmasından sorumlu olarak, UV ışınları altında degradasyona maruz kalmaları etkili olmaktadır. UV ışınlarına maruz kalan lignin, kahverengimsi bir maddeden gri bir renge dönüşür.

Lignin, genellikle ürünü daha zayıf yapar; işlem esnasında kolayca yanar, daha düşük ürün yoğunluğuna sebep olan CO₂ 'i yayar ve büyük ölçüde dış etkilere maruz kaldıktan sonra ahşap-plastik kompozitin solmasını hızlandırır.

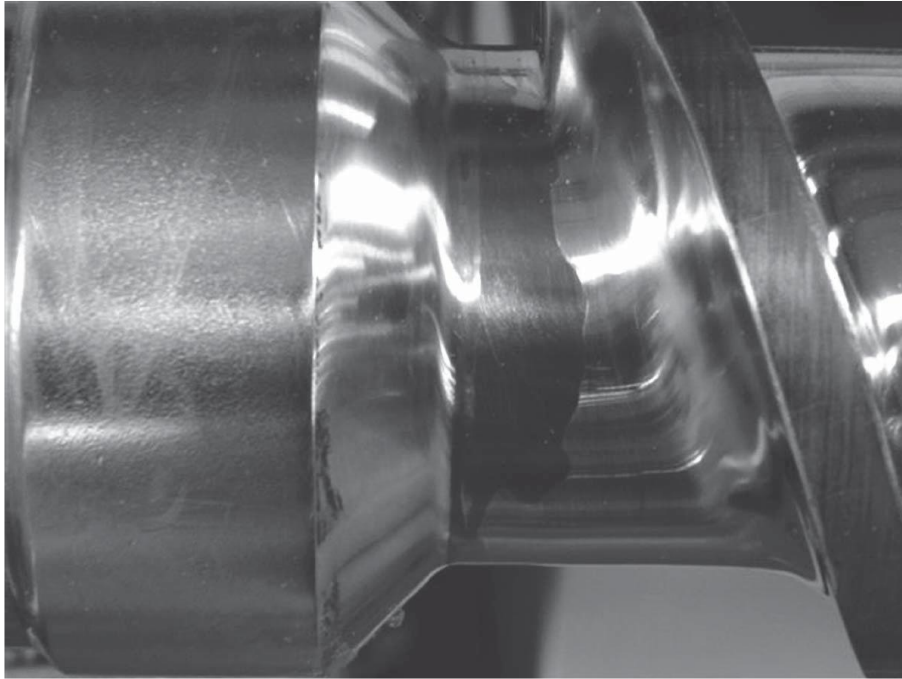
Hemiselülozun zararlı etkileri: Buhar patlaması

Lignin gibi hemiselüloz da işlem esnasında kolayca yanar, çoğunlukla uçucu organik bileşik yayarak ahşap-plastik kompozit ürünün daha düşük bir yoğunluğa yol açar. Ayrıca, yüksek basınç ve sıcaklık altında tek sorun hemiselülozla ilgili değildir. Yüksek basınç altındaki ekstrüder içinde sıcak eriyiğin işlemesi sırasında, odun parçacıkları içindeki nem yüksek sıcaklıklarda bile köpürmez. Örneğin 6,9 N/mm²'de ekstrüder içinde su sadece 546 °F (286 °C)'da kaynar. 13,79 N/mm²'de su 636 °F(336 °C)'da kaynar. Diğer bir deyişle basınç arttıkça kaynama noktası yükselmektedir. Bununla birlikte, malzeme basıncın aniden düştüğü bölgelerden geçtiği zaman, su aniden ve şiddetli bir şekilde buhar çıkararak kaynar. Anlık bir dekompresyon etkisi ve bütün ıslak odun parçacıklarının kaynamaya maruz kalması buhar patlaması denilen olaya neden olmaktadır. Bunun sonucu olarak birçok lignin hemiselüloz bağları koparak hemiselülozik parçalar matris içindeki suda sıkışarak çözülür ve asetik asit oluşturan çok sayıda asetilenmiş artıklar ile anında dekompoze olur.



Şekil 2. 25 Bacalı olmayan ekstrüderin bir görüntüsü. [7]

Sıcak eriyik, basıncın keskin bir düşüş yaşadığı yerler olan pimlerin çevresinden aşağı tarafa doğru akar. Karıştırma pimi ve akış arasındaki alan, buhar patlaması ve malzemenin hemiselülozik asetik asit oluşumunun bir sonucu olarak aşınmaktadır.



Şekil 2. 26 Bacalı bir ekstrüderin vida kabarcık görüntüsü [7]

Kabarcık ve akış arasında büyük bir basınç düşüşü söz konusu olan alan. Vida eritme, malzemeye basınç uygulamak ve daha sonra gazların tahliye edildiği atmosferik basınç

altında basıncı düşürmek için dizayn edilmiştir. Basınç düşüşü, vida kabarcık kısmının alt baş tarafında meydana gelir ve vida üzerine krom kaplama bu alanda korozyon nedeniyle başarılı bir sonuç vermez. Bu alan, buhar patlaması ve malzemenin hemiselülozik asetik asit oluşumu sonucu aşınmıştır. [7]

2.6 Ahşap-Plastik Kompozit Malzemelerin Kompozisyonu: Mineral Dolgu Maddeleri

Kalsiyum karbonat, talk, silis gibi mineral dolgu maddeleri plastik endüstrisinde oldukça yaygın olarak bulunmaktadır. Minerallerin kompozit malzemeler içinde dolgu maddesi olarak kullanılmaları için aşağıdaki özellikleri dikkate alınmalıdır:

- Kimyasal kompozisyonu
- En-boy oranı
- Yoğunluk
- Partikül boyutu
- Partikül şekli
- Partikül boyut dağılımı
- Partikül yüzey alanı
- Nem içeriği, su absorblama kabiliyeti
- Yağ absorblama kabiliyeti
- Yanmayı geciktirici özelliği
- Kompozit malzemenin mekanik özellikleri üzerindeki etkisi
- Sıcak eriyik viskozitesi üzerine etkisi
- Sıcak eriyikte büzülme üzerine etkisi
- Termal özellikler
- Renk, optik özellikler
- Plastiklerin ve kompozitlerin solmaya ve dayanıklılık üzerine etkisi
- Sağlıklı ve güvenli olması.

2.6.1 Mineral dolgu maddelerinin genel özellikleri

2.6.1.1 Kimyasal kompozisyonu

Tipik inorganik dolgu maddeleri kalsiyum karbonat(CaCO_3) veya wollastonit(CaSiO_3) gibi kimyasal yapısı iyi olan tuzların yapısı; karmaşık inorganik maddeler, örneğin talk[sulu magnezyum silikat $\text{Mg}_3\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2$], veya kaolen (hidrate alüminyum silikat $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) ya da mika, kil ve uçucu kül gibi tanımsız ve değişken kompozisyonlu bileşikler olabilir.

2.6.1.2 En-Boy oranı

Bu, çapına bölünmesiyle elde edilen bir parçacık uzunluğudur; Küresel veya kübik parçacıklar için en-boy oranı bire eşittir. Kalsiyum karbonat parçacıkları için boy oranı genellikle 1-3'tür. Tipik olarak talk için, en-boy oranı 5-20 arasında değişmektedir, mika için, 10-70, wollastonit için, 4 ve 70, Kırılmış cam elyaf için, 250 ve 800 arasındadır. Selüloz gibi doğal elyaflar için ise en-boy oranı 20-80 arasından binlere kadar olabilmektedir.

2.6.1.3 Yoğunluk (Özgül Ağırlık)

Mineral dolgu maddelerinin yoğunlukları(özümlü ağırlığı) geniş bir aralık içinde farklılaşabilmesine rağmen, ahşap-plastik kompozit malzemeler içinde kullanılan dolgu maddelerinin yoğunluğu 2.1-2.2 (uçucu kül) ve 2,6-3,0 g/cm³ (kalsiyum karbonat, talk, kaolin, mika, kil) dolaylarında seyretmektedir.

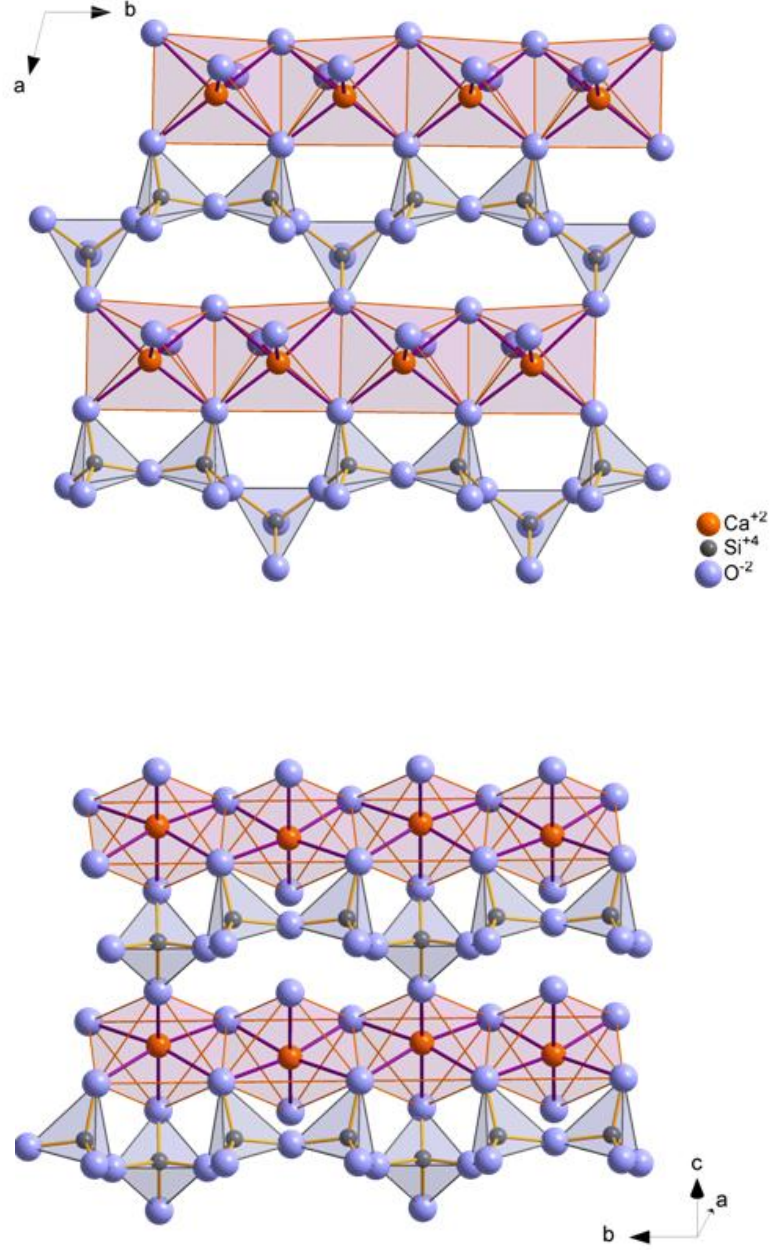
Çizelge 2. 6 Doldurulmuş plastik yoğunluğu üzerine dolgu maddelerinin özgül ağırlığa etkisi.

Plastik (Yoğunluk)	Dolgu Maddesi	Dolgu Maddesi İçeriği (w/w)	Dolgu maddeli plastiğin yoğunluğu (g/cm ³)
HDPE (0.96 g/cm ³)	Selüloz lifleri	20	1.01
		40	1.07
	CaCO ₃ veya talk	20	1.105
		40	1.30
Polipropilen (0.90 g/cm ³)	Selüloz lifleri	20	0.96 ^a
		40	1.03 ^a
	CaCO ₃ veya talk	20	1.04
		40	1.24 ^a

Selüloz elyaf (odun unu, pirinç kabuğu) genellikle 1.3 g/cm³ özgül ağırlığa sahip; kalsiyum karbonat ve talk genellikle 2.8 g/cm³ özgül yoğunluğa sahiptir. Yukarıdaki tabloda, odun lifine kıyasla dolgu plastiklerin yoğunluğa etkisini göstermektedir. Görüldüğü üzere %20-40 mineral dolgu maddesi mevcudiyeti HDPE 'nin ve PP 'in yoğunluğunu arttırmaktadır.

2.6.2 Mineral dolgu maddesi çeşitleri ve özellikleri

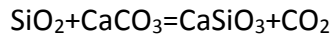
2.6.2.1 Doğal Kalsiyum Silikat (Wollastonite)



Şekil 2. 27 Wollastonitin moleküler yapısı [12]

Wollastonite genel kimyasal bileşimi, CaO (% 40-50), SiO₂ (% 40-50) ve Fe₂O₃, Al₂O₃, MgO, MnO ve TiO₂'nin minör fraksiyonlarıdır. Özgül ağırlığı (yoğunluk), 2.9 g/cm³ civarındadır. Sertliği 4,5 olup, özgül yüzey alanı 0,4 ve 4 m²/g , yağ absorpsiyonu 20 ve 50 g/100 g arasında olmakla beraber wollastonitin tipik nem içeriği% 0.2 'den düşüktür. [13]

Kimyasal reaksiyon şu şekilde yazılabilir:



Kuvars ve kalsit, düşük sıcaklıkta (450-600 °C) wollastonit oluşturur. CO₂ 'ten dolayı wollastonit oluşumu ile basınç artar ve bu yüzden reaksiyonun devam etmesi için yüksek sıcaklık artışları söz konusu olur.

