



T.C.
KAHRAMANMARAŞ SÜTÇÜ İMAM ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**FARKLI ERİME AKIŞ İNDEKSİNE SAHİP
POLİPROPİLEN ESASLI AHŞAP POLİMER
KOMPOZİTLERİN ÖZELLİKLERİNİN
BELİRLENMESİ**

VEDAT ÇAVUŞ

DOKTORA TEZİ
ORMAN ENDÜSTRİ ANABİLİM DALI

KAHRAMANMARAŞ 2017

T.C.
KAHRAMANMARAŞ SÜTÇÜ İMAM ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

FARKLI ERİME AKIŞ İNDEKSİNE SAHİP
POLİPROPİLEN ESASLI AHŞAP POLİMER
KOMPOZİTLERİN ÖZELLİKLERİNİN
BELİRLENMESİ

VEDAT ÇAVUŞ

Bu tez,
Orman Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalında
Doktora
derecesi için hazırlanmıştır.

KAHRAMANMARAŞ 2017



Kızım Eylül Elçin ÇAVUŞ'a

Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü öğrencisi **Vedat Çavuş** tarafından hazırlanan **“FARKLI ERİME AKIŞ İNDEKSİNE SAHİP POLİPROPİLEN ESASLI AHŞAP POLİMER KOMPOZİTLERİN ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ”** adlı bu tez, jürimiz tarafından 09/08/2017 tarihinde oy birliği ile Orman Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalında Doktora tezi olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Fatih MENGELOĞLU (DANISMAN)

Orman End. Muh. KSU.

Prof. Dr. Mehmet TUMER (UYE)

Kimya Bölümü KSU.

Doç. Dr. Deniz AYDEMİR (UYE)

Orman End. Müh. Bartın U.

Yrd. Doç. Dr. Kadir KARAKUŞ (UYE)

Orman End. Müh. KSU.

Yrd. Doç. Dr. Alperen KAYMAKÇI (UYE)

Orman End. Müh. Kastamonu U.

Yukarıdaki imzaların adı geçen öğretim üyelerine ait olduğunu onaylarım.

Doç. Dr. Mustafa ŞEKKELİ

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada orijinal olmayan her türlü kaynağa eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

VEDAT ÇAVUŞ



Bu çalışma KSÜ Bilimsel Araştırma Projeleri Yönetim Birimi tarafından desteklenmiştir.

Proje No: 2015/3-63D.

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaktan yapılan bildirişlerin, çizelge, sekil ve fotoğrafların kaynak gösterilmeden kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

FARKLI ERİME AKIŞ İNDEKSİNE SAHİP POLİPROPİLEN ESASLI AHŞAP POLİMER KOMPOZİTLERİN ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ

(DOKTORA TEZİ)

VEDAT ÇAVUŞ

ÖZ

Kompozitler iki ya da daha fazla farklı tip takviye malzemesinin, aynı matris içerisinde birleştirilmesi ile elde edilen malzemelerdir. Kompozit malzeme alanındaki yeni ürünlerden bir tanesi de odun plastik kompozitlerdir (OPK). Lignoselülozik dolgu maddeleri plastik endüstrisinde kullanılan ucuz bir dolgu malzemesidir. Lignoselülozik maddeleri plastik malzemenin içerisinde kullanmak Dünya çapında bir trend haline gelmiştir. Bu çalışmada; yeni bir plastik matrisli karma malzeme üretebilmek için, dolgu malzemesi olarak lignoselülozik dolgu maddeleri ve sentetik temelli mineral lifler kullanılmıştır. Bunun için, odun plastik kompozitler; kızılçam odunu unu, zeytin pirinası unu, sentetik temelli mineral lif, farklı erime akış indeksine sahip polipropilenler, uyum sağlayıcı ajan, vaks, nano ve mikron boyutta titanyum dioksit ve bunların çeşitli oranlardaki karışımları kullanılarak üretimler gerçekleştirilmiştir. Odun plastik kompozitler enjeksiyon ve ekstruder kullanılarak üretilmiştir. Üretilen kompozitlerin; fiziksel, mekanik, yanma özellikleri ile termogravimetrik analiz (TGA), diferansiyel taramalı kalorimetri (DSC) analizleri gibi ısısal özellikleri ve taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile morfolojik özellikleri belirlenmiştir.

Ülkemizde zeytin pirinası çok miktarda bulunmakta ve genellikle evlerde ısınma malzemesi olarak kullanılmaktadır. Yine ülkemizde yaygın bir şekilde bulunan kızılçam odununun işlenmesi sırasında talaş, odun parçacıkları ve kaplama atıkları ortaya çıkmakta ve bunlar çoğunlukla yakılmaktadır. Zeytin pirinası ve kızılçam odunu atıkları plastik kompozitler de dolgu maddesi olarak kullanılabilir. Böylelikle düşük değeri olan bu atıklar, katma değeri yüksek ürünlere dönüşebilir. Odun plastik kompozitlere olan ilgi, hem akademik hem de endüstri çevrelerinde artmaktadır. Ancak, bu kompozitlerin yapısal uygulamalar için özelliklerinin geliştirilmesi gerekmektedir. Türkiye’de bu alandaki çalışmalar başlamış ve belli bir ilerleme sağlanmıştır. Bu tez ile sentetik temelli mineral lif ve lignoselülozik dolgu maddelerinin farklı oranlarda plastik matris içerisinde kullanılarak kompozitlerin üretilmesi ve üretilen kompozitlerin özelliklerin belirlenmesi amaçlanmıştır.

Bu amaç doğrultusunda, kompozit malzemeler üretilmiş, deneyler yapılarak sonuçlar tartışılmıştır. Bu çalışma ışığında elde edilen veriler hem endüstriye hem de akademik çevrelere öncülük edebilir. Bu çalışma ile bundan sonra yapılacak çalışmalar için alt yapı oluşturulmuştur. Bu kompozitlerin üretilmesiyle, ülkemizde yerel ekonomiye katkı sağlanabilecek, atık malzemeler için bir Pazar oluşturulabilecek, üreticilere ek gelir, çalışma hayatına ek istihdam olanakları sağlanabilecek ve ülkemiz orman kaynakları daha etkin kullanılabilir.

Anahtar Kelimeler: Odun plastik kompozitler, Polipropilen, Lignoselülozik dolgu maddesi, sentetik temelli mineral dolgu maddesi, Erime akış indeksi,

Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Orman Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, Ağustos/ 2017

Danışman: Prof. Dr. Fatih MENGELOĞLU

Sayfa sayısı: 331

**DETERMINING THE PROPERTIES OF THE POLYPROPYLENE BASED
WOOD-POLYMER COMPOSITES WITH DIFFERENT MELT FLOW INDEX.**

(PhD. THESIS)

VEDAT ÇAVUŞ

ABSTRACT

The composites are materials, which are a production of two or more different types of reinforced materials combined in the same matrix. One of the latest goods among composite materials in the wood plastic composites (WPC). Lignocellulosic filling materials are cheap filling materials used in the industry of plastics. The recent trend through the world in the use lignocellulosic substance in the plastic materials.

In this study, lignocellulosic filling material and synthetic based mineral fiber were used as filling materials to produce New plastic matrix material. So, the production was performed using wood plastic composites, Turkish red pine flour, olive pirina flour, olive pirinas flour, synthetic based mineral fiber, polypropylenes with variable melting flow index, coupling agents, wax, titanium dioxide in micron and nano size and the mixture of them in certain amounts. The wood plastic composites were produced through the methods of extrusion and injection moulding. The physical, mechanical, burning, thermogravimetric analysis (TGA), differential scanning calorimetry (DSC) and scanning electron microscope (SEM) features of the produced composites were determined.

Our country is rich in olive pirina and it widely used for heating for homes. Wood particles, wood pieces, and veneer waste are leftovers of processing, the Turkish red pine tree which is also common in our country and this leftovers are usually burnt down. Olive pirina and Turkish red pine leftovers can be used as natural filling materials in plastic composites. As a result these wood waste can turn into highly valuable products. The interest in wood plastic composite and demand for these products in the industry and academia has been increasing lately. Nevertheless, the properties of these composites needs to be enriched for structural applications. The studies about that has already started in Turkey and they have reached some goals. This thesis aims to produce composites by using synthetic based mineral fiber and lignocellulosic filling materials in variable plastic matrix and state the properties of the produced composites. For this aim, the composites

were produced, the experiment were performed and the result were discussed. The findings of the study can not only lead academia but also to the industry. This study can also be the background of the future studies about this subject. Producing composites will support the local economy, the waste materials will have new market in the industry, the forests will maintain an extra income to the producers and will provide new employments for the people.

Key Words: wood plastic composite, lignocellulosic filler material, synthetic based mineral fiber and melt flow index.

Kahramanmaraş Sütçü İmam University

Institute for School Of Natural Applied Sciences

Department of Forest Industry , August/ 2017

Supervisor: Prof. Dr. Fatih MENGELOĞLU

Page number: 331

FARKLI ERİME AKIŞ İNDEKSİNE SAHİP POLİPROPİLEN ESASLI AHŞAP POLİMER KOMPOZİTLERİN ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ

(DOKTORA TEZİ)

VEDAT ÇAVUŞ

ÖZET

Bu çalışmada farklı erime akış indeksine sahip polipropilen esaslı ahşap polimer kompozitlerin özellikleri belirlenmiştir. Bu nedenle düşük ve yüksek erime akış indeksine sahip polipropilenler, kızılçam odun unu, zeytin pirinası unu, nano ve mikron boyutlarda titanyumdioksit, sentetik dolgu maddesi kullanılarak üretimler yapılmıştır. Bu amaç için Design-Expert® Version 7.0.3 istatistik programı kullanılarak dört farklı reçetede üretimler gerçekleştirilmiştir.

Bu üretim reçetelerine göre deney numuneleri ekstruder ve enjeksiyon kalıplama yöntemi ile üretilmiştir. Fiziksel özelliklerin belirlenmesinde; yoğunluğun belirlenmesi, sıvı içerisinde yoğunluğun belirlenmesi (ASTM D792), su alma miktarı ve kalınlıkça artış oranı belirlenmiştir. Mekanik özelliklerin belirlenmesinde ise, statik eğilme direnci, elastikiyet modülü (ASTM D 790), şok direnci (ASTM D 638), çekme direnci, sertlik direnci, gerilme gevşeme denemeleri yapılmıştır. Bunlara ek olarak doğal yaşlandırma ve yanma özellikleri belirlenmiştir. Termogravimetrik analiz (TGA), diferansiyel taramalı kalorimetre (DSC) ve taramalı elektron mikroskobu (SEM) Analizleri yapılmıştır.

Deney sonuçları; zeytin pirinası ve kızılçam odununun odun plastik kompozit üretiminde potansiyel dolgu maddeleri olarak kullanılabileceğini ortaya koymuştur. Erime akış indeksinin deney numunelerinin özelliklerine önemli bir etkisinin olmadığı buna karşın lignoselülozik dolgu maddesi türü ve oranının etkili olduğunu göstermiştir. Kızılçam odun unu dolgulu deney numuneleri zeytin pirinası kullanılara göre daha iyi performans gösterdiği belirlenmiştir. Sentetik dolgu maddesinin EÖ ve ES katılımının odun plastik kompozitlerin özelliklerine önemli düzeyde etki yapmadığı ancak dolgu maddesi tipi ve oranının etkili olduğu tespit edilmiştir. Odun plastik kompozit içerisine odun unu ve sentetik dolgu maddesi katılımı eğilme direnci değerlerini arttırırken darbe, sertlik ve kopmada uzama miktarı değerlerini düşürmüştür. Deney sonuçları odun unu ve sentetik dolgu maddesi daha iyi kompozit özellikleri için birlikte kullanılabileceğini

göstermiştir. Sentetik dolgu maddesinin yanma geciktirici olarak kullanılabileceğini belirlenmiştir.

Üretimde kullanılan titanyumdioksitin boyutunun (nano ve mikron) fiziksel, mekanik, termal, morfolojik ve renk değerleri üzerinde etkisinin olmadığı ancak odun unu ve TiO_2 miktarı ile doğal yaşlandırma süresinin etkili olduğu belirlenmiştir. Deney sonuçları, tüm deney gruplarının fiziksel ve mekanik özelliklerin ASTM D 6662 standardında belirlenen değerleri karşıladığı göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: Odun plastik kompozitler, Polipropilen, Lignoselülozik dolgu maddesi, Sentetik temelli mineral dolgu maddesi, Erime akış indeksi,

Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Orman Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, Ağustos/ 2017

Danışman: Prof. Dr. Fatih MENGELOĞLU

Sayfa sayısı: 331

**DETERMINING THE PROPERTIES OF THE POLYPROPYLENE BASED
WOOD-POLYMER COMPOSITES WITH DIFFERENT MELT FLOW INDEX.**

(PhD. THESIS)

VEDAT ÇAVUŞ

SUMMARY

In this study, the properties of polypropylene based wood polymer composites which has variable melt flow index has been stated. For this reason, polypropylenes with low and high melt flow indexes, Turkish red pine wood flour, olive pirinas flour, titaniumdioxide (nano and micron size), synthetic filler materials were used for the manufacturing of test specimens. For this purpose Design-Expert® Version 7.0.3 statistical programme has been used in four different prescriptions.

The test samples were produced according to these prescriptions through the extruder and injection moulding methods. Stating the physical properties; density, density in water (ASTM D 792), water absorbsion and thickness sweling rates have been determined. For mechanical properties; the test static bending (ASTM D 790), modulus of elasticity (ASTM D 790), izod impact tensile (ASTM D 638), static hardness (ASTM D 22-40), stres and relaxation (ASTM D 638), natural wheatering and burning rate have been performed. For the morphological features thermogravimetric analysis (TGA), differantial scanining calormetry (DSC) and scaning electron microscope (SEM) features have been performed.

According to test results Turkish red pine wood flour and the olive pirinas flour can be utilized in wood plastic composite manufacturing. It is stated that there is no effect of the melt flow index on the properties of wood plastic composite, however; the physical and mechanical properties were effected by lignocellulosic filler materials types and rates. Overall red pine wood flour filled composites outperformed the olive pirinas flour filled ones. The synthetic based mineral filler usage both before extrusion and before injection had no significant effect on wood plastic composite properties but filler material types and rates had significant effects. Synthetic based mineral filler can be utilized in wood plastic

composite manufacturing as a fire retardants. According to test results synthetic based mineral filler and wood flour can be used together for better composite properties.

It has been determined that the size of titaniumdioxide (nano and micron) used in production has no effect on physical, mechanical, thermal, morphological and color values, but the wood flour, titaniumdioxide rate and is weathering period effective on the properties of wood plastic composites. According to test results synthetic based mineral filler and wood flour can be used together for better composite properties and they provide adequate physical and mechanical properties according to ASTM D 6662.

Key Words: wood plastic composite, lignocellulosic filler material synthetic based mineral fiber and melt flow index.

Kahramanmaraş Sütçü İmam University

Institute for School Of Natural Applied Sciences

Department of forest industry, August / 2017

Supervisor: Prof. Dr. Fatih MENGELOĞLU

Page number: 331

TEŞEKKÜR

“Farklı Erime Akış İndeksine Sahip Polipropilen Esaslı Ahşap Polimer Kompozitlerin Özelliklerinin Belirlenmesi” adı altında doktora tezimin çalışmalarında; İlgi ve desteğini esirgemeyen, tez çalışmamın hazırlanmasında büyük emekler sarf eden ve tezimin yönlendirilmesinde bilgi ve tecrübeleri ile her zaman yanımda olan danışmanım sayın Prof. Dr. Fatih MENGELOĞLU’ na sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Tez jürimde bulunan ve hiçbir konuda yardımlarını benden esirgemeyen değerli hocalarım Prof. Dr. Mehmet TUMER, Doç. Dr. Deniz AYDEMİR, Yrd. Doç. Dr. Kadir KARAKUŞ ve Yrd. Doç. Dr. Alperen KAYMAKÇI’ya çok teşekkür ediyorum. Burs desteği temini ve tez çalışmalarımda kullanılan malzemelerin alınmasında destek veren KSU Bilimsel Araştırma Projeleri Yönetim Birimi’ne teşekkür ederim. Tezimle ilgili deney hazırlıklarında ve laboratuvar çalışmalarımda yardımlarını benden esirgemeyen çok değerli arkadaşlarım yüksek lisans öğrencileri Fatma BOZKURT ve Merve ARAS ERDOĞAN ile araştırma görevlileri İbrahim Halil BAŞBOĞA, İlkay ATAR ve orman endüstri yüksek mühendisi Kağan ASLAN’a çok teşekkür ederim.

Tezimle ilgili yazım düzeltme çalışmalarında yardımlarını esirgemeyen çok değerli meslektaşım Füsün ATAĞLI GARPTAŞ’a teşekkür ederim. Ayrıca bu çalışmamda her türlü maddi ve manevi yardımlarını benden esirgemeyen annem Perihan ÇAVUŞ ve okumanın en değerli erdem olduğunu bana öğreten babam Samet ÇAVUŞ abim Mustafa ÇAVUŞ, kızkardeşlerim Gülseren ÇAVUŞ, Lamia ÇAVUŞ ve Hatice ÇAVUŞ’a teşekkür ederim. Son olarak beni her konuda destekleyerek ufkumu açan saygıdeğer eşim Sema ALP ÇAVUŞ ve mutluluk sebebim, coşkulu, heyecanlı, deneyci kızım Eylül Elçin ÇAVUŞ’a çok teşekkür ederim.

Vedat ÇAVUŞ

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖZ.....	i
ABSTRACT	iii
ÖZET	v
SUMMARY	vii
TEŞEKKÜR	ix
İÇİNDEKİLER.....	x
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xiv
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	xix
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xxiii
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Odun Plastik Kompozitler	1
1.1.1. Odun plastik kompozitlerin tarihi.....	4
1.1.2. Odun plastik kompozitlerin kullanım alanları	5
1.1.3. Odun plastik kompozitlerin avantaj ve dezavantajları	7
1.1.4. Odun plastik kompozitlerin pazarı	9
1.2. Odun Plastik Kompozit Üretiminde Kullanılan Malzemeler	12
1.2.1. Lignoselülozik dolgu maddeleri	12
1.2.2. Lignoselülozik dolgu maddelerin genel yapısı.....	16
1.2.2.1. Ağaç malzeme	17
1.2.2.2. Odun plastik kompozitlerin üretiminde kullanılan polimerler	24
1.2.2.3. Odun plastik kompozit üretiminde kullanılan katkı maddeleri	39
1.2.2.4. Odun plastik kompozit malzeme üretim yöntemleri	47
1.3. Tez Kapsamında Kullanılan Dolgu Maddeleri İlgili Bilgiler	56
1.3.1. Kızılçam (Pinus brutia Ten.)	56
1.3.1.1. Kızılçamın (Pinus brutia Ten.) Dünya'daki yayılışı.....	57
1.3.1.2. Kızılçamın (Pinus brutia Ten.) Türkiye'deki yayılışı.....	57
1.3.1.3. Kızılçamın (Pinus brutia Ten.) botanik özellikleri	58
1.3.1.4. Dış morfolojik özellikler	59
1.3.1.5. Kızılçam (Pinus brutia Ten.) odununun anatomik özellikleri	59
1.3.1.6. Kızılçam (Pinus brutia Ten.) odununun fiziksel ve mekanik özellikleri....	61
1.3.1.7. Kızılçam (Pinus brutia Ten.) odununun kimyasal özellikleri.....	63
1.3.1.8. Kızılçamın kullanım alanları ve randımanı	64
1.3.2. Zeytin.....	64
1.3.2.1. Dünya'da ve Türkiye'de zeytin ağacı varlığı	66
1.3.2.2. Zeytinyağı üretimi	67
1.3.2.3. Zeytinyağı üretiminde ortaya çıkan atıklar.....	68
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR	72
3. MATERYAL VE METOT	95
3.1. Materyal.....	95
3.1.1. Lignoselülozik dolgu maddeleri	95
3.1.2. Plastik hammaddeleri	96
3.1.3. Katkı maddeleri	97
3.1.3.1. Yağlayıcı madde	97
3.1.3.2. Titanyum dioksit (TiO ₂)	97
3.1.3.3. Uyum sağlayıcı kimyasal (MAPP)	98

3.1.3.4. Sentetik temelli mineral lif (MOS).....	99
3.1.4. Lignoselülozik dolgu maddeli kompozitlerin üretimi	99
3.1.5. Deney numunelerinin üretim reçeteleri	104
3.1.5.1. Lignoselülozik dolgu maddesi türü, kullanım oranı ve erime akış indeksinin odun plastik kompozitlerin özelliklerine etkisinin belirlenmesi (I).....	104
3.1.5.2. Sentetik ve lignoselülozik dolgu maddesi türü, oranı ve sentetik dolgu maddesinin enjeksiyon ve ekstruder üretimi sırasında katılmasının odun plastik kompozitlerin özelliklerine etkisinin belirlenmesi (II).....	105
3.1.5.3. Dolgu maddesi türü (sentetik temelli mineral lif, kızılçam odunu) kompozit yapı içerisinde kullanım oranının odun plastik kompozitlerin özelliklerine etkisinin belirlenmesi (III).....	106
3.1.5.4. Farklı oranlarda ve parçacık büyüklüğünde (nano ve mikron) titanyum dioksit katılan kızılçam odunu ve plastik hammaddelerinin birlikte oluşturduğu odun plastik kompozitlerin özelliklerine etkisinin belirlenmesi (IV).....	107
3.2. Metot.....	108
3.2.1. Fiziksel özelliklerin belirlenmesi.....	108
3.2.1.1. Yoğunluğun belirlenmesi	109
3.2.1.2. Su alma oranının belirlenmesi	110
3.2.1.3. Kalınlığına artış oranının belirlenmesi	110
3.2.2. Mekanik özelliklerin belirlenmesi	111
3.2.2.1. Eğilme direncinin belirlenmesi.....	112
3.2.2.2. Elastikiyet modülünün belirlenmesi	113
3.2.2.3. Çekme direncinin belirlenmesi.....	114
3.2.2.4. Darbe direncinin belirlenmesi	116
3.2.2.5. Sertlik direncinin belirlenmesi.....	117
3.2.2.6. Gerilme gevşemesinin belirlenmesi.....	118
3.2.3. Doğrusal yanma hızının belirlenmesi	121
3.2.3.1. Odun plastik kompozitlerin özelliklerinin belirlenmesinde kullanılan analizler	122
3.2.4. Doğal yaşlandırma	126
3.2.5. Verilerin analizi	128
4. BULGULAR VE TARTISMA.....	129
4.1. Lignoselülozik Dolgu Maddesi Türü, Kullanım Oranı ve Erime Akış İndeksinin Deney numunelerinin Özelliklerine Etkisinin Belirlenmesi.....	129
4.1.1. Fiziksel özellikler	129
4.1.1.1. Yoğunluğun belirlenmesi	129
4.1.1.2. Su alma oranı	132
4.1.1.3. Kalınlığına artış oranı	134
4.1.2. Mekanik Özellikler	137
4.1.2.1. Eğilme direnci	137
4.1.2.2. Elastikiyet modülü.....	139
4.1.2.3. Çekme direnci.....	142
4.1.2.4. Darbe direnci	148
4.1.2.5. Sertlik direnci	150
4.1.2.6. Doğrusal yanma hızı.....	153
4.1.2.7. Gerilme gevşeme	154
4.1.2. Deney numunelerinin Termal Özellikleri.....	158
4.1.2.1. Termogravimetrik analiz (TGA)	158
4.1.2.2. Diferansiyel taramalı kalorimetre (DSC)	162
4.1.2.3. Deney Numunelerinin Morfolojik Özellikleri (SEM).....	164

4.2. MOS ve LDM Oranı ve MOS Kullanım Sırasının (EÖ ve ES) Odun Plastik Kompozitlerin Özelliklerine Etkisinin Belirlenmesi	168
4.2.1. Fiziksel özellikler	168
4.2.1.1. Yoğunluk	168
4.2.1.2. Su alma oranı	170
4.2.1.3. Kalınlığına artış oranı	174
4.2.2. Mekanik özellikler	178
4.2.2.1. Eğilme direnci	178
4.2.2.2. Elastikiyet modülü	181
4.2.2.3. Çekme direnci	184
4.2.2.4. Darbe direnci	192
4.2.2.5. Sertlik direnci	195
4.2.2.6. Doğrusal yanma hızı	197
4.2.2.7. Gerilme gevşeme	200
4.3. Dolgu Maddesi Türü (sentetik temelli mineral lif, kızılçam odunu) Kompozit Yapı İçerisinde Kullanım Oranının Odun Plastik Kompozitlerin Özelliklerine Etkisi	206
4.3.1. Fiziksel özellikler	206
4.3.1.2. Su alma oranı	208
4.3.1.3. Kalınlığına artış oranı	210
4.3.2. Mekanik özellikler	212
4.3.2.1. Eğilme direnci	212
4.3.2.2. Elastikiyet modülü	214
4.3.2.3. Çekme direnci	216
4.3.2.4. Darbe direnci	221
4.3.2.5. Sertlik direnci	223
4.3.2.6. Doğrusal yanma hızı	224
4.3.2.7. Gerilme gevşeme	226
4.3.3. Odun plastik kompozitlerin termal özellikleri	228
4.3.3.1. Termogravimetrik analiz (TGA)	228
4.3.3.2. Diferansiyel taramalı kalorimetre (DSC)	230
4.3.3.4. Deney numunelerinin morfolojik özellikleri (SEM)	232
4.4. Farklı Parçacık Büyüklüğü ve Oranlarda (nano ve mikron) Titanyum dioksit Katılımının Odun Plastik Kompozitlerin Özelliklerine Etkisi	235
4.4.1. Fiziksel özellikler	235
4.4.1.1. Yoğunluk	235
4.4.1.2. Su alma oranı	240
4.4.1.3. Kalınlığına artış oranı	243
4.4.2. Mekanik Özellikler	246
4.4.2.1. Eğilme direnci	246
4.4.2.2. Elastikiyet modülü	250
4.4.2.3. Çekme direnci	255
4.4.2.4. Darbe direnci	268
4.4.2.5. Sertlik direnci	272
4.4.2.6. Doğrusal yanma hızı	276
4.4.2.7. Gerilme gevşeme	279
4.4.3. Odun plastik kompozitlerin termal özellikleri	293
4.4.3.1. Termogravimetrik analiz (TGA)	293
4.4.3.2. Diferansiyel taramalı kalorimetre (DSC)	296
4.4.3.4. Deney Numunelerinin Morfolojik Özellikleri (SEM)	297
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	301

5.1. Sonuçlar	301
5.1.1. Lignoselülozik dolgu maddesi türü, kullanım oranı ve erime akış indeksinin odun plastik kompozitlerin özelliklerine etkisi.	302
5.1.2. Sentetik ve lignoselülozik dolgu maddesi türü ve oranı ile sentetik dolgu maddesinin E ve ES retimi sırasında katılmasının odun plastik kompozitlerin özelliklerine etkisi.....	303
5.1.3. Dolgu maddesi türü sentetik temelli mineral lifin, kızılçam odunu kompozit yapı içerisinde kullanım oranının odun plastik kompozitlerin özelliklerine etkisi. ..	304
5.1.4. Farklı oranlarda ve parçacık büyüklüğünde (nano ve mikron) titanyum dioksit katılan kızılçam odunu ve plastik hammaddelerinin birlikte oluşturduğu odun plastik kompozitlerin özelliklerine etkisi.	305
5.2. neriler.....	307
KAYNAKLAR.....	310
EKLER	
ZGEMİş	

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa No

Çizelge 1.1. Dünya ve Türkiye lif kaynaklarının potansiyeli.....	16
Çizelge 1.2. Bazı lignoselülozik materyallerin kimyasal bileşimi.	17
Çizelge 1.3. İğne yapraklı ve yapraklı ağaç odunlarının hücre tipleri ve oranları	20
Çizelge 1.4. Termoplastiklerin Bazı Özellikleri.....	27
Çizelge 1.5. Bazı Polietilenlerin genel özellikleri.	28
Çizelge 1.6. Bazı Polipropilenlerin genel özellikleri.....	31
Çizelge 1.7. PET'in fiziksel ve kimyasal özellikleri.	37
Çizelge 1.8. Bazı termoset plastiklerin özellikleri.....	38
Çizelge 1.9. Odun plastik kompozitlerin bazı mekanik özellikleri.	43
Çizelge 1.10. Kızılçam normal ve basınç odununun mikroskobik özellikleri.....	60
Çizelge 1.11. Kızılçam odununun fiziksel ve mekanik özellikleri.....	62
Çizelge 1.12. Katrakta biçimde artık ve randıman miktarı.....	64
Çizelge 1.13. Zeytin posasının bileşimi.....	69
Çizelge 1.14. Değişik zeytinyağı işleme sistemlerinden elde edilen pirinanın kompozisyonu	69
Çizelge 1.15. Ham pirina temel karakteristik özellikleri.....	70
Çizelge 1.16. 1000 kg zeytin başına oluşan yağ, prina ve atık (kg) miktarları.	71
Çizelge 3.1. MH 418 kodlu PP'nin Fiziksel, Mekanik ve Termal Özellikleri.	96
Çizelge 3.2. EH 241 PP'nin Fiziksel, Mekanik ve Termal Özellikleri.	97
Çizelge 3.3. Üretimde kullanılan yağlayıcı maddeye (vaks) ait özellikler.....	97
Çizelge 3.4. Nano ve mikron yapıdaki titanyum dioksitin fiziksel ve kimyasal özellikleri.....	98
Çizelge 3.5. Uyumsuzluk giderici kimyasalların özellikleri.	98
Çizelge 3.6. Sentetik temelli mineral lifin fiziksel ve kimyasal özellikleri.....	99
Çizelge 3.7. Lignoselülozik dolgu maddesi türü, kullanım oranı ve erime akış indeksinin odun plastik kompozitlerin özelliklerine etkisinin belirlenmesi (I).	104
Çizelge 3.8. Sentetik ve lignoselülozik dolgu maddesi türü, oranı ve sentetik dolgu maddesinin enjeksiyon ve ekstruder üretimi sırasında katılmasının odun plastik kompozitlerin özelliklerine etkisinin belirlenmesi (II).	106
Çizelge 3.9. Dolgu maddesi türü (sentetik temelli mineral lif, kızılçam odunu) kompozit yapı içerisinde kullanım oranının odun plastik kompozitlerin özelliklerine etkisinin belirlenmesi (III).....	107
Çizelge 3.10. Farklı oranlarda ve parçacık büyüklüğünde (Nano ve mikron) titanyum dioksit katılan kızılçam odunu ve plastik hammaddelerinin birlikte oluşturduğu odun plastik kompozitlerin özelliklerine etkisinin belirlenmesi (IV).	108
Çizelge 3.11. UL94VB testi yanma sınıfı.....	122
Çizelge 3.12. İzmir iline ait iklim verilerinin ortalaması.	127
Çizelge 3.13. Renk uzaklıkları değer çizelgesi.....	128
Çizelge 4.1. Deney numune gruplarına ait ortalama yoğunluk değerleri.....	130
Çizelge 4.2. LDM türü, oranı ve EAI'nin deney numunelerinin yoğunluk değerleri üzerine etkisine ait ANOVA sonuçları.	130
Çizelge 4.3. Deney numune gruplarına ait ortalama eğilme direnci değerleri ve standart sapma.....	137
Çizelge 4.4. LDM türü, oranı ve EAI'nin eğilme direnci değerleri üzerine etkisine ait ANOVA sonuçları.....	138

Çizelge 4.5. Deney numune gruplarına ait ortalama eğilmede elastikiyet modülü değerleri ve standart sapma.	140
Çizelge 4.6. LDM türü, oranı ve EAI'nin eğilmede elastikiyet modülü değerleri üzerine etkisine ait ANOVA sonuçları.	140
Çizelge 4.7. Deney numune gruplarına ait çekme direnci ortalama ve standart sapma değerleri.	142
Çizelge 4.8. LDM türü, oranı ve EAI'nin çekme direnci değerleri üzerine etkisine ait ANOVA sonuçları.	142
Çizelge 4.9. Deney numune gruplarına ait çekmede elastikiyet modülü ortalama ve standart sapma değerleri.	144
Çizelge 4.10. LDM türü, oranı ve EAI'nin çekmede elastikiyet modülü değerleri üzerine etkisine ait ANOVA sonuçları.	145
Çizelge 4.11. Deney numune gruplarına ait kopmada uzama ortalama ve standart sapma değerleri.	147
Çizelge 4.12. LDM türü, oranı ve EAI'nin kopmada uzama miktarı değerleri üzerine etkisine ait ANOVA sonuçları.	147
Çizelge 4.13. Deney numune gruplarına ait ortalama darbe direnci değerleri.	149
Çizelge 4.14. LDM türü, oranı ve EAI'nin deney numunelerinin darbe direnci değerleri üzerine etkisine ait ANOVA sonuçları.	149
Çizelge 4.15. Deney numune gruplarına ait ortalama sertlik değerleri.	151
Çizelge 4.16. LDM türü, oranı ve EAI'nin deney numunelerinin sertlik direnci değerleri üzerine etkisine ait ANOVA sonuçları.	151
Çizelge 4.17. Deney numune gruplarına ait ortalama doğrusal yanma hızı değerleri.	153
Çizelge 4.18. LDM türü, oranı ve EAI'nin deney numunelerinin doğrusal yanma hızı değerleri üzerine etkisine ait ANOVA sonuçları.	153
Çizelge 4.19. Deney numunelerinden elde edilen gerilme gevşeme direnci ortalama ve standart sapma değerleri.	156
Çizelge 4.1.20. LDM türü, oranı ve EAI'nin deney numunelerinin gerilme gevşeme değerleri üzerine etkisine ait ANOVA sonuçları.	156
Çizelge 4.21. Deney numunelerinin termogravimetrik (TGA) analizleri	160
Çizelge 4.23. Deney numune gruplarına ait ortalama yoğunluk değerleri.	168
Çizelge 4.24. Deney numunelerine ait yoğunluk değerleri üzerine etkisine ait ANOVA sonuçları.	169
Çizelge 4.25. Deney numune gruplarına ait eğilme direnci ortalama ve standart sapma değerleri.	178
Çizelge 4.26. Deney numune gruplarına ait ortalama eğilme direnci değerlerine ait ANOVA sonuçları.	179
Çizelge 4.27. Deney numune gruplarına ait eğilmede elastikiyet modülü ortalama ve standart sapma değerleri.	182
Çizelge 4.28. Deney numune gruplarına ait ortalama eğilmede elastikiyet modülü değerlerine ait ANOVA sonuçları.	182
Çizelge 4.29. Deney numune gruplarına ait çekme direnci ortalama ve standart sapma değerleri.	185
Çizelge 4.30. Deney numune gruplarına ait çekme direnci ortalama değerlerine ait ANOVA sonuçları.	185
Çizelge 4.31. Deney numune gruplarına ait çekmede elastikiyet modülü ortalama ve standart sapma değerleri.	187

Çizelge 4.32. Deney numune gruplarına ait çekmede elastikiyet modülü ortalama değerlerine ait ANOVA sonuçları.....	188
Çizelge 4.33. Deney numune gruplarına ait çekmede elastikiyet modülü ortalama ve standart sapma değerleri.....	190
Çizelge 4.34. Deney numune gruplarına ait kopmada uzama ortalama değerlerine ait ANOVA sonuçları.....	190
Çizelge 4.35. Deney numune gruplarına ait darbe direnci ortalama değerleri ve standart sapma.....	192
Çizelge 4.36. Deney numune gruplarına ait darbe direnci değerlerine ait ANOVA sonuçları.....	193
Çizelge 4.37. Deney numune gruplarına ait ortalama sertlik değerleri	195
Çizelge 4.38. Deney numune gruplarına ait ortalama sertlik direnci değerleri ait ANOVA sonuçları.....	196
Çizelge 4.39. Deney numune gruplarına ait ortalama doğrusal yanma hızı değerleri (mm\dak.).	198
Çizelge 4.40. Deney numune gruplarına ait ortalama doğrusal yanma hızı değerleri ait ANOVA sonuçları.....	198
Çizelge 4.41. Deney numunelerinden elde edilen gerilme gevşeme direnci ortalama ve standart sapma değerleri.....	201
Çizelge 4.42. Deney numune gruplarına ait ortalama gerilme gevşeme değerleri ait ANOVA sonuçları.....	202
Çizelge 4.43. Deney numune gruplarına ait ortalama yoğunluk değerleri.....	206
Çizelge 4.44. Dolgu maddesi türü ve kullanım oranının deney numunelerinin yoğunluk değerleri üzerine etkisine ait ANOVA sonuçları.....	206
Çizelge 4.45. Deney numune gruplarına ait eğilme direnci ortalama ve standart sapma değerleri.....	212
Çizelge 4.46. Dolgu maddesi türü ve kullanım oranının deney numunelerinin eğilme direnci değerleri üzerine etkisine ait ANOVA sonuçları.....	213
Çizelge 4.47. Deney numune gruplarına ait eğilmede elastikiyet modülü ortalama ve standart sapma değerleri.....	214
Çizelge 4.48. Dolgu maddesi türü ve kullanım oranının deney numunelerinin eğilmede elastikiyet modülü değerleri üzerine etkisine ait ANOVA sonuçları.....	215
Çizelge 4.49. Deney numune gruplarına ait çekme direnci ortalama ve standart sapma değerleri.....	216
Çizelge 4.50. Dolgu maddesi türü ve kullanım oranının deney numunelerinin çekme direnci değerleri üzerine etkisine ait ANOVA sonuçları.....	216
Çizelge 4.51. Deney numune gruplarına ait çekmede elastikiyet modülü ortalama ve standart sapma değerleri.....	218
Çizelge 4.52. Dolgu maddesi türü ve kullanım oranının deney numunelerinin çekmede elastikiyet modülü değerleri etkisine ait ANOVA sonuçları.....	218
Çizelge 4.53. Deney numune gruplarına ait kopmada uzama miktarı ortalama ve standart sapma değerleri.....	220
Çizelge 4.54. Dolgu maddesi türü ve kullanım oranının deney numunelerinin kopmada uzama miktarı değerlerine etkisine ait ANOVA sonuçları.....	220
Çizelge 4.55. Deney numune gruplarına ait ortalama darbe direnci değerleri.....	221
Çizelge 4.56. Dolgu maddesi türü ve kullanım oranının deney numunelerinin darbe direnci değerleri üzerine etkisine ait ANOVA sonuçları.....	222
Çizelge 4.57. Deney numune gruplarına ait ortalama sertlik değerleri.....	223

Çizelge 4.58. Dolgu maddesi türü ve kullanım oranının deney numunelerinin sertlik direnci değerleri üzerine etkisine ait ANOVA sonuçları.	223
Çizelge 4.59. Deney numune gruplarına ait ortalama doğrusal yanma hızı değerleri.....	225
Çizelge 4.60. Dolgu maddesi türü ve kullanım oranının deney numunelerinin doğrusal yanma hızı değerleri üzerine etkisine ait ANOVA sonuçları.....	225
Çizelge 4.61. Deney numunelerinden elde edilen gerilme gevşeme direnci ortalama ve standart sapma değerleri.	226
Çizelge 4.62. Dolgu maddesi türü ve kullanım oranının deney numunelerinin gerilme gevşeme değerleri üzerine etkisine ait ANOVA sonuçları.	227
Çizelge 4.63. Deney numunelerinin termogravimetrik (TGA) analizleri	228
Çizelge 4.64. Deney numunelerinin diferansiyel taramalı kalorimetre (DSC) analizleri .	230
Çizelge 4.65. Deney numunelerine ait ilk, 6, 12 ve 18 aylık yoğunluk ortalama ve standart sapma değerleri.	235
Çizelge 4.66. Farklı parçacık büyüklüğü ve oranlarda (nm ve μm) TiO_2 katılımının deney numunelerinin yoğunluk değerleri üzerine etkisine ait ANOVA sonuçları.	236
Çizelge 4.67. Doğal yaşlandırma (ilk, 6, 12 ve 18 ay) işlemine tabi tutulmuş deney numunelerinin ortalama eğilme direnci ve standart sapma değerleri.	246
Çizelge 4.68. Farklı parçacık büyüklüğü ve oranlarda (nm ve μm) TiO_2 katılımının eğilme direnci değerleri üzerine etkisine ait ANOVA sonuçları.	247
Çizelge 4.69. Doğal yaşlandırma (ilk, 6, 12 ve 18 ay) işlemine tabi tutulmuş deney numunelerinin ortalama eğilmede elastikiyet modülü ortalama ve standart sapma değerleri.	250
Çizelge 4.70. Farklı parçacık büyüklüğü ve oranlarda (nm ve μm) TiO_2 katılımının eğilmede elastikiyet modülü değerleri üzerine etkisine ait ANOVA sonuçları.	251
Çizelge 4.71. Doğal yaşlandırma (ilk, 6, 12 ve 18 ay) işlemine tabi tutulmuş deney numunelerinin ortalama çekme direnci ortalama ve standart sapma değerleri.	255
Çizelge 4.72. Farklı parçacık büyüklüğü ve oranlarda (nm ve μm) titanyum dioksit katılımının odun plastik kompozitlerin çekme direnci değerleri üzerine etkisine ait ANOVA sonuçları.	256
Çizelge 4.73. Doğal yaşlandırma (ilk, 6, 12 ve 18 ay) işlemine tabi tutulmuş deney numunelerinin ortalama çekmede elastikiyet modülü ortalama ve standart sapma değerleri.	259
Çizelge 4.74. Farklı parçacık büyüklüğü ve oranlarda (nm ve μm) TiO_2 katılımının çekmede elastikiyet modülü değerleri üzerine etkisine ait ANOVA sonuçları.	260
Çizelge 4.75. Doğal yaşlandırma (ilk, 6, 12 ve 18 ay) işlemine tabi tutulmuş deney numunelerinin ortalama kopmada uzama ortalama ve standart sapma değerleri.....	264
Çizelge 4.76. Farklı parçacık büyüklüğü ve oranlarda (nm ve μm) titanyum dioksit katılımının odun plastik kompozitlerin kopmada uzama miktarı değerleri üzerine etkisine ait ANOVA sonuçları.....	265
Çizelge 4.77. Doğal yaşlandırma (ilk, 6, 12 ve 18 ay) işlemine tabi tutulmuş deney numunelerinin darbe direnci ortalama ve standart sapma değerleri.....	269
Çizelge 4.78. Farklı parçacık büyüklüğü ve oranlarda (nm ve μm) titanyum dioksit katılımının odun plastik kompozitlerin darbe direnci değerleri üzerine etkisine ait ANOVA sonuçları.....	269

Çizelge 4.79. Deney numunelerine ait ilk, 6, 12 ve 18 aylık sertlik direnci ortalama ve standart sapma değerleri.	273
Çizelge 4.80. Farklı parçacık büyüklüğü ve oranlarda (nm ve μm) titanyum dioksit katılımının odun plastik kompozitlerin sertlik direnci değerleri üzerine etkisine ait ANOVA sonuçları.	273
Çizelge 4.81. Deney numune gruplarına ait ortalama doğrusal yanma hızı değerleri.....	276
Çizelge 4.82. Farklı parçacık büyüklüğü ve oranlarda (nm ve μm) TiO_2 katılımının doğrusal yanma hızı değerleri üzerine etkisine ait ANOVA sonuçları.	277
Çizelge 4.83. Doğal yaşlandırma işlemine tabi tutulmamış deney numunelerinin ortalama gerilme gevşeme ve standart sapma değerleri.	279
Çizelge 4.84. Doğal yaşlandırma (6 ay) işlemine tabi tutulmuş deney numune gruplarına ait ortalama gerilme gevşeme değerleri.	280
Çizelge 4.85. Doğal yaşlandırma (12 ay) işlemine tabi tutulmuş deney numune gruplarına ait ortalama gerilme gevşeme değerleri.	281
Çizelge 4.86. Doğal yaşlandırılmış (18 ay) deney numune gruplarına ait ortalama gerilme gevşeme değerleri.....	282
Çizelge 4.87. Doğal yaşlandırma işlemine tabi tutulmuş deney numunelerinin ilk, 6, 12 ve 18 aylık ortalama gerilme gevşeme ve standart sapma değerleri.	282
Çizelge 4.88. Deney numunelerinin ilk ve 6 aylık renk ölçüm değerleri ve 6 aylık ortalama ΔE^*	286
Çizelge 4.89. Deney numunelerinin ilk ve 12 aylık renk ölçüm değerleri ve 12 aylık ortalama ΔE^*	287
Çizelge 4.90. Deney numunelerinin ilk ve 18 aylık renk ölçüm değerleri ve 18 aylık ortalama ΔE^*	287
Çizelge 4.91. Deney numunelerin 6-12 ve 18 ay ortalama ΔE^* değerleri.	288
Çizelge 4.92. Farklı parçacık büyüklüğü ve oranlarda (nm ve μm) TiO_2 katılımı ile doğal yaşlandırmanın renk değişim değerleri üzerine etkisine ait ANOVA sonuçları.	288
Çizelge 4.93. deney numunelerine ait TGA analizleri	293
Çizelge 4.94. deney numunelerine ait DSC analizleri.....	296

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa No

Şekil 1.1. Odun ve plastikler ile bunlardan elde edilen pelletler.	2
Şekil 1.2. Odun plastik kompozit üretiminde sık kullanılan bazı plastiklerin erime dereceleri.....	4
Şekil 1.3. Bazı odun plastik kompozit ürünleri-İkea tarafından enjeksiyon yöntemi ile üretilmiş odun plastik kompozit sandalye.	6
Şekil 1.4. Odun plastik kompozitlerin Pazar ve uygulama alanları	6
Şekil 1.5. 2008 ve 2016 yılları arasında olan ve olması gereken odun plastik kompozitpazarında kullanım yerleri ve ton bazında tüketim miktarları.....	7
Şekil 1.6. Orman ürünleri endüstrisinde üretilen mühendislik ürünü ağaç malzemeler için ürün yaşam döngüsü.	10
Şekil 1.7. Odun plastik kompozitlerin ton bazında pazar gelişimi.....	11
Şekil 1.8. 2010-2012 yıllarında üretilen ve 2015 yılına kadar tahmini odun plastik kompozit üretimi.....	12
Şekil 1.9. Temel odun elemanlar	18
Şekil 1.10. Ahşabı meydana getiren temel bileşenler.....	18
Şekil 1.11. Odun hücresinin (Traheid) görünümü.	19
Şekil 1.12. Selülozun kimyasal yapısı	21
Şekil 1.13. Hemiselüloz'un kimyasal yapısı	22
Şekil 1.14. Ligninin kimyasal yapısı	23
Şekil 1.15. Polimerleşme işleminde mer'ler ve polimerlerin kimyasal yapısı	25
Şekil 1.16. Polimerlerin sınıflandırılması.....	26
Şekil 1.17. Plastik moleküllerinin dizilişi.....	26
Şekil 1.18. Etilen monomeri ve Polietilen zinciri.....	28
Şekil 1.19. Propilen monomeri.	30
Şekil 1.20. Polipropilen moleküllerinin izotaktik, sindiyotaktik ve ataktik görünüşleri ...	31
Şekil 1.21. ABS bileşenleri ve ABS'nin kimyasal yapısı	34
Şekil 1.22. Stiren monomeri ve polistiren zinciri.....	34
Şekil 1.23. PET 'in tekrarlanan birimi	36
Şekil 1.24. MAPP 'ın odun lifi yüzeyinde hidroksil grubu ile reaksiyonu	42
Şekil 1.25. Erimiş polipropilenin MAPP/odun lifi ile karmaşık bağlanması	43
Şekil 1.26. Odun plastik kompozitlerin üretim yöntemleri	47
Şekil 1.27. Tipik bir ekstrüzyon üretim iş akışı.....	49
Şekil 1.28. Ön kurutma yapılmış ve ayrı noktalardan beslemeli ekstruder	49
Şekil 1.29. Ön kurutmalı ve ön karıştırmalı tip ekstruder.	50
Şekil 1.30. Odun unu veya lifleri rutubetli iken üretim yapan tip extruder.....	50
Şekil 1.31. Vida geometrisi ve bölgeleri.	51
Şekil 1.32 1.Eş-yönlü çift-vidalı ekstruder.....	52
Şekil 1.33. Tek vidalı ekstruderde kademeli olarak eriyik oluşumu.	53
Şekil 1.34. Bir plastik enjeksiyon kalıplama presinin elemanları.	54
Şekil 1.35. Plastik enjeksiyon kalıp setleri.	55
Şekil 1.36. Basınçla kalıplama yöntemi ile odun plastik kompozitlerin üretimi.....	56
Şekil. 1.37. Kızılçam ağacının genel görünümü.....	57
Şekil 1.38. Kızılçam ormanlarının alansal dağılımı	58
Şekil 1.39. Kızılçam odununun mikroskobik görünümü.	61
Şekil 1.40. Zeytin Meyvesi.....	65
Şekil 1.41. Dünya'da Zeytin Üretiminin Yayılışı.....	66

Şekil 1.42. Türkiye’de Zeytin Üretiminin Yayılışı.....	67
Şekil 3.1. Lignoselülozik dolgu maddeleri ile odun plastik kompozit üretim iş akışı şeması.	100
Şekil 3.2. Üretimde kullanılan Wiley tipi değirmen.....	100
Şekil 3.3. Üretimde kullanılan lignoselülozik dolgu maddeleri.	101
Şekil 3.4. Kurutma işleminde kullanılan etüv.	101
Şekil 3.5. Üretimde kullanılan tek vidalı ekstruder	102
Şekil 3.6. Ekstruder eriyiğın suda soğutulması.	103
Şekil 3.7. Üretimde kullanılan enjeksiyon makinesi.	103
Şekil 3.8. Enjeksiyon makinesinde üretilen deney numuneleri	104
Şekil 3.9. Dolgu maddesi türü, kullanım oranı ve erime akış indeksinin odun plastik kompozitlerin özelliklerine etkisinin belirlenmesi.	105
Şekil 3.10. Sentetik ve lignoselülozik dolgu maddesi türü, oranı ve sentetik dolgu maddesinin enjeksiyon ve ekstruder üretimi sırasında katılması iş akış şeması.	106
Şekil 3.11. Dolgu maddesi türü kompozit yapı içerisinde kullanım oranının odun plastik kompozitlerin özelliklerine etkisinin belirlenmesi iş akış şeması.	107
Şekil 3.12. Farklı oranlarda ve parçacık büyüklüğünde titanyum dioksit katılan kızılçam odunu ve plastik hammaddelerinin birlikte oluşturduğu odun plastik kompozitlerin özelliklerine etkisinin belirlenmesi.	108
Şekil 3.13. Yoğunluğun belirlenmesinde kullanılan deney numunesinin şekil ve boyutları.	109
Şekil 3.14. Kalınlık artış oranının belirlenmesinde kullanılan deney numunesinin şekil ve boyutları ile numunelerin ölçmesinde kullanılan komparatör saati.....	111
Şekil 3.15. Eğilme direncinin belirlenmesinde kullanılan test makinesi.....	113
Şekil 3.16. Çekme direncinin belirlenmesinde kullanılan test makinesi.	114
Şekil 3.17. Zwick/Roell HIT 5.5P çentik açma makinesi	116
Şekil 3.18. Deney numunelerinin şekil ile boyutları ve Zwick/Roell HIT5.5P. darbe makinesi	117
Şekil 3.19. Shore sertlik cihazı.	118
Şekil 3.20. Gerilme gevşemesi deneyleri.	119
Şekil 3.21. Gerilme gevşemesi deney numunesi.	120
Şekil 3.22. Yatay veya dikey yakma test cihazı.	122
Şekil 3.23. Deney numunelerinin öğütülmesinde kullanılan öğütücünün görüntüsü.....	123
Şekil 3.24. Shimadzu TGA–50 termogravimetrik analiz deney cihazı ve cihaz donanımları, ...	124
Şekil 3.25. Shimadzu DSC–60 termogravimetrik analiz deney cihazı, donanımları ve gaz giriş çıkışı.....	125
Şekil 3.26. Odun plastik kompozitlerin SEM için kullanılan taramalı elektron mikroskobu.	125
Şekil 3.27. Deney numunelerinin iklimlendire kabinine yerleştirilmeleri.	126
Şekil 3.28. Deney numunelerinin yaşlandırılmaya bırakıldığı konum.	127
Şekil 3.29. Spektrometre.	128
Şekil 4.1. Deney numunelerinin yoğunluk değerleri.	131
Şekil 4.2. LDM tipi, oranı ve EAI’nin deney numunelerinin su alma oranı..	133
Şekil 4.3. LDM tipi, oranı ve EAI’nin numunelerin kalınlıkça artma oranına etkileri.	135
Şekil 4.4. Deney numunelerinin eğilme direnci değerleri.	139
Şekil 4.5. Deney numunelerinin eğilmede elastikiyet modülü değerleri.	141
Şekil 4.6. Deney numunelerinin çekme direnci değerleri.	143

Şekil 4.7. Deney numunelerinin çekmede elastikiyet modülü değerleri.	146
Şekil 4.8. Deney numunelerinin kopmada uzama miktarı değerleri	148
Şekil 4.9. Deney numunelerinin darbe direnci değerleri.	150
Şekil 4.10. Deney numunelerinin sertlik değerleri.	152
Şekil 4.11. Deney numunelerinin doğrusal yanma hızı değerleri.....	154
Şekil 4.12. Deney numunelerinin gerilme gevşeme değerleri.	158
Şekil 4.13. kızılçam ve zeytin pirinasına ait TGA ve DTG termografları.....	159
Şekil 4.14. Deney numune gruplarına ait termogravimetrik (TGA) termografları.	160
Şekil 4.15. Deney numunelerinin diferansiyel termogravimetrik Analiz (DTG) termografları.	161
Şekil 4.16. Deney numunelerinin diferansiyel taramalı kalorimetre (DSC) termogramları.	163
Şekil 4.17. Deney numune gruplarına ait SEM görüntüleri	165
Şekil 4.18. Deney numune gruplarına ait SEM görüntüleri.	165
Şekil 4.19. Deney numune gruplarına ait SEM görüntüleri	166
Şekil 4.20. Deney numune gruplarına ait SEM görüntüleri.	166
Şekil 4.21. Deney numune gruplarına ait SEM görüntüleri.	167
Şekil 4.22. Deney numune gruplarına ait SEM görüntüleri.	167
Şekil 4.23. Deney numunelerinin yoğunluk değerleri.	170
Şekil 4.24. Deney numunelerinin su alma oranı.....	171
Şekil 4.25. Deney numunelerinin kalınlıkça artış oranı.	175
Şekil 4.26. Deney numunelerinin eğilme direnci değerleri.	180
Şekil 4.27. Deney numunelerinin eğilmede elastikiyet modülü değerleri.....	183
Şekil 4.28. Deney numunelerinin çekme direnci değerleri.	186
Şekil 4.29. Deney numunelerinin çekmede elastikiyet modülü değerleri.	189
Şekil 4.30. Deney numunelerinin kopmada uzama miktarı değerleri.	191
Şekil 4.31. Deney numunelerinin darbe direnci değerleri.	194
Şekil 4.32. Deney numunelerinin sertlik (Shore-D) değerleri.	197
Şekil 4.33. Deney numunelerinin doğrusal yanma hızı değerleri.....	199
Şekil 4.34. Deney numunelerinin gerilme gevşeme değerleri.	203
Şekil 4.35. Deney numunelerinin yoğunluk değerleri.	207
Şekil 4.36. LDMO ve MOSO'nın deney numunelerinin su alma oranlarına etkisi.	208
Şekil 4.37. MOS ve LDM türü ve oranının deney numunelerinin kalınlıkça artma oranlarına etkisi.	210
Şekil 4.38. Deney numunelerinin eğilme direnci değerleri.	213
Şekil 4.39. Deney numunelerinin eğilmede elastikiyet modülü değerleri.....	215
Şekil 4.40. Deney numunelerinin çekme direnci değerleri.	217
Şekil 4.41. Deney numunelerinin çekmede elastikiyet modülü değerleri.	219
Şekil 4.42. Deney numunelerinin kopmada uzama miktarı değerleri.	221
Şekil 4.43. Deney numunelerinin darbe direnci değerleri.	222
Şekil 4.44. Deney numunelerinin sertlik (Shore-D) değerleri.	224
Şekil 4.45. Deney numunelerinin doğrusal yanma hızı değerleri.....	225
Şekil 4.46. Deney numunelerinin ortalama gerilme gevşeme değerleri.....	227
Şekil 4.47. Deney numune gruplarına ait termogravimetrik (TGA) termografları.	229
Şekil 4.48. Deney numunelerinin diferansiyel termogravimetrik Analiz (DTG) termografları.	229
Şekil 4.49. Deney numunelerinin diferansiyel taramalı kalorimetre (DSC) termogramları.	231
Şekil 4.50. Deney numune gruplarına ait SEM görüntüleri.	233

Şekil 4.51. Deney numune gruplarına ait SEM görüntüleri.	233
Şekil 4.52. Deney numune gruplarına ait SEM görüntüleri.	234
Şekil 4.53. Deney numune gruplarına ait SEM görüntüleri.	234
Şekil 4.54. Deney numunelerinin yoğunluk değerleri.	237
Şekil 4.55. Deney numunelerinin yoğunluk değerleri.	238
Şekil 4.56. Farklı parçacık büyüklüğü ve oranlarda TiO ₂ katılımı ile üretilen deney numunelerinin su alma oranı.	240
Şekil 4.57. Farklı parçacık büyüklüğü ve oranlarda TiO ₂ katılımı ile üretilen deney numunelerinin kalınlıkça artış oranı.	243
Şekil 4.58. Deney numunelerinin eğilme direnci değerleri.	248
Şekil 4.59. Deney numunelerinin eğilme direnci değerleri.	249
Şekil 4.60. Deney numunelerinin eğilmede elastikiyet modülü değerleri.	252
Şekil 4.61. Deney numunelerinin eğilmede elastikiyet modülü değerleri.	253
Şekil 4.62. Deney numunelerinin çekme direnci değerleri.	257
Şekil 4.63. Deney numunelerinin çekme direnci değerleri.	258
Şekil 4.64. Deney numunelerinin çekmede elastikiyet modülü değerleri.	261
Şekil 4.65. Deney numunelerinin çekmede elastikiyet modülü değerleri.	262
Şekil 4.66. Deney numunelerinin ortalama darbe direnci değerleri kopmada uzama miktarı değerleri.	266
Şekil 4.67. Deney numunelerinin ortalama darbe direnci değerleri kopmada uzama miktarı değerleri.	267
Şekil 4.68. Deney numunelerinin ortalama darbe direnci değerleri.	270
Şekil 4.69. Deney numunelerinin ortalama darbe direnci değerleri.	271
Şekil 4.70. Deney numunelerinin ortalama sertlik direnci değerleri.	274
Şekil 4.71. Deney numunelerinin ortalama sertlik direnci değerleri.	275
Şekil 4.72. Deney numunelerinin ortalama doğrusal yanma hızı değerleri.	278
Şekil 4.73. Deney numunelerinin ortalama gerilme gevşeme değerleri.	283
Şekil 4.74. Deney numunelerinin ortalama gerilme gevşeme değerleri.	284
Şekil 4.75. Deney numune gruplarına ait 0, 6-12 ve 18 ay yaşlandırılmış ortalama renk değişim değerleri.	289
Şekil 4.76. Deney numune gruplarına ait 0, 6-12 ve 18 ay yaşlandırılmış ortalama renk değişim değerleri.	290
Şekil 4.77. Deney numune gruplarına ait termogravimetrik (TGA) termografları.	294
Şekil 4.78. Deney numunelerinin diferansiyel termogravimetrik analiz (DTG) termografları.	294
Şekil 4.79. Deney numunelerinin diferansiyel taramalı kalorimetri (DSC) grafikleri.	297
Şekil 4.80. Deney numune gruplarına ait SEM görüntüsü.	299
Şekil 4.81. Deney numune gruplarına ait SEM görüntüsü.	299
Şekil 4.82. Deney numune gruplarına ait SEM görüntüsü.	300
Şekil 4.83. Deney numune gruplarına ait SEM görüntüsü.	300

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

OPK	: odun plastik kompozitler
MAPP	: Maleik Anhidritli Polipropilen
PE	: Polietilen
PP	: Polipropilen
YYPE	: Yüksek yoğunluklu polietilen
AYPE	: Alçak yoğunluklu polietilen
PS	: Polistiren
PVC	: Polivinil klorür
PET	: Polietilen tereftalat
ZPU	: Zeytin pirinası unu
KOU	: Kızılçam odunu unu
MFI	: Erime akış indeksi
TGA	: Termogravimetrik analiz
DSC	: Diferansiyel taramalı kalorimetre
SEM	: Taramalı elektron mikroskobu
LDM	: Lignoselülozik dolgu maddesi,
HPR	: Sentetik temelli mineral dolgu maddesi
ASTM	: American Society for Testing and Materials
ED	: Eğilme direnci
EEM	: Eğilmede elastikiyet modülü
ÇD	: Çekme direnci
MPa	: Megapaskal
J/m	: Joul/metre
N	: Newton
Kg	: Kilogram
°C	: Santigrat derece
gr	: Gram
cm	: Santimetre
mm	: Milimetre
µm	: Mikron
nm	: Nano

1. GİRİŞ

1.1. Odun Plastik Kompozitler

İki veya daha fazla sayıdaki aynı ya da farklı gruplardaki malzemelerin, en iyi özelliklerini bir araya toplamak veya yeni bir özellik ortaya çıkarmak amacıyla, bu malzemelerin makro seviyede birleştirilmesiyle oluşturulan malzemelere “kompozit malzeme” denir. Başka bir deyişle, birbirlerinin zayıf yönünü düzelterek üstün özellikler elde etmek amacı ile bir araya getirilmiş değişik tür malzemelerden veya fazlardan oluşan malzemeler olarak da adlandırılabilir (Mengeloğlu ve Karakuş, 2008). Genelde plastiklerin termosetler ve termoplastikler olmak üzere iki temel tipi vardır. Bir termoset sertleşme-katılma esnasında bir iç kimyasal işlemde geçer. Bu süreç sonunda malzemenin ısıtılması ile birlikte moleküller birbirine kilitlenir ve katılır. Bundan sonra termosetler, tekrar bozunmadan yumuşatılamaz. Buna karşılık termoplastikler, kendi orijinal özelliklerini korur, kolayca eritilebilir, soğutabilir ve yeniden şekillendirilebilir (Vos, 1998).

Odun plastik kompozitler, “odun lifli plastik kompozit” veya “çevreci kompozit” gibi değişik isimlerle de bilinen ve değişik uygulama alanları olan kompozit malzemelerdir (ASTM, 1998). Odun plastik kompozit terimi, un veya lif halindeki lignoselülozik malzeme ve termoset ya da termoplastikleri içeren kompozitleri ifade etmektedir (Clemons, 2002). Bir başka deyişle, odun plastik kompozitler lignoselülozik malzemelerle, plastik maddeler ve gerekli katkı maddelerinin birbiriyle karıştırılması ve üretim süreci sonunda elde edilen kompozitlerin genel olarak adlandırılmasıdır (Matuana ve Heiden, 2004). Buradaki odun kelimesi, odun parçası gibi dar bir anlamda değil lifsel yapıya sahip bütün tarımsal atıklar ve odunsu materyali kapsamaktadır. Bu materyaller, lifler ya da unlar haline getirilmiş olarak üretimde kullanılmaktadır (Kaymakçı, 2015). Odun plastik kompozitler odun ve matris polimer özelliklerini birleştiren malzemelerdir ve bu kompozitler ile termoplastik polimerlerin üretim tekniği aynıdır (Hietala, 2013).

Odun plastik kompozit üretiminde lignoselülozik esaslı dolgu maddelerinin kullanılması, inorganik dolgu maddelerinin kullanımına göre düşük ağırlık ve daha az aşınma vb özellikler sağlamaları dolayısıyla avantaj sağlamaktadır. Lignoselülozik dolgu maddelerinin yoğunlukları (1,3–1,4 gr/cm³), inorganik dolgu maddelerinin (kalsiyum

karbonat 2,9 gr/cm³, cam lifleri 2,5 gr/cm³) yoğunluklarından düşük olması, bu maddeleri özellikle otomotiv ve ambalaj sektöründe ön plana çıkarmaktadır (English ve Falk,1995). Odun plastik kompozitlerin üretiminde kullanılan odun ve plastikler ile bunlardan elde edilen pelletler Şekil 1.1.'de gösterilmiştir.



Şekil 1.1. Odun ve plastikler ile bunlardan elde edilen pelletler.

Odun plastik kompozitlerin özellikleri kullanılan odun/lif yapısına, plastiğin molekül ağırlığına, zincirleme derecesine, katkı ve uyum sağlayıcı maddelere bağlıdır (Mengeloğlu, 2006). Odun plastik kompozitlerin üretimde; odun ve plastik malzeme dışında kalıp ile eriyik arasındaki sürtünmeyi azaltan (%1–5) yağlayıcı maddeler ve performansı arttıran bağlama ajanları kullanılır (Gupta, 2006). Odun plastik kompozitte dolgu malzemesi olarak odun unu kullanılması, kompozitlerin sertliği ve aynı zamanda dayanıklılığını artırır (Jeong, 2005).

Odun plastik kompozit üretiminde kullanılan odun hammaddesinin narinlik oranı oldukça önemlidir. Daha önce yapılan çalışmalar odun unundan daha yüksek narinlik oranına sahip odun liflerinin kompozitlerin direnç özelliklerini geliştirdiğini ortaya koymuştur. Ancak yüksek narinlik oranına sahip lifleri işleme ve üretme sırasında yaşanan besleme güçlüğünden dolayı, bu tür lifler odun plastik kompozit üretiminde nadiren kullanılmaktadır (Hietala, 2013). Odun plastik kompozitler, genellikle ağırlıklarının 50–70% oranında odun unu veya lifi içerir. Genel olarak, üretimde kullanılan odun ununun boyutları 10 ile 80 mesh arasında olabilir. Üretimde kullanılan odun unu zımpara tozu, planya ve şerit testere talaşı gibi marangoz atölyesi atıkları olabilir. Genel olarak, odun plastik üretiminde kullanılan odun ununun narinlik oranı (boy/çap) 1/1 ile 4/1 aralığındadır.

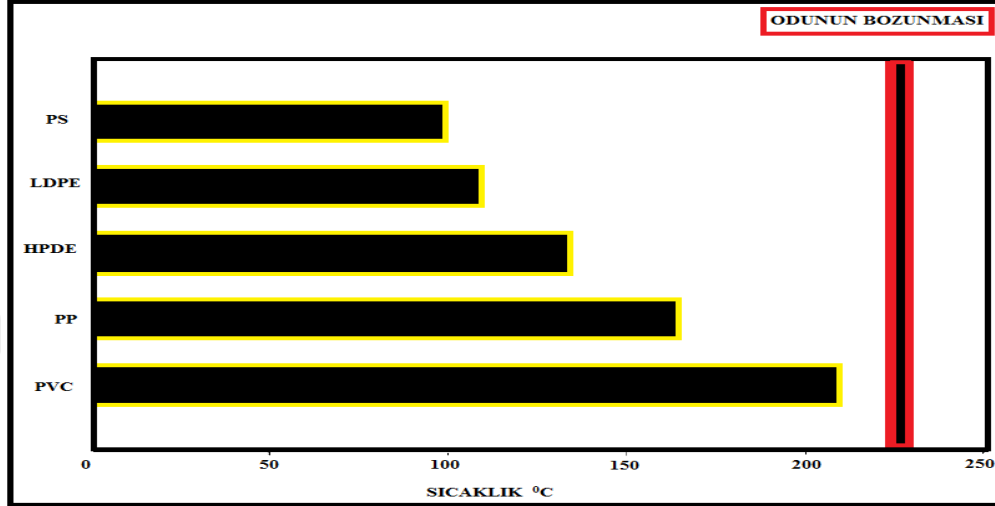
Odun plastik kompozitler genellikle iki ana bileşenden oluşur ve her bileşen son ürünün kullanım amacına göre şekillenir (Chen, 2009). Odun plastik kompozitler, kereste

ile karşılaştırıldığında daha düşük bakım masrafları gerektiren ve odunun işlenmesi sırasında ortaya çıkan atık malzemenin kullanılmasından dolayı yenilenebilir bir malzemedir. Üretiminde atık kullanılmasından dolayı “yeşil kompozit” olarak da isimlendirilmektedir (Clemons ve Ibah, 2004). Odun plastik kompozit üretimi çok basit ve sorunsuz bir üretim değildir. Odun lifi ya da unlarının plastik matrisi içerisine katılması sonucunda elde edilen bu malzemelerin üretimindeki en önemli sorunlar: odun ve plastik matrisi arasındaki yüzey uyumsuzlukları ve bağlanma problemleri, ekstruder içerisindeki proses sırasında karşılan sürtünme, basınç ve sıcaklık yükselmesi gibi durumlardır (Mengeloğlu, 2006). Odun plastik kompozit malzemelerin üretimi sırasında parametrelerin iyi ayarlanması ve her türlü detayın önceden belirlenmesi gerekmektedir.

Odun plastik kompozit üretiminde, termoplastik esaslı polimerler polietilen (PE), polipropilen (PP), polivinilklorür (PVC), polisitren (PS) ile diğer lignoselülozik kütlelerden üretilen unlar veya lifler kullanılmaktadır. Lignoselülozik malzemelerin 200°C civarında bozunmaya başlaması dolayısıyla OPK üretimde kullanılacak plastiklerin düşük çalışma sıcaklığına sahip olmaları (polietilen, polipropilen, polivinilklorür, polisitren vb.) tercih edilmektedir (Matuana ve Heiden, 2004). Odun plastik kompozit malzeme üretiminde odun unu ve liflerinin yanında tarımsal bitki atıkları, jüt, kenaf ve kenevir gibi doğal lifler de kullanılmaktadır (Klyosov, 2007). Lignoselülozik esaslı liflerin maliyetinin az olması, yoğunluğunun düşük olması, üretim esnasında fazla aşınmaya sebep olmaması, yüksek spesifik dirence sahip olması, bol miktarda bulunması ve doğada kolayca bozulabilmesi gibi özellikleri bu malzemelerin termoplastik kompozit üretiminde kullanılmasını cazip hale getirmiştir (Karakuş ve ark., 2014). Kenaf, buğday samanı, kenevir, keten ve odun gibi pek çok farklı türde lignoselülozik malzeme odun plastik kompozit üretimde kullanılmaktadır (Mengeloğlu ve karakuş, 2008). Üretimde kullanılan odun lifi ve unu gibi malzemelerin büyüklükleri değişkenlik göstermektedir. Üretimde kullanılan odun lifi oranı ve lif boyutunun odun plastik kompozitlerin mekanik özellikleri üzerinde önemli etkileri vardır (Klyosov A., 2007).