Wollastonitin kullanım alanları;

- Seramik Sanayi
- Boya Sanayi
- Plastik Sanayi
- Aşındırıcı olarak kullanılır
- Mineral yün elde etmek için kullanılır
- Kaplama işleri
- Cam sanayi
- Diğer kullanımlar

Teknolojik özellikleri;

- Sertlik; 4,5-5
- Yoğunluk; 2,8-3,09 g/cm³

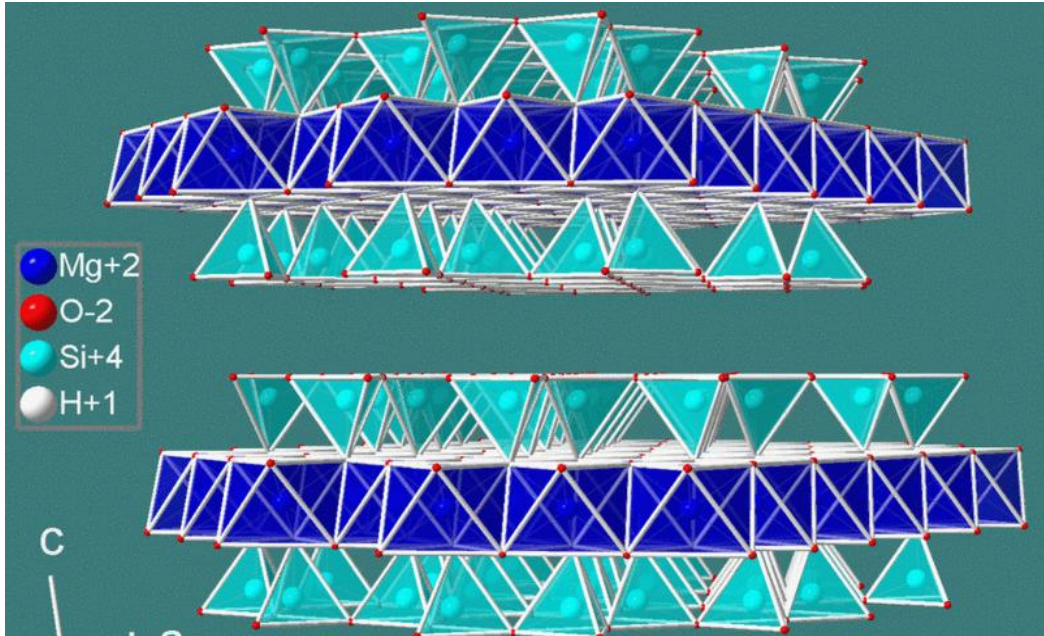
- Erime noktası; 1540 °C
- Nem içeriği max. :% 4
- Kırılma indisi:% 1,616-1,631

Mineralojik ve petrografik özellikleri;

- Monoklinik ve triklinik kristal sisteme sahiptir
- Genellikle beyaz, bazen krem ve gri renklerde
- Camsı, şeffaf, yarı-şeffaf parlaktır.

Bu mineral sertlik, darbe, çizilme direnci, genişleme-daralma, düşük termal katsayısı ve alev geciktirici gibi özelliklerinden ötürü pek çok plastik uygulamalarında dünya çapında kullanılmaktadır. [7]

2.6.2.2 Talk



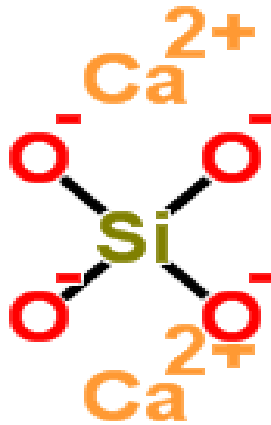
Şekil 2. 28 Talkın moleküler kristal yapısı [12]

Talk doğal bir mineraldir (kimyasal formül $Mg_3Si_4O_{10}(OH)_2$ - molekül ağırlığı 379,26'dır). Temel olarak iki tetrahedral silis tabakası arasına sıkıştırılmış magnesium-oxygen/hydroxyl oktahedra bir tabakadan oluşmaktadır. Talk kokusuzdur; suda, zayıf asit ve alkalide çözünmez. Talkın bazı organik kimyasallar için belirgin bir afinitesi olmasına rağmen, genellikle çok az kimyasal dayanıklılığa sahiptir. Patlayıcı ve yanıcı bir madde değildir. 900 °C'in üstünde, talk kademeli olarak hidroksil grupları kaybeder ve 1050 °C üzerinde, bu enstatit çeşitli şekilleri içine yeniden-kristalleşir(susuz magnezyum silikat).Talk, erime noktası 1500 °C'dır. Endüstriyel ve evsel uygulamalar için eşsiz bir malzeme olan talkın beş ana özellikleri şunlardır:

- 1-Şeffaflık
- 2- Yumuşaklık (yağlı ve aşındırıcı değil)
- 3-Organik kimyasallar için afinite
- 4-Beyazlık
- 5-Durağandır.

2.6.2.3 Kalsiyum Silikat

Kalsiyum silikat, Ca_2SiO_4 kimyasal bileşik olup, ayrıca kalsiyum ortosilikat ve bazen formülü $2CaO.SiO_2$ olarak bilinir. Kalsiyum ortosilikat düşük yığın yoğunluğu ile beyaz ve yüksek fiziksel su emme özelliğine sahip bir tozudur.



Şekil 2. 29 Ca_2SiO_4 'in yapısı

Avantajları ve özellikleri;

- Düşük ısı iletkenliği
- Yüksek ısı direnci
- Düşük termal çekme dayanımı
- Düşük yoğunluk
- Kükürt içermeyen ve düşük demir içeriği
- Koruyucu gaz direnci (CO, NH₃, H₂ ve CH₄)

Uygulama Alanları;

- Demir ve çelik sanayi: eritme, haddeleme ve ısıtma uygulamalarında.
- Seramik sanayi: tünel veya kamara tip fırınlar arka yalıtım uygulamaları
- Cam Sanayi: Eritme fırınlarında ve soğutma kanalları
- Çimento Endüstrisi: Isı değiştiriciler, siklon karıştırıcılar ve kalsinasyon fırınlarında
- Kimya ve petrokimya endüstrisi: Termik ayrışma reaktörleri ve işleme birimleri
- Alüminyum Sanayi: Erime, yalıtım [7]

2.6.2.4 Kalsine Kaolin

Kalsine Kaolin, bir fırında yüksek sıcaklıklara ultra ince doğal kaolin ısıtarak üretilmiş susuz alüminyum silikattır. Kalsinasyon işlemi, beyazlık ve sertliği artırır, elektriksel özellikleri geliştirir ve boyut ve kaolin parçacıklarının şeklini değiştirir.

Özellikleri şunlardır;

- Partikül şekli: düzensiz, yüzey boşlukları ile
- Özgül ağırlık: 2,6 g/cm³

- Kırılma indeksi: 1.56
- MOH sertliği: 4-5
- Nem (maks.%): 0,5
- PH: 6-8 [7]

2.6.2.5 Perlit

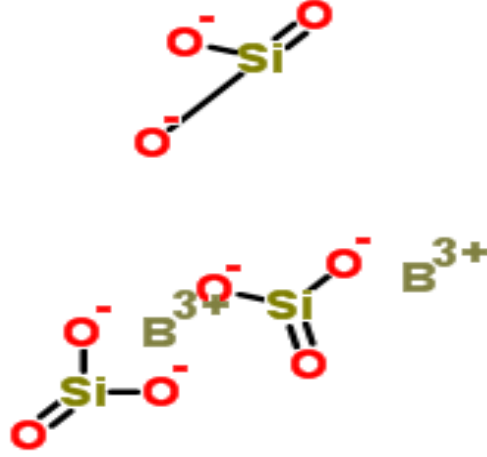
Genleştirilmiş perlit kullanımı çok çeşitlidir, öncelikle fiziksel ve kimyasal özelliklerine bağlıdır. Perlit kullanımı inşaat sektöründe önemli bir yere sahiptir. Birincil kullanım alanı ise yalıtım panelleridir. Farklı parçacık boyutları ve yoğunlukları, farklı ürünlerin sayısız bir dolgu olarak kullanılmasına izin vermektedir. Perlit, iyi bir inorganik yalıtım malzemesi olup, çürümez ve yanıcı bir madde değildir. Nötr pH derecesine sahip olduğundan korozyona uğramaz. Çelik, döküm, refrakter bloklar ve tuğla üretiminde uygulama alanı bulmaktadır. [7]

Bileşik	Yüzde oranı (%)
SiO ₂	71–75
Al ₂ O ₃	12.5–18
Na ₂ O	2.9–4.0
K ₂ O	4.0–5.0
CaO	0.5–2.0
Fe ₂ O ₃	0.1–1.5
MgO	0.03–0.5
TiO ₂	0.03–0.2
MnO ₂	0.0–0.1
SO ₃	0.0–0.1
FeO	0.0–0.1
Ba	0.0–0.1
PbO	0.0–0.5
Cr	0.0–0.1

Şekil 2. 30 Perlitin kimyasal kompozisyonu [7]

2.6.2.6 Boraks

Boraks, monoklinik sistemde kernit, kolemanit ve üleksit olarak kristalizedir. Boraks saydam kristaller ve kristal büyüklükleri net olan bir beyaz camsı kütle olarak ortaya çıkmaktadır. Suda kolayca çözünür. Sertlik derecesi 2 ile 2.5 arasında değişir. [14]



Şekil 2. 31 Boron silikatın yapısı

2.6.2.7 Halloysit

- Kimyasal bileşimi: $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5 (\text{OH})_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$
- Kristal Sistemi: monoklinik
- Kristal Formu: Ultra-mikroskobik kristalleri oluştururlar
- Sertlik: 2-2,5
- Özgül ağırlık: 2-2,2
- Renk ve Şeffaflık: Renksiz, kırmızımsı, kahverengi, bazen sarımsı, mavimsi beyaz renkli, saydam veya yarı saydam. [7]

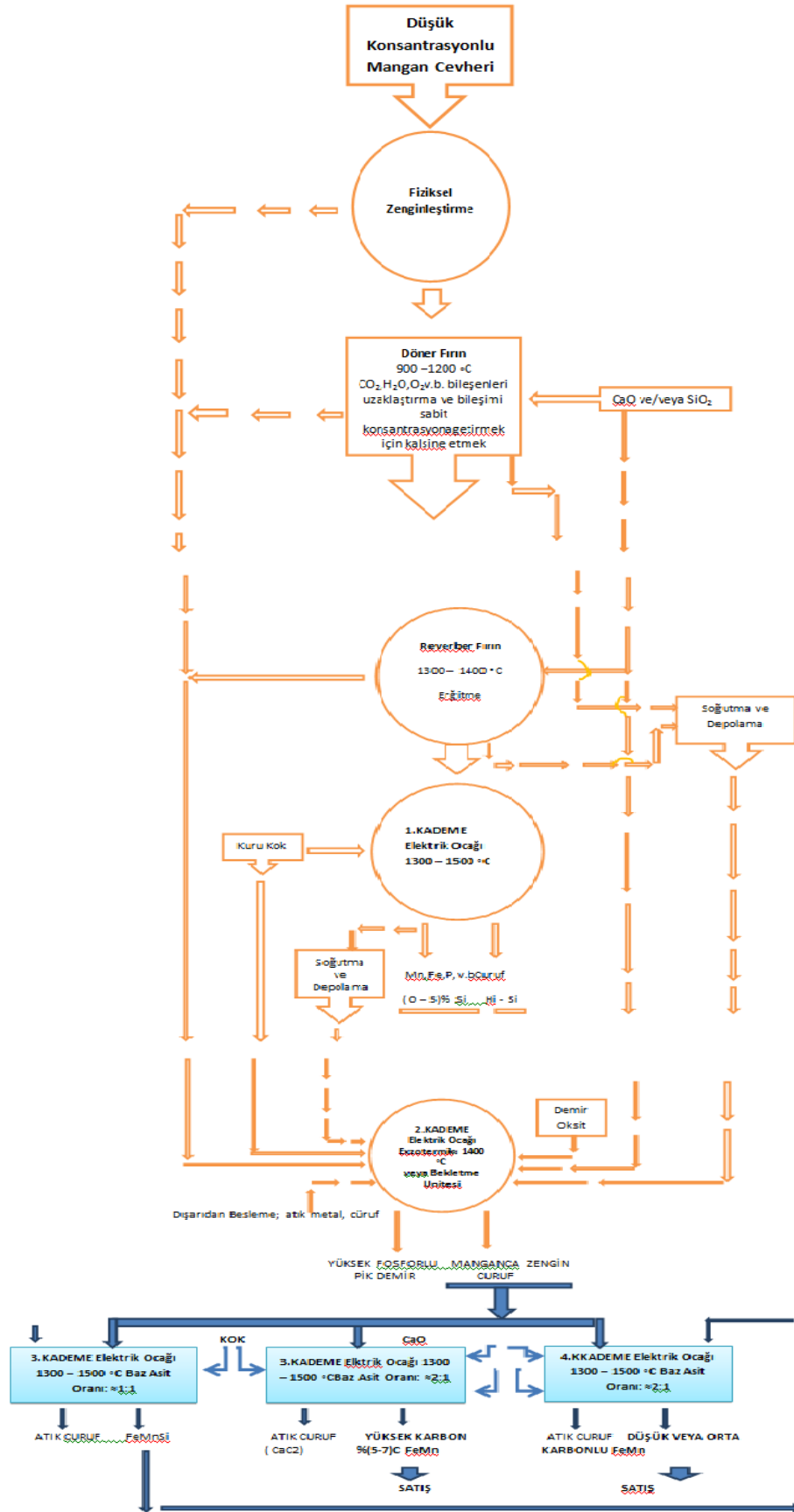
MATERYAL VE YÖNTEM

3.1 Materyal

Denemelerde kullanılan ahşap plastik kompozitlerin üretiminde endüstriyel odun unu kullanılmıştır. Pimapen A.Ş. tarafından hazırlanan bu odun unları 100°C’de 24 saat %1-2 rutubete kadar kurutulduktan sonra plastik torbalara konarak ağızları sıkıca kapatılmıştır.

Plastik hammadde olarak Pektim’den temin edilen HDPE (yüksek yoğunluklu polietilen) kullanılmıştır. Teknik özellikleri; $T_m = 160^{\circ}\text{C}$, $\rho = 0.9 \text{ g/cm}^3$, MFI/230 °C/2.16 kg = 6.5 g/10 dak.dır. Uyum sağlayıcı madde olarak Pluss Polymer (Hindistan) firmasından temin edilen (coupling agent) Maleic anhydride-grafted PE (MAPE-OPTIM-415; the reactive modifier maleic anhydride (MAH content = 1 wt.%) kullanılmıştır. Bu ahşap kompozit malzemenin üretiminde katkı maddesi olarak, Yıldız Teknik Üniversitesi Metalürji ve Malzeme Mühendisliği Mineral Laboratuvarından temin edilen eşit oranlarda CaO, SiO₂, MnO kullanılmıştır. Bu inorganik madde ferromangan üretimi sonucu oluşan bir cüruftur. Ferromangan üretim prosesi Şekil 3. 1 ’de verilmiştir. Şekil 3.2 de ise açığa çıkan cüruf gösterilmiştir.

Deneme levhalarının üretiminde, biri kontrol olmak üzere toplam 4 grup deney numuneleri üretilmiştir. %100 HDPE’den oluşan kontrol örneklerinin üretimindeki amaç, üretilecek olan ahşap plastik kompozit malzeme örnekleriyle kıyaslama yapmaktır. Üretilen ahşap plastik kompozit malzemelerin karışım oranları Çizelge 3. 1’de verilmiştir.



Şekil 3. 1 Ferromangan üretim prosesi [15]



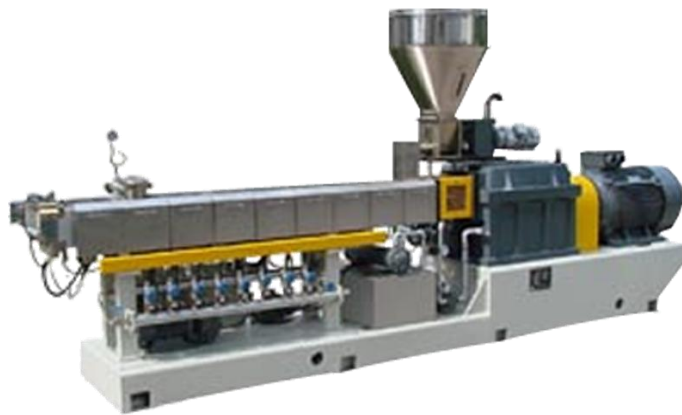
Şekil 3. 2 Ferromangan üretimi sonunda açığa çıkan cüruf (Ekerim, 2013)

Çizelge 3. 1 Katkı maddeli Ahşap plastik kompozit malzeme üretim dizaynı

Ahşap plastik kompozit malzeme deney grup numarası	Endüstriyel odun unu (%)	Yüksek yoğunluklu polietilen(HDPE) (%)	Uyumlaştırıcı Madde (MAPE) (%)	Eşit oranlarda CaO,SiO ₂ ,MnO katkı maddesi (%)	Genel toplam (%)
Kontrol	-	100	-	-	100
1	50	47	3	-	100
2	40	47	3	10	100
3	30	47	3	20	100

Ahşap Plastik Kompozit Malzeme Üretimi

Odun unu, yüksek yoğunluklu polietilen granüller, cüruf (CaO,SiO₂,MnO) inorganik katkı maddesi ve uyumlaştırıcı Tablo 1’de belirtilen oranlarda çift vidalı aynı yöne dönen 30 mm çapında konik ekstrüderin besleme ağzından konmuşlardır (L/D:30). Kovan içerisindeki karışım bir taraftan homojen bir şekilde ilerlerken ekstrüderin çıkış kısmından burgu şeklinde çıkmışlardır. Ekstrüder içerisindeki giriş ve çıkış sıcakları 170-200°C arasında tutulmuştur. Elde edilen materyal kırıcı da kırılarak peletler (granül) elde edilmiştir. Bu peletler kurutma fırınında 80°C de 3-4 dk kurutulduktan sonra plastik torbalarda konarak ağzıları sıkıca kapatılmıştır.



Şekil 3. 3 Ekstrüder makinesi [12]



Şekil 3.432 Burguların kırılmasıyla elde edilen peletler (Yağan, 2013)

Bunu takiben kurutulan peletler enjeksiyon makinesinin besleme ağzına dökülerek kalınlığına şişme, eğilme ve çekme kalıplarına basılmışlardır. Enjeksiyon makinesinin pelet besleme ağzı ile çıkış sıcaklığı arasındaki sıcaklık değişimi 170-200°C arasında, enjeksiyon basıncı 45-50 kg/m² ve soğutma zamanı 30 saniye tutulmuştur. Elde edilen numuneler ASTM D 618-08 standardına göre 23 ± 2°C ve 50 ± 5% bağıl nemde kondisyonlanmışlardır.



Şekil 1. 5 Üretimde kullanılan enjeksiyon makinesi (Yağan, 2013)



Şekil 3. 6 Denemelerde üretilen ahşap plastik kompozit örnekler (Yağan, 2013)

3.2 Yöntem

Üretilen numuneler üzerinde yoğunluk (birim hacim ağırlığı), çekme direnci ve kopmada uzama, TGA (termogravimetrik analiz), eğilme direnci, elastikiyet modülü, kalınlığına şişme ve su alma deneyleri yapılmıştır.

3.2.1 Birim Hacim Ağırlığı

ASTM D 570-98 ISO 62 standartlarına göre üretilen daire şeklindeki deney numuneleri üzerinde yoğunluk testi yapılmıştır. Deney numuneleri 20 ± 2 C° ve $\%65 \pm 5$ bağıl nemde klimatize edilmiştir. Numunelerin ağırlıkları 0,01 gr hassasiyetle tartılmış, 0,01 mm hassasiyetli dijital mikrometre ile kalınlıkları ölçülmüştür. Numunelerin çapları 0,01 mm hassasiyetli dijital kumpas ile ölçülmüştür. Daire şeklindeki numunelerin hacmi hesaplanmıştır. [16]



Şekil 3. 7 Denemelerde kullanılan hassas tartı ve mikrometre (Yağan, 2013)



Şekil 3. 8 Yoğunluk testi için kullanılan numuneler (Yağan, 2013)

Deney numunelerinin yoğunlukları aşağıdaki formüle göre hesaplanmıştır.

$$D = \frac{m}{V} \quad (3. 1)$$

D: Yoğunluk (gr/cm³)

m: Ağırlık (gr)

V: Hacim (cm³)

Her grup için alınan 7 yoğunluk numunesi için bulunan değerlerin aritmetik ortalaması alınarak ortalama yoğunluk bulunmuştur.

3.2.2 2-24 Saat, 1-2 hafta ve 30 gün Su İçerisinde Bekletme Sonucu Kalınlığına Şişme

ASTM D 570-98 ISO 62 standartlarına göre üretilen deney numuneleri daire şeklindedir. Deney numuneleri 20 ± 2 C° ve % 65 ± 5 bağıl nemde klimatize edilmiştir. Her bir deney numunesinin kalınlığı köşegenlerin kesim noktasından 0,01 mm hassasiyetli mikrometre ile ölçülmüştür. Numuneler; birbirlerine, su tankının tabanına ve kenarlarına temas etmeyecek şekilde, dikine olarak her yeni deney başlangıcında temiz ve durgun, pH değeri 7 ± 1 ve sıcaklığı 20 ± 2 C° olan suyun içerisinde 2-24 saat, 1-2 hafta ve 30 gün bekletilmiştir. Her deneyin sonunda su değiştirilmiştir. Bekleme sürelerinin tamamlanmasının ardından deney numuneleri sudan çıkarılmış, fazla suları akıtılarak şişmiş haldeki kalınlığı, merkez noktasından ölçülmüştür. [16]

Her bir numunenin kalınlığına şişme aşağıdaki formüle göre hesaplanmıştır.

$$G = \frac{t_2 - t_1}{t_1} \times 100 \quad (3.2)$$

G: Kalınlığına Şişme Oranı (%)

t_1 : Deney numunesinin suya daldırmadan önceki kalınlığı (mm)

t_2 : Deney numunesinin sudan çıkarıldıktan sonraki kalınlığı (mm)



Şekil 3. 9 Denemelerde kullanılan su tankı (Yağın, 2013)

Her bir grup için alınan 7 kalınlığına şişme numuneleri 2-24 saat, 1-2 hafta ve 30 gün su içerisinde bekletildikten sonra şişme oranları tek tek hesaplanmış ve bulunan değerlerin aritmetik ortalaması alınarak kalınlığına şişme oranı bulunmuştur.



Şekil 3. 10 Kalınlığına şişme ve su alma testi için kullanılan kontrol numuneleri (Yağın, 2013)

3.2.3 2-24 Saat, 1-2 hafta ve 30 gün Su İçerisinde Bekletme Sonucu Su Alma

ASTM D 570-98 ISO 62 standartlarına göre üretilen deney numuneleri daire şeklindedir. Deney numuneleri 20 ± 2 C° ve % 65 ± 5 bağıl nemde klimatize edilmiştir. Her bir deney numunesinin kalınlığı köşegenlerin kesim noktasından 0,01 mm hassasiyetli mikrometre ile ölçülmüştür. Numuneler; birbirlerine, su tankının tabanına ve kenarlarına temas etmeyecek şekilde, dikine olarak her yeni deney başlangıcında temiz ve durgun, pH değeri 7 ± 1 ve sıcaklığı 20 ± 2 C° olan suyun içerisinde 2-24 saat, 1-2 hafta ve 30 gün bekletilmiştir. Her deneyin sonunda su değiştirilmiştir. Bekleme sürelerinin tamamlanmasının ardından deney numuneleri sudan çıkarılmış, fazla suları akıtılarak şişmiş haldeki kalınlığı, merkez noktasından ölçülmüştür. Bekleme sürelerinin tamamlanmasının ardından deney numuneleri sudan çıkarılmış, fazla suları akıtılarak şişmiş haldeki ağırlığı, hassas tartıyla ölçülmüştür. [16]

Her bir numunenin su alma oranı aşağıdaki formüle göre hesaplanmıştır.

$$G = \frac{W_2 - W_1}{W_1} \times 100 \quad (3.3)$$

G: Su alma Oranı (%)

w_1 : Deney numunesinin suya daldırmadan önceki ağırlığı (gr)

w_2 : Deney numunesinin sudan çıkarıldıktan sonraki ağırlığı (gr) [14]

Her bir grup için alınan 7 su alma numuneleri 2-24 saat, 1-2 hafta ve 30 gün su içerisinde bekletildikten sonra su alma oranları tek tek hesaplanmış ve bulunan değerlerin aritmetik ortalaması alınarak kalınlığına şişme oranı bulunmuştur.

3.2.4 Statik Eğilme Direnci

Ahşap plastik kompozit malzemelerin eğilme direnci, kullanımı etkileyen özelliklerinden biridir. Bu nedenle bütün ülkeler standartlarında eğilme direncinin saptanmasına ilişkin yöntemler ve bu özelliğin belirli miktarların altına düşmesini önleyici tedbirler getirilmiştir. Ahşap plastik kompozit malzemelerin eğilme direnci; ağaç türüne, ahşap

plastik kompozit malzemenin yoğunluğuna, ahşap plastik kompozit malzemenin yoğunluk profiline ve özellikle lif uzunluğuna bağlıdır.

Deney ASTM D 790 ISO 178 da belirtilen esaslara göre yapılmıştır. İki dayanak noktası üzerine serbest olarak yerleştirilen bir deney numunesine, orta yerinden bir kuvvet uygulanarak eğilme dayanımı tayin edilmiştir. Deney, % 65 nispi rutubet ve 20 C° sıcaklıkta değişmez ağırlığa gelinceye kadar kondisyonlanmış numuneler üzerinde yapılmıştır.



Şekil 3. 11 Eğilme direnci testi için kullanılan numuneler (Yağan, 2013)

Kuvvet deney boyunca sabit hızla uygulanmış ve yükleme başlığının hızı en büyük kuvvete ulaşılacak şekilde ayarlanmıştır. Numunenin kırılmasında uygulanacak en büyük kuvvet 1 N yaklaşımla deneme makinesinin ekranından okunarak kaydedilmiş ve eğilme direnci 1 N/mm² yaklaşımla şu formülle hesaplanmıştır. [17]

$$f_m = \frac{3 \cdot F_{\max} \cdot L_s}{2 \cdot b \cdot a^2} \quad (3. 4)$$

Burada ;

f_m : Eğilme direnci (N/mm²)

$F_{\max}$: Kırılma anındaki maksimum kuvvet (N)

L_s : Dayanak noktaları arasındaki uzaklık (mm)

b : Numune genişliği (mm)

a : Numune kalınlığı (mm)

3.2.5 Eğilmede Elastikiyet Modülü

Eğilmede elastikiyet modülü, ahşap plastik kompozit malzemelerin önemli mekanik özelliklerinden birisi olup, bu özelliğin bazı kullanım yerleri için bilinmesi gerekmektedir. Eğilme direncini etkileyen etkenler elastikiyet modülünü de etkilemektedir. Eğilmede elastikiyet modülü; kuvvet –eğim diyagramının doğru oranlılık bölgesi içinde kalmak kaydıyla deney parçasına giderek artan bir kuvvet uygulanması esnasında net eğilme sahasındaki eğim ölçülmek suretiyle belirlenir.

Deney, ASTM D 790 ISO 178 standardına göre yapılmıştır. Numuneler universal ağaç malzeme test makinesinde çapları 15 mm olan silindirik dayanaklara boyuna eksen, dayanak silindirleri eksenlerine dik olacak biçimde serbest olarak yerleştirilmiştir. Böylece deney numunesinin enine eksen ile kuvvet uygulama başlığının düşey eksen aynı düzlemde olur. Dayanak açıklığı numune kalınlığının 20 katı olacak şekilde ve 1 mm yaklaşımla ayarlanmıştır.

Kuvvet silindiri numune üzerine temas ettiği anda makinenin ekranında kuvveti ve deformasyonu gösteren yerler sıfırlanmıştır. Daha sonra uygulama başladıktan sonra maksimum kuvvetin %10' un da ve % 40 'ın da numune ortasında meydana gelen eğimler, makinenin ekranından 0,01 mm hassasiyetle okunmuştur. Böylece yük-eğim diyagramının doğru oranlılık bölgesindeki yük artışı ve bu yük artışlarına karşılık gelen eğim artışı formülde yerine koyarak eğilmede elastikiyet modülü hesaplanmıştır. Bu işlem kuvvet uygulamasının başlamasından itibaren 60 ± 30 saniye içinde tamamlanmalıdır. [17]



Şekil 3. 12 Eğilmede elastikiyet modülü testleri için kullanılan kontrol numuneleri
(Yağan, 2013)

Her deney numunesinin eğilmede elastikiyet modülü formülü,

$$E_M = \frac{(F_2 - F_1) \cdot L_s^3}{4 \cdot b \cdot a^3 \cdot (a_2 - a_1)} \quad (3. 5)$$

Burada ;

E_M : Eğilmede elastikiyet modülü (N / mm²)

L_s : Dayanak açıklığı (mm)

b : Numune genişliği (mm)

a : Numune kalınlığı (mm)

$F_2 - F_1$: Yük-eğim diyagramı oranlılık bölgesindeki yük artışı

$a_2 - a_1$: $F_2 - F_1$ kuvvet artışları nedeniyle deney parçası uzunluğunun ortasında meydana gelen eğim artışı

3.2.6 Çekme Direnci ve Kopmada Uzama Deneyi

Deney ASTM D 638 ISO 527-1 standardına göre yapılır. Her bir numune % 65 nispi rutubet ve 20 C° sıcaklıkta değişmez ağırlığına gelinceye kadar kondisyonlanmış olmalıdır.