Plastik malzemenin odun malzeme ile karıştırılması pek çok farklı türde katkı maddelerinin kullanımını gerektirebilir. Üretilecek kompozitin mekanik özelliklerini geliştirmek için “odunun plastik içinde kolay dağılmasını sağlamak gibi” üretimde uyum sağlayıcı malzemeler de kullanılmaktadır. Birçok uygulamada termoplastik içinde odun malzemenin mekanik özelliklerini geliştirmek için uyum sağlayıcı gerekmez; ancak UV stabilitesi, sıcaklık veya antibiyotikler için direnç özellikleri gibi diğer kimyasal

özelliklerini arttırmak amacıyla bu maddeler ilave edilebilir. Bugün en yaygın olarak kullanılan uyumlaştırıcı malzemeler, polipropilen (MAPP) takviyeli maleik anhidrit veya polietilen (MAPE) aşılı ya da maleik anhidrittir (Rowell, 2006). Odun plastik kompozit üretiminde sık kullanılan bazı plastiklerin erime dereceleri Şekil 1.2.'de gösterilmiştir (Wolcott ve Englund, 2010).



Şekil 1.2. Odun plastik kompozit üretiminde sık kullanılan bazı plastiklerin erime dereceleri (Wolcott ve Englund, 2010).

Odun plastik kompozitler odun ile karşılaştırıldığında odun plastik kompozitlerin özgül ağırlığı, mantarlara karşı direnci, boyutsal stabilitesi ve rutubet dirençleri daha fazladır. Bu özellikler üretim sırasında içine katılan katkı maddeleri yardımıyla daha da arttırılabilmektedir (Clemons, 2002). Odun plastik kompozitlerin üretiminde talk (%0–25), termosetler, yağlayıcı maddeler, stabilizatörler ve küçük miktarlarda, %2–3 oranında, plastifiyanlar gibi birçok katkı maddesi kullanılmaktadır. Yağlayıcı maddeler yüzey düzgünlüğünü sağlamak, ekstruder içinden kolayca malzemenin geçmesini sağlamak, üretimde kullanılan malzemelerin birbirlerine kolay birleşmelerini sağlamak amacıyla kullanılır (Rude, 2007).

1.1.1. Odun plastik kompozitlerin tarihi

Termoplastik malzemelerin içinde lignoselülozik malzemeleri kullanarak yeni malzemeler elde etmek, malzeme maliyetini azaltmak ve mekanik özelliklerini arttırmak yeni bir şey değildir. Bu konuda yayımlanan makale, bildiri, 1960 ve 1970'lere uzanan patentler bulunmaktadır. 1990 yılında artan plastik maliyetleri ve çevresel yönler düşünülerek yenilenebilir malzemeler üretme isteği, bu malzemelere olan ilgiyi arttırmıştır (Rowell, 2006). Bu malzemeler birkaç on yıl önce süt testileri, bakkal torbaları gibi

tüketim sonrası geri dönüştürülmüş plastik, kereste ve mobilya fabrikalarından üretim sonrası ortaya çıkan talaşları bir araya getirme düşüncesinden hareketle geliştirilmiştir (Wang, 2008).

İlk ticari kompozit olan bakalit; fenol formaldehit ve odun ununun karışımından üretilmiştir (Clemons, 2002). İlk odun plastik kompozit (OPK) üretimi Leo Beakeland tarafından 1907 yılında odun unu ve fenoliklerin karıştırılmasıyla üretilmiş ve ticari amaçla 1916 yılında Rolls Royce marka otomobillerin vites kolu olarak kullanılmıştır. İlk odun-termoplastik kompozitler ise 1920'li yıllarda İtalya'da polipropilen ile odun ununun otomobil iç panelleri için ekstrüzyon yöntemiyle şekillendirilmesiyle üretilmiştir. Odun plastik kompozitler uzun bir duraklama döneminden sonra, 1983 yılında ABD'de aynı amaçla kullanılmaya başlanmıştır (Mengeloğlu, 2006).

Odun plastik kompozitlerin önemi ve büyüyen potansiyeli üzerine 1991 yılında uluslararası bir konferans ile bu kompozitlerin işlenmesi ve geliştirilmesi için bilim ve teknoloji ile ilgili bir forum yapılmıştır (Smith, 2001). Bu konferansı takip eden yıllarda benzeri bir konferans Toronto, Kanada 'da düzenlenmiş ve bu konferanslar 1990'lı yıllardan sonra süreklilik kazanmıştır. 1996 yılından sonra Amerika'da bulunan birçok şirket odun veya diğer doğal lifleri kullanarak hazır odun plastik kompozit pelletleri üretmeye başlamıştır. Teknolojik gelişmeler ve pazarda olan hareketliliği artınca, birçok üretici odun plastik kompozit üretimine başlamıştır (Clemons, 2002). Günümüzde bu ürünlerin Avrupa ve Kuzey Amerika pazarlarında birçok üreticisi bulunmaktadır (Crookston, 2009). 1980 yılından beri odun plastik kompozit pazarı dünya çapında sürekli bir büyüme göstermektedir. Odun Plastik kompozit ürünlerinin özellikle dışmekan uygulamalarında yaygın bir kullanımı bulunmaktadır. Günümüzde özellikle yer döşeme, parmaklık ve çit gibi dışmekan uygulamalarında yaygın olarak kabul görmektedir. Odun plastik kompozitlere giderek artan talep ve bu ürünlerin popülaritesi hem sanayi alanında hem de akademik alanda teşvik görmektedir.

1.1.2. Odun plastik kompozitlerin kullanım alanları

Odun plastik kompozitlere olan ilgi, yapıldığı malzemelere göre daha geliştirilmiş direnç özelliklerine sahip olmaları nedeniyle, bu ürünlerin kullanım alanlarını tüm dünyada gittikçe artmaya başlamıştır. Odun plastik kullanım yerlerini üretimde kullanılan malzemelerin oranına, birbirleriyle uyumuna, tasarımına ve kullanılacağı çevre şartlarına

göre değişiklik göstermektedir. Bazı Odun plastik kompozit ürünlerine örnekler Şekil 1.3'te gösterilmiştir.

Odun plastik kompozitler 1990'lardan bu yana farklı uygulamalarda sürekli kullanılmaktadır. Odun plastik kompozitler bina ve binanın zemin kaplaması, çöp kovaları, çiçek saksıları yapımı, merdiven korkulukları, balkonlar, spor aletleri yapımı, kapı ve pencere çerçeveleri gibi dışmekan uygulamalarında, emprenye edilmiş ağaç malzemenin yerine, inşaatlarda kullanılmaktadır. Odun plastik kompozitlerin diğer kullanım alanları ise otomotiv iç panelleri, parke ve mobilyadır (Hietala, 2013).



Şekil 1.3. Bazı odun plastik kompozit ürünleri-İkea tarafından enjeksiyon yöntemi ile üretilmiş odun plastik kompozit sandalye (Eder ve Carus, 2013).

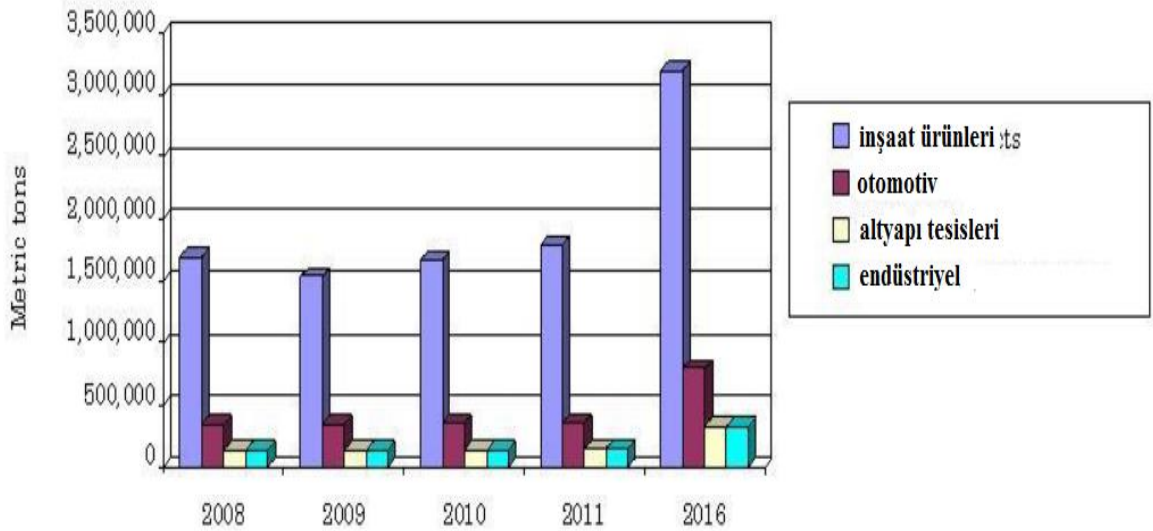
Odun plastik kompozit ürünlerinin inşaat, içmimari, otomotiv, bahçe ve dışmekan, endüstriyel ve diğer uygulama alanları ve son kullanma yerleri Şekil 1.4.'te gösterilmiştir.

Odun Plastik Kompozitlerin Pazar ve Uygulama Alanları (Optimat ve Merl, 2003).						
Sektör	İnşaat Uygulamaları	İç mimari Uygulamaları	Otomotiv Uygulamaları	Bahçe ve Dış mekan Uygulamaları	Endüstriyel Uygulamalar	Diğer Uygulamalar
Pazar Uygulamaları	Dış cephe kaplaması	Korkuluk	Kapı kaplamaları	Zemin kaplaması	Korkuluk	Siyah piyano tuşları
	Kapı kasaları	Perde ve panjurlar	Kablo kanalı	Çit Uygulamaları	Endüstriyel ambalaj	Küvet
	Sundurma	Kanal Bağlantıları	İç panel	Bahçe mobilyaları	Deniz kazıkları ve bölmeleri	
	Mavna panoları	Zemin döşemesi	Raflar	Kulübe ve baraka	Palet ve Kasa	
	Döşeme	Dekoratif profiller	Jant kapakları	Park bankları	Rihtım / iskele Döşemeleri	
	Tavan ürünleri	İç paneller	Kamyon zeminleri	Çocuk oyun parkı	Korkuluklar	
	Çatı kaplaması	Mutfak dolapları		Park Zemin Döşemeleri	Tren traversleri	
	Merdiven	Laminat parke			Çöp kovaları	
	Pencere çerçeveleri	Raflar			Tabela	
		Süpürgelikler				
		Ses yalıtımı kaplamaları				
		Çalışma tezgahları				

Şekil 1.4. Odun plastik kompozitlerin Pazar ve uygulama alanları (Optimat ve Merl, 2003).

OPK ürünleri zemin kaplaması, korkuluk, dış cephe kaplaması, lambri, kereste, veranda, piknik masası, otomobil iç malzemeleri üretimi ve profil yapma gibi birçok uygulamada kullanılmaktadır (Clemons, 2002). Odun plastik kompozit malzemelerin mobilya endüstrisinde kapı-pencere doğraması, park-bahçe mobilyası ve kamelya malzemesi gibi kullanılma potansiyelleri bulunmaktadır (Mengeloğlu ve Karakuş, 2008b). Odun plastik kompozitler sundurma, yüzey kaplama ve çatı pedavrası gibi yerlerde de kullanılabilir. Başlıca kullanım alanları: yürüyüş yolları, açık hava mobilyaları, marinalar, havuz ve spa alanları, çit, kapı ve köprüler, balkonlar ve barınaklardır (Clemons, 2002).

2008–2016 yılları arasında olan ve olması gereken odun plastik kompozit pazarında kullanım alanları ve bu alanlardaki ton bazında kullanım miktarları Şekil 1.5’te verilmiştir.



Şekil 1.5. 2008 ve 2016 yılları arasında olan ve olması gereken odun plastik kompozitpazarında kullanım yerleri ve ton bazında tüketim miktarları.

1.1.3. Odun plastik kompozitlerin avantaj ve dezavantajları

Odun plastik kompozitlerin cam lifi veya diğer mineral liflerle karşılaştırıldığında en önemli avantajları, düşük enerji kullanımı, düşük karbon salınımı, doğada daha fazla geri dönüşüm ve üretimlerinde daha az atık çıkması gibi özellikleriyle çevreye daha az zarar vermeleridir (Youngquist 1995). Odun plastik kompozitler içerisinde bulundukları plastik ve odun malzemenin özellikleriyle karşılaştırıldıklarında kolay işlenebilirlik, saf plastiğe göre daha yüksek sertlik derecesi, oduna göre daha yüksek boyutsal stabilite, mineral dolgu maddelerine nazaran daha düşük özgül ağırlığa sahip olmaları odun plastik kompozitlerin en önemli avantajlarıdır. Bu avantajlarla birlikte fiyatı

yüksek plastiklerle kullanıldığında fiyat avantajı, işlenme süre ve işlemlerinin oduna göre daha az zaman alması, atık odun ve plastiği tekrar kullanabilme ve kullanım yerine göre istenilen şekil ve boyutlarda üretilebilmeleri gibi önemli avantajlara sahiptir (Bledzki ve Sperber, 1999).

Odun plastik kompozitlerin diğer bazı avantajları ise; hacimsel olarak daha düşük maliyete sahip olmaları, plastik matrislerin yoğunluğu yüksek olduğundan lignoselülozik materyallerle karıştırıldığında bu yoğunluğun düşmesi, yüksek modülüs ağırlık oranına sahip olmaları ve üretimde sağladığı esnekliğin yüksek olmasıdır. Aynı zamanda farklı mekanik özellikler elde etmek için farklı katmanlardan ve farklı kombinasyonlarla kompozit malzeme inşa edilebilir olması, yüksek spesifik sertlik sağlanabilir (yüksek dayanıklılık/yoğunluk oranı) olması, kompozit malzemelerin kimyasallara, korozyona ve hava şartlarına dayanıklılık göstermesi, karmaşık parçaların tek olarak üretilebilmesinden dolayı parça sayısının azalmasını sağlayarak ara birleştirme detay ve parçalarının azalmasıyla üretim süresi kısaltmalarıdır (Mengeloğlu ve ark., 2002). Lignoselülozik esaslı liflerin maliyetinin az olması, yoğunluğunun düşük olması, üretim esnasında fazla aşınmaya sebep olmaması, yüksek spesifik direnç sahip olması, bol miktarda bulunması ve doğada kolayca bozulabilmesi gibi özellikleri termoplastik kompozit üretiminde bu malzemelerin kullanılmasını cazip hale getirmiştir (Karakuş ve ark., 2014).

Odun plastik kompozitlerin sağlamış olduğu diğer avantajlar ise rutubete karşı yüksek direnç, yüksek boyutsal stabiliteye sahip olup çalışması çok az, üretiminde kullanılan artık malzemelerden dolayı doğa dostu, isteğe göre boyutlandırılabilir olması ve az bakım gerektirmesi, mantar ve böceklerle karşı dayanıklı olmasıdır. Odun plastik kompozitlerin odun ve plastik arasında çok iyi bir yapışma olması koşulu ile düşük yoğunluğa sahip olması, düşük maliyetli olması, yüksek direnç özelliklerine sahip olması, doğada kolay bozunması sayesinde çevreci olması, yenilenebilir olması, makinede kolay işlenebilmesi, atık malzemelerden üretilebilmesi gibi birçok avantajları vardır (Rude, 2007). Üretiminde geri dönüşümden elde edilen hammaddelerin kullanılması, çatlama, çürüme ve böcek saldırılarına karşı direncinin yüksek olması, düşük maliyetlerle bakımının yapılabilmesi gibi bazı avantajlara da sahiptir (Perhac, 2007).

Odun plastik kompozitler masif kereste ile karşılaştırıldığında rutubete maruz kaldığında boyutsal stabilitesi ve direnci yüksektir, daha uzun kullanım ömrüne sahiptir, üst yüzey işlemlerine gerek yoktur, renklendiriciler üretim esnasında katılabilir, profil ekstrüzyon veya enjeksiyon yoluyla karmaşık şekiller yapmak daha kolaydır, kolay montaj

edilebilmesi ve zehirli kimyasal maddelerle (emprenye) işlemeye gerek duyulmaması, istenilen boy ve şekilde, çeşitli renk ve dokuda üretilebilmesi; gibi birçok avantajlara sahiptir (Wang, 2008).

Odun plastik kompozitler birçok avantaja sahip olmasının yanı sıra bazı dezavantajlar da söz konusudur. Plastik hammaddenin pahalı olması, özellikle de termoplastik matrislerin pahalı olması, odun plastik kompozitlerin üretiminde en büyük dezavantajdır. Bunun yanı sıra kompozitlerin kırılğan (gevrek) malzeme olmasından dolayı kolaylıkla zarar görmesi ve onarımının yeni problemler meydana getirmesi, bazı kurutma tekniklerinin uzun zaman alması, plastiğe göre daha düşük çarpma direncine sahip olması (Mengeloğlu ve ark., 2002), çoğu uygulama yerinde masif odunla karşılaştırıldığı zaman, yüksek yoğunluk ve düşük şok direncinden dolayı polimer biokompozitlerin kullanımını sınırlanmaktadır (Karakuş ve Mengeloğlu, 2015). Diğer taraftan, odun plastik kompozitler masif kereste ile karşılaştırıldığında yüksek başlangıç maliyetlerine sahip olması bazı mekanik özelliklerinin masif keresteye göre daha düşük olması ve masif kereste kadar estetik bir görünüme sahip olmamasıdır (Wang, 2008). Odun plastik kompozitlerin uzun vadede dayanımlarının araştırılmamış olması, ilk başlangıç yatırımlarının yüksek olması (Perhac, 2007), odunun polar yapısı, termoplastiklerin non-polar yapısını bağlanması için birleştirici katkı maddelerini gerektirmesi ve odun liflerin plastik içinde tamamen dağılmasının zor olması gibi birtakım dezavantajlara sahiptir (Yam, 1990).

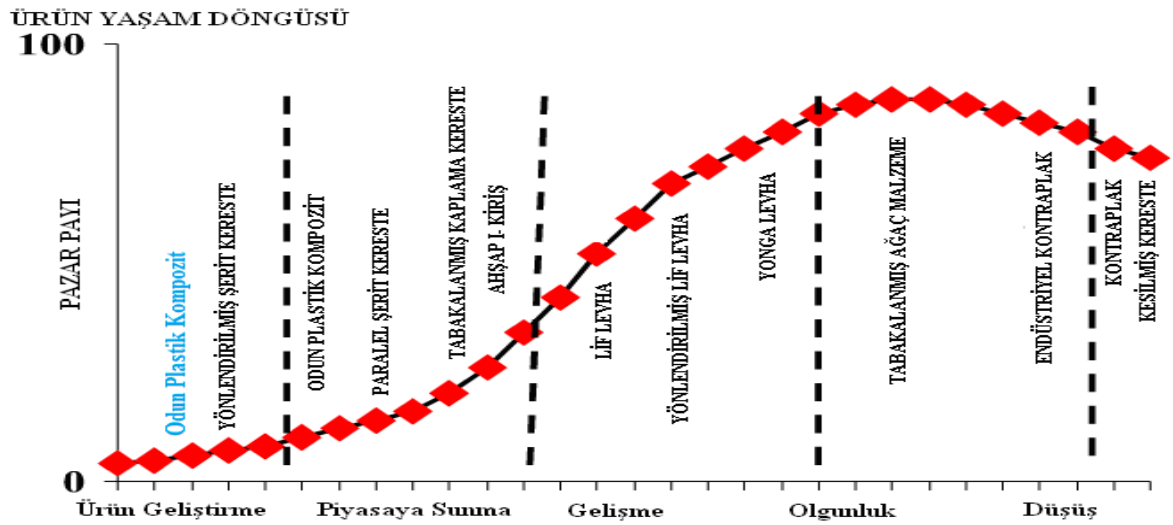
1.1.4. Odun plastik kompozitlerin pazarı

Farklı uygulamalarda odun plastik kompozitlerin kullanımı 1990'lardan bu yana sürekli büyüyen bir pazar olmuştur (Hietala, 2013). Yapılan bazı analizlerin sonuçlarına göre odun plastik kompozit pazarının daha çok kereste ürünleri pazarında rağbet gördüğü ve kullanım alanlarının çatı, yüzey kaplama, yer döşemesinde olduğu ve kullanım yerine göre vinil, beton, alüminyum gibi malzemelerle bir rekabet içinde olduğu ortaya çıkmıştır (Winandy ve ark., 2004). Odun plastik kompozit pazarında son on yılda önemli bir büyüme yaşanmıştır. Bu büyüme ile odun plastik kompozitlerin önümüzdeki yıllarda inşaat malzemeleri pazarına girerek daha önemli bir yer alacağı düşünülmektedir (Villechevrolle, 2008).

Orman ürünleri endüstrisinde üretilen orman endüstri ürünleri için ürün yaşam döngüsü Şekil 1.6'da gösterilmiştir. Bu ürün yaşam döngüsüne göre odun plastik

kompozitler diğer orman endüstri ürünlerine göre gelişme aşamasında olan, piyasaya sunulmuş en yeni üründür (Ece/Fao, 2000).

Odun plastik kompozitler, termoplastik bir matris içinde odun unu ve lifi olan; ayrıca orman ürünleri sektöründe keresteye alternatif ürünler ile büyüyen ve önem kazanan malzemelerdir. Normal masif keresteye göre birçok avantaja sahip olması, bu ürünlerin inşaat sektöründe pazar payını arttırmaktadır (Perhac, 2007). Odun plastik kompozitlerin yer döşeme sektörüne girmesi pazar payının artmasını sağlamıştır. 2009 yılı için yer döşeme pazarındaki payı %25 civarında gerçekleşmiştir (Rossi, 2005). OPK ürünlerinin yer döşemesi pazarında büyümesinin bir sonucu olarak bu ürünler ile çatı bileşeni, çit ve parmaklık gibi ürünlerin de üretilmesini sağlamıştır. Bu büyüme yeni dış uygulamalar için geliştirilmiş ürünlerin ortaya çıkmasını sağlamıştır (Stark ve Mueller, 2008). OPK ürünlerinin özellikle yer döşeme piyasasında CCA ile emprenye edilmiş kerestenin yerini alması ile bu ürünlerin özellikle Amerika Birleşik Devletleri'ndeki pazarında büyük bir büyüme ortaya çıkmıştır (Rowell, 2006). Doğal lif ve odun plastik kompozitlerin kullanımında Avrupa'da son günlerde artış olmasına rağmen odun plastik kompozitler için en büyük pazar Kuzey Amerika ve Asya olmuştur (Hietala, 2013).

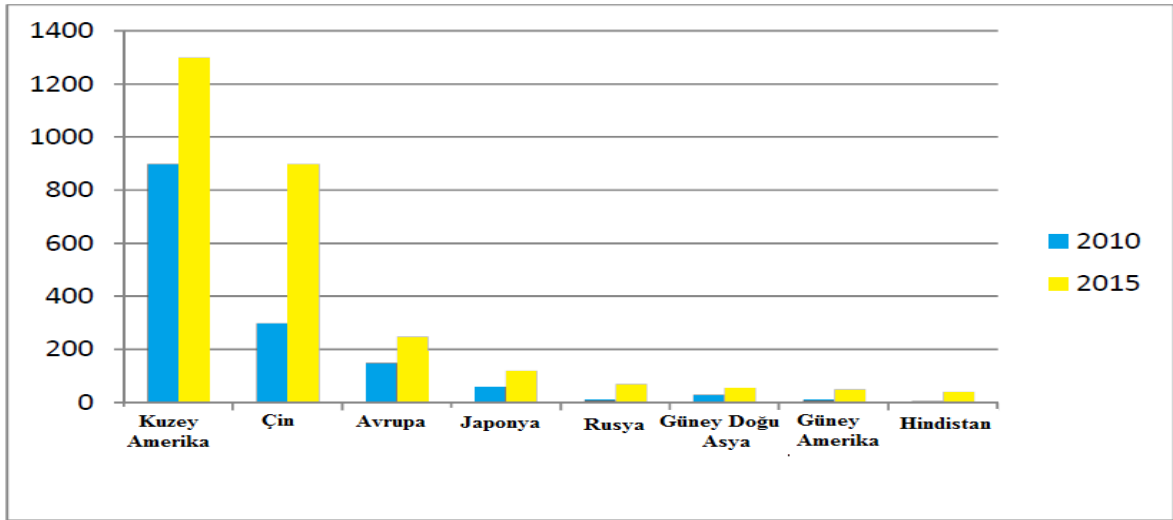


Şekil 1.6. Orman ürünleri endüstrisinde üretilen mühendislik ürünü ağaç malzemeler için ürün yaşam döngüsü (Ece/Fao, 2000).

1997 yılından 2005 yılına kadar odun plastik kompozit pazarında büyük bir artış yaşanmıştır. 1997 yılında %2 olan pazar payı, 2005 yılında %18'e çıkarak ABD pazarında %16 artış yaşanmıştır. Ayrıca, 2005 yılında odun plastik kompozit pazarı ekonomik olarak 702 milyon \$ 'a ve 2011 yılında yaklaşık 5,4 milyar \$ 'a ulaşmıştır (Chen, 2009). 2010 yılında odun plastik kompozit, selülozik plastikler, plastik kereste ve doğal elyaf kompozit

uygulamaları için küresel pazar yaklaşık 2,3 milyon mt olmuştur. Bu pazarın 2011 yılında 2,4 milyon metrik ton olacağı, 2011 ve 2016 arasında %13,8'lik yıllık büyüme oranı ile 2016 yılına kadar 4,6 milyon metrik tonu geçmesi beklenmektedir.

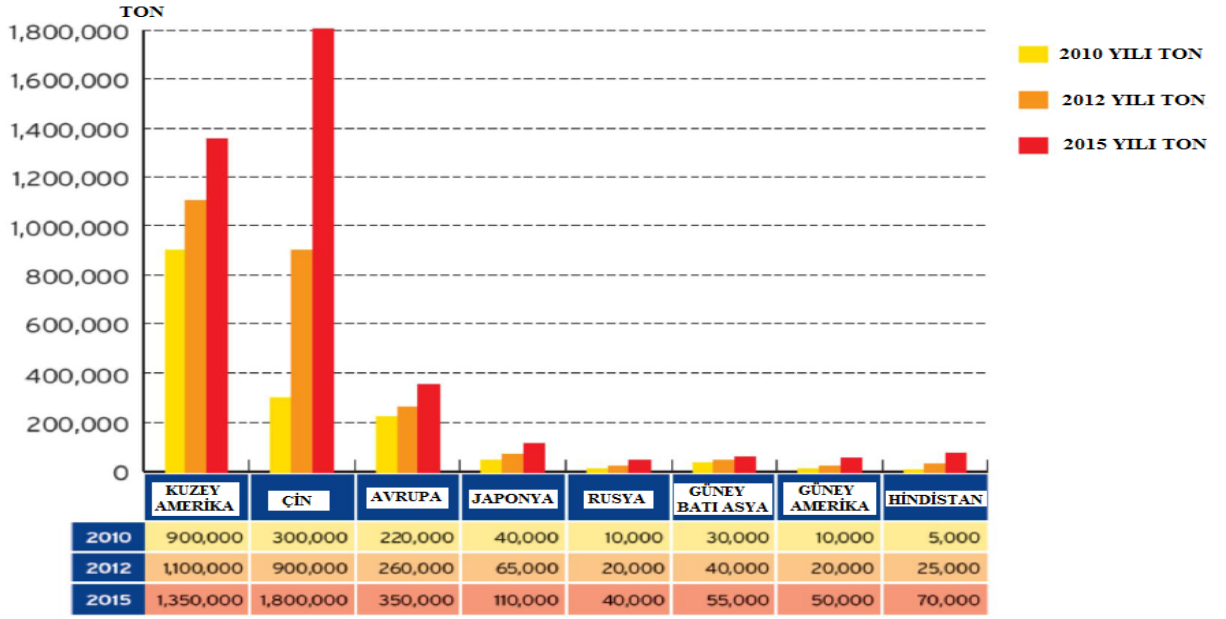
Kaynaklar, Dünya çapında odun plastik kompozit üretiminde yıllara göre büyük bir artış olduğunu belirtmektedir. Örneğin 2012 yılında 2,43 milyon ton olan odun plastik kompozit üretimi, 2015 yılında 3,83 milyon ton düzeyine ulaşmıştır. Avrupa'da 2012 yılında 260,000 ton olan odun plastik kompozit üretimi 2015 yılında 350,000 tona ulaşmıştır (Carus ve ark., 2014). Kuzey Amerika'da 2012 yılında 1,1 milyon ton odun plastik kompozit üretimi yapılmıştır. Bu yıl odun plastik kompozit üretiminde lider olan Kuzey Amerika, liderliği 2012 yılının ikinci üreticisi olan Çin'e bırakmıştır. Çin, 2015 yılında 1,8 milyon ton üretim yaparak liderliği almıştır (Eder 2013). Odun plastik kompozit üretiminin 2020 yılında Avrupa'da 400,000 tona ulaşacağı tahmin edilmektedir (Carus ve ark., 2014). 2010 ve 2015 yılları arasında ülkelere göre odun plastik kompozitin ton bazında üretim miktarları Şekil 1.7'de verilmiştir.



Şekil 1.7. Odun plastik kompozitlerin ton bazında pazar gelişimi (Eder ve Carus, 2013).

2000–2009 yılları arasında Amerikan pazarında ortalama %22 ve Avrupa pazarında %51 büyüme sağlanmıştır. Çin, odun plastik kompozit üretimine geç başlamasına rağmen pazarda söz sahibi bir ülke konumundadır (Eder, 2010). 2011 yılı verilerine göre, odun plastik kompozit üretimi dünyada yıllık 1,5 milyon tonun üzerindedir. Kuzey Amerika yaklaşık 1 milyon ton ile birinci sırada yer alırken, Çin 200 bin ton ile ikinci sırada ve Japonya 100 bin ton üretimle üçüncü sırada yer almaktadır. Almanya yaklaşık 70 bin ton üretim ve OPK makine teknolojileri ile Avrupa'da lider konumdadır (Çavdar, 2011). Toplam 651 odun plastik kompozit üreticisinin %62 Çin pazarında, %10'u Avrupa'da,

%9'u Kuzey Amerika'da, %5'i Rusya'da, %7'si güney batı Asya'da bulunmaktadır (Dammer ve ark., 2013). Kompozit malzemelere olan talep gittikçe artmaktadır. Yayınlanan raporlara göre son beş yıl içerisinde odun plastik kompozitlere olan talep dünya çapında 1,515,000 tondan 3,825,000 tona yükselmiştir (Mengeloğlu ve ark., 2015). 2010 ve 2012 yıllarında üretilen ve 2015 yılına kadar tahmini odun plastik kompozit üretimi, üreticilerin ülkelere göre dağılımı Şekil 1.8.'de verilmiştir.



Şekil 1.8. 2010-2012 yıllarında üretilen ve 2015 yılına kadar tahmini odun plastik kompozit üretimi (Carus ve ark.,2014).

Ülkemizde ahşap plastik kompozit endüstrisi 2000'li yılların başında, Avrupa'dan ithalat yoluyla başlamasına karşın yerli üretim 2000'lerin sonlarına doğru başlamıştır. Bugün, Türkiye de 10 adet yerli fabrika ve yaklaşık 10 adet de ithal marka olmak üzere 20 farklı ahşap plastik kompozit markası yer almaktadır. Ülkemizde ahşap plastik kompozit, özellikle yapı endüstrisinde bilinen bir malzeme olup fabrika sayısı her geçen yıl artış göstermektedir (Kaymakçı, 2015).

1.2. Odun Plastik Kompozit Üretiminde Kullanılan Malzemeler

1.2.1. Lignoselülozik dolgu maddeleri

Malzeme teknolojisinde ortaya çıkan yeni üretim metotları çok küçük boyutlardaki hammadde ve atıkların bile üretimde kullanılmasına olanak tanımaktadır. Bu gelişmelere paralel olarak, geleneksel olarak kullanılan malzemelere göre daha ince, hafif, direnç özellikleri yüksek, su, hava ve güneşin bozucu etkilerine dayanıklı yeni nesil malzemeler

ortaya çıkmıştır. Bununla birlikte, ucuz ve bol hammadde ihtiyacını mevcut kaynaklardan en etkili şekilde kullanmak için insanoğlu, üretimden arta kalan atık ve kullanılmayan lignoselülozik malzemelere yönelmiştir.

Dolgular, polimerlerin içerisine hacmini artırmak ya da özelliklerini iyileştirmek için katılır. Genellikle inorganiktir fakat az da olsa organik olanları da vardır. İnert dolgu maddeleri polimerlerin hacmini artırır ve maliyetini ise azaltır. Aktif dolgu maddeleri belirli mekanik ve/veya fiziksel özelliklerde spesifik gelişmeler sağlar ve böylece güçlendiriciler olarak adlandırılır. Dolgu maddeleri ve güçlendiricilerin artan kullanımı bu tür malzemelerin önemini göstermektedir (Hohenberger, 2003). Dolgu maddelerinin yapısal etkisi, onların şekline, tanecik boyutuna ve tanecik boyutu dağılımına bağlıdır. Mineral dolgu maddeleri: küre, küp, blok, yonga ve lifli olmak üzere 5 farklı tanecik şeklinde olabilir. Lifsi bir dolgu maddesi genellikle gerilme direncini artırabilir (Leong ve ark., 2004).

Dolgu maddeleri, yapı ve bileşimleri ile polimerlerden farklı olan ve plastiklere katı halde karıştırılan katılardır. Polimerlerde kullanılan dolgu maddeleri, polimerlerin içinde çözünmeyen, partiküllerden oluşan, uçucu olmayan ve işleme derecesinde genelde polimerle etkileşmeye girmeyen maddelerdir. Bu tür katkılar, başlangıçta sadece maliyeti düşürmek amacıyla kullanılmışsa da giderek takviye edici özelliklere sahip olanları da geliştirilmiştir (Keskinöz, 2010).

Dolgu maddeleri kullanımı, dolgu maddesinin yapısına ve miktarına bağlı olarak elastik modülünü artırmakta ve plastiğin genleşme katsayısını düşürüp kalıpta büzülmeyi azaltmaktadır. Yine dolgu maddesi kullanımı darbe ve aşınma direncini, ısı ve elektrik iletkenliği arttırıp, ürünün fiyatını katıldıkları oranda düşürmektedir. Aynı zamanda plastik malzemenin görünüşünü değiştirerek matlık ve parlaklık verir. Dolgu maddesinin parçacık büyüklüğü arttıkça plastiğin yüzeyi matlaşmakta veya beyaz renkli dolgu maddesinin parçacık büyüklüğü azaldıkça beyazlık artmaktadır. Camsı ve yüksek kristalin polimerlerde dolgu maddelerinin mekanik özelliklerine önemli bir etkisi olmamasına rağmen dolgu maddeleri plastiğin reolojik özelliklerini değiştirmektedir (Gachter ve müller, 1990).

Mineral dolgu maddeleri kendi aralarında inorganik ve organik olmak üzere iki grupta toplanır. Genel olarak, plastik malzemelere inorganik dolgu maddeleri katılmakla birlikte organik dolgular da kullanılmaktadır. İnorganik dolgu maddeleri talk, mika,

wollastonit, kaolin, kalsit olarak sıralanabilir. Bunlar içerisinde talk (magnezyum silikat) ve kalsiyum karbonat (kalsit veya CaCO_3) en çok kullanılanlardır (Marisa ve ark., 2005).

İnorganik ve/veya organik dolgu maddeleri plastik malzemeye katıldığı zaman plastik malzemenin mekanik dayanımı, modülü ve ısı dayanımı gibi çeşitli fiziksel özelliklerinde değişikliğe sebep olur. Partikül takviyeli kompozit malzemelerin mekanik özellikleri matris polimerdeki partiküllerin boyutu, şekli, dolgu malzemesinin dağılımı ve yüzeydeki tutunması ile ilişkilidir (Mudu, 2010).

Günümüzde halen inorganik dolgu materyalleri OPK üretiminde yaygın olarak değerlendirilmektedir. Ancak kalsiyum, talk, kalsiyum karbonat, alüminyum silikat, kil, cam dolgu, metal oksit benzeri dolgu maddeleri pahalı oluşları ve makine aksamında meydana getirdikleri aşınma dolayısıyla yerlerini organik dolgu materyallerine bırakmaya başlamıştır (Kaymakçı ve ark., 2014).

“Lignoselülozik” terimi, yapısında selüloz, lignin ve hemiselüloz (haloselüloz) içeren malzemeleri ifade etmekte olup, bitkisel kökenli biokütlenin temelini oluşturmaktadır (Yang ve ark., 2007). Lignoselülozik malzemeleri, çeşitli tarımsal atıklar (sap, saman, kabuk gibi), her yıl yapraklarını döken ağaçlar ve iğne yapraklı (kozalaklı) ağaçlar, kentsel katı atıklar (kağıt ve ağaç ürünleri), kağıt ve pulp endüstrisi atıkları ile otsu bitkiler oluşturmaktadır. Ülkemizin tarım ve orman alanlarının %44,3’nü ormanlar, %37,6’lık kısmını ekili tarım alanları, %10,6’lık kısmını nadas alanları ve geriye kalan %7,5’lik kısmını ise meyve ve sebze alanları oluşturmaktadır. %38 ile ifade edilen tarım alanlarımızın ise, %78’inde tahıl üretimi gerçekleştirilmektedir. Dolayısıyla çok miktarda tarımsal atık oluşmaktadır (Korucu ve Mengeloğlu, 2007).

Lignoselülozik yapıya sahip olan tarımsal atıklar ve orman endüstri atıkları, farklı endüstri kollarında kullanılma potansiyeline sahiptir. Bu sanayi kolunda orman endüstrisi ve tarımsal atıklardan elde edilen liflerin ya da unların, polimer-kompozit üretiminde değerlendirilmesi mümkündür. Polimer-kompozit üretiminde çok değişik türlerde; odun unları, buğday sapsı, keten, kendir, kenevir, jüt gibi tarımsal atıklardan elde edilen unlar dolgu maddesi olarak kullanılabilir (Mengeloğlu, 2006).

Ülkemizde, bol miktarda bulunan ve çoğu zaman yakılarak yok edilen tarımsal atıklardan (buğday, arpa, pamuk, tütün, çeltik, mısır sapsı vb.) ve orman endüstrisi atıklarından (ağaçların işlenmesinde ortaya çıkan küçük parça, yonga, talaş ve zımpara tozları) elde edilen unlar ya da lifler doğrudan veya bazı kimyasallarla muamele edilerek

plastiklerle karıştırılıp odun plastik kompozit üretiminde rasyonel bir şekilde değerlendirilmektedir (Mengeloğlu, 2006).

Günümüzde lignoselülozik hammaddelerin termoset ve termoplastik kompozitlerde kullanımı üzerine birçok araştırma yapılmaktadır. Lignoselülozik malzemelerle güçlendirilmiş termoplastik kompozitlerin, düşük ağırlık, yüksek gerilim, sertlik, ucuzluk ve çevresel uyumluluk gibi birçok avantaj vardır (Van de ve Kietkens, 2001). OPK üretiminde dolgu maddesi olarak lignoselülozik materyallerin kullanılması ile üretim maliyeti düşürmekte ve mekanik performansı iyileştirmektedir. Odun plastik kompozitlerin üretiminde polimer olarak geri dönüşüm plastikler; lignoselülozik malzemeler olarak ise orman endüstrisi atıkları ve tarımsal atıklar kullanılabilir. Bu malzemelerin avantajları arasında düşük yoğunluğa, yüksek direnç özelliklerine sahip olmaları ve kolay bulunabilmeleri sayılabilir. Yapılan çeşitli çalışmalarda odun plastik kompozit üretiminde tarımsal atıkların değerlendirilmesi incelenmiş ve bu çalışmalarda bambu lifleri, kendir, kenevir, şeker kamışı, buğday sapları gibi yıllık bitkiler kullanılmış ve olumlu sonuçlar alınmıştır (Gassan ve Bledzki, 1997; Hornsby ve ark., 1997; Chen ve ark., 1998; Vande ve Keikens, 2001, Wang ve Sun, 2002; Panthapulakkal ve ark., 2006; Mengeloğlu ve Kabakçı, 2008).

Odun ve diğer biokütle kaynakları, oksijen içeren organik polimer yapılardan oluşmuştur. Yüksek molekül ağırlıklı karbonhidrat polimerler ve oligomerler (%65–75) ve lignin (%18-5) biokütleyi oluşturmaktadır. Bunların yanı sıra, düşük molekül ağırlıklı organik ekstraktifler ve anorganikler de biokütlerde ağırlıkça %4–10 arasında değişen oranlarda bulunmaktadır. Selüloz, hemiselüloz ve lignin içeriği biokütlenin tipine göre farklılık göstermektedir. Tüm biokütleler selüloz, hemiselüloz ve lignin olmak üzere üç elemandan oluşmaktadır (Mohan ve ark., 2006).

Dünya’da ve Türkiye’de odun dışı yıllık bitki kökenli lignoselülozik maddelerin yaklaşık potansiyeli Çizelge 1.1.’de gösterilmiştir. Son yıllarda, doğal liflerin termoplastik kompozitler içerisinde güçlendirici olarak kullanımı giderek artmaktadır. Aramid ve cam lifleri gibi sentetik güçlendiricilerle karşılaştırdığında doğal lifler, düşük yoğunluğa sahip olmaları, iyi termal izolasyona ve mekanik özelliklere sahip olmaları, makineleri az aşındırmaları, yenilenebilir olduklarından doğada sınırsız bulunmaları, ucuz olmaları ve geri dönüşüm ile tekrar kullanılabilimleri gibi üstün avantajlarıyla termoplastik endüstrisinde daha fazla kullanılmaya başlanmıştır (Ayrılmış ve Ashori, 2014).

Çizelge 1.1. Dünya ve Türkiye lif kaynaklarının potansiyeli (Mengeloğlu ve Alma, 2002).

No	Dünya Lif Kaynakları	Dünya Yıllık Bitki Sapı (ton)	Türkiye Lif Kaynakları	Türkiye Yıllık Bitki Sapı (ton)
1	Tahıl sapsarı	1 145 000 000	Buğday sapsarı	18 000 000
2	Diğer sapsarı	970 000 000	Arpa sapsarı	8 000 000
3	Şeker kamışı	75 000 000	Pamuk sapsarı	3 000 000
4	Göl kamışı	30 000 000	Mısır sapsarı	2 500 000
5	Bambu	30 000 000	Ayçiçeği sapsarı	2 500 000
6	Pamuk lifi	15 000 000	Kendir-kenevir	2 000 000
7	Jüt, Kenaf, Kendir	10 900 000	Tütün sapsarı	300 000
8	Papirus	5 000 000	Çavdar sapsarı	240 000
9	Pamuk linteri	1 000 000	Pirinç sapsarı	200 000
10	Esparto otu	500 000	Göl kamışı	200 000
11	Sisal- abaca yaprakları	480 000	Pamuk linteri	100 000
12	Sabai out	200 000	Pamuk şiti	580 000
13	Odun	1 750 000 000	Asma çubuğu	600 000
14	Toplam	4 033 080 000		38 220 000

1.2.2. Lignoselülozik dolgu maddelerin genel yapısı

Lignoselülozik biokütle, tipik olarak gıda olarak tüketilmeye müsait olmayan bitki materyallerinden oluşur. İçeriğinde temel polisakkarit olarak selüloz, hemiselüloz, fenolik bir polimer olan ve aynı zamanda bitkiye yapısal sağlamlık kazandıran ligninin olduğu bilinmektedir (Sluiter ve ark., 2010). Lignoselülozik materyallerin kompozisyonları kaynağına göre değişmektedir. Temel olarak selüloz (%35–50), hemiselüloz (%20–35) ve lignin'den (%10–25) oluşur. Lignoselülozik materyallerin diğer bileşenleri proteinler, yağlar ve küldür (Saha, 2003).

Selüloz en fazla ve saf halde (<%95) pamuk bitkisinde bulunmaktadır. Diğer lignoselülozik bitkilerde de (odun, ziraat bitkileri ve otlar), lignin, hemiselüloz ve ekstraktifler gibi kimyasal bileşiklerle birlikte %30–70 oranında, morfolojik bakımdan daha az gelişme gösteren yosun, algler gibi bitkilerde ise daha az oranda (%10–40) bulunmaktadır (Şahin, 2000). Çizelge 1.2.'de bazı lignoselülozik materyallerin kimyasal bileşimi verilmiştir. Bitkisel kökenli biokütlenin yapısında yer alan bir diğer bileşen grubu ekstraktiflerdir. Ekstrakte edilebilen bileşenlerin miktarı genelde %5 civarındadır. Bazı yapılarda bu oran %15'e çıkmaktadır. Ekstrakte edilebilen maddeler eter, alkol, benzen ve su gibi çözücüler içinde çözünebilen maddeler olarak tanımlanır. Reçine, vaks, tanen, şeker, nişasta, boya maddeleri, pektin, protein, zamk, organik asitler ve terpenler ekstrakte edilebilen maddeler arasında sayılabilir (Gürten, 2008).

Çizelge 1.2. Bazı lignoselülozik materyallerin kimyasal bileşimi (Parisi, 1989; Gürten, 2008).

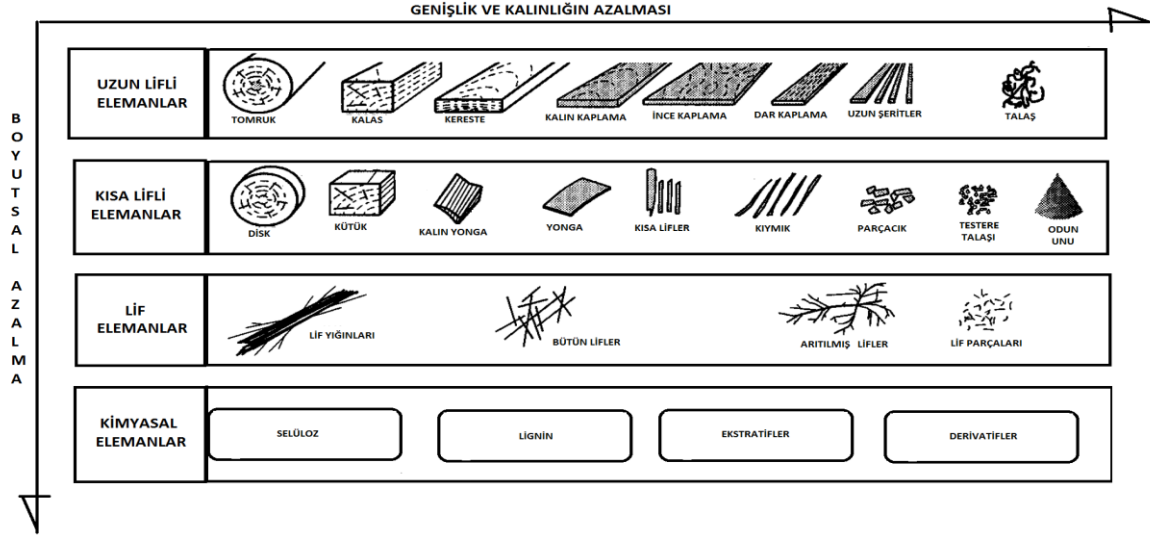
No	Lignoselülozik materyal	Selüloz (%)	Hemiselüloz (%)	Lignin (%)
1	Buğday sapı	28.8	39.1	18.6
2	Çay atığı	30.2	19.9	40.0
3	Fındikkabuğu.	25.9	29.9	42.5
4	Kayın ağacı	45.8	31.8	21.9
5	Ladin ağacı	50.8	21.2	27.5
6	Mısır koçanı	52.0	32.0	15.0
7	Soya sapı	33.0	53.0	14.0
8	Tütün sapı	42.4	28.2	27.0
9	Şeker kamışı	40	30	20
10	Mısır koçanı	45	35	15
11	Buğday sapı	30	50	15

1.2.2.1. Ağaç malzeme

Odun kompozit bir malzeme olarak bilinir ve yapısında polimerler, selüloz, hemiselüloz ve lignin vardır (Wolcott ve ark., 1994). Odunun sertliği, yapısında bulunan lignin, selüloz ve hemiselüloz gibi ana polimerlerin yapısı ile doğrudan orantılıdır (Salmen, 1982). Odunun kimyasal yapısını lignin %24–28, hemiselüloz %27–28, selüloz %42–44 oranında (Walker, 2004) ve belirtilen bu maddeler dışında ağacın yapısında reçine, yağ, albümin, mum, tanen ve bazı boyalı maddeler de bulunmaktadır (Bozkurt ve Erdin, 1997).

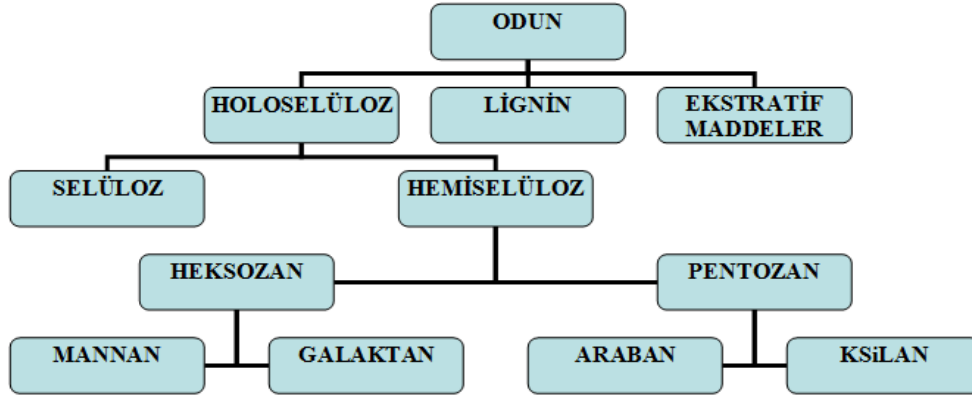
Selüloz ve hemiselüloz yarı kristal polimerlerdir. Selüloz yüksek derecede kristallik oranına sahip bulunmaktadır. Hemiselüloz 180°C civarında bir camsı geçiş sıcaklığı ve Lignin 150°C civarında bir camsı geçiş sıcaklığına sahip (Tg) amorf polimerlerdir (Jennings, 2003). Selüloz 300°C'nin altındaki ve üstündeki sıcaklıklar olmak üzere geniş bir aralıkta bozunmaktadır (Tüzün, 1999). Ligninin hücre çeperindeki esas görevi, yapıştırıcı özelliğinden dolayı, selüloz liflerini bir arada tutmak olarak özetlenebilir. Ligninin polimerik yapısının büyük kısmını üç alkol; sinapil, p-kumaril ve koniferil oluşturur. Bu yapı taşlarındaki reaktif gruplar, alifatik veya aromatik hidroksil gruplarının reaksiyonu ile oldukça karmaşık üç boyutlu kompleks bir fenilpropan polimeri şeklinde lignin makro molekülünü oluşturmaktadır. Fakat polimerik yapıyı oluşturan yapıtaşları, fonksiyonel gruplar ve bağlanma şekilleri büyük ölçüde açıklanabilmiş olmasına rağmen, ligninin kimyasal formülü hala tam olarak yazılamamaktadır (Meryemoğlu, 2009).

Şekil 1.9.'da büyük parçadan küçük parçalara kadar temel odun elemanlar verilmiştir. Odunun mevcut boyutlarından küçülmesi boy olarak azalma ve kalınlık veya genişliğin azalması şeklinde gerçekleşmektedir. Boyutlar azaldıkça daha az işçilik, daha fazla yatırım gerekmektedir. Ancak elde edilen ürünün yapısı homojen, boyutsal stabilitesi ve direnç özellikleri yüksektir (Çavuş, 2008).



Şekil 1.9. Temel odun elemanlar (Yadama, 2002).

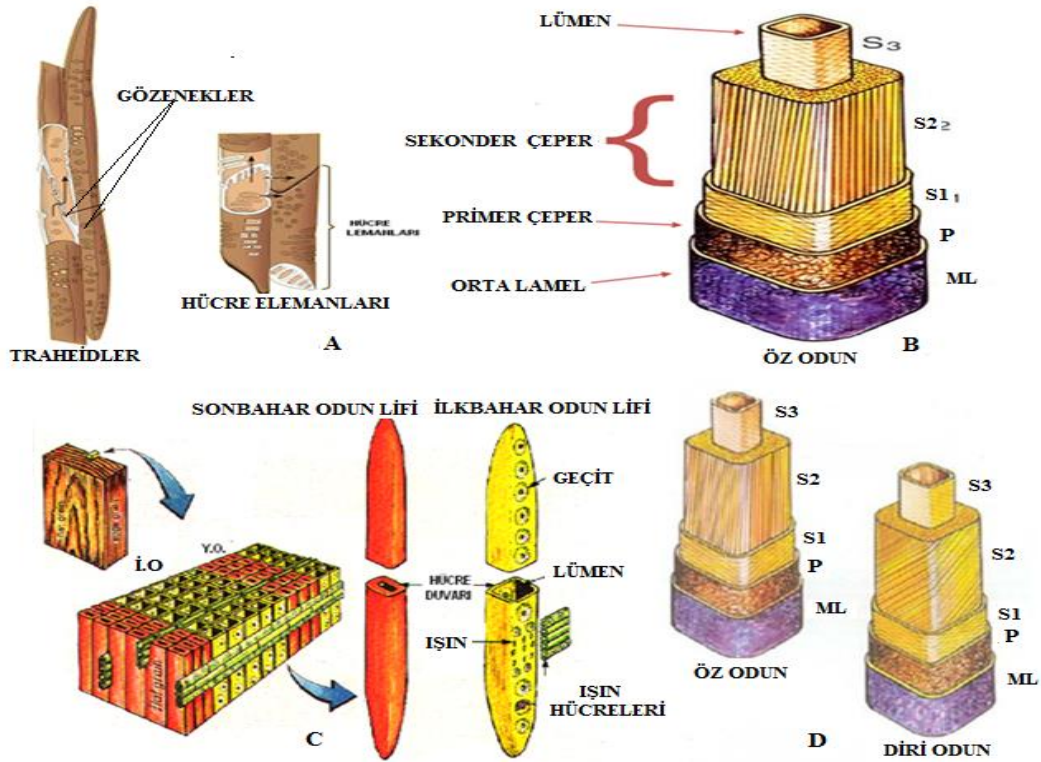
Odunun kimyasal bileşimi Şekil 1.10’da gösterilmiştir. Selüloz ve hemiselüloz yarı kristal polimerler ile selüloz yüksek derecede kristallliğe sahiptir. Ligninin ise camı geçiş sıcaklığı olan (yumuşama noktası olan (Tg)150°C)’ye kadar kırılğan yapısı yoktur (Jennings, 2003). Karmaşık bir yapı gösteren odunun kimyasal bileşiminin çoğunu, yüksek molekül ağırlığına sahip maddeler ve bileşikler oluşturur.



Şekil 1.10. Ahşabı meydana getiren temel bileşenler (Bozkurt ve ark., 1997).

Odun, hücrelerden meydana gelmektedir ve odunu oluşturan hücrelerdeki kimyasalların yapısı ve yoğunlukları önemlidir. Odun hücreleri orta lamel, primer çeper, sekonder çeper ve lümen olmak üzere farklı katmanlardan oluşur. Her odunsu hücre diğerine orta lamel tabakası ile bağlanır. Orta lamel hücre bölünmesi ile oluşur. Görevi lifleri bir arada tutmak, oduna direnç ve dayanıklılık sağlamaktır. Primer çeper, hücre duvarının orta lamele yakın kısmıdır ve hemiselüloz ile ligninden oluşmaktadır. Sekonder çeper dış, orta ve iç çeper olmak üzere 3’e ayrılır. Primer hücre çeperi içte bulunur.

Sekonder hücre çeperi S1 (50–70° fibril açısı) ve S3 (40–80° fibril açısı) tabakalarında çarpık saç örgüsü gibi bir dağılım, S2 tabakasında (10–15° fibril açısı) ise paralele yakın, tek yönlü, düzenli bir dağılım gösterir. Hücrel materyallerin özellikleri, hücrel geometrileri ve hücre duvarının özellikleri tarafından etkilenir. Hücrel yapı üzerindeki ısı ve nem etkisi önemli olmamasına rağmen maddenin hücre duvarının özellikleri fazlasıyla bu etmenlerden etkilenir (Wolcott, 1990). Odun hücresinin (Traheid) görünümü, hücreyi oluşturan katmanlar, ilkbahar ve sonbahar odun lifleri ile öz ve diri odunun hücre çeperi şematik olarak Şekil 1.11(A.B.C.D.)’de gösterilmiştir.



Şekil 1.11. Odun hücresinin (Traheid) görünümü (A), hücreyi oluşturan katmanlar (B), ilkbahar ve sonbahar odun lifleri (C) ile öz ve diri odunun hücre çeperi (D).

Odunsu hücreler, yaptıkları göreve ve türlerine göre farklı yapılar gösterir. İğne yapraklı ve yapraklı ağaç odunlarının destek, iletim ve depolama görevi yapan elemanları vardır. Hücrelerin bu farklı özelliklerinden dolayı bazı türler bazı kullanım yerlerinde daha üstün tutulur. Örneğin, uzun lifli türler lif levha ve kağıt yapımı için daha uygundur. Yapraklı ağaç odunları anatomik yapı bakımından, iğne yapraklı ağaç odunlarına göre daha karmaşık bir yapı göstermektedir. Çizelge 1.3’te iğne yapraklı ve yapraklı ağaç odunlarının hücre tipleri ve oranları gösterilmektedir (Kaymakçı ve ark., 2014).

Çizelge 1.3. İğne yapraklı ve yapraklı ağaç odunlarının hücre tipleri ve oranları (Kaymakçı ve ark., 2014).

No	İğne Yapraklı Ağaçlar		Yapraklı Ağaçlar	
1	Hücre Tipi	Hücre Oranı (%)	Hücre Tipi	Hücre Oranı (%)
2	Traheidler	90–95	Lifler	15–60
3	Paranşimler	4–10	Traheler	20–60
4	Reçine Kanalları	0–1	Özışınları	5–30
5	--	--	Boyuna Paranşimler	0–15

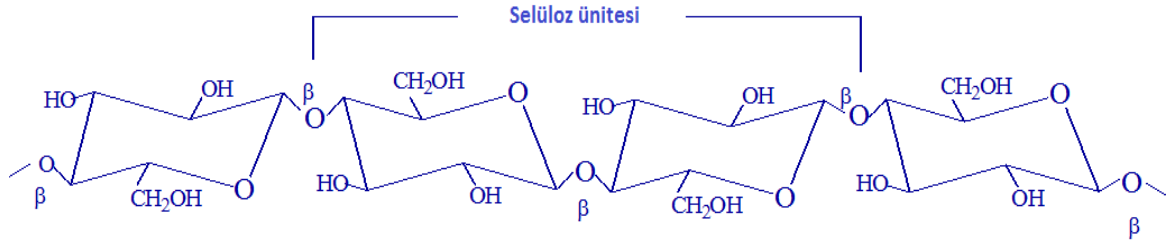
Selüloz

Selüloz, karasal ortamda fazla miktarda bulunan bir biopolimerdir. Özellikle kuru bitkisel materyalin yapısında fazla miktarda bulunmaktadır (Eriksson ve ark., 1990). Selüloz, bütün bitki, ot ve ağaçların temel yapı taşıdır. Selülozun en önemli görevi bitkilere sağlamlık, diklik ve destek sağlamaktır. Doğada saf halde bulunmaz (Johansson, 1999). Selülozun molekül ağırlığı, bitkinin yetiştiği yer ve bitki çeşidine göre değişir. Uzayan molekül, düz şerit formundadır; moleküller içi ve moleküller arası hidrojen bağları ile birbirine bağlıdır. Doğal selüloz, bütün bu düzenli kristal yapıyla beraber kristal olmayan (amorf) bölgelerden de oluşmuştur. Amorf selülozun suyu hızlı bir şekilde absorbe etme yeteneği vardır. Bu yetenek bitkiye yapısal dayanıklılık, esneklikte artış ve kırılmalara karşı direnç sağlar. Selüloz, higroskopik (nem çekici) bir materyaldir, suda çözünmez; fakat su, zayıf asit ve birçok çözücüde şişebilir (Shelton ve Lee, 2000).

Selüloz miktarı hücre çeperinde farklı şekilde dağılım göstermektedir. En fazla selüloz sekonder çeperde S2 tabakasında bulunur. Orta lamel ve siğilli tabakada selüloz bulunmamasına rağmen, primer çeperde %12'nin altında, sekonder çeperde %48–66 civarında selüloz bulunabilmektedir. Yaz odununda, ilkbahar odununa göre daha fazla selüloz bulunur. Ayrıca, yapraklı ağaçlarda reaksiyon odunu oluşumuna basınç odunu denilmekte, basınç odunu da normal oduna göre daha fazla selüloz içermektedir (Hafizoğlu, 1982).

Selüloz üzerindeki hidroksil gruplarına hidrojen köprüleri yardımıyla su bağlanabilir. Böylece su, bitişik zincirler arasına girerek onları birbirinden ayırır. Bu durumda hücre çeperinde daralma veya genişlemeler meydana gelir. Ahşap hücre çeperindeki selüloz moleküllerinin karakteristik yapısının bir sonucu olarak, moleküller üzerinde kristal ve amorf zonlar oluşur. Kristalin bölgede: (1) Selüloz zincir molekülü, düzgün şerit şeklinde bir yapıdadır. (2) Karbon- karbon bağı zincire sertlik verir ve birbirini tutma özelliği kazandırır. (3) Çok sayıdaki hidroksil grupları, molekül boyunca diğer selüloz zincirlerine yan bağlarla bağlanmayı sağlar. Selüloz zincir molekülleri hücre

çeperini oluştururken, yaklaşık 37–42 tanesi birbirine paralel şeritler halinde bir araya toplanır, bunlara fibril adı verilmektedir. Çok sayıda fibrilin birleşmesine ise, mikrofibril denilmektedir. Ahşapta çekme direncini sağlayan selüloz mikrofibrillerinin amorf zonlarında bulunan çok sayıdaki hidroksil grupları ise, selülozun higroskopik bir özellik kazanmasına ve su absorbe etmesine neden olmaktadır (Bozkurt ve Erdin, 2000). Selülozun yapısı Şekil 1.12’de gösterilmiştir.



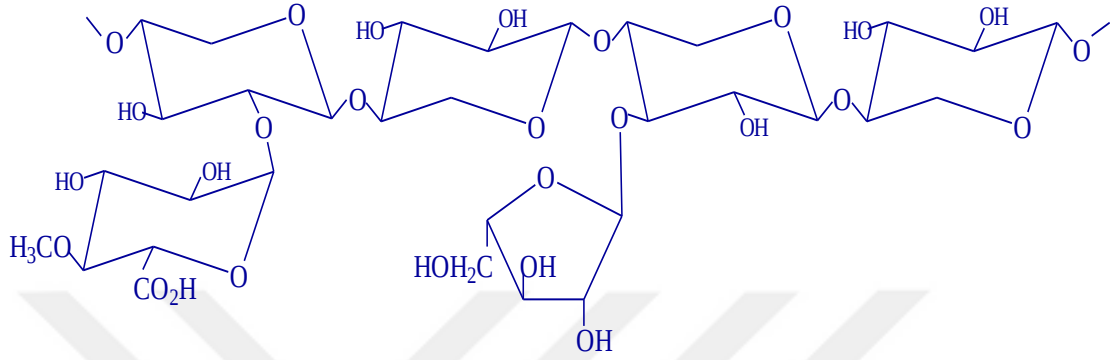
Şekil 1.12. Selülozun kimyasal yapısı (Valenzuela, 2006).

Hemiselüloz

Lignoselülozik maddelerin selülozdan sonraki en önemli bileşenleri hemiselülozlardır. Selüloz gibi kristalin bir yapıya sahip değildir. Hemiselülozlar, odundaki selüloz olmayan başlıca polisakkaritlerdir. Hücre çeperindeki polisakkaritlerin %20–35’ini oluşturmaktadır. Odunun üç ana bileşeni arasında ısıya en duyarlı olanı hemiselülozlardır ve 200–260°C arasında bozunur (Kurtuluş, 2010). Hemiselülozların yapısı, lignoselülozik materyallerin kaynağına göre değişmektedir. Hemiselüloz, sert odunsu ve yumuşak odunsu yapılarda farklılık gösterir. Sert odun hemiselülozları, genellikle 4-O-metil glikoronoksilan şeklinde sınıflandırılmış, yüksek asetilleşmiş heteroksilandan oluşurken; yumuşak odun hemiselülozları glikomannan, galaktoglikomannan ve ksilana sahiptir. Yumuşak odun hemiselülozları (genellikle heksozanlar) asit hidrolize, sert odun hemiselülozlarından (genellikle pentozanlar) daha dirençlidir. Sert odun ksilanları asit hidrolize oldukça dayanıksızdır ve oldukça ılımlı koşullar altında otohidrolize uğrar (Ramos, 2003).

Hemiselüloz polimerleri oldukça amorf ve düzensiz dallanmalara sahiptir; düz zincirler şeklinde düzenlenmiş selüloza göre reaksiyonlara daha duyarlıdır. Hemiselülozlar, kendilerini oluşturan şeker birimlerine göre ksilanlar, mannanlar, arabinoksanlar, glikomannanlar ve glikoksilanlar şeklinde isimlendirilir (Mutlu, 1990).

Hemiselüloz selüloza benzer yapıda olmakla beraber oldukça değişik moleküler farklılıklar göstermektedir. Hemiselülozlar yapraklı ağaçlarda %15–35, iğne yapraklı ağaçlarda %30–32 oranında bulunmaktadır (Bozkurt ve Erdin, 2000). Hemiselülozun aktif bozunma sıcaklığı 200–260°C olarak belirtilmektedir (Cuoci ve ark., 2007). Şekil 1.13.’te hemiselülozun kimyasal yapısı verilmiştir.



Şekil 1.13. Hemiselüloz’un kimyasal yapısı (Valenzuela, 2006).

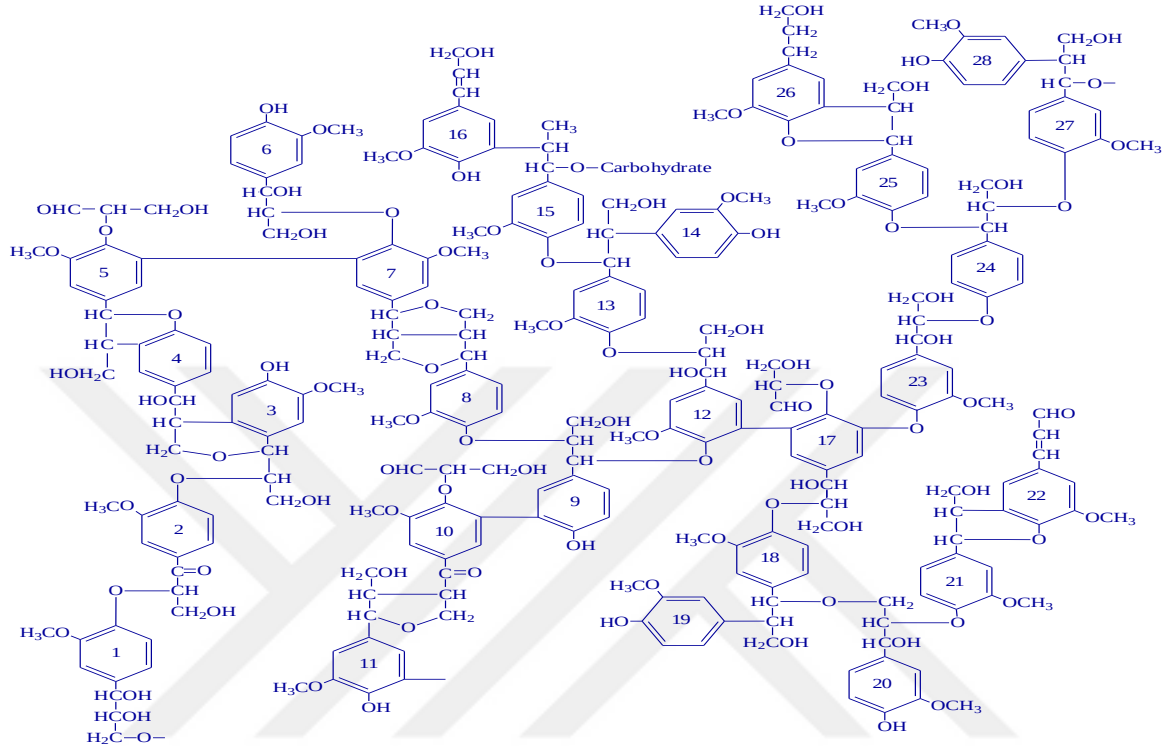
Hemiselüloz yapısında, beş karbonlu şekerler (D-ksiloz ve L- arabioz) ve altı karbonlu şekerler (D-galaktoz, D-glukoz ve D-mannoz) ile üronik asit, 4-O metilglusuronik asit ve galakturonik asit kalıntıları bulunur (Sinha ve ark., 2000).

Lignin

Lignin; karmaşık, hidrofobik, aromatik yapılu bir polimerdir. Bitki hücre duvarının ayrılmaz bir parçasıdır ve bitki hücre duvarında selüloz ve hemiselüloz karbonhidrat matriksine gömülmüştür (Palonen, 2004). Bitkide kök ve gövdenin odunsu yapısını oluşturan madde olarak da bilinir. Odunun özü denen su geçirmez bir yapıya sahiptir. Yaşlanmış ölü hücrelerin selüloz çeperleri üzerinde birikerek bitkiyi uygun olmayan çevre şartlarından korur (Martinez ve ark., 2001). Lignin ise ahşaba basınç direnci kazandırır. Hücre zarını ve ağacı kuvvetlendirme özelliğine sahiptir. Ağaç türlerine göre farklılık göstermekle beraber ahşabın yaklaşık olarak %25’ini oluşturur (Bozkurt ve Erdin, 1997).

Ligninler ise üç boyutlu fenilpropan ünitelerinden oluşmuş, yüksek molekül ağırlığında, karmaşık organik polimerler olup, termoplastik özelliktedir. Karbon, hidrojen ve oksijenden oluşmalarına rağmen, bir karbonhidrat ya da bu sınıfa giren bir bileşik değildir. Esas itibarıyla fenolik yapıda bir madde olan lignin, oldukça stabil olduğundan, güç izole edilmektedir. Ahşap dokusunu oluşturan hücrelerin arasında ve çeperinde bulunur. Hücre çeperinde ise hücreye sertlik verme, basınç direncini artırma ve hidrofobik

özellik kazandırma konularında etkin rol oynamaktadır. Lignin, basıncı stabilize eden, rutubet karşısında şişmeyi ve boyutsal değişmeyi azaltan bir maddedir. Ahşap içerisindeki lignin oranı ağaç türüne göre değişmekle beraber, yaklaşık olarak %25 kadardır (Bozkurt ve Erdin, 2000). Ligninin kimyasal yapısı Şekil 1.14’te gösterilmiştir.