Şekil 3. 13 Çekme direnci testi için kullanılan numuneler (Yağan, 2013)

Deney, deney makinesinin hareketli üst ve alt başlarına takılan kavrama çeneleri aracılığı ile yapılır. Numuneler her iki ucundan universal ağaç malzeme test makinesinin kavrama çenelerine tutturularak ters yönde çekilir ve çekme hızı makinenin hareketli başlığı dakikada 4 mm ilerleyecek şekilde ayarlanır. Numunenin orta kısmından kopması anındaki maksimum kuvvet makinenin ekranından kaydedilip numunenin orta kısmındaki kesit yüzeyine bölünmek suretiyle çekme direnci bulunur.



Şekil 3. 14 Denemelerde kullanılan çekme direnci cihazı (Yağan, 2013)

Çekme direnci 1 N/mm² hassasiyetle şu formülle hesaplanır:

$$\sigma_{//} = \frac{F_{\max}}{F} \quad (3.6)$$

$F_{\max}$: Kopma anındaki maksimum kuvvet (N)

F : Numune orta kısmının enine kesit alanı (mm²)

Çekme numunesinin boyunda meydana gelen en yüksek yüzde, plastik uzama oranı olarak tanımlanır. Çekme deneyine tabi tutulan numunenin kopan kısımlarının bir araya getirilmesi ile son boy ölçülür ve boyda meydana gelen uzama

$$\Delta L = L_k - L_0 \quad (3.7)$$

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

$$KU(\%) = \frac{\Delta L}{L_0} \times 100 \quad (3.8)$$

bağıntısı yardımıyla belirlenir. Bu değer malzemenin sünekliğini gösterir. [18]



Şekil 3. 15 Çekilen kontrol örneği (Yağan, 2013)

3.2.7 Termogravimetrik Analiz (TGA)

Tez kapsamında üretilen kompozit malzemelerin TGA analizleri (Thermogravimetric Analysis), İstanbul Üniversitesi Orman Endüstri Mühendisliği Bölümü “Nanoteknoloji Laboratuvarı” ve “Termal Analiz Laboratuvarı’nda” gerçekleştirilmiştir. Termal analizler,TGA/DTA (Seiko Instruments Inc. – SII NanoTechnology Inc., Japan)cihazında yapılmıştır.

Numuneler keskin bıçak yardımıyla küçük parçalara ayrıldıktan sonra hassas terazide tartılır. Numunelerin ağırlığının 5-10 mgr aralığında olmasına dikkat edilmelidir. Tarama sıcaklığı 22-500 °C arasındadır. Cihazdaki sıcaklık artımı dakikada 10 °C’tır. Cihaz içinde, inert ortam hazırlayan ve diğer etkenleri elimine eden Azot (N₂) gazı kullanılmıştır.



Şekil 3. 16 Denemelerde kullanılan TGA cihazı (Yağan, 2013)

BÖLÜM 4

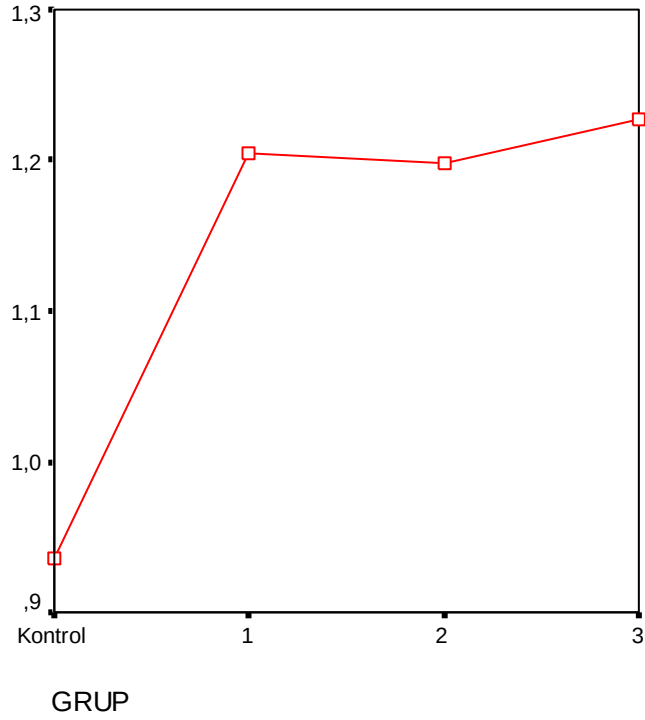
BULGULAR

4.1 Birim Hacim Ağırlığı

Bu deney sonucunda Çizelge 4.1’ de bütün grupların yoğunluklarının aritmetik ortalamaları ve standart sapmaları verilmiştir. Ayrıca bu yoğunluk dağılımların grafiksel gösterimi de Şekil 4. 1’de gösterilmiştir.

Çizelge 4. 1 Ahşap plastik kompozit malzemelere ait yoğunluk değerleri

Grup	Örnek Sayısı	Ortalama (g/cm ³)	Standart Sapma	Minimum Yoğunluk Değeri (g/cm ³)	Maksimum Yoğunluk Değeri (g/cm ³)
Kontrol	7	0,9359	0,01438	0,91	0,95
1	7	1,2046	0,03434	1,16	1,26
2	7	1,1984	0,02166	1,17	1,23
3	7	1,2266	0,01749	1,21	1,25



Şekil 4. 133 Gruplara göre yoğunluk ortalamaları dağılımı

Elde edilen verilerde kimyasal katkı ahşap plastik kompozit malzemelerin yoğunluğunun %100 HDPE'den üretilen numunelerin yoğunluğundan daha yüksek olduğu görülmüştür. Ancak istatistiksel anlamda katkı maddesi oranlarının yoğunluk üzerinde anlamlı bir farklılığa sebep olup olmadığı SPSS paket programında Post-Hoc analizi olan Duncan testiyle belirlenmiştir Sonuçlar Çizelge 4. 2'de verilmiştir.

Çizelge 4. 2 Yoğunluk ortalamalarının Duncan test sonuçları

GRUP	N	α için alt değer = 0.05		
		1	2	3
Kontrol	7	0,9359		
2	7		1,1984	
1	7		1,2046	1,2046
3	7			1,2266
Önem derecesi		1,000	0,623	0,090

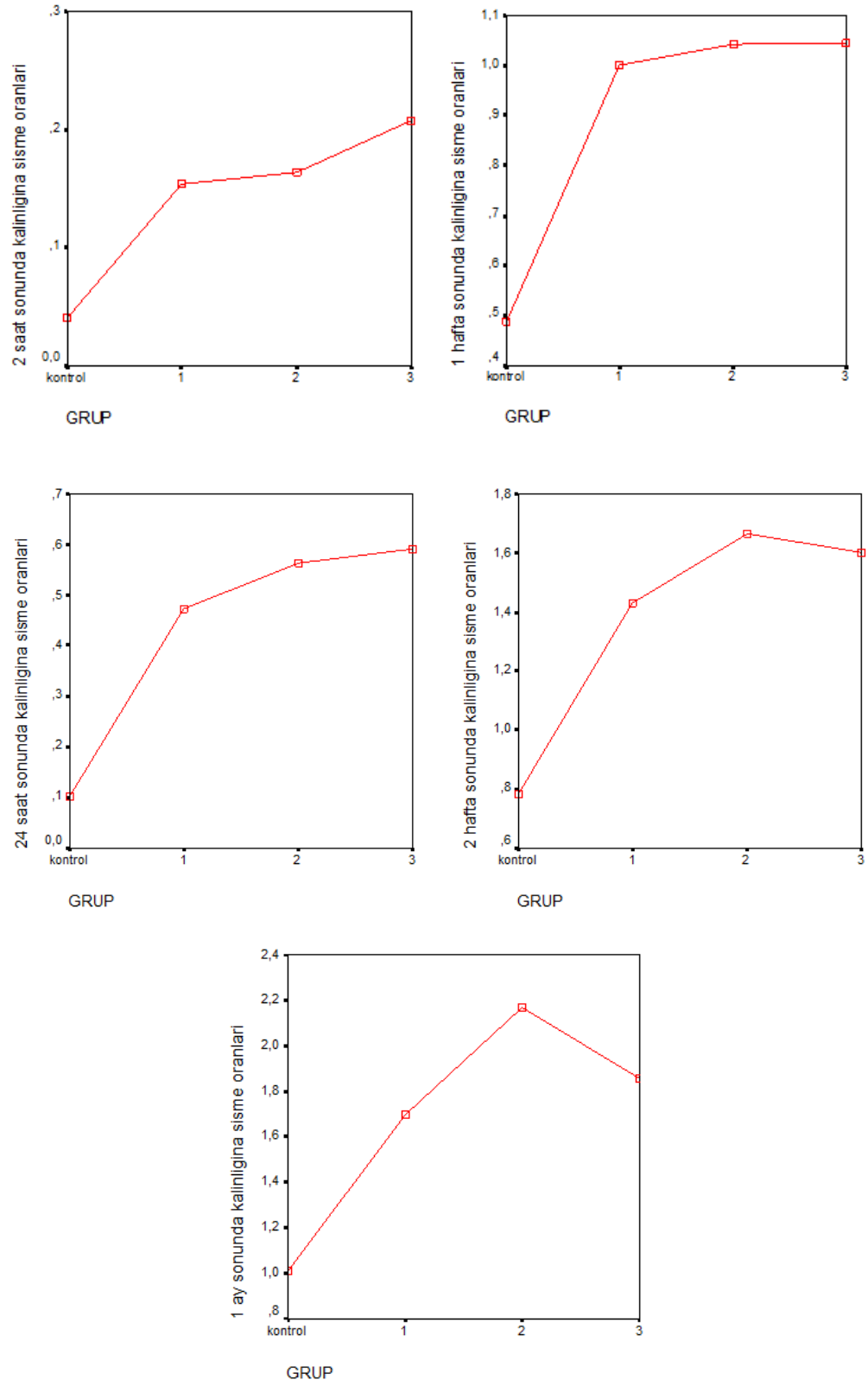
Çizelge 4. 2’de görüldüğü gibi Duncan testine göre 3 farklı grup oluşmaktadır. Kontrol numuneleri yoğunluk bakımından ayrı bir grup oluştururken 1 no’lu grup yani saf ahşap plastik kompozit malzeme hem 2 no’lu (%10 cüruf katkılı ahşap plastik kompozit) hem de 3 no’lu (%20 cüruf katkılı ahşap plastik kompozit) farklı birer grup oluşturmuştur. Bu demektir ki istatistiksel anlamda saf ahşap plastik kompozit malzemeye % 10 ve % 20 cüruf katılması yoğunluğa anlamlı bir farklılık katamamıştır. Ancak katkılı ahşap plastik kompozit malzemeler, kontrol numunelerinden yoğunluk bakımından farklıdır.

4.2 2-24 Saat, 1-2 hafta ve 30 gün Su İçerisinde Bekletme Sonucu Kalınlığına Şişme

Kalınlığına şişme denemelerinde 2-24 saat, 1-2 hafta ve 30 gün içerisinde suda bekletme sonucu elde edilen verilere bakılarak genel itibariyle yüzde olarak kalınlığa şişme oranlarının oldukça küçük olduğu görülmüştür (Çizelge 4. 3). Ayrıca cüruf miktarı arttıkça kalınlığına şişme oranı saf ahşap plastik kompozit malzemeye göre artmıştır. Bu değişim Şekil 4. 2’de gösterilmiştir.

Çizelge 4. 3 Denemelerde kullanılan numunelerin kalınlığına şişme oranları

	Grup	N	Ortalama (%)	Standart Sapma	Minimum Kalınlığına Şişme Oranı (%)	Maksimum Kalınlığına Şişme Oranı (%)
2 saat sonunda kalınlığına şişme oranı	Kontrol	7	0,0410	0,01547	0,03	,06
	1	7	0,1537	0,07083	0,06	,26
	2	7	0,1639	0,12204	0,00	,29
	3	7	0,2081	0,14402	0,06	,44
24 saat sonunda kalınlığına şişme oranı	Kontrol	7	0,1026	0,03276	0,06	0,14
	1	7	0,4734	0,23307	0,14	0,73
	2	7	0,5639	0,25500	0,23	0,97
	3	7	0,5908	0,22639	0,20	0,84
1 hafta sonunda kalınlığına şişme oranı	Kontrol	7	0,4881	0,08648	0,37	0,63
	1	7	1,0004	0,44331	0,35	1,39
	2	7	1,0419	0,20982	0,78	1,29
	3	7	1,0449	0,34830	0,29	1,34
2 hafta sonunda kalınlığına şişme oranı	Kontrol	7	0,7831	0,10236	0,65	0,95
	1	7	1,4315	0,38664	0,73	1,94
	2	7	1,6638	0,40741	0,98	2,06
	3	7	1,6023	0,30894	0,93	1,89
30 gün sonunda kalınlığına şişme oranı	Kontrol	7	1,0129	0,12713	0,88	1,24
	1	7	1,6976	0,54383	0,76	2,45
	2	7	2,1690	0,79322	1,27	3,82
	3	7	1,8565	0,39238	1,04	2,16



Şekil 4. 2 Grupların zamana göre kalınlığına şişme oranlarının dağılımı

Çizelge 4. 3'deki ortalamalar farklılık görülse de, istatistiksel anlamda grupların farklı olup olmadığı SPSS paket programında Post-Hoc analizi olan Duncan testiyle belirlenmiştir Sonuçlar Çizelge 4. 4'de verilmiştir.

Çizelge 4. 4 Kalınlığına şişme oranlarının Duncan test sonuçları

2 saat sonunda kalınlığına şişme oranı

GRUP	N	α için alt değer = 0.05	
		1	2
Kontrol	7	0,0410	
1	7		0,1537
2	7		0,1639
3	7		0,2081
Önem derecesi		1,000	0,352

24 saat sonunda kalınlığına şişme oranı

GRUP	N	α için alt değer = 0.05	
		1	2
Kontrol	7	0,1026	
1	7		0,4734
2	7		0,5639
3	7		0,5908
Önem derecesi		1,000	0,327

1 hafta sonunda kalınlığına şişme oranı

GRUP	N	α için alt değer = 0.05	
		1	2
Kontrol	7	0,4881	
1	7		1,0004
2	7		1,0419
3	7		1,0449
Önem derecesi		1,000	0,799

2 hafta sonunda kalınlığına şişme oranı

GRUP	N	α için alt değer = 0.05	
		1	2
Kontrol	7	0,7831	
1	7		1,4315
3	7		1,6023
2	7		1,6638
Önem derecesi		1,000	0,218

Çizelge 4. 4 devam

1 ay sonunda kalınlığına şişme oranı

GRUP	N	α için alt değer = 0.05	
		1	2
Kontrol	7	1,0129	
1	7		1,6976
2	7		1,8565
3	7		2,1690
Önem derecesi		1,000	0,123

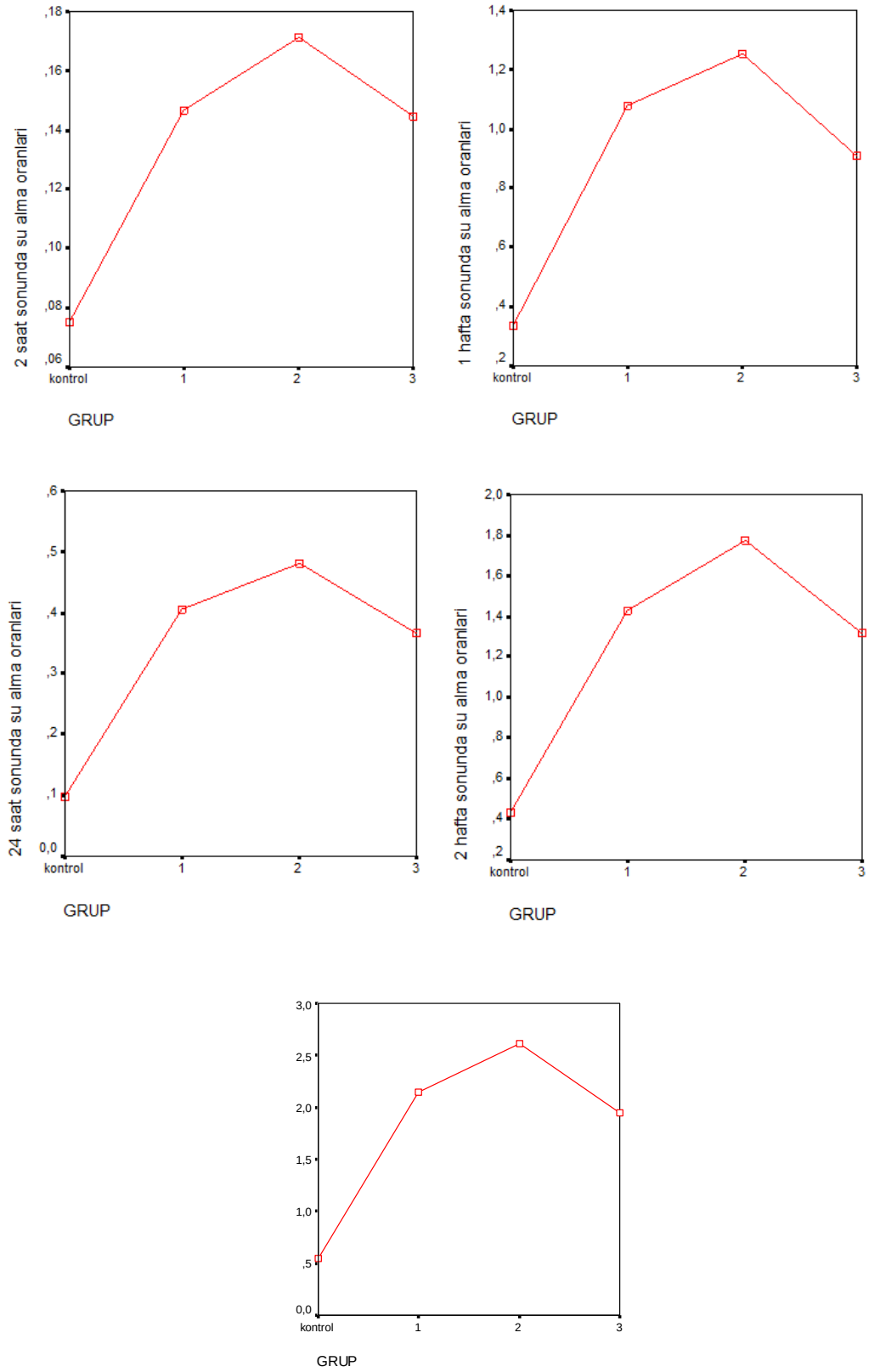
Çizelge 4. 4’de görüldüğü gibi Duncan testine göre, 2-24 saat, 1-2 hafta ve 30 gün sonunda kalınlığına şişme oranları bakımından 2 farklı grup vardır. Kontrol grubu kendi başına farklı bir grubu oluştururken, 1,2 ve 3 no’lu gruplar istatistiksel olarak aynı grup içerisinde yer almıştır. Bu demektir ki saf ahşap plastik kompozit malzemeye cüruf ilavesi 30 güne kadar kalınlığına şişme oranlarında istatistiksel olarak bir farklılığa sebep olmamıştır. Kontrol grubuna nazaran ahşap plastik kompozit malzemelerin kalınlığına şişme oranları daha yüksektir.

4.3 2-24 Saat, 1-2 hafta ve 30 gün Su İçerisinde Bekletme Sonucu Su Alma

Su alma denemelerinde 2-24 saat ve 1-2 hafta içerisinde suda bekletme sonucu elde edilen verilere bakılarak genel itibariyle yüzde olarak su alma oranlarının oldukça küçük olduğu görülmüştür (Çizelge 4. 5). Ayrıca % 20 cüruf katkılı ahşap plastik kompozit malzemenin su alma oranı, saf ahşap plastik kompozit malzemeye göre biraz daha düşüktür. Bu değişim Şekil 4. 3’de gösterilmiştir.

Çizelge 4. 5 Denemelerde kullanılan numunelerin su alma oranları

	Grup	N	Ortalama (%)	Standart Sapma	Minimum Su Alma Oranı (%)	Maksimum Su Alma Oranı (%)
2 saat sonunda su alma oranı	Kontrol	7	0,0752	0,17854	0,00	0,48
	1	7	0,1466	0,04568	0,06	0,20
	2	7	0,1712	0,05987	0,11	0,30
	3	7	0,1446	0,05983	0,09	0,24
24 saat sonunda su alma oranı	Kontrol	7	0,0976	0,17557	0,02	0,50
	1	7	0,4054	0,09876	0,22	0,51
	2	7	0,4806	0,14712	0,28	0,73
	3	7	0,3656	0,07740	0,27	0,44
1 hafta sonunda su alma oranı	Kontrol	7	0,3364	0,22405	0,14	0,67
	1	7	1,0765	0,19057	0,70	1,25
	2	7	1,2541	0,27622	0,93	1,79
	3	7	0,9075	0,13776	0,73	1,09
2 hafta sonunda su alma oranı	Kontrol	7	0,4346	0,26265	0,20	0,88
	1	7	1,4261	0,21215	1,02	1,61
	2	7	1,7741	0,37685	1,41	2,57
	3	7	1,3120	0,14061	1,14	1,47
30 gün sonunda su alma oranı	Kontrol	7	0,5442	0,25686	0,29	0,99
	1	7	2,1413	0,33050	1,49	2,43
	2	7	2,6097	0,54363	2,04	3,75
	3	7	0,5442	0,25686	1,71	2,27



Şekil 4. 3 Grupların zamana göre su alma oranlarının dağılımı

Çizelge 4. 5'deki ortalamalar farklılık görülse de, istatistiksel anlamda grupların farklı olup olmadığı SPSS paket programında Post-Hoc analizi olan Duncan testiyle belirlenmiştir Sonuçlar Çizelge 4. 6'da verilmiştir.

Çizelge 4. 6 Su alma oranlarının Duncan test sonuçları

2 saat sonunda su alma oranı

GRUP	N	α için alt değer = 0.05
		1
Kontrol	7	0,0752
3	7	0,1446
1	7	0,1466
2	7	0,1712
Önem derecesi		0,117

24 saat sonunda su alma oranı

GRUP	N	α için alt değer = 0.05	
		1	2
Kontrol	7	0,0976	
3	7		0,3656
1	7		0,4054
2	7		0,4806
Önem derecesi		1,000	0,132

1 hafta sonunda su alma oranı

GRUP	N	α için alt değer = 0.05		
		1	2	3
Kontrol	7	0,3364		
3	7		0,9075	
1	7		1,0765	1,0765
2	7			1,2541
Önem derecesi		1,000	0,151	0,132

2 hafta sonunda su alma oranı

GRUP	N	α için alt değer = 0.05		
		1	2	3
Kontrol	7	0,4346		
3	7		1,3120	
1	7		1,4261	
2	7			1,7741
Önem derecesi		1,000	0,424	1,000

Çizelge 4. 6 devam

1 ay sonunda su alma oranı

GRUP	N	α için alt değer = 0.05		
		1	2	3
Kontrol	7	0,5442		
3	7		1,9510	
1	7		2,1413	
2	7			2,6097
Önem derecesi		1,000	0,335	1,000

Çizelge 4. 6'daki sonuçlara göre, 2 saat sonraki su alma oranlarında gruplar arasında hiçbir farklılık olmadığı görülmüştür. 24 saatin sonunda kontrol grubu saf ahşap plastik kompozit malzeme ve diğer katkılı ahşap plastik kompozitlerden istatistiksel olarak farklılık göstermiştir. 1 haftanın sonunda, Kontrol numuneleri su alma oranı bakımından ayrı bir grup oluştururken 1 no'lu grup yani saf ahşap plastik kompozit malzeme hem 2 no'lu (%10 cüruf katkılı ahşap plastik kompozit) hem de 3 no'lu (%20 cüruf katkılı ahşap plastik kompozit) farklı birer grup oluşturmuştur. Bu demektir ki istatistiksel anlamda saf ahşap plastik kompozit malzemeye % 10 ve % 20 cüruf katılması 1 hafta sonunda su alma oranına anlamlı bir farklılık katmamıştır. 2 haftadan sonra 2 no'lu grup istatistiksel olarak farklı bir grup oluşturarak toplamda Duncan testine göre 3 grup meydana gelmiştir. Zaten görüldüğü gibi % 1,7741 oranıyla 2'nolu grup yüksek su alma oranıyla diğerlerinden ayrılmıştır. 30 gün sonunda da grupların sayısı ve dağılımı değişmemiştir.

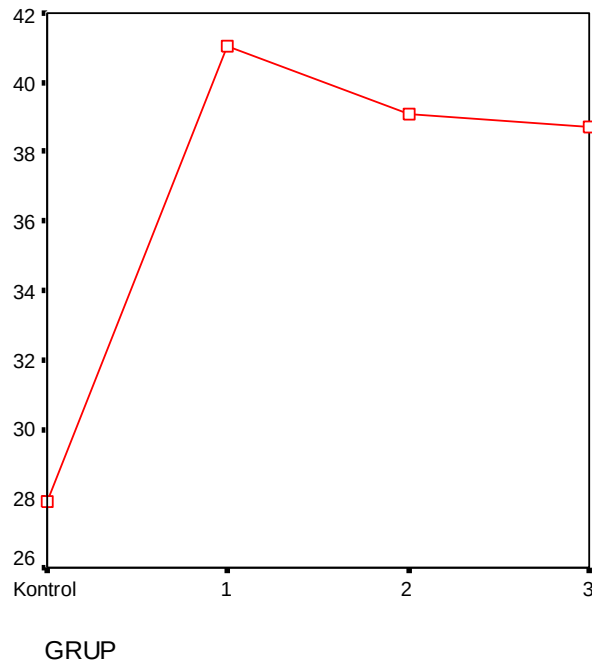
Çizelge 4. 6'da görülen %10'dan sonra cüruf miktarı arttıkça su alma oranının düşmesi hipotezi, Duncan testi sonucunda ret edilmiştir. Cüruf oranı %10 seviyesine ulaştığında, 2 hafta sonundaki su alma oranında istatistiksel anlamda farklılık yaratacak artış göstermiştir. Ancak, % 20 cüruf seviyesinde su alma oranında bir düşüş gözlemlense de istatistiksel anlamda saf ahşap plastik kompozit malzemedan bir farklılık göstermemiştir.

4.4 Statik Eğilme Direnci

Çizelge 4. 7’de görüldüğü gibi kimyasal katkı oranı arttıkça ahşap plastik kompozit malzemenin eğilme direncinde azda olsa bir düşüş görülmüştür. Şekil 4. 4’de bu düşüş gösterilmiştir. Ayrıca, saf ahşap plastik kompozit malzemenin eğilme direncinin de kontrol örneklerine göre oldukça yüksek olduğu görülmüştür.

Çizelge 4. 7 Ahşap plastik kompozit malzemelere ait eğilme direnci değerleri

Grup	Örnek Sayısı	Ortalama (N/mm ²)	Standart Sapma	Minimum Eğilme Direnci (N/mm ²)	Maksimum Eğilme Direnci (N/mm ²)
Kontrol	7	27,8898	1,66688	26,17	31,01
1	7	41,0498	3,42942	35,78	46,33
2	7	39,0871	3,70986	31,31	41,67
3	7	38,6907	2,49771	35,38	42,62



Şekil 4. 4 Gruplara göre eğilme direnci dağılımı

Elde edilen verilerde kimyasal katkı ahşap plastik kompozit malzemelerin eğilme direncinin %100 HDPE'den üretilen numuneler ve saf ahşap plastik kompozit malzemenin eğilme direncinden daha düşük olduğu görülmüştür. Ancak istatistiksel anlamda kimyasal katkı maddesinin eğilme direnci üzerinde anlamlı bir farklılığa sebep olup olmadığı SPSS paket programında Post-Hoc analizi olan Duncan testiyle belirlenmiştir. Sonuçlar Çizelge 4. 8'de verilmiştir.