Şekil 1.14. Ligninin kimyasal yapısı (Valenzuela, 2006).

Ligninin hücre çeperindeki esas görevi, yapıştırıcı özelliğinden dolayı, selüloz liflerini bir arada tutmak olarak özetlenebilir. Ligninin polimerik yapısının büyük kısmını üç alkol- sinapil, p-kumaril ve koniferil- oluşturur. Bu yapıtaşlarındaki reaktif gruplar, alifatik veya aromatik hidroksil gruplarının reaksiyonu ile oldukça karmaşık, üç boyutlu kompleks bir fenilpropan polimeri şeklinde lignin makro molekülünü oluşturmaktadır. Fakat polimerik yapıyı oluşturan yapıtaşlarının, fonksiyonel grupların ve bağlanma şekillerinin büyük ölçüde açıklanabilmiş olmasına rağmen, ligninin kimyasal formülü hala tam olarak yazılamamaktadır (Meryemoğlu, 2009).

Ligninin kimyasal yapısı, birbirine yakın üç aromatik bileşikten meydana gelmektedir. Bu maddeler koniferli alkol, sinapil alkol ve p-kumar alkoldür. Lignin asitlerle hidroliz olmaz. Bu alkoller içinde koniferli alkol esas bileşen olup, kozalaklı ağaçların ligninin de %90, yayvan yapraklı ağaçların ligninin de %50 oranında koniferil alkol bulunur (Chrestini ve ark., 1998).

Ekstraktif maddeler

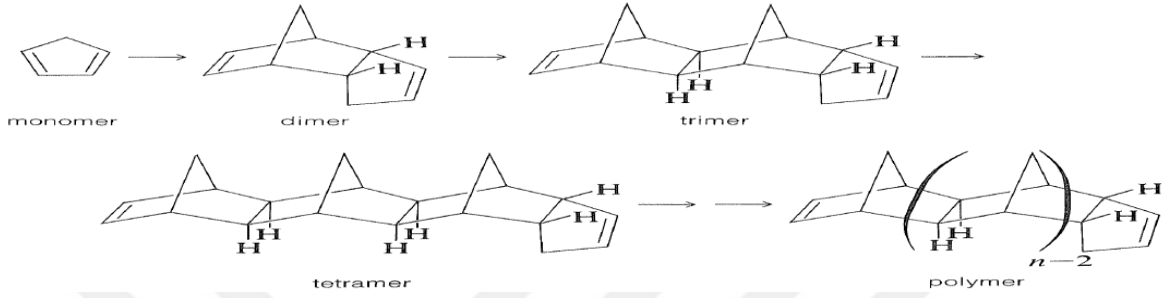
Ekstraktif maddeler hem hücre çeperinde hem de lümeninde bulunan ve organik çözücülerde çözünen bileşiklerdir. Genellikle ağaçlarda patojen saldırıları önlemek ya da yavaşlatmak için biyosentez edildikleri düşünülmektedir. Ekstraktif maddeler, sekonder metabolitler olarak sınıflandırılır. Ağacın fizyolojik işlemlerinde esas rolü üstlenmediklerinden, ikincil elemanlar olarak düşünülmektedir. Yani, hücre çeper yapısını oluşturan esas kimyasal maddelerle ilgileri yoktur (Bozkurt ve Erdin, 2000). Ekstraktifler biyokütlenin yapısında bulunan, biyokütlenin karakteristik özelliğini belirleyen (renk, koku) ve uygun çözücüler (polar çözücüler için; su, metil klorür ve alkol, apolar çözücüler için; toluen ve hekzan) kullanılarak alınabilen bileşikler olarak ifade edilir. Ekstraktifler yağlar, parafin, alkaloidler, proteinler, fenolik yapılar, basit şekerler, zamlar, reçineler, nişasta, glikozidler, sabun ve eser miktarda petrol içerir. Odun ekstraktifleri arasında önemli olanları: yapılarında çok sayıda izopren üniteleri içeren terpenler, tropolanlar, steroller, siyanitler, quinonlar, stilbenler, lignanlar, tanenler, glikozitler, şekerler, yağ asitleri, yağ alkolleri ve inorganik bileşiklerdir (Hafizoğlu, 1984). Bu bileşenlerin miktarı ve çeşidi odun türüne göre değişmektedir. Bu bileşikler odunda çok az miktarda olmasına rağmen odunun kullanılabilirliğini ve özelliklerini büyük oranda etkilemektedir (Fengel ve Wegener, 1984). Ekstraktif maddeler, genellikle odun ağırlığının %3–8 ‘ini oluşturur (Casey, 1960).

1.2.2.2. Odun plastik kompozitlerin üretiminde kullanılan polimerler

Polimerler, çok sayıda yinelenen ve monomer olarak adlandırılan küçük mol kütleli birimlerden oluşan, polimerleşme tepkimeleri ile üretilen uzun zincirli yüksek mol kütleli moleküllerdir. Makromoleküller olarak da adlandırılan polimer molekülünde bulunan yapısal birimler, monomer olarak adlandırılır ve birbirlerine kovalent bağlarla bağlanarak büyük moleküller oluşturur (Patrickios, 2010). Bir polimerleşme işleminde tek tür monomerden çıkılarak sentezlenen polimerlere “Homopolimer”; zincirlerinde kimyasal yapısı farklı iki monomer bulunduran polimerlere ise “Kopolimer” adı verilir (Saçak, 2008).

Kullanım alanlarına göre polimerler; plastikler, fiberler, yapıştırıcılar ve kaplamalar olmak üzere dörde, fiziksel esaslarına göre amorf, kristalin, yarı kristalin olmak üzere üçe ayrılır. Molekül zincirlerinin birbirlerine göre dizilim şekli, plastiklerin fiziksel özelliklerini meydana getiren ana unsurdur. Bu bakımdan amorf ve kristalin olmak üzere

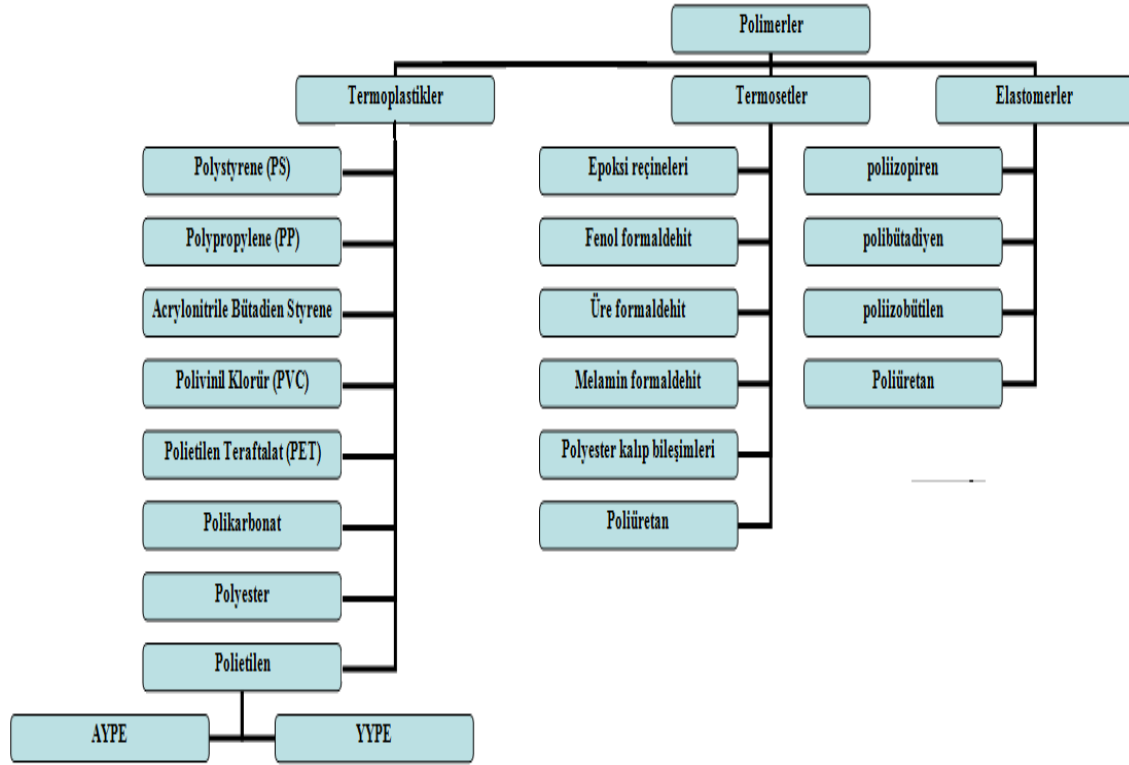
esasen iki yapı vardır. Amorf yapıda molekül zincirleri, birbirlerine göre gelişigüzel bir şekilde bulunurlar. Amorf yapıya sahip plastik malzemelerin çoğunda çekme kuvvetlerinin etkisi altında, molekül zincirleri çekme yönünde bir yönelme göstermektedir. Bu olaya yönelme özelliği denilmektedir ve bu özelliğe sahip amorf yapılar daha yüksek çekme mukavemetine sahiptir (Akkurt, 1991). Polimerleşme işleminde mer'ler ve polimerlerin kimyasal yapısı Şekil 1.15'te gösterilmiştir.



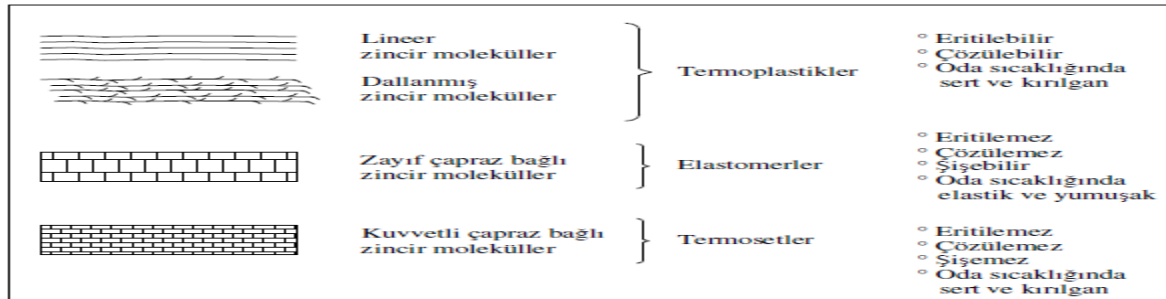
Şekil 1.15. Polimerleşme işleminde mer'ler ve polimerlerin kimyasal yapısı (Sorenson ve Campbell, 1961).

Plastik kelimesi Latince "plasticus", Yunancada "plastikos" kelimesinden dilimize geçmiş ve kalıp verme kelimesine karşılık gelen bir kelimedir. Türkçe sözlükte ise plastik kelimesi biçim verilmeye elverişli olan, organik ve sentetik olarak yapılan madde ve bu maddeden yapılmış olan anlamına gelmektedir. Kompozit malzemelerde plastik matris olarak kullanılan genelde üç tip plastik (Şekil 1.16) mevcut olup, bunlar: termoplastikler, termosetler ve elastomerlerdir (Daniel ve ark., 2005).

Plastikler, monomer denilen kimyasal ünitelerden meydana gelen zincir şeklinde bir yapıya sahip sentetik malzemelerdir. Bir monomer, polimerizasyon yoluyla başka monomer molekülleri ile birleşerek tekrarlanan ünitelerden oluşan çok uzun zincir şeklinde makro molekül (polimerizasyon) meydana getirir. Bunların en basit şekli polietilendir. Plastiklerin yapısı amorf şeklinde olup, uzun ve karışık yapıli zincirlerin (Şekil 1.17) komşuları ile uyum sağlayıp düzenli bir yapı oluşturması çok zordur. Bir lineer polimerin yapısı pişmiş makarnayı andırır, zincirleri birbiri ile dolaşmış halde bulunur. Bazı basit yapıli plastiklerde lokal düzen oluşabilir. Amorf ana yapı içinde oluşan küçük kristal yapıli bölgeler, kristalitler olarak adlandırılır. Oluşan kristaller rastgele yönelir. Kristalleşme imkanı, soğuma hızı yavaş olursa artar. Mekanik özellikler kristalleşme derecesi ile artar (Şahin, 2000). Termoplastikler, çapraz bağıli olmayan, termosetler ve elastomerler ise çapraz bağıli plastiklerdir. Plastikler lineer veya dallanmış dev moleküllerden oluşur (Akyüz, 1999).



Şekil 1.16. Polimerlerin sınıflandırılması. (Daniel ve ark., 2005'ten adapte edilmiştir).



Şekil 1.17. Plastik moleküllerinin dizilişi (Akyüz, 1999).

Polimerler T_g noktasına yaklaştığında malzemenin sertliği hızla azalır ve malzemenin moleküler davranışı artar. Malzeme yumuşama noktasına geldiği zaman kristal yapısı olmayan polimerlerin birçok özelliği yani, elastikiyet modülü gibi özellikleri önemli ölçüde değişir. T_g 'nin yeterince altında malzeme katı ve gerilimi taşıyacak durumdayken lastiksi hal alır (Basan, 2001).

Termoplastikler

Termoplastiklerde, makromoleküller arasında kimyasal bağ bulunmaz. Bu bağların bulunmaması, termoplastiklerin tekrar tekrar işlenebilmesine olanak sağlamaktadır. Aynı zamanda termoplastikler kimyasal çözücülerde çözülebilmektedir. Termoplastikleri makromoleküllerin dizilişine göre ikiye ayırmak mümkündür. Eğer makromoleküllerin

dizilişi rastgele gerçekleşmiş ise malzeme “amorf” olarak adlandırılır. Amorf malzemelere katkı malzemeleri katılmadığı sürece şeffaf bir görünüme sahiptir. Bazı termoplastiklerde yer yer makromoleküllerin dizilişleri bir düzen ihtiva eder. Bu tarz termoplastikler “yarı kristal” olarak adlandırılır. Plastiklerde, makromoleküller karmaşık ve birbirine dolaşmış bir yapı ihtiva eder. Bu da plastik malzemelerin %100 oranında kristalli bir yapıya sahip olmasını engeller. Bu yüzden plastik malzemelerde kristalli bölgeler arasında amorf bölgelerde yer alır.

Kristalleşmiş bölgelerin tüm alana oranı “kristallik derecesi” olarak adlandırılır. Fakat daha basit zincir yapısına sahip olan plastik malzemelerin kristallik derecesi daha yüksektir (Yaşar, 2001).

Çizelge 1.4. Termoplastiklerin Bazı Özellikleri (Onaran, 1999).

No	Malzeme	Ö.A* (gr/cm ³)	Ç.D* (Mpa)	E.E.M* (Mpa)	S.S* (°C)
1	LDPE	0,92–0,93	7–17	105–280	80
2	HDPE	0,95–0,96	20–37	420–1260	100
3	PVC	1,50–1,58	40–60	2800–4200	110
4	PP	0,90–0,91	50–70	1120–1500	105
5	PS	1,08–1,10	35–68	2660–3150	85
6	ABS	1,05–1,07	42–50	----	75
7	PMMA	1,11–1,20	50–90	2450–3150	125
8	Politetrafloloretillen	2,1–2,3	17–28	420–560	120
9	Naylon 6,6	1,06–1,15	60–100	2000–3500	82
10	Selülozikler	1,2–1,3	20–50	----	60

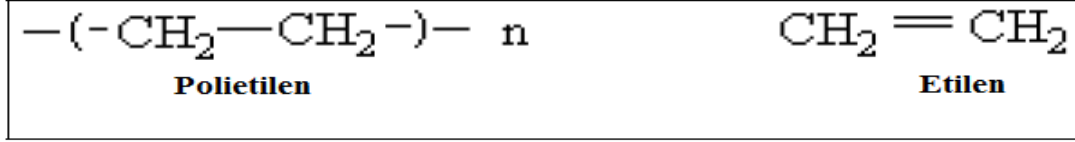
Ö.A* : özgül ağırlık, Ç.D: çekme direnci, E.E.M: elastikiyet modülü, S.S: sıcaklık sınırı.

Termoplastikler ısıtıldığında eriyebilen, şekillendirilebilen malzemelerdir. Enjeksiyon ve ekstrüzyon gibi tekniklerle her şekilde kalıplanabilir. Elastomerlerden farklı olarak belli bir noktaya kadar elastikiyetini korur ve daha sonra kalıcı deformasyona uğrar veya kırılır (Margolis, 2006). Termoplastiklerin bazı özellikleri Çizelge 1.4’te gösterilmiştir.

Polietilen (PE)

Etilen monomerinin polimerizasyonu (Şekil 1.18) sonrasında oluşan, uzun zincirli bir yapıya sahip makromoleküllü polimer “Polietilen” olarak adlandırılabilir. Polietilen bir homopolimerdir (Ezdeşir ve ark., 1999). Bir başka tanımlamayla polietilen bir molekül olup, zincirlerinin sonu metil grubuyla sonlandırılmış bir çift hidrojen atomuyla kovalent bağ ile birleşen çift sayıdaki karbon atomunun birbirleriyle bağlanmasıyla oluşan bir polimer moleküldür (Van der vegt, 1999). Kok fırın gazından veya doğalgaz ya da petrolden üretilen Etilen ve Etan'dan elde edilir (Şeker, 1999). Polietilen, yüksek ve alçak

basınç prosesleri olmak üzere iki temel yöntemle üretilir. Yüksek basınç prosesi ile alçak yoğunluklu polietilen ve kopolimeri, düşük basınç prosesiyle ise yüksek yoğunluklu polietilen ve yeni geliştirilmiş lineer DYPE türü üretilir. YYPE, organometalik, krom oksidi, vanadyum ve molibden oksidi gibi katalizörler yardımıyla 1-80 atm basınç ve 70-300°C sıcaklıkta etilenin polimerizasyonu sonucu elde edilir (Demiryürek, 2004).



Şekil 1.18. Etilen monomeri ve Polietilen zinciri (Ezdeşir ve ark., 1999).

Polietilen dünyada üretimi en çok yapılan polimer türüdür (Saçak, 2005). Polietilen 80–130 °C arasında balmumu gibi davranış sergiler. Polietilen malzemeler kütle halinde yarı saydam veya opak bir görünüş sergilerken film halinde saydamdır (Brydson, 1999). Polietilen, oldukça düşük yoğunluğa sahiptir. Bunların elastikliği yüksektir ve düşük sıcaklıklarda da darbeye dayanıklıdır. Diğer üstünlükleri, pek az su alması ve çok yönlü işlenebilirliğidir. Fiyatı da düşük olduğundan çok yerde kullanabilirler (Şeker, 1999). Yüksek elektriksel yalıtkanlık özelliği bulunur. Aynı zamanda kimyasallara karşı son derece dayanıklıdır (Brydson, 1999).

Çizelge 1.5. Bazı Polietilenlerin genel özellikleri (Khan, 2014; Klyosov, 2007).

No	Özellik	LDPE	HDPE	LLDPE	UHMWPE	MDPE
1	Yoğunluk (g/cm ³)	0.92	0.95	≈ 0.935	0.93–.94	0.925–.935
2	Su absorpsiyonu (24 h)	<0.01	00	<0.01	<0.01	<0.01
3	Erime derecesi	105–118	126–135	126	130–135	120–125
4	Sertlik Shore D	45–51	58–63	38–60	62	45–60
5	Camsı geçiş sıcaklığı Tg (°C)	–110	–110	--	–110	–110
6	Erime Akış İndeks (g/10 dak)	0.3–26	0.2–30	--	--	--
7	Elastikiyet modülü (GPa.)	0,2–0,4	0.6–1,4	0,3–0,7	0.7–0,8	0,4–0,8

Polietilenin yoğunluğu 0,91–0,97g/cm³'tür. Ticari olarak polietilenler; ultra yüksek moleküler ağırlıklı (UHMWPE), yüksek yoğunluklu (HDPE), yüksek yoğunluklu çapraz bağlı (HDXLPE), çapraz bağlı (PEX), orta yoğunluklu (MDPE), düşük yoğunluklu (LDPE), lineer bağlı düşük yoğunluklu (LLDPE), çok düşük yoğunluklu (VLDPE) olmak üzere yoğunlukları ve kimyasal özellikleri dikkate alınarak sınıflandırılır. Polietilenin mekanik özellikleri; moleküler ağırlığı, kristal yapısı ve dallanma tipine bağlıdır (Baker, 2000). Bazı polietilenlerin genel özellikleri Çizelge 1.5'te gösterilmiştir.

Alçak yoğunluklu polietilen (AYPE) bir otoklavda veya boru tipi tübüler reaktörde, etilen monomerlerinin 1200–3000 atmosfer basınç ve 130–350°C sıcaklıkta, organik

peroksitlerin yardımıyla polimerizasyonundan elde edilir. AYPE'nin yoğunluğu 0.910–0.925 gr/cm³ arasında değişir (Bodur, 2010). Alçak yoğunluklu polietilen (AYPE), bir yüksek basınç reaktöründe (otoklav) veya boru tipi reaktörde, etilen monomerlerinin 1000–3000 atm. basınç ve 150–250°C sıcaklıkta, organik peroksitlerin yardımıyla polimerizasyonundan elde edilir (Ezdeşir, 2006). AYPE'nin özellikleri, genel olarak, yüksek darbe dayanımı, zayıf UV dayanımı, yarısaydam ve çok esnek şeklinde özetlenebilir. Hemen hemen hiç kırılmayan bir yapısı vardır. Bu durum AYPE'yi güçlü kılar. Tamamen esnek, yarı saydam veya opak şekillerde bulunabilir. Yüksek oksidasyon şartlarına maruz kalmadığı sürece, oda sıcaklığında tepki göstermez (Psomiadou ve ark., 1997). AYPE, yüksek yoğunluklu PE olan YYPE'ye göre daha dallı bir yapı sergiler. Bu nedenle, moleküller arası bağları daha zayıftır. Yüksek esneklik ve düşük gerilme dayanımı özelliği gösterir (Saçak, 1995).

Orta Yoğunluklu Polietilenin yoğunluğu 0,930–0,948 gr/cm³ aralığındadır. AYPE'ye göre fiziksel dayanımı iki kat daha yüksektir. Bu nedenle islenmesi daha zordur. Son yıllarda üreticiler OYPE ihtiyaçlarını karşılamak ve maliyeti düşürmek amacıyla AYPE-OYPE karışımını kullanmaya ve bunun üretimine başlamışlardır (Aboulkas ve ark., 2010).

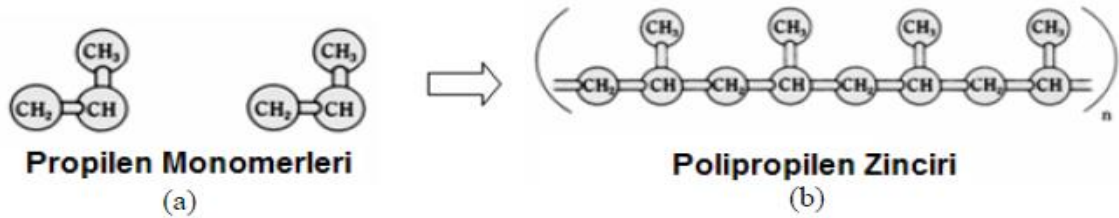
Yüksek Yoğunluklu Polietilen (YYPE) ise titanyum tetraklorür ve organometalik kokatalizörler yardımıyla 10–20 atm. basınç ve 70–80°C sıcaklıkta etilenin polimerizasyonu sonucu elde edilir. Yüksek yoğunluklu polietilen (YYPE) dallanmamış moleküler yapıya sahip olup yoğunlukları 0,946–0,959 gr/cm³ arasında değişir (Ezdeşir, 2006). Yüksek Yoğunluklu Polietilenin (YYPE), genel olarak, zayıf UV dayanımı, yarısaydam ve katı şeklinde özetlenebilir. Yoğunluğu 0,940–0,960 gr/cm³ olup geniş kullanım alanına sahip bir plastiktir. Radikal polimerizasyonu veya koordinasyon polimerizasyonu ile elde edilir. YYPE %90 oranında kristal haldedir. Ana zincirde en az 200 karbon atomu bulunmaktadır. AYPE'ye göre çok daha sert bir yapıya sahiptir. YYPE kalıp çekme, kaplama gibi birçok şekillenme yöntemlerine ve elektriksel uygulamalara elverişlidir. YYPE'nin darbe ve çekme dayanımları yüksektir; bu durum da mekanik özelliklerinin iyi olduğunu ortaya koymaktadır. Gerektiğinde bazı katkı maddelerinin kullanımı ile bu özellik daha da iyileştirilebilmektedir (Aboulkas ve ark., 2010).

Polietilen düşük fiyatlı, kimyasallara dayanıklı, farklı yöntemlerle islenebilen ve farklı yoğunluklarda üretilen bir polimerdir. Uygulama sahaları arasında ev eşyası, oyuncak, boru, hortum, tüp ve sise gibi malzemeler yer almaktadır. Bunun yanında en

önemli kullanım yeri, polimerik film üretimidir. Genellikle, ambalaj filmi, sera örtüsü, alışveriş poşetleri gibi ürünler PE filmlerden yapılır. Polietilenin genel özellikleri mükemmel kimyasal direnç, nem emilimi olmaması, hafiflik, mükemmel yalıtkanlık özelliği ve yüksek darbe dayanımına sahip olması gibi özelliklerdir (Choa ve ark.,1998).

Polipropilen (PP)

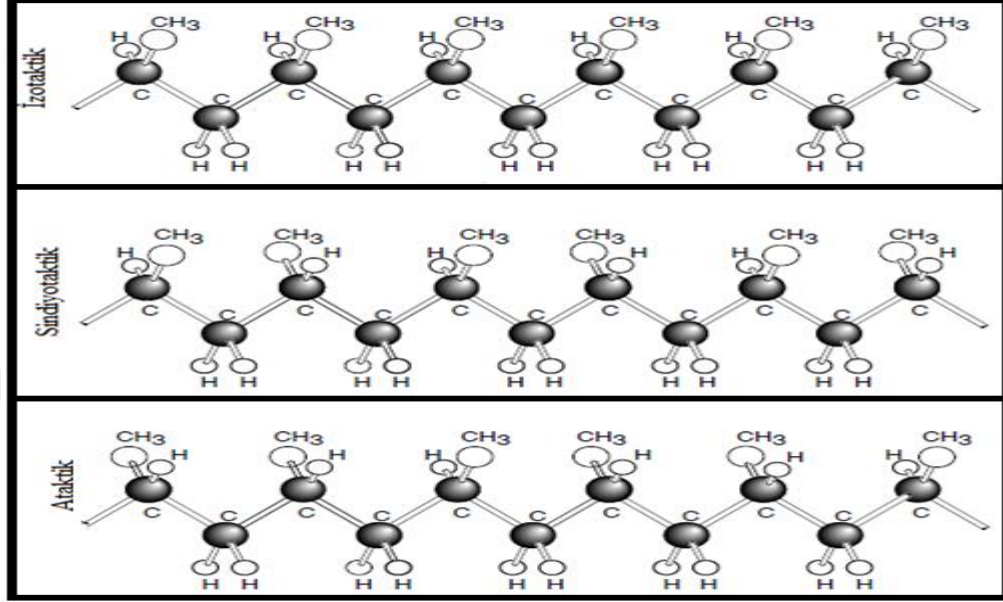
Polipropilen yarı şeffaf, beyaz renkli ve oda sıcaklığında katı halde bulunan bir termoplastiktir. Ergime noktası 175 °C civarındadır. Birçok bükülmeden sonra dahi sertliğini korur. Isı ve ışığın etkisiyle kolayca bozunabilir. Kolay bir şekilde renklendirilemez. Düşük su absorpsiyonu ve su geçirgenliği vardır. Bugün dünyada 150'den fazla polipropilen türü bulunmaktadır. Bu kadar fazla türde polipropilenin bulunması, beraberinde polipropilenin kullanım alanlarını da arttırmıştır (Ekşi ve Erdoğan, 2007). Polipropilen, kontrollü ısı ve basınç altında bir katalizör ile petrol rafinesinin bir gaz ürünü olan propilenin polimerizasyonu ile hazırlanmaktadır. Propilen sadece karbon ve hidrojen atomları içeren doymamış bir hidrokarbondur (Elber, 1993). Propilen molekülünün (Şekil 1.19) asimetrik olması, polimerizasyon sırasında üç farklı polipropilen zincirini oluşturur. Metil (CH₃) gruplarının makromolekül zinciri üzerindeki konumlarına göre polipropilen ataktik, izotaktik, sindiotaktik olmak üzere üç farklı zincir yapısına sahiptir (Monasse ve Haudin, 1995).



Şekil 1.19. Propilen monomeri (a) ve polipropilen zinciri (b) (Maier ve Calafut, 1998).

Polipropilen; soğuk organik çözücülerde çözünmez, sıcak çözücülerde yumuşar. Defalarca bükülmeden sonra bile sertliğini korur, mantarlara ve bakterilere karşı dayanıklıdır ve zehirsizdir. Orta sertliğe ve parlaklığa sahip plastiklerdir (Ezdeşir ve ark., 1999). Polipropilen, kontrollü ısı ve basınç altında bir katalizör ile petrol rafinesinin bir gaz ürünü olan propilenin polimerizasyonu ile hazırlanmaktadır (Elber, 1993). Polipropilen, yüksek saflıktaki propilen gazının basınç altında katalizörler yardımıyla polimerizasyonu sonucu elde edilir. Polipropilen üretimi, propilen polimerizasyonu ile edilmektedir. Kristal bir yapıya sahiptir. Yoğunluğu 0.90–0.91g/cm³ arasında değişir. Bu, polimer termoplastiklerin en hafiflerinden biridir. Maksimum kullanılabilme sıcaklığı 135 °C'dir.

Erime sıcaklığı 165–171°C ‘dir. Suda yüzebilen fakat köpük olmayan bir plastiktir. Kimyasal maddelere, ısıya ve aşırı yorulmaya dayanıklı bir maddedir (Ezdeşir ve ark., 1999). Polipropilen moleküllerinin izotaktik, sindiyotaktik ve ataktik görünüşleri Şekil 1.20’de gösterilmiştir.



Şekil 1.20. Polipropilen moleküllerinin izotaktik, sindiyotaktik ve ataktik görünüşleri (Osswald ve ark., 2006).

Polipropilenlere antioksidan katılmadığı zaman ısı ve ışığın etkisi ile bozulur. Kolaylıkla renklendirilemez. Mantarlara ve bakterilere karşı dayanıklıdır. 60°C’ye kadar kuvvetli asitlere ve bazlara dayanıklıdır. Klor, nitrik asit ve diğer kuvvetli oksitleyiciler tarafından etkilenir. Yakılabilir fakat yavaş yanar. Zehirsizdir. Gıda tüzüğüne uygundur. (Can, 2008). Bazı polipropilenlerin genel özellikleri Çizelge 1.6’da gösterilmiştir.

Çizelge 1.6. Bazı Polipropilenlerin genel özellikleri (Khan, 2014; Klyosov, 2007).

No	Özellik	Değer
1	Yoğunluk (g/cm ³)	0.90–0.91
2	Su absorpsiyonu (24 h sonra)	0.01- 0,03
3	Erime derecesi °C	175
4	Sertlik Rockwell R	80–102
5	Eğilme direnci (psi)	4,500–6,000
6	Erime Akış İndeksi (g/10 dak)	0.3–26

Polipropilen polietilende olduğu gibi, mekanik özellikler yoğunluğa ve ergime derecesine bağlıdır. Polipropilen, polietilene nazaran daha yüksek dayanım ve yüzey sertliğine sahiptir, termik özellikleri iyidir. Polipropilen su almaz. Bu durum özellikle ne

rutubette ne de yumuşama sıcaklığına kadar olan sıcaklıklarda etkilenmeyen, malzemenin dielektriksel özelliği açısından önemlidir (Şeker, 1999).

Polipropilen; otomotiv endüstrisinde, tekstilde ve ambalaj sektörü gibi birçok alanda kullanılan termoplastik bir polimerdir. Polipropilen; asit ve bazlara karşı dirençlidir. Polipropilen, yorulmaya karşı çok iyi direnç gösterir. Düşük maliyetlidir, iyi bir darbe dayanımı vardır. Sürtünme katsayısı düşük olup, çok iyi elektrik yalıtımı sağlar. Polipropilenin erime sıcaklığı 160°C civarındadır. Homopolimerlerin erime noktası 155–160°C, blok kopolimerlerin ise 160–165°C ve mekanik basınca maruz kalmadığında kullanım sıcaklık limiti 110°C'dir. Polietilenden oldukça serttir. Çünkü yüksek erime sıcaklığı korunmuştur. Polipropilenin dezavantajları ise UV dayanımının az, termal genleşmesinin yüksek, boya ve kaplamasının zor, dış ortam şartlarına dayanımının az, oksitlenmeye açık olmasıdır. Enjeksiyon kalıbı, ekstrüzyon, ekstrüzyon akış kalıbı, döndürme kalıbı, thermoforming, döküm uygulanabilir (Margolis, 2006).

Polivinil klorür (PVC)

Polivinil klorür, monomer haldeki vinil kloridin polimerizasyonu ile üretilir. PVC amorf, polar termoplastiktir. Özellikleri ortalama polimerizasyon derecesine, üretim yöntemine ve plastik içeriğine bağlı olmaktadır (Margolis, 2006). Polivinil klorür amorf plastiklerin başında gelir. PVC beyaz veya açık sarı renkli toz polimeridir. Normal PVC %53–55 oranında klor içerir. Polivinil klorürü 60°C'ye kadar işletmek mümkündür. Polivinil klorür (PVC); amorf, hafif, uzun ömürlü, alevlenmeyen, sudan etkilenmeyen, iyi yalıtkan özellikleri olan bir termoplastiktir. Sert ve sıkı olan bu plastik, plastikleştiriciler ilave edildiğinde çok esnekleşir. Plastikleştiriciler PVC için en önemli katkı maddesidir. Farklı miktarlarda katılarak polimeri farklı yumuşaklıklara getirebilmekte ve bu sayede farklı ve çeşitli kullanım alanları sağlamaktadır (Saçak, 2005). Özgül ağırlığı, 1,4 gr/cm³ civarındadır. Yumuşak PVC yetersiz mekanik özelliklere sahip olmakla birlikte, çekme dayanımı 140–240 kgf/cm² kadardır. Çeşitli katkı malzemelerinin ilavesiyle birlikte rijit hale getirildiğinde, çekme dayanımı 400- 500 kgf/ cm² değerine ulaşmaktadır. Genel anlamda fiziksel dayanımı ve elektriksel yalıtımı iyidir. Bir termoplastik olan PVC, hemen hemen tüm plastik işleme yöntemlerine uygundur. Levha, film, boru ve profil olarak kolayca şekillendirilebilir (Ezdeşir ve ark., 1999). Sert, yumuşak, opak ve saydam türleri bulunan polivinil klorür, genelde plastikleştirici malzemelerle birlikte kullanılarak işlenmekte ve ürünler meydana getirilmektedir. Üretim kolaylığı, maliyetin düşüklüğü,

çevre koşullarına dirençli olması gibi etmenler göz önünde bulundurulunca PVC'nin kablo yapımında oldukça yaygın kullanılmasının nedeni ortaya çıkmaktadır. Bununla birlikte PVC, çok geniş uygulama alanlarına sahiptir. Yer döşeme malzemeleri, yumuşak oyuncak bebekler, su hortumları, çeşitli plastik eşyaların yapımı, PVC'nin kullanımı sonrasında yapılabilmektedir (Yaşar, 2001).

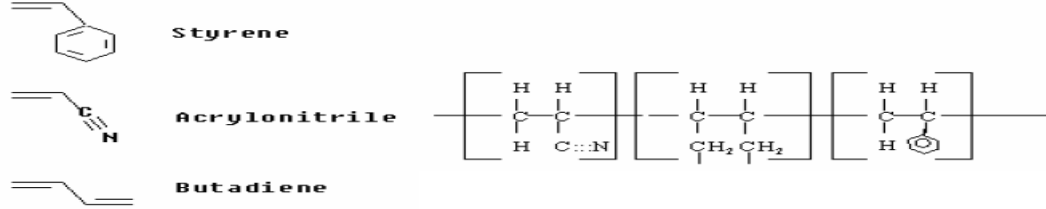
Akrilonitril butadien stiren (ABS)

ABS plastikleri lastik gibi tok bir butadien ihtiva eden bir fazın, stiren-akrilonitril kopolimerinden oluşan sürekli fazın içinde tanecikler şeklinde dağılmasından meydana gelmektedir. ABS düşük sıcaklıklarda dahi sert, rijit, tok ve görselliği ön planda tutabilecek parlaklığa sahip bir malzemedir. ABS sanayide en çok kullanılan termoplastikler arasında yer almaktadır. Isıya dayanıklılığından dolayı beyaz eşya, güç donanım kabinlerinde, switch kutularında, elektrolit kaplamaya uygun olanlardan çeşitli otomobil sanayi ürünlerinde, tıbbi ürünlerde ve daha birçok sektörde kullanılabilmektedir. ABS üretimi ile ABS hızla önem kazanmış ve günümüzde en yaygın olarak kullanılan termoplastikler içinde yer almıştır (Can, 2008).

Akrilonitril-bütadien-stiren, hafif ve sert-rijit termoplastiktir ve kısaca ABS olarak isimlendirilir. ABS polibütadien içinde stiren ve akrilonitrilin polimerizasyonu ile elde edilen bir kopolipolimerdir. Akrilonitril bileşeni; mukavemet, ısı ve kimyasal direncini, bütadien bileşeni darbe direncini, sertlik ve esnekliği ve stiren bileşeni ise sertlik ve işlenebilirlik özelliklerini artırır (Jaehyug, 2006). Ekstrüde edilmiş ABS'nin çekme dayanımı, 175–560 kgf/cm² değerleri arasında değişmektedir. Açık hava koşullarında uzun zaman kalan ABS plastiğinin mekanik özellikleri negatif yönde etkilenmektedir. Özgül ağırlığı saf polimer için 1.02–1.06 gr/cm² civarındadır. Elektrik yalıtımı çok iyidir. ABS'nin kullanımı sonrasında; televizyon ve güç donanım kabinleri, anahtar kutuları, çeşitli farlar, aynalar, telefon gövdeleri, büro iş makineleri gövde ve parçaları, boru ve bağlantıları, çanta ve bavul, askeri amaçlı tüfek dipçikleri ve daha birçok parçanın üretimi yapılmaktadır (Yaşar, 2001).

ABS polimerleri enjeksiyonla kalıplama, ekstrüzyon, şişirerek kalıplama veya haddeleme yöntemleriyle işlenebilir. Fakat en çok kullanılan teknikler enjeksiyonla kalıplama ve ekstrüzyondur. İkincil işlemler olarak ısı ve soğuk şekillendirme sayılabilir. Yoğunluğu 1.07 g/cm³'dür. Suda batar, doymamış magnezyum kloritte yüzer. Çeşitli renkte kullanma imkanı vardır. Tabii rengi fildişi veya beyazdır. Bu da plastiğin

üretimindeki polimerizasyon metodu ve kullanılan hammadde cinsine bağlıdır. ABS polimer yapısı, birçok dolgu maddelerinin karışım malzemelerinin, tür ve miktarına bağlı olarak değişik özellikler kazanır. PVC ve diğer halojenli malzemeler polimerin yanmaya karşı direncini arttırır (Can, 2008). ABS'nin bileşenleri ve kimyasal yapısı Şekil 1.21'de gösterilmiştir.

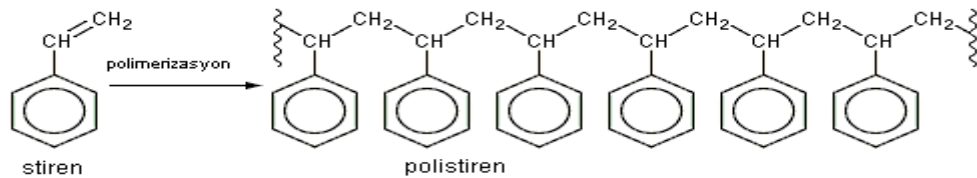


Şekil 1.21. ABS bileşenleri ve ABS'nin kimyasal yapısı (Rutkowski ve Levin, 1986).

Polistiren (PS)

Ticari anlamda ilk polistiren üretimi, Amerika Birleşik Devletleri'nde 1938 yılında gerçekleştirilmiştir. Stiren monomerinin polimerizasyonu sonrasında elde edilen (Şekil 1.22.) polimer, genel amaçlı polistiren olarak da adlandırılır. Polistirenin polimer zincirleri içerisinde 700 ila 1300 monomer bulunmaktadır. 100 °C'nin altında şeffaf ve katı, 100 °C'nin üstünde ise yumuşak ve akışkan bir hal gösterir (Yaşar, 2001).

Polistireni diğer termoplastiklerden avantajlı kılan özellik, onun amorf yapısıdır. Camsı halden eriyik hale geçerken az enerji harcanmaktadır. Kristalizasyon enerjisinin olmaması, hızlı ısıtılıp soğutulmasını, dolayısıyla hızlı kalıplanma avantajını sağlar (Ekşi ve Erdoğan, 2007). Polistirenin amorf yapıda olması, kristal yapıli polietilen ve polipropilen gibi plastiklere göre kalıplama esnasında çekme) miktarının çok az olmasını sağlar (%0,45). Polistiren elektrik yalıtım özelliği açısından bütün polimer tipleri arasında en iyisidir. Dielektrik sabiti 20–80°C arasında sıcaklıktan bağımsızdır (Taşkıran, 2001).



Şekil 1.22. Stiren monomeri ve polistiren zinciri (Yaşar, 2001).

Polistiren polimerinin kullanım yerleri, gıda ambalajı, radyo ve televizyon kabinleri, teyp ve videokasetleri, buzdolabı parçaları, dekoratif yapı malzemeleri, masa, sandalye, mobilya, mutfak gereçleri, oyuncak sanayidir (Yaşar, 2001).

Genel amaçlı polistirenin yoğunluğu, 1.02–1.06 gr/cm³ arasında değişmektedir. Camı geçiş sıcaklığı ise 100 °C'dir. Polistirenin diğer termoplastiklere nazaran avantajlı olmasının sebebi, amorf bir yapıya sahip olmasıdır. Kristal yapıda olmadığından camı halden ergimiş hale geçerken az enerji harcanır. Kristalleşme için gerekli bir enerjiye ihtiyaç duyulmaması, polistirenin hızlı kalıplanmasını mümkün kılar. Camı geçiş sıcaklığının üzerinde, viskoelastik eriyik şeklinde plastik enjeksiyon ve plastik ekstrüzyon kalıplama yöntemleriyle az enerji sarfiyatıyla kalıplanabilir. Polistirenin amorf yapıda olması polietilen ya da polipropilen gibi kristal yapıdaki polimerlere göre kalıplama esnasında çekme miktarının çok az olmasını sağlar (Ezdeşir ve ark., 2001). Polistiren iyi kimyasal dayanım, su dayanımı, yüksek darbe ve gerilme direncine sahiptir. Asit, alkali ve tuzlara karşı üstün bir direnç gösterir. Düşük fiyat ve işleme kolaylığı gibi avantajları vardır. Oldukça sert, kırılgan ve parlaktır. Ancak mekanik özellikler polistirenin üretimi esnasındaki şartlara bağlıdır. UV-ışınları polistirenin bozunmasına neden olur ve polistiren bu özelliğinden dolayı uzun süreli dış kullanımlara uygun değildir. Dış ortamda, UV ışınları ve nem etkisiyle belli bir süre sonra parlaklığını kaybeder, rengi sararır ve mekanik özellikleri de zayıflar. Polistirenin ısı iletkenliği diğer polimerlerle kıyaslandığında çok düşüktür. Köpük polistirenin iletkenliği ise normal polistirenden üç kat daha azdır (Saçak, 2005; Kılıç, 2007).

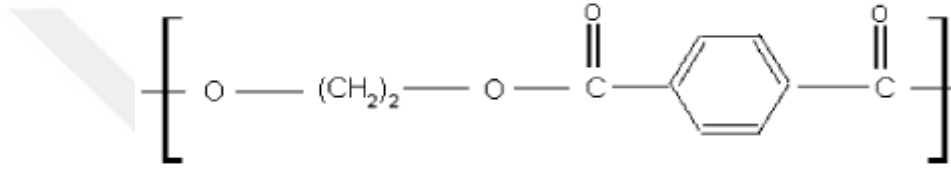
Polistiren polimeri kullanılarak çeşitli ürünlerin imalatı söz konusudur. Bunların arasında levha, film ve profil üretimi büyük yer tutmaktadır. Polistiren kolaylıkla levha, film, profil ve köpük plastik haline getirilebilir. Akışkanlığının çok iyi olması ve ısısal kararlılığa sahip olması polistireni ideal bir polimer haline getirir. Bu sayede polistiren çok yaygın bir şekilde kullanılmaktadır (Yaşar, 2001).

Polietilen tereftalat (PET)

Polietilen tereftalat, polyester ailesine ait termoplastik bir malzemedir. 1977 yılının ortalarında ticari olarak tanıtılan PET, bu süreç içerisinde endüstride birçok kullanım alanına sahip olmuştur. Bugün plastik sektöründe PET çoğunlukla gazlı, alkolsüz içki şişelerinde kullanılmaktadır. Aynı zamanda; maden suyu, meyve suları, şuruplar, yenilebilir yağlar, çeşitli gıda maddeleri, kozmetik ve eve ait kimyasal maddeler gibi gazsız ambalaj şişelerinde de kullanım alanı bulunmaktadır. PET, endüstride elyaf ve film şeklinde birçok kullanım alanına sahiptir. En önemli kullanım avantajı, tamamen geri dönüşebilir olmasıdır. Diğer plastiklerden farklı olarak, polimer zincirleri, sonraki

kullanımlar içinde eski halini almış durumdadır (Ahrabi, 2009). Polietilen tereftalat düşük fiyatı ve yüksek performans özellikleri nedeniyle endüstriyel anlamda önemli bir polimerdir. Isıl dayanım, yüksek erime sıcaklığı gibi iyi fiziksel özellikleri ile PET şeffaf bir yapıya sahiptir. Pet'in fiziksel özellikleri, kristallik derecesine ve polimer zincirlerinin uyum derecesine bağlıdır. PET, ısıtılmasına bağlı olarak amorf veya yarı kristal olabilmektedir (Yuan ve ark., 2008).

Polietilen tereftalat, tereftalik asit veya dimetil tereftalatın monoetilen glikol ile reaksiyonu ile elde edilen bir polimerdir. Bu reaksiyon, sıcaklık, katalizörler ve vakum altında gerçekleşen bir reaksiyondur (Otton, 1989). PET 'in tekrarlanan birimi Şekil 1.23'te gösterilmiştir.



Şekil 1.23. PET 'in tekrarlanan birimi (Avila ve Duarte, 2003).

Polar ve moleküller arası çekim kuvveti yüksek olan PET, moleküllerinin lineer yapıda olması nedeni ile yüksek sıcaklıklarda kırılmaya karşı dayanıklıdır. Erime noktası, kristalizasyon derecesi ve polimerizasyon derecesine bağlı olarak 235°C ve 260°C arasında değişmektedir. PET'in en önemli kullanım avantajı geri dönüşebilir ve yeniden kullanılabilir olmasıdır. PET 750-800°C aralığındaki sıcaklıklara kadar bozunmadan kalabilmektedir (Vassilou ve ark., 2010). Ticari PET' in erime sıcaklığı (Te) 255 ve 265°C arasında olup daha çok kristal yapıya sahip PET için 265°C'dir. PET 'in camsı geçiş sıcaklığı ise 67-140°C arasındadır. PET, ısıtılmasına bağlı olarak amorf (şeffaf) veya yarı kristal (beyaz) şeklinde bulunur. Ticari PET'in amorf veya yarı-kristal oluşu üretim koşullarına bağlıdır. Erime sıcaklığında bulunan PET, camsı geçiş sıcaklığının altında bir sıcaklığa kadar hızlı soğutulduğu takdirde daha amorf ve saydam bir yapı oluşur. Katı amorf PET, camsı geçiş sıcaklığının üzerindeki bir sıcaklığa kadar ısıtılarak %30 kristal yapıya sahip yarı kristal PET elde edilebilir (Ahrabi, 2009). PET'in fiziksel ve kimyasal özellikleri Çizelge 1.7'de verilmiştir.

Çizelge 1.7. PET'in fiziksel ve kimyasal özellikleri (Ahrabi, 2009).

NO	Özellik	Değer
1	Moleküler ağırlık (yinelene birim)	192 (g mol ⁻¹)
2	Ortalama molekül ağırlığı (MW)	30,000–80,000 (g mol ⁻¹)
3	Yoğunluk	1.41 (g/cm ³)
4	Camsı geçiş sıcaklığı	69–115 (°C)
5	Erime sıcaklığı	260 (°C)
6	Çekme dayanımı	50 (MPa)
7	Çekme dayanımı modülü	1700 (MPa)
8	Darbe dayanımı	90 (J m ⁻¹)
9	Su absorpsiyonu (24 h sonra)	0.5 (%)

Termosetler

Termoset polimerler, kritik bir sıcaklığın üzerinde kalıcı olarak sertleşen ve tekrar ısıtıldığında yumuşamayan polimerlerdir. Termoset kelimesi, ısı işlem altında kalıplanabildiklerini (termo) ve verilen şeklin bir daha bozulamayacağını (set) gösterir. Yüksek oranda çapraz bağ yapısına sahip ve ısıtıldıktan sonra tekrar şekillenemeyen sert, kırılğan bir plastiktir. Termosetler, özel sentetik reçinelerden yapılmışlardır. Genellikle müşterek özellikleri vardır. Bu maddeler ısıtıldıklarında yumuşar, eriyik hale gelir ve basınç altında akarak kalıpları doldurur. Bu esnada, malzeme bazı reaksiyonlar neticesinde sertleşir ve dolayısıyla tekrar ergimez olur. Onun için bu plastikler ancak bir kere islenirler. Termoset döküntüler tekrar kullanılamaz. Termosetlerin piyasada birçok türleri vardır. Kendilerine has özelliklerinden ötürü termoset plastikler tek baslarına kullanılmaz, diğer maddeler karıştırılarak kullanılır (Akyüz, 1999).

Çapraz bağlı ve dallanmış türler, sıcaklık etkisiyle yumuşayıp reaksiyona girerek erir. Erime sırasında sıcaklık bir noktayı aşınca polimerizasyon oluşur; bunun sonucunda plastik sert, kırılğan bir malzeme haline gelir. Sert, kırılğan bir malzeme haline gelen bu malzemeler tekrar ısıtılınca yumuşamazlar, sert ve kırılğandır. Bu tip malzemelere termoset plastikler denir.

Isı verilmesi sonrasında yalnız bir defa istenilen şekli alabilen plastiklerdir. Şekillendirilmiş bir termoset plastiğe yeniden ısı verilerek tekrar şekillendirmek mümkün değildir. Termoset malzeme tekrar ısıtılırsa bozunmaya uğrar. Termosetler çapraz bağlı bir yapıya sahiptir. Bu plastiklerde polimerizasyon işlemi, malzemeyi ihtiva eden monomerlerin bir araya getirildiği reaktörde başlar ve kalıplama işlemi sırasında biter. Termosetler oda sıcaklığında sıvı halde bulunur. Geçirdiği çeşitli kimyasal işlemlerden sonra katı hal alabilir. Isıtıldıklarında sertleşir. Termosetlere örnek olarak polyeşter, epoksi,

PVC ve asetol verilebilir (Yaşar, 2001). Bazı termoset plastiklerin özellikleri Çizelge 1.8’de verilmiştir.

Çizelge 1.8. Bazı termoset plastiklerin özellikleri (Onaran, 1999).

No	Malzeme	Özgül Ağırlık (Kg/m ³)	Çekme Muk. (MPa)	Elastisite Modülü (MPa)	Sıcaklık Sınırı (°C)
1	Fenolikler	1,27	35–60	2800–9200	170–250
2	Poliesterler	1,28	45–95	2100–4600	150–175
3	Epoksiler	1,25	28–90	2800–3500	150–260
4	Melaminler	1,50	35–70	7000–11200	150–200

Termosetler genellikle 150–230°C arasındaki sıcaklığa devamlı maruz kalabilir; bazı özel termosetler 600°C’ye kadar dayanabilir. Asbest ve cam gibi dolgu malzemeleri plastiklerin ısı dirençlerini artırır (Clemons, 2002).

Termoset esaslı odun kompozitler, geleneksel olarak odun materyalleri (lif veya partikül) ve termoset tutkalı kullanılarak bir pres yardımıyla birleştirilmesiyle elde edilen malzemelerdir. Presleme ile odun materyallerin ve yapıştırıcının etkinleşmesi sağlanarak mekanik ve fiziksel özellikleri iyileştirilen kiriş, kereste ve panel üretimi gerçekleştirilmektedir (Matuana ve Heiden, 2004).

Termoset odun tutkalları kullanılarak üretilen kompozitlerde, odun materyallerini birbirine bağlamak için üre formaldehit (UF), melamin üre formaldehit (MF), fenol formaldehit (PF), resorsinol formaldehit (RF), polivinil asetat (PVA), polimerik difenil diizosiyanat (pMDI) gibi çeşitli yapıştırıcı türleri kullanılmaktadır (Karakuş, 2008). Bu yapıştırıcılarla kereste, kaplama, yonga, şerit yongalar ve lif gibi ağaç esaslı parçaların tutkallanarak, sıcaklık ve basınç altında preslenerek şekil verilmesiyle elde edilen kompozit malzemelerdir (Herajarvi ve ark. 2004). Bu ürünler yapısal kompozit keresteler (Structural Composite Lumbers), yapısal odun levhalar (Structural Composite Boards), tabakalanmış ağaç malzeme (Glued Laminated Timber) ve -I-kirişler (Wood I- joist) olmak üzere dört ana kısma ayrılabilir (Kurt ve arkadaşları, 2003).

Elastomerler

Elastomerler, termoset polimerler gibi çapraz bağlı, uzun zincir moleküllerinden oluşur. Bunlar, çok düşük gerilmelere maruz kaldığı zaman büyük elastik deformasyon yapma yeteneği olan polimerlerdir. Bunların en önemlisi kauçuktur (Şahin, 2000). Oda sıcaklığında, gerçek uzunluğunun en az iki katına kadar defalarca esnetilebilen ve tekrar orijinal uzunluğuna geri dönebilen malzemeler olarak tanımlanmıştır. Bu malzemelerin

büyük bir dezavantajı, termoplastik elastomerlerde (TPE) var olan geri dönüşümün olmamasıdır. En sık kullanılan termoplastik elastomere örnek, stiren-bütadien-stirendir (SBS) (Goodship, 2004).

Çekme kuvveti altında çok yüksek oranda uzama gösteren ve kuvvet kaldırıldığında hızla ilk uzunluğuna dönen, çapraz bağlanmış kauçuğumsu polimerlere ya da başka bir deyişle kauçuğumsu ağ yapılara, elastomer adı verilir. Bilimsel jargonda elastomer adıyla anılan bu polimer, gösterdiği yüksek elastikiyet sayesinde bu ismi almıştır. Elastomerlerin en önemli bu özelliği, tamamen molekül yapılarının içerdiği düşük çapraz-bağ yoğunluğuna sahip ağı yapıdan kaynaklanmaktadır. Yüksek elastik şekil değiştirme kabiliyetine sahip olmalarının nedeni, polimer zincirlerinin birbirine zayıf çapraz bağlarla bağlı olmasıdır. Elastomerlerde kuvvet uygulanmadan önce polimer zincirleri olağan konumunda iken; kuvvet uygulandıktan sonra zincirler, kuvvet doğrultusunda açılarak malzemenin elastik deformasyona uğramasına neden olur. Kuvvet kaldırıldığında ise polimer zincirleri eski konumlarına geri döner. Çapraz bağların sayısının artırılması elastomerin daha dayanımlı ve rijit bir yapı kazanmasını sağlar (Yaşar, 2001).

Elastomerlerin kullanım alanları şöyle sıralanabilir: otomotiv sektöründe, akaryakıt ve fren hortumları, cam silecekleri, transmisyon kayışları, contalar, aks körükleri, radyatör ve hava hortumları, kapı ve cam profilleri, salınım, titreşim takozları, yalıtım elemanları. Ayrıca otoyol ve viyadüklerde kullanılan elastomer yataklar, genişleme contaları, içme suyu borularında sızdırmazlık contaları ve konveyör bant imalatı da elastomerlerin kullanımına örnek olarak verilebilir.

1.2.2.3. Odun plastik kompozit üretiminde kullanılan katkı maddeleri

Odun plastik kompozitlerin, fiziksel ve kimyasal etkilere ve iklim şartlarına karşı dayanımlarını arttırmak, üretim koşullarını iyileştirmek, odun plastik kompozitlere estetik görünüm kazandırmak ve son ürünün kullanım amacına bağlı olarak çeşitli katkı maddelerinin kompozit içine katılması gerekmektedir. Katkı maddeleri kullanımında, katkı maddesinin etkinlik ve maliyeti göz önünde bulundurularak en uygun olanı tercih edilmelidir.

Odun plastik kompozitlerin üretiminde kullanılan birçok katkı maddesi bulunmaktadır. Bunlar arasında en önemlileri: antioksidanlar, antistatik ajanlar, ısıl stabilizörler, kaydırıcılar, kalıp salıcı ajanlar, koruyucu ajanlar, uyum sağlayıcı ajanlar,

köpük yapıcılar, plastikleştiriciler, renklendiriciler, UV stabilizörler, viskozite düşürücüler, yanmazlık veren maddelerdir (Ashori, 2008).

Plastik ile dolgu maddesi partikülleri arasındaki ara yüzey enerjisini düşürmek, ara yüzey adezyonunu arttırmak ve partiküllerin kompozit içerisinde homojen olarak dağılmasını sağlamak amacıyla kompozit içerisine katılan katkı maddeleri partiküllerinin yüzeyleri kaplanmakta ve polimer malzeme kimyasal olarak modifiye edilmektedir (Murphy,1996).

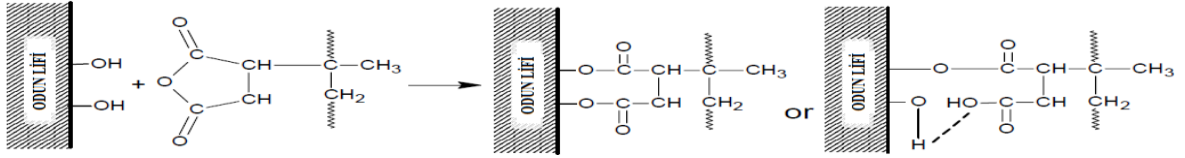
Odun plastik kompozitlerin üretiminde kullanılan katkı maddelerinden biri yağlayıcılarıdır. Yağlayıcılar veya kaydırıcılar (lubricants), kompozitin işlenmesi sırasında makinede akışını kolaylaştırır, malzemenin yüzey görünümünü iyileştirir, ürünün kalıptan kolay ayrılmasını sağlar. Yağlayıcıların katkı maddesi olarak kullanılması, erime viskozitesini azaltarak enerji tüketimini ve kovan içerisinde sürtünmeyi azaltır (Kattas ve ark., 2000). Yağlayıcı teriminin yerine çoğu kez vaks, antistick, slip, release agent, lubricants ve akış modifiye edici gibi ifadeler de kullanılmaktadır. Yağlayıcı seçimi, termoplastik polimer seçimine bağlıdır ve kullanılacak liflere göre de değişir. En yaygın kullanılan yağlayıcılar vaks, sabunlaştırıcılar, amidler ve esterleştiricilerdir (Rowell, 2006). Yağlayıcılar, genel olarak fiziksel ve kimyasal etkinliklerine göre tanımlanır. İç ve dış yağlayıcı olmak üzere iki tür yağlayıcı vardır. Dış yağlayıcılar, kompozitin işlenmesi sırasında eriyik ile vida, kovan arasında bir film tabakası oluşturarak eriyiklerin metal yüzeyinden ayrılmasını sağlayıp, eriyiğin yüzey boyunca hareketini kolaylaştırır. İç yağlayıcılar ise, plastik molekülleri arasında yer alarak moleküller arasındaki sürtünmeleri azaltır; eriyiklerin viskozitelerini arttırarak, olabilecek çatlama-kırılma problemlerini de ortadan kaldırır (Rowell, 2006). Yağlayıcılar, genellikle kompozit içerisine ağırlıkça %0,1-3,0 oranında ilave edilirler (Kattas ve ark., 2000). Yağlayıcılar, akış özellikleri üzerinde olumlu etki yarattığı gibi ürünün, fiziksel özellikleri üzerinde de bir takım olumlu değişiklikler sağlamaktadır. Özellikle, makine parçaları ve kalıplar üzerindeki kaydırıcı özelliği ile son üründe parlak ve pürüzsüz yüzeyler elde edilmektedir (Gächter ve Müller, 1993).

Odun plastik kompozitlerin üretiminde kullanılan diğer katkı maddeleri ise renklendiriciler ve ultraviyole stabilizatörleridir. Renklendiriciler, kompozitlerin renklendirilmesi ve estetik değer ortaya çıkarmak için kullanılan maddelerdir. Renklendiriciler, boyalar ve pigmentler olarak iki kısma ayrılır. Odun plastik kompozit üretiminde, boyaların bulundukları ortamda kolay çözünmeleri nedeni ile üretimde

bulundukları ortamda çözülmeleri zor olan pigmentler daha çok kullanılır (Kattas ve ark., 2000). Pigmentler, renkleri nedeni ile çoğunlukla yüzey örtme işlemlerinde kullanılan, suda çözünmeyen, anorganik ve organik maddelerdir. Pigmentlerin renk kaynağı olması yanında başka suda çözünmemek, yağlarda çözünmemek veya pek az çözünmek, ışıktan ve atmosferik etkilere (özellikle oksijenden) zarar görmemek ve sürüldüğü yere iyice kenetlenip kaplama yani örtme imkanı sağlamak gibi bazı özelliklere sahip olması gerekmektedir. Anorganik pigmentler üç gruba ayrılır. Bunlar beyaz, mineral ve metal pigmentlerdir. Organik pigmentler, genel olarak, anorganik pigmentlerden daha düşük örtme fakat daha büyük renk verme gücüne sahiptir (Kavak, 2006). Pigmentlerin, organik kaynaklı azo ve anilin sınıfı kimyasal maddeler olmasına rağmen, boyalar organik ve anorganik olabilir. Renklendiriciler kompozit üretiminde %0,1-0,25 oranında karışıma ilave edilir (Kattas ve ark., 2000). Odun plastik kompozitler, çoğunlukla dış ortam koşullarında hizmet görmektedir. Bu nedenle, bu kompozitlerin ultraviyole (UV) stabilizasyonu önemlidir. Dış ortam şartlarında su, hava ve ultraviyole ışınların bozucu etkilerine maruz kalan odun plastik kompozit ürünlerinde zamanla renk açılması meydana gelmektedir. Bazı üreticiler, ortaya çıkan bu renk değişikliğini azaltmak için gri pigment kullanmakta veya odun plastik kompozitlerin üzerine ultraviyole stabilitesi olan bir levha ile ikinci bir işlem uygulayarak odun plastik kompoziti kaplamaktadır (Rowell, 2006). Odun plastik kompozitlerin üretiminde kullanılan odun unu ve lifleri ultraviyole ışınlarının etkisi ile bozulmaktadır. Bu bozulmayı önlemek veya azaltmak amacıyla ultraviyole stabilizatörler kullanmak gerekmektedir. Ultraviyole stabilizatörler kompoziti sadece ultraviyole ışınlarının bozucu etkisine karşı değil aynı zamanda kompozitin rengini koruyarak ürünün kullanım ömrünü uzatmak için de kullanılmaktadır (Rowell, 2006).

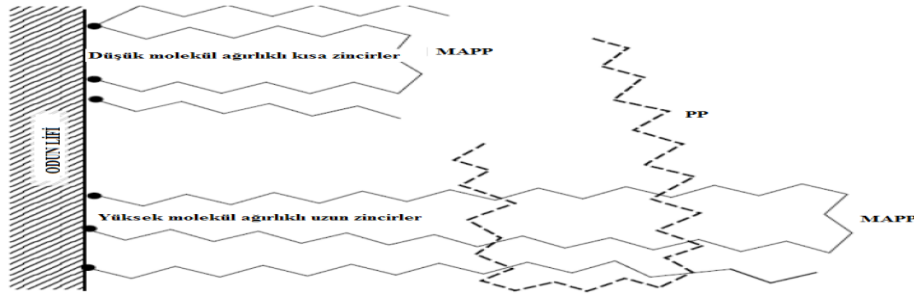
Odun plastik kompozitlerin üretiminde kullanılan en önemli katkı maddelerinden biri de bağlayıcı ajanlardır. Bağlayıcı ajanlar (Coupling Agent), uyumlaştırıcılar (compatibilizer) olarak da bilinir. Bağlayıcı ajanlar, kompozit üretiminde kullanılan plastik maddenin ve dolgu maddelerinin birbiriyle veya iki farklı polimerin birbiriyle bağlayıcılığını ve uyumlaştırmasını sağlayan katkı maddeleridir (Kattas ve ark., 2000). Bir diğer deyişle kimyasal veya fiziksel yöntemlerin herhangi biriyle karışım oluşturan bileşenlerin morfolojisini veya fazlar arası modifikasyonu değiştirme işlemidir. Ahşap tozu ile polimer zinciri arasında bağlantı oluşturan, düşük molekül ağırlıklı organik maddedir. Uyumlaştırıcılar düşük moleküler ağırlıklı olmalı, birden fazla işlevsel grup içermeli, polimer ile aynı çözücüde çözünebilmeli, oda sıcaklığında katı halde bulunmalıdır (Zengin

ve ark., 2004). Bağlayıcı ajanlar, odun plastik kompozit üretiminde kullanılan hidrofobik yapıdaki plastik malzeme ile hidrofilik yapıdaki odun lifi arasındaki uyumsuzluğu ortadan kaldırarak birbirlerinin yüzeyleri arasında bağlanmayı sağlamaktadır. Bu ajanlar, hidrofilik lignoselülozik madde ile kimyasal bir bağ kurmakta ve hidrofobik polimer zincirini ıslatıp birbirine bağlanmasını sağlamaktadır (Yang ve ark., 2007). Şekil 1.24'te MAPP 'ın odun lifi yüzeyinde hidroksil grubu ile reaksiyonu şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 1.24. MAPP 'ın odun lifi yüzeyinde hidroksil grubu ile reaksiyonu (Takase ve Shiraishi, 1989).

Odun plastik kompozitlerin fiziksel ve mekanik özellikleri, üretiminde kullanılan odun ve plastik malzemenin arasındaki ilişkinin kullanılan katkı maddeleri ile geliştirilmesine bağlıdır. Katkı maddeleri genellikle, hidrofil bir malzeme olan odun ve hidrofobik bir malzeme olan plastik arasında tek seferde üretim yapılabilmesine olanak tanır (Wechslera ve Hızıroğlu 2009). Yaygın olarak kullanılan ve en ünlü uyum sağlayıcı madde, MAPP (maleik anhidrit grafted polipropilen) veya MAPE (maleik anhidrit grafted polietilen)'dir. Maleik anhidrit, odun plastik kompozitlerin mekanik özelliklerini açık bir şekilde geliştirmektedir (Botros, 2003). Katkı maddeleri konusunda yapılan birçok araştırma sonuçları, hem maleik anhidrit (MA) miktarının hem de molekül ağırlığının, uyumlaştırıcıların verimliliğini belirleyen önemli göstergeler olduğunu ortaya koymuştur (Sanadi ve ark., 1993). Katkı maddesi olan MAPP'ın içindeki maleik anhidrit hem polar etkileşim sağlamak hem de lignoselülozik lif üzerindeki hidroksil grupları ile kovalent bağ oluşturabilmektedir. Aynı zamanda MAPP, bitmiş ürünün mekanik dirençlerini geliştirmekle birlikte üretimi de kolaylaştırmaktadır. Üretim esnasında MAPP veya MAPE'nin sonundaki anhidrit, odun yüzeyindeki hidroksil (OH-) grubu ile reaksiyona girerek ester bağıni biçimlendirir ve MAPP veya MAPE üzerine polipropilen ve polietilen bağlanır. Bağlanma işlemi takiben odun unu veya lifi erimiş termoplastik ile dolaşık hale gelerek hidrofilik odun unu veya lifi ile hidrofobik termoplastik arasında mekanik bir bağlanma gerçekleşir (Rowell, 2006). Şekil 1.25'te erimiş polipropilenin MAPP/odun lifi ile karmaşık bağlanması şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 1.25. Erimiş polipropilenin MAPP/odun lifi ile karmaşık bağlanması (Sanadi ve ark., 1992).

Odun unu veya lifi ile plastik malzeme arasında kimyasal bir reaksiyon olmamaktadır. Bunun yerine, odun ve plastik arasında adezyon kuvvetleri nedeniyle bir kenetlenme olmaktadır. Odun unu veya lifi ile plastik malzeme arasındaki adezyon kuvvetlerinin görüldüğü bu ara yüzde adsorpsiyon, mekanik kenetlenme, difüzyon, elektrostatik kuvveler ve zayıf sınır katmanları olmak üzere beş ana mekanizma bulunmaktadır. Bu beş mekanizmanın odun unu veya lifi ile plastik malzeme arasında bir köprü görerek adezyon kuvvetlerine katkı sağladığı düşünülmektedir (Silva, 2003).

Çizelge 1.9. Odun plastik kompozitlerin bazı mekanik özellikleri (Stark ve Rowlands, 2003).

No	Kompozit	Özgül ağırlık	Eğilme direnci (Mpa)	Çekme direnci (Mpa)	Darbe direnci (J m ⁻¹)	
1	Polipropilen (PP)	0.90	28.5	38.30	Çentikli	Çentiksiz
2	PP+ %40 odun unu	1.05	25.4	44.20	20.9	656
3	PP+%40 odununu+ %3 MAPP	1.05	32.3	53.10	22.2	73
4	PP + %40 odun Lifi	1.03	28.2	47.90	21.2	78
5	PP+%40 odunLifi+ %3 MAPP	1.03	52.3	72.40	23.2	91

Çizelge 1.9’da odun plastik kompozitlerin bazı mekanik özellikleri verilmiştir. Çizelge 1.9 incelendiğinde MAPP’ın odun plastik kompozitlerin mekanik özelliklerini belirgin bir şekilde iyileştirdiği ortaya çıkmaktadır (Stark ve Rowlands, 2003).

Odun plastik kompozitlerin üretiminde kullanılan katkı maddelerinden biri olan antioksidanlar (oksitlenme önleyiciler), atmosferik oksijenin polimerik malzeme üzerindeki olumsuz etkilerini ortadan kaldırmak veya yavaşlatmak amacıyla kullanılan katkılardır. Kompozitlerin üretimi sırasında uygulanan mekanik kuvvetler ve ısı sonucunda polimerik zincirlerde kırılmalar oluşmakta ve radikal denen, oksijen ile reaksiyona girecek olan yapı meydana gelmektedir. Meydana gelen bu yapıların oksijen ile teması sonucunda kompozitin fiziksel, kimyasal özellikler azalmaktadır. Bu nedenle, kullanılan antioksidanlar ya doğrudan doğruya oksijeni bağlamakta ya da plastik ile kararlı bir ürün

meydana getirerek oksitlenmeyi önlemektedir (Kattas ve ark., 2000). Antioksidanların, malzemenin üretimi ve ürünün kullanımı sırasında gösterdiği etki olmak üzere iki çeşit fonksiyonu vardır. En çok kullanılan antioksidanlar fenolikler, fosfatlar ve tiyoesterlerdir (Rowell, 2006). Antioksidanların kompozit yapı içerisinde kullanımları ya ekstruderde pellet üretimi sırasında ya da enjeksiyondan parça basımı sırasında %0,1-2,5 oranında olmaktadır (Kattas ve ark., 2000).

Odun plastik kompozitlerin üretiminde kullanılan antistatik ajanlar, kompozitlerin işlenmesi veya kullanımları sırasında oluşan statik elektriği önlemek amacıyla katılan katkı maddeleridir. Plastikler üzerinde biriken statik elektrik; elektriksel şok, yanma veya patlamaya ve malzeme üzerinde toz, kir vb. yabancı maddelerin birikmesine neden olur. Bu nedenle, kompozit içerisine katılan antistatik ajanlar, toplanan statik elektriğin bırakılmasını sağlayan veya elektrostatik yüklenmeyi önleyen katkı maddeleridir. Antistatik ajanlar, üretimde kullanılan plastiğin cinsine ve antistatik maddenin özelliklerine göre ya doğrudan üretilen pellet içine eklenir ya da yüzeysel püskürtme işlemi ile %0,1–2 oranında katılır (Kattas ve ark., 2000).

Plastik malzemelerin üretiminde plastiğin akıcılığını ve işlenebilirliğini iyileştiren, kırılgenliğini azaltan plastikleştiriciler kullanılmaktadır. Plastikleştiriciler, plastiğin camısı geçiş sıcaklığını düşürüp yumuşamasını sağlayarak, kırılgenliğini azaltmak ve kolay işlenmesini sağlamak için kullanılan katkı maddeleridir. Plastikleştiriciler, plastik eşyanın fiziksel ve mekanik özelliklerini değıştiren kimyasal maddelerdir (Kattas ve ark., 2000). Günümüzde yaygın olarak kullanılan plastiklerin bir bölümünün camısı geçiş sıcaklığı (T_g), oda sıcaklığının üzerindedir. T_g'nin altındaki polimerler camısı ve kırılgenlidir. Bu sıcaklığın üzerinde ise genellikle, kauçuğumsu davranış gösterir ve çarpma dirençleri yüksektir. Selülozikler, viniller, akrilikler vb. polimerlerin camısı geçiş sıcaklıklarını düşürmek, yani yumuşatmak amacıyla plastikleştiriciler kullanılır (Pişkin, 1987). Plastikleştiriciler, yüksek kaynama noktasına sahip organik sıvılar veya düşük erime noktası gösteren katılardır. Polimer sentezi sırasında kullanılan plastikleştiriciler, iç plastikleştiriciler; işlenme esnasında polimer yapısına ilave edilenler ise dış plastikleştiricilerdir. Bir plastikleştiriciden toksik olmaması, yanmaz olması ve etkisini uzun süre devam ettirebilmesi beklenmektedir (Pişkin, 1987). Yaygın kullanılan plastikleştiriciler: ftalatlar (dioktil ftalat, dop yağı), sebatatlar (dibütil sebatat), klorlu parafinler, fosfatlar, epoksi plastikleştiriciler, alifatik esterler, polimerik plastikleştiricilerdir (Kattas ve ark., 2000).

Odun plastik kompozitlerin yoğunluklarını ve ağırlıklarını düşürmek için köpük yapıcılar kullanılmaktadır. Köpük yapıcılar, odun plastik kompozit içerisinde kullanılan lignoselülozik malzeme ile birleştiğinde düşük ağırlıklı kompozitler üretilebilir (Rowell, 2006). Köpük yapıcı ajan terimi uygun bir sıcaklık aralığında parçalanarak en az biri gaz olan ürünlere dönüşmekte ve plastik maddeyi köpürterek gözenekli bir yapı oluşmasını sağlamaktadır. Köpük yapıcı ajanlar fiziksel, kimyasal ve eko termik ajanlar olmak üzere üç yapıda bulunur (Kattas ve ark., 2000). Fiziksel köpük yapıcı olarak gazlar veya sıvılar kullanılır. Kimyasal köpük yapıcılar ise, ısıtıldıklarında kimyasal reaksiyon veya bozunma sonucu gaz oluşturan köpük yapıcılardır (Pişkin, 1987). Bu katkı maddeleri, enjeksiyon üretim esnasında, basınçlı kalıplamada ve ekstrüzyon üretim aşamasında kullanılabilirler. Kullanım oranları enjeksiyon ve ekstrüzyonda %0,1–1.0, basınçlı kalıplamada %5,0-15.0-kadar olabilmektedir (Kattas ve ark., 2000). Köpük uygulamalarında polimer tipi olarak poliüretan (PU), polistiren (PS), polietilen (PE), polipropilen (PP), polivinilklorür (PVC) ve polikarbonat (PC) kullanılmaktadır. Plastik kompozitlerin üretiminde köpük yapıcılar ile rijit ve esnek köpükler elde edilebilir. Köpük malzeme yoğunluğu genelde 15–60 kg/m³ olabilmektedir. Başlıca köpük yapıcı maddeler olarak pentan, toluen, trikloretilen ve azo karbonamid kullanılır. Bu pay içerisinde toplam poliüretan köpük tüketimi ise %50'den fazladır (Guo ve ark., 2007). Köpükler matris malzemesine, hücre morfolojisine, camısı geçiş sıcaklığına, genleşme oranına ve köpük hücre boyutuna bağlı olarak 5 farklı grup altında ve hücre morfolojisine göre kapalı hücreli veya açık hücreli köpükler olmak üzere sınıflandırılır (James ve ark., 2005).

Odun plastik kompozitler, birçok yapı malzemesinden farklı olarak hem yanmakta hem de içerisinde bulunan plastik hammaddesi eriyebilmektedir (Rowell, 2006). Plastikler çeşitlerine göre farklı sıcaklık ve hızda yanar (Pişkin, 1987). Odun plastik kompozitlerin içerisine katılan yanma geciktiriciler yanmayı azaltmak, önlemek ve yanma direncini geliştirmek amacıyla kullanılmaktadır (Kattas ve ark., 2000). Plastikler, ağırlıklı olarak karbon ve hidrojenden oluşan hidrokarbon yapılardandır. Alev karşısında karbondioksit ve su olarak ayrışır. Bu özelliklerini geliştirmek için yanmazlık veya yanma geciktirici katkı maddeleri kullanılır. Yanma geciktiricilerin, kompozit yapı içerisinde kullanılan plastiğin tipine göre katılması gereklidir. Termoplastik, elastomer ve termoset plastiklerde kullanılan yanma geciktirici katkı maddeleri değişkenlik göstermektedir. Yanmazlık veya yangın geciktirici katkı maddeleri halojenli, halojensiz veya organik, inorganik olarak alt gruplar şeklinde incelenebilir (Murphy,1996). Yangın geciktirici kimyasal maddeler

(YGM), katıldığı malzemeye yanmaya karşı direnç özelliği kazandırmanın yanı sıra malzemenin diğer özelliklerinde de iyileşmeler gösterebilir. Örneğin, borlu bileşikler biyo malzemelere yangın geciktirici özellik kazandırmanın yanı sıra mantar ve çürüklüğe karşı da koruma özelliği sağlamaktadır (Çavdar, 2005).

Bazı durumlarda, kompozit malzeme içerisine ısı stabilizörler katılması gerekebilir. Isı iletim katsayısı düşük malzemelerden oluşabilen karma malzemelerin ısıya dayanıklılık özelliği, yüksek sıcaklıklar altında kullanılabilmesine olanak sağlamaktadır. Bu özel katkı maddeleri ile kompozit malzemelerin ısıya dayanımı arttırılabilmektedir (Savaş, 2012). Isıl stabilizörler, plastik malzemenin ısı karşısında bozunmasının ve bazı özelliklerinin değişime uğramasının engellenmesi ya da yavaşlatılması için kullanılan katkı maddeleridir. Genel olarak, kurşun stearat, baryum stearat ya da çinko stearat ve fenolatlar kullanılır (Murphy,1996).

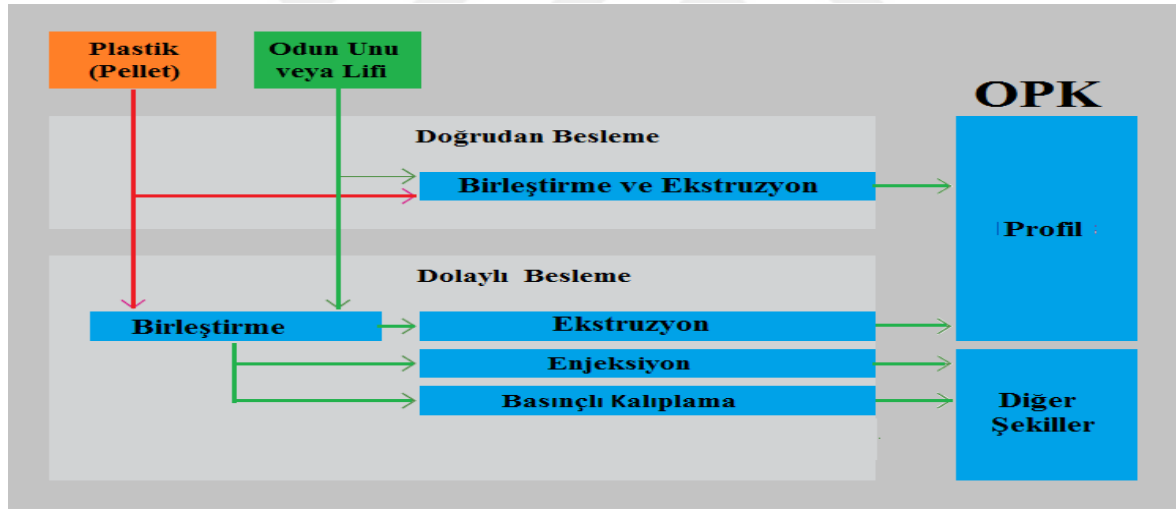
Odun plastik kompozitler içerisinde bulunan organik lifleri mikroorganizmaların saldırısından korumak için biyo stabilize ediciler kullanılır. Organik liflerin yapısında bulunan mikroorganizmalar, kompozite zarar verebilirler. Genellikle, dış mekanlarda kullanılan odun plastik kompozitler rutubete maruz kaldıklarında zaman içerisinde mikroorganizmaların büyümesi için elverişli bir ortam haline gelir. Bu nedenle, kompozit içerisine antimikrobiyal katkı maddeleri katılır. Antimikrobiyal katkı maddeleri, kısa ve geçici kullanım için gerekli olmamasına rağmen eğer bu kompozitler toprakla temas eden ve rutubetli ortamlarda kullanılacaksa gereklidir. Bu amaçla kullanılan biyo stabilize ediciler, organik ve anorganik olarak ikiye ayrılır (Rowell, 2006). Odun plastik kompozit malzeme üretiminde en çok kullanılan koruyucu katkı maddesi çinko boratıdır. Çinko borat, koruyucu maddeler içerisinde maliyeti en düşük olandır ve genellikle malzeme ağırlığının %2-3'ü kadar katılmaktadır. Çinko boratın suda çözünmesi kolay değildir ve diğer koruyuculara göre yıkanmaya ve ısınmaya karşı dirençlidir (Klyosov, 2007). Borik asit, boraks, disodyum oktaborat tetrahidrat gibi boratlar odun koruyucu kimyasal olarak çok yaygın kullanılmaktadır. Genellikle mantar çürüklüğüne karşı etkili olduğu bilinmektedir. Küf ve renklenmeye karşı etkisi düşüktür (Klyosov, 2007).

Kompozit üretiminde kullanılan diğer katkı maddeleri ise kalıp sarıcı ve viskozite düşürücü katkı maddeleridir. Kalıp sarıcı katkı maddeleri polimerlerin kalıplanması işleminde, polimer eriyiklerin kalıp yüzeyine yapışmamasını ve dolayısıyla ürünün kalıptan ayrılmasını kolaylaştırmak için kullanılırlar (Pişkin, 1987). Kalıp sarıcı maddelere en iyi örnek vakslar ve silikonlardır. Viskozite düşürücüler ise eklendikleri sıvının

viskozitesini azaltan katkı maddelerdir. Bu maddelerin plastik endüstrisinde en önemli uygulamaları vinil plastisollerdir. Bunlar, plastikleştirici düzeyini arttırmadan, viskoziteyi azaltmak için kullanılır. Etoksillenmiş yağ asitleri, viskoziteyi düşürücülere örnek olarak verilebilir (Saçak, 2002).

1.2.2.4. Odun plastik kompozit malzeme üretim yöntemleri

Odun plastik kompozitlerin üretimi, genellikle karıştırma ve şekillendirme olmak üzere iki aşamalı süreçten oluşmaktadır. Birinci aşama olan karıştırma sürecinde, un veya lif halindeki lignoselülozik dolgu maddesi ve katkı maddeleri, homojen bir kompozit materyal üretmek için termoplastik ile karıştırılarak ekstruderden geçirilir. Ekstruderden geçen eriyik, parçalar halinde kesilerek pellet haline getirilir. Üretilen pelletler son ürüne göre değişik şekillendirilir (Rowell, 2006). Odun plastik kompozitler ekstrüzyon, enjeksiyonla kalıplama ya da termoform (kalıplama-sıkıştırma) ile üretilmektedir. Her üç üretim yönteminde farklı özelliklerde kompozitler üretilmektedir (Rowell, 2006). Odun plastik kompozitlerin üretim yöntemleri Şekil 1.26’da gösterilmiştir.



Şekil 1.26. Odun plastik kompozitlerin üretim yöntemleri (Schwartz, 1992’den uyarlanmıştır).

Ekstrüzyon üretim yönteminde, doğrudan ve dolaylı besleme olmak üzere iki türlü besleme işlemi gerçekleştirilmektedir. Doğrudan besleme işlemi, ekstrüzyon işleminde kullanılacak plastik ve dolgu maddesinin ayrı ayrı besleme hunisinden ilave edilmesiyle gerçekleşir. Dolaylı besleme işlemi ise ekstrüzyon işleminde plastik ve dolgu maddesinin daha önceden karıştırılmış ve pellet haline getirilmiş malzemenin besleme hunisinden beslenmesi ile gerçekleştirilmektedir (Schwartz, 1992).

Ekstrüzyon kalıplama yöntemi

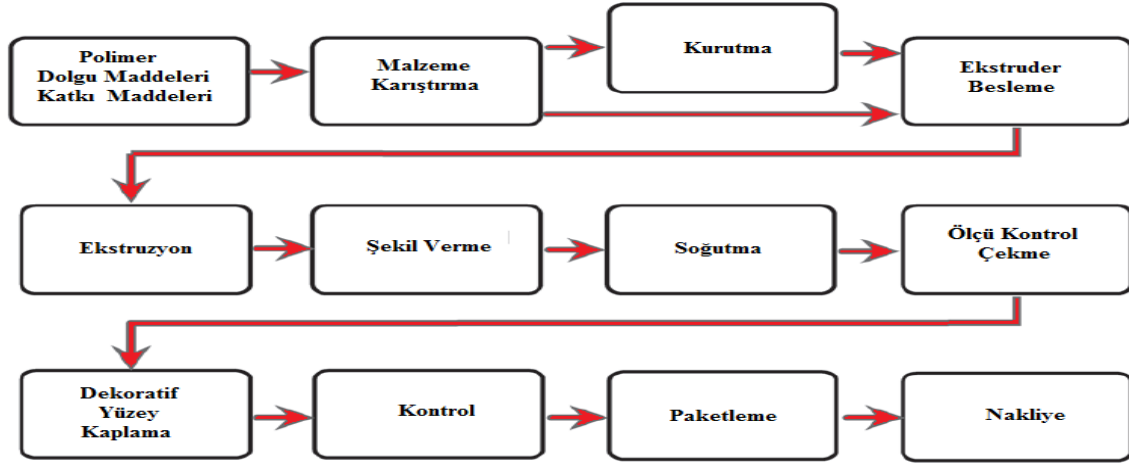
Latince olan "extrude" kelimesi "ex" (dışarı) ve "trude" (itmek) kelimelerinin birleşmesiyle oluşur. Ekstruder ise anlaşılacağı üzere, bir malzemeyi zorlayarak dışarı sevk eden bir makine olarak düşünülebilir. Ekstrüzyon süreci sonunda, polimerin kimyasal özelliklerinde önemli bir değişiklik görülmemektedir (Akkurt, 2007). Ekstrüzyon odun plastik kompozit üretiminde çok yaygın kullanılan bir üretim sürecidir. Ekstrüzyon yöntemi ile sonsuz veya belirli uzunlukta boru, profil, çubuk, folyo, levha gibi yarı veya bitmiş mamuller üretilmektedir (Behravesht ve ark., 2010). Temel olarak ekstrüzyon, plastik maddelerin ve katkı maddelerinin karıştırılarak homojen ve akıcı bir hale getirilmesi, belirli bir şekil vermek üzere dar ve şekilli bir kalıptan basınç yardımıyla geçirilmesi olarak tanımlanabilir (Demirci, 2010). Plastik ekstrüzyon üretim yönteminde, hammadde olarak hazır plastik pelletler kullanılmakla birlikte içerisinde takviye malzemesi içeren pelletlerde kullanılabilmektedir (Schwartz, 1992).

Ekstrüzyon yönteminde erimiş polimer, bir vida boyunca ilerler ve profil oluşturmak için bir kalıptan geçerek şekillendirilir. Bu yöntem, sabit kesitli profilleri üretmek için kullanılan bir süreçtir. Ekstrüzyon yöntemi, oldukça sık kullanılan bir yöntem olmasına rağmen büyük boyutlu parça üretiminde soğuma ve soğutma süresi problem olabilmektedir (İslam, 2010).

Odun plastik kompozit üretiminde, odun içindeki rutubet miktarı, vida dönme hızı, kovan sıcaklığı, kalıp sıcaklığı ve basıncı ekstrüzyon yönteminin en önemli parametreleridir. Kalıp basıncını malzemenin viskozitesi ve akış hızı etkilemektedir (Behravesht ve ark., 2010). Odun plastik kompozitler çoğunlukla profil ekstrüzyon yöntemi ile üretilir (Clemons 2002). Tipik bir ekstrüzyon üretim iş akışı Şekil 1.27'de gösterilmiştir. Ekstruderler tek ve çift-vidalı olarak bulunmakta ve genellikle vida boyunun, çapına (L/D veya boy/çap) oranına göre isimlendirilmektedir. Ekstrüzyon yönteminde, tek ve ikiz vidalı ekstruderler ile üretimler yapılmaktadır. OPK üretiminde, lignoselülozik maddenin termoplastik matrisi içerisinde homojen dağılımını sağlamak açısından, ikiz vidalı ekstruderler son zamanlarda daha fazla tercih edilmektedirler (Wolcott ve Englund, 1999).

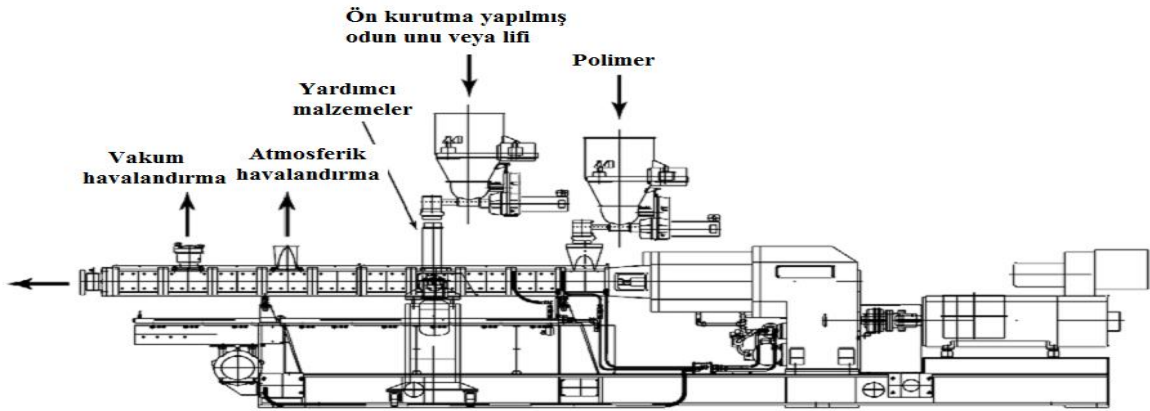
Ekstrüzyon yönteminde, çeşitli basamaklarla değişik üretim stratejileri ve ekstruder türleri kullanılabilir (Gallagher, 2006). Odun plastik kompozitlerin üretimine başlamadan önce odun lifi veya unu %0,5–1 rutubet miktarına kadar kurutulmuş olmalıdır. Bu işlem,

üretimde kullanılan ekstruderin tipine göre değişiklik gösterebilir. Kurutma, önce veya üretim sırasında yapılabilir. Ekstruderin içine üretimde kullanılan malzemeler ayrı ayrı veya birlikte beslenebilir (Gupta, 2006).



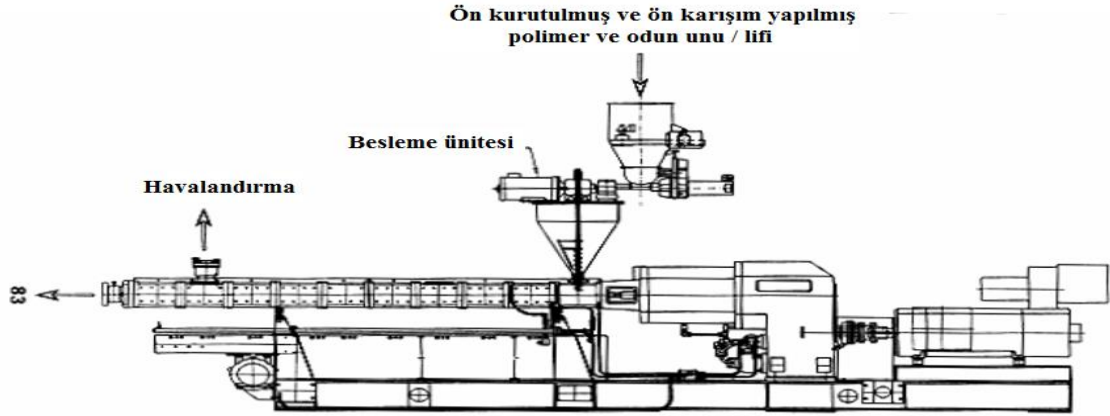
Şekil 1.27. Tipik bir ekstrüzyon üretim iş akışı (Giles, 2004).

Odun plastik kompozitlerin üretiminde kullanılan çift vidalı ekstruderlerden ön kurutma yapılmış ve ayrı noktalardan beslemeli (predry/split feed) ekstruderin şematik görünümü Şekil 1.28’de gösterilmiştir (Gallagher, 2006).



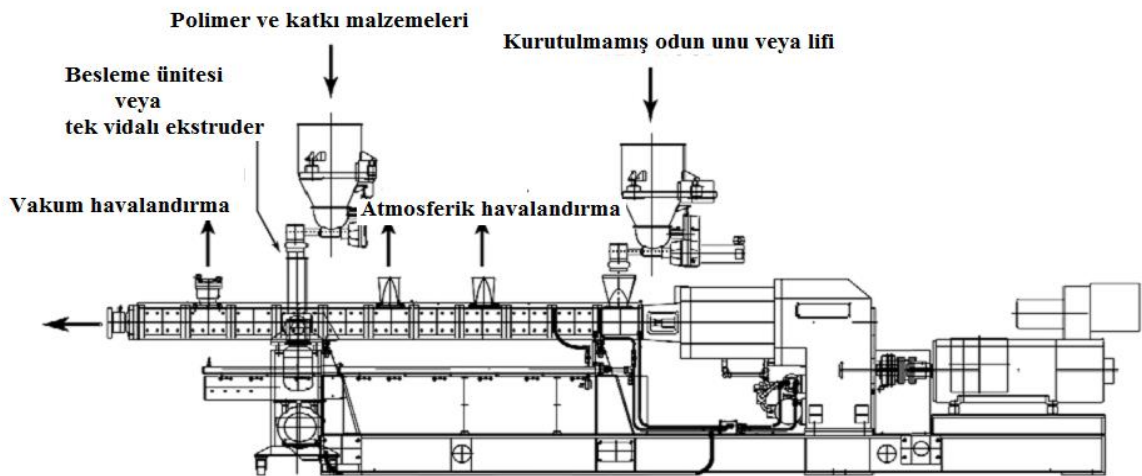
Şekil 1.28. Ön kurutma yapılmış ve ayrı noktalardan beslemeli (predry/split feed) ekstruder (Gallagher, 2006).

Odun plastik kompozitlerin üretiminde kullanılan bir diğer ekstruder tipinde ise, odun lifleri veya unu ilk önce kurutulur. Kurutulmuş odun lifleri veya unu ve plastikler, gravimetrik kontrol yardımı ile ayrı haznelerden aynı anda besleme yapılır. Odun plastik kompozitlerin üretiminde kullanılan çift vidalı ekstruderlerden ikincisi en basit ve en ucuz sistem olan ön kurutmalı ve ön karıştırmalı (predry / premix) tip (Şekil 1.29) ekstruderdir. Bu sistemde, ön kurutma veya ön karıştırma yapılmış malzemeler, aynı hazneden aynı anda besleme yapılarak üretim gerçekleştirilir (Gallagher, 2006).



Şekil 1.29. Ön kurutulmuş ve ön karıştırmalı (predry / premix) tip ekstruder (Gallagher, 2006).

Odun plastik kompozitlerin üretiminde kullanılan bir diğer ekstruder tipi ise, odun unu veya lifleri rutubetli iken üretim yapan tiptir. Bu çift vidalı ekstruder tipi (Şekil 1.30.), en pahalı tiptir. Bu sistemde, rutubetli odun veya odun lifi üretim içerisinde kurutularak besleme yapılır. Her üç ekstruder tipinde de rutubet bir vakum ile havalandırma kısmından dışarı atılır (Gallagher, 2006).

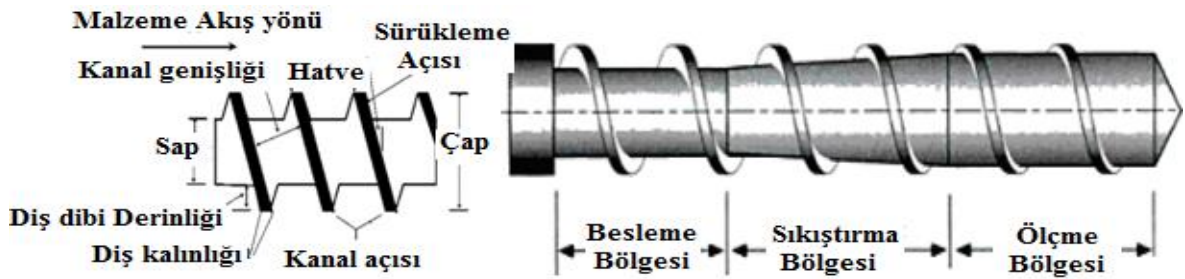


Şekil 1.30. Odun unu veya lifleri rutubetli iken üretim yapan (wetwood/split feed) tip extruder (Gallagher, 2006).

Konik besleme hunisinden granül veya toz halindeki malzeme, vida dişleri tarafından alınır; silindir boyunca ileri sevk edilir ve diğer uçta oluşturulacak ürünün kesit şeklini belirleyen ağız kısmından dışarı basılır. Ekstrüzyon süreci vida; kovan, kalıp (ekstrüzyon kalıbı); kalibrasyon, soğutma kesme; istifleme, çekici ve yardımcı aletler olmak üzere genel olarak 4 bölümde incelenir (Giles, 2004).

Ekstrüzyon ve enjeksiyon kalıplamada taşıma mekanizması olarak vidalardan yararlanılır. Bunlar aslen, plastik endüstrisinde kullanılmakta olan tekniklerdir. Çünkü vida geometrisi sayesinde taşıma, pompalama, erime ve yapıştırma gibi polimer işleme proseslerinin tümü gerçekleştirilebilmektedir (Turkovich ve Ervin, 1983). Üretimde kullanılan ikiz vidalı ekstruderlerin paralel dönen, konik karşı dönen ve paralel ters dönen gibi çeşitleri vardır (Gallagher, 2006). İkiz vidalı ekstruderlerin, tek vidalı ekstruderlere göre daha yüksek kapasitede, daha düşük hızda çalışabilme, daha iyi ısı ve mekanik özellikte ürün eldesi gibi üstünlükleri vardır (Wolcot ve Englund, 1999). Bir vidada vidanın şekli, spiral açısı, sıkıştırma oranı, kanalların derinliği, kanat sayısı önemlidir (Giles, 2004).

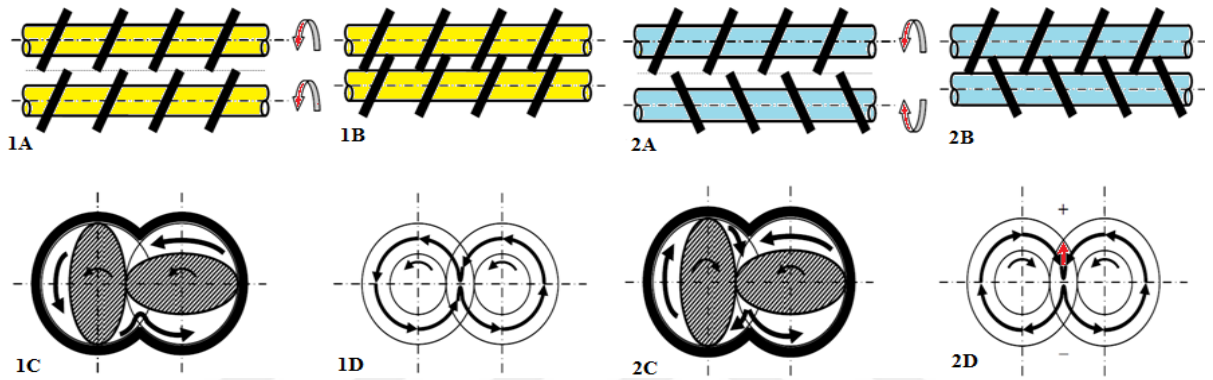
Ekstrüzyon yönteminde tek ve ikiz vidalı ekstruderler ile üretimler yapılmaktadır. OPK üretiminde, lignoselülozik maddenin termoplastik matrisi içerisinde homojen dağılımını sağlamak açısından ikiz vidalı ekstruderler, son zamanlarda daha fazla tercih edilmektedir. Malzemenin ileri doğru taşınma oranı, vida yolu çap ve açısıyla, kanal derinliği ve vidanın dönme hızı ile orantılıdır (Wolcot ve Englund, 1999). Ekstrüzyonda temel işlem değişkenleri, vida hızı ve sıcaklık değişimidir. Temel konstrüksiyon parametreleri ise vida uzunluğu (L) ve çapı (D) olup bunların birbirine oranı (L/D) ekstruder karakteristiğini belirlemektedir. L/D büyük ölçüde ekstruderden çıkışı, polimer çıkış süresini ve polimere ısı transferi için uygun silindir yüzeyini belirler. Ekstruder tasarımı yapılırken vida geometrisi (Şekil 1.31) önemli olmaktadır (Akkurt, 2007).



Şekil 1.31. Vida geometrisi ve bölgeleri (Rauwendaal 2001).

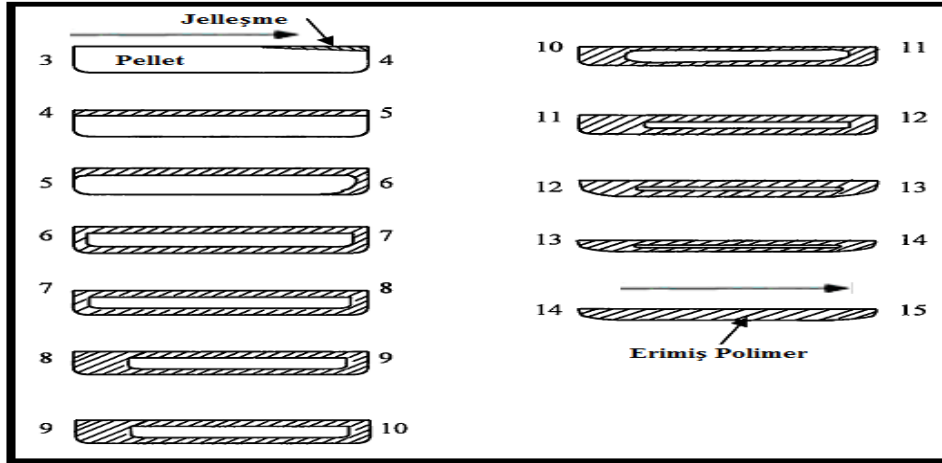
Çift-vidalı ekstruderler vidaların dönüş yönüne göre eş-yönlü (co-rotating) ve zıt-yönlü (counter-rotating) olarak gruplandırılabilir. Aynı yönde dönen vidalar, aynı yönde ilerleme sağlarken; ters yönde dönen vidalar farklı yönde hareket eder (Martelli, 1983). Ayrıca, ekstruderler vidaların arasındaki mesafeye göre teğet vidalı, yarı-geçme vidalı ve tam geçme vidalı olarak sınıflandırılmaktadır. Eriyik malzeme, Şekil 1.32’de gösterildiği biçimde, vidalar tarafından kovan duvarları boyunca sürüklenerek malzemenin karıştırılıp dışarıya doğru sürüklenmesi sağlamaktadır (White ve Kim, 2010).

Kovan, vidaya içinde dönebileceği ve erimiş malzemeyi sıkıştırıp kalıba göndereceği kapalı bir kutu görevi görür. Erimiş malzemenin kovan içinde hareketi, erimiş malzeme ile kovan yüzeyi arasındaki sürtünmeden doğar. Bu sürtünmeden doğan ısının uzaklaştırılması hayati önem taşır. Bunun için, kovanın içinde bir soğutma ceketi bulunur. Kovanın içinde polimer eriyiğinin, sürüklenme akışı ve basınç akışı olmak üzere iki türlü akışı vardır. Sürüklenme akışı, metalin sabit yüzeyi ile temas eden polimerin hareketli yüzey akışını; basınç akışı ise, vidanın kanatçıkları ile kovanın içinde sıkışmış olan polimerin akışını ifade etmektedir. Bu iki akış, birbirine zıt yöndedir. Toplam akış bu iki akışın bir bileşkesidir (Giles, 2004).



Şekil 1.32 1.Eş-yönlü çift-vidalı ekstruder. 1A. Vidaların teğet konumu; 1B. Vidaların tam geçme konumu; 1C. Vida dönüşüne göre eriyik malzemenin kovan iç-duvarları boyunca hareketi; 1D. Eriyik malzemenin yörüngesi. 2. Zıt-yönlü çift-vidalı ekstruder. 2A. Vidaların teğet konumu; 2B. Vidaların tam geçme konumu; 2C. Vida dönüşüne göre akışkan malzemenin kovan içindeki hareketi; 2D. Eriyik malzemenin yörüngesi (White ve Kim, 2010).

Profil ekstrüzyon yönteminde, kompozit materyal ilk olarak termoplastik bileşenin akıcı hale gelmesi için ısıtılır (Rowell ve diğ. 1997). Ekstrüzyon makinesi, enjeksiyon makinesinde olduğu gibi, toz veya granül halindeki reçineyi, bir besleme hunisinden sürekli olarak bir ısıtma silindrine (kovan) gönderir, burada bulunan sonsuz vidanın yardımı ile malzeme ileri itilir, malzeme silindirde ilerledikçe gerek silindir cidarından aldığı ısı ile gerekse kaymanın meydana getirdiği iç sürtünmeden dolayı ısınır, yumuşar ve erir. Malzeme silindirin ucuna ulaştığında belli bir miktar depolanır ve buradan makinenin ucuna bağlı olan ve mamulün kesit şeklini tayin eden bir kalıptan basılarak geçmeye zorlanır; böylelikle kalıbın boşluğunun şeklini alan ürün elde edilir (Akkurt, 2007). Tek vidalı ekstruderde kademeli olarak eriyik oluşumu Şekil 1.33'te gösterilmiştir.



Şekil 1.33. Tek vidalı ekstruderde kademeli olarak eriyik oluşumu (Levy, 1981).

Enjeksiyon kalıplama yöntemi

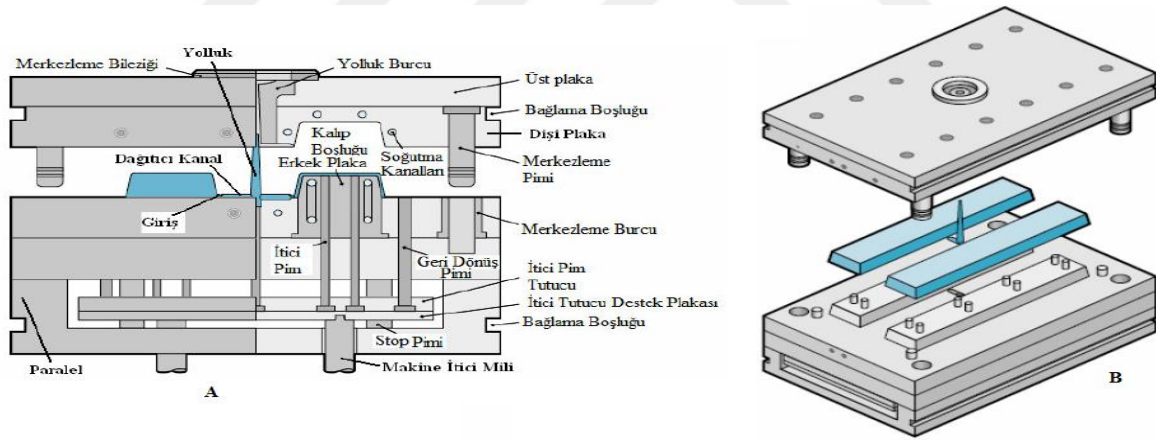
Enjeksiyon yöntemi, akışkan haldeki malzemenin basınç yardımı ile kapalı bir kalıba doldurulması ve kalıpta soğutulularak şekillendirilmesi işlemi olarak ifade edilmektedir. Termoplastik malzemelerin enjeksiyon ile kalıplama yöntemi, çok sayıda parça üretim işlemleri için uygun bir yöntemdir (Strong, 2000).

Enjeksiyon kalıplama presleri; enjeksiyon kapasiteleri, eritme kapasiteleri, vida çapı, enjeksiyon hızı, enjeksiyon basıncı ve kalıp kapama kuvvetlerine göre sınıflandırılır. Bir enjeksiyon kalıplama makinesi mengene ünitesi, yumuşatma ünitesi, enjeksiyon ünitesi ve kontrol ünitesi olmak üzere dört kısımdan oluşur (Miles,1996). Enjeksiyon üretiminin işlem süresinin çok kısa olması, atık malzemenin ortaya çıkması ve otomasyona uygun yapıda olması gibi üstünlükleri vardır (Englund, 2001).

Bir enjeksiyon kalıplama tezgahı mengene mekanizması, yumuşatma ünitesi, enjeksiyon ünitesi ve kontrol üniteleri olmak üzere 4 temel kısımdan meydana gelmektedir (Rees, 1995).

Mengene ünitesi, üretim sırasında kalıbı açma ve kapama işlemlerinin yapıldığı kısımdır. Bu ünitenin görevi, sabit ve hareketli olan kalıpları aynı ekseninde kapalı tutarak, kalıbın kapalı tutulması için gerekli kuvveti sağlamaktır. Mengene ünitesi hidrolik, hidrolik ve mafsal birleşimi veya elektrik gücüyle hareket edebilir. Üretilen malzemenin kalıba gönderilmesi için homojen bir eriyik elde etmek gereklidir. Yumuşatma ünitesi, malzemeyi istenilen sıcaklık değerine kadar karıştırarak olan pistonlu vidalı mil ve silindirden oluşur. Pistonlu vidalı mil, silindir içinde dönerek malzemeyi karıştırır. Silindirin dış çevresinde, ısıtıcılar yardımı ile malzeme istenilen sıcaklığa kadar eritilir. Enjeksiyon ünitesi, eriyik

şalter, makinenin enjeksiyon dozajını, huniden silindire alınan malzeme miktarını uygun olacak tarzda ayarlar. Enjeksiyon dozajı, üretilen parçanın hacmine eşittir. İstenilen sıcaklık ve viskoziteye gelen eritilmiş malzeme basınç altında, şeklini alması istenen kalıp boşluğuna doldurulur. Bu aşamada enjeksiyon basıncı, enjeksiyon sıcaklığı, enjeksiyon hızı ve dolum süresi en önemli parametrelerdir. Erimiş malzemenin kalıba doldurulması işlemi sırasında, kalıptaki malzemede soğuma nedeniyle çekme meydana gelir. Çekme sonucunda meydana gelen hacim kaybı, ütüleme işlemi ile ekstra malzeme enjekte edilerek giderilir; böylelikle, üretilecek malzemenin boyutsal sabitliği ve görünüşü son halini alır. Bu aşamada ise, ütüleme basıncı ve süresi en önemli parametrelerdir. Ütüleme işlemi, ürünün kalıptan çıkma sıcaklığına kadar soğutulması ve ürünün çıkarılması işlemi takip eder. Herhangi bir enjeksiyon kalıplama işleminde soğutma süresi toplam sürenin %70'ini kapsar. Bu işlem, malzemenin enjeksiyon ile kalıba dökülmesi ve ütülenmesi işlemini de içine alır. Bu işlemi, kalıbın açılarak üretilen malzemenin kalıptan alınması takip eder. Bundan sonra, vida zaman ayarlı bir komut ile tekrar dönmeye baslar ve yeni granülleri alır, eritmeye baslar. Çevrim yeniden baslar. Bütün işlem zamana, yola veya basınca bağlı bir şekilde tam otomatik olarak devam eder (Nirkhe, 2003).



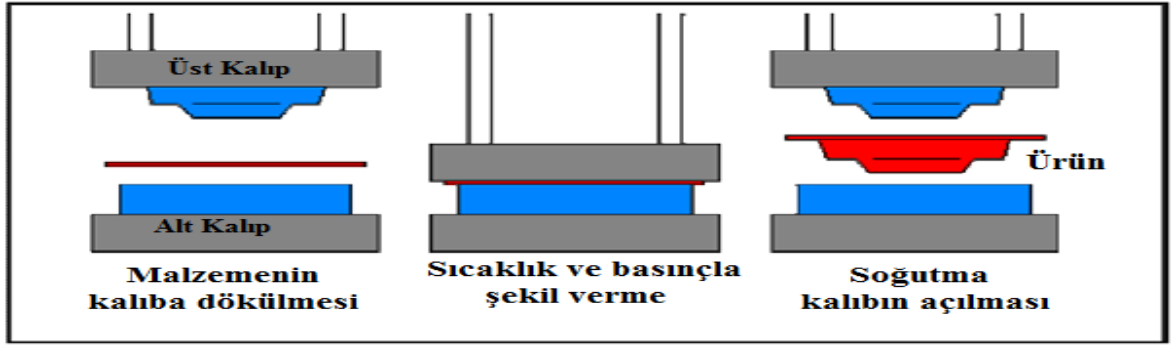
Şekil 1.35. Plastik enjeksiyon kalıp setleri A) iki plakalı kalıp, B) kalıp seti (Buldu, 2007).

Bir enjeksiyon presinin temel noktası kalıptır. Kalıp (Şekil 1.35) plastik eriyiğın parça olarak şekillendirilmesini, bu formda soğutulmasını ve bitmiş ürünün elde edilmesini sağlar (Katmer, 2010).

Basınçla kalıplama metodu

Odun plastik kompozitlerin üretiminde basınçlı kalıplama yöntemi kullanılmasına rağmen her ürün için ayrı bir kalıp gerektiğinden ve kalıp maliyetleri yüksek olduğundan yaygın bir kullanıma sahip değildir. Basınçla kalıplama yönteminde işlem, ısıtma,

şekillendirme, soğutma olmak üzere üç kademede tamamlanır. Basınçlı kalıplama ile üretimde ön karışım yapılmış pelletler kalıba dökülür. Isıtılan ve sıcaklık etkisi ile eriyik haline gelen pelletler, uygulanan basıncın etkisi ile tüm kalıbı doldurarak kalıbın şeklini alır. Kalıbın şeklini alan malzemenin soğutularak katılaşması sağlanır ve kalıp açılarak üretim tamamlanır. Presten çıkan parça gerekli görülürse düzeltilebilir. Presin ısıtılması işlemi için elektrik, sıcak hava, enfraruj ışını gibi yöntemler kullanılır (Rowell ve ark., 1997). Basınçla kalıplama yöntemi ile odun plastik kompozitlerin üretimi Şekil 1.36'da gösterilmiştir.



Şekil 1.36. Basınçla kalıplama yöntemi ile odun plastik kompozitlerin üretimi.

1.3. Tez Kapsamında Kullanılan Dolgu Maddeleri İlgili Bilgiler

1.3.1. Kızılçam (*Pinus brutia* Ten.)

Kızılçam (*Pinus brutia* Ten.); geniş yayılış alanı, ağaçlandırma potansiyeli, odununun çok çeşitli kullanım alanlarına uygun olması, genetik çeşitliliğinin yüksek olması nedenleriyle genetik ıslah çalışmaları için elverişli türlerin başında yer almaktadır (Öztürk ve ark., 2004). Pinaceae familyasından olan Kızılçam (*P. brutia* Ten; Syn: *P. pityusa* Stev.) 20–25 m boy ve 60 cm'ye kadar çap yapabilen, kalın dallı ve genellikle düzgün olmayan gövdeye sahip önemli bir orman ağacıdır. Diğer taraftan, boylu ve düzgün gövdeli ağaçlardan oluşan, kızılçam meşcereleri de mevcuttur. Bu çam türünde genç sürgünler tüysüz, çoğunlukla önceleri kırmızımsı, daha sonraları ise, yeşilimsi-kahverengi nadiren de kurşuni-boz renklidir. Bu tür, ismini taze sürgünlerinin kırmızı renginden almaktadır (Selik, 1963). Kızılçam peyzaj kullanımları bakımından kıymetli olan ve kızılçam ormanlarında rastlanan, farklı özelliklerdeki varyetelere sahip bulunmaktadır. Bunlar: **a.** sık dallı ve yuvarlak tepeli, *P. brutia* var *agrophioti* Papaj, **b.** piramidal tepeli, *P. brutia* var *pyramidalis* Selik ve **c.** *P. brutia* var *densifolia* (Yaltırık ve

Efe, 2000). Kızılçam ağacının genel görünümü, gövde, kozalak, yaprak ve sürgünlerinin görünüşleri Şekil 1.37’de verilmiştir (OGM, 2014).



Şekil. 1.37. Kızılçam ağacının genel görünümü (A), gövde (B), kozalak (C), yaprak ve sürgün (D) (OGM,2014).

1.3.1.1. Kızılçamın (*Pinus brutia* Ten.) Dünya’daki yayılışı

Kızılçam (*Pinus brutia* Ten.), kuzey yarımkürenin 15-45. doğu boylamları ile 32-45. kuzey enlem dereceleri arasında kalan bir bölgesinde doğal olarak yayılmış bulunmaktadır. Bu sınırların en batı ucu Kalabriya Yarımadası, en doğu noktası ise Irak’ın kuzeyindeki Zavita- Atrush bölgesidir. Kuzey Kırım’a kadar çıkabilen bu ağaç türü güneyde Lübnan ve Filistin’e kadar inebilmektedir. En geniş yayılışını Akdeniz Çukuru’nun doğusunda ve özellikle de Anadolu’da gerçekleştirdiğinden Doğu Akdeniz’in bir türü olarak kabul edilmektedir (Neyişçi, 2001).

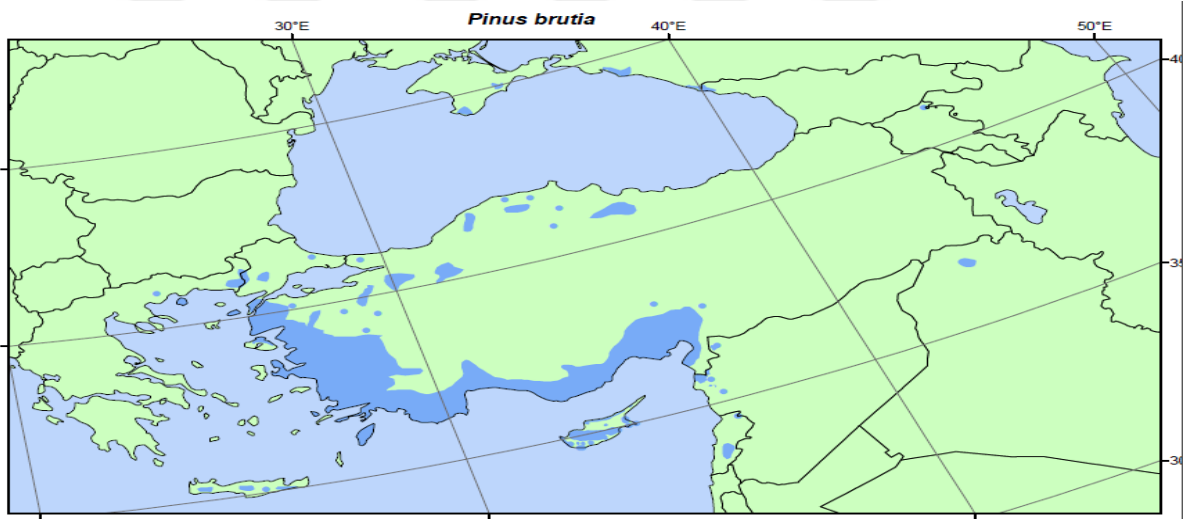
Kızılçamın genel yayılış alanı Akdeniz ve Karadeniz kıyılarıdır. Fakat asıl geniş yayılışını Doğu Akdeniz’de yapmaktadır. Filistin, Ürdün, Suriye, Irak, Lübnan, Kıbrıs, Türkiye, Yunanistan ve İtalya belli başlı yayılış alanlarıdır. Karadeniz sahillerinde adacıklar halinde Türkiye, Kafkas ve Kırım’da bulunmaktadır. En fazla yayılışı Türkiye’de görülmekte olup Marmara, Ege ve Akdeniz bölgelerinde çok geniş ormanlar kurmaktadır (Kayacık, 1980).

1.3.1.2. Kızılçamın (*Pinus brutia* Ten.) Türkiye’deki yayılışı

Ülkemizin Akdeniz, Ege ve Marmara Bölgelerinin, özellikle kıyıya bakan yamaçlarında geniş ve saf ormanlar kurmuştur. Batı Karadeniz Bölgesi’nin Akdeniz iklimi özellikleri gösteren bazı mikroklima bölgelerinde küçük meşcereler biçiminde doğal olarak bulunmaktadır (Akıncı, 1963). Kızılçam (*Pinus brutia* Ten.) en geniş yayılışını ülkemizde yapar. Marmara, Ege ve Akdeniz Bölgesinde geniş kesimlerde yayılmakta, ayrıca,

Karadeniz sahilleri boyunca örneğin, Sinop Çamgölü yöresinde küçük adacıklar halinde bulunmaktadır. Yine Karadeniz sahillerinden içeri gidildikçe, özellikle Kızılırmak boylarında, Sinop, Durağan, Boyabat ve Kargı yörelerinde, Isırganlı ormanlarında gözlenmektedir (Anşin,1994). Ülkemiz kızılçam orman alanlarının yaklaşık olarak yarısı (%47) Akdeniz Bölgesi'nde bulunmaktadır (Kantarcı, 1984). Türkiye toplamının yaklaşık olarak %40'ı Ege bölgesinde bulunmaktadır (OGM, 1980). Kızılçam orman alanlarının yaklaşık %10'u Marmara bölgesi'nin sınırları içinde bulunmaktadır (Atalay, 1983). Tüm bunlara ek olarak Karadeniz Bölgesinin batı kıyılarında tek ve serpili bir yayılım gösterir (Neyişçi, 2001).

Kızılçam (*Pinus brutia* Ten.), kapladığı 3.729.866 hektarlık alanla ülkemizin en geniş alana yayılmış ağaç türüdür. Orman Bölge Müdürlükleri'ne göre Kızılçam ormanlarının alansal dağılımı Şekil 1.38.'de verilmiştir (Url,1).



Şekil 1.38. Kızılçam ormanlarının alansal dağılımı (URL, 1).

1.3.1.3. Kızılçamın (*Pinus brutia* Ten) botanik özellikleri

Kızılçam, bitkiler aleminin tohumlu bitkiler (*Spermatophyta*) bölümü, açık tohumlular (*Gymnospermae*) alt bölümü *Coniferae* sınıfı *Pinaceae* familyasının *Pinus* cinsi içerisinde yer almaktadır. Türkiye'de doğal yayılım gösteren beş çam türünden birisidir. Kızılçamın tepe yapısı genç yaşlarda piramit, ileri yaşlarda yayvan görünümündedir. Dalları gövdeye dik açıyla birleşmiş ve uçlarında çok kez kısa sürgünler bulunur. Kabuğu düzgün, boz renkte, ileri yaşlarda kalın, derince yarıklı ve esmer kırmızımsıdır. İğne yapraklar 10-18 cm uzunlukta, yumuşak, açık yeşil renkte kenarları ince dişli, kısa sürgünleri dalların ucunda toplanmış ve fırça biçiminde görülür (Anşin, 1994).

1.3.1.4. Dış morfolojik özellikler

Genel görünümü ile Halep çamına benzeyen, bazı botanikçiler tarafından Halep çamının bir varyetesi (*Pinus halapensis* Mill. Var. *Brutia* (Ten) Henry) olarak kabul edilen kızılçam, birtakım morfolojik ve anatomik özellikleri ile ondan kesin olarak ayrılmaktadır. Sahil kesimlerinde 15–20 m boyunda kalın dallı bir ağaçtır. Gövdeleri de çoğu zaman düzgün değildir. Ancak rakım yükseldikçe, ağaçlarda gövdelerin düzgünleşmeye, boyların artmaya başladığı, tepelerin sivrileştiği ve dalların inceldiği görülmektedir (Yaltırık ve Efe, 2000). 12–18 cm uzunluğunda, sert ve koyu yeşil renkli iğne yapraklarının anatomik yapısı, özellikle reçine kanallarının genişliği ve çevre yapısı Halep çamı yapraklarına göre farklılık göstermektedir. 6–11 cm uzunluğundaki kozalakları topaç biçiminde, sapsız veya çok kısa saplıdır. Sürgünlerde dikine veya yan durmaktadır. Olgun kozalaklar parlak kırmızımtırak kahverengindedir. Kalkanlar radyal pervazlıdır. Göbek büyük ve Halep çamının aksine basıktır. Birkaçı bir arada toplu olarak bulunmaktadır (Yaltırık ve Efe, 2000).

1.3.1.5. Kızılçam (*Pinus brutia* Ten.) odununun anatomik özellikleri

Makroskopik özellikler

Kızılçam enine kesitinde, yaz odunu tabakası yıllık halka içerisinde çok az bir yer kaplamakta olup, reçine kanalları yıllık halkalar içerisinde dağınık vaziyette noktalar halinde görülmektedir. Radyal kesitte, traheidler arasında kenarlı geçitler bulunmaktadır. Bunlar ilkbahar odunu içerisinde büyük, yaz odununda ise küçüktür. Özışını paranzim hücreleri çok miktarda basit geçitler ihtiva etmektedir. Teğet kesitte öz ısınları tek sıralı olmakla birlikte yatık reçine kanalı ihtiva eden özışınları birkaç sıralıdır. Traheidlerin teğetsel çeperlerinde kenarlı geçitlere rastlanmamaktadır (Berkel, 1957).

Kızılçam odununun makroskopik yapısında, diri odun doğal halde kırmızımsı beyaz renkte, öz odun kırmızımtırak kahverengidir. Yıllık halka sınırları belirgindir. Gövdenin alt kısımları genellikle oluklu bir yapıdadır. Kabuğu kalın ve derin yarıntılı, kırmızımsı kahverengidir (Hafizoğlu ve ark., 1994). Kızılçam odunun makroskopik yapısında diri odun; geniş ve kırmızımsı beyaz renkte olup, enine kesitte gövde yarıçapının takriben 2/3'ü kadardır. Öz odun; daha koyu olup, sınırı bariz morumsu-kırmızımtırak kahverengidir. Yıllık halka sınırları belirgindir. Yaz odunun dış sınırı keskin, iç sınırında ise ilkbahar odununa geçiş ani olmayıp oldukça tedricidir. Yaz odunu tabakasının yıllık halka içerisindeki payı az, rengi özellikle öz odun içerisinde koyu morumsu kahverengidir.

Yıllık halka sınırları, özellikle gövdenin alt kısımlarında, açık şekilde kaba dalgalıdır. Reçine kanalları açık ve belirli olup, enine kesitte, yaz odunu tabakası içerisinde veya bu tabakanın iç kenarına yakın kısımlarda açık renkli noktacıklar halinde görülür (Berkel, 1957).

Mikroskobik özellikler

Mikroskobik yapısında, enine kesitte, yaz odunu tabakası yıllık halka içerisinde çok az bir yer kaplar. Reçine kanalları, yıllık halkaların içerisinde dağınık vaziyette noktalar halinde görülmektedir. Radyal kesitte, traheidler arasında bordürlü geçitler yer almaktadır. Bunlar ilkbahar odunu içerisinde büyük, yaz odununda ise küçüktür. Öz ışını paranzim hücreleri çok miktarda basit geçitlere sahiptir. Teğetsel kesitte, öz ışınları tek sıralıdır. Traheidlerin teğetsel çeperlerinde bordürlü geçitlere rastlanmaz (Berkel, 1957). Odunun lif uzunluğu 4,27-4,70 mm, lif genişliği 47,85-48,17 mikron, çeper kalınlığı 8,99-9,77 mikron ve lümen genişliği 28,14-30,34 mikrondur (Erten ve Önal, 1987). Göksel ve Özden tarafından 1993 yılında yapılan “Kağıt Endüstrisinde Kızılçam” isimli çalışmada; Antalya ilinin 3 farklı bölgesinden alınan deney numunelerinin, ortalama lif boyunun 2,9 mm, ortalama lif çapının 33.03 µm, lümen çapının 15.08 µm, çeper kalınlığının 9.95 µm olduğu belirlenmiştir (Göksel ve Özden, 1993).

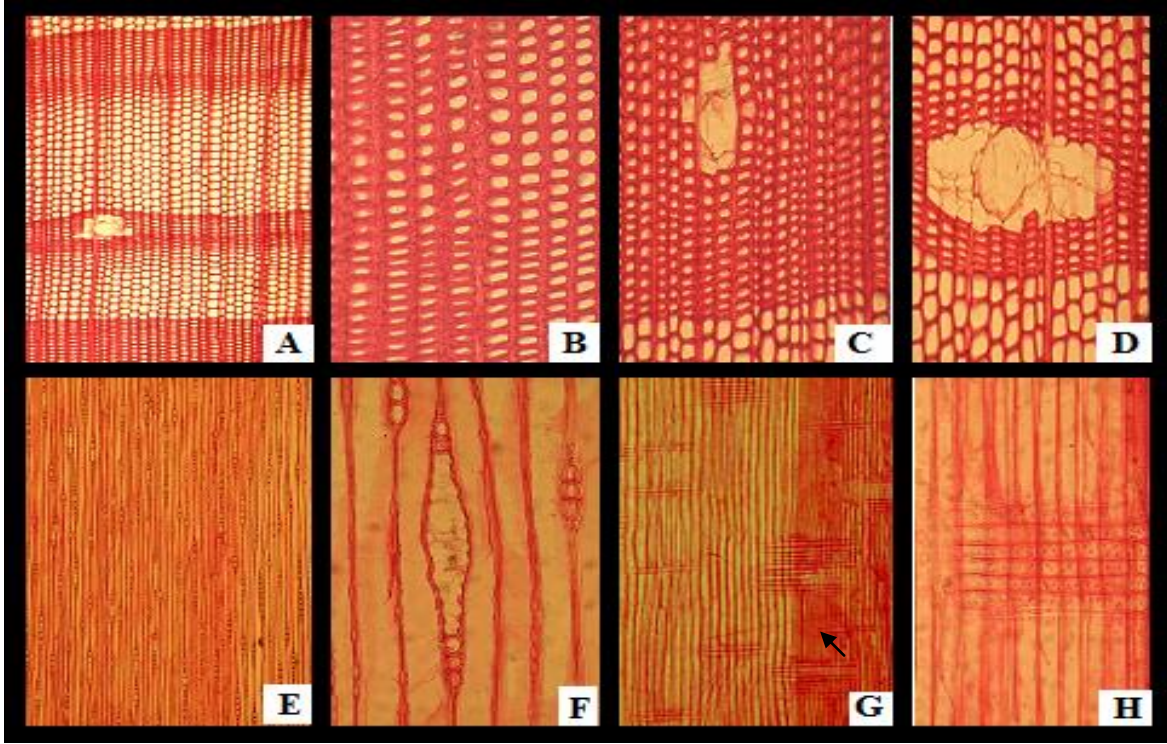
Çizelge 1.10. Kızılçam normal ve basınç odununun mikroskobik özellikleri (Sarıusta,2007).

No	Yapılan İncelemeler	Basınç Odunu	Normal Odun
1	İÖ traheid teget çapı (µm)	34,30	37,15
2	İÖ traheid radyal çapı(µm)	29,25	29,70
3	YO traheid teget çapı(µm)	13,00	13,15
4	YO traheid radyal çapı(µm)	23,65	25,85
5	1mm ² 'deki traheid sayısı	7010,6	6547,8
6	Traheid hücre uzunluğu(µm)	3739,1	4146,5
7	Traheid hücre genişliği(µm)	44,20	42,50
8	Traheid lümen genişliği(µm)	30,10	28,35
9	Traheid çift çeper kalınlığı(µm)	14,60	14,15
10	Özışını hücre sayısı	7,90	7,26
11	Özışını yüksekliği(µm)	211,35	194,10
12	1mm'deki özışını sayısı	6,64	6,50
13	Kenarlı geçit çapı(µm)	18,80	19,80
14	Porus çapı(µm)	4,60	5,05

Sarıusta, tarafından 2007 yılında yapılan. “Sarıçam (*Pinus sylvestris* L.), Karaçam (*Pinus nigra* Arnold.) ve Kızılçam (*Pinus brutia* Ten.) Reaksiyon Odununun Anatomik Yapısı ve Kimyasal Bileşimi Üzerine araştırmalar” isimli yüksek lisans tezinde Kızılçam

normal Odunu ve basınç odununun deney numunelerinden elde edilen ortalama değerler Çizelge 1.10’da verilmiştir.

Kızılçam odununun mikroskobik reçine kanallarının görünümü, traheidlerinin görünümü, enine kesiti, teğet kesitinin görünümü ve özışınlarının görünümü, radyal kesiti, kenarlı geçitlere ait görünüm Şekil 1.39’da gösterilmiştir.



Şekil 1.39. Kızılçam odununun mikroskobik görünümü.

Şekil 1.39 incelendiğinde A- Kızılçam odununun enine kesiti. Büyütme 200 µm, B- yaz odunu traheidlerinin görünümü. Büyütme 40 µm, C- enine kesitindeki reçine kanallarının görünümü. Büyütme 80 µm, D- normal odunun yaz odunu tabakasında reçine kanallarından bir görünüm. Büyütme 40 µm, E- teğet kesitinin görünümü ve özışınlarının durumu. Büyütme 200 µm, F- reçine kanalı bulunan traheidlerinin görünümü. Büyütme 40 µm, G- radyal kesiti. Büyütme 200 µm, H- normal odunun radyal kesitinde kenarlı geçitler (ok). Büyütme 40 µm ifade etmektedir (Sarıusta, 2007).

1.3.1.6. Kızılçam (*Pinus brutia* Ten.) odununun fiziksel ve mekanik özellikleri

Kızılçam, ülkemizde yayılış gösteren çam türleri içinde odunu en ağır olanıdır. Özgöl ağırlığı tam kuru halde 0,53 gr/cm³, hava kurusu halde (%12 rutubette) 0,57 gr/cm³ ve hacim yoğunluk değeri 478 kg/m³ tür. Diri odunu %79–126 arasında rutubet içerir (Erten ve Önal, 1987). Kızılçam türleri üzerinde yapılan araştırmalarda, botanik, anatomik

özellikleri ve odun özellikleri bakımından önemli benzerlikler olduğu vurgulanmıştır ve tam kuru yoğunluk 0.53 gr/cm³, hava kurusu yoğunluk 0.57 gr/cm³ olarak belirlenmiştir (Bozkurt ve Erdin, 1995).

Kızılcım odununu daralma yüzdeleri, boyuna yönde %0,5, radyal yönde %4,9, teğet yönde %6,8 ve hacimsel daralma yüzdesi %12,2 dir. Kalori değeri ise, gövde odunda 4781 cal/kg, dal odunda 4752 cal/kg, gövde kabuğunda 4771 cal/kg ve dal kabuğunda 4216 cal/kg'dır (Erten ve Önal, 1987). Kızılcım odununun; liflere paralel basınç direnci 447 kg/cm², liflere dik basınç direnci 20 kg/cm², brinell sertlik değeri 0,77 kg/cm², liflere dik çekme direnci 19,6 kg/cm², radyal yarıлма direnci 5,1 kg/cm², teğet yarıлма direnci 5,7 kg/cm² 'dir (Erten ve Önal, 1987).

Çizelge 1.11. Kızılcım odununun fiziksel ve mekanik özellikleri (Küçükosmanoğlu, 2006).

No	Özellikler (Ortalama Değer)		Yangına maruz Kalmamış	Yangına Maruz kalmış
1	Tam Kuru Özgül Ağırlık gr/cm ³		0.543	0.538
2	Hava Kurusu Özgül Ağırlık gr/cm ³		0.569	0.572
3	Hacim-Yoğunluk Değeri kg/ m ³		0.467	0.475
4	Daralma Miktarı (%)	Radyal yönde	4.95	3.71
5		Teğet yönde	6.81	7.79
6		Hacimsel	11.77	11.50
7	Genişleme Miktarı (%)	Radyal yönde	3.95	4.91
8		Teğet yönde	8.00	6.81
9		Hacimsel	11.96	11.71
10	Basınç Direnci (kp/cm ²)		486.85	447.71
11	Eğilme Direnci (kp/cm ²)		793.99	717.41
12	Eğilme Elastikiyet Modülü (kp/cm ²)		114242.5	93237.64
13	Dinamik Eğilme Direnci (kp/cm ²)		0.38	0.41
14	Makaslama Direnci (kp/cm ²)		66.08	60.96
15	Brinell Sertlik Değeri (kp/mm ²)	Liflere paralel Yönde	2.73	2.06
		Radyal yönde	1.63	1.37
		Teğet yönde	1.61	1.38

Bozkurt ve arkadaşları tarafından 1993 yılında yapılan “Datça Kızılcımında Anatomik ve Teknolojik Özellikleri” isimli çalışmada, Datça Kızılcımının; hava kurusu özgül ağırlığın 0.56 gr/cm³, tam kuru özgül ağırlığın 0.50 gr/cm³, hacim ağırlık değerinin 0.44 gr/cm³, Radyal yönde daralmanın %3.9, teğet yönde daralmanın %7.1, elastikiyet modülünün 87320 kp/cm², eğilme direncinin 601.3 kp/cm², basınç direncinin 449.2 kp/cm², çekme direncinin 32.3 kp/cm², dinamik eğilme direncinin 0.56 kpm/ cm², enine kesitte sertliğin 4.73 kp/ mm², radyal kesitte 3.00 kp/ mm², teğet kesitte 3.40 kp/ mm² olarak tespit edilmiştir (Bozkurt ve ark., 1993).

Öktem ve arkadaşları tarafından 1993 yılında yapılan “Yatağan Yöresi Mevcut Çevre Kirliliği Şartlarında Kızılçam Odununun Fiziksel ve Mekaniksel Özellikleri” isimli çalışmada, Yatağan yöresinde elde edilen Kızılçam odunu deney numunelerinin; tam kuru özgül ağırlıklarını 0.50 gr/cm^3 , hava kurusu özgül ağırlıklarını 0.54 gr/cm^3 , hacim yoğunluk değeri 0.44 gr/cm^3 , hacimsel daralma miktarı %10.2, hacimsel şişme %12.6, liflere paralel basınç direnci 398.3 kp/cm^2 , liflere paralel çekme direnci 467 kp/cm^2 , liflere paralel yönde makaslama direnci 73 kp/cm^2 , liflere dik Janka sertlik değeri 253 kp/cm^2 , liflere paralel Janka sertlik değeri 367 kp/cm^2 , statik kalite değeri 7.43 olarak tespit edilmiştir (Öktem ve ark., 1993).

Küçükosmanoğlu tarafından 2006 yılında yapılan, “orman yangınlarının kızılçam (*Pinus brutia* Ten.) odununun fiziksel ve mekanik özellikleri üzerine etkisi” isimli yüksek lisans tezinde orman yangınına maruz kalmış ve kalmamış kızılçam odunlarının özellikleri tespit edilmiştir. Deney numunelerinde elde edilen ortalama değerler Çizelge 1.11’de verilmiştir.