Çizelge 4. 8 Eğilme direnci için Duncan test sonuçları

GRUP	N	α için alt değer = 0.05	
		1	2
Kontrol	7	27,8898	
3	7		38,6907
2	7		39,0871
1	7		41,0498
Önem derecesi		1,000	0,168

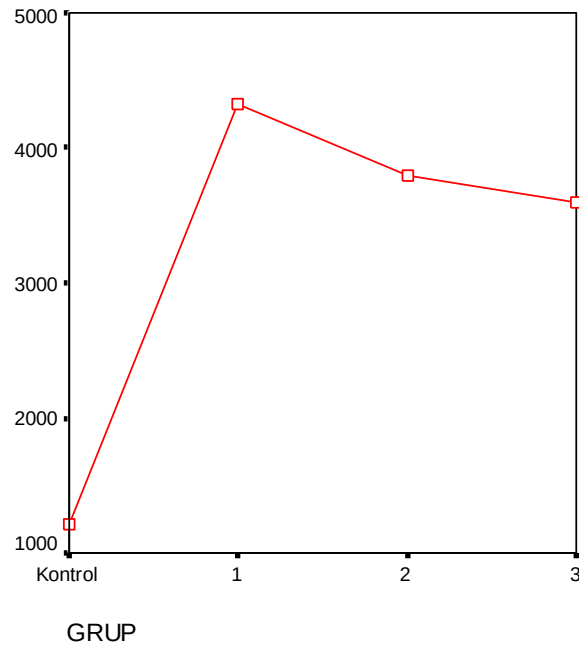
Tablo 9'da görüldüğü üzere Duncan testine göre 2 farklı grup meydana gelmiştir. En düşük eğilme direnci ortalamasına sahip %100 HDPE 'den kontrol örnekleri ayrı bir grup, saf ahşap plastik kompozit malzeme örnekleri ile kimyasal katkı ahşap plastik kompozit örnekleri ayrı bir grup oluşturmuştur. Bu demektir ki, kimyasal katkı maddesi ilavesi, ahşap plastik kompozit malzemenin eğilme direncinde istatistiksel anlamda bir farklılığa sebep olmamıştır. Ancak kontrol örneklerine göre ahşap kompozit malzemenin eğilme direncinde belirgin bir üstünlüğü görülmüştür.

4.5 Eğilmede Elastikiyet Modülü

Çizelge 4. 9’da görüldüğü gibi kimyasal katkı oranı arttıkça ahşap plastik kompozit malzemenin eğilmede elastikiyet modülünde bir düşüş görülmüştür. Şekil 4. 5’de bu düşüş gösterilmiştir. Ayrıca, saf ahşap plastik kompozit malzemenin eğilmede elastikiyet modülünde kontrol örneklerine göre oldukça yüksek olduğu görülmüştür.

Çizelge 4. 9 Ahşap plastik kompozit malzemelere ait eğilmede elastikiyet modülü değerleri

Grup	Örnek Sayısı	Ortalama (N/mm ²)	Standart Sapma	Minimum Elastikiyet Modülü (N/mm ²)	Maksimum Elastikiyet Modülü (N/mm ²)
Kontrol	7	1208,6695	558,23875	781,41	2409,93
1	7	4322,3592	534,16121	3794,22	5283,34
2	7	3788,6368	530,44029	3278,61	4801,33
3	7	3591,8203	418,12421	3172,90	4403,14



Şekil 4. 5 Gruplara göre eğilmede elastikiyet modülü dağılımı

Elde edilen verilerde kimyasal katkı ahşap plastik kompozit malzemelerin eğilmede elastikiyet modülünün, %100 HDPE'den üretilen numuneler ve saf ahşap plastik kompozit malzemenin eğilmede elastikiyet modülünden düşük olduğu görülmüştür. Ancak istatistiksel anlamda kimyasal katkı maddesinin eğilmede elastikiyet modülünü üzerinde anlamlı bir farklılığa sebep olup olmadığı SPSS paket programında Post-Hoc analizi olan Duncan testiyle belirlenmiştir. Sonuçlar Çizelge 4. 10'da verilmiştir.

Çizelge 4. 10 Eğilmede elastikiyet modülü için Duncan test sonuçları

GRUP	N	α için alt değer = 0.05		
		1	2	3
Kontrol	7	1208,6695		
3	7		3591,8203	
2	7		3788,6368	3788,6368
1	7			4322,3592
Önem derecesi		1,000	0,480	0,063

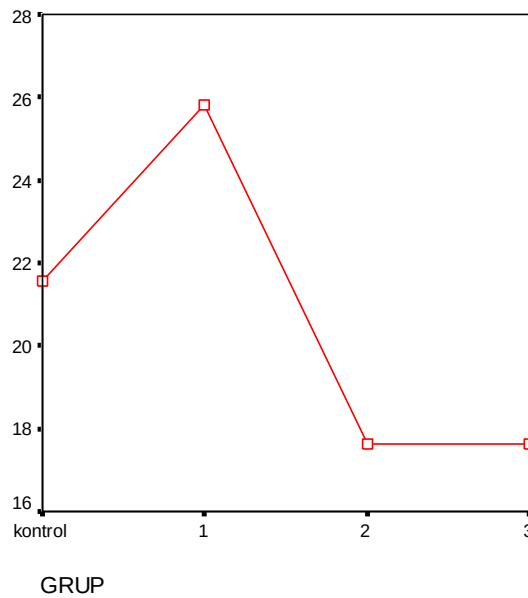
Çizelge 4. 10 da görüldüğü üzere Duncan testine göre 3 farklı grup meydana gelmiştir. En düşük eğilmede elastikiyet modülü ortalamasına sahip %100 HDPE'den kontrol örnekleri ayrı bir grup, saf ahşap plastik kompozit malzeme örnekleri ile %10 kimyasal katkı ahşap plastik kompozit örnekleri ayrı bir grup, %10 ve %20 kimyasal katkı ahşap plastik kompozit örnekleri ayrı bir grup oluşturmuştur. Bu demektir ki, kimyasal katkı maddesi ilavesi, ahşap plastik kompozit malzemenin eğilmede elastikiyet modülünde istatistiksel anlamda bir farklılığa sebep olmuş gibi gözükse de %10'luk kimyasal ilavesi, saf ahşap plastik kompozit malzemeyle istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık ortaya koyamamıştır. Kontrol örneklerine göre ahşap kompozit malzemenin eğilmede elastikiyet modülünde belirgin bir üstünlüğü görülmüştür.

4.6 Çekme Direnci ve Kopmada Uzama Deneyi

Çizelge 4. 11’de görüldüğü gibi kimyasal katkı oranı arttıkça ahşap plastik kompozit malzemenin çekme direncinde ciddi bir düşüş görülmüştür. Şekil 4. 6’da bu düşüş gösterilmiştir. Ayrıca, saf ahşap plastik kompozit malzemenin çekme direncinin de kontrol örneklerine göre yüksek olduğu görülmüştür.

Çizelge 4. 11 Ahşap plastik kompozit malzemelere ait çekme direnci değerleri

Grup	Örnek Sayısı	Ortalama (MPa)	Standart Sapma	Minimum Çekme Direnci (MPa)	Maksimum Çekme Direnci (MPa)
Kontrol	7	21,5489	0,63835	20,51	22,58
1	7	25,8185	2,86715	20,41	28,70
2	7	17,6421	3,96282	10,78	21,82
3	7	17,6241	2,45962	14,83	22,45



Şekil 4. 634 Gruplara göre çekme direnci dağılımı

Elde edilen verilerde kimyasal katkı ahşap plastik kompozit malzemelerin çekme direncinin %100 HDPE'den üretilen numuneler ve saf ahşap plastik kompozit malzemenin çekme direncinden daha düşük olduğu görülmüştür. Ancak istatistiksel anlamda kimyasal katkı maddesinin çekme direnci üzerinde anlamlı bir farklılığa sebep olup olmadığı SPSS paket programında Post-Hoc analizi olan Duncan testiyle belirlenmiştir. Sonuçlar Çizelge 4. 12'de verilmiştir.

Çizelge 4. 12 Çekme direnci için Duncan test sonuçları

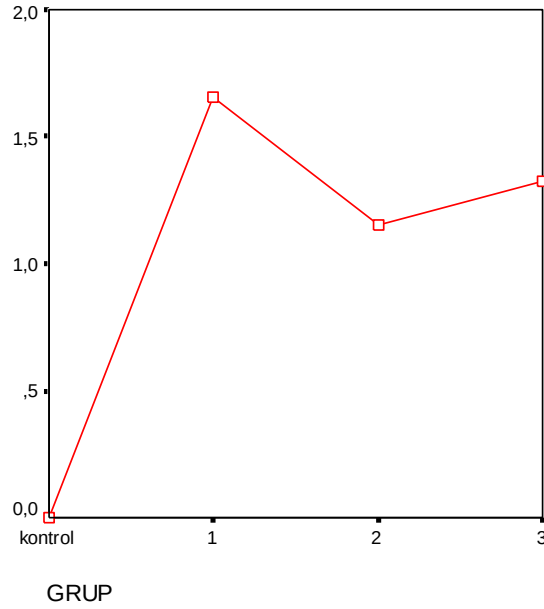
GRUP	N	α için alt değer = 0.05		
		1	2	3
3	7	17,6241		
2	7	17,6421		
Kontrol	7		21,5489	
1	7			25,8185
Önem derecesi		0,990	1,000	1,000

Çizelge 4. 12'de görüldüğü üzere Duncan testine göre 3 farklı grup meydana gelmiştir. En yüksek çekme direnci ortalamasına sahip saf Ahşap plastik kompozit malzeme ayrı bir grup, kontrol örnekleri ayrı bir grup, kimyasal katkı ahşap plastik kompozitlerde ayrı bir grup oluşturmuştur. Bu demektir ki, kimyasal katkı maddesi ilavesinin oranının çekme direnci üzerinde anlamlı bir farklılığa sebep olmamıştır. Zaten düşük ortalamalarla diğerlerinde ayrıldığı açık bir şekilde görülmüştür.

Kopmada uzama miktarının yüzdesel olarak ortalamaları ve standart sapmaları Çizelge 4. 13'de verilmiştir. Buna göre kontrol örneklerinde sünmeden dolayı kopma meydana gelmediğinden kopmada uzama oranı hesaplanamamıştır. Saf ahşap plastik kompozit malzemenin kopmada uzama oranı diğer kimyasal katkılara göre daha yüksek çıkmıştır. Sonuçların grafiksel olarak gösterimi Şekil 4. 7'de verilmiştir.

Çizelge 4. 13 Ahşap plastik kompozit malzemelere ait kopmada uzama oranları

Grup	Örnek Sayısı	Ortalama (%)	Standart Sapma	Minimum Çekme Direnci (%)	Maksimum Çekme Direnci (%)
Kontrol	7	-	-	-	-
1	7	1,6551	,32724	1,20	2,05
2	7	1,1542	,18763	,82	1,42
3	7	1,3222	,23274	1,00	1,70



Şekil 4. 735 Gruplara göre kopmada uzama oranlarının dağılımı

Kopmada uzama oranı Çizelge 4. 13’de saf ahşap plastik kompozit malzemede en yüksek değer de olduğu gözükse de bu farkın istatistiksel olarak anlamlı olup olmadığına Duncan testi ile karar verilmiştir. Sonuçlar Çizelge 4. 14 ‘de gösterilmiştir.

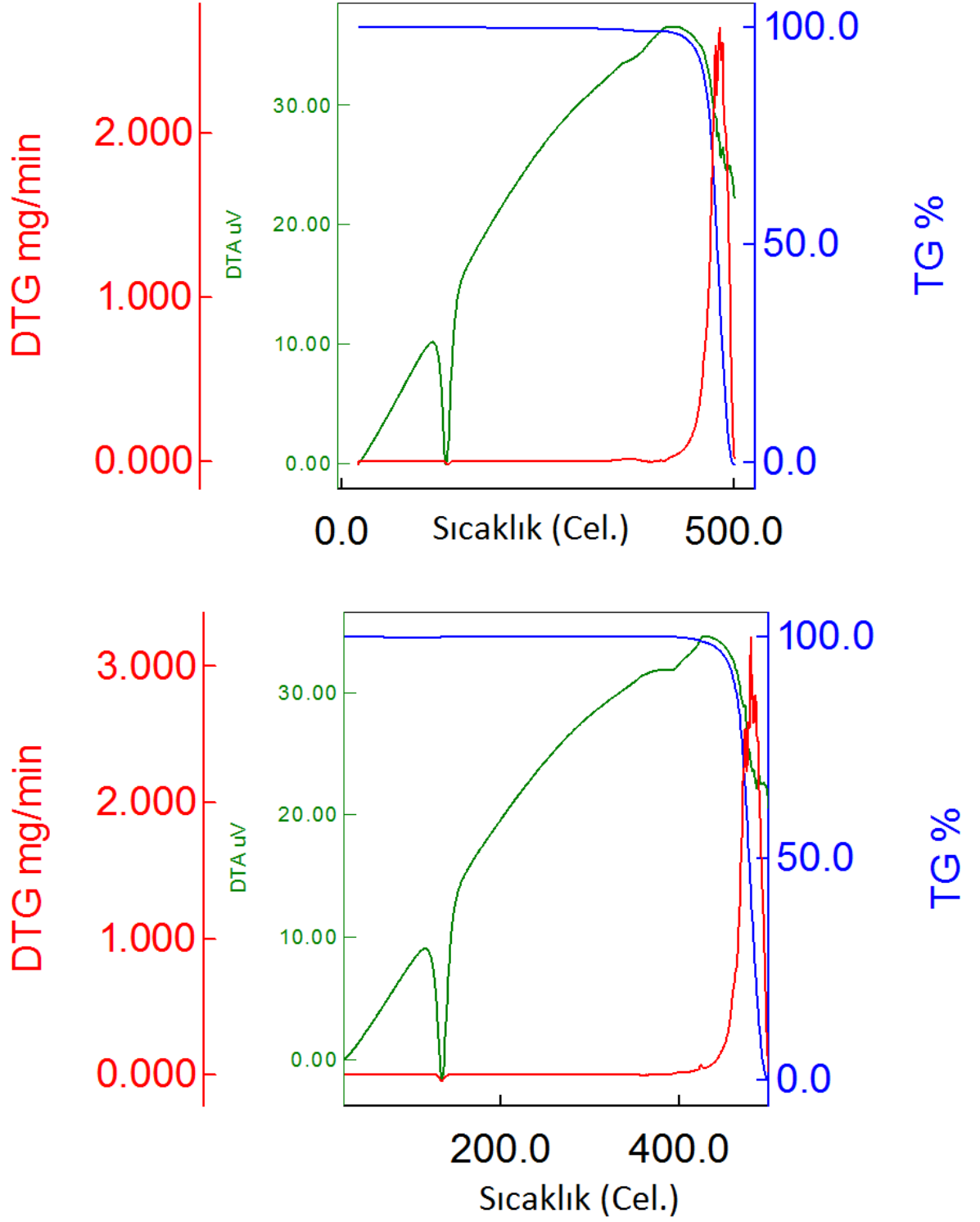
Çizelge 4. 147 Kopmada Uzama Oranına için Duncan test sonuçları