Bektaş ve Tutuş tarafından 1993 yılında yapılan “Türkiye’de Doğal Olarak Yetişen Kızılçam Odunlarının Değişik Yetiştirme Ortamlarındaki Yarılma Dirençlerinin Belirlenmesi” isimli çalışmada kızılçam odununda ortalama yarılma direnci $5,4 \text{ kg/cm}^2$, tam kuru özgül ağırlık 0.511 gr/cm^3 ve yaz odunu katılım oranı %23,09 olarak tespit edilmiştir (Bektaş ve Tutuş, 1993).

1.3.1.7. Kızılçam (*Pinus brutia* Ten.) odununun kimyasal özellikleri

Kızılçam odunu %65 holoselüloz, %27,5 lignin, %10 pentozan ve %0,5 kül ihtiva etmektedir. Eterde %4,59-5,46, alkol-benzende %5,04-9,27, sıcak suda %2,10-3,65 ve %1’lik NaOH’ de %8,40-17,04 oranında çözünmektedir (Erten ve Önal, 2001).

Kızılçamın selüloz oranını öz odunda %52,6, diri odunda %57,9, selüloz oranını öz odunda %45,2, diri odunda %50,2 ve lignin oranını öz odunda %28, diri odunda %29 olarak bulmuşlardır. Ayrıca soğuk su, sıcak su, alkol-benzen ve %1’lik NaOH çözünürlüğü değerlerini sırasıyla öz odun ve diri odun için %3,1-2,4, %6,5-5,1, %7,6-5,7 ve %10,2-9,1 olarak tespit etmişlerdir (Hafizoğlu ve Usta, 2005).

Sarıusta, 2007 yılında yaptığı “Sarıçam (*Pinus sylvestris* L.), Karaçam (*Pinus nigra* Arnold.) ve Kızılçam (*Pinus brutia* Ten.) Reaksiyon Odununun Anatomik Yapısı ve Kimyasal Bileşimi Üzerine araştırmalar” isimli yüksek lisans tezinde kızılçam odununun kimyasal özelliklerini; holoselüloz %72,57, selüloz %46,51, lignin %27,33, sıcak su

çözünürlüğü %3,28, soğuk su çözünürlüğü %2,57, alkol çözünürlüğü %2,32, %1'lik NaOH çözünürlüğü %12,62, kül %0,35 olarak tespit etmiştir. Aynı çalışmada kızılçam basınç odununda ise holoselüloz %70,90, selüloz %43,12, lignin %33,05, sıcak su çözünürlüğü %4,30, soğuk su çözünürlüğü %3,03 alkol çözünürlüğü %2,58 %1'lik NaOH çözünürlüğü %13,09, kül %0,41 olarak tespit etmiştir.

Kızılçam odunu %65 holoselüloz, %27,5 lignin, %10 pentozan ve %0,5 kül ihtiva etmektedir. Eterde %4,59-5,46, alkol-benzende %5,04-9,27, sıcaklık suda %2,10-3,65 ve %1'lik NaOH'de %8,40-17,04 oranında çözünmektedir. Kızılçamın selüloz oranını öz odunda %52,6, diri odunda %57,9, a-selüloz oranını öz odunda %45,2 diri odunda %50,2 ve lignin oranını öz odunda %28, diri odunda %29 olarak bulunmuşlardır. Ayrıca soğuk su, sıcak su, alkol-benzen ve %1'lik NaOH çözünürlüğü değerlerini sırasıyla öz odun ve diri odun için %3,1-2,4, %6,5-5,1, %7,6-5,7 ve %10,2-9,1 olarak tespit edilmiştir (Berker, 1957).

1.3.1.8. Kızılçamın kullanım alanları ve randımanı

Kızılçam odunu, inşaat malzemesi, ambalaj sandığı, tarım aletleri, ağaç tel direği, maden direği, çit kazığı, deniz taşıtlarının yapımında kullanılır (Bozkurt, 1971). Kalın dallı odunu değerli olmamakla birlikte, travers olarak dış ülkelere satıldığı gibi, yerel ihtiyaçlarda, özellikle ambalaj için çok kullanılmaktadır. Tel direği, maden direği, yapı malzemesi, yat ve tekne yapımı, çit direği, alet ve sandıklarında, kağıt ve selüloz sanayinde kullanım alanı bulunmaktadır. Reçine üretimi bakımından önemli bir türdür. Kurak ve verimsiz alanların ağaçlandırılmasında çok kullanılan bir çam türüdür (Yaltırık ve Efe, 2000).

Çizelge 1.12. Katrakta biçmede artık ve randıman miktarı (Gürsu ve Öktem, 1975).

Çap (cm)	Artıklar (%)				Randıman (%)
	Kapak	Yan	Baş	Talaş	
20	7.34	18.39	1.40	11.23	57.81
30	5.84	16.06	1.18	12.11	59.34
40	4.34	13.73	0.96	13.00	60.87
50	2.84	11.40	0.75	13.89	62.40
60	1.34	9.07	0.53	14.77	63.93

Anatomik, fiziksel ve mekanik özelliklerinin incelenmesi sonunda kızılçamın, tel direği, maden direği, konstrüktif materyal, yat ve tekne, ambalaj sandığı, çit direği, ziraat alet sandıkları yapımında, kağıt ve selüloz sanayisinde kullanılabileceği anlaşılmaktadır (Bozkurt ve ark., 1993). Kızılçam, yapı malzemesi olarak ahşap bina ve köprülerde yer

Ayrıca kağıt sanayinde sülfat metodu ile değerlendirme imkanı vardır. Kızılcçam kabukları ise tanen üretiminde kullanılır. Ağacın 0.30 metresindeki kabukta %18.13, 1.30 metresinde %13,45 ve 6.0 metresinde ise %12,6 oranında tanen vardır (Erten ve Taşkın, 1985). Kızılcçam odunu sülfat yöntemiyle selülozik madde elde edilmesinde gerek lif morfolojisi gerekse kimyasal bileşim ve fiziksel dayanım özellikleri bakımından elverişli bir hammadde olduğu saptanmıştır (Göksel, 1984). Kızılcçam tomruklarının şerit ve katrakla biçilmesinde muhtelif çaplardaki artık ve randıman miktarlarına ilişkin olarak bir fikir vermek üzere diğer çam türlerine ait bilgiler Çizelge 1.12’de verilmiştir (Gürsu ve Öktem, 1975).

Zeytin ve zeytinyağı Akdeniz ülkelerine has bir ürün olup, Güney ve Kuzey yarım kürenin 30° ve 45° enlemleri arasında yetişmektedir. Zeytin 20–29 cinse sahip Oleaceae familyası Olea cinsine dahildir. Yenebilir meyvesi olan tek tür zeytinin de dahil olduğu Olea europaea L.'dir. Olea europaea L. Sativa kültür zeytini ve Olea europaea L. Oleaster yabani zeytini olup zeytinin ana vatanı Anadolu'dur (Mete ve Çetin, 2006).

A diagram of a fruit cross-section, likely an apple, showing its internal structure. The fruit is green and has a brown core. A green leaf is attached to the top. Red arrows point from the fruit to the following labels:

- %1–2 Epikarp (kabuk)
- %63–86 Mesokarp (meyve eti)
- %10–30 Endokarp (çekirdek)
- %2–6 Çekirdek içi

65

1.3.2.1. Dünya’da ve Türkiye’de zeytin ağacı varlığı

Dünya genelinde yaklaşık 10 milyon hektar alan üzerinde 900 milyonu aşkın zeytin ağacı olduğu tahmin edilmektedir. Dünyada 37 ülkede toplam 7,5 milyon hektar alanda ekonomik anlamda zeytin üretimi yapılmaktadır. Dünya zeytin üretim alanlarının %95’inin Kuzey Akdeniz Bölgesinde yer aldığı görülmektedir. Dünya zeytin yetiştiriciliğine en elverişli bölge Akdeniz Bölgesi olup zeytin üretiminin yayılma alanı Türkiye, Yunanistan, İtalya, İspanya, Güney Fransa, Kuzey Afrika ve Ortadoğu’ dur. Coğrafi dağılımından da anlaşılacağı üzere Akdeniz ikliminin hüküm sürdüğü ülkelerde zeytin üretimi potansiyeli oldukça fazladır (Özgürsoy, 2006). Dünya’da ve Türkiye’de zeytin üretiminin yayılışı Şekil 1.41 ve Şekil 1.42’de gösterilmiştir.

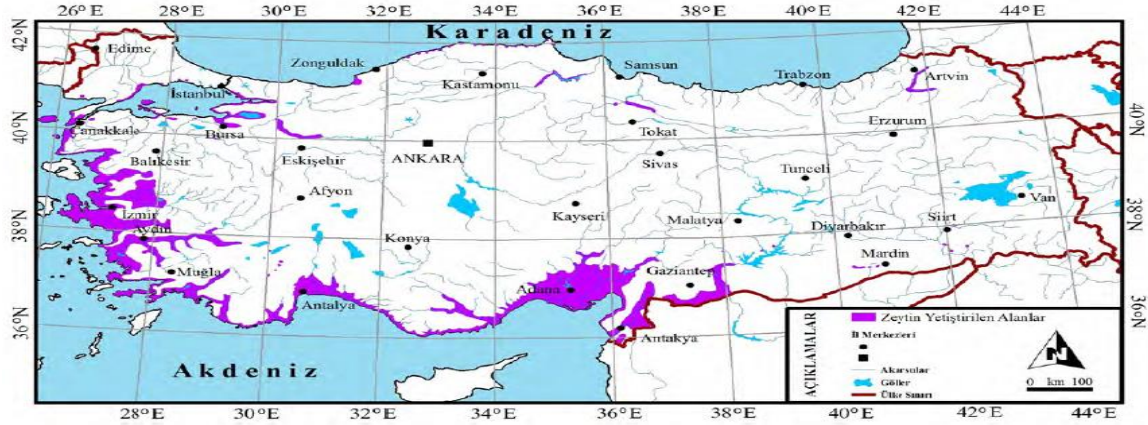


Şekil 1.41. Dünya’da Zeytin Üretiminin Yayılışı (GTB, 2014).

Dünyada 5 kıtada, yaklaşık 40 ülkede zeytin bulunur. Fakat 30 kadar ülkede ekonomik anlamda zeytin yetiştirilmektedir. Günümüzde dünyada en çok zeytin yetiştirilen arazi Tunus’tadır. İkinci sırada İspanya bulunmakta, İspanya’yı sırasıyla İtalya, Yunanistan ve Türkiye takip etmektedir. Zeytin yetiştirilen alanlar 1980 yılında 6,2 milyon hektar alan kaplarken, 2010 yılında bu değer %10,85 milyon hektara kadar çıkmıştır. 30 yıllık bu dönemde zeytinlikler %74 oranında genişlemiştir (Efe ve ark., 2013). Günümüzde dünyada en çok zeytin yetiştirilen arazi Tunus’tadır. İkinci sırada İspanya bulunmakta, İspanya’yı sırasıyla İtalya, Yunanistan ve Türkiye takip etmektedir (Efe ve ark., 2013.).

Türkiye’de 2010 yılı istatistiklerine göre 0,76 milyon hektar alanda yaklaşık 158,8 milyon adet zeytin ağacı (Ulusal Zeytin ve Zeytinyağı Konseyi, 2010) bulunur. Bunların 115,5 milyonu meyve veren, 43,8 milyonu ise henüz meyve vermeyen genç ağaçlardır. Bu ağaçlardan yıllık ortalama 1,12 milyon ton zeytin üretilmekte olup bunun ortalama 340.000 bin tonu sofralık (%30), ortalama 770.000 bin tonu yağlık (%70)’tir. Zeytinyağı üretimi

ortalama 110.000 ton olup; zeytinyağı üretimi var-yok yıllarında yaklaşık olarak 40.000 ton ile 200.000 ton arasında değişmektedir (Efe ve ark., 2013).



Şekil 1.42. Türkiye’de Zeytin Üretiminin Yayılışı (GTB, 2014).

Türkiye’de gerek iklim gerekse toprak özellikleri bakımından zeytin üretimi için en uygun coğrafyalardan biri konumundadır. Türkiye’de zeytin ağacı varlığı ve zeytin üretim miktarı dikkate alındığında ilk sırayı %80,5’lik payla Ege Bölgesi almaktadır. Ege Bölgesini, %11,8 ile Akdeniz, %6,1 ile Marmara izlemektedir (Özgürsoy, 2006). TÜİK verilerine göre, zeytin ağacı varlığımız 2000 li yılların başında 100 milyon adet iken son dönemlerdeki dikimlerin etkisi ile 2012/13 sezonunda yaklaşık 158 milyon âdete (UZK, 2010) ve 2013 yılında 167.030 bin adete yükselmiştir (Boğa, 2014). Bunların %72,7’si meyve veren, %27,3’ü ise meyve vermeyen zeytin ağacıdır (UZK, 2010). Türkiye sofralık zeytin üretiminde dünyada %21’lik paya sahipken bu oran zeytinyağı üretiminde %4,5’e düşmektedir (Efe ve ark., 2013).

Türkiye zeytin üretim alanı, toplam tarım alanlarının %2,3’ini ve bağ-bahçe alanlarının ise %22’sini oluşturmaktadır. Toplam 81 ilin %46’sında (36 il), 843 ilçenin ise %32’sinde (270 ilçe) zeytin üretimine rastlanmaktadır. Söz konusu illerde 1.098.774 ton üretim yapılmıştır. Türkiye tane zeytin üretiminin %77,6 karşılayan 7 önemli il sırasıyla Aydın (%17,7), İzmir (%13,6), Manisa (%11,3), Muğla (%11,1), Balıkesir (%10,9), Bursa (%18) ve Çanakkale (%4,5)’dir (Öztürk ve ark., 2009). Türkiye’de yaklaşık 4 milyon tarım işletmesinin %8’i yani 320.000’i zeytincilik ile uğraşmaktadır (Efe ve ark., 2013).

1.3.2.2. Zeytinyağı üretimi

Zeytinyağı, zeytin ağacının (*Olea europea sativa*) meyvesinden sağlanan, berrak, yeşilden sarıya değişen renkte, kendine özgü tat ve kokuda, tüm bitkisel yağlar arasında rafineasyona tabi tutulmaksızın yenebilen hemen hemen tek yağ özelliği gösterir. Olgun

meyveler ortalama %30 oranında yağ ihtiva eder (Nas ve ark., 2001). Zeytinyağı üretiminde kullanılan yöntemler; Kesikli (Geleneksel Presleme) Üretim Prosesi, Sürekli Üretim Prosesleri (3-Fazlı Üretim Prosesi ile 2-Fazlı Üretim Prosesi) ve Süzme Prosesi olarak sıralanmaktadır (Kılıç, 2011). Üretim sırasında üç fazlı sistemlerde yan ürün olarak pirina ve karasu oluşmaktadır. İki fazlı sistemler de ise, zeytinyağı yanında karasu pirina ile birlikte elde edilmektedir. Zeytin tanesinin yaklaşık %50 sini oluşturan meyve suyuna ilaveten üç fazlı sistemlerde (Modern- Kontinü) ılık su katılması nedeniyle işlenen 1 ton zeytinden 1,0 – 1,2 m³ karasu oluşurken, iki fazlı sistemde işlenen bir ton zeytinden %60 dolayında su içeren yaklaşık 0.8 m³ sulu pirina ve klasik (Baskılı) yağhanelerde 0.4–0.5 m³ dolayında karasuyun ortaya çıktığı genellikle kabul edilmektedir (Oruç, 2012). Zeytinden yağ eldesi için kullanılan zeytinyağı teknolojisi bir yandan başka teknolojilere hammadde sağlamakta iken bir yandan da pirina ve karasu gibi yan ürünler üretmektedir (Tunalıoğlu ve Bektaş, 2010).

1.3.2.3. Zeytinyağı üretiminde ortaya çıkan atıklar

Karasu

Zeytin meyvesinin kendi özsuğu ve yağ çıkarma işlemi esnasında ilave edilen suğun toplamından oluşmaktadır. Zeytinyağı elde ediliş yöntemine göre elde edilecek yan ürünlerin oranları değişiklik göstermektedir. Karasu yüksek miktarlarda organik (polifenol vs.) ve inorganik madde içeren, koyu renk ve zeytinyağına özgü kokusu olan sıvı bir atıktır. Ayrıca pH 3,0–5,9 olup yüksek miktarda katı madde ve yüksek tuz içeriğine de sahiptir. 1 ton zeytinden elde edilecek karasu klasik (presleme) yöntemine göre 400–500 lt, sürekli (continuous) yöntemine göre 1000-1300lt'dir ve 2 fazlı continuous yöntemine göre 800–950 kg olarak değişmektedir (Boğa, 2014).

Pirina

Zeytin posası, zeytinden yağ çıkarıldıktan sonra geriye kalan yağ, çekirdek, kabuk ve posadan oluşan bir yan üründür. Yağ çıkarıldıktan sonra geriye kalan ve “pirina” olarak adlandırılan posa farklı sektörlerde değerlendirilmektedir (Duru ve Kaya, 2015). Genellikle pirina ham, yağı alınmış, Çekirdeği kısmi olarak ayıklanmış pirina ve zeytin pulpu olarak 4 şekilde ele alınır. Ham pirina; Zeytinlerin yağının presleme ile ilk olarak ayrıldıktan sonra elde edilen üründür. Yağı alınmış pirina; Ham pirinanın solvent ekstraksiyon yöntemiyle yağı ayrılarak elde edilir. Çekirdeği kısmi olarak ayıklanmış pirina: Elekten geçirme ve ventilasyon işlemiyle zeytin posasından çekirdeklerin ayıklanması sonrası elde edilir.

Zeytin pulpu: Pirinanın çekirdek fraksiyonlarının elek yardımıyla büyük bir kısmının ayıklanmasından sonra geriye kalan kısmıdır (Keser ve Tanay, 2010). Taze ve işlenmiş zeytin posasının içerisinde bulunan yağ, çekirdek, kabuk ve pulp miktarları Çizelge 1.13'te verilmiştir.

Çizelge 1.13. Zeytin posasının bileşimi (Duru ve Kaya, 2015).

No	Özellik	Taze Zeytin Posası	İşlenmiş Zeytin Posası
1	Yağ	6,0 – 9,0	0.1 – 0,3
2	Çekirdek	42 – 54	9- 11
3	Kabuk	10 – 11	20 – 22
4	Pulp	21 – 33	10 – 15

Zeytinyağı fabrikalarında zeytinlerin sıkılmasından sonra arta kalan zeytin küspesi olan pirina, Akdeniz ülkelerinde görülen önemli bir biokütle çeşididir. Düşük maliyetle oldukça büyük miktarlarda elde edilebilmektedir. Zeytinden elde edilecek prina ile yağ miktarı her ne kadar yetiştirme tekniği, zeytin çeşidi ve yağa işleme vb. durumlara bağlı olarak değişse de, ortalama olarak 100 kg zeytinden 15–22 kg zeytinyağı ve 35–45 kg prina elde edilebilmektedir. Geleneksel hidrolik pres veya sürekli santrifüjleme işlemi uygulayan zeytinyağı fabrikalarından elde edilmesine bağlı olarak iki tip pirina çeşidi bulunmaktadır. Söz konusu iki tip prina sırasıyla %25–30 ve %45–55 nem içermeleri ile birbirinden ayrılmaktadır. Modern sürekli sistemlerden elde edilen prina klasik sistemlerden gelen prinaya oranla daha çok nem ve daha az yağ içerdiği için daha düşük ticari değer taşımaktadır (Kurtuluş, 2003; Öcal, 2005).

Çizelge 1.14. Değişik zeytinyağı işleme sistemlerinden elde edilen pirinanın kompozisyonu (Duru ve Kaya, 2015).

1	Özellik	Presli	2 Fazlı	3 Fazlı
2	Su, %	27.2	50.23	56.80
3	Yağ, %	8.72	3.86	4.65
4	Protein, %	4.77	3.43	2.87
5	Toplam şeker, %	1.38	0.99	0.83
6	Selüloz, %	24.10	17.37	14.54
7	Hemi-selüloz, %	11.00	7.92	6.63
8	Kül, %	2.36	1.70	1.42
9	Lignin, %	14.10	10.21	8.54
10	Toplam Azot, %	0.71	0.51	0.43
11	Fenolik maddeler, %	1.14	0.33	2.43

Değişik zeytinyağı işleme sistemlerinden elde edilen pirinanın kompozisyonu Çizelge 1.14'te verilmiştir. Ülkemizde zeytinyağı sanayi sonucu oluşan katı atık pirina miktarı yılda yaklaşık 200.000 ton olup, ticari olarak yeterince değerlendirilemeyen

pirinanın bir kısmı yakıt olarak kullanılırken, büyük bir çoğunluğu da alıcı ortamlara verilmekte, boş arazilere dökülmektedir. Bu durum çevre sorunu da oluşturmaktadır. Günümüzde ülkemizde, halen pirinayı değerlendiren bir sanayi kolu mevcut değildir. Bu durum ülkemizin en büyük zeytin ve zeytinyağı üreticisi olan Ege Bölgesi açısından önemli bir ekonomik kayıp ve çevresel tehdittir (Demirtepe, 2008). Ham pirinanın temel karakteristik özellikleri Çizelge 1.15'te verilmiştir. Zeytin posasının kimyasal kompozisyonu yıllara, yağ ekstraksiyon yöntemine, ekstraksiyon derecesine ve yetiştirildiği bölgelere bağlı olarak değişiklik gösterebilmektedir (Duru ve Kaya, 2015).

Türkiye'de yıllara göre değişmekle birlikte üretilen zeytinyağının 1/9'u kadar pirina yağı üretilmektedir. Türkiye'de üretilen pirina yağının kalitesi düşüktür. Bu nedenle de üretilen endüstriyel pirina yağı daha çok sabun yapımında, bir kısmı da diğer sanayi dallarında kullanılmaktadır (Efe ve ark., 2013.).

Pirina, gübre, yakıt, büyükbaş hayvanlar için yem olarak, hatta bitümlerle karıştırıldığında yol yapımında katkı malzemesi olarak kullanılabilmekte olup, sahip olduğu enerji içeriği nedeniyle en yaygın kullanım alanı yakıt amaçlı kullanımıdır. İspanya ve İtalya gibi Akdeniz ülkeleri ile Türkiye'de oldukça büyük bir sektör olan zeytinyağı üretiminde senelerce atık madde olarak çevre kirliliği yaratmış olan pirinanın yakacak olarak endüstride değerlendirilmesine yönelik de çalışmalar yapılmaktadır (Başkan, 2010).

Çizelge 1.15. Ham pirina temel karakteristik özellikleri (Akın, 2010).

Parametreler	Miktar Aralığı	Parametreler	Miktar Aralığı
Nem (%)	55.6–74,5	Fosfor (gKg ⁻¹)	0.7–2,2
pH (suda)	4.86–6.45	Potasyum (gKg ⁻¹)	7.7–29,7
Elektriksel iletkenlik (dSm ⁻¹)	0.88–4.76	Kalsiyum (gKg ⁻¹)	1.7–9,2
Organik madde (gKg ⁻¹)	848.9–976,0	Magnezyum (gKg ⁻¹)	0.7–3,8
Lignin (gKg ⁻¹)	323.0–556,5	Sodyum (gKg ⁻¹)	0.5–1,6
Selüloz (gKg ⁻¹)	140.2–249,0	Demir (gKg ⁻¹)	78–1462
Hemiselüloz (gKg ⁻¹)	273.0–415,8	Bakır (gKg ⁻¹)	12–29
Toplam organik karbon (gKg ⁻¹)	495.0–539,2	Mangan (gKg ⁻¹)	5–39
Toplam Azot (gKg ⁻¹)	7.0–18,4	Çinko (gKg ⁻¹)	10–37
C/N oranı	28.2–72,9	Fosfor (gKg ⁻¹)	0.7–2,2
Toplam yağ (gKg ⁻¹)	77.5–194,6	Suda çözülebilir fenoller	6.2–23,9
Suda çözülebilir	12.9–164,0		

Pres, iki faz ve üç fazlı sistemlerden çıkan yağ, pirina ve atık su miktarları Çizelge 1.16'da verilmiştir.

Çizelge 1.16. 1000 kg zeytin başına oluşan yağ, prina ve atık (kg) miktarları (Köseoğlu ve Ergönül, 2011).

1	Ürün	Pres	3 Faz	2 Faz
2	Zeytinyağı	214	212	200
3	Atıksu	920	1670	-
4	Prina	323	462	800

Prinanın yakıt olarak kullanımında bazı avantaj ile dezavantajlar bulunduğu görülmektedir. Üretilen birim enerji başına düşen yakıt maliyetinin birincil yakıtlara göre düşük olması, depolamadan kaynaklanan bir sorun olmaması nedeniyle birkaç sene önceki prinanın dahi kullanılabilmesi, kül içeriğinin (yaklaşık %1,5) düşük olması, atığın tamamen değerlendirilmesi sonucu zeytinyağı üretimi esnasında çıkan depolanacak atık miktarı ve depolama alanı ihtiyacının azalması, yanma sonucu oluşan emisyonların fosil yakıtlara göre daha az olması ve çevrenin korunmasına katkıda bulunulması dikkat çeken avantajlardır. Ancak üretimin yapıldığı yerlerde kullanılması gerekliliği, farklı bir yerde kullanılma durumunda nakliye masraflarının enerji üretim maliyetine olan olumsuz etkisi, zeytin hasadının mevsimlik olması (Kasım-Mart ayları arasında) sebebiyle üretiminin sürekli olmaması ve yıllık rekoltenin (zeytin meyvesinin yaklaşık 1/3'üne karşılık gelen) “**var**” ve “**yok**” yılına bağlı olarak düzensiz seyretmesi prinanın yakıt olarak kullanımındaki dezavantajlar olarak görülmektedir (Başkan, 2010).

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Orman ürünleri ve plastik endüstrisini bir araya getiren odun plastik kompozitler, diğer orman endüstri ürünlerine göre piyasaya sunulmuş ve gelişme aşamasında olan en yeni üründür. Bu konuyla ilgili olarak yapılmış birçok araştırma vardır. Ancak, hibrid dolgu takviyeli kompozitlerin, yüksek performanslı malzemeler olarak kabul edilmesine rağmen zeytin pirinası, odun lifleri ve mineral dolgu maddeleri ile birlikte yapılan araştırmalar sınırlı sayıdadır. Odun plastik kompozitlerle ilgili gerek dünyada gerekse ülkemizde yapılan çalışmalar ve bu çalışmalara ait fiziksel, mekanik, teknolojik ve diğer özellikler ile sonuçlar aşağıda verilmiştir.

Johnson ve arkadaşları tarafından 1997 yılında yapılan “Plastik Kompozitlerde Güçlendirici Dolgu Maddesi Olarak Buğday Sapının Kullanılması” isimli çalışmada, plastik kompozitlerde güçlendirici dolgu maddesi olarak buğday sapını kullanılmışlardır. Polipropilen ve polietilen içerisine %30’dan %50’ye kadar buğday sapı katılmıştır. Saf polipropilen ile buğday sapı-polipropilen kompozitleri kıyaslandığında, kompozitlerin çekme direnci %3’ten %16’ya, eğilme direnci %13’ten %48’e kadar artış göstermiştir. %30 buğday sapı kompozitlerinin hepsi, saf polipropilen ile kıyaslandığında, çekmede elastikiyet modülü değerlerinin iki kat daha yüksek olduğu ve buğday sapı kompozitlerinin ortalama çekmede elastikiyet modülü değerleri 3,3 GPa, polipropilenin ise 1,7 GPa olarak tespit edilmiştir. Ayrıca buğday sapı kompozitleri polipropilen ile kıyaslandığında, ortalama elastikiyet modülü değerlerinin 2,5 kat daha büyük olduğu tespit edilmiştir (Johnson ve ark., 1997).

Ichazo ve arkadaşları tarafından 2001 yılında yapılan “Polipropilen/Odun Unu Kompozitlerin Emprenye ve Özellikleri” isimli çalışmada; polipropilen ve odun unu maleik anhidritle kraftlanmış polipropilen ile üretilen deney numunelerinin erime akış indeksine; mekanik, morfolojik ve termal özelliklerine dolgu maddesinin modifikasyonunun etkisi araştırılmıştır. Bu çalışmada dolgu maddesi, sodyum hidroksitle farklı sürelerle işlem görerek modifiye edilmiştir. Deney sonuçlarına göre, modifiye edilmiş deney numunelerinin eğilme ve çekme dirençlerinde artış görülmesine rağmen erime akış indeksinde bir değişiklik olmadığı tespit edilmiştir. Morfolojik özellikler incelendiğinde MAPP ve sodyum hidroksit polipropilen içerisinde odun ununun iyi dağıldığı ve yapışmalarının daha iyi olduğu saptanmış ve dolgu maddesini modifiye

etmenin odun plastik kompozitlerin kristalleşme sıcaklığında artışa neden olduğu tespit edilmiştir (Ichazo ve ark., 2001).

Mengeloğlu ve arkadaşları tarafından 2002 yılında yapılan “Plastik Endüstrisinde Buğday Sapı Ununun Kullanılabilirliği” isimli çalışmada, buğday sapı unu termoplastik polimerle ve uyumsuzluk giderici materyallerle birlikte kompozit üretiminde kullanılmıştır. Üretilen deney numunelerinin içerisine farklı oranlarda dolgu maddesi katılmış ve %50 buğday sapı + %50 polipropilen (PP) ile elde edilen kompozitlerin şok direnci hariç, eğilme ve çekme dirençlerinin %100 PP ve %50 odun unu + %50 PP karışımı ile elde edilen materyallere göre daha yüksek olduğu tespit edilmiştir (Mengeloğlu ve ark., 2002).

Ibach ve arkadaşları tarafından 2003 yılında yapılan bir çalışmada farklı odun ve plastik katılım oranlarında titreşim kavak odun unu ile polipropilen; mantar türü olarak da *G. trabeum* ve *C. versicolor* kullanılarak odun plastik kompozit üretilmiştir. Üretilen odun plastik kompozit deney numuneleri üzerinde ıslatma ve kurutma şeklinde bir işlem ile deney numunelerini 10 kez hem oda sıcaklığında suda bekletip ardından kurutmuşlar hem de 2 ay kaynayan su içerisinde bekletip ardından yine kurutmuşlardır. Her iki döngünün de etkisini araştırmışlardır. Deney sonuçlarına göre, odun unu katılım oranı arttıkça deney numunelerinde oluşan ağırlık kayıpları ve kalınlığına şişme miktarlarının da yükseldiği, uygulanan döngü sebebiyle de mantar gelişiminin arttığını tespit etmişlerdir (Ibach ve ark., 2003).

Stark ve Rowlands tarafından 2003 yılında yapılan “Odun Lifi Özelliklerinin, Odun Polipropilen Kompozitlerin Mekanik Özellikleri Üzerine Etkisi” isimli çalışmada, farklı boyutlardaki odun unları (35, 70, 120 ve 235 mesh) polipropilen içerisine ağırlıkça %40 oranında katılarak ve bağlayıcı ajan olarak maleatlanmış polipropilen kullanılarak deney numuneleri üretilmiştir. Deney sonuçlarına göre, kullanılan odun ununun narinlik oranı arttıkça çekme ve eğilme direncinde artışlar görülmüştür. Deney numunelerinin çentiksiz darbe direnci, odun unu boyutları arttıkça azalmış; buna karşın, çentikli darbe direncinde ise odun unu boyutları arttıkça direncinde arttığı tespit edilmiştir. Maleatlanmış polipropilenin, odun unu kompozit içerisinde odun unu oranı arttıkça direnç özelliklerinin artmasını sağladığı tespit edilmiştir. Uyum sağlayıcı ajanın, çekme ve eğilme modülünü çok önemli bir ölçüde etkilemediği belirlenmiştir. Bu çalışmanın sonucunda, yüksek narinlik oranına sahip odun ununun, uyum sağlayıcı ajanla birlikte kompozit yapı

içerisinde kullanımının mekanik özellikleri etkilediğini belirtmişlerdir (Stark ve Rowlands, 2003).

Yang ve arkadaşları tarafından 2004 yılında yapılan “Pirinç Kabuğu Unu Dolgu Maddeli Polipropilen Kompozitlerin Mekanik ve Morfolojik Özellikleri” isimli çalışmada, termoplastik polimerin içerisine dolgu maddesi olarak pirinç kabuğu unu katılarak üretilen odun plastik kompozitlerin fiziksel, mekanik ve morfolojik özellikleri tespit edilmiştir. Bu çalışmada, polipropilen içerisine pirinç kabuğu unu 10, 20, 30 ve %40 oranında katılmıştır. Çekme testinde, test sıcaklığı (-30, 0, 20, 50, 80 ve 110 °C) ve çekme hızı (2, 10, 100, 500 ve 1500 mm/dk), beş aşamalı ve altı kademeli olarak ayarlanmıştır. Deney sonuçlarına göre, dolgu maddesi oranı arttıkça çekme değerlerinde belirgin bir düşüş; eğilme direncinde ise artış olduğunu tespit etmişlerdir. Aynı zamanda çentikli ve çentiksiz İzod darbe direncinde, dolgu maddesi arttıkça düşme olduğunu belirlemişlerdir. Üretilen deney numunelerinin yüksek çekme hızında daha kırılkan olduğunu ve sıcaklık arttıkça plastik deformasyonun arttığını belirlemişlerdir (Yang ve ark., 2004).

Sain ve arkadaşları tarafından 2004 yılında yapılan “Doğal Lif Dolgulu Polipropilen Kompozitlerin Magnezyum Hidroksit İle Yanmasının Geciktirilmesi” isimli çalışmada, polipropilen içerisine dolgu maddesi olarak testere talaşı ve pirinç kabuğu unları kullanılmıştır. Odun plastik kompozitler için yanma geciktirici olarak magnezyum hidroksitin, borik asit ve çinko boratla değişik kombinizasyonlarını kullanmışlardır. Üretilen deney numunelerin, yatay doğrusal yanma hızı ve limit oksijen indekslerini incelenmişlerdir. Magnezyum hidroksitin, odun plastik kompozitlerin doğrusal yanma hızını yaklaşık %50 oranında azalttığını; bununla birlikte, magnezyum hidroksitin borik asit veya çinko borat gibi alev geciktiricilerle birlikte kullanılmasının sinerji oluşturarak yanmayı azaltmadığını tespit etmişlerdir (Sain ve ark., 2004).

Biltekin tarafından 2005 yılında yapılan, “PE ve PP Polimerlerine Ahşap Tozu İlavesiyle Oluşturulan Karışımların Mekanik, Termal ve Morfolojik Özelliklerinin İncelenmesi” isimli yüksek lisans tezinde, matris olarak iki çeşit plastik (PE ve PP) kullanılmıştır. Yapılan deney sonuçlarına göre; PE ile odun unu oranının artmasıyla elastikiyet modülü ve shore D sertlik değerlerinin arttığı, buna karşılık izod darbe direnci ve % uzama değerlerinin düştüğü görülmüştür. Matris olarak PP kullanıldığında da elastikiyet modülü ve shore D sertlik değerleri yükselmiştir. Buna karşılık izod darbe direnci, % uzama ve çekme mukavemeti değerleri odun unu oranının artmasıyla düşmüştür. PE/ odun unu ve PP/ odun unu karışımlarının erime akış indeksi değerleri

incelediğinde, odun unu oranının artmasıyla karışımların MFI değerlerinin azaldığı görülmüştür. PE/odun unu karışımlarının yük altında deformasyon sıcaklığı (HDT) değerleri incelendiğinde, odun unu oranının artmasıyla, değerlerde artış tespit edilmiştir. Mikro yapı fotoğraflarının incelenmesi sonucu hem polietilen hem de polipropilene katılan odun ununun, matris polimerine çok iyi tutunduğu görülmüştür (Biltekin, 2005).

Panthapulakkal ve arkadaşları tarafından 2005 yılında yapılan “Enjeksiyon Yöntemi ile Buğday Sapı Lifleri Kullanılarak Üretilen Termoplastik Kompozitlerin Karakterizasyonu” isimli çalışmada, kimyasal ve mekanik olarak hazırlanan buğday sapı liflerinin termoplastik malzeme içerisinde göstermiş olduğu özellikler incelemiştir. Bu çalışmada, buğday sapı lifleri yüzey morfolojisine, fiziksel, mekanik ve termal özelliklerine göre incelenmiştir. Kimyasal işlemlerle hazırlanan buğday sapı liflerinin, yüzey düzensizliklerini giderdiği ve daha iyi mekanik özelliklere sahip olduğu; buna karşın, mekanik işlemlerle hazırlanan buğday sapı liflerinin, kimyasal işlemlerle hazırlanan buğday sapı liflerine göre daha iyi direnç özellikleri gösterdiği tespit edilmiştir (Panthapulakkal ve ark., 2005).

Bledzki ve arkadaşları 2005 yılında yaptıkları bir çalışmada sert ve yumuşak odunlardan elde edilen odun plastik kompozitlerin özelliklerini araştırmışlardır. Polimer matrisi (polipropilen) ve odun unu arasındaki uyumsuzluğu gidermek amacıyla MAPP kullanmışlardır. MAPP kullanımının, odun lifinin hidrofobik özelliğini önemli bir şekilde artırdığını ve mekanik özelliklerini geliştirdiğini belirtmişlerdir. Ekstruderde birleştirilen kompozitlerin absorbe edilen su değerlerinin en az olduğunu, mekanik dirençlerin en iyi değerleri verdiğini ve MAPP kullanımının çekme ve eğilme dirençlerini önemli bir şekilde artırırken, çekme ve eğilmede elastikiyet modülünde ise etkili olmadığını tespit etmişlerdir (Bledzki ve ark., 2005).

Kim ve arkadaşları tarafından 2006 yılında yapılan “Odun Plastik Kompozit Üretiminde Bağlayıcı Ajan Olarak Etilen Vinil Alkol Kullanılması” isimli çalışmalarında çam ağacı testere tozu (pinus radiata) ile alçak yoğunluklu polietilen kullanılmıştır. Üretilen deney numunelerinin mekanik özelliklerini incelemiştir. Bağlayıcı ajan olarak, etilen vinil alkol kullanılmış ve kullanılmamış deney numuneleri üzerinde yapılan deney sonuçlarına göre etilen vinil alkol kullanılmış deney numunelerinin, kullanılmayanlara göre daha iyi mekanik sonuçlara sahip olduğunu belirlemişlerdir (Kim ve ark., 2006).

Weschler ve Hızıroğlu tarafından 2006 yılında yapılan “Odun Plastik Kompozitlerin Bazı Özellikleri” isimli çalışmada, polipropilen (PP), çam ağacı ve uyum sağlayıcı ajan kullanılarak deney numuneleri üretilmiştir. Deney sonuçlarına göre, bağlayıcı ajan olarak kullanılan maddenin farklı oranlarda katılmasının, bağlayıcı ajan kullanılmayan deney numunelerine göre daha iyi sonuçlar verdiği tespit edilmiştir (Weschler ve Hızıroğlu, 2006).

Dobrev ve arkadaşları tarafından 2006 yılında yapılan “Polipropilen Odun Unu Kompozitlerin Morfolojik ve Mekanik Özellikleri” isimli çalışmada, polipropilen ve monokloroasetik asit ile modifiye edilmiş odun unu kullanılarak deney numunelerinin mikro yapısı ve mekanik özellikleri incelenmiştir. Deney numunelerinin mekanik özelliklerini belirlemek için çekme, eğilme ve darbe direnci özellikleri ile taramalı elektron mikroskopisi ve geniş açılı X-ışın yöntemleri kullanılmıştır. Monokloroasetik asit ile 0,01 ila 1 mol kadar modifiye edilmiş odun unu polimer içerisine ağırlıkça %10, 20 ve 30 oranında eklenmiştir. Deney sonuçlarına göre, odun ununun monokloroasetik asit ile modifiye edilerek polimer içerisinde kullanılmasının daha homojen bir dağılım sağladığı ve polipropilen kristalleşme derecesini azalttığı belirlenmiştir. Odun ununun monokloroasetik asit ile modifiye edilmesinin kompozitin fiziksel, mekanik özelliklerine olumlu etki yaptığı tespit edilmiştir (Dobrev ve ark., 2006).

Karakuş ve Mengeloğlu tarafından 2008 yılında yapılan “Odun Plastik Kompozitlerin Üretiminde Tarımsal Atıkların Değerlendirilmesi” isimli çalışmada, orman endüstrisi veya lignoselülozik esaslı atıklar kullanılarak üretilen odun plastik kompozitlerin mekanik ve morfolojik özellikleri belirlenmiştir. Dolgu maddesi olarak okaliptus odun unu, pamuk karpeli ve buğday sapları ile termoplastik malzeme olarak, geri dönüşüm yüksek yoğunluklu polietilen (YYPE) %70 ve %30 oranlarında karıştırılarak kullanılmıştır. Kompozit örneklerinin üretimi ekstrüzyon ve pres kalıplama yöntemleri kullanılarak gerçekleştirilmiş; üretilen kompozit deney numunelerinin çekme ve eğilme direnci, elastikiyet modülü ve darbe direnci değerleri ASTM standartlarına göre ve elektron mikroskobu yardımıyla morfolojik özellikleri belirlenmişlerdir. Deney sonuçlarına göre okaliptüs odunu, pamuk karpeli, buğday sapı unları ve YYPE kullanılarak üretilen polimer-kompozitlerin ASTM D 6662’ye göre daha yüksek eğilme direnci ve eğilmede elastikiyet modüllerine sahip olduğunu ve bu dolgu maddelerinin plastik kereste kullanım alanlarında değerlendirilebileceğini belirlemişlerdir (Karakuş ve Mengeloğlu, 2008).

Yuan ve arkadaşları tarafından 2008 yılında yapılan bir çalışmada, odun unu polietilen ve polipropilen ile karıştırılarak deney numuneleri üretilmiştir. Pellet üretimi için çift vida ekstruder kullanılmıştır. Deney sonuçlarına göre, polietilen ve polipropilen matris içerisinde odun unu kullanılmasının, şok direncini %60'tan daha fazla ve elastikiyet modülünü 4,4 katı kadar artırdığı tespit edilmiştir (Yuan ve ark., 2008).

Mengeloğlu ve Karakuş tarafından 2008 yılında yapılan “Geri Dönüşüm Yüksek Yoğunluklu Polietilen ve Atık Lignoselülozik Malzemelerden Yapılmış Polimer Kompozitler” isimli çalışmada, dolgu malzemesi olarak marangozhane atığı ve buğday sapı ile polimer matris olarak geri dönüşüm yüksek yoğunluklu polietilen su boruları kullanılmıştır. Plastik ve selülozik materyal arasındaki yapışmayı iyileştirmek için formülasyona maleik anhidritle muamele edilmiş polietilen (MAPE) eklenerek deney numuneleri üretilmiştir. Termogravimetrik Analiz (TGA), Diferansiyel Taramalı Kalorimetre (DSC) ve Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) kullanılarak malzemelerin termal davranışları, morfolojik özellikleri ve mekanik özellikleri (çekme, eğilme ve darbe direnci) incelenmiştir. Maleik anhidritle muamele edilmiş polietilen (MAPE) uyum sağlayıcı ajanın eklenmesi daha düşük izod darbe direnci ve kopmada uzama değerleri verirken; çekme direnci ve çekmede elastikiyet modülünün daha yüksek sonuçlar verdiği görülmüştür. Üretilen polimer kompozitlerin poliolefin esaslı kompozitlerde istenen mekanik özellikleri sağladığı tespit edilmiştir (Mengeloğlu ve Karakuş, 2008).

Mengeloğlu ve Kabakçı tarafından 2008 yılında yapılan “Dolgu Maddesi Olarak Okaliptus Odunu Atıkları Kullanılan Yüksek Yoğunluklu Polietilen Kompozitlerin Termal Özellikleri ve Morfolojisi” isimli çalışmada, okaliptus odun unu yüksek yoğunluklu polietilen içerisine dolgu maddesi olarak kullanılmıştır. Deney numuneleri, tek vidalı ekstruder kullanılarak üretilmiştir. Üretilen levhalar içerisine %4 oranında Maleik Anhidritle Kraftlanmış Polietilen (MAPE) eklenmiş ve bağlayıcı ajan kullanımının üretilen deney numunelerinin özellikleri üzerine etkileri incelemiştir. Deney sonuçlarına göre; kompozit içerisinde MAPE kullanımının kopmada uzama miktarında çok az bir artışa neden olduğu, ciddi bir etki yapmadığı belirlenmiştir.

Chaharmahali ve arkadaşları tarafından 2008 yılında yapılan “Lif Levha ve Yonga Levha Atıkları ile Üretilmiş Odun Plastik Kompozit Panellerin Mekanik Özellikleri” isimli çalışmada, lif levha ve yonga levha atıkları, polimer matris içerisinde %60, 70 ve 80 oranında dolgu maddesi olarak yüksek yoğunluklu polietilen içerisinde kullanılmıştır. Deney numuneleri, 1g/cm³ yoğunlukta ve 35×35×1 cm boyutlarında üretilmiştir. Üretilen

deney numunelerinin çekme, darbe ve eğilme direnci gibi mekanik özellikleri ile çivi ve vida tutma dirençleri belirlenmiştir. Deney sonuçları, üretilen deney numunelerinin içerisindeki odun unu miktarının, mekanik özellikleri etkilediğini ortaya koymuştur. En iyi eğilme direnci sonucunun %70 odun ilaveli panellerde bulunduğu; çekme, darbe direnci, çivi ve vida tutma direncinin ise odun unun artması ile birlikte arttığı tespit edilmiştir. Üretilen panellerin mekanik özellikleri, lif levha özellikleri ile karşılaştırılmış üretilen panellerin daha iyi sonuç elde edilmiştir. En iyi sonuçlar ise vida tutma direncinde gözlenmiştir (Chaharmahali ve ark., 2008).

Karakuş tarafından 2008 yılında yapılan yüksek lisans tezinde, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Yerleşkelerinden toplanan atık yüksek yoğunluklu polietilen (YYPE) su boruları ve polipropilen (PP) meşrubat bardakları, polimer hammaddesi olarak kullanılmıştır. Lignoselülozik dolgu maddesi olarak tarımsal atıklardan pamuk karpeli, buğday sapları ve okaliptüs talaşları kullanılmıştır. Bu çalışmada, lignoselülozik dolgu maddesi tipinin, polimer tipinin ve uyumsuzluk giderici kimyasal tipinin üretilen polimer kompozitlerin termal, mekanik ve morfolojik özellikleri üzerine etkisi araştırılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre, polimer kompozitlerin üretilmesi esnasında ekstruder sıcaklığının YYPE esaslı kompozitler için 129–210°C ve PP esaslı kompozitler için ise 163–210°C aralığında olması gerektiği tespit edilmiştir. Üretilen polimer-kompozitlerin eğilme ve eğilmede elastikiyet modülü değerleri, ASTM D 6662’de istenen değerlerin üzerinde bulunmuştur. YYPE ve PP kullanılarak üretilen polimer kompozitler, benzer mekanik özelliklere sahip bulunmuştur. Kullanılan uyumsuzluk gidericilerin polimer kompozitlerin eğilme ve çekme direnci değerleri üzerinde olumlu bir etki yaptığı; ayrıca, PP ve YYPE esaslı polimer-kompozitlerde maleik anhidrit ile muamele edilmiş polipropilenin (MAPP) daha iyi sonuç verdiği saptanmıştır. Morfolojik özelliklerin belirlenmesi amacıyla yapılan taramalı elektron mikroskobu (SEM) çalışması ise uyumsuzluk gidericilerin su sevmeyen özellikteki polimer ile suyu seven yapıdaki lignoselülozik dolgu maddesi arasındaki adhezyonu artırdığını tespit etmiştir (Karakuş, 2008).

Adhikary ve arkadaşları tarafından 2008 yılında yapılan “Geri Dönüşüm ve İlk Kullanım Yüksek Yoğunluklu Polietilen Odun Plastik Kompozitlerin Mekanik Özellikleri ve Boyutsal Sabitliği” isimli çalışmada, çam ağacı (*Pinus radiata*) odun unu, geri dönüşüm ve ilk kullanım yüksek yoğunluklu polietilen içerisinde dolgu maddesi olarak kullanılmış ve deney numuneleri üretilmiştir. Üretilen deney numunelerin içerisine bağlayıcı ajan olarak maleik anhidritle kraftlanmış polipropilen eklenmiştir. Deney sonuçlarına göre, geri

dönüşümden elde edilen polietilenle üretilen odun plastik kompozitlerin boyutsal sabitliği, ilk kullanılan polietilene göre daha yüksektir. Kompozit yapı içerisine %3–5 oranında maleik anhidritle kraftlanmış polipropilen katılmasının hem boyutsal sabitlik hem de mekanik özelliklerde artış meydana getirdiği tespit edilmiştir. Boyutsal sabitlik ve direnç özelliklerinin, polimer oranı ve bağlayıcı oranı arttıkça yükseldiği saptanmıştır (Adhikary ve ark., 2008).

Fabiyi ve arkadaşları tarafından 2008 yılında yapılan “Odun Plastik Kompozitlerin Yaşlandırılması: Görsel Görünüm ve Kimyasal Yapıda Değişme” isimli çalışmada; yüksek yoğunluklu polietilen, polipropilen, talk, MAPP, vaks, çam odunu unu(60-mesh), çinko streat ve etilen bisteramid kullanılarak kompozitler üretilmiştir. Polietilenden yapılan kompozitlerde HDPE (%31), odun unu (%58), talk (%8), çinko streat (%2) ve vaks (%1) oranında kullanılırken; polipropilen kompozitlerde PP (%33,8), odun unu (%58,9), talk (%4) ve yağlayıcı MAPP (%2,3) ve yağlayıcı (%1) oranında karıştırılarak ikiz vidalı ekstruderden geçirilmiş ve profil şeklinde deney numuneleri üretilmiştir. Üretilen deney numunelerinin; renk, kalorimetri, SEM, FTIR, kızılötesi spektrokopi, gaz kromatropisi ve kütle spektrometresi denemeleri yapılmıştır. Deney sonuçlarına göre, kimyasal değişim ve renk değişimi meydana gelmiş ve bu değişim, odunun yapısında bulunan ligninin bozunmasına bağlanmıştır. En fazla renk değişiminin yüksek yoğunluklu polietilen deney numunelerinde meydana geldiği tespit edilmiştir (Fabiyi ve ark., 2008).

Semeralul tarafından 2009 yılında yapılan “Daha İyi Kalitede Odun Plastik Kompozitler Üretimi İçin İleri Teknoloji” isimli yüksek lisans tezinde, bağlayıcı ajan %4, cam lifleri %2,5, yüksek yoğunluklu polietilen %70, yağlayıcı madde %3 ve çam odun unu %20 oranlarında ağırlıkça hesaplanarak karıştırılmıştır. Elde edilen karışım, farklı devir sayısı ve sıcaklıkta ekstruderden geçirilerek pellet üretilmiştir. Elde edilen pelletlerden enjeksiyon yöntemi ile deney numuneleri üretilmiştir. Üretilen deney numunelerinden alınan sonuçlara göre, kompozit yapı içerisine %2,5 oranında cam lifi katılmasının, mekanik özellikleri iyileştirdiği; ancak cam yünü katılım oranının %2,5 üstünde olmasının farklı bir etki yapmadığı, bağlayıcı ajan katılım oranının %3 ten %5’e çıkarılmasının ise çekme direnci özelliklerini etkilemediği tespit edilmiştir (Semeralul, 2009).

Kuo ve arkadaşları tarafından 2009 yılında yapılan “Enjeksiyon Yöntemi ile Üretilen Odun Plastik Kompozitlerin Mekanik Özellikleri Üzerine Malzeme Kompozisyonunun Etkisi” isimli çalışmada 60, 80 ve 120 mesh ölçülerinde, üç tür odun unu (ladın, çam ve köknar) kullanılmıştır. Polimer matris (geri dönüşümlü polipropilen,

ABS, düşük yoğunluklu polietilen ve polipropilen) içerisindeki bu odun unu, maleik anhidritle kraftlanmış polipropilen (MAPP), çinko streat 47:47:3:3 oranlarında karıştırılarak pellet haline getirilmiş ve deney numuneleri enjeksiyon makinesinde üretilmiştir. Deney numuneleri üzerinde eğilme direnci ve eğilmede elastikiyet modülü, çekme direnci ve çekmede elastikiyet, çentikli şok direnci gibi mekanik denemeler yapılmıştır. Deney sonuçlarına göre, eğilme direnci ve eğilmede elastikiyet modülleri düşük yoğunluklu polietilen ve polipropilende yüksek bulunmuştur. Aynı zamanda, geri dönüşüm polipropilende eğilme direncinin arttığı ve çekme direncinin azaldığı tespit edilmiştir. En yüksek deney sonuçları %47 odun unu ve %3-4.5 MAPP katılan polipropilen deney numunelerinde tespit edilmiştir (Kuo ve ark., 2009).

Demircan tarafından 2009 yılında yapılan “Fındikkabuğu Dolgulu Polietilen Kompozitlerin Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi” isimli yüksek lisans tezinde; polietilen (PE) matrise, ekstrüzyon yoluyla üç farklı boyutta ve ağırlıkça %5, 10, 15, 20, 25 oranlarında fındikkabuğu ilave edilerek karıştırılmıştır. Bu karışımdan, enjeksiyon yöntemiyle deney numuneleri hazırlanarak deney numuneleri üzerinde çekme, izod darbe, sertlik, yoğunluk, eriyik akış indeksi, ısı altında deformasyon ve üç noktadan eğme testleri yapılmıştır. Deney sonuçlarına göre; fındikkabuğu oranının artması ile elastikiyet modülü, sertlik, yoğunluk ve ısı altında deformasyon değerlerinin artmasına rağmen; akma mukavemeti, akma uzaması, kopma uzaması, izod darbe, erime akış indeksi değerlerinin azaldığı görülmüştür. Fındikkabuğu tane boyutunun artması ile akış, yoğunluk, izod darbe ve ısı altında deformasyon değerlerinin arttığı; buna karşın elastikiyet modülü, sertlik, çekme mukavemeti, kopma uzaması, izod darbe ve akış değerlerinin azaldığı tespit edilmiştir (Demircan, 2009).

Rocha ve arkadaşları tarafından 2009 yılında odun plastik kompozit üretiminde polivinil klorür (PVC) ve odun unu kullanmıştır. Bu çalışmada odun unu olarak bubinga ve ceviz ağacı odun unu; ayrıca stabilizör, waks, sodyum stearat ve polivinil klorür kullanmıştır. Yapılan çalışma sonuçlarına göre, kompozit içerisinde odun unu bulunmasının polivinil klorürün bozunma sıcaklığını ve termal özelliklerini arttırdığı, odun unu miktarının azalmasıyla da malzemeyi daha kırılğan yaptığı belirlenmiştir. Aynı şekilde, ceviz odunu unu ile üretilen kompozitlerin direnç özelliklerinin bubinga ile üretilen kompozitlerden daha yüksek olduğu tespit edilmiştir (Rocha ve ark., 2009).

Kabakçı tarafından 2009 yılında yapılan “Buğday Sapı Oranının ve Plastik Tipinin Odun Plastik Kompozitlerin Mekanik Özelliklerine” etkisi isimli yüksek lisans tezinde,

poliolefinler olarak adlandırılan yüksek ve alçak yoğunluklu polietilen ve polipropilen kullanılarak odun plastik kompozit üretilmiştir. Lignoselülozik dolgu maddesi olarak buğday sapları kullanılmıştır. OPK üretimi esnasında, hidrofobik yapıdaki plastik ile hidrofilik buğday sapları arasındaki bağlanmayı sağlamak amacıyla maleik anhidrit ile muamele edilmiş polietilen (MAPE) ve polipropilen (MAPP); üretimi kolaylaştırmak amacıyla çinko setarate ve vaks kullanılmıştır. Buğday sapı oranının ve plastik tipinin odun-plastik kompozitlerin mekanik özelliklerine etkisinin incelendiği çalışmanın sonucunda, buğday sapı oranının artması ile üretilen OPK'lerin çekme, kopmada uzama miktarı ve darbe direnci değerlerinin azaldığı bulunmuştur. YYPE ve PP kompozitlerin eğilme direncinin azaldığı, ancak AYPE kompozitlerinde ise bir miktar arttığı tespit edilmiştir. Buğday sapı unu oranındaki artışa paralel olarak hem çekmede hem de eğilmede elastikiyet modülü değerlerinde artış gözlemlenmiştir. Kullanılan plastik tipleri yeterli mekanik özellikler gösterse de YYPE ve PP kullanılarak üretilen OPK'ler daha iyi sonuçlar vermiştir. Sonuç olarak buğday sapı unlarının poliolefinler (YYPE, AYPE ve PP) için potansiyel bir dolgu maddesi olabileceği gösterilmiştir (Kabakçı, 2009).

Kodal tarafından 2009 yılında yapılan “Polipropilen ve Dolgu Maddeleri ile Hazırlanan Karışımların Fiziksel ve Kimyasal Özelliklerinin İncelenmesi” isimli yüksek lisans tezinde; polipropilen içerisine dolgu maddesi olarak %10-40 oranlarında talk, kaolin, kalsit, barit; %1 ile %6 arasında değişen oranlarda ve farklı iki tanecik boyutunda zeolit eklenmiştir. Zeolitin polipropilen ile olan uyumluluğunu geliştirmek ve kompozitlerin mekanik özelliklerini iyileştirmek için, iki farklı türde ve üç farklı oranda (%1-2-3) silan bağlayıcı ajanlarla (γ -aminopropiltrietoksisilan ve γ -glisidoksipropiltrimetoksisilan) yüzey işlemine tabi tutulmuştur. Dolgu maddeleri ile polipropilen, çift vidalı bir ekstrüder ile pellet haline getirilmiş ve deney numuneleri enjeksiyon presi ile kalıplanmıştır. Elde edilen deney numuneleri darbe, çekme ve yaşlanma testi gibi mekanik testler; sertlik, yoğunluk ve eriyik akış indeksi gibi fiziksel testlerle incelenmiştir. Deney sonuçlarına göre, beş katkı maddesinin de polipropilene eklenmesi ile sertlik, yoğunluk ve erime akış indeksi değerlerinin yükseldiği tespit edilmiştir. Elde edilen kompozit malzemelerin mekanik özellikleri polipropilenin saf hali ile kıyaslandığında kompozit malzemenin mekanik özelliklerinin düşük olduğu gözlemlenmiştir. Özellikle düşük kütsel yüzdelerde kalsit kullanılması durumunda, darbe dayanımı değerlerinin polipropilenin saf haliyle benzer özellikler gösterdiği tespit edilmiştir. γ -aminopropiltrietoksisilan ile yüzey modifikasyonu yapılan zeoliti içeren kompozit malzemelerin akma dayanımı ve darbe dayanımı

değerlerinde yükselmeler olduğu tespit edilmiştir. Γ glisidoksipropiltrimetoksisilan kullanıldığında ise, sadece kütlece %1 zeolit ve hacimce %3 epoksi silan kullanılan karışımların akma dayanımı ve darbe dayanımlarında nisbi artışlar gözlemlenmiştir. Isı ile yaşlandırma testlerinde ise yaşlandırılan gün sayısı arttıkça kompozit malzemelerde degradasyonun arttığı tespit edilmiştir (Kodal, 2009).

Mousa ve arkadaşları tarafından 2009 yılında yapılan yenilenebilir tarımsal atık esaslı zeytin posasının, PVC'nin mekanik ve termal performansı üzerine etkileri isimli çalışmada, nitril bütadien kauçukla toklaştırılmış polivinil klorür termoplastik malzeme ile pirina atığını mikser cihazı yardımıyla homojen karışımı sağlayarak kompozit malzemeler üretmişlerdir. Üretilen kompozit malzemelerin termal, mekanik özellikleri incelenmiştir. Kompozit yapı içerisine pirinanın katılması üretim sırasında işlenebilirliğini ve karışımın homojenliğini etkilemediğini, DMA sonuçlarında depolama modülünün ve katılığının arttığını tespit etmişlerdir.

Gwon ve arkadaşları tarafından 2010 yılında “Hibrit Dolgu Maddelerinin Kimyasal Muamele Görmesinin Odun Plastik Kompozitlerin Fiziksel ve Termal Özelliklerine Etkisi” isimli çalışma yapılmıştır. Bu çalışmada, odun lifleri ve mineral lifler, kimyasal işlem gördükten sonra polipropilen, uyum sağlayıcı ajan ve vaks birlikte karıştırılarak deney numuneleri üretilmiştir. Üretilen deney numunelerinin çekme direnci, su alma oranı, termal ve kimyasal özellikleri tespit edilmiştir. Deney sonuçlarına göre, bağlayıcı ajanın çekme direncini arttırdığı, talk ilavesi yapılmasının alkali ile işlem gören odun liflerinin çekme direncinin artmasına çok az katkı yaptığını ve talk ilaveli silan ile işlem görmüş odun liflerinde ters etki yaparak su alma miktarını arttırdığı tespit edilmiştir (Gwon ve ark., 2010).

Ayrılmış ve Büyüksarı tarafından 2010 yılında yapılan zeytin pirinasının polipropilen kompozit üretiminde kullanılması isimli çalışmada polipropilen malzeme ile odun unu ve iki fazlı sistemden elde edilen pirina atığını polipropilen matris içinde kullanarak kompozit üretmişlerdir. Yapılan fiziksel ve mekanik testler sonucunda pirina karışımıyla kompozitlerde su alma özelliğinin geliştiği, buna paralel olarak eğilme direncinde azalmalar olduğunu belirtmişlerdir. Deney sonuçları zeytin pirinasının termoplastik polimer kompozitlerin üretiminde dolgu maddesi görevi görebileceğini göstermiştir.

Mudu tarafından 2010 yılında yapılan “Organik-İnorganik Hibrit Takviyeli Polipropilen Kompozitlerin Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi” isimli yüksek lisans tezinde, polipropilen, fındikkabuğu, wollastonit kompozitlerin stiren-(etilen-bütilen)-stiren (SEBS) ve bunun maleik anhidrit (MA) ile graft edilmiş türü (SEBS-g-MA) ile modifiye edilmesinin mekanik özellikler üzerindeki etkisi incelenmiştir. Özelliklerin belirlenmesi için çekme, üç noktadan eğme, izod darbe, shore D sertlik ve eriyik akış indeksi testleri yapılmıştır. Deney sonuçlarına göre, polipropilen matrise wollastonit ve fındikkabuğu dolgusu ilavesinin elastikiyet modülü ve sertliğini yükseltirken; akma uzamasını düşürdüğü görülmüştür. Aynı zamanda SEBS, SEBS-g-MA ilavesi ile elastiklik modülünde ve akma mukavemetinde düşme; çentikli izod darbe değerlerinde artış, shore D sertliğinde ise azalma olduğu tespit edilmiştir (Mudu, 2010).

Kurt ve Mengeloğlu tarafından 2011 yılında yapılan “Bor Bileşiklerinin Sinerjist Olarak Amonyum Polifosfat ile Alev Geciktirici Odun Plastik Kompozitleri İçin Değerlendirilmesi” isimli çalışma yapılmıştır. Bu çalışmada propilen, 40 meshlik çam odunu unu, maleik anhidritli polipropilen ve farklı oranlardaki alev geciktiricilerden [(AG) (APP, borik asit (BA), boraks (BS), çinko borat (CB) ve (BA/BS karışımları)] üretilen odun plastik kompozitin fiziksel, mekanik ve doğrusal yanma hızı özellikleri test edilmiştir. Çalışmadan elde edilen verilere göre, kompozit içerisine alev geciktirici katılmasının, şok direnci dışında, bütün mekanik özellikleri düşürdüğü tespit edilmiştir. Buna karşın, katılan alev geciktirici formülasyonunda, bor bileşikleri içeren örneklerdeki düşüşün daha az olduğu belirlenmiştir. Alev geciktirici odun plastik kompozitlerin benzer yanma özellikleri gösterdiğine; borik asit/ bor bileşikleri ve APP birleşimlerinde, APP’nin direnç üzerindeki negatif etkisinin üstesinden geldiğine, BA-APP arasındaki boron fosfat oluşumuyla sağlandığına vurgu yapılmıştır. BB’lerin sinerjist olarak kullanımının, odun plastik kompozitlerin mekanik ve doğrusal yanma hızı performanslarını iyileştirdiği ve BB’nin sinerjist olarak APP ile kullanımının, endüstri için nispeten ucuz halojensiz AG olarak iyi bir potansiyele sahip olduğu öne sürülmüştür (Kurt ve Mengeloğlu, 2011).

Çavdar tarafından 2011 yılında “Farklı Lignoselülozik ve Termoplastik Maddelerle Üretilen Odun Plastik Kompozitlerin Özelliklerinin İncelenmesi” isimli doktora tezinde, lignoselülozik madde olarak çay fabrikası atıkları, MDF zımpara tozu ve yüksek yoğunluklu polietilen (YYPE) ve polipropilen (PP) kullanılarak ekstrüzyon yöntemiyle üretilen odun plastik kompozitlerin performans özellikleri belirlenmiştir. Bu çalışmada, odun plastik kompozitlerin performanslarını iyileştirmek için birleştirici ve yangın

geciktiriciler kullanılmış; ayrıca, bu maddelerin levha özellikleri üzerindeki etkileri incelenmiştir. Üretilen levhaların performansları levhaların fiziksel, mekanik, ısı, yanma, biyolojik ve morfolojik özellikleri belirlenerek değerlendirilmiştir. Çay fabrikası atığı ve MDF zımpara tozunun, YYPE ve PP termoplastik polimerleri için uygun potansiyel dolgu maddeleri olduğu sonucuna varılmıştır. Bunun yanı sıra birleştirici ajan kullanımının, lignoselülozik dolgu maddesi ile termoplastik arasındaki bağlanmayı güçlendirdiği ve en uygun kullanım oranının %3 olduğu belirlenmiştir. Yangın geciktirici kullanımı ile de odun plastik kompozitlerin yanmayı geciktirici özelliğe sahip olması sağlanmıştır (Çavdar, 2011).

Kaya tarafından 2012 yılında yapılan “Ahşap Tozu Takviyeli Polipropilen (PP) Esaslı Kompozit Malzemelerin Akış ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi” isimli yüksek lisans tezinde, polipropilen ve kavak odunu unu kullanılarak deney numuneleri üretilmiş; deney numunelerinin reolojik ve mekanik özellikleri, erime akış indeksi, çekme gerilmesi, uzama ve darbe direnci incelenmiştir. Yapılan bu çalışmada, saf polipropilen (PP) ve 3 farklı oranda kavak odunu unu kullanılarak ekstrüzyon makinesi yardımı ile pellet üretilmiştir. Üretilen pelletler, saf PP ile erime akış indeksi değerleri, çekme dayanımı ve izod darbe direnci bakımından kıyaslanmıştır. Kavak odunu unu takviyeli PP malzemesinin erime akış indeksi değerleri, 4 farklı basınç ve 4 farklı sıcaklık değeri kullanılarak belirlenmiştir. Kavak odunu unu takviyeli PP malzemesinin sıcaklığa bağlı olarak erime akış indeksi ve basınç değerleri incelendiğinde, sıcaklık ve basınç değerlerinin artışına bağlı olarak erime akış indeksinde arttığı tespit edilmiştir. Farklı oranlarda ahşap tozu takviye edilmiş PP malzemeleri kendi aralarında değerlendirildiğinde saf PP ve kavak odunu unu takviye oranı (%5-10-15) arttıkça, erime akış indeksi, çekme gerilmesi ve izod darbe direnci değerlerinin azaldığı gözlemlenmiştir (Kaya, 2012).

Avcı tarafından 2012 yılında “Ahşap Plastik Kompozitlerin Kullanım Performansları Üzerine Araştırmalar” isimli doktora tezinde, yüksek yoğunluklu polietilen, polipropilen, lignoselülozik dolgu maddesi olarak karaçam, doğu kayını ve karakavak kullanılmıştır. Odun unu ve plastik arasındaki bağlanmayı sağlamak amacıyla MAPE ve MAPP kullanılmıştır. Elde edilen deney numunelerinin yoğunluğu, kalınlığına şişme oranı, su alma oranı, statik eğilme direnci, eğilmede elastikiyet modülü, çekme direnci, vida tutma direnci, sertlik (janka) direnci, pürüzlülüğü, yanma performansı, TGA’sı, hızlandırılmış yaşlandırması, mantar direnci belirlenmiştir. Deney sonuçlarına göre, yoğunluk değeri ($0,919 \text{ gr/cm}^3$ ile $1,087 \text{ gr/cm}^3$), kalınlığına şişme oranı (1 gün; %0,106 ile

1,268, 3 gün; % 0,280 ile % 1,960, 30 gün; % 0,506 ile 4,915), su alma oranı (1 gün; % 0,045 ile 1,609, 3 gün; % 0,137 ile 2,793, 30 gün; % 0,319 ile 8,190), statik eğilme direnci ($30,610 \text{ N/mm}^2$ ile $66,065 \text{ N/mm}^2$), eğilmede elastikiyet modülü ($2584,812 \text{ N/mm}^2$ ile $4994,951 \text{ N/mm}^2$), çekme direnci ($16,938 \text{ N/mm}^2$ ile $30,581 \text{ N/mm}^2$), vida tutma direnci ($141,240 \text{ N/mm}$ ile $281,919 \text{ N/mm}$), sertlik ($77,035 \text{ N/mm}^2$ ile $129,898 \text{ N/mm}^2$), yüzey pürüzlülüğü ($1,024\mu\text{m}$ ile $3,225\mu\text{m}$), yanma performansı; ağırlık kaybı (%86,691 ile %98,999), ısı yayılma hızı ($155,452 \text{ KW/m}^2$ ile $542,536 \text{ KW/m}^2$), etkili yanma ısısı ($20,336 \text{ MJ/kg}$ ile $29,056 \text{ MJ/kg}$), UV hızlandırılmış yaşlandırma testine bağlı renk değişimi (500 ay 10,784 ile 44,569, 1000 ay 26,982 ile 51,536), mantar etkisinden dolayı oluşan ağırlık kaybı (%0,000 ile %1,3099), COV 1030 mantarı etkisinden dolayı oluşan ağırlık kaybı (%0,000 ile 1,643) değerleri arasında bulunmuştur. Hızlandırılmış yaşlandırma ve mantar etkilerine karşı dayanıklılık özelliklerinde çam karışımlar, diğer ağaç türlerine göre daha iyi özellik göstermiştir. Odun unu oranı arttıkça eğilmede elastikiyet modülü, sertlik, yanma performansı özelliklerinde iyileşme; diğer özelliklerde ise bir miktar düşme görülmüştür. Yoğunluk değerinin, odun unu oranı arttıkça arttığı ve %3 katkı malzemesi kullanılmasının tüm deney numunelerinin özellikleri üzerinde olumlu sonuçlar verdiği tespit edilmiştir (Avcı, 2012).

Peng ve arkadaşları tarafından 2011 yılında yapılan “Magnesium Oksisulfat Polyamid66 ve Polipropilen Kompozitlerin Özellikleri” isimli çalışmada, polyamid66, polipropilen ve magnesium oksisulfat (80/20 PA66/PP ve magnesium oksisulfat 5phr, 10phr, 15phr, 20 phr, 25 phr, 30 phr, 35phr.) ikiz vidalı ekstruderde karıştırılarak pellet haline getirilmiştir. Üretilen pelletler, enjeksiyon makinesinde deney numunesi haline getirilmiştir. Deney numunelerinin yanma direnci, magnezyum oksisulfatın ve birleştirici ajanın mekanik özelliklere etkisi incelenmiş ve elektron mikroskobu ile termal (TGA, DSC) analizleri yapılmıştır. Bu çalışma sonucunda, en iyi eğilme ve çekme direnci değerleri en iyi 25phr magnezyum oksisulfat karıştırılmış deney numunelerinden elde edilmiştir (Peng ve ark., 2011).

Durademir tarafından 2011 yılında yapılan “Öğütülmüş Bitki Kabukları İle Takviyeli Polimer Matrisli Karma Malzemelerin Mekanik Özellikleri” isimli yüksek lisans tezinde, fındıkkabukları ile çam fıstığı kabuklarının öğütülmesi ile elde edilen dolgu malzemeleri, alçak yoğunluklu polietilen ile karıştırılarak deney numuneleri üretilmiştir. Bağlayıcı ajan olarak, maleik anhidrit ile muamele edilmiş polietilen (MAPE) kullanılmıştır. Kompozit pelletler çift vidalı bir ekstruder yardımı ile üretilmiş ve sonra

mekanik testler gerçekleştirilmiştir. Deney sonuçları, plastik matris içerisinde kullanılan fındık ve fıstık kabuğu tozlarının, bağlayıcı ile birlikte malzemenin performans değerlerini arttırdığını ve saf plastik matrise göre daha iyi değerlerin elde edilmesini sağladığını göstermiştir (Durademir, 2011).

Kord tarafından 2011 yılında yapılan “Odun Unu Oranının Odun Plastik Kompozitlerin Su Alma Davranışına Etkisi” isimli çalışmada, odun unu oranının odun plastik kompozitlerin rutubet alma davranışı üzerine etkisi incelenmiştir. Bu amaçla üretilen deney numunelerine, uyum sağlayıcı ajan katılma oranı sabit tutularak odun unu oranı belirli oranlarda arttırılmıştır. Deney sonuçlarına göre, termoplastik matris içerisinde odun unu oranı arttıkça odun ununun kalınlıkça şişme oranının arttığı tespit edilmiştir (Kord, 2011).

Ndiaye ve Tidjani tarafından 2012 yılında yapılan “Uyum Sağlayıcı Ajanın Odun Polipropilen Kompozitlerin Termal Davranışları ve Mekanik Özellikleri Üzerine Etkisi” isimli çalışma yapılmıştır. Bu çalışmada, uyum sağlayıcı ajanın odun plastik kompozitlerin mekanik ve termal özellikleri üzerine etkisi incelenmiştir. Deney numunelerinin üretimi için odun unu polipropilen ve uyum sağlayıcı ajan ekstrüzyon yöntemi ile karıştırılarak pellet haline getirilmiş ve enjeksiyon kalıplama yöntemleri kullanılarak deney numuneleri üretilmiştir. Deney sonuçları, uyum sağlayıcı ajan kullanımının odun plastik kompozitlerin özelliklerini arttırdığını ve kullanım oranının %3 olması durumunda odun ununun kompozit yapı içerisinde daha iyi bir dağılım sergilediğini göstermiştir. Odun plastik kompozitlerin içerisine %3 oranında uyum sağlayıcı ajan katılmasının eğilmede elastikiyet modülünde %35 oranında artış sağladığı tespit edilmiştir (Ndiaye ve Tidjani, 2012).

Butylina arkadaşları tarafından 2012 yılında yapılan “Farklı Renk Pigmentleri İçeren Odun Plastik Kompozitlerin Yaşlandırılması” isimli çalışmada; kahverengi, yeşil ve gri olmak üzere üç farklı renk pigmenti, ilk kullanım ve geri dönüşüm polipropilen, odun unu, vaks ve MAPP kullanılarak deney numuneleri üretilmiştir. Üretilen deney numuneleri 1, 3, 6, 9 ve 12 ay dış ortam şartlarında yaşlandırılmaya bırakılmıştır. Deney numunelerinin eğilme, çekme ve darbe dirençleri ile SEM ve renk ölçümleri yaşlandırma işleminden önce ve sonra yapılmıştır. Deney sonuçlarına göre, daha koyu renk pigmentleriyle (kahverengi ve yeşil) yapılmış deney numunelerinin renk solması daha az olmuştur. Yaşlandırma sonrasında yapılan rutubet miktarı ölçümlerinde, ilk ölçüme göre rutubet miktarı yaklaşık 3 katına çıkmıştır. Mekanik deney sonuçları, geri dönüşümden

elde edilen polipropilenle üretilmiş deney numunelerinde ve rutubet miktarı az olan deney numunelerinde tespit edilmiştir (Butylina ark., 2012).

Rahman ve arkadaşları tarafından 2013 yılında yapılan “Testere Talaşı ve Geri Dönüşüm Polietilen Tetrafalat Karışımı ile Düz Preste Üretilen Odun Plastik Kompozitlerin Fiziksel ve Mekanik Özellikleri” isimli çalışmada, testere talaşı ve su şişelerinden geri dönüşüm yolu ile elde edilmiş polietilen tetrafalat karışımı, farklı oranlarda ekstruderden geçirildikten sonra düz preste preslenerek 30×25×0,6 cm ölçülerinde levhalar elde edilmiştir. Üretilen levhalardan elde edilen deney numuneleri üzerinde eğilme direnci ve eğilmede elastikiyet modülü, çekme direnci ve çekmede elastikiyet, çentikli şok direnci gibi mekanik denemeler ile rutubet miktarının belirlenmesi, kalınlıkça artış oranının belirlenmesi gibi fiziksel denemeler de yapılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre testere talaşı %40 ile 70 oranında katıldığında kompozitlerin yoğunluğunu %18,3 oranında azaltmaktadır. Testere talaşı oranı arttığında ise kalınlıkça artma ve rutubet miktarında artış olmuştur. Testere talaşının %40 oranında katılması, eğilme direncini olumlu yönde etkilemiş ve elde edilen verilere göre testere talaşı ve pet atıkları ile odun plastik kompozit üretilebileceği öngörülmüştür (Rahman ve ark., 2013).

Benthien ve Ahlmeyer tarafından 2013 yılında yapılan bir çalışmada %50 ve 70 oranında odun unu içeren odun plastik kompozit deney numuneleri hem soğuk su hem de kaynar su içerisinde bekletmiş, kalınlığına artma ve su alma miktarları incelemiştir. Suyun sıcak ya da soğuk olmasına bakılmaksızın suda bekletme süresi ne kadar uzun olursa o kadar fazla kalınlığına şişme, rutubet alma ve kalınlıkça artma olduğu ve odun unu katılım oranı arttıkça bu değerlerin de arttığı tespit edilmiştir. Ek olarak, soğuk su ve kaynamış su içerisinde bekletme metotları karşılaştırılmış ve her iki karışım oranında da kaynamış suda bekletilen deney numunelerinin kalınlığına artma oranının daha fazla olduğu belirtilmiştir (Benthien ve Ahlmeyer, 2013).

Acar ve arkadaşları tarafından 2014 yılında yapılan “Yüksek Yoğunluklu Polietilen (YYPE) ve Atık Pirinç Saplarından Üretilen Kompozitlerin Bazı Mekanik ve Fiziksel Özelliklerinin Belirlenmesi” isimli çalışmada, yüksek yoğunluklu polietilen (YYPE), pirinç sapları ve maleik anhidrit graft edilmiş polietilen (MAPE) kullanılmıştır. Deney numunelerinin üretiminde, pirinç sapları kurutulduktan sonra öğütülmüş ve HDPE ve MAPE ile farklı oranlarda iyice karıştırılarak tek vidalı bir ekstruderden geçirildikten sonra pellet haline getirilmiştir. Bu pelletler, ölçüleri 220×410×5 mm olan levhalar halinde preslenmiştir. Üretilen levhalar ASTM standartlarına göre kesilerek deney numuneleri

hazırlanmıştır. Üretilen deney numuneleri çekme direnci, çekmede elastikiyet modülü, eğilme direnci, eğilmede elastikiyet modülü ve şok(darbe) direnci gibi mekanik özellikleri ile su alma özellikleri bakımından araştırılmıştır. Deney sonuçları, atık pirinç sapının YYPE eklenmesinin üretilen kompozitlerin mekanik ve fiziksel özelliklerini göreceli olarak iyileştirdiğini göstermiştir. YYPE eklenen pirinç sapı miktarı arttırıldığı zaman, örneklerin çekme direnci azalırken pirinç sapı ve YYPE MAPE eklenerek üretilen örnek grupların çekme direnci artmıştır. Kompozit malzeme içerisindeki pirinç sapı oranının artması ile çekmede elastikiyet modülünde artma gözlenmiş, bu artış MAPE' siz %40 pirinç sapı eklenen kompozit örneklerinde optimum seviyeye çıkmıştır. Pirinç sapı miktarının artması, eğilme direncini çok değiştirmemiş; ancak %50 pirinç sapı içeren örneklerde %2 MAPE katılması, eğilme direncini önemli ölçüde arttırmıştır. Son olarak, pirinç sapının eklenmesi şok direnci üzerinde ham YYPE göre ciddi anlamda bir düşmeye sebebiyet vermiştir. Su alma testleri ise, YYPE ve bağlayıcı ajanın artan miktarlarının, örneklerin su alma özelliklerini azalttığını göstermiştir. Diğer taraftan, kompozit örnekler içindeki pirinç sapı oranı arttıkça, malzemenin su alma kapasitesi de önemli ölçüde artmıştır (Acar ve ark., 2014).

Rafighi ve arkadaşları tarafından 2014 yılında yapılan “Yüksek Yoğunluklu Polietilen ve Testere Talaşı Kullanılarak Üretilen Kompozitlerin Mekanik Özelliklerinin Belirlenmesi” isimli çalışmada, odun unu türü ve boyutunun odun plastik kompozitlerin mekanik özelliklerine etkisi incelenmiştir. Bu çalışmada, odun unu olarak göknar (*Abies alba*) ve kayın (*Fagus orientalis L.*) odunu unları, yüksek yoğunluklu polietilen ve %2 oranında MAPP karıştırılarak ekstruderden geçirilmiş ve deney numuneleri üretilmiştir. Deney sonuçlarına göre, her iki odun türünde de odun unu boyutlarındaki artış ile elastikiyet modülü, eğilme direnci ve çekme dirençlerinde artış olduğu ve odun unu boyutlarındaki artışa bağlı olarak kompozit yapı içerisinde homojenliğin bozulduğu tespit edilmiştir (Rafighi ve ark., 2014).

Hamalainen ve Karki tarafından 2014 yılında yapılan “Odun Unu Modifikasyonunun Odun Plastik Kompozitlerin Yanma Özelliklerine Etkisi” isimli çalışmada polipropilen, odun nu yağlayıcı ve uyumsuzluk giderici ajan ve yangın geciktiriciler kullanılmıştır. Odun unu, ekstrudere girmeden laboratuarda fosfat ve melamin formaldehit reçinesi ile işlem görmüştür. İkiz vidalı ekstruder kullanılarak polipropilen (%30), ladin odun unu (%64), uyumsuzluk giderici ajan (%3) ve yağlayıcı madde (%3) kullanılarak deney numuneleri üretilmiştir. Üretilen deney numunelerinin

fiziksel (kalınlıkça artma, rutubet alma), mekanik (eğilme direnci, elastikiyet modülü, brinel sertlik) ve yanma özellikleri incelenmiştir. Deney sonuçlarına göre, fosfat ile işlem görmüş odun plastik kompozitlerin mekanik özelliklerinin düşük çıkmasına rağmen kalınlıkça artma değerleri kontrol numunelerine göre daha az çıkmıştır. Melamin formaldehit ile işlem gören deney numunelerinin rutubet alması, tüm deney sonuçları içerisinde en az çıkmıştır. Yanma geciktiricilerin yanma, kalınlıkça artma ve rutubet alma özelliğini geliştirmesine rağmen, mekanik özelliklerde düşüşe neden olduğu tespit edilmiştir (Hamalainen ve Karki, 2014).

Özmen ve arkadaşları tarafından 2014 yılında yapılan “MDF Atıklarının Odun Plastik Kompozitlerin Üretiminde Değerlendirilmesi” isimli çalışmada, orman endüstrisinin ve mobilya fabrikalarının üretim esnasında açığa çıkardığı lif levha atıklarının, odun plastik kompozitlerin üretiminde odun unu yerine potansiyel olarak değerlendirilmesi hedeflenmiştir. Odun plastik kompozit üretiminde polimer matris olarak polipropilen seçilmiş ve %10 ile 50 arasında lif levha atık unu ile sekiz farklı parametrede çift vidalı ekstrüder kullanılarak pellet üretimi gerçekleştirilmiştir. Üretilen pelletlerden ASTM D4703-10’a göre sıcak pres kalıplama tekniği ile 25x25x0,2 cm mm ebatlarında odun plastik kompozitler üretilmiştir. Her bir karışım parametresi için üç levha üretilmiş ve bunlardan on adet çekme, eğilme ve darbe direnç test örnekleri hazırlanarak çekme, eğilme ve darbe dayanımı testleri uygulanmıştır. Kopma yüzeyleri taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile karakterize edilmiştir. MDF unu katılım oranının artmasına bağlı olarak, çekme ve darbe direnç değerlerinde belirgin düşüşler olduğu MDF unu takviyeli kompozitlerin elastikiyet modülü ve eğilme direnci değerlerinin plastik keresteler için ASTM D 6662 standardında istenen değerlerin çok üstünde olduğu ve plastik kereste kullanım alanlarında kullanılabileceği tespit edilmiştir (Özmen ve ark., 2014).

Acar tarafından 2014 yılında yapılan “Mdf Tozu ve Pirinç Sapı Atıklarının Termoplastik Kompozitlerin Üretiminde Değerlendirilmesi” isimli yüksek lisans tezinde, pirinç sapları ve MDF atıkları PVC atıklar, saf PP ve saf YYPE plastik malzemeler ile karıştırılarak deney numuneleri üretilmiştir. Bağlayıcı ajan olarak Maleik Anhidritle Kraftlanmış Polietilen (MAPE) kullanılmıştır. Kompozit üretimi aşamasında tek vida ekstrüder kullanılmış ve üretilen kompozit malzemelerin mekanik (çekme direnci ve şok direnci), fiziksel (su alma testi), ve termal özellikleri (TGA) araştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar, deney numunelerinin mekanik ve fiziksel özelliklerinin iyileştiğini, kompozit malzeme içerisine eklenen %2 MAPE’nin etkisinin önemli olduğunu göstermiştir. Deney

numuneleri içerisinde en iyi sonuçları, %70 plastik (YYPE, PP ve PVC) ve %50 plastik (YYPE, PP ve PVC) +%2 MAPE eklenen örnekler vermiştir. Kompozit malzeme içerisinde eklenen termoplastik madde oranı arttırıldığında, elde edilen kompozitlerin çekme direnci ve şok direnci değerlerinin arttığı; lignoselülozik madde eklendiğinde ise çekmede elastikiyet modülü değerlerinin ve şok direncinin arttığı tespit edilmiştir. TGA sonuçları incelendiğinde, malzemenin termal özelliklerinin kısmi de olsa iyileştiği belirlenmiştir (Acar, 2014).

Karakuş ve arkadaşları tarafından 2014 yılında yapılan “Termoplastik Esaslı Polimer Kompozitlerin Üretilmesinde Orman Budama Atıklarının Değerlendirilmesi” isimli çalışmada, polilaktik asit (PLA) ve alçak yoğunlukta polietilen (AYPE) kullanılarak orman budama atıkları (OBA) ihtiva eden termoplastik kompozitler üretilmiştir. Üretilen termoplastik kompozit malzemelerin çekme, eğilme ve darbe direnci gibi mekanik özellikleri belirlenmiştir. Bu malzemelerin mekanik özellikleri incelendiğinde orman budama atıkları ile üretilen termoplastik kompozitlerin, saf plastikten üretilenlere göre daha iyi performans sağladığı tespit edilmiştir. Üretilen polimer kompozitlerin değerlerinin, ASTM D 6662 standardında istenilen değerlerin üzerinde olduğu tespit edilmiştir. Deney sonuçları, orman budama atıklarının da PLA ve AYPE esaslı termoplastik kompozit üretiminde dolgu maddesi olarak değerlendirilebileceğini göstermiştir (Karakuş ve ark., 2014).

Çetin ve arkadaşları tarafından 2014 yılında yapılan “Ağaç Kabuğunun Odun Plastik Kompozitlerin Mekanik Özellikleri Üzerine Etkisi” isimli çalışmada, kızılçam ağacı (Pinus brutia) kabukları ve yüksek yoğunluklu polietilen malzeme kullanılarak odun plastik kompozit üretilmiştir. Ağaç kabuğu unları %10-20-30 ve 40 oranında polimer matris içerisine katılmıştır. Deney numunelerinin üretiminde kullanılan pelletler, ikiz vidalı ekstruder yardımı ile üretildikten sonra 25x25x0,2 cm boyutlarında levhalar pres kalıplama yöntemi ile üretilerek deney numuneleri elde edilmiştir. Deney numuneleri üzerinde çekme, eğilme ve darbe direnci gibi mekanik özellikler ile morfolojik özellikler belirlenmiştir. Deney sonuçlarına göre, ağaç kabuğu unu miktarı arttıkça çekme ve darbe direncinin azaldığı; buna karşın eğilme ve elastikiyet modülünün arttığı tespit edilmiştir. Deney numunelerinin eğilme ve elastikiyet modülündeki artışın, ASTM D6662–13 standardında belirlenen değerlerin üzerinde olduğu saptanmıştır (Çetin ve ark., 2014).

Uzun ve arkadaşları tarafından 2014 yılında yapılan “TiO₂ İlaveli Polipropilen Nano Kompozitlerin Hazırlanması ve Karakterizasyonu” isimli çalışmada; TiO₂,

Polipropilen kompozitlere %0,5-1-2 ve 4 oranlarında ilave edilmiştir. Örnekler hazırlanırken tek vidalı ekstruder kullanılmıştır. Hazırlanan kompozitler kırıcılar yardımıyla öğütülmüş ve $103\pm 2^{\circ}\text{C}$ sıcaklıkta kurutulduktan sonra deney numuneleri enjeksiyon kalıplama yöntemi ile üretilmiştir. Üretilen deney numunelerinin su alma testi, yoğunluk, eğilme direnci ve eğilmede elastikiyet modülü, çekme direnci ve çekmede elastikiyet, çentikli şok direnci; ASTM standartlarına göre ve elektron mikroskop analizi SEM yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar, üretilen kompozitlerin yoğunluklarının, nano-TiO₂ oranı arttıkça yükseldiğini ve nano-TiO₂ ilavesinin, kompozitlerin mekanik özelliklerini olumlu olarak etkilediğini; buna karşın %0,5 oranında nano-TiO₂ ilavesinin genellikle olumsuz etkiye yol açtığını göstermiştir (Uzun ve ark., 2014).

Mengeloğlu ve arkadaşları tarafından 2015 yılında yapılan “Dolgu Malzemesi Olarak Mobilya Fabrikası Atıkları Kullanılan Termoplastik Kompozitlerin Seçilmiş Özellikleri” isimli çalışmada; yüksek yoğunluklu polipropilen, uyumlaştırıcı ajan olarak maleik anhidritle kraftlanmış polietilen (MAPE), polipropilen (MAPP) ve dolgu maddesi olarak da mobilya fabrikası atıkları kullanılmıştır. Mobilya fabrikası atıkları, bir mobilya fabrikasının toz emme sisteminden toplanmış yonga levha, lif levha, kereste ve kaplama atıkları ile kenar bandı atıklarından oluşmaktadır. Dolgu maddeleri öğütüldükten sonra elenmiş ve üretimde 60 mesh boyutta olanlar kullanılmıştır. Deney numunelerinin üretiminde, ekstruder ve pres kalıplama yöntemi kullanılmış; deney numunelerinin çekme, eğilme ve darbe direnci gibi mekanik özellikleri ile morfolojik özellikleri belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, dolgu maddesi oranı arttıkça eğilme ve çekme modülünün arttığı; çekmede uzama ve darbe direnci özelliklerinin ise azaldığı tespit edilmiştir. Deney sonuçları, termoplastik kompozitlerin plastik keresteler için eğilme direnci özelliklerini karşıladığını göstermiştir (Mengeloğlu ve ark., 2015).

Engin ve arkadaşları tarafından 2015 yılında yapılan “Farklı Kompozit Malzemelerin Üretilmesi ve Bazı Teknik Özelliklerinin Belirlenmesi” isimli çalışmada; keten lifi, mısır sapı, ayçiçeği sapı, su kamışı, arpa samanı gibi beş farklı lignoselülozik dolgu malzemesi ile cam yünü ve karbon lifi gibi iki farklı sentetik dolgu malzemesi belirli oranlarda (2.5 g lif/72.5 g PE, 5 g lif/70 g PE, 7.5 g lif/67.5 g PE ve 10 g lif/65 g PE) yüksek yoğunluklu polietilen matris içerisine yerleştirilerek, lif takviyeli kompozit lamine levhalar üretilmiştir. Lignoselülozik dolgu malzemesi ve matrise herhangi bir ön kimyasal işlem uygulanmamıştır. Kompozit lamine levhalar presle kalıplama yöntemi ile üretilmiş, sonrasında ise çekme ve ısı testlerine tabi tutulmuştur. Sonuçlar; kompozit numunelerin

çekme mukavemetlerinin, desteklenmemiş polietilen numunelere göre daha düşük olduğunu; fakat mısır sapı, ayçiçeği sapı ve su kamışı ile desteklenmiş kompozit numunelerin, cam yünü ve karbon lifi ile desteklenmiş kompozit numunelere çok yakın çekme mukavemetine sahip olduğunu göstermiştir. Ayrıca, kompozit numunelerin yüksek sıcaklığa karşı, desteklenmemiş polietilene göre daha az deformasyon gösterdiği belirlenmiştir (Engin ve ark., 2015).

Çavdar ve arkadaşları tarafından 2015 yılında yapılan “Odun Plastik Kompozitlerin Fiziksel, Mekanik ve Yanma Özelliklerine Borik Asit ve Boraksın Etkisi” isimli çalışmada, ladin odunu talaşı ve yüksek yoğunluklu polietilen kullanılarak kompozit deney numuneleri üretilmiştir. İlk önce odun ununu borik asit, boraks ve bunların karışımı ile emprenye ederek kullanmışlardır. Deney sonuçlarına göre boraks ile muamele görmüş deney numunelerinin, borik asit ile muamele görmüş numunelere göre daha iyi mekanik özellikler gösterdiğini tespit etmişlerdir. Deney sonuçları, bor bileşikleriyle odun plastik kompozitlerin yanma hızlarının %50 oranında azaldığını göstermiştir. Çavdar ve arkadaşları deney sonuçlarına; göre bor bileşiklerinin, özellikle de boraksın odun plastik kompozit üretiminde yanma geciktirici olarak kullanılabileceğini öne sürmüşlerdir (Çavdar ve ark., 2015).

Baş tarafından 2015 yılında yapılan “Plastik Katkı Maddelerinin İzostatik Polipropilen Ahşap Kompozitlerin Yapı ve Özelliklerine Etkisi” isimli yüksek lisans tezinde; Polipropilen (PP) meşe, palamut ve sarıçam talaşı karışımları, Maleik Anhidrit Graftlı polipropilen (MAPP), Antioksidan, Parafinik Yağ, Kalsiyum Stearat, Antioksidant ve Isı Stabilizatörü kullanılarak deney numuneleri üretilmiştir. Üretilen deney numunelerinin fiziksel ve mekanik özellikleri, taramalı elektron mikroskobu ve faz uyumluluğu ile termal özellikleri incelenmiştir. Odun plastik kompozitler, mikserde karıştırılıp ekstruderde granül haline getirilmiş; daha sonra enjeksiyonda deney numuneleri üretilmiştir. Deney sonuçlarına göre odun unu oranı arttıkça MFI değerlerinin azaldığı; DSC ölçümlerinde PP/OT oranlarına bağlı erime değerlerinde değişiklik olmadığı ve TGA analizinde tüm ürün yapılarının 450°C 'de bozunarak tükendiği görülmüştür. Mekanik özelliklerde ise, odun unu miktarının ve ekstrüzyon sıcaklığının artması ile darbe dayanımında bir azalmaya neden olduğu; çekme deney numunelerindeki antioksidan miktarına bağlı olarak değişimler görüldüğü ve uyumlaştırıcı oranına bağlı kopma dayanımı değerleri, en düşük 8,7 MPa ve en yüksek 16,6 MPa kopma mukavemetine sahip olduğu tespit edilmiştir (Baş, 2015).

Banat ve fares tarafından 2015 yılında yapılan Zeytinyağı Atıkları Dolgulu Yüksek Yoğunluklu Polietilen Biyo-Kompozit: Mekanik, Morfolojik ve Su Emme Özellikleri isimli çalışmada zeytin pirinasının yüksek yoğunluklu polietilen (HDPE) 'nin mekanik, morfolojik ve su alım özelliklerine etkileri incelenmiştir. Bu araştırmada, HDPE 0, 5, 25 ve 50 ağırlıkta zeytin pirinası dolgu malzemesi olarak kullanılmıştır. Deney numuneleri ekstrüzyon ve enjeksiyon kullanılarak üretilmiştir. Deney sonuçları gerilme direncinin dolgu miktarının artması ile azaldığını; birleştirici ajan kullanılması ile bu direncin arttığını göstermiştir. Polimer kompozitlerin özellikleri, ağırlıkça% 5'lik düşük dolgu oranında geliştirdiğini ve su alma oranının bağlayıcı ajan kullanılan deney numunelerinde arttığını tespit etmişlerdir. Çalışmanın sonuçları, zeytin pirinası ununun HDPE biyokompozit malzeme üretiminde dolgu maddesi olarak kullanılabileceğini göstermiştir.

Öztürk ve arkadaşları tarafından 2015 yılında yapılan “pirina atığı katkılı termoplastik kompozitlerin gelimat mikser ile üretimi” isimli çalışmada, pirina katkılı yüksek yoğunluklu polietilen (YYPE) kompozit malzemeler üretilmiş ve incelenmiştir. Pirina, bıçaklı öğütücü ve halkalı değirmen kullanılarak öğütülerek un formuna (50 mikronaltı-taneli) getirilmiştir. Kompozitler, YYPE içerisine farklı miktarlarda pirina (ağırlıkça %10, 20, 30, 40 ve 50) kullanılarak termo-kinetik (Gelimat) mikser ile hazırlanmıştır. Pirina atığı katkılı YYPE kompozitlerin eğilme, çekme, kristalografik ve termal özellikleri incelenmiştir. Pirina YYPE içerisine katıldıktan sonra YYPE'nin elastik modül değerlerinde artış tespit edilmiştir. YYPE matrisine oranla %10 oranında pirina içeren kompozit, eğme dayanımında %20'lik artış sergilemektedir. Ayrıca, YYPE malzemeye pirina katkısının yapılması termal bozunma sıcaklığını (TGA) ötelediği tespit edilmiştir.

Hamida ve arkadaşları tarafından 2015 yılında yapılan polisitiren/ zeytin pirinası kompozitlerin mekanik özellikleri isimli çalışmada, polisitiren içerisine %10, 20, 30 oranında zeytin pirinası katılarak deney numuneleri üretilmiştir. Üretilen deney numunelerinin mekanik özellikleri incelenmiştir. Deney sonuçlarına göre zeytin pirinası unu oranının artmasına paralel olarak gerilme direnci ve kopmada uzama miktarı direncinde azalmalar meydana geldiği tespit edilmiştir. Ek olarak shore sertliği kademeli olarak azalma olduğu ve bu azalmanın polisitiren ile zeytin pirinası arasındaki arayüzün zayıf uyumluluğuna bağlı olduğu öngörülmüştür.

Naghmouchi ve arkadaşları tarafından 2015 yılında yapılan lignoselüloz dolgulu polipropilen kompozitler: Dolgu morfolojisi kompozit özellikleri nasıl etkiler isimli çalışmada odun unu, zeytin pirinası, polimer matris olarak polipropilen (PP) ve MAPP

enjeksiyon makinesi kullanılarak deney numuneleri üretilmişlerdir. Üretilen deney numunelerinin fiziksel ve mekanik özellikleri araştırılmıştır. Deney sonuçları MAPP kullanımı ile deney numunelerinin mekanik ve su alma özelliklerinin arttığı, den en iyi sonuçlar verdiğini ve dolgu maddesinin morfolojisindeki farklılığın, bileşiklerin özelliklerini kontrol etmede ve özelliklerinin su emilimine karşı gelişmesinde önemli bir faktör olduğunu tespit etmişlerdir.

Kılıçaslan tarafından 2016 yılında yapılan “zeytin pirinası/ polyester kompozitin basma yükü altındaki mekanik özelliklerinin belirlenmesi” isimli çalışmada zeytin çekirdeği parçaları hiçbir kimyasal işleme tabi tutulmadan ve öğütülmeden parçacık olarak kullanılarak pirinanın primitif kullanımının kompozit malzemenin mekanik değerlerine olan etkisi araştırılmıştır. Çalışma kapsamında, %30, %40, %50 ve %60 zeytin çekirdeği oranına sahip silindirik şekilli kompozit malzemeler üretilmiştir. Basma deneyleri 0.001 s-1 gerinim hızında gerçekleştirilmiştir. Kompozit ve saf polyester malzemelerinin gerilme-gerinim eğrileri, elastik modülleri, akma gerilmesi ve yoğunlaşma gerinim değerleri karşılaştırılmıştır. Çalışma sonunda, polyester içindeki zeytin çekirdeği oranının artması ile elastik modülün ve akma gerilmesinin azaldığı, yoğunlaşma geriniminin ise arttığı tespit edilmiştir.

3. MATERYAL VE METOT

Bu kısımda ilk önce deney numunelerinin üretiminde kullanılan materyaller ve bu materyallerle üretilen deney numuneleri üzerinde yapılan deney prosedürleri anlatılmıştır. Bu kısım iki bölüm olarak ele alınmıştır. Bunlar:

Birinci kısımda deney numunelerinin üretimde kullanılan lignoselülozik dolgu maddeleri, sentetik temelli mineral lifler (HPR-803i), düşük ve yüksek erime akış indeksine sahip polipropilenler, yağlayıcılar ve uyumsuzluk giderici madde ve titanyum dioksit gibi malzemelerin tanıtımı.

İkinci kısımda deney numunelerinin üretiminde kullanılacak odun plastik kompozitlerin üretim reçetesine göre üretimi ve ilgili standartlara göre deney numunelerinin üretimi, deney numuneleri üzerinde yapılan analizler, fiziksel, mekanik, kimyasal, termal, yanma, yaşlandırma ve renk ölçümü deney prosedürlerinin tanıtımı.

3.1. Materyal

Bu çalışmada; materyal olarak düşük ve yüksek erime akış indeksine sahip polipropilenler, lignoselülozik dolgu maddesi olarak 60 mesh ölçüsünde kızılçam odunu unu ve zeytin pirinası unu, yağlayıcı madde olarak vaks, renklendirici madde olarak Titanyum dioksit 'TiO₂', sentetik temelli mineral lifler ve uyum sağlayıcı kimyasal olarak maleik anhidrit ile muamele edilmiş polipropilen (MAPP) kullanılmıştır. Deney numunelerinin üretimleri Kahramanmaraş Sütçü imam Üniversitesi, Orman Fakültesi, Orman Endüstri Mühendisliği Bölümü laboratuvarlarında gerçekleştirilmiştir.

3.1.1. Lignoselülozik dolgu maddeleri

Lignoselülozik dolgu maddesi olarak Kızılçam (*Pinus brutia* Ten.) odun unu ve zeytin pirinası kullanılmıştır. Kızılçam odunu Kahramanmaraş il merkezinde bulunan bir marangoz atölyesinden planya makinesi talaşı olarak satın alınmıştır. Temin edilen kızılçam talaşları gözden geçirilerek içersinde çivi, vida, taş ve yabancı bir cisim olmamasına dikkat edilmiştir. Zeytin pirinası Kahramanmaraş il merkezinde bulunan bir zeytinyağı fabrikasından satın alınmıştır.

3.1.2. Plastik hammaddeleri

Erime akış indeksi değeri, akışkanlık hakkında ön bilgi vermekte olup, birincil olarak malzemenin akış düzenliliğinin bir göstergesi olarak kullanılmaktadır (Carreau ve ark., 1997). Akışkanlık (Melt Flow Index), ürünün işlenmesinde ve kalıplanmasında kritik bir öneme sahip olan, bu nedenle de kontrolü oldukça önemli parametrelerden biridir. Polietilenlerin en önemli özellikleri yoğunluk, erime akış indeksi ve molekül ağırlığıdır. Erime akış indeksi, molekül ağırlığının bir göstergesidir. Erime indeksi ortalama olarak molekül ağırlığı ile ters orantılıdır. Erime akış indeksi artarsa, yumuşama sıcaklığı azalır ve buna bağlı olarak, sertlik de azalır. Yüksek erime akış indeksi olan polietilenin molekül ağırlığı düşüktür (Çavdar, 2011). Erime akış indeksi, polimerin moleküler ağırlığının tersi ile ilişkilidir ve erimiş polimerin akış karakteristiklerini gösterir. Genel bir kural olarak, akmaya direnci daha fazla olan plastiğin (küçük MFI değerine sahip) molekül ağırlığı; direnci daha küçük olana göre (yüksek MFI) daha fazladır (Savaşçı ve ark. 2002).

Bu çalışmada polimer olarak düşük ve yüksek erime akış indeksine sahip polipropilenler kullanılmıştır. Bu kapsamda, ilgili literatür taranarak Pektim'den MH 418 Kodlu PP ve EH 241 Kodlu Polipropilenler temin edilmiştir. Pektim'den temin edilen MH 418 Kodlu polipropilen beyaz balıkgözü pellet şeklinde, 25 kg'lık beyaz renkli PE torbalarda satılan ve genellikle iplik, örgü çuval, halat, ambalaj şeridi vs. üretiminde kullanılan bir polipropilendir. Petkim MH 418 Kodlu PP'nin fiziksel, mekanik ve termal özellikleri Çizelge 3.1'de verilmiştir.

Çizelge 3.1. MH 418 kodlu PP'nin Fiziksel, Mekanik ve Termal Özellikleri (Pektim, 2015).

No	Özellikler	Değer	Birim	Standart
1	MFI (230°C'de 2,16 Kg)	4,5	g/10 min.	ASTM D1238
2	Yoğunluk (23°C)	0,905	g/cm ³	ASTM D1505
3	Akmada gerilme dayanımı	34	Mpa	ASTM D638
5	Kopmada gerilme dayanımı	42	Mpa	ASTM D638
6	Renk b-değeri (10D65)	1,8	-	Hunter lab.
7	Erime noktası (DSC)	163	°C	ASTM D3417
8	Deformasyon sıcaklığı	113	°C	ASTM D648
9	İzod Çentikli Darbe (23 °C'de)	21,6	J/m	ASTM D256
10	Rockwell sertliği	94	R-scale	ASTM D785
11	Bükülme modülü	1450	Mpa	TS EN ISO 178

Petkim EH 241 Kodlu polipropilen ise beyaz balıkgözü pellet şeklinde, 25 kg'lık beyaz renkli PE torbalarda satılan ve genellikle çok yüksek hızda enjeksiyon kalıplamaya uygundur. Genel amaçlı enjeksiyonluk ve elyafık olarak kullanılabilir (Plastik eşya,

oyuncak elyaf). Her iki tip polipropilende üretime başlanıncaya kadar güneş görmeyen kapalı ve kuru bir depoda bekletilmiş ve buradan alınarak üretimde kullanılmıştır. Petkim EH 241 Kodlu PP'nin fiziksel, mekanik ve termal özellikleri Çizelge 3.2'de verilmiştir.

Çizelge 3.2. EH 241 PP'nin Fiziksel, Mekanik ve Termal Özellikleri (Pektim, 2015).

No	Özellikler	Değer	Birim	Standart
1	MFI (230°C'de 2,16 Kg)	24	g/10 min.	ASTM D1238
2	Yoğunluk (23°C)	0,905	g/cm ³	ASTM D1505
3	Akmada gerilme dayanımı	39	Mpa	ASTM D638
4	Kopmada gerilme dayanımı	32	Mpa	ASTM D638
5	Renk b-değeri (10D65)	1,5	-	Hunter lab.
6	Erime noktası (DSC)	163	°C	ASTM D3417
7	Deformasyon sıcaklığı	114	°C	ASTM D648
8	İzod Çentikli Darbe (23 °C'de)	14,7	J/m	ASTM D256
9	Rockwell sertliği	96	R-scale	ASTM D785
10	Bükülme modülü	1470	Mpa	TS EN ISO 178

3.1.3. Katkı maddeleri

3.1.3.1. Yağlayıcı madde

Lignoselülozik dolgu maddeleri ve plastik hammaddelerinin ekstruderden daha kolay geçmesini sağlamak ve enjeksiyon kalıplama işlemleri sırasında üretimi kolaylaştırmak amacıyla, yağlayıcı madde olarak Öztin Kimya Sanayi'nden satın alınan parafin vaks kullanılmıştır. Bu yağlayıcı maddeye ait özellikler Çizelge 3.3'te verilmiştir.

Çizelge 3.3. Üretimde kullanılan yağlayıcı maddeye (vaks) ait özellikler.

No	Özellikler	Değer
1	Ticari Adı	Parafin vaks
2	Görünüş	Beyaz Toz
3	Kimyasal Formülü	C18H38
4	Yumuşama Noktası	56-58 °C
5	Yoğunluk (23°C)	0.93 g/cm ³

3.1.3.2. Titanyum dioksit (TiO₂)

Titanyum dioksit 'TiO₂' pigment, güneş kremleri, boyalar, krem ve diş macunu gibi malzemelerin yapımında yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Titanyum dioksit genellikle üç farklı kristal yapıyla karşımıza çıkar. Kararlı bir faz olan rutil (tetragonal, a=b=4.584Å, c=2.953Å) ve her ikisi de yarı kararlı polimorf fazlar olan anataz (tetragonal, a=b=3.782Å, c=9.502Å) ve brokit (rombohedral, a=5.436Å, b=9.166Å, c=5.135Å) şeklinde adlandırılır. Aynı malzemenin çeşitli kristal yapılarla karşımıza çıkma sebebi, farklı sayıda atomun farklı mesafelerde bir araya gelip bağ uzunluğu, bağ açısı ve yoğunluğu farklı

birim hücreler oluşturup kristal halini almasıdır (Cengiz, 2014). Lignoselülozik dolgu maddeleri ve plastik hammaddelerinin renk ve UV direncini ve parçacık boyutunun bu özellikler üzerine etkisini belirlemek amacıyla, titanyum dioksit rutil yapıda nano ve rutil yapıda mikron (Kronos 2310®) ve nano partikül satın alınarak üretimde kullanılmıştır. Çizelge 3.4'te üretimde kullanılan nano ve mikron yapıdaki titanyum dioksitin fiziksel ve kimyasal özellikleri verilmiştir.

Çizelge 3.4. Nano ve mikron yapıdaki titanyum dioksitin fiziksel ve kimyasal özellikleri.

No	Özellikler	Nano TiO ₂	Mikro TiO ₂
1	Görünüş	Beyaz toz	Beyaz toz
2	Saflık	99.7%	92.5 %
3	Ortalama Parçacık Boyutu	25±5nm	26,6 mikron
4	Yüzey Alanı	72 m ² /g	50±15 m ² /g
5	Renk	Beyaz	Beyaz
6	Özkütle	0.22 g/c cm ³	0.23 g/c cm ³
7	Özkütle (True)	3.9 g/cm ³	4,2g/cm ³
8	pH	7	7
9	Kurutmada Kütle Kaybı105 ⁰ C 2 ay	5%	7%
10	Tutuşmada Kütle Kaybı	3%	3%
11	Moleküler formülü	TiO ₂	TiO ₂

3.1.3.3. Uyum sağlayıcı kimyasal (MAPP)

Günümüzde en yaygın kullanılan uyum sağlayıcı madde, Maleik Anhidrit Grafted Polipropilen (MAPP) veya Maleik Anhidrit Grafted Polietilen (MAPE)'dir. MAPP veya MAPE içinde bulunan maleik anhidrit asit baz etkileşimi gibi polar bir etkileşim sağlar ve lignoselülozik dolgu maddeleri üzerindeki hidroksil gruplarına kovalent bağ ile bağlanabilir (Çavdar, 2011). Maleik anhidrit grafted polipropilen (MAPP), lignoselülozik-polipropilen sistemleri için ideal ve verimli bir uyumlaştırıcı maddedir. Bu çalışmada, uyum sağlayıcı kimyasal olarak Clariant firmasından alınan Licomont AR 504 isimli maleik anhidrit ile muamele edilmiş polipropilen (MAPP) kullanılmıştır. Kullanılan uyum sağlayıcı kimyasala ait kimyasal ve fiziksel özellikler Çizelge 3.5'te verilmiştir.

Çizelge 3.5. Uyumsuzluk giderici kimyasalların özellikleri.

No	Özellikleri	Licomont AR 504 (MAPP)
1	Görünüş	Sarımsı toz
2	Yumuşama Noktası	156°C
3	Asit Değeri	41 mg KOH/g
4	23°C'de Yoğunluk	0,91 g/cm ³
5	140°C' de Viskozite	800 mPa.s

3.1.3.4. Sentetik temelli mineral lif (MOS)

Lignoselülozik dolgu maddeleri ve plastik hammaddelerinin birlikte oluşturduğu kompozitlerde sentetik temelli mineral liflerin bu kompozitlerin fiziksel, mekanik ve yanma özellikleri üzerine etkilerini belirlemek için Hyperform® HPR-803i (Magnesium Oksisulfat Maddesi) kullanılmıştır. Deney numunelerinin hem ekstruderde hem de enjeksiyonda üretimleri yapılacağı için Hyperform® HPR-803i (Magnesium Oksisulfat Maddesi) ekstruder öncesinde ve enjeksiyon sırasında elde edilen karışımlara eklenmiştir. Bu maddenin fiziksel ve kimyasal özellikleri Çizelge 3.6'da gösterilmiştir.

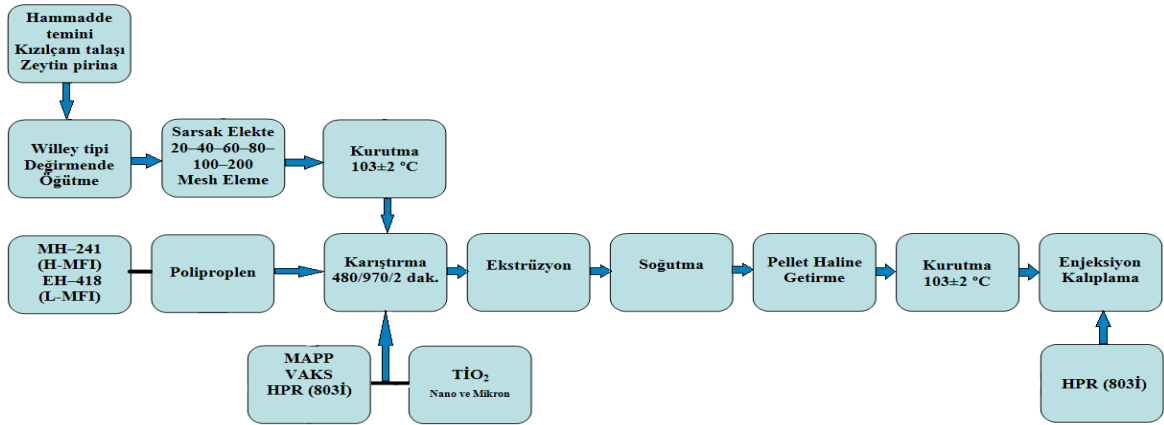
Çizelge 3.6. Sentetik temelli mineral lifin fiziksel ve kimyasal özellikleri (Milliken, 2015).

No	Özellikler	
1	Ticari ismi	HYPERFORM® HPR-803i
2	Madde adı	Magnesium Oksisulfat
3	Kimyasal yapısı	%99 Magnesium Oksisulfat Maddesi
4	Fiber uzunluğu	10 – 30 mikron
5	Fiber çapı	0,5 – 1,2 mikron
6	Görünüş	Beyaz toz
7	Yoğunluk	0,98 g/cm ³
8	Rutubet	<1,0%
9	Bulk yoğunluk	0,15 g/cc
10	Erime noktası/erime aralığı	547 K
11	Buhar basıncı	<0,00017 Pa (25 °C)
12	Su içinde çözünürlüğü	0,0302 g/l

Hyperform® HPR-803i (Magnesium Oxysulfate Maddesi) sentetik temelli mineral lifli bir katkı maddesidir. Çözünürlük sınırında toksisite içermeyen, çevre ve insan sağlığına zararı olmayan ve tehlikeli madde olarak düzenlenmemiş bir malzemedir. Bu madde %0,1 veya daha yüksek seviyelerde ya kalıcı, biyoakümülatif ve toksik (PBT) ya da çok kalıcı ve çok biyoakümülatif (vPvB) olarak kabul edilen bileşenler içermemektedir. Hyperform® HPR-803i deney numunelerinin üretiminde kullanılmak üzere Milliken Chemical Division of Milliken Europe BVBA satın alınmak yolu ile temin edilmiştir.

3.1.4. Lignoselülozik dolgu maddeli kompozitlerin üretimi

Lignoselülozik dolgu maddeleri ile odun plastik kompozit üretim iş akışı Şekil 3.1'de gösterilmiştir.



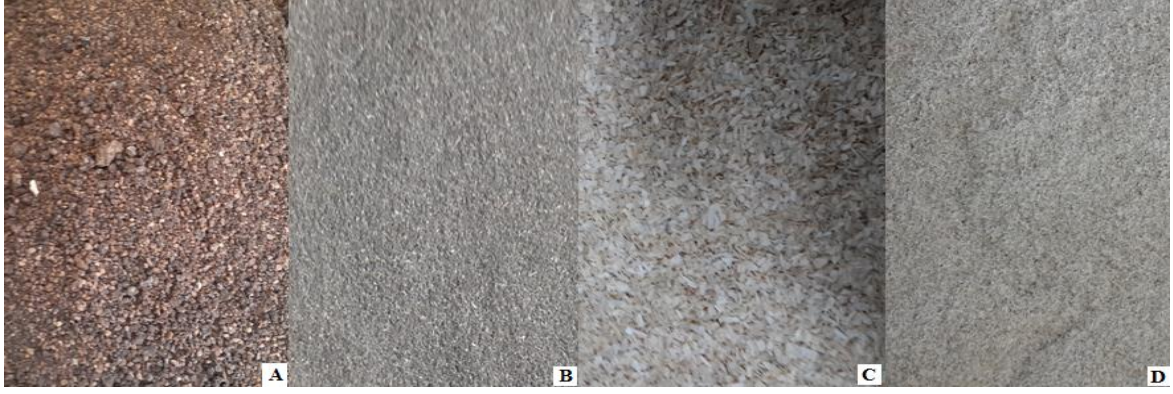
Şekil 3.1. Lignoselülozik dolgu maddeleri ile odun plastik kompozit üretim iş akışı şeması.

Temin edilen lignoselülozik dolgu maddeleri KSÜ. Orman fakültesi laboratuvarlarında bulunan Wiley tipi değirmen (Şekil 3.2.A) yardımıyla un haline getirilmiştir. Literatürde dolgu maddelerinin boyutlarının, odun plastik kompozitlerin fiziksel, mekanik özellikleri üzerinde etkisinin olduğu belirtilmiştir. Bu nedenle, değirmenden geçirilen kızılçam odun talaşı ve zeytin pirinası 20-40-60-80-100 ve 200'lük mesh yeteneğine sahip sarsak elekten (Şekil 3.2.B) geçirilerek sınıflandırmaya tabi tutulmuştur.



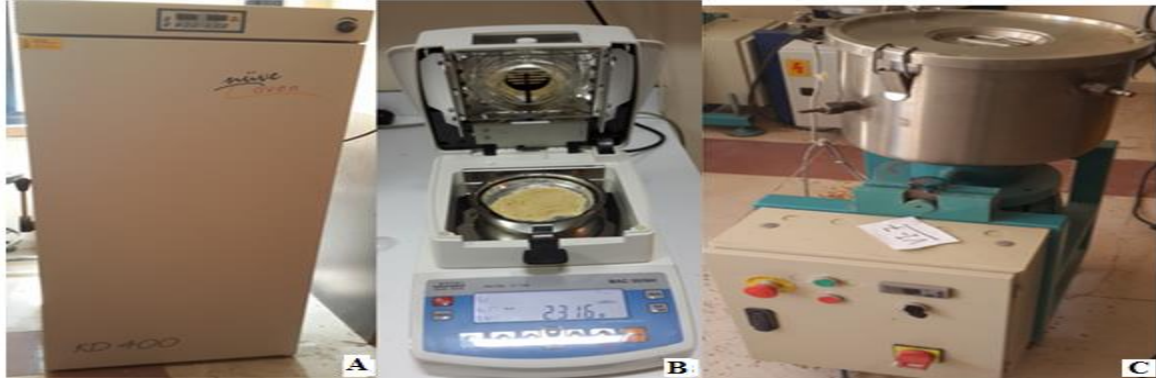
Şekil 3.2. Üretimde kullanılan Wiley tipi değirmen (A), sarsak elek (B).(Foto; Çavuş, 2017).

Eleme işlemi sonunda sınıflarına ayrılan odun ve zeytin pirinası unları, sahip oldukları mesh numarasına göre sınıflandırılarak kaplara konulmuştur. Bu çalışmada kullanılan lignoselülozik dolgu maddeleri, eleme işleminde kullanılan sarsak eleğin 40 mesh'lik elekten geçip 60 mesh boyutundaki eleğin üzerinde kalan kısımdan alınarak kullanılmıştır. Üretimde kullanılan lignoselülozik dolgu maddelerinin öğütülmeden önceki ve sonraki görüntüleri Şekil 3.3 A, B, C, D'de gösterilmiştir.



Şekil 3.3. Üretimde kullanılan lignoselülozik dolgu maddeleri (A) öğütülmemiş zeytin pirinası, (B) 60 mesh zeytin pirinası, (C) öğütülmemiş kızılçam talaşı, (D) 60 mesh kızılçam odunu unu (Foto; Çavuş, 2017).

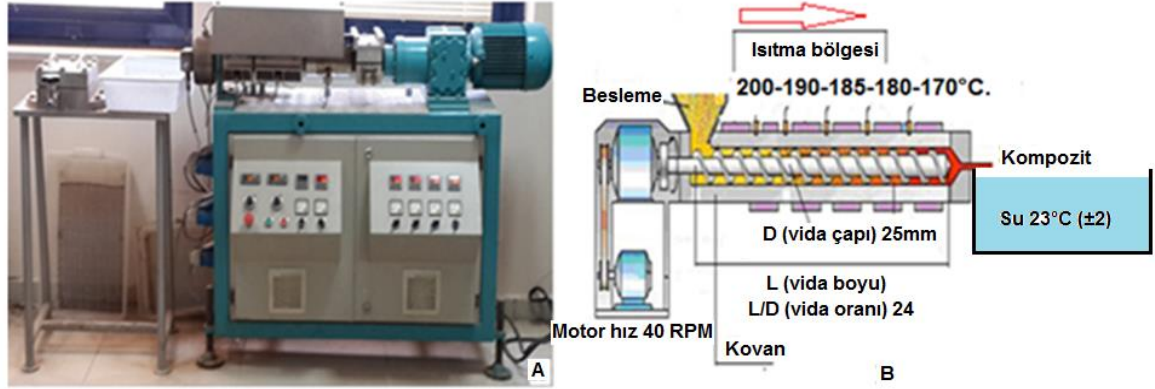
Odun-plastik kompozit (OPK) üretiminde lignoselülozik dolgu maddelerinin kurutulması ekstruderden malzeme geçirilmesi ve enjeksiyon kalıplama sırasında, kompozit malzeme içerisinde kabarcık oluşumuna ve bundan dolayı fiziksel ve mekanik özelliklerde olumsuz sonuçlar ortaya çıkmasına neden olmaktadır. Bu nedenle, 60 (0,25 mm veya 250 mikron) mesh boyutlarındaki kızılçam ve zeytin pirinası unları 24 aylık kurutma işlemine tabi tutulmuştur. Bunun için etüvde (Şekil 3.4.A) 103 ± 2 °C sıcaklıkta değişmez ağırlığa ulaşınca kadar bekletilmiş ve 24 aylık sürenin sonunda rutubet miktarları nem ölçme makinesinde (Şekil 3.4.B) belirlenmiştir. Rutubet miktarları %1'in altında olan lignoselülozik dolgu maddeleri üretimde kullanılmıştır.



Şekil 3.4. Kurutma işleminde kullanılan etüv (A), nem ölçme makinesi(B), laboratuvar tipi karıştırıcı (C) (Foto; Çavuş, 2017).

Etüvde kurutulan kızılçam odunu unu ve zeytin pirinası unu üretim reçetesine göre plastik hammadde, düşük ve yüksek erime akış indeksine sahip polipropilenler, vaks, titanyum dioksit ve uyum sağlayıcı kimyasal olarak maleik anhidrit ile muamele edilmiş polipropilen (MAPP), sentetik temelli mineral lifler karıştırma makinesi yardımı ile

kariştirilmiştir. Karişimin homojen olması için 2 dakika boyunca yüksek devirli kariştirıcı (900–1000 dev/dak.) kullanılmıştır (şekil 3.4.C).



şekil 3.5. Üretimde kullanılan tek vidalı ekstruder (A), retimde kullanılan ekstruderin şematik görünümü ve üretim parametreleri (B), (Foto ve çizim; avuş, 2017).

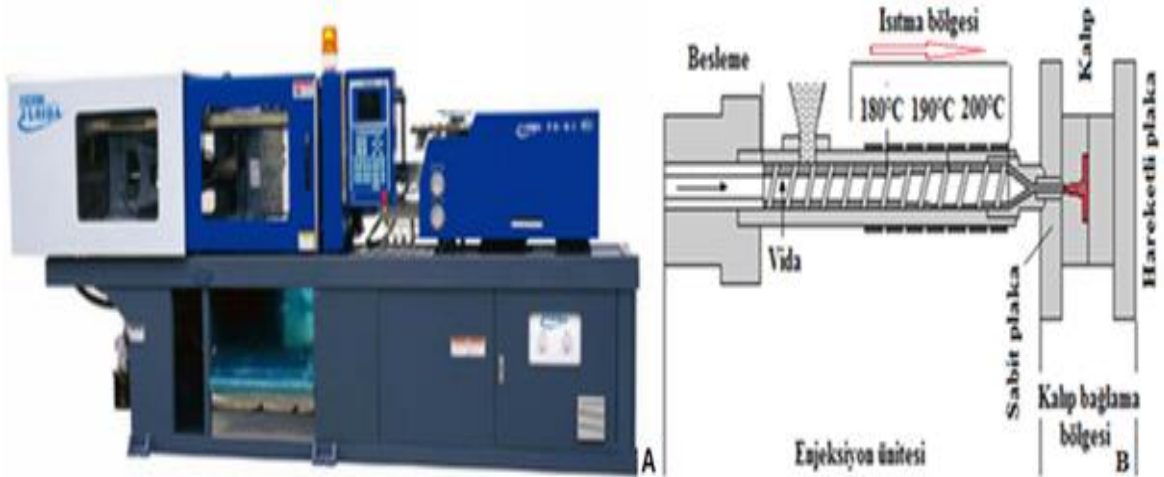
retime başlanmadan önce, ekstruderin çalışma sıcaklığı 175 °C sıcaklıktan başlayıp, 180, 185, 190 ve 200°C olacak şekilde beş kademe olarak ayarlanmıştır. Üretimde kullanılan ekstruder, tek vidalı olup ekstruder içerisindeki vidanın dönme hızı 40 dev/dak. olacak şekilde ayarlanmıştır. Pellet retimi için homojen şekilde karişımı yapılan lignoselülozik dolgu maddeleri, sentetik temelli mineral lifler, plastik ve katkı malzemeleri ekstruderin besleme haznesine dökülerek üretime başlanmıştır. Üretimde kullanılan ekstruder, üretim parametreleri ve ekstruderin şematik görünümü şekil 3.5'te gösterilmiştir. Besleme ağzından ekstruder içine dolan karişım, sıcaklığın ve kovan içerisindeki sürtünmenin etkisi kovan içerisinde eriyerek vida yardımıyla ekstruder kafasına doğru çıkmaya (şekil 3.6.A) başlamıştır. Kafadan çıkan erimiş haldeki karişım, bir spatula yardımı ile kesilerek ekstruder kafasının hemen önünde bulunan ve oda sıcaklığında olan su havuzuna düşürülerek karişımın soğutulması ve sertleşmesi (şekil 3.6.B) sağlanmıştır.

Su havuzuna düşürülerek soğutulan ve sertleşen malzemeler, oda sıcaklığında kuruma işlemine bırakılmıştır. Kuruyan malzemeler laboratuvar tipi kırııda (şekil 3.6.C) pellet (şekil 3.6.D) haline getirilmiştir. Üretilen pelletler, su havuzunda rutubete maruz kaldıkları için alüminyum tabaklar içerisine konularak 24 ay süreyle 103±2 °C sıcaklıktaki etüv içerisinde bekletilmiştir. Etüvden ıkarılan pelletlerin rutubet miktarları, nem lme makinesi yardımı ile belirlenerek enjeksiyon üretiminde %1'in altında rutubet derecesine sahip olanlar kullanılmıştır.

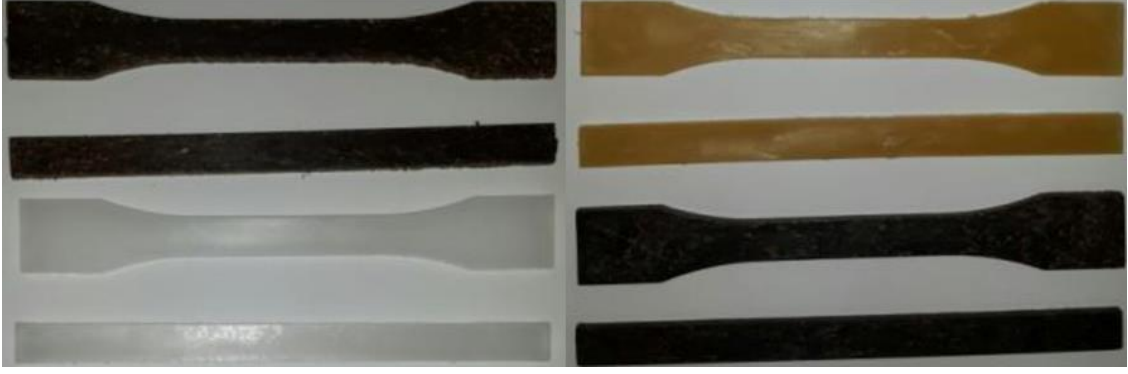


Şekil 3.6. Ekstruder eriyiğin suda soğutulması (A), elde edilen soğumuş karışım (B), kırma makinesi (C), üretilen pelletler (D), (Foto; Çavuş, 2017).

Kurutulan pelletler, enjeksiyon kalıplama makinesi kullanılarak deney numunesi haline getirilmiştir. Deney numunelerinin üretiminde kullanılan, HAIDA marka HDX88 model enjeksiyon kalıplama makinesinin enjeksiyon ünitesindeki vida çapı 40mm, vida oranı (L/D) 20, enjeksiyon hacmi 188 cm³, enjeksiyon basıncı ise 149 MPa ve kalıp bağlama ünitesindeki kalıp baskı gücü ise 880kn'dur. Enjeksiyon üretiminde makine sıcaklığı 180, 190, 200°C olarak enjeksiyon basıncı 5–6 MPa, enjeksiyon hızı 80 mm/sn ve soğuma hızı 30 sn olarak ayarlanmıştır. Üretimde kullanılan enjeksiyon makinesi (Şekil 3.7.A) ve üretimde kullanılan enjeksiyon makinesinin şematik görünümü ile üretim parametreleri (Şekil 3.7.B) Şekil 3.7'de ve enjeksiyon makinesinde üretilen deney numuneleri Şekil 3.8'de gösterilmiştir.



Şekil 3.7. Üretimde kullanılan enjeksiyon makinesi (A), üretimde kullanılan enjeksiyon makinesinin şematik görünümü ve üretim parametreleri (B), (Foto ve çizim; Çavuş, 2017).



Şekil 3.8. Enjeksiyon makinesinde üretilen deney numuneleri.

3.1.5. Deney numunelerinin üretim reçeteleri

Deney numunelerinin üretimleri için, dört ana başlık altında üretim reçeteleri hazırlanmıştır. Bunlar:

- 1-Lignoselülozik dolgu maddesi türü, kullanım oranı ve erime akış indeksinin odun plastik kompozitlerin özelliklerine etkisinin belirlenmesi (I)
- 2-Sentetik ve lignoselülozik dolgu maddesi türü, oranı ve sentetik dolgu maddesinin enjeksiyon ve ekstruder üretimi sırasında katılmasının odun plastik kompozitlerin özelliklerine etkisinin belirlenmesi (II)
- 3-Dolgu maddesi türü (sentetik temelli mineral lif, kızılçam odunu) kompozit yapı içerisinde kullanım oranının odun plastik kompozitlerin özelliklerine etkisinin belirlenmesi (III)
- 4-Farklı parçacık büyüklüğü ve oranlarda (nano ve mikron) titanyum dioksit katılımının odun plastik kompozitlerin özelliklerine etkisinin belirlenmesi (IV).

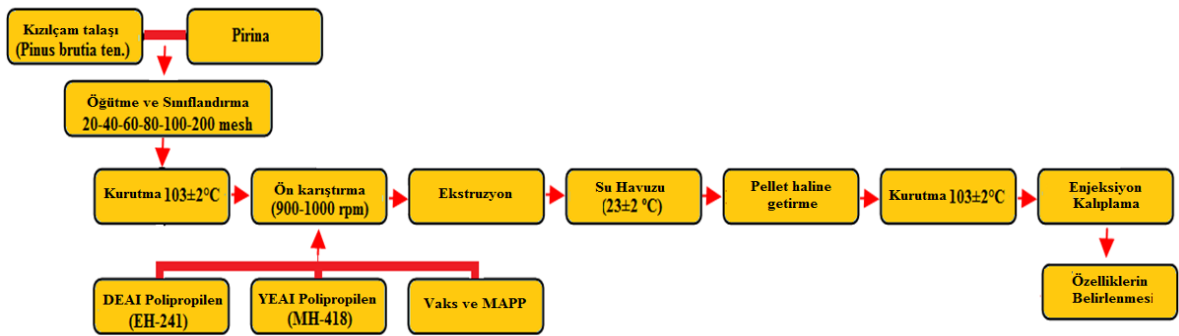
3.1.5.1. Lignoselülozik dolgu maddesi türü, kullanım oranı ve erime akış indeksinin odun plastik kompozitlerin özelliklerine etkisinin belirlenmesi (I)

Deney numunelerinin üretiminde öncelikle, lignoselülozik dolgu maddesi türü olarak zeytin pirinası unu ve kızılçam odunu düşük ve yüksek erime akış indeksi sahip polipropilenler içerisine %0–20–40 oranında katılmıştır. Bu üretime ait olan levha tiplerinde, MAPP ve vaks oranı %3 oranında sabit tutulmuş ve kontrol numunelerinin üretimi için dolgu maddesi katılmadan üretimler gerçekleştirilmiştir. Bu üretime ait üretim reçetesi Çizelge 3.7’de ve iş akış şeması Şekil 3.9’da verilmiştir.

Çizelge 3.7. Lignoselülozik dolgu maddesi türü, kullanım oranı ve erime akış indeksinin odun plastik kompozitlerin özelliklerine etkisinin belirlenmesi (I).

ÜK.	Polimer Tipi	PO (%)	PO (gr)	DMT	DMO (%)	DMO (gr)	MAP P (%)	MAPP (gr)	VAKS (%)	VAKS (gr)
I.1	EH-241(H-MFI)	94	1880	-	0	0	3	60	3	60
I.2	MH-418 (L-MFI)	94	1880	-	0	0	3	60	3	60
I.3	EH-241 (H-MFI)	74	1480	KOU	20	400	3	60	3	60
I.4	EH-241 (H-MFI)	54	1080	KOU	40	800	3	60	3	60
I.5	MH-418 (L-MFI)	74	1480	KOU	20	400	3	60	3	60
I.6	MH-418 (L-MFI)	54	1080	KOU	40	800	3	60	3	60
I.7	EH-241 (H-MFI)	74	1480	ZPU	20	400	3	60	3	60
I.8	EH-241 (H-MFI)	54	1080	ZPU	40	800	3	60	3	60
I.9	MH-418 (L-MFI)	74	1480	ZPU	20	400	3	60	3	60
I.10	MH-418 (L-MFI)	54	1080	ZPU	40	800	3	60	3	60

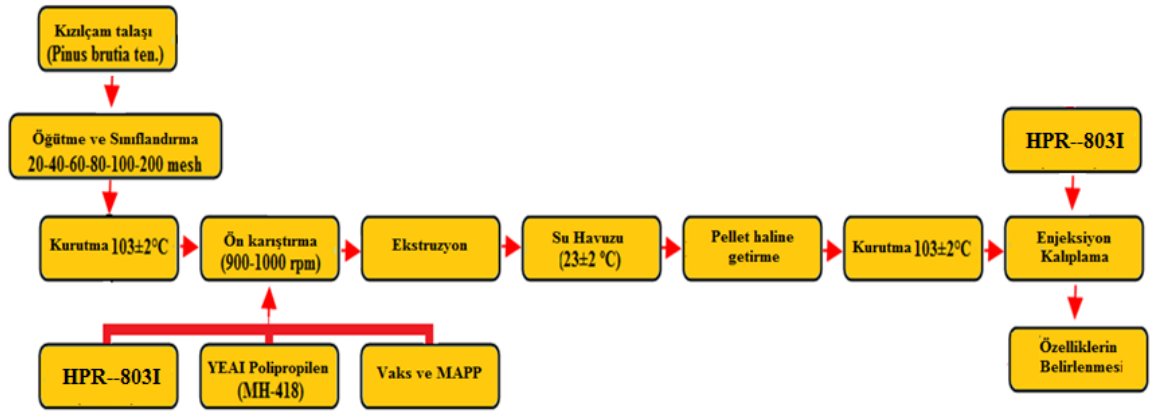
ÜK: Üretim kodu, **PT:** Polimer tipi, **PO:** Polimer oranı (%), **DMT:** Dolgu maddesi tipi, **DMO:** Dolgu maddesi oranı (%), **MAPP:** maleik anhidrit ile muamele edilmiş polipropilen, **H-MFI:** Yüksek erime akış indeksi, **L-MFI:** Düşük erime akış indeksi, **KOU:** Kızılçam odununu, **ZPU:** Zeytin pirnası. * Hesaplamalar ağırlıkça yapılmıştır.



Şekil 3.9. Dolgu maddesi türü, kullanım oranı ve erime akış indeksinin odun plastik kompozitlerin özelliklerine etkisinin belirlenmesi.

3.1.5.2. Sentetik ve lignoselülozik dolgu maddesi türü, oranı ve sentetik dolgu maddesinin enjeksiyon ve ekstruder üretimi sırasında katılmasının odun plastik kompozitlerin özelliklerine etkisinin belirlenmesi (II.)

Deney numunelerinin üretiminde ikinci aşama olarak, lignoselülozik dolgu maddesi türü sadece kızılçam odunuunu ve sentetik temelli mineral lif olarak (MOS) hesaplamalar ağırlıkça yapılarak %0-2,93-10-17,07-20 oranında katılmıştır. Kompozit içerisine sentetik temelli mineral lifler, ekstruder öncesi (EÖ) ve enjeksiyon sırasında (ES) katılmıştır. Bunun için ilk olarak ekstruderde ve üretim reçetesine göre enjeksiyon sırasında katılmıştır. Bu üretime ait olan levha tiplerinde MAPP ve vaks oranı %3 oranında sabit tutulmuş ve kontrol numunelerinin üretimi için dolgu maddesi katılmadan üretimler gerçekleştirilmiştir. Bu üretime ait üretim reçetesi Çizelge 3.8.'de ve iş akış şeması Şekil 3.10'da verilmiştir.



Şekil 3.10. Sentetik ve lignoselülozik dolgu maddesi türü, oranı ve sentetik dolgu maddesinin enjeksiyon ve ekstruder üretimi sırasında katılması iş akış şeması.

Çizelge 3.8. Sentetik ve lignoselülozik dolgu maddesi türü, oranı ve sentetik dolgu maddesinin enjeksiyon ve ekstruder üretimi sırasında katılmasının odun plastik kompozitlerin özelliklerine etkisinin belirlenmesi (II).