GRUP	N	α için alt değer = 0.05		
		1	2	3
kontrol	7	,0000		
2	7		1,1542	
3	7		1,3222	
1	7			1,6551
Önem derecesi		1,000	,169	1,000

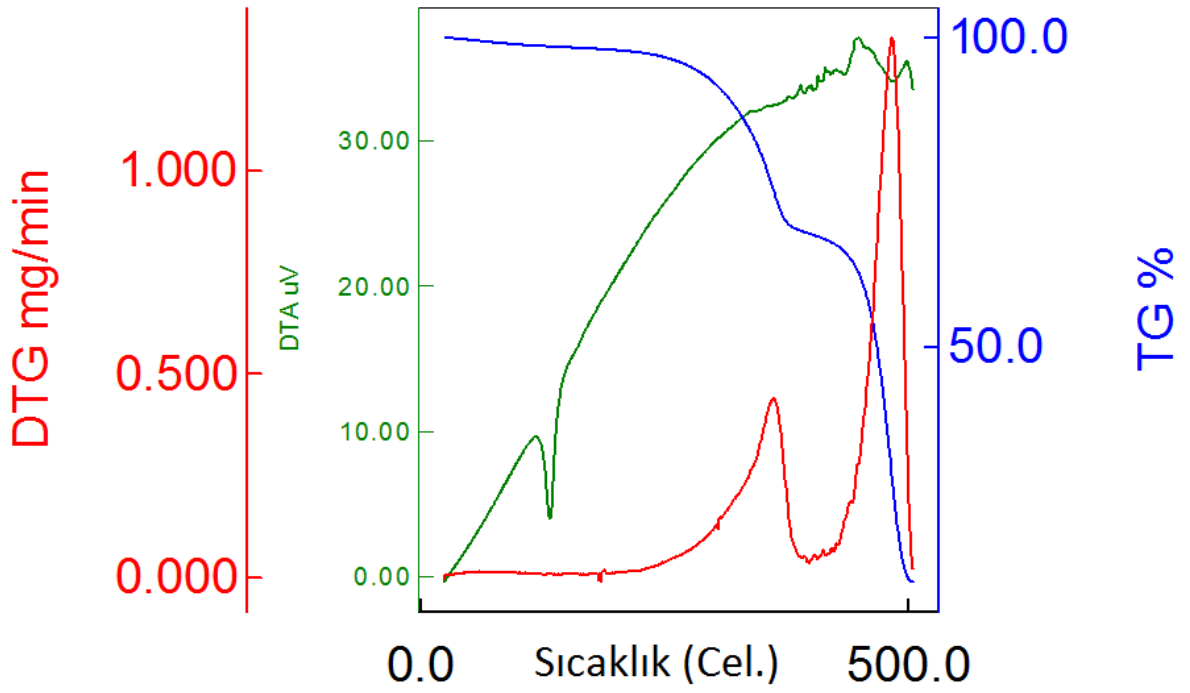
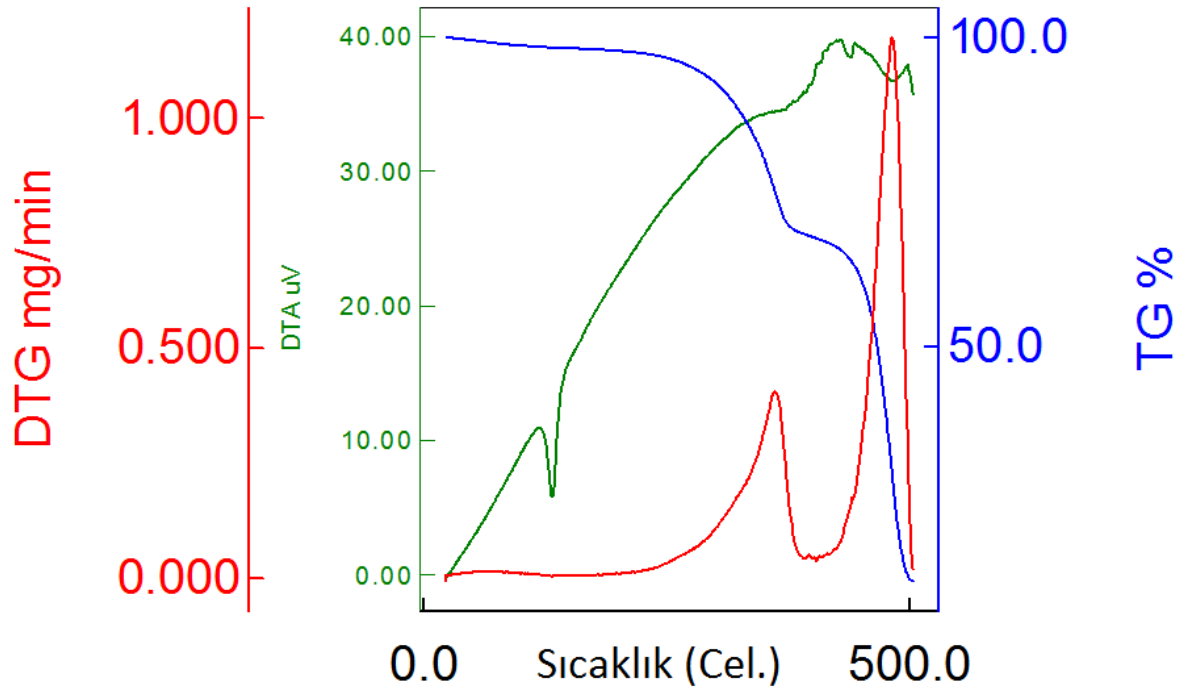
Çizelge 4. 148’de görüldüğü üzere Duncan testine göre 3 farklı grup meydana gelmiştir. En yüksek kopmada uzama oranı ortalamasına sahip saf Ahşap plastik kompozit malzeme ayrı bir grup, kontrol örnekleri ayrı bir grup, kimyasal katkı ahşap plastik kompozitler de ayrı bir grup oluşturmuştur. Bu demektir ki, kimyasal katkı maddesi oranının % 10 ve % 20 olması, kopmada uzama oranı üzerinde anlamlı bir farklılığa sebep olmamıştır. Zaten düşük ortalamalarla diğerlerinden ayrıldığı açık bir şekilde görülmüştür.

4.7 Termogravimetrik Analiz (TGA)

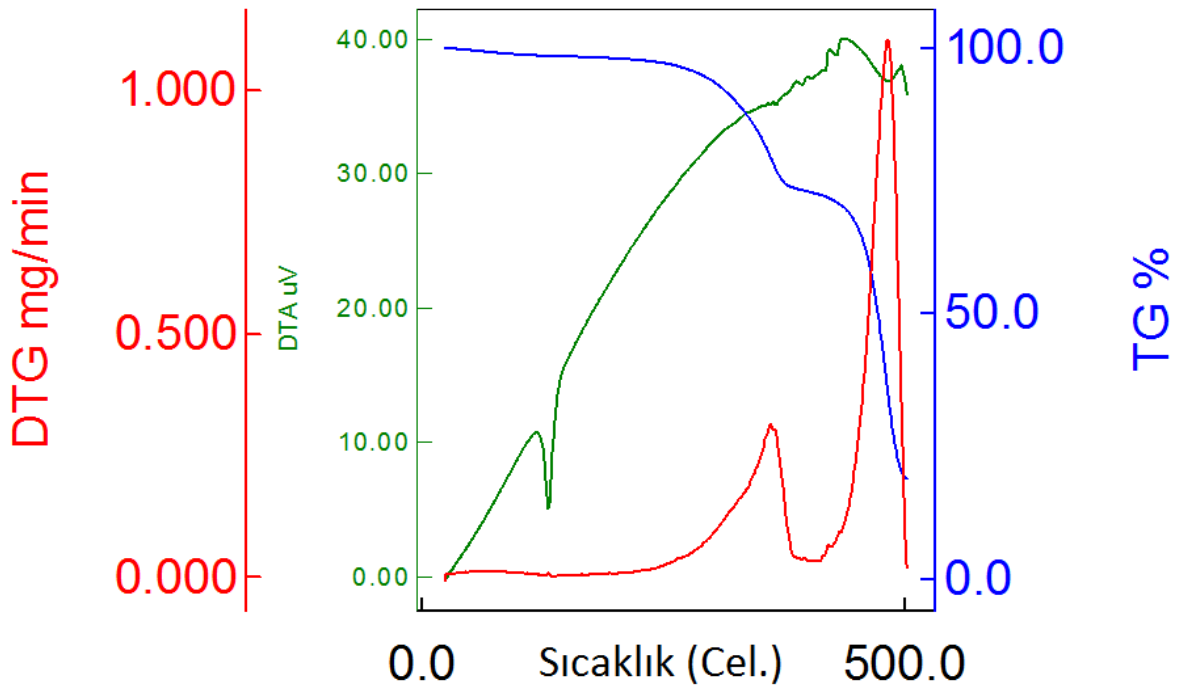
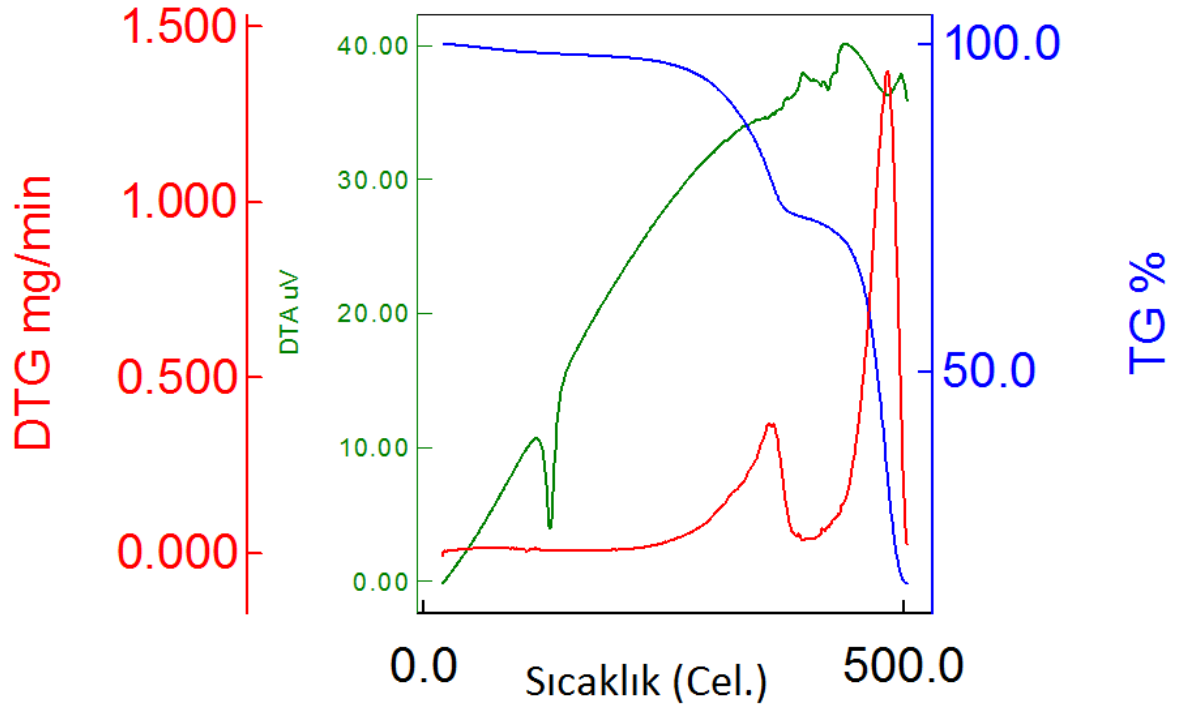
Her bir grup için alınan iki adet numuneye, termogravimetrik analiz cihazında, tarama sıcaklığı 22-500 °C arasında, sıcaklık artımı dakikada 10 °C olacak şekilde termogravimetrik test uygulanmıştır. Elde edilen sonuçlar her grup için grafik şeklinde aşağıda verilmiştir.