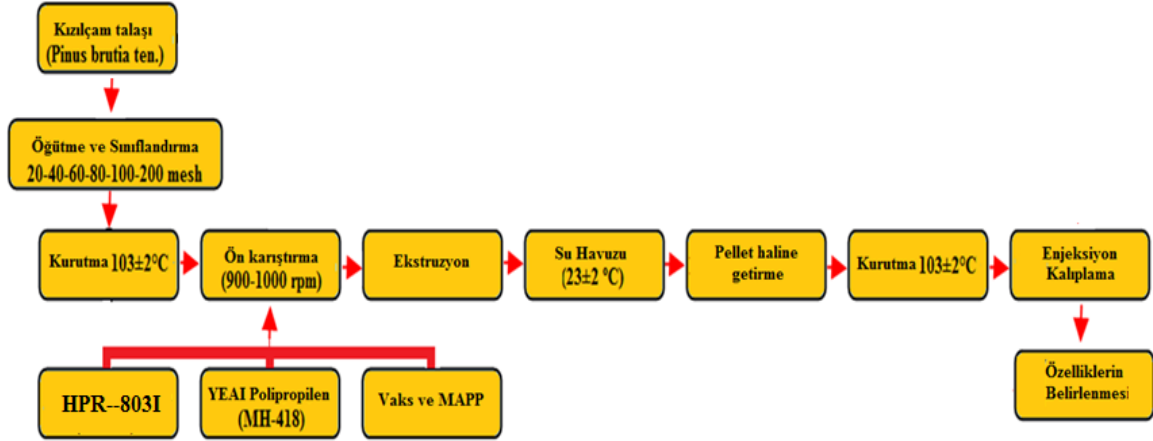
ÜK.	MH-418		MOS Kullanım	MOS		KOU		MAPP		VAKS	
	(%)	(gr)		(%)	(gr)	(%)	(gr)	(%)	(gr)	(%)	(gr)
II.1	84	2520	EÖ.	10	300	0	0	3	90	3	90
II.2	88,14	2644,2		2,93	87,9	2,93	87,9	3	90	3	90
II.3	74	2220		17,07	512,1	2,93	87,9	3	90	3	90
II.4	84	2520		0	0	10	300	3	90	3	90
II.5	74	2220		10	300	10	300	3	90	3	90
II.6	64	1920		20	600	10	300	3	90	3	90
II.7	74	2220		2,93	87,9	17,07	512,1	3	90	3	90
II.8	59,86	1795,8		17,07	512,1	17,07	512,1	3	90	3	90
II.9	64	1920		10	300	20	600	3	90	3	90
II.10	84	2520		10	300	0	0	3	90	3	90
II.11	88,14	2644,2	ES	2,93	87,9	2,93	87,9	3	90	3	90
II.12	74	2220		17,07	512,1	2,93	87,9	3	90	3	90
II.13	84	2520		0	0	10	300	3	90	3	90
II.14	74	2220		10	300	10	300	3	90	3	90
II.15	64	1920		20	600	10	300	3	90	3	90
II.16	74	2220		2,93	87,9	17,07	512,1	3	90	3	90
II.17	59,86	1795,8		17,07	512,1	17,07	512,1	3	90	3	90
II.18	64	1920		10	300	20	600	3	90	3	90

ÜK: Üretim kodu, PT: Polimer tipi, PO: Polimer oranı (%), DMO: Dolgu maddesi oranı (%), MAPP: maleik anhidrit ile muamele edilmiş polipropilen, KOU: Kızılçam odun unu, MOS: Magnezyum oksisulfat, EÖ: Enjeksiyon öncesi Kullanım, ES: Ekstrüzyon öncesi kullanım, MOSK: MOS Kullanım zamanı. * Hesaplamalar ağırlıkça yapılmıştır.

3.1.5.3. Dolgu maddesi türü (sentetik temelli mineral lif, kızılçam odunu) kompozit yapı içerisinde kullanım oranının odun plastik kompozitlerin özelliklerine etkisinin belirlenmesi (III.)

Deney numunelerinin üretiminde dolgu maddesi türü sadece kızılçam odunu unu ve sentetik temelli mineral lif olarak (MOS) polipropilen içerisine hesaplamalar ağırlıkça yapılarak %0–20–40 oranında katılmıştır. Bu üretime ait olan levha tiplerinde MAPP ve

vaks oranı %3 oranında sabit tutulmuş ve kontrol numunelerinin üretimi için dolgu maddesi katılmadan üretimler gerçekleştirilmiştir. Bu üretime ait üretim reçetesi Çizelge 3.9’da ve iş akış şeması Şekil 3.11’de verilmiştir.



Şekil 3.11. Dolgu maddesi türü (sentetik temelli mineral lif, kızılçam odunu) kompozit yapı içerisinde kullanım oranının odun plastik kompozitlerin özelliklerine etkisinin belirlenmesi iş akış şeması.

Çizelge 3.9. Dolgu maddesi türü (sentetik temelli mineral lif, kızılçam odunu) kompozit yapı içerisinde kullanım oranının odun plastik kompozitlerin özelliklerine etkisinin belirlenmesi (III).

ÜK.	MH-418		MOS		KOU		MAPP		VAKS	
	(%)	(gr)	(%)	(gr)	(%)	(gr)	(%)	(gr)	(%)	(gr)
III.1	94	1880	-	0	0	0	3	60	3	60
III.2	84	1680	10	200	0	0	3	60	3	60
III.3	84	1680	0	0	10	200	3	60	3	60
III.4	74	1480	20	400	0	0	3	60	3	60
III.5	74	1480	0	0	20	400	3	60	3	60

ÜK: Üretim kodu, PT: Polimer tipi, PO: Polimer oranı(%), DMO: Dolgu maddesi oranı (%), MAPP: maleik anhidrit ile muamele edilmiş polipropilen, KOU: Kızılçam odunu MOS: Magnezyum oksisulfat, * Hesaplamalar ağırlıkça yapılmıştır.

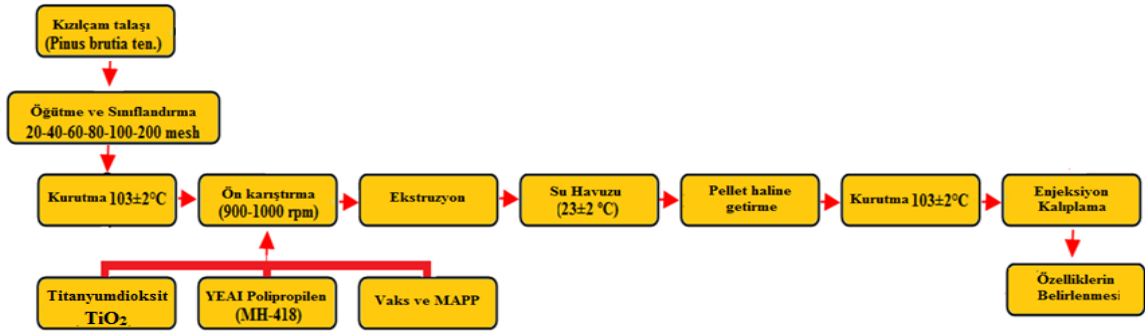
3.1.5.4. Farklı oranlarda ve parçacık büyüklüğünde (nano ve mikron) titanyum dioksit katılan kızılçam odunu ve plastik hammaddelerinin birlikte oluşturduğu odun plastik kompozitlerin özelliklerine etkisinin belirlenmesi (IV)

Deney numunelerinin üretiminde dolgu maddesi türü sadece kızılçam odunu unu polipropilen içerisine %0 ve 40 oranında katılmıştır. Bu üretimde, kompozit içerisine hesaplamalar ağırlıkça yapılarak %3–6–9 oranında nano ve mikron parçacık büyüklüğünde titanyum dioksit katılan bu üretime ait olan levha tiplerinde, MAPP ve vaks oranı %3 oranında sabit tutulmuş ve kontrol numunelerinin üretimi için dolgu maddesi katılmadan üretimler gerçekleştirilmiştir. Bu üretime ait üretim reçetesi Çizelge 3.10’da ve iş akış şeması Şekil 3.12’de verilmiştir.

Çizelge 3.10. Farklı oranlarda ve parçacık büyüklüğünde (Nano ve mikron) titanyum dioksit katılan kızılçam odunu ve plastik hammaddelerinin birlikte oluşturduğu odun plastik kompozitlerin özelliklerine etkisinin belirlenmesi (IV).

ÜK.	PT MH-418		KOU		Mikron TiO ₂		Nano TiO ₂		MAPP		VAKS	
	(%)	(gr)	(%)	(gr)	(%)	(gr)	(%)	(gr)	(%)	(gr)	(%)	(gr)
IV.1	54	1080	40	800	0	0	0	0	3	60	3	60
IV.2	94	1880	0	0	0	0	0	0	3	60	3	60
IV.3	54	1080	40	800	3	90	0	0	3	60	3	60
IV.4	91	1790	0	0	3	90	0	0	3	60	3	60
IV.5	54	1080	40	800	0	0	3	90	3	60	3	60
IV.6	91	1790	0	0	0	0	3	90	3	60	3	60
IV.7	48	960	40	800	6	120	0	0	3	60	3	60
IV.8	88	1760	0	0	6	120	0	0	3	60	3	60
IV.9	48	960	40	800	0	0	6	120	3	60	3	60
IV.10	88	1760	0	0	0	0	6	120	3	60	3	60
IV.11	45	900	40	800	9	180	0	0	3	60	3	60
IV.12	85	1700	0	0	9	180	0	0	3	60	3	60
IV.13	45	900	40	800	0	0	9	180	3	60	3	60
IV.14	85	1700	0	0	0	0	9	180	3	60	3	60

ÜK: Üretim kodu, PT: Polimer tipi, PO: Polimer oranı (%), MAPP: maleik anhidrit ile muamele edilmiş polipropilen, KOU: Kızılçam odunu, TiO₂: Titanyumdioksit, * Hesaplamalar ağırlıkça yapılmıştır.



Şekil 3.12. Farklı oranlarda ve parçacık büyüklüğünde (nano ve mikron) titanyum dioksit katılan kızılçam odunu ve plastik hammaddelerinin birlikte oluşturduğu odun plastik kompozitlerin özelliklerine etkisinin belirlenmesi.

3.2. Metot

3.2.1. Fiziksel özelliklerin belirlenmesi

Malzemelerin fiziksel özelliklerinin belirlenmesi genel olarak, yoğunluğun belirlenmesi, hacmin belirlenmesi, viskozite, su alma ve boyutsal sabitlik gibi özelliklerin belirlendiği deneylerdir. Bu deneyler, malzemelerin özelliklerinin belirlenmesinde ve tanımlanmasında yardımcı olur. Tez kapsamında üretilen odun plastik kompozitlerin fiziksel özelliklerin belirlenmesinde; yoğunluğun belirlenmesi, sıvı içerisinde yoğunluğun belirlenmesi, su alma oranının ve kalınlıkça artış oranının belirlenmesi ile ilgili deneyler yapılmıştır.

3.2.1.1. Yoğunluğun belirlenmesi

Yoğunluğun belirlenmesinde, yoğunluk belirlemede kullanılan deney numuneleri kullanılmıştır. Yoğunluklarının belirlenmesinde ASTM D 792 standardında belirtilen esaslara göre 23°C’de saf su içerisinde ve gazdan arındırılmış ortamda yoğunluk belirlenmiştir. Hava kurusu haldeki ağırlıkları ve ölçüleri belirlenen deney numuneleri saplanma özelliği olan bir batırıcı yardımı ile destile su içerisine tamamen daldırılarak ağırlıkları tespit edilmiştir. Bu nedenle, bir beher içerisine oda sıcaklığındaki (23 °C ± 2) destile su konulmuş, 0.01 gr duyarlılık analitik terazide su, beherin ve daldırıcının ağırlıkları belirlenerek darası alınmıştır. Terazinin yanına konulan özel bir platform ile batırıcıya saplanmış deney numunesinin sabit kalması sağlanarak ölçümler gerçekleştirilmiştir. Yoğunluğun belirlenmesinde kullanılan deney düzeneğinin görüntüsü (Şekil 3.13.A) ile deney numunesinin şekli ve boyutları Şekil 3.13.B’de gösterilmiştir. Ağırlıkları ve ölçüleri belirlenen deney numunelerinin yoğunluklarının hesaplanmasında aşağıdaki denklem (3.1) kullanılmıştır.

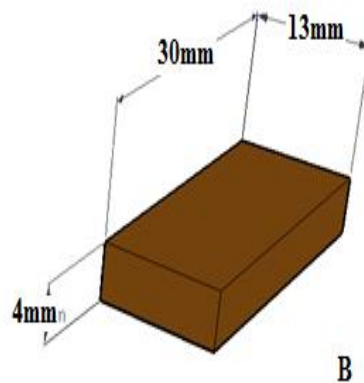
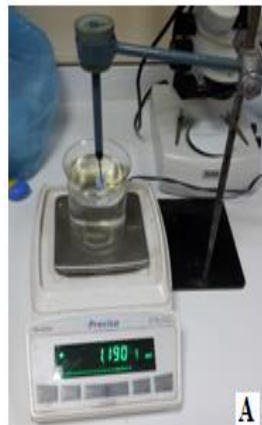
$$\text{Yoğunluk} = d_s \times \frac{m_h}{m_s} (\text{gr/cm}^3) \quad (3.1)$$

Burada:

M_h = Örneğin havadaki ağırlığı(g),

M_s = Örneğin sudaki ağırlığı(g),

d_s = Suyun yoğunluğu = (23 °C ± 0,10’ ta 0,9975 g/ cm³).



Şekil 3.13. Yoğunluğun belirlenmesinde kullanılan deney numunesinin şekil ve boyutları (A), deney düzeneğinin görüntüsü (B).

3.2.1.3. Su alma oranının belirlenmesi

Odun plastik kompozitlerin su alma miktarının belirlenmesinde, çekme direncinin belirlenmesinde kullanılan deney numuneleri kullanılmıştır. Bu nedenle, çekme direnci deney numunelerinden deney sonrası kalan parçaların kulak kısımlarından deney numuneleri kesilerek kullanılmıştır. Deney numuneleri 5x20x20 mm (kalınlık x genişlik x boy) ölçülerinde her bir üretim kodunun her değişken parametresi için 5 adet olmak üzere, toplam 445 adet dikdörtgen prizma şeklinde deney numunesi hazırlanmıştır.

Deney numunelerinin ağırlıkları 0.001 gr duyarlıklı analitik terazide tartıldıktan sonra, içerisindeki destile suyun sıcaklığı $20\pm1^{\circ}\text{C}$ olan deney düzeneğinin içine, numuneler birbirine değmeyecek ve su yüzeyinden 25 mm aşağıda olacak şekilde özel kovalara yerleştirilen deney numunelerinin her taraftan su alabileceği şekilde bir düzenek hazırlanmıştır. Deney numunelerinin ağırlıkları 2, 6, 12, 24, 48, 72, 96, 120, 144, 168 ay süreyle ilk bir haftalık su alma oranları belirlenmiştir. Daha sonra 336, 504, 1244, 1944 ay süreyle periyodik ağırlıkları belirlenmiştir. Deney numuneleri sudan her çıkarıldığında çıkarılan numunelerin üzerindeki su temiz bir bezle silinmiş ve ağırlıkları 0.001 gr duyarlıklı analitik terazide tartılarak belirlenmiş ve deney numunelerinin içerisine konulduğu destile su her defasında değiştirilmiştir. Su içerisinde bekletilen deney numunelerinin ağırlıkları belirlenerek su alma miktarının hesaplanmasında aşağıdaki denklem (3.3) kullanılmıştır.

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

Burada:

Gt: su alma miktarı (%),

t_1 : Deney numunesinin ilk ağırlığı (gr),

t_2 : Deney numunesinin son ağırlığı (gr).

3.2.1.4. Kalınlığına artış oranının belirlenmesi

Odun plastik kompozitlerin kalınlık artış oranlarının belirlenmesinde, su alma miktarının belirlenmesinde kullanılan deney numuneleri kullanılmıştır. Deney numunelerinin kalınlıkları 0.001 mm duyarlıklı dijital komparatör ayinde ölçülmüştür. Özel kovalara yerleştirilen deney numunelerinin her taraftan su alabileceği şekilde bir

düzenek hazırlanmıştır. İçerisindeki destile suyun sıcaklığı 20 ± 1 °C olan deney düzeneğinin içine numuneler birbirine değmeyecek şekilde su yüzeyinden 25 mm aşağıda olarak konulmuştur. Deney numunelerinin ağırlıkları 2, 6, 12, 24, 48, 72, 96, 120, 144, 168 ay süreyle ilk bir haftalık su alma oranları belirlenmiştir. Daha sonra 336, 504, 1244, 1944 ay süreyle periyodik ağırlıkları belirlenmiştir. Deney numunelerinin tam eksen ve her numunenin kenarlarından 5 mm içeriden olmak üzere 5 nokta belirlenmiş ve bunların ortalaması alınmıştır. Deney numuneleri sudan her çıkarıldığında çıkarılan numunelerin üzerindeki su temiz bir bezle silinmiş ve kalınlıkları 0.001 mm duyarlılıklı dijital mikrometre ile ölçülmüştür. Kalınlık artış oranının belirlenmesinde kullanılan deney numunesinin şekil ve boyutları ile deneyde kullanılan komparatör ayinin görüntüsü Şekil 3.14’te verilmiştir. Su içerisinde bekletilen deney numunelerinin kalınlıkları belirlenerek kalınlık artış oranının hesaplanmasında aşağıdaki denklem (3.3) kullanılmıştır.

$$G_t = \frac{t_2 - t_1}{t_1} \times 100(\%) \quad (3.3)$$

Burada:

G_t : su alma miktarı (%),

t_1 : Deney numunesinin ilk ağırlığı (gr),

t_2 : Deney numunesinin son ağırlığı (gr).



Şekil 3.14. Kalınlık artış oranının belirlenmesinde kullanılan deney numunesinin şekil ve boyutları ile numunelerin ölçmesinde kullanılan komparatör saati.

3.2.2. Mekanik özelliklerin belirlenmesi

Mekanik özellikler; boyut ve şekil değişimleri (deformasyon), gerilme ve kırılmalara yol açan mekanik cinsten dış kuvvetler, çeşitli yüklemelerin etkilerine karşı ağaç malzemenin karşı koyma derecesi ve durumunu belirtmektedir. Malzemenin dış

kuvvetlerin bu etkilerine karşı koyması, tesir eden kuvvetin veya yapılan yüklemenin büyüklüğüne, yönüne, türüne, zaman ölçüsüne bağlı bulunmaktadır. Ağaç malzeme üzerine yapılan yüklemeler basınç, çekme, eğme, makaslama ve burkulma şeklinde olabilir (Bozkurt ve Göker, 1987). Mekanik deneyler, malzemenin çekme ve basma özelliklerinin yanı sıra sürünme, eğilme, yorulma, kayma, darbe ve sertlik gibi diğer mekanik özelliklerinin de tayininde uygulanan deneyleri kapsamaktadır.

Odun plastik kompozitlerin mekanik özelliklerinin belirlenmesinde; statik eğilme dayanımı direnci (ED), elastikiyet modülü (EM), Darbe direnci (DED), çekme direncinin tayini (ÇD), çekmede elastikiyet modülü (EM), çekmede kopmada uzama miktarının belirlenmesi, Sertlik tayini (SS) ve gerilme gevşeme denemeleri yapılmıştır. Deney numunelerinin mekanik özelliklerin belirlenmesinde ilgili Amerikan Standartları (ASTM)'nda belirtilen esaslara uyulmuştur.

3.2.2.1. Eğilme direncinin belirlenmesi

Odun plastik kompozitlerin eğilme direncinin belirlenmesi için, ASTM D 790 (2004) standardında belirlenen esaslara uygun olarak 4x13x165 mm (kalınlık x genişlik x boy) ölçülerinde her bir üretim kodunun her bir değişken parametresi için 5 adet olmak üzere toplam 445 adet deney numunesi hazırlanmıştır. Eğilme direnci deneyi için, deney numuneleri enjeksiyon makinesinde hazır kalıplar yardımıyla üretilmiştir. Deney numunelerinin boyutları, deneye başlanmadan 0,001 mm duyarlıktaki mikrometre ile ölçülerek belirlenmiştir. Deneyler, KSU Orman Fakültesi Orman Endüstri Mühendisliği bölümündeki Zwick/Roell Z010 Ünlversal Test Makinesi kullanılarak yapılmıştır. Deney parçasının yerleştirildiği silindirik mesnetlerin merkezleri arasındaki uzaklık; 80 mm, 3 noktadan eğme testi ve test hızı 2 mm/dak. olacak şekilde ayarlanmıştır. Yük, deney parçasının yüzeyine değişmez bir hızla yeknesak olarak yüklenmiş ve deney hızı, deney parçaları yüklenmeye başladıktan 1,5 ± 0,5 min sonra kırılacak şekilde ayarlanmıştır. Kırılma anındaki kuvvet (P_{max}) okunup eğilme direnci (σ_E) aşağıdaki denkleme (3.4) göre hesaplanmıştır. Statik eğilme dayanımının tayini için kullanılan test makinesinin görüntüsü (Şekil 3.15.A) ve kullanılan deney numunelerinin şekil ve boyutları ise (Şekil 3.15.B)'de gösterilmiştir.

$$\sigma_E = \frac{3 \cdot P_{\max} \cdot L}{2 \cdot b \cdot h^2} \left(\text{N/mm}^2 \right) \quad (3.4)$$

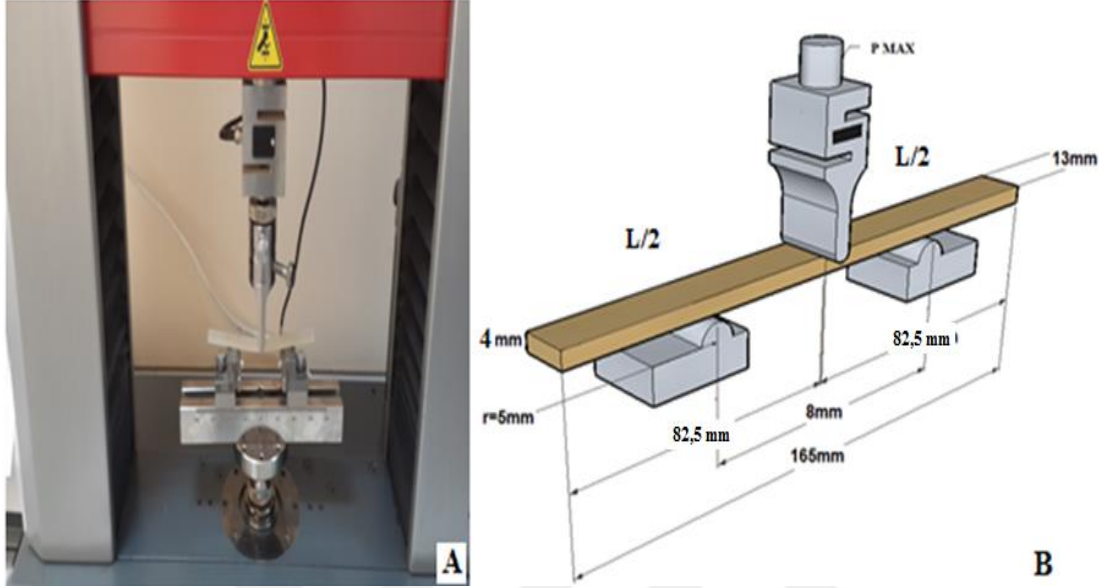
Burada:

P_{max} = kırılma anında uygulanan maksimum yük (N),

L = silindirik mesnetlerin merkezleri arasındaki uzaklık (mm),

b = deney parçasının eni (mm),

h = deney parçasının kalınlığı (mm).



Şekil 3.15. Eğilme direncinin belirlenmesinde kullanılan test makinesi(A), numunenin şekil ve boyutları (B) (Foto ve çizim; Çavuş, 2017).

3.2.2.2. Elastikiyet modülünün belirlenmesi

Odun plastik kompozitlerin üzerine uygulanan düşük gerilmelerde meydana gelen şekil değişiminin, yük kaldırıldıktan sonra tamamen ortadan kalkması şeklin geri kazanılması özelliğini ortaya koyabilmek için elastikiyet modülü belirlenmiştir. Odun plastik kompozitlerin elastikiyet modülünün belirlenmesinde ASTM D 790 (2004) standardında belirlenen esaslara uyulmuştur. Elastikiyet modülünün belirlenmesinde, eğilme direncinin belirlenmesinde kullanılan deney örnekleri kullanılmıştır. Elastik deformasyon bölgesinde uygulanan kuvvet farkı (ΔF) için örnekteki eğilme miktarları farkı (Δf) yardımı ile elastiklik modülü (E), aşağıdaki denklemden (3.5) yararlanılarak hesaplanmıştır.

$$E = \frac{\Delta F \cdot L^3}{4 \cdot b \cdot h^3 \Delta f} \text{ (N/mm}^2\text{)} \quad (3.5)$$

Burada:

ΔF = Elastik deformasyon bölgesinde yüklemenin alt ve üst limitlerinin aritmetik ortalamaları arasındaki farka eşit kuvvet (N),

L = Dayanak noktaları arasındaki açıklık (mm),

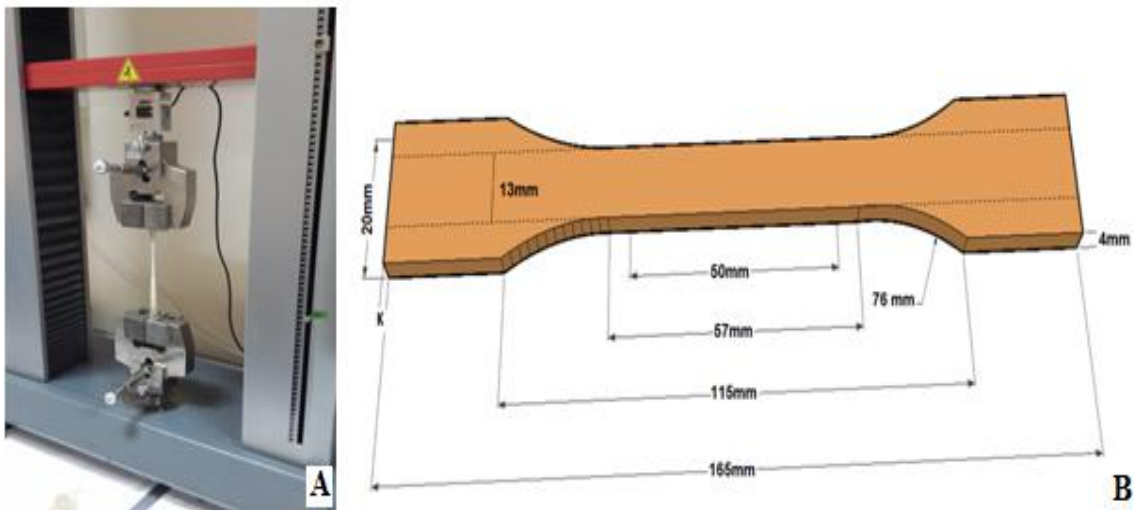
Δf = Net eğilme alanındaki sehim, yüklemenin alt ve üst limitlerinde ölçülen sehimlere ait sonuçların aritmetik ortalamaları arasındaki fark (mm),

b = Deney parçasının en kesit genişliği (mm),

h = Deney parçasının en kesit kalınlığı (mm).

3.2.2.3. Çekme direncinin belirlenmesi

Odun plastik kompozitlerin, çekme direncinin belirlenmesi için ASTM D 638 standardına uygun olarak, her bir üretim kodunun her bir değişken parametresi için 5 adet olmak üzere, toplam 445 adet deney numunesi hazırlanmıştır. Deney numunelerinin boyutları (kuvvetin uygulandığı enine kesit alanı) deneye başlanmadan 0,001 mm duyarlıktaki mikrometre ile ölçülerek belirlenmiştir. Deneyler KSU Orman Fakültesi Orman Endüstri Mühendisliği bölümündeki Zwick/Roell Z010 Üniversal Test Makinesi kullanılarak yapılmıştır. Çekme direncinin belirlenmesi için test makinesinin hızı 5 mm/dak. olacak şekilde ayarlanmıştır. Deney numuneleri her iki ucundan üniversal test cihazının çekme çenelerine tutturulmuş ve deney numunelerinin uçlarından zıt yönde kuvvet uygulanması ile deney yapılmıştır. Deney numunelerinin kırılma anındaki P_{max} belirlenerek çekme direnci aşağıdaki denkleme (3.6) göre hesaplanmıştır. Çekme direncinin tayini için kullanılan deney numunelerinin şekil ve boyutları (Şekil 3.16.A) ve kullanılan test makinesinin görüntüsü ise (Şekil 3.16.B)'de gösterilmiştir.



Şekil 3.16. Çekme direncinin belirlenmesinde kullanılan test makinesi (A) numunenin şekil ve boyutları (B), (Foto ve çizim; Çavuş, 2017).

$$\sigma_{z//} = \frac{P_{\max}}{a.b} \text{ N / mm}^2 \quad (3.6)$$

Burada:

$\sigma_{z//}$ = Çekme direnci (N/mm²),

$P_{\max}$ = En büyük yük (N),

a ve b = Deney parçasının enine kesit boyutları (mm²).

Çekmede elastikiyet modülünün belirlenmesi

Odun plastik kompozitlerin çekmede elastikiyet modülünün belirlenmesinde, ASTM D 638 standardında belirlenen esaslara uyulmuştur. Çekmede elastikiyet modülünün belirlenmesinde, çekme direncinin belirlenmesinde kullanılan deney numuneleri kullanılmıştır. Elastik deformasyon bölgesinde uygulanan kuvvet ($\delta_{\text{çd}}$) ve çekme deneyi kopma sırasında oluşan birim uzama (ϵ) yardımı ile elastiklik modülü (E), aşağıdaki denklemden (3.7) yararlanılarak hesaplanmıştır.

$$E = \frac{\delta_{\text{çd}}}{\epsilon} \text{ N / mm}^2 \quad (3.7)$$

Burada:

E = Çekmede Elastikiyet Modülü (N/ mm²),

$\delta_{\text{çd}}$ = Çekme Direnci (N/ mm²),

ϵ = Çekme deneyi kopma sırasında oluşan birim uzama.

Kopmada uzama miktarının belirlenmesi

Odun plastik kompozitlerin çekmede kopma uzama miktarının belirlenmesinde ASTM D 638 standardında belirlenen esaslara uyulmuştur. Kopmada uzama miktarının belirlenmesinde, çekme direncinin belirlenmesinde kullanılan deney numuneleri kullanılmıştır. Birim uzama (mm) (ΔL) ve çekme deneyi örnek boyu (mm) (L_0) yardımı ile elastiklik modülü (E), aşağıdaki denklemden (3.8) yararlanılarak hesaplanmıştır.

$$\epsilon = \frac{\Delta L}{L_0} \text{ N / mm}^2 \quad (3.8)$$

Burada:

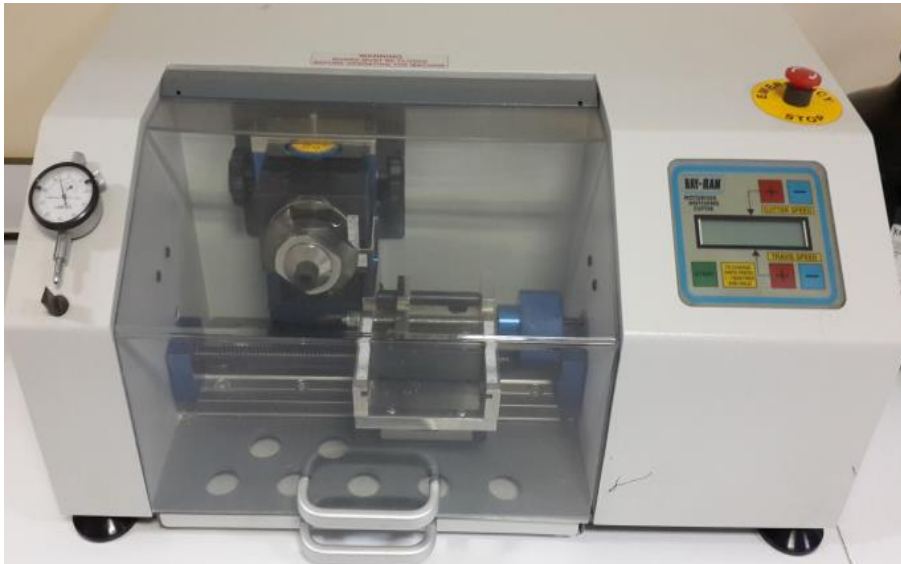
ΔL = Birim uzama (mm),

L_0 = Örnek boyu (mm),

ε = Kopmada uzama miktarı (%).

3.2.2.4. Darbe direncinin belirlenmesi

Malzemeler alet sapı, ambalaj, döşeme, spor malzemesi ve bunlar gibi bazı kullanım yerlerinde şok şeklinde etkilere de maruz kalabilmektedir. Bu tür yüklemelere karşı koyma derecesini saptayabilmek için dinamik eğilme direnci araştırılmıştır. Darbe direncinin belirlenmesi ASTM D 256 standartında belirlenen esaslara uygun olarak 4 x 13 x 65 mm (kalınlık x genişlik x boy) ölçülerinde her bir üretim kodunun her değişken parametresi için 6 adet olmak üzere, toplam 487 adet deney numunesi hazırlanmıştır. Deney numuneleri, eğilme direnci için kullanılan deney numunelerinden deney sonrası kalan parçalar kesilerek kullanılmıştır. Deney numunelerinin boyutları (kuvvetin uygulandığı enine kesit alanı) deneye başlanılmadan 0,001 mm duyarlıdaki mikrometre ile ölçülerek belirlenmiştir. Deney numunelerine, deneye başlanmadan Polytect Rayran çentik açma makinesi (Şekil 3.17) ile tam orta kısmından çentik açılmıştır. Çentik açılan deney numunelerinin Darbe direnci, KSÜ Orman Fakültesinde bulunan Zwick/Roell HIT 5.5P makinesinde belirlenmiştir.



Şekil 3.17. Zwick/Roell HIT 5.5P çentik açma makinesi (Foto; Çavuş, 2017).

Hazırlanan deney numuneleri, darbe direnci test makinesine yerleştirilerek deneye başlanmıştır ve deney numunesinin kırılması için gerekli enerji (Q) belirlenmiştir. Bu

testte, deney numunesi cihaza dik bir şekilde yerleştirilir, yukarıdan serbest bırakılan çekiç deney numunesine çarpar ve deney numunesinin kırılmasına neden olur. Bu kırılma sırasında cihaz tarafından belirlenen enerji değeri, malzemenin sönümleyebileceği maksimum enerjiyi göstermektedir. Dinamik eğilme direnci (DE) aşağıdaki denklemden (3.9) yararlanılarak, deney sırasında Zwick/Roell HIT5.5P. darbe test cihazına ait bilgisayar programında j/m cinsinden otomatik olarak hesaplanmıştır. Darbe direnci için kullanılan deney numunelerinin şekli ve boyutları (Şekil 3.18.A), deneyin şematik görünümü (Şekil 3.18.B) ile Zwick/Roell HIT5.5P. darbe makinesinin görüntüsü (Şekil 3.18.C)'de verilmiştir.

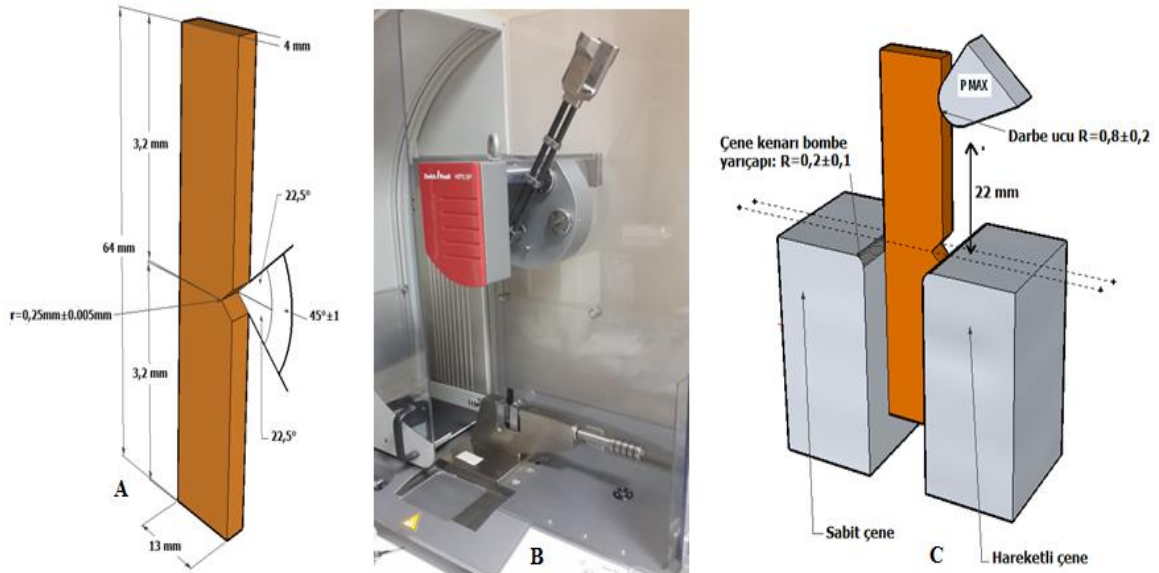
$$DE = \frac{Q}{b \times h} \left(J / cm^2 \right) \quad (3.9)$$

Burada:

DE = Dinamik eğilme direnci (J/cm^2),

Q = Deney numunesinin kırılması için gerekli enerji. 0.1 kgf.m (jul),

b ve h = Deney numunesinin radyal ve teğetsel yönlerdeki boyutları (cm^2).

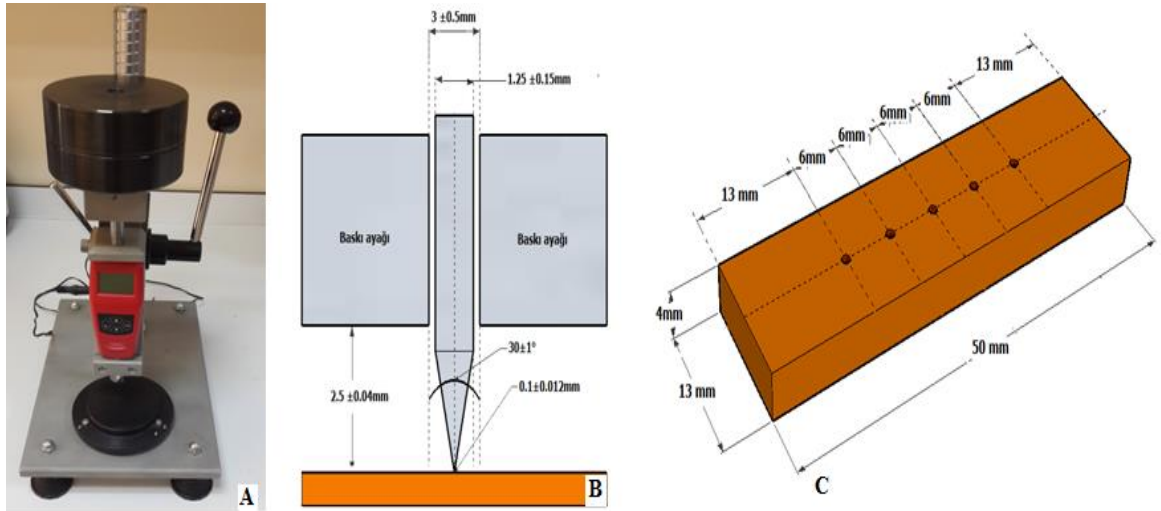


Şekil 3.18. Deney numunelerinin şekil ile boyutları ve Zwick/Roell HIT5.5P. darbe makinesi (Foto ve çizim; Çavuş, 2017).

3.2.2.5. Sertlik direncinin belirlenmesi

Sertlik, malzemenin içerisine girmeye çalışan daha sert bir cisme karşı göstermiş olduğu dirençtir. Sertlik direncinin belirlenmesinde eğilme direnci, çekme direnci ve darbe

direnci deney numunelerinden deney sonrası kalan parçalar kesilerek kullanılmıştır. Buna göre, 3x13x50 mm (kalınlık x genişlik x boy) ölçülerinde her bir üretim kodunun her değişken parametresi için 5 adet olmak üzere, toplam 445 adet dikdörtgen prizma şeklinde deney numunesi hazırlanmıştır. Odun plastik kompozitlerin sertlik ölçme deneyleri, ASTM D22-40 standardına uygun olarak sertlik ölçme cihazı (Shoremetre- D) ile yapılmıştır. Bu yöntemde, belirli şartlarda deney numunesine batırılan belirli bir ucun batma miktarı ölçülmektedir. Sertlik, batma miktarı ile ters orantılıdır. Deney numuneleri cihaz tablasına yerleştirilerek deney numunelerinin yüzeylerine Shoremetrenin ölçüm iğnesi batırılmış ve batma işleminden 1 s sonra deney numunelerinin gösterdiği direnç, Shore-D cinsinden cihaz göstergesinden alınarak Excel programına kaydedilmiştir. Doğru ve tutarlı bir sertlik ölçüm değeri, elde etmek için sertlik değeri, her bir deney numunesinin hep aynı yüzeyinden ve birbirinden en az 6 mm uzaklıktaki 5 farklı değişik noktastan sertlik değeri okunmuştur. Elde edilen beş sertlik değerinin ortalaması alınarak deney numunesinin sertliği tespit edilmiştir. Deney numunelerinin sertlik ölçümleri $22\pm3^{\circ}\text{C}$ sıcaklık ve $\%50\pm10$ nem oranında gerçekleştirilmiştir. Deneyler sırasında baskı ayağının, örneklerin yüzeylerine paralel olarak oturması sağlanmış ve deneyin, darbesiz olarak mümkün olduğunca hızlı bir şekilde uygulanmıştır. Duotech marka M202 model shore sertlik cihazı (Şekil 3.19.A), cihazın şematik görünümü (Şekil 3.19.B) ve deney numunesi ile sertlik ölçümlerinin alındığı noktalar (Şekil 3.19.C) Şekil 3.19’da gösterilmiştir.

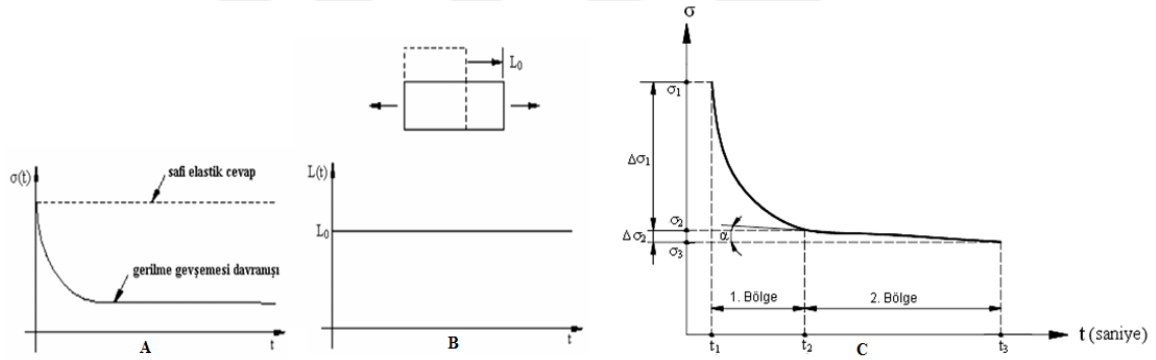


Şekil 3.19. Shore sertlik cihazı(A), deney numunesi(B), ölçümlerinin alındığı noktalar (C), (Foto ve çizim; Çavuş, 2017).

3.2.2.6. Gerilme gevşemesinin belirlenmesi

Gerilme gevşemesi, germe halinde sabit boyda tutulmuş malzemede zamanla meydana gelen gerilme azalması olarak tanımlanır. Diğer bir deyişle, gerilme gevşemesi,

sürünme şartları altında sabit şekil değişiminde oluşan gerilme azalmasıdır. Gerilme gevşemesi oluştuğunda, gerilme sabit bir şekil değişimi sağlamak için zamanın fonksiyonu olarak azalır (Mazlum, 2008). Genellikle iki tür gerilme gevşemesi deneyi yapılmaktadır. Bunlardan birincisi sürekli ölçüm, ikincisi ise aralıklı ölçüm sistemi olarak adlandırılmıştır. Sürekli ölçüm tekniğinde, numune belli bir deformasyona kadar deforme edilir ve o deformasyonda gerilme-zaman davranışı incelenir. Aralıklı ölçüm sisteminde ise malzeme kısa aralıklarla, periyodik olarak, belirlenen deformasyona kadar deforme edilmektedir (Vahapoğlu, 2006). Son yıllara kadar, malzemelerin mukavemet ve plastik özelliklerini belirleme çalışmalarında kullanılan iki ana deney, sabit hızda aktif deformasyon ve sürünme deneyleri idi. Son yıllarda gerilme gevşemesi olarak adlandırılan yöntem, hızla popüler olmuştur (Mazlum, 2008). Gerilme gevşemesi testinde numune belirli bir deformasyona kadar belirli bir hızda çekilir. Bu deformasyon değerinde maksimum gerilme değerine ulaşmış olan numunede zamanla gerilmedeki düşüşün izlenmesi şeklinde bir prosedür izlenmektedir (Şekil 3.20 A ve B.).

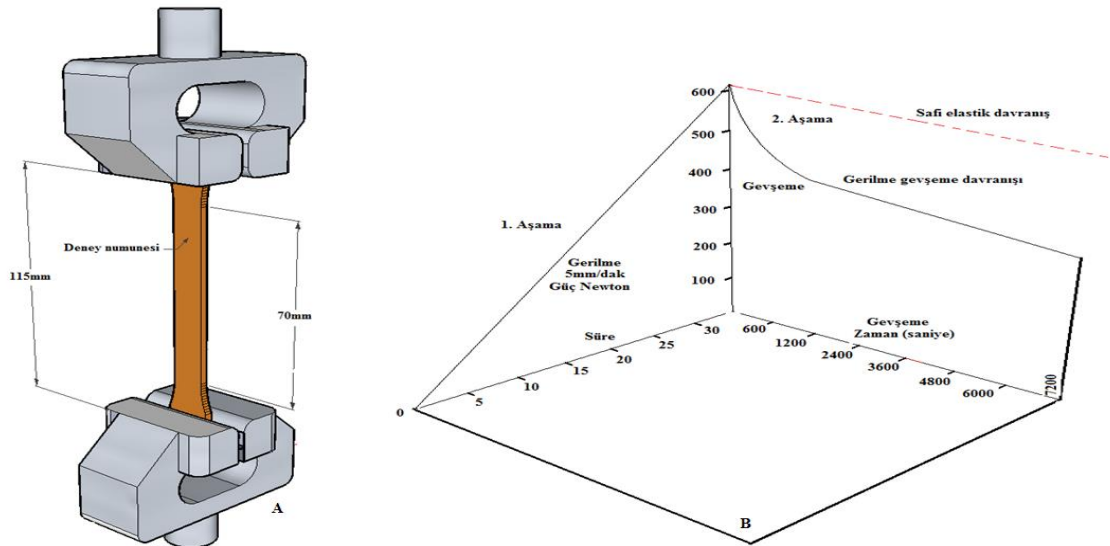


Şekil 3.20. Gerilme gevşemesi deneyleri (A ve B), gerilme-zaman verileri için tanımlamalar (C).

Şekil 20.C’de, sabit uzama oranına göre gerilme-zaman verileri tanımlanmıştır. Burada, gerilmenin maksimum olduğu σ_1 değeri t_1 zamanına karşılık gelmektedir. t_2 zamanı 2 ay sonraki zaman dilimini, σ_2 ise eksponansiyelliğin bitip yaklaşık lineerliğin başladığı noktadaki gerilme değerini vermektedir. Burada σ_1 maksimum gerilme değerinden σ_2 gerilmesine kadar t_1 - t_2 zaman dilimi boyunca azalan bu grafiğin altındaki bölge, 1. Bölge olarak ifade edilir. Ayrıca, σ_3 gerilmesi t_3 zaman dilimi sonunda elde edilen minimum gerilme değeridir. Şekil 19’da görüldüğü gibi, σ_2 gerilmesinden σ_3 gerilmesine kadar t_2 - t_3 zaman dilimleri arasında lineer bir azalma söz konusudur. Azalan bu lineer eğrinin altında kalan alan ise, 2. Bölge olarak ifade edilir. 2.Bölge yani yaklaşık lineerliğin olduğu bölgedeki eğrinin yatayla yaptığı açı değeri α olarak ifade

edilmektedir. Eğrinin σ_1 'den σ_2 gerilme değerine düşmesi sonucu, $(\Delta\sigma_1)$ gerilme düşüşü değeri elde edilir. Bu değer görüldüğü gibi, ani düşüşten dolayı biraz büyüktür. 2. Bölgede yani σ_2 gerilme değerinden σ_3 minimum gerilme değerine kadar düşüş ise, $(\Delta\sigma_2)$ gerilme düşüşü değeri olarak ifade edilmektedir (Mazlum, 2008).

Odun plastik kompozitlerin, gerilme gevşemesinin belirlenmesi için ASTM D 638 standardına uygun olarak, her bir üretim kodunun her bir değişken parametresi için 3 adet olmak üzere toplam 267 adet çekme deney numunesi hazırlanmıştır. Deney numunelerinin boyutları (kuvvetin uygulandığı enine kesit alanı) deneye başlanmadan 0,001 mm duyarlıdaki mikrometre ile ölçülerek belirlenmiştir. Deneyler, KSU Orman Fakültesi Orman Endüstri Mühendisliği bölümündeki Zwick/Roell Z010 Üniversal Test Makinesi kullanılarak yapılmıştır. Bu makine, tek eksenli çekme yeteneğine sahip bir test makinesidir. Gerilme gevşemesi deneyleri oda sıcaklığında $23\pm 2^{\circ}\text{C}$ ve sürekli tip ölçüm sistemi ile gerçekleştirilmiştir. İlk önce malzeme özellikleri, deney şartları, yapılacak deneyin özel prosedür bilgileri bilgisayara girilerek deney numunesi, tutma çeneleri arasına bağlanmış ve deneye hazır hale getirilmiştir. Tek eksenli deney düzeneğine yerleştirilen deney numuneleri, 5mm/dakika ve 600 newton kuvvet çekme hızıyla deforme edilmiş, 7200 saniye beklenerek deney gerçekleştirilmiştir. Deneyin gelişim seyri bire bir bilgisayar ekranından takip edilmiştir. Gerilme gevşemesi deney numunesi (Şekil 3.21.A) ve deneyin şematik gösterimi (Şekil 3.21.B)'de gösterilmiştir.



Şekil 3.21. Gerilme gevşemesi deney numunesi (A), deneyin şematik gösterimi (B), (Foto ve çizim; Çavuş, 2017).

3.2.3. Doğrusal yanma hızının belirlenmesi

Yanmazlık deneyleri, malzemelerin alev karşısında gösterdikleri davranışları ve alevlenmeleri için gerekli olan ortam şartlarını belirlemede kullanılır. Odun plastik kompozitlerin içerisinde yer alan odun ve polimer, yanma özelliği taşıyan malzemelerdir. Ateşin yayılması ve ortaya çıkan duman miktarının bilinmesi, odun plastik kompozitler için büyük önem taşımaktadır. Odun plastik kompozitlerin, doğrusal yanma hızının belirlenmesi için ASTM D 635 standardında belirlenen esaslara uygun olarak 4 x 13 x 125 mm (kalınlık x genişlik x boy) ölçülerinde her bir üretim kodunun her değişken parametresi için 10 adet olmak üzere toplam 470 adet deney numunesi hazırlanmıştır. Hazırlanan deney numuneleri, deneye başlanmadan sıcaklığı 23 ± 2 °C ve $\%50 \pm 5$ bağıl nemde denge rutubetine ulaşmaya kadar 48 ay boyunca kondisyonlanmıştır. Doğrusal yanma hızının testleri, KSU Orman Fakültesi Orman Endüstri Mühendisliği bölümündeki Atlas marka HVUL2 (Horizontal Vertical Flame Chamber) model yakma kabini içinde gerçekleştirilmiştir. Testler, plastik sanayinde geçerli bir test yöntemi olan ASTM D 635 standardında belirtildiği şekilde yatay yapılmıştır. Üretilen deney numunelerinin alev karşı dayanıklılığının tespiti ve alev teması sonrasında yatay konumdaki numunenin alev yayılma hızı ve yanma davranışları tespit edilmiştir. Deneye başlanmadan önce deney numunelerinin her iki kafasından 2,54 cm ve ortada ise 7,62 cm kalacak şekilde markalama yapılmıştır. Yatay deney numunesinin mm/dakika cinsinden doğrusal yanma hızı ve oranı, deney numunelerin kalınlığı 4 mm olduğu için 38 mm/dakika olarak standartta belirtilmiştir. Belirtilen yöntemle göre 30 saniye veya 2,54 cm markalanmış çizgiye kadar alev teması sonrasında, yatay konumdaki numune gruplarının doğrusal yanma hızı ve oranı hesaplanmıştır. Doğrusal yanma hızının belirlenmesinde aşağıdaki denklemden (3.10) yararlanılarak hesaplanmıştır.

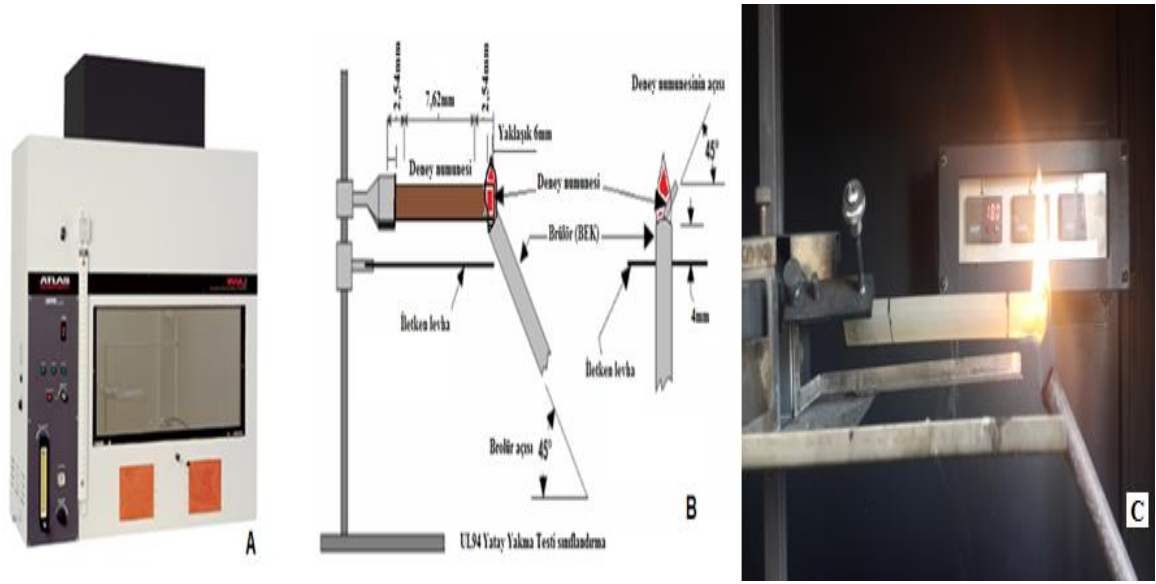
$$V = \frac{60L}{t} (mm / san.) \quad (3.10)$$

Burada:

V = Doğrusal yanma hızı (mm/san.),

L = Deney numunesinin yanması için çizilen iki markalama arasındaki mesafe (10 mm),

t = Deney numunesinin yanma zamanı (saniye).



Şekil 3.22. Yatay veya dikey yakma test cihazı (A), yanma testinin şematik gösterimi (B) ve yanma testi (C) (Foto ve çizim; Çavuş, 2017).

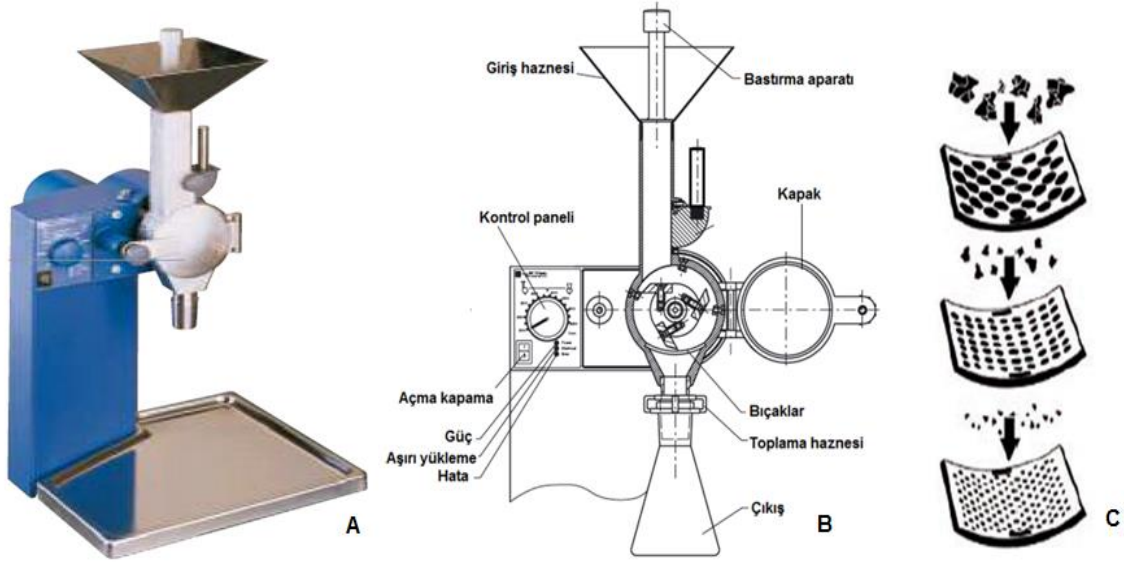
Deney numunelerinin elde edilen verilere göre sınıflandırılmasına ait değerlendirme ölçütleri Çizelge 3.11’de ve yatay/dikey yakma cihazı (Şekil 3.22.A) yanma testinin şematik gösterimi (Şekil 3.22.B)’de gösterilmiştir.

Çizelge 3.11. UL94VB testi yanma sınıfı.

No	Sınıflandırma	V0	V1	V2
1	Her yakmadan sonra kendini söndürme zamanı	≤ 10 sn	≤ 30 sn	≤ 30 sn
2	10 uygulama sonrası toplam zaman	≤ 50 sn	≤ 250 sn	≤ 250 sn
3	Parçanın tamamen yanması	Hayır	Hayır	Hayır
4	Pamuğun damlayan parçalar ile alev alması	Hayır	Hayır	Evet

3.2.3.1. Odun plastik kompozitlerin özelliklerinin belirlenmesinde kullanılan analizler

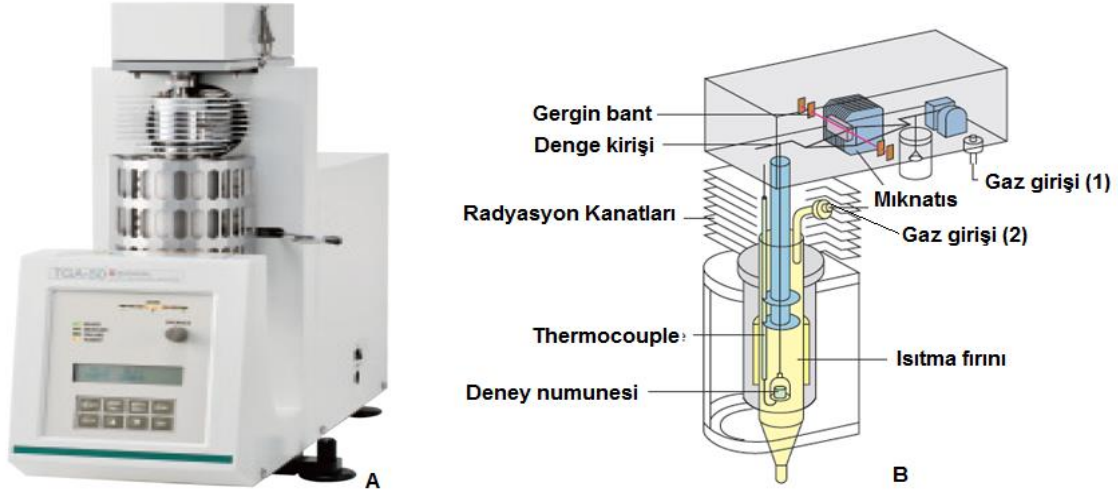
Bu aşamada, ekstruder sonrası üretilen granüllerden ve enjeksiyon üretim sonrasında elde edilen deney numunelerinden yararlanılmıştır. Termogravimetrik analiz (TGA), diferansiyel taramalı kalorimetre (DSC) ve taramalı elektron mikroskobu (SEM) analizleri yapılmıştır. Termogravimetrik analiz (TGA) ve diferansiyel taramalı kalorimetre (DSC) analizleri için hazırlanan numuneler, IKA marka öğütücüde 1 mm boyutuna kadar öğütülmüştür. Deney numunelerinin öğütülmesi, KSÜ Orman Fakültesinde bulunan IKA marka öğütücünün görüntüsü (Şekil 3.23.A), şematik görünümü (Şekil 3.23.B) ve elek tipleri (Şekil 3.23.C) Şekil 3.23’te gösterilmiştir.



Şekil 3.23. Deney numunelerinin öğütülmesinde kullanılan öğütücünün görüntüsü (Foto ve çizim; Çavuş, 2017).

Termogravimetrik analiz (TGA)

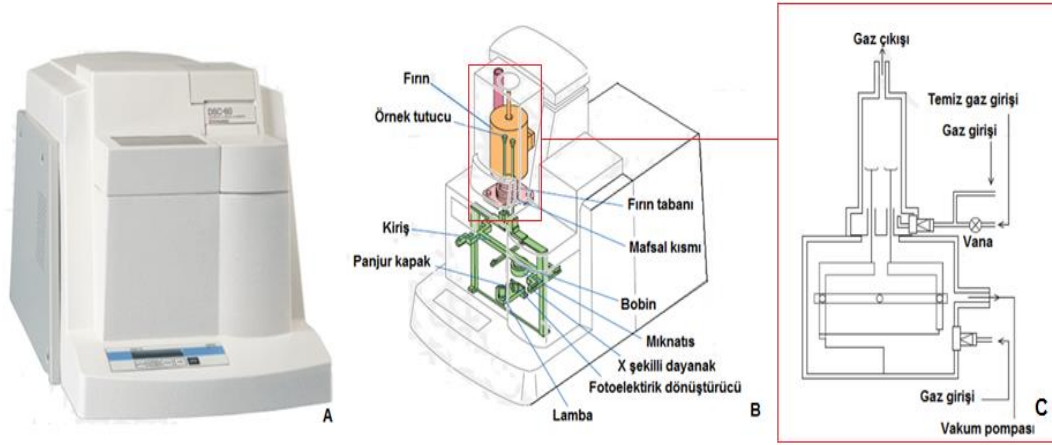
Termogravimetrik analiz, deney numunesinin ağırlığının zamana veya sıcaklığa göre değişiminin ölçülmesidir. Termogravimetrik analizde, deney numunesi azot atmosferinde sabit bir hız ile ısıtılır ve deney numunesi ağırlığındaki değişim, zamana veya sıcaklığa bağlı olarak kaydedilir. Deney sonrasında elde edilen veriler ile numune ağırlığının, ısı etkisiyle nasıl değiştiği tespit edilir. Bu çalışmada, her bir üretim kodunun her değişken parametresine göre üretilen numuneler, KSÜ Orman Fakültesinde bulunan ve Şekil 3.19’da gösterilen IKA marka öğütücü yardımı ile 1 mm. boyutuna kadar öğütülmüştür. Öğütülen numuneler, her bir üretim kodunun her değişken parametresine göre plastik poşetler içerisine konularak poşetlerin ağzı kapatılmıştır. Deney numunelerinin termogravimetrik analizleri, KSÜ Orman Fakültesinde bulunan Shimadzu TGA–50 markalı cihazda (Şekil 3.24) gerçekleştirilmiştir. Termogravimetrik analiz deney cihazı (Şekil 3.24.A) ve cihaz donanımları (Şekil 3.24.B)’de gösterilmiştir. TGA analizde azot gazı akış hızı, 20 mL/min. sıcaklık oda sıcaklığından 600°C olacak şekilde ayarlanmıştır. Yapılan analizlerde, sıcaklık artışı dakikada 10 °C olacak şekilde ayarlanmış ve analizler sırasında 5–10 mg örnek kullanılmıştır. Isıtma işlemi başlatılmadan önce sistemden azot gazı geçirilerek ortamdaki havanın uzaklaşması sağlanmıştır.



Şekil 3.24. Shimadzu TGA-50 termogravimetrik analiz deney cihazı ve cihaz donanımları, (URL-2).

Diferansiyel taramalı kalorimetre (DSC)

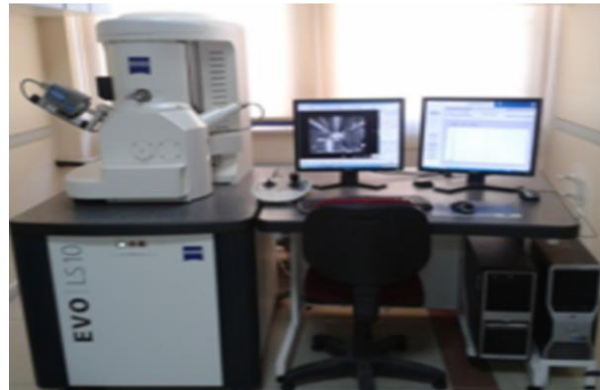
Diferansiyel Taramalı Kalorimetri (DSC), malzemelerin ısı analizinde yaygın olarak kullanılan termoanalitik bir yöntemdir. Bir başka ifade ile, malzemelerin ısı karşısında uğrayacağı fiziksel değişimleri gösteren bir yöntemdir. Malzemelerin camısı geçiş sıcaklığı ve erime noktaları diferansiyel taramalı kalorimetre (DSC) ile ölçülür. Diferansiyel Taramalı Kalorimetri (DSC), biri referans diğeri ise deney numunesinin bulunduğu iki ısıtıcı, ısı kaybına uğratmayan bir hücre ve ısı akışını kontrol eden bilgisayardan oluşmaktadır. Deney numunelerinin diferansiyel taramalı kalorimetre (DSC) analizleri, KSÜ Orman Fakültesinde bulunan Shimadzu DSC-60 markalı cihazda (Şekil 3.25) gerçekleştirilmiştir. Taramalı Kalorimetri (DSC) analiz deney cihazı (Şekil 3.25.A) ve cihaz donanımları (Şekil 3.25.B) ve gaz giriş ve çıkışları (Şekil 3.25.C)'de gösterilmiştir. Diferansiyel Taramalı Kalorimetri (DSC) analizi için termogravimetrik analiz deney numunelerinden artanlar kullanılmıştır. Deney numuneleri cihaza yerleştirilerek numune ve referans, deney boyunca aynı sıcaklıkta tutulmaya çalışılarak ve aynı hızda ısıtılarak, deney numunesinin ve referansın üzerindeki ısı akışının hızı ölçülerek karşılaştırılmıştır. DSC analizi esnasında sıcaklık, oda sıcaklığından 500 °C' ye kadar sıcaklık artışı dakikada 10 °C olacak şekilde ve kullanılan azot gazının akış hızı ise 30 mL/min. olarak ayarlanmış ve analizler sırasında 5-10 mg örnek kullanılmıştır.



Şekil 3.25. Shimadzu DSC-60 termogravimetrik analiz deney cihazı, donanımları ve gaz giriş çıkışı.

Morfolojik Özellikleri (SEM)

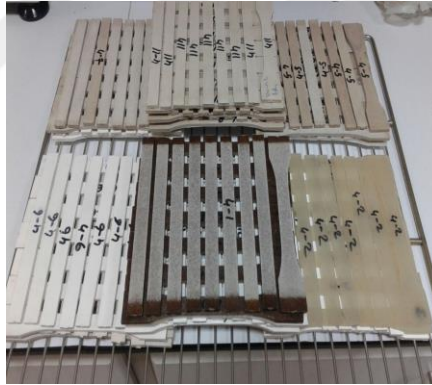
Taramalı Elektron Mikroskobu, çok küçük bir alana odaklanan yüksek enerjili elektronlarla yüzeyin taranması prensibiyle çalışır. Yüzeyden yayılan ikincil elektronlarla yapılan ölçüm, yüzeyin mikro yapısını ve morfolojisini kırık yüzeyden (fractured surface) yararlanarak bir görüntü oluşturur. Tez kapsamında üretilen odun plastik kompozitlerin taramalı elektron mikroskobu (SEM) analizleri, KSÜ USKİM’de bulunan ZEISS marka EVO LS10 model cihaz (Şekil 3.26) kullanılarak yapılmıştır. Taramalı elektron mikroskobu ile deneye başlanmadan önce, deney numuneleri sıvı azot içerisinde bekletilmiştir. Sıvı azot içerisinde bekletilen deney numuneleri, daha sonra sert bir cisim ile kırılarak temiz bir kırık yüzey (fractured surface) elde edilmiştir. Deney numunesinin yüzeyinde olabilecek yansımaları ortadan kaldırmak amacıyla kırık yüzeyler altın tozuyla 10 mA’de ve 120 saniye süreyle kaplanmıştır. Altın tozuyla kaplanan deney numunelerinden taramalı elektron mikroskobu (SEM) görüntüleri alınmıştır.



Şekil 3.26. Odun plastik kompozitlerin SEM için kullanılan taramalı elektron mikroskobu.

3.2.4. Doğal yaşlandırma

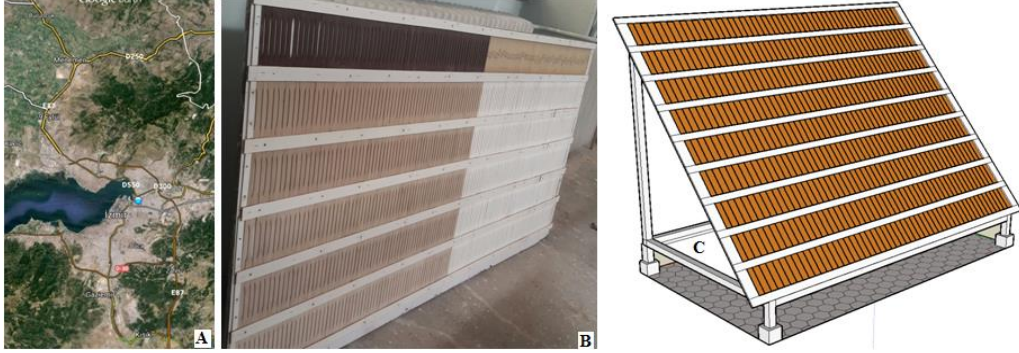
Örnekler, ASTM D 1641 esaslarına göre, İzmir ili $38^{\circ} 26' 25,1$ kuzey ve $27^{\circ} 10' 29,1$ doğu konumuna göre 0–6–12 ve 18 ay olmak üzere açık hava koşullarına maruz bırakılmıştır. İzmir iline ait 24 Ağustos 2015 ile 24 Şubat 2017 tarihleri arasındaki toplam 18 aylık iklim verileri, İzmir Meteoroloji Bölge Müdürlüğü'nden alınmış ve bu verilerin ortalaması Çizelge 3.12.'de verilmiştir. Deney numuneleri, özel stantlara yere 45° acıda olacak ve yüzleri hep güneye bakacak şekilde yerleştirilmiştir. Deney numunelerinin üzerine yerleştirildiği standın yüksekliği, en alttaki deney numunesi yerden 50 cm yükseklik olacak şekilde ayarlanmıştır. Deney numunelerinin konulduğu stant çevresinde ot ve bunun gibi organik artıklar ile su tutacak artıkların olmamasına dikkat edilmiştir. Bu nedenle, stant İzmir ilinde bulunan Çınarlı Anadolu Teknik ve Meslek Lisesi'nde düz bir çatı teras üzerine yerleştirilmiştir. Deney numuneleri her ay düzenli bir şekilde görsel olarak kontrol edilmiştir. Hazırlanan deney numuneleri sıcaklığı $23 \pm 2^{\circ}\text{C}$ ve $\%50 \pm 5$ bağıl nemde denge rutubetine ulaşınca kadar iklimlendirme kabini içinde kondisyonlanmıştır (Şekil 3.27).