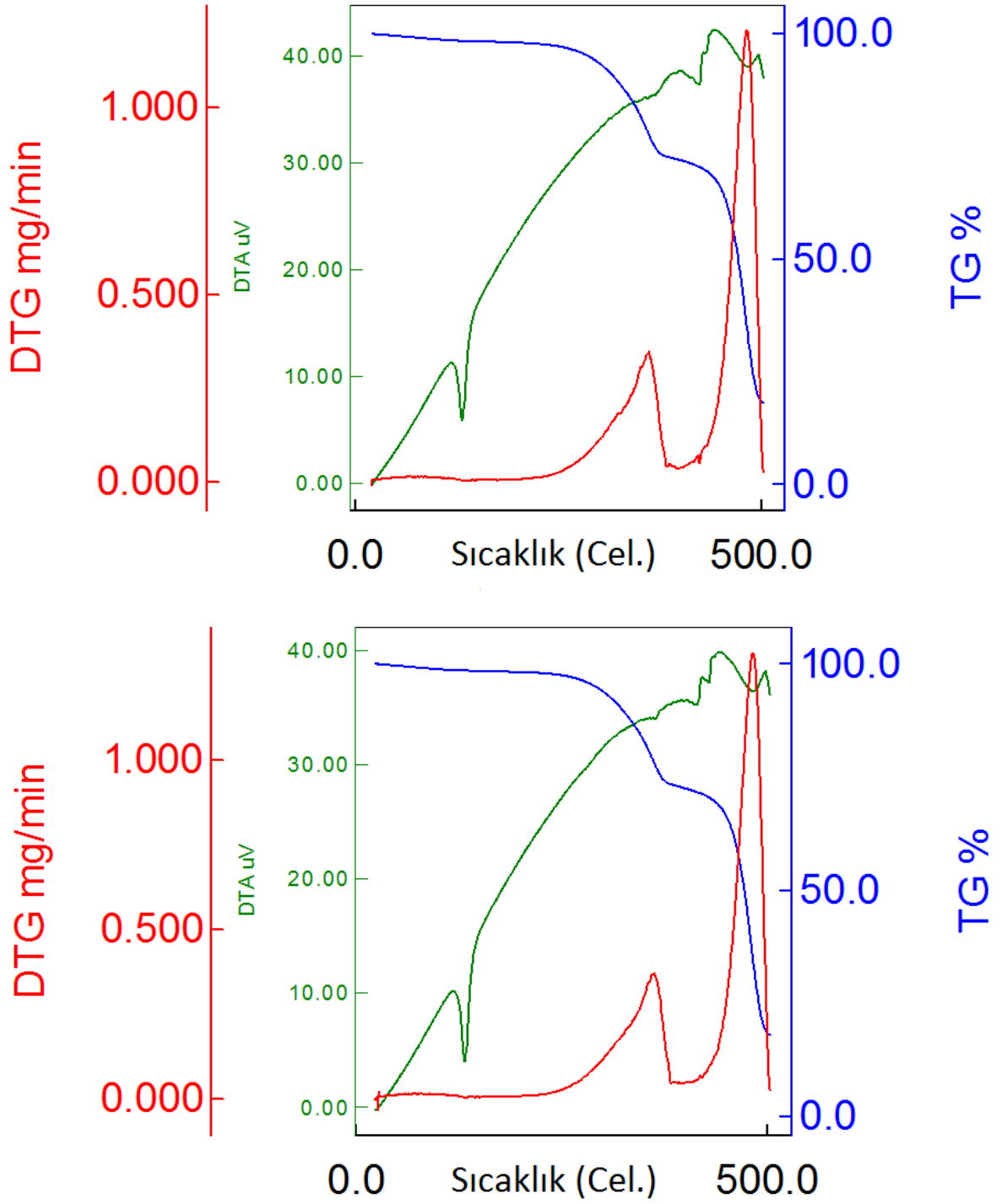
Şekil 4. 836 Kontrol grupları için termogravimetrik analiz grafiği



Şekil 4. 9 Saf ahşap plastik kompozit malzeme numuneleri için termogravimetrik analiz grafiği



Şekil 4. 10 %10 cüruf takviyeli ahşap plastik kompozit malzeme numuneleri için termogravimetrik analiz grafiği



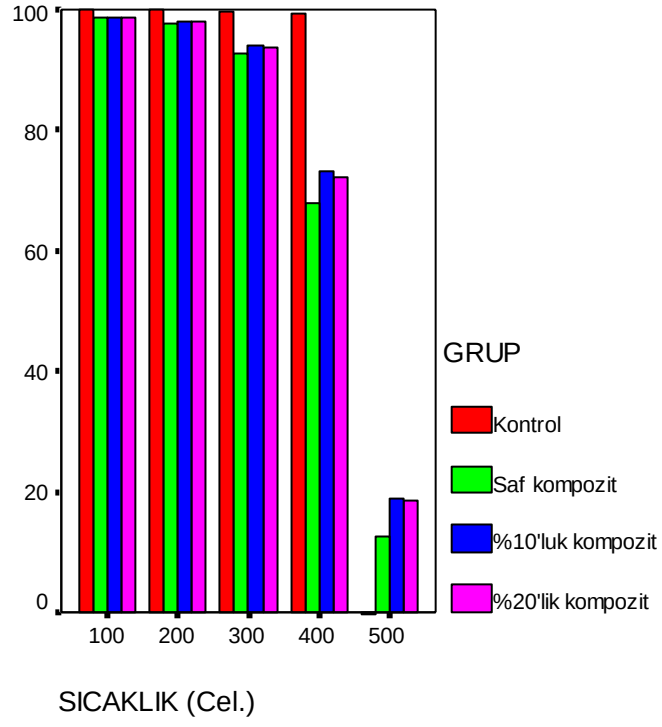
Şekil 4. 11 %20 cüruf takviyeli ahşap plastik kompozit malzeme numuneleri için termogravimetrik analiz grafiği

Grafiklere göre, %20 cüruf takviyeli ahşap plastik kompozit malzeme numuneleri ile %10 cüruf takviyeli ahşap plastik kompozit malzeme numunelerinden 500 °C 'ye kadar olan denemelerde, kontrol ve saf ahşap plastik kompozit malzeme numunelerine göre daha fazla arta kalan malzeme elde edilmiştir. Bu demektir ki, cüruf takviyesi, termogravimetrik açıdan malzemeye artı bir özellik katmıştır. Her bir gruptan alınan iki numunenin, rastgele belirlenmiş olan sıcaklıklardaki termogravimetrisinin yüzde olarak ortalaması Çizelge 4. 15'de verilmiştir.

Çizelge 4. 15 Grupların rastgele belirlenmiş sıcaklık değerlerine göre yüzde olarak TG ortalamaları

Grup	Sıcaklığa göre TG (%)				
	100 °C	200 °C	300 °C	400 °C	500 °C
Kontrol	99,85	99,92	99,80	99,42	-0,34
1	98,72	97,83	92,72	67,94	12,50
2	98,78	98,00	93,98	73,12	18,75
3	98,82	98,13	93,87	72,29	18,54

Çizelge 4. 15'e göre kontrol numunelerinin 500 °C sonundaki TG yüzdesi, numunelerin kütle olarak tamamen bittiğini göstermiştir. Saf ahşap plastik kompozit malzeme numuneleri kontrol numunelerine göre daha fazla, fakat kimyasal takviyeli malzeme numunelerine göre daha az bir TG yüzdesi ortalaması yakalamıştır. Kimyasal takviyeli malzeme numunelerinin yaklaşık %18'lik TG oranı göstermiştir ki; sıcaklığa göre arta kalan malzeme miktarı cüruf katkısıyla artmıştır. Yani, cüruf, takviye edilen malzemenin termogravimetrisini iyileştirmiştir. Katkı maddesinin oranının %10 veya %20 olması TG yüzdesinde çok fazla bir değişime sebep olmamıştır. Ayrıca grupların tamamının sıcaklığa göre, termogravimetrisinin yüzde oranı Şekil 4. 12'de de gösterilmiştir.



Şekil 4. 12 Grupların sıcaklığa göre termogravimetre yüzdelerinin değişimi

SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, üretilen ahşap takviyeli plastik kompozit malzemenin, saf plastik malzemeyle ve mineral katkı maddesi olan cürufun %10 ve %20 oranlarında ilavesiyle üretilen ahşap plastik kompozit malzemelerle fiziksel, mekaniksel ve teknolojik özelliklerinden bazıları arasında kıyaslama yapılmıştır. Literatürde cürufu ile ahşap takviyeli plastik kompozitin bir arada kullanıldığına dâhil bir bilgi bulunamamıştır. Bu doğrultuda sonuçlar saf ahşap plastik kompozit malzemeyle kıyaslanarak yorumlanmıştır.

Fiziksel özelliklerden olan yoğunluk, %100 HDPE 'den üretilen malzemede diğer ahşap plastik kompozit malzemelere göre düşük bulunmuştur. Bunun sebebi de yaklaşık 1,5 g/cm³ yoğunluğa sahip ahşabın plastiğe takviyesidir. Cüruf katkısının ise ahşap plastik kompozit malzemede yoğunluk bakımından istatistiksel olarak anlamlı bir farklılığa neden olmadığı görülmüştür. Su alma ve kalınlığına şişme denemelerinde ise, %100 HDPE 'den üretilen malzemenin diğer ahşap plastik kompozit malzemelerine göre daha düşük oranlar verdiği görülmüştür. Bunun sebebi, kompozit malzemedeki ahşabın yapısında bulunan selüloz moleküllerinin sudaki OH gruplarıyla kolayca bağ yapabilmesidir. Cüruf katkısının ise ahşap plastik kompozit malzemede su alma ve kalınlığına şişme denemelerinde istatistiksel olarak anlamlı bir farklılığa neden olmadığı görülmüştür.

Mekaniksel özelliklerden eğilme ve eğilmede elastikiyet modülünde, %100 HDPE 'den üretilen malzeme, diğer ahşap plastik kompozit malzemelere göre düşük değerler

vermiştir. Ahşap, yoğun bir malzeme olduğundan direnç özellikleri de yüksektir, takviye olduğu malzemeye elastikiyetlik katmaktadır. Cüruf katkısının ise ahşap plastik kompozit malzemede eğilme direncinde istatistiksel olarak anlamlı bir farklılığa neden olmadığı görülmüştür. Fakat eğilmede elastikiyet modülünde %20'lik ahşap plastik kompozit malzemenin diğerlerine göre daha düşük bir değer verdiği görülmüştür. Çekme direnci ve kopmada uzama testlerinde, Cüruf katkısının, ahşap plastik kompozit malzemeyi olumsuz etkilediği görülmüştür. Çekme direncinde, %100 HDPE 'den üretilen malzemeler, ahşap plastik kompozit malzemelere göre daha düşük değerler vermiştir. Kopmada uzama denemelerinde, %100 HDPE 'den üretilen malzemelerde kopma meydana gelmediğinden herhangi bir değer alınamamıştır.

Teknolojik özelliklerden termogravimetrik analiz sonucunda, cüruf katkısının, ahşap plastik kompozit malzemeyi olumlu etkilediği görülmüştür. Yüksek sıcaklıklara maruz kalan ahşap plastik kompozit malzemenin cüruf ilavesiyle daha dirençli hale getirilebileceği görülmüştür. %100 HDPE 'den üretilen malzemeler yüksek sıcaklıklara ulaşıldığında kütesinin tamamen kaybedecek bir erime meydana geldiği bilinmektedir. Ahşap plastik kompozit malzemenin ise, ahşabın kömürleşme olayından dolayı çok yüksek sıcaklıklarda bile bir miktar kütesini koruyabildiği görülmüştür. Cürufunda bu avantajlı özelliğe daha da katkı sağladığı görülmüştür. Sonuç olarak bu çalışmada, ahşap takviyeli plastik kompozit malzemenin, saf plastik malzemeye göre avantajlara sahip olduğu görülmüştür. Ayrıca cüruf katkısının, termogravimetrik analizde ahşap plastik kompozitin direncine olumlu etkisi olmuştur.

Sonuç olarak, atık olarak değerlendirilen ferromangan cürufunun, ahşap plastik kompozit malzemenin termal özelliklerini geliştirmede kullanılabilir. Bu sayede hem atık cürufun çevreyi kirletmesi önlenabilir hem de sınırlı kaynak olan ağaçların, ahşap plastik kompozit malzeme üretiminde kullanım oranı azaltılabilir. Benzer şekilde ahşap plastik kompozit malzemenin bünyesinde bulunan petrokimyasal bir ürün olan polietilen gibi pahalı materyallerinde kullanım miktarları azaltılabilir.

KAYNAKLAR

- [1] Tufan, M. ve Mengeloğlu, F. (2010). “Odun Plastik Kompozitleri Ve Ülkemizde Odun Plastik Kompozit Üretiminde Kullanılabilecek Hammaddeler Üzerine Genel Bir Değerlendirme”, III. Ulusal Karadeniz Ormancılık Kongresi, 20-22 Mayıs, Artvin.
- [2] Arıcasoy, O. (2006). İTO Kompozit Sektör Raporu Aralık 2006, Ankara
- [3] Caulfield, D.F., C. Clemons, R.E. Jacobson ve R.M. Rowell (2005). “Wood thermoplastic composites In: Handbook of wood chemistry and wood composites”, Chapter 13, 365-380.
- [4] Komwood Kompozit Ahşap, Niçin Ahşap Plastik Kompozit?, www.komwood.com.tr, 15 Mayıs 2013.
- [5] Demir, A. (2010). Odun Lifli Plastik Kompozitlerin Fiziksel Özelliklerinin Araştırılması, Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi, İstanbul.
- [6] Trust Wood Plastic Composite, Wood Plastic Composite Technologies, www.woodplasticcompositetfloor.com/wpc-knowledge/wood-plastic-composite-technologies, 16 Mayıs 2013.
- [7] Klyosov A. (2007). “Wood Plastic Composite”, Wiley Interscience Publication, New Jersey, 50-109.
- [8] Kimyatürk, Polietilen, www.gungorplastik.com/Bilgilendirme/Polietilen.pdf 16 Mayıs 2013.
- [9] Dekker, M. (2000). “Handbook of Polyethylene: Structures, Properties and Applications”, New York, 194.
- [10] Vikipedi Özgür Ansiklopedi, Akrilonitril bütadien stiren, tr.wikipedia.org/wiki/Akrilonitril_bütadien_stiren, 16 Mayıs 2013.
- [11] Deniz, İ. (2012). “Odun Kimyası”, K.T.Ü. Orman Fakültesi Yayınları, Trabzon, 25-66.
- [12] Vikipedi Özgür Ansiklopedi, Wollastonite ve Talk – Ekstrüder Makinesi, tr.wikipedia.org/wiki/Wollastonite_Talk_Ekstrüder, 16 Mayıs 2013.

- [13] Chung, D.D.L. (2001), "Materials for thermal conduction", http://wings.buffalo.edu/academic/departement/eng/mae/cmrl/Materials_for_thermal_conduction.pdf, 17 Mayis 2013.
- [14] Sinha, R.K. (1986) "Industrial Minerals", shodhganga.inflibnet.ac.in/bitstream/10603/899/11/11_chapter_202.pdf, 18 Mayis 2013.
- [15] Udy, M. J. (1957) United States Patent Office, Haziran 1962, New York.
- [16] ASTM D570-98, (2010). Standard Test Method for Water Absorption of Plastics, ASTM, Philadelphia.
- [17] ASTM D790-10, (2010). Standard Test Methods for Flexural Properties of Unreinforced and Reinforced Plastics and Electrical Insulating Materials, ASTM, Philadelphia.
- [18] ASTM D638, (2010). Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics, ASTM, Philadelphia.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Dilek YAĞAN
Doğum Tarihi ve Yeri : 15.05.1988 İstanbul - Ümraniye
Yabancı Dili : İngilizce
E-posta : dilekkyagan@gmail.com

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Lisans	Orman Endüstri Mühendisliği	İstanbul Üniversitesi	2010
Lise	Fen Bilimleri	Ümraniye Süper Lisesi	2006