Şekil 3.27. Deney numunelerinin iklimlendirme kabini içine yerleştirilmeleri.

Doğal yaşlandırmanın odun plastik kompozitlerin özellikleri üzerine etkilerini belirlemek için statik eğilme dayanımı direnci (ED), elastikiyet modülü (EM), Darbe direnci (DED), çekme direncinin tayini (ÇD), çekmede elastikiyet modülü (EM), çekmede kopmada uzama miktarının belirlenmesi ve Sertlik tayini (SS) ve gerilme gevşeme denemeleri ve renk ölçümleri yapılmıştır. Sertlik ve renk değişim miktarını belirlemek için deney numuneleri numaralandırılarak ilk ölçümleri yapılmış ve her altı ayda bir, yaşlandırılmış deney numuneleri üzerinde numara sırasına göre ölçümler yapılmıştır. Yaşlandırılmış deney numunelerinin ölçümleri sırasında deney numunelerinin yüzeyleri temizlenmiştir. Deney numunelerinin yaşlandırılmaya bırakıldığı konum (Şekil 3.28.A),

numunelerin üzerine yerleştirildiği standın fotoğrafı (Şekil 3.28.B) ve şematik görüntüsü (Şekil 3.28.C) Şekil 3.28’de gösterilmiştir.



Şekil 3.28. Deney numunelerinin yaşlandırılmaya bırakıldığı konum(A), numunelerin üzerine yerleştirildiği standın fotoğrafı (B) ve şematik görüntüsü (C), (Foto ve çizim; Çavuş, 2017).

Çizelge 3.12. İzmir iline ait iklim verilerinin ortalaması.

No	Tarih Aralığı	Sıcaklık (°C)	Rutubet (%)	Yağış (kg/m ²)	Rüzgar hızı (m/sn)
1	24.08.2015—24.02.2016 (6 Ay)	14,15	67,09	76,7	4,097
2	24.02.2016—24.08.2016 (12 Ay)	23,3	51,38	31,78	2,957
3	24.08.2016—24.02.2017 (18 Ay)	12,3	63,75	2,772	4,166
4	Ortalama	16,58	60,74	37,08	3,737

Deney numunelerinin renk ölçümleri, KSÜ Üskimde bulunan Konica Minolta CM–3600 spektrometre makinesinde belirlenmiştir. Yaşlandırılmanın deney numunelerinin rengi üzerindeki etkilerini belirlemek için renk ölçümleri, ASTM D 2244 (2011) standardında belirlenen esaslara göre CIEL*a*b* renk sistemi kullanılarak belirlenmiştir. CIEL*a*b* renk sisteminde, renklerdeki farklılıklar ve bunların yerleri L*, a*, b* renk koordinatlarına göre tespit edilmektedir. Burada, L* siyah-beyaz (siyah için L*=0, beyaz için L*=100) ekseninde, a* kırmızı-yeşil (pozitif değeri kırmızı, negatif değeri yeşil) ekseninde, b* ise sarı-mavi (pozitif değeri sarı, negatif değeri mavi) ekseninde yer almaktadır. Deney numunelerinin renk ölçümleri öncesinde cihaz, beyaz renge göre a=-1,00±0,3; b=0,58± 0,3; L= 94,95 ± 0,3 olacak şekilde kalibre edilmiştir (Akkuş, 2011). Renk uzaklıkları değerleri Çizelge 3.13.’te verilmiştir. Değişimin, rengin hangi tonunda etkili olduğunu belirlemek amacıyla kırmızı renk tonu (+a*), sarı renk tonu (+b*) ve ışıklılık (L*) değerleri birbirinden bağımsız olarak incelenmiş; ayrıca, toplam renk değişimi (ΔE*) aşağıdaki denklemden (3.12) yararlanılarak tespit edilmiştir. Renk ölçümlerinde kullanılan spektrometre (Şekil 3.29.A), şematik görüntüsü (Şekil 3.29.B),

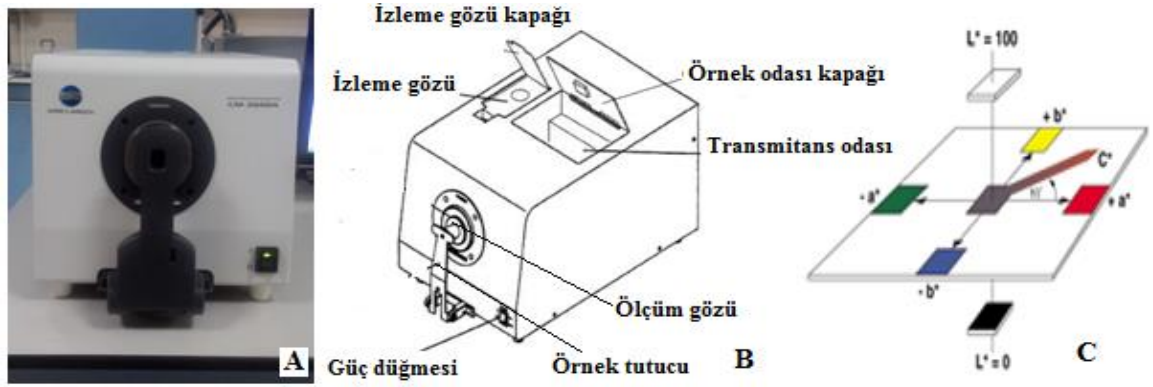
CIEL*a*b* renk sistemi (Şekil 3.29.C) ve renk uzaklıkları değerleri Çizelge 3.13'te gösterilmiştir.

$$\Delta E^* = \sqrt{(\Delta L)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2} \quad (3.12)$$

Burada:

ΔL^* ; Δa^* ve Δb^* değerleri renklerin ilk (i) ve son hali (f) arasında oluşan değişikliklerdir.

ΔE^* ; renklerin L, a ve b yönlerinde meydana gelen toplam renk değişikliklerini göstermektedir. ΔE^* 'nin düşük değerde olması, rengin değişmediği ya da çok az değiştiğini göstermektedir. Burada en yüksek değer, en yüksek renk değişimini göstermektedir.



Şekil 3.29. Spektrometre (A), şematik görüntüsü (B), CIEL*a*b* renk sistemi (C).

Çizelge 3.13. Renk uzaklıkları değer çizelgesi (Özcan, 2008).

No	ΔE değeri	Renk Farkı
1	0	Yok
2	1	Çok küçük
3	2	Küçük
4	3	Orta
5	4	Büyük
6	5	Çok büyük

3.2.5. Verilerin analizi

Bu tez kapsamında üretilen deneme gruplarına ait her türlü veri analizleri excel programına kaydedildikten sonra oradan alınarak, Desing ExpertRVersion 7.0.3. istatistik paket programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Faktörlerin etkilerini belirlemek amacıyla ANOVA testi uygulanmıştır. Ayrıca merkezi kompozit dizaynı (central composite design - CCD) kullanılarak optimizasyon çalışmaları gerçekleştirilmiştir.

4. BULGULAR VE TARTISMA

Bu tezde belirlenen hedeflere ulaşılabilmesi için dört ana başlık altında üretim reçeteleri hazırlanmıştır. Üretim reçetelerine bağlı kalınarak üretilen deney numuneleri üzerinde yapılan deney prosedürleri sonucunda elde edilen veriler değerlendirilmiştir. Bunlar;

1-Lignoselülozik dolgu maddesi türü, kullanım oranı ve erime akış indeksinin odun plastik kompozitlerin özelliklerine etkisinin belirlenmesi (I)

2-Sentetik ve lignoselülozik dolgu maddesi türü, oranı ve sentetik dolgu maddesinin enjeksiyon ve ekstruder üretimi sırasında katılmasının odun plastik kompozitlerin özelliklerine etkisinin belirlenmesi (II)

3-Dolgu maddesi türü (sentetik temelli mineral lif, kızılçam odunu) ve kompozit yapı içerisinde kullanım oranının odun plastik kompozitlerin özelliklerine etkisinin belirlenmesi (III)

4-Farklı parçacık büyüklüğü (nano ve mikron) ve oranlarda (% 0, 3, 6, 9) titanyum dioksit katılımının odun plastik kompozitlerin özelliklerine etkisinin belirlenmesi (IV).

Her aşamada elde edilen bulgular ilgili başlık altında birbirinden bağımsız olarak yazılmıştır.

4.1. Lignoselülozik Dolgu Maddesi Türü, Kullanım Oranı ve Erime Akış İndeksinin Deney numunelerinin Özelliklerine Etkisinin Belirlenmesi

4.1.1. Fiziksel özellikler

4.1.1.1. Yoğunluğun belirlenmesi

Bu bölümde, Lignoselülozik dolgu maddesi (LDM) olarak kızılçam odunu (KOU) ve zeytin pirinası unu (ZPU) LMFI ve HMFI PP'ler içerisinde farklı oranlarda kullanılarak üretilen deney numunelerinin yoğunlukları belirlenmiştir. Yoğunlukların belirlenmesinde ASTM D 792'de belirtilen esaslara uyulmuştur. Lignoselülozik dolgu maddesi tipi (LDMT), dolgu maddesi oranı (LDMO) ve erime akış indeksinin (EAI) deney numunelerinin yoğunlukları üzerine etkisi incelenmiştir. Üretilen kompozitlerin yoğunluk değerlerini belirlemek için çekme direnci deney numunelerinden deney sonrası kesilen

parçalar kullanılarak yoğunluklar belirlenmiştir. Deney numunelerinin ortalama yoğunluk ve standart sapma değerleri Çizelge 4.1’de gösterilmiştir.

Çizelge 4.1. Deney numune gruplarına ait ortalama yoğunluk değerleri (gr/cm³).

Ü.K***	I-1	I-2	I-3	I-4	I-5	I-6	I-7	I-8	I-9	I-10
Yoğunluk	0,89*	0,90	1,01	1,04	0,96	1,01	0,95	1,00	0,95	1,00
S.S.	(0,02) **	(0,01)	(0,03)	(0,04)	(0,04)	(0,03)	(0,03)	(0,01)	(0,02)	(0,03)

* ortalama değer, **standart sapma, Ü.K: üretim kodu *** her gruptan 5 deney numunesi test edilmiştir.

LDMT, LDMO ve EAI’nin deney numunelerinin yoğunluk değerleri üzerine etkilerinin önem düzeyini belirlemek amacıyla ANOVA testi uygulanmış ve elde edilen değerler Çizelge 4.2’de gösterilmiştir. Çizelge 4.2 incelendiğinde LDMT ve LDMO’nın deney numunelerinin yoğunluk değerleri üzerine istatistiksel olarak önemli düzeyde etkili olduğu belirlenmiştir (P=0,0003 ve P<0.0001).

Çizelge 4.2. LDMT, LDMO ve EAI’nin deney numunelerinin yoğunluk değerleri üzerine etkisine ait ANOVA sonuçları.

Test	Kaynak	Kareler Top.	DF	Kareler Ort.	F	P
Yoğunluk	Model	0,15	11	0,014	21,55	<0,0001 significant
	A-Polimer Tipi	1,228E-003	1	1,228E-003	1,91	0,1736
	B-Dolgu Maddesi Tipi	6,143E-003	1	6,143E-003	9,54	0,0033
	C-Dlg. Mad. Oranı (%)	0,13	2	0,067	104,37	< 0,0001
	AB	2,289E-003	1	2,289E-003	3,56	0,0654
	AC	3,656E-003	2	1,828E-003	2,84	0,0683
	BC	3,267E-003	2	1,633E-003	2,54	0,0896
	ABC	1,670E-003	2	8,350E-004	1,30	0,2828
	Pure Error	0,031	48	1746,97		
	Cor Total	0,18	59	6,438E-004		

LDMT, LDMO ve EAI’nin deney numunelerinin yoğunluklarına etkileri Şekil 4.1’de gösterilmiştir.

Şekil 4.1 incelendiğinde OPK içerisindeki LDMO paralel olarak kompozit gruplarının yoğunluk değerinde artışlar meydana geldiği görülmektedir. Polimer içerisindeki dolgu maddelerinin miktarı arttıkça kompozit malzemenin yoğunluklarında artış olacağı literatürde belirtilmiştir (Clemons, 2002; Klyosov, 2007; Mengeloğlu ve Karakuş, 2012; Mengeloğlu ve ark., 2015; Karakuş ve Mengeloğlu, 2016).

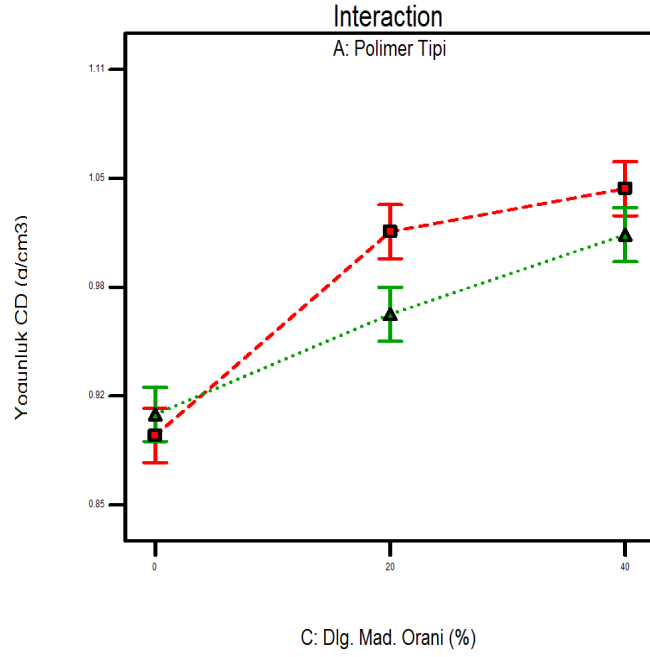
Design-Expert® Software

Yogunluk ÇD (g/cm³)

■ A1 H-MFI
▲ A2 L-MFI

X1 = C: Dlg. Mad. Orani (%)
X2 = A: Polimer Tipi

Actual Factor
B: Dolgu Maddesi Tipi = KOU



(a)

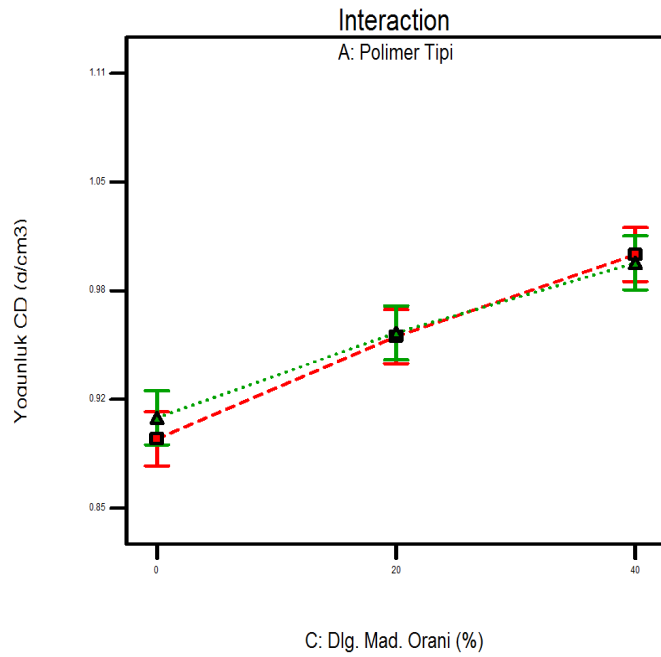
Design-Expert® Software

Yogunluk ÇD (g/cm³)

■ A1 H-MFI
▲ A2 L-MFI

X1 = C: Dlg. Mad. Orani (%)
X2 = A: Polimer Tipi

Actual Factor
B: Dolgu Maddesi Tipi = ZP



(b)

Şekil 4.1. Deney numunelerinin yoğunluk değerleri a) H-MFI, b) L-MFI.

Deney numunelerinin yoğunlukları 0,89 ile 1,04 gr/cm³ aralığında belirlenmiştir. En yüksek yoğunluk artışı %40KOU+HMFI ve en düşük yoğunluk ise kontrol numunelerinde tespit edilmiştir. Bunun nedeni LDM'lerinin yoğunluklarının öğütme sonrası oluşan parçacık büyüklüğüne ve hücre çeper yoğunluğuna bağlı olması (Çavdar,

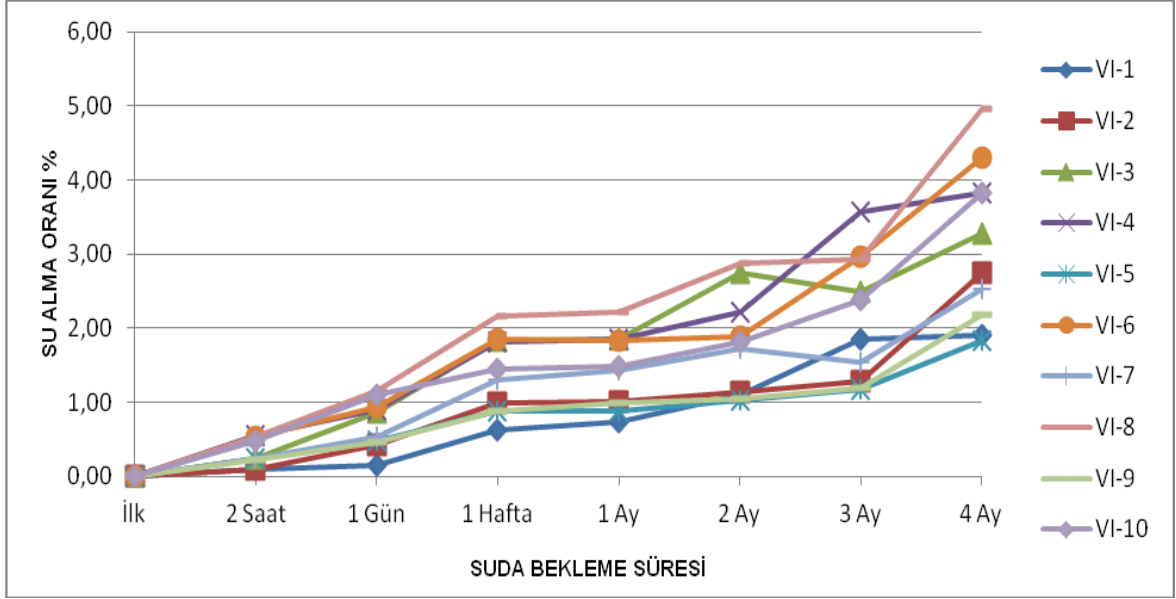
2011), odunun masif haldeki oluşumundan un haline geçtiğinde hava boşluğu oranlarının azalması (Avcı, 2012; Kaymakçı, 2015), ve dolgu maddesinin enjeksiyon makinesinde oluşan basınç hızı ile polimer matris arasında boşlukları tam olarak doldurmasından kaynaklandığı literatürde belirtilmiştir. LDMT ve LDMO'nun kompozitlerin yoğunlukları üzerinde etkisinin olmasına karşın, EAI'nin deney numunelerinin yoğunluğu üzerinde önemli bir etkisinin olmadığı tespit edilmiştir. Kompozit yapı içerisinde farklı oranlarda ZPU katılmasının KOU'ya göre kompozitlerin yoğunluğunu düşürdüğü gözlenmiştir. Bunun nedeni olarak KOU yoğunluğunun ZPU'ya göre daha yüksek olması söylenebilir. Bu durum lignoselülozik esaslı dolgu maddelerinin polimer matrisi içerisine katılmasıyla beklenen bir artış olup genelde karışım kuralı ile açıklanmaktadır (Matuana ve ark.;2007; Jennifer ve Xu, 2009). EAI'nin yüksek veya düşük olmasının deney numunelerinin yoğunluklarına bir etkisi olmadığı tespit edilmiştir. Bunun nedeni ise her iki tip EAI'ne sahip PP'lerin yoğunluklarının ($0,905 \text{ gr/cm}^3$) birbirine eşit olmasından kaynaklanabileceği düşünülmüştür. Bazı deney numunelerinin yoğunlukları PP'nin yoğunluğundan düşük (%54PP/LMFI+40ZPU) çıkmıştır. Bunun nedeni olarakta PP'de enjeksiyon sonrasında genleşme olabileceğinden ve üretimde tek Idalı ekstruder kullanılmasından dolayı dolgu maddesinin polimer matris içerisinde eşit dağılmamasından kaynaklanabileceği düşünülmüştür. Ek olarak üretimde kullanılan ve hidrofobik yapıdaki PP ile hidrofilik yapıdaki LDM arasındaki bağlanmayı uyumlu hale getirmek için kullanılan MAPP'ın yoğunluk değerinde belirli artışlara neden olduğu çeşitli araştırmacılar tarafından ortaya konulmuştur (Ndiaye ve Tidjani 2012; Kaymakçı, 2015).

4.1.1.2. Su alma oranı

LDMT olarak KOU ve ZPU, LMFI ve HMFI PP'ler içerisinde farklı oranlarda kullanılarak üretilen deney numunelerinin suda bekletme sonucu su alma oranları belirlenmiştir. Üretilen deney numunelerinin ilk ölçümleri yapıldıktan sonra, 2 saat, 6 saat, 1 gün, 1 hafta, 1 ay, 2 ay, 3 ay ve 4 ay süreyle destile su içerisinde tutularak periyodik olarak ölçümleri yapılmıştır. Ölçümler her bir üretim parametresine ait 5 adet deney numunesi üzerinden 5 ölçüm yapılarak ortalama değerler üzerinden yürütülmüştür.

LDMT, LDMO ve EAI'nin deney numunelerinin su alma oranı. Şekil 4. 2'de gösterilmiştir. Şekil 4.2 incelendiğinde en düşük 2 saatlik su alma yüzdesi LDM katılmamış farklı EAI'ne sahip PP'lerde (%0,09) tespit edilirken, en yüksek 2 saatlik su alma yüzdesi (%0,55 ve %0,48) aralığında ve %40 oranında LDM katılmış deney

numunelerinden elde edilmiştir. LDMO %20 olarak katılan deney numunelerinin 2 saatlik su alma yüzdeleri ise (%0,25 ve %0,24) aralığında tespit edilmiştir. Deney numunelerinin 1 günlük su alma yüzdesi LDM katılmamış farklı EAI'ne sahip PP'lerde (%0,11HMFI ve %0,19 LMFI) tespit edilirken, en yüksek 1 günlük su alma yüzdesi (%0,83 ve %0,66) aralığında ve %40 oranında LDM katılmış deney numunelerinden elde edilmiştir. LDMO %20 olarak katılan deney numunelerinin 1 günlük su alma yüzdeleri ise (%0,28 ve %0,64) aralığında tespit edilmiştir.



Şekil 4.2. LDM tipi, oranı ve EAI'nin deney numunelerinin su alma oranı..

Deney numunelerinin 1 haftalık su alma yüzdesi dolgu maddesi katılmamış HMFI PP'de (%0,63) ve %20 oranında LDM katılmamış ve katılmış LMFI PP'de sırasıyla %0,89 ve %0,100 aralığında tespit edilmiştir. En yüksek 1 haftalık su alma yüzdesi (%0,216) ile %40 oranında LDM katılmış %40ZPU+HMFI deney numunelerinden elde edilmiştir. Dolgu maddesi olarak %40 oranında KOU kullanıldığında 1 haftalık su alma yüzdesi HMFI PP'de %1,81 olurken bu oran LMFI PP'de %1,85 olduğu tespit edilmiştir. Dolgu maddesi olarak %40 oranında ZPU kullanıldığında 1 haftalık su alma yüzdesi HMFI PP'de %2,16 olurken, bu oran LMFI PP'de %1,45 olarak tespit edilmiştir.

LDMO %20 olarak ZPU kullanıldığında 1 haftalık su alma yüzdesi HMFI PP'de %1,30 olurken, bu oran LMFI PP'de %0,89 olarak tespit edilmiştir. Dolgu maddesi olarak %20 oranında KOU kullanıldığında 1 haftalık su alma yüzdesi HMFI PP'de %1,84 olurken, bu oran LMFI PP'de %0,89 olarak tespit edilmiştir.

Deney numunelerinin 1 aylık su alma yüzdesi dolgu maddesi katılmamış LMFI ve HMFİ PP’de sırasıyla (%1,11 ve %1,14) olarak tespit edilmiştir. LDMO %40 olarak KOU katılmış HMFİ PP’de %2,74 ve LMFI PP’de ise %1,03 olarak tespit edilmiştir. Dolgu maddesi olarak %40 oranında ZPU katılmış HMFİ PP’de %2,87 ve LMFI PP’de ise %1,82 olarak tespit edilmiştir. En yüksek 1 aylık su alma yüzdesi (%2,87) ile %40ZPU+HMFİ deney numunesinden elde edilirken en düşük 1 aylık su alma yüzdesi (%1,04) ile %20ZPU+LMFI deney numunesinde tespit edilmiştir.

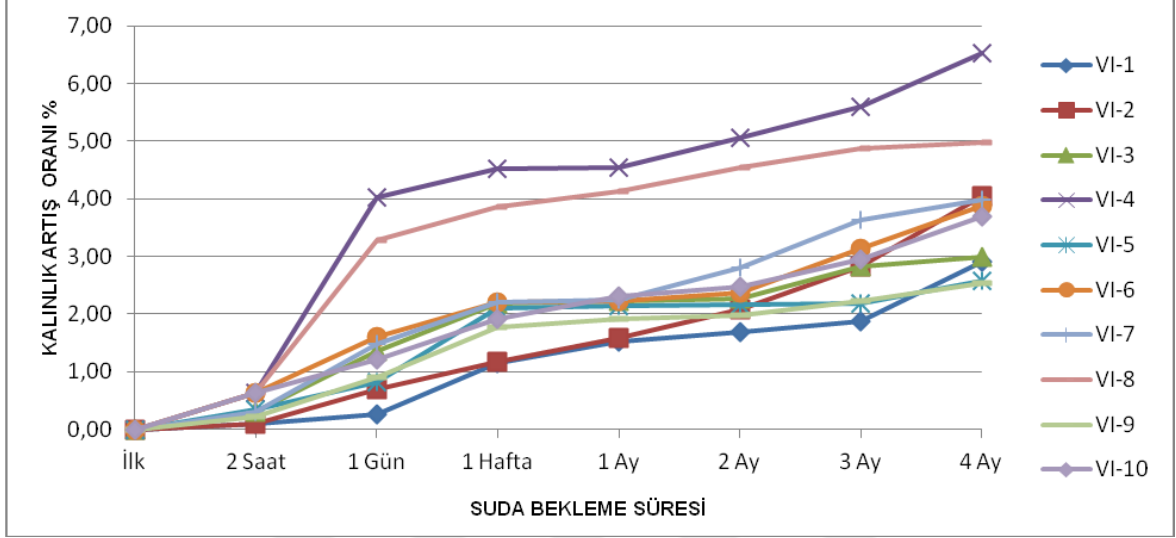
Deney numunelerinin 4 aylık su alma yüzdesi dolgu maddesi katılmamış LMFI ve HMFİ PP’de sırasıyla (%2,75 ve %1,90) olarak tespit edilmiştir. LDMO %40 olarak KOU katılmış HMFİ PP’de %3,82 ve LMFI PP’de ise %4,31 olarak tespit edilmiştir. LDMO %40 olarak ZPU katılmış HMFİ PP’de %4,96 ve LMFI PP’de ise %3,83 olarak tespit edilmiştir. En yüksek 4 aylık su alma yüzdesi (%4,96) ile %40ZPU+HMFİ deney numunesinden elde edilirken en düşük 4 aylık su alma yüzdesi (%1,83) ile %20KOU+LMFI deney numunesinde tespit edilmiştir.

Deney numunelerinin su alma oranında MFI, LDM türü ve oranın etkili olduğu görülmektedir. LDMO arttıkça su alma oranının arttığı tespit edilmiştir. Bu durum daha önceki çalışmalarla benzerlik göstermektedir (Stokke ve Gardner, 2003; H’ng Paik San ve ark., 2008; çavdar, 2011; Avcı, 2012:). Lignoselülozik malzemeler bünyelerinde hidroksil grupları bulundurduğundan dolayı hidrofiliktir. Ancak deney numunelerinin bünyesinde bulunan ve hidrofobik özelliğe sahip plastikler su alma oranını ağaç malzeme veya lignoselülozik malzemelere göre düşürmektedir (Wang ve Morrell, 2004, Kylosov, 2007: Najafi ve ark., 2008). LDMO arttıkça deney numunelerinin su alma yüzdesinin arttığı ve kullanım oranının azalmasına paralel olarak azaldığı tespit edilmiştir. EAI’nin deney numunelerinin su alma oranı üzerinde etkisi irdelendiğinde LMFI PP’in HMFİ’ye göre su alma yüzdesinin daha fazla olduğu tespit edilmiştir. Elde edilen sonuçlar bu anlamda literatüre uygundur. Yapılan çalışmalarda plastik matris içerisindeki LDM artışına paralel olarak deney numunelerinin su alma oranında artış olduğunu ve bu artışında LDM’nin hidrofilik yapısına bağlı olduğunu belirtmişlerdir (George ve ark., 2001; Stark ve Rowlands, 2003; Kord, 2011; Avcı 2012; Kaymakçı, 2015).

4.1.1.3. Kalınlığa artış oranı

LDMT olarak KOU ve ZPU, LMFI ve HMFİ PP’ler içerisinde farklı oranlarda kullanılarak üretilen deney numunelerinin suda bekletme sonucu kalınlığına artış oranları belirlenmiştir.

Üretilen numunelerinin ilk ölçümleri yapıldıktan sonra, 2 saat, 6 saat, 1 gün, 1 hafta, 1 ay, 2 ay, 3 ay ve 4 ay süreyle destile su içerisinde tutulan deney numuneleri periyodik olarak ölçülmüştür. Dolgu maddesi tipi, oranı ve EAI'nin deney numunelerinin suda bekletme sonucu kalınlığına şişme oranı özelliklerine etkileri belirlenmiştir. LDMT, LDMO ve EAI'nin deney numunelerinin kalınlıkça artma oranına etkileri Şekil 4.3'te gösterilmiştir.



Şekil 4.3. LDM tipi, oranı ve EAI'nin numunelerin kalınlıkça artma oranına etkileri.

Şekil 4.3 incelendiğinde en düşük 2 saatlik kalınlıkça artma yüzdesi LDM katılmamış yüksek ve LMFI PP'lerde (%0,10 HMFI ve LMFI) tespit edilmiştir. En yüksek 2 saatlik kalınlıkça artma yüzdesi (%0,64 HMFI ve LMFI) olarak %40 oranında kızılçam odunu katılmış deney numunelerinden elde edilmiştir. Dolgu maddesi oranı %20KOU oranında katılan deney numunelerinin 2 saatlik kalınlıkça artma yüzdeleri ise (%0,30 HMFI ve %0,34 LMFI) olarak ve %20ZPU katılmış deney numunelerinde ise bu oranın (%0,30 HMFI ve %0,21 LMFI) olarak tespit edilmiştir.

Deney numunelerinin 1 günlük kalınlıkça artma yüzdesi LDM katılmamış farklı EAI'ne sahip PP'lerde (%0,19 HMFI ve %0,11 LMFI) tespit edilmiştir. En yüksek 1 günlük kalınlıkça artma yüzdesi (%3,79 HMFI %2,55 LMFI) olarak ve %40 oranında LDM katılmış deney numunelerinden elde edilmiştir. LDMO %20 olarak katılan deney numunelerinin 1 günlük kalınlıkça artma yüzdeleri ise (%1,08 KOU+HMFI ve %0,71KOU+LMFI) ve (%1,40ZPU+HMFI ve %0,65 ZPU+LMFI) olarak tespit edilmiştir.

Deney numunelerinin 1 haftalık kalınlıkça artma yüzdesi dolgu maddesi katılmamış HMFI PP'de (%1,15HMFI ve %1,16 LMFI) ve LDM katılmamış LMFI PP'de tespit edilmiştir. En yüksek 1 haftalık kalınlıkça artma yüzdesi (%4,52) ile %40 oranında LDM

katılmış %40KOU+HMFI deney numunelerinden elde edilmiştir. Bu oran LMFI PP'de %2,20 olarak tespit edilmiştir. LDMO %20 olarak ZPU kullanıldığında 1 haftalık kalınlıkça artma yüzdesi HMFI PP'de %3,85 olurken bu oranın LMFI PP'de %1,92 olduğu tespit edilmiştir. LDMO %20 olarak ZPU veya KOU kullanıldığında 1 haftalık kalınlıkça artma yüzdesi yüksek ve LMFI PP'de dolgu maddesi oranının düşmesine paralel olarak azaldığı görülmüştür.

Deney numunelerinin 1 aylık kalınlıkça artma yüzdesi dolgu maddesi katılmamış LMFI ve HMFI PP'de sırasıyla (%1,68 ve %2,09) olarak tespit edilmiştir. LDMO %40 olarak KOU katılmış HMFI PP'de %5,05 ve LMFI PP'de ise %2,38 olarak tespit edilmiştir. LDMO %40 olarak ZPU katılmış HMFI PP'de %4,55 ve LMFI PP'de ise %2,47 olarak tespit edilmiştir. En yüksek 1 aylık kalınlıkça artma yüzdesi (%5,05) ile %40KOU+HMFI deney numunesinden elde edilirken en düşük 1 aylık kalınlıkça artma yüzdesi (%1,68) ile dolgu maddesi katılmamış HMFI deney numunesinde tespit edilmiştir.

Deney numunelerinin 4 aylık kalınlıkça artma yüzdesi dolgu maddesi katılmamış LMFI ve HMFI PP'de sırasıyla (%2,91 ve %4,04) olarak tespit edilmiştir. Dolgu maddesi olarak %40 oranında KOU katılmış HMFI PP'de %6,52 ve LMFI PP'de ise %3,87 olarak tespit edilmiştir. LDMO %40 olarak ZPU katılmış HMFI PP'de %4,97 ve LMFI PP'de ise %3,70 olarak tespit edilmiştir. En yüksek 4 aylık kalınlıkça artma yüzdesi (%6,52) ile %40KOU+HMFI deney numunesinden elde edilirken en düşük 4 aylık kalınlıkça artma yüzdesi (%1,83) ile %20ZPU+LMFI deney numunesinde tespit edilmiştir.

Deney numunelerinin kalınlıkça artma oranında LDMT, LDMO ve EAI'nin önemli bir şekilde etkili olduğu görülmektedir. LDMO artmasına paralel olarak deney numunelerinin kalınlıkça artma oranının arttığı tespit edilmiştir. Suda bekletme süresi arttıkça tüm deney numunelerinde kalınlıkça artma oranı su alma oranına paralel bir şekilde arttığı gözlenmiştir. LDMT, LDMO ve EAI'nin kalınlıkça artma oranı üzerinde etkili olduğu tespit edilmiştir. Yoğunluğu yüksek malzemelerin su alma ve kalınlıkça artma oranları düşük ve yoğunluğu düşük malzemelerde ise bu oran daha yüksektir (Kylosov, 2007). Bu durum daha önceki çalışmalarla benzerlik göstermektedir (Çavdar, 2011; Avcı, 2012; Esnaashari ve ark., 2012; Kaymakçı ve Ayrılmış, 2014; Kaymakçı, 2014; Mengeloğlu ve ark., 2015). Lignoselülozik malzemeler bünyelerinde hidroksil grupları bulundurduğundan dolayı hidrofiliktir. Hidrofilik malzemelerde bünyesine su alıp verme özelliklerinden dolayı kalınlıkça artma oranı hidrofobik malzemelere göre yüksek olması ile açıklanabilir. LDMO arttıkça deney numunelerinin kalınlıkça artma yüzdesinin arttığı ve

kullanım oranının azalmasına paralel olarak azaldığı tespit edilmiştir. EAI'nin deney numunelerinin kalınlıkça artma oranı üzerinde etkisi irdelendiğinde LMFI PP' yüksek EAI'ne göre kalınlıkça artma yüzdesi daha fazla olduğu tespit edilmiştir. Bu bağlamda elde edilen sonuçlar bu anlamda literatüre uygundur. Yapılan çalışmalarda plastik matris içerisindeki LDMO artışına paralel olarak deney numunelerinin kalınlıkça artma oranında artış olduğunu ve bu artışında LDM'nin hidrofilik yapısına bağlı olduğunu belirtmişlerdir (Stark ve Rowlands, 2003; Avcı 2012; Kaymakçı, 2015). Su alma oranında olduğu gibi LDMT, LDMO ve EAI'nin kalınlıkça artma oranı üzerinde etkili olduğu belirlenmiştir.

4.1.2. Mekanik Özellikler

4.1.2.1. Eğilme direnci

LDMT olarak KOU ve ZPU, LMFI ve HMFI PP'ler içerisinde farklı oranlarda kullanılarak üretilen deney numunelerinin eğilme dirençleri belirlenmiştir. Deney numunelerinden elde edilen eğilme direnci ortalama ve standart sapma değerleri Çizelge 4.3'te gösterilmiştir.

Çizelge 4.3. Deney numune gruplarına ait ortalama eğilme direnci değerleri ve standart sapma.

Ü.K***	I-1	I-2	I-3	I-4	I-5	I-6	I-7	I-8	I-9	I-10
E.D. (MPa)	39,29*	37,87	43,86	44,16	42,94	46,34	36,05	29,78	33,28	30,77
S.S.	(0,57)**	(1,27)	(0,56)	(1,18)	(0,69)	(0,66)	(0,40)	(0,42)	(0,43)	(0,77)

*ortalama değer, **standart sapma, Ü.K: üretim kodu *** her gruptan 5 deney numunesi test edilmiştir.

LDMT, LDMO ve EAI'nin deney numunelerinin eğilme direnci değerleri üzerine etkilerinin önem düzeyini belirlemek amacıyla ANOVA testi uygulanmış ve elde edilen değerler Çizelge 4.4'te gösterilmiştir. Çizelge 4.4 incelendiğinde LDMT, LDMO eğilme direnci değerleri üzerine istatistiksel olarak önemli düzeyde etkili olduğu belirlenmiştir ($P < 0.0001$).

Çizelge 4.4. LDM türü, oranı ve EAI'nin eğilme direnci değerleri üzerine etkisine ait ANOVA sonuçları.

Test	Kaynak	Kareler Top.	DF	Kareler Ort.	F	P
Eğilme direnci	Model	1565,39	11	142,31	225,28	< 0,0001significant
	A-Polimer Tipi	4,70	1	4,70	7,45	0,0089
	B-Dolgu Maddesi Tipi	937,10	1	937,10	1483,50	< 0,0001
	C-Dlg. Mad. Oranı (%)	16,63	2	8,32	13,17	< 0,0001
	AB	3,84	1	3,84	6,08	0,0173
	AC	34,84	2	17,42	27,58	< 0,0001
	BC	566,08	2	283,04	448,07	< 0,0001
	ABC	2,20	2	1,10	1,74	0,1867
	Pure Error	30,32	48	0,63		
	Cor Total	1595,71	59			

Deney numunelerinin eğilme dirençleri değerleri sırasıyla 16,18 ile 29,55 MPa aralığında tespit edilmiştir. Eğilme direnci değerleri incelendiğinde polimer tipi (PT), LDMT ve, LDMO kompozitlerin eğilme direnci üzerine etkili olduğu görülmüştür. Deney numuneleri içerisindeki LDMO'nun artmasına paralel olarak kompozit gruplarının eğilme direnci değerinde artışlar meydana geldiği görülmektedir. En düşük eğilme direnci değeri HMFİ+%40 ZPU deney numunelerinden elde edilmiştir. Polimer tipi olarak LMFI ve HMFİ içerisinde ZPU oranının artmasına paralel olarak düşüş gözlenmesine rağmen LMFI ve HMFİ içerisinde KOU dolgu maddesi kullanılması eğilme direncini düşürmemiştir. Bu durum ZPU dolgu maddesinin direnç özelliklerinin düşük olması ve kimyasal özelliklerinin üretim biçimine göre değişmesinden kaynaklanabilir. Dolgu maddelerinin kompozit yapı içerisinde katılım oranının artmasına paralel olarak polimer malzeme katılım oranı azalmakta ve bu durum eğilme direncinde düşüşe neden olabileceği literatürde belirtilmiştir (Mengeloğlu ve Karakuş, 2008; Mengeloğlu ve ark., 2015). Hidrofil karakterde olan LDM ile hidrofobik karakterde olan plastik arasındaki zayıf bağlanma, LDM'nin kompozit yapı içerisinde homojen dağılmaması bölgesel yığılmalara neden olmaktadır (Douglas, 2001; Mishra ve Naik, 2005; Mengeloğlu ve Karakuş, 2008; Kord, 2011). Literatürde EAI'nin yüksek olmasının kalıbı doldurması bakımından çok önemli olmasına rağmen mekanik özellikleri düşürebileceği belirtilmiştir (Karakuş, 2015). LDMT, LDMO ve EAI'nin deney numunelerinin eğilme direnci özelliklerine etkileri sırasıyla Şekil 4.4'te gösterilmiştir.

Design-Expert® Software

Eğilme Direnci (MPa)

■ B1 KOU

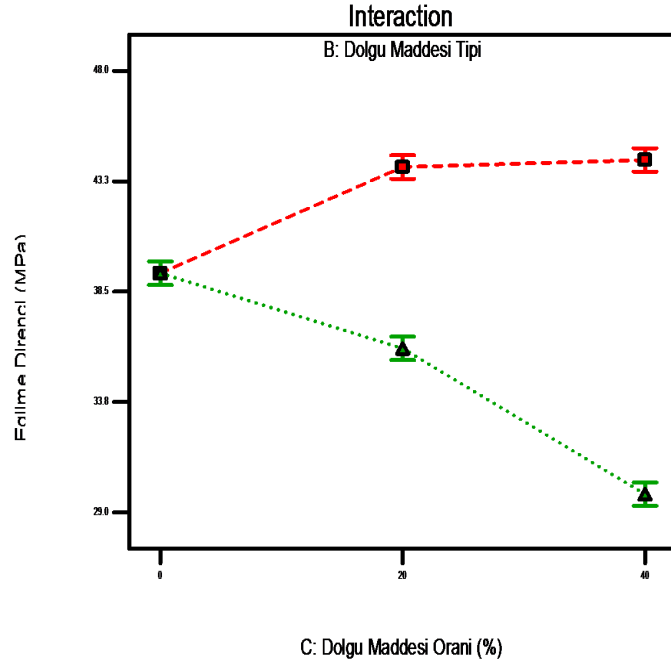
▲ B2 ZP

X1 = C: Dolgu Maddesi Oranı (%)

X2 = B: Dolgu Maddesi Tipi

Actual Factor

A: Polimer Tipi = H-MFI



(a)

Design-Expert® Software

Eğilme Direnci (MPa)

■ B1 KOU

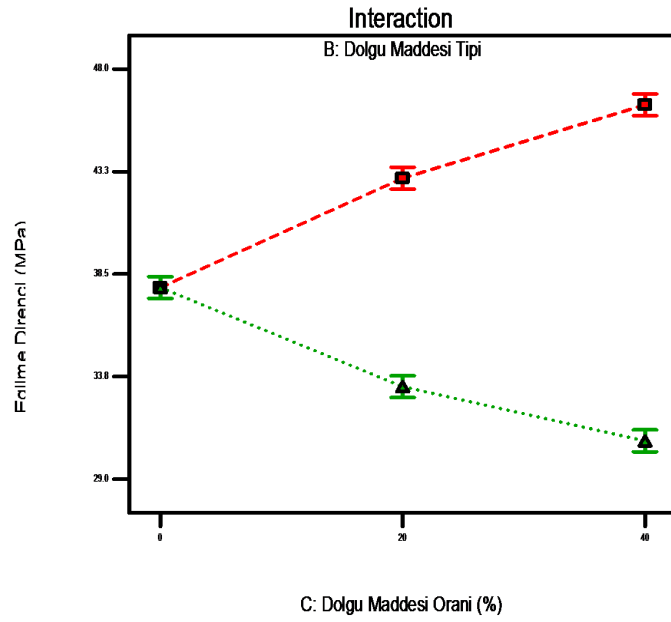
▲ B2 ZP

X1 = C: Dolgu Maddesi Oranı (%)

X2 = B: Dolgu Maddesi Tipi

Actual Factor

A: Polimer Tipi = L-MFI



(b)

Şekil 4.4. Deney numunelerinin eğilme direnci değerleri a) H-MFI, b) L-MFI.

4.1.2.2. Elastikiyet modülü

Deney numunelerinden elde edilen eğilmede elastikiyet modülü ortalama ve standart sapma değerleri Çizelge 4.5'te gösterilmiştir.

Çizelge 4.5. Deney numune gruplarına ait ortalama eğilmede elastikiyet modülü değerleri ve standart sapma.

Ü.K.	I-1	I-2	I-3	I-4	I-5	I-6	I-7	I-8	I-9	I-10
E.E.D. (MPa)	1137,72	1108,79	1637,09	2519,02	1564,95	2448,12	1214,72	1423,20	1133,12	1333,13
S.S.	(17,84)	(50,60)	(36,93)	(61,79)	(66,07)	(69,51)	(39,52)	(47,97)	(36,60)	(69,66)

* ortalama değer, **standart sapma, Ü.K: üretim kodu *** her gruptan 5 deney numunesi test edilmiştir.

LDMT, LDMO ve EAI'nin deney numunelerinin eğilmede elastikiyet modülü değerleri üzerine etkilerinin önem düzeyini belirlemek amacıyla ANOVA testi uygulanmış ve elde edilen değerler Çizelge 4.6'de gösterilmiştir. Çizelge 4.6 incelendiğinde polimer tipi, LDMT ve LDMO eğilmede elastikiyet modülü değerleri üzerine istatistiksel olarak önemli düzeyde etkili olduğu belirlenmiştir ($P < 0.0001$).

Çizelge 4.6. LDMT, LDMO ve EAI'nin eğilmede elastikiyet modülü değerleri üzerine etkisine ait ANOVA sonuçları.

Test	Kaynak	Kareler Top.	DF	Kareler Ort.	F	P
Eğilmede elastikiyet modülü	Model	1,387E+007	11	1,261E+006	501,18	<0,0001significant
	A-Polimer Tipi	57837,46	1	57837,46	22,99	< 0,0001
	B-Dolgu Maddesi Tipi	3,914E+006	1	3,914E+006	1555,7	< 0,0001
	C-Dlg. Mad. Oranı (%)	6,782E+006	2	3,391E+006	1347,8	< 0,0001
	AB	341,29	1	341,29	0,14	0,7143
	AC	8279,21	2	4139,61	1,65	0,2036
	BC	3,107E+006	2	1,554E+006	617,53	< 0,0001
	ABC	229,65	2	114,82	0,046	0,9554
	Pure Error	1,208E+005	48	2516,01		
	Cor Total	1,399E+007	59			

Deney numunelerinin eğilmede elastikiyet modülü değerleri 1108 ile 2519 MPa aralığında tespit edilmiştir. Eğilmede elastikiyet modülü değerleri incelendiğinde dolgu maddesi miktarına paralel olarak artış olduğu tespit edilmiştir. En yüksek değerler HMFİ+%40KOU LMFI+%40KOU deney numunelerinden elde edilmiştir. Polimer matris içerisine ZPU katılımı eğilmede elastikiyet modülü değerlerini arttırmasına rağmen, bu değerler KOU ile karşılaştırıldığına oldukça düşük oranda kalmıştır. Lignoselülozik dolgu maddelerinin termoplastiklere göre daha yüksek elastikiyet modülüne sahip oldukları belirtilmiştir (Bouafif, 2009; Chaharmahali ve ark., 2010). LDMT, LDMO ve EAI'nin deney numunelerinin eğilmede elastikiyet modülü özelliklerine etkileri sırasıyla Şekil 4.5'te gösterilmiştir.

Design-Expert® Software

Eğilim. Elast. Mod (MPa)

■ B1 KOU

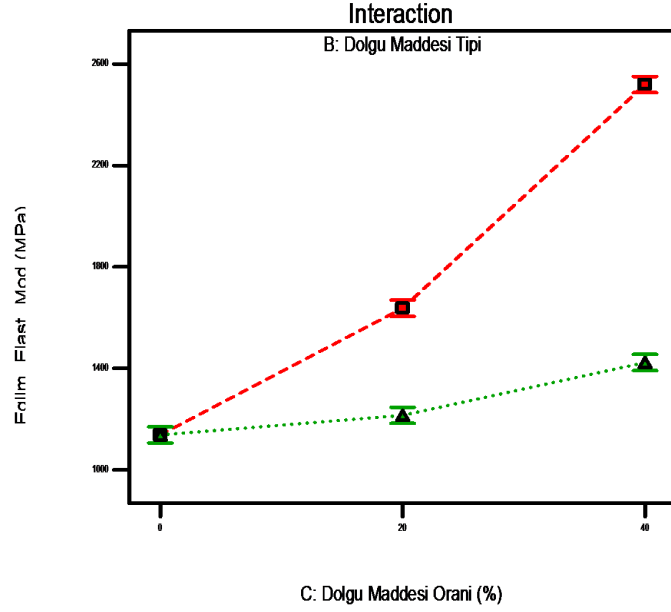
▲ B2 ZP

X1 = C: Dolgu Maddesi Orani (%)

X2 = B: Dolgu Maddesi Tipi

Actual Factor

A: Polimer Tipi = H-MFI



(a)

Design-Expert® Software

Eğilim. Elast. Mod (MPa)

■ B1 KOU

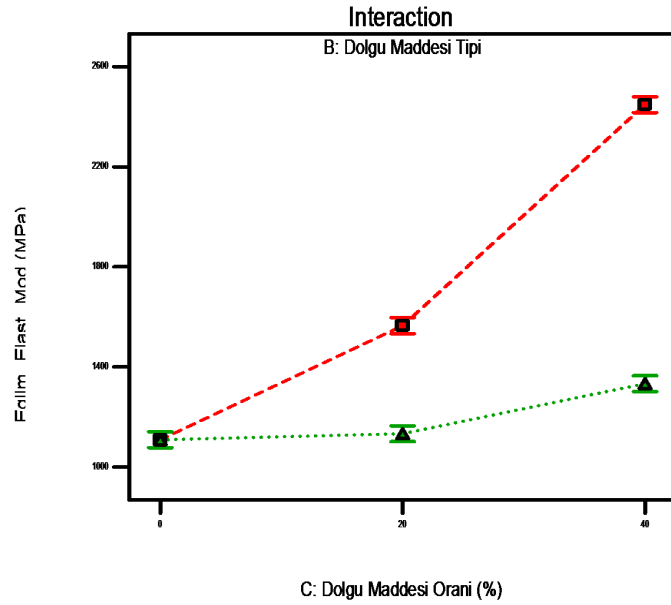
▲ B2 ZP

X1 = C: Dolgu Maddesi Orani (%)

X2 = B: Dolgu Maddesi Tipi

Actual Factor

A: Polimer Tipi = L-MFI



(b)

Şekil 4.5. Deney numunelerinin eğilmede elastikiyet modülü değerleri a) H-MFI, b) L-MFI.

Yapılan çalışmalarda LDMO'nun artışına paralel olarak eğilmede elastikiyet modülü değerlerinde artışlar olduğu tespit edilmiştir (Çavdar, 2011; Ayrılmış ve Kaymakçı, 2013). LDM'nin termoplastiklere göre daha yüksek elastikiyet modülüne sahip oldukları belirtilmiştir (Bouafif, 2009; Chaharmahali ve ark., 2010). Dolgu maddesi katılmamış her iki EAI'ne sahip PP'lerin eğilmede elastikiyet modülü değerleri birbirlerine

yakın çıkarken dolgu maddesi tipi ve oranının bu değerler üzerinde önemli oranda etkili olduğu ve bu değerleri arttırdığı tespit edilmiştir.

4.1.2.3. Çekme direnci

LDMT olarak KOU ve ZPU, LMFI ve HMFI PP'ler içerisinde farklı oranlarda kullanılarak üretilen deney numunelerinin çekme dirençleri belirlenmiştir. Çekme direnci ortalama ve standart sapma değerleri Çizelge 4.7'de gösterilmiştir.

Çizelge 4.7. Deney numune gruplarına ait çekme direnci ortalama ve standart sapma değerleri.

Ü.K***	I-1	I-2	I-3	I-4	I-5	I-6	I-7	I-8	I-9	I-10
Ç.D. (MPa)	29,55*	29,29	26,28	24,82	26,11	25,00	21,47	15,08	22,35	16,18
S.S.	(0,30)**	(0,17)	(0,40)	(1,26)	(0,50)	(0,51)	(0,14)	(0,20)	(0,63)	(0,25)

* ortalama değer, **standart sapma, Ü.K: üretim kodu *** her gruptan 5 deney numunesi test edilmiştir.

LDMT, LDMO ve EAI'nin deney numunelerinin çekme direnci değerleri üzerine etkilerinin önem düzeyini belirlemek amacıyla ANOVA testi uygulanmış ve elde edilen değerler Çizelge 4.8'de gösterilmiştir. Çizelge 4.8 incelendiğinde LDMT, LDMO çekme direnci değerleri üzerine istatistiksel olarak önemli düzeyde etkili olduğu belirlenmiştir ($P < 0.0001$).

Çizelge 4.8. LDMT, LDMO ve EAI'nin çekme direnci değerleri üzerine etkisine ait ANOVA sonuçları.

Test	Kaynak	Kareler Top.	DF	Kareler Ort.	F	P
Çekme direnci	Model	1350,78	11	122,8	852,84	<0,0001significant
	A-Polimer Tipi	0,45	1	0,45	3,10	0.0852
	B-Dolgu Maddesi Tipi	303,94	1	303,94	2110,9	< 0.0001
	C-Dlg. Mad. Orani (%)	774,89	2	387,44	17,51	< 0.0001
	AB	2,52	1	2,52	4,12	0.0001
	AC	1,19	2	0,59	742,5	0.0225
	BC	213,82	2	106,91	4,59	< 0.0001
	ABC	1,32	2	0,66		0.0152
	Pure Error	6,62	46	0,14		
	Cor Total	1357,41	57			

Design-Expert® Software

Çekme Direnci (MPa)

■ B1 KOU

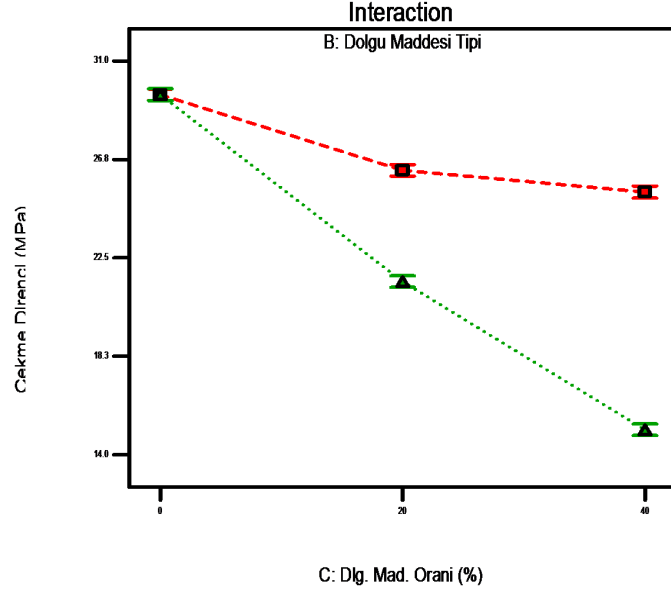
▲ B2 ZP

X1 = C: Dlg. Mad. Oranı (%)

X2 = B: Dolgu Maddesi Tipi

Actual Factor

A: Polimer Tipi = H-MFI



(a)

Design-Expert® Software

Çekme Direnci (MPa)

■ B1 KOU

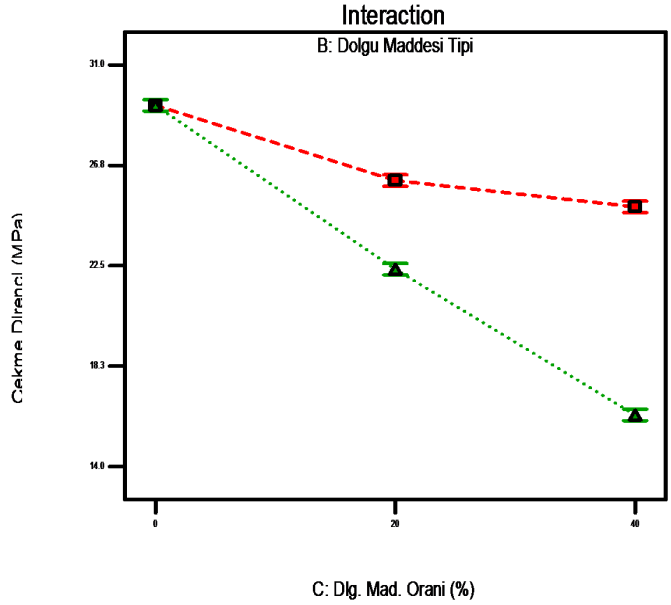
▲ B2 ZP

X1 = C: Dlg. Mad. Oranı (%)

X2 = B: Dolgu Maddesi Tipi

Actual Factor

A: Polimer Tipi = L-MFI



(b)

Şekil 4.6. Deney numunelerinin çekme direnci değerleri a) H-MFI, b) L-MFI.

Deney numunelerinin çekme direnci ortalama değerleri 15,08 ile 29,55 MPa aralığında tespit edilmiştir. Kontrol deney numunelerinde HMFI çekme direnci değeri 29,55 MPa ve LMFI çekme direnci değeri 29,29 MPa olarak tespit edilmiştir. Çekme direnci değerleri incelendiğinde polimer kompozit içerisindeki dolgu miktarı oranı arttıkça bu direncin azaldığı tespit edilmiştir. Benzer sonuçlar farklı dolgu maddeleri ile yapılan çalışmalarda da rapor edilmiştir (Mengeloğlu ve ark. 2007; Çetin ve ark., 2014;

Mengeloğlu ve ark. 2015). LDMT, LDMO ve EAI'nin deney numunelerinin çekme direnci özelliklerine etkileri sırasıyla Şekil 4.6'da gösterilmiştir. En yüksek çekme direnci değerleri HMFI ve LMFI kontrol örneklerinde ve en düşük değerler ise HMFI+%40 ZPU LMFI+%40 ZPU deney numunelerinden elde edilmiştir. Çekme direnci üzerinde MFI etkisinin fazla olmamasına rağmen LDMT ve LDMO oranının etkili olduğu gözlenmiştir. Polimer yapı içerisinde KOU oranının artışına paralel olarak çekme direnci azalmış ancak bu azalma en fazla ZPU miktarına göre ortaya çıkmıştır. Bunun nedeni olarak ZPU içerisindeki selüloz ve hemiselüloz miktarının az olması ve polimer ile dolgu maddesi arasındaki bağlanmanın KOU'ya göre daha düşük olması ve pirininin içerisinde çok az miktarda olsa yağ kalmasından dolayı adhezyonu düşürmesinden kaynaklanabilir. Lignoselülozik dolgu maddelerinin polimer matris içerisinde oranı arttıkça eğilme ve çekme direncinde düşüşler olabileceği literatürde belirtilmiştir (Mengeloğlu ve Karakuş, 2008; Chaharmahali ve ark., 2010). Önceki çalışmalarda çekme direncindeki düşüşün polimer ile LDM arasındaki uyumsuzluktan kaynaklanan adezyon problemi, lignoselülozik malzemelerin çekme dirençlerinin polimere göre düşük olması ve kompozit yapı içerisindeki polimer oranının azalması gibi sebeplerden kaynaklanabileceği belirtilmiştir (Rowell ve ark., 1997; Drouglas, 2001; Mengeloğlu ve Karakuş, 2008; Kord, 2011).

Çekmede elastikiyet modülü

Deney numunelerinin çekmede elastikiyet modülü ortalama ve standart sapma değerleri Çizelge 4.9'da gösterilmiştir.

Çizelge 4.9. Deney numune gruplarına ait çekmede elastikiyet modülü ortalama ve standart sapma değerleri.

Ü.K***	I-1	I-2	I-3	I-4	I-5	I-6	I-7	I-8	I-9	I-10
Ç.E.D. (MPa)	474,04	469,80	617,23	803,76	598,64	834,4	539,52	659,58	546,77	614,41
S.S.	(69,21)	(27,29)	(41,74)	(69,47)	(30,47)	(147,0)	(49,99)	(30,64)	(10,81)	(32,09)

*ortalama değer, **standart sapma, Ü.K: üretim kodu *** her gruptan 5 deney numunesi test edilmiştir.

LDMT, LDMO ve EAI'nin deney numunelerinin çekmede elastikiyet modülü değerleri üzerine etkilerinin önem düzeyini belirlemek amacıyla ANOVA testi uygulanmış ve elde edilen değerler Çizelge 4.10'da gösterilmiştir. Çizelge 4.10 incelendiğinde LDMT, LDMO'nun çekme direnci değerleri üzerine istatistiksel olarak önemli düzeyde etkili olduğu belirlenmiştir ($P < 0.0001$).

Çizelge 4.10. LDMT, LDMO ve EAI'nin çekmede elastikiyet modülü değerleri üzerine etkisine ait ANOVA sonuçları.

Test	Kaynak	Kareler Top.	DF	Kareler Ort.	F	P
Çekmede elastikiyet modülü	Model	7,639E+005	11	69443,2	40,14	<0.0001significant
	A-Polimer Tipi	0,62	1	0,62	3,570E-04	0.9850
	B-Dolgu Maddesi Tipi	92336,74	1	92336,74	53,37	< 0.0001
	C-Dlg. Mad. Oranı (%)	6,057E+005	2	3,029E+005	175,06	< 0.0001
	AB	1679,53	1	1679,53	0,97	0.3296
	AC	308,78	2	154,39	0,089	0.9148
	BC	65139,34	2	32569,67	18,83	0.0336
	ABC	12646,10	2	6323,05	3,65	0.0336
	Pure Error	79579,99	46	1730,00		
	Cor Total	8,435E+005	57			

Deney numunelerinin çekmede elastikiyet modülü ortalama değerleri 469,80 ile 834,41 MPa aralığında tespit edilmiştir. Çekmede elastikiyet modülü değerleri incelendiğinde LDMT, LDMO'nın bu direnç özellikleri üzerinde etkili olduğu ve arttırdığı belirlenmiştir. En yüksek çekmede elastikiyet modülü 40KOU+HMFİ ve en düşük yoğunluk ise kontrol deney numunelerinde tespit edilmiştir. LDMT olarak KOU kullanımı ZPU'ya göre çekmede elastikiyet modülü değerlerini daha fazla arttırdığı tespit edilmiştir. Benzer sonuçlar farklı dolgu maddeleri ile üretilen odun kompozit malzemelerde rapor edilmiştir (Li ve Matuana 2003; Wang ve ark., 2003; Qiu ve ark., 2004; Mengeloğlu ve ark., 2007; Yang et al. 2007). Dolgu maddesi miktarı arttıkça çekmede elastikiyet modülü değerleri artmıştır. Bu durum lignoselülozik esaslı dolgu maddelerinin polimer matrisi içerisine katılmasıyla beklenen bir artış olup genelde karışım kuralı ile açıklanmaktadır (Matuana ve ark.;2007; Jennifer ve Xu, 2009). Lignoselülozik dolgu maddelerinin elastikiyet modülü değerleri polimer malzemelere göre daha yüksek olduğu, katılım oranına paralel olarak elastikiyet modülünde arttırdıkları literatürde belirtilmiştir (Ward ve Hardley 1993; Rowel ve ark., 1997; Matuana ve Balatinecz, 1998; Bouafif, 2009; Zabihzadeh, 2010; Chaharmahali ve ark., 2010).

LDMT, LDMO ve EAI'nin deney numunelerinin çekmede elastikiyet modülü özelliklerine etkileri Şekil 4.7'de gösterilmiştir.

Design-Expert® Software

Çek. Elast. Mod (MPa)

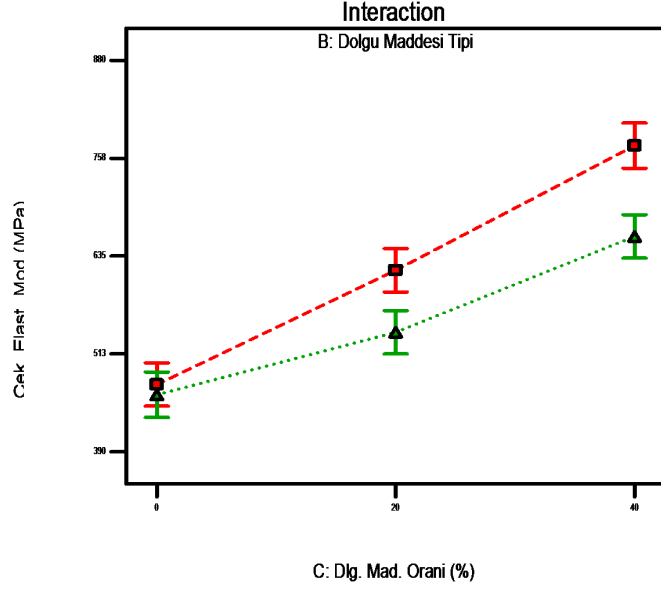
■ B1 KOU
▲ B2 ZP

X1 = C: Dlg. Mad. Oranı (%)

X2 = B: Dolgu Maddesi Tipi

Actual Factor

A: Polimer Tipi = H-MFI



(a)

Design-Expert® Software

Çek. Elast. Mod (MPa)

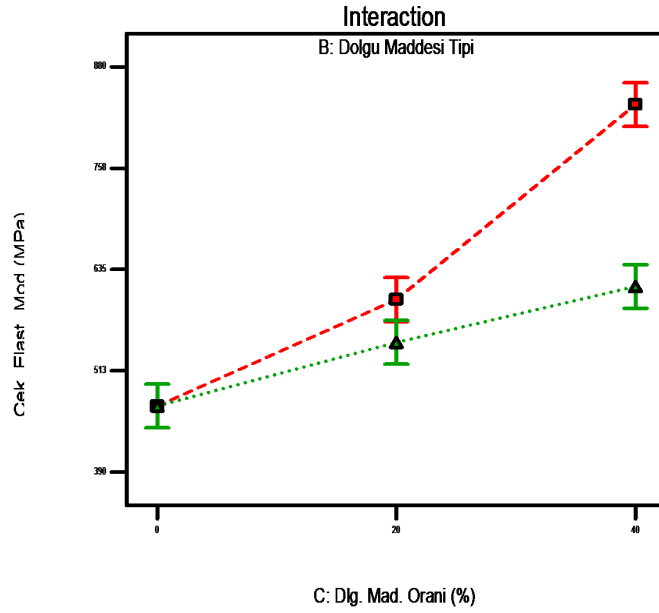
■ B1 KOU
▲ B2 ZP

X1 = C: Dlg. Mad. Oranı (%)

X2 = B: Dolgu Maddesi Tipi

Actual Factor

A: Polimer Tipi = L-MFI



(b)

Şekil 4.7. Deney numunelerinin çekmede elastikiyet modülü değerleri a) H-MFI, b) L-MFI.

Kopmada uzama miktarı

Deney numunelerinin kopmada uzama miktarı ortalama ve standart sapma değerleri Çizelge 4.11’de gösterilmiştir.

Çizelge 4.11. Deney numune gruplarına ait kopmada uzama ortalama ve standart sapma değerleri.

Ü.K***	I-1	I-2	I-3	I-4	I-5	I-6	I-7	I-8	I-9	I-10
K.U.M (MPa)	22,51*	455,23	6,27	3,79	6,45	3,90	6,83	3,77	9,18	5,42
S.S.	(1,46)**	(0,35)	(0,53)	(0,41)	(0,46)	(0,15)	(0,30)	(0,23)	(0,83)	(0,23)

*ortalama değer, **standart sapma, Ü.K: üretim kodu *** her gruptan 5 deney numunesi test edilmiştir.

LDMT, LDMO ve EAI'nin deney numunelerinin kopmada uzama miktarı değerleri üzerine etkilerinin önem düzeyini belirlemek amacıyla ANOVA testi uygulanmış ve elde edilen değerler Çizelge 4.12'de gösterilmiştir. Çizelge 4.12 incelendiğinde polimer tipi ve LDMT, LDMO'nun kopmada uzama miktarı değerleri üzerine istatistiksel olarak önemli düzeyde etkili olduğu belirlenmiştir ($P=0,0003$ ve $<0,0001$).

Çizelge 4.12. LDM türü, oranı ve EAI'nin kopmada uzama miktarı değerleri üzerine etkisine ait ANOVA sonuçları.

Test	Kaynak	Kareler Top.	DF	Kareler Ort.	F	P
Kopmada uzama miktarı	Model	1,582E+006	11	1,438E+005	2,844E+005	<.0001significant
	A-Polimer Tipi	2,798E+005	1	2,798E+005	5,533E+005	< 0,0001
	B-Dolgu Maddesi Tipi	7,64	1	7,64	15,11	0,0003
	C-Dlg. Mad. Oranı (%)	7,230E+005	2	3,615E+005	7,149E+005	< 0,0001
	AB	7,92	1	7,92	15,65	0,0003
	AC	5,665E+005	2	2,832E+005	5,601E+005	< 0,0001
	BC	9,05	2	4,52	8,95	0,0005
	ABC	1,79	2	0,90	1,77	0,1814
	Pure Error	23,26	46	0,51		
	Cor Total	1,582E+006	57			

Deney numunelerinin kopmada uzama miktarı ortalama değerleri sırasıyla %3,90 ile %455,23 aralığında tespit edilmiştir. Kopmada uzama miktarının belirlenmesi için elde edilen değerler incelendiğinde dolgu maddesi miktarındaki artışa paralel olarak bu değerde azalma meydana geldiği ve EAI'nin bu değerler üzerinde önemli oranda etkili olduğu görülmüştür. Kopmada uzama miktarında en yüksek değer EH-241 kontrol numunesinde tespit edilmiştir. Bu durum EH-241'in genel amaçlı çok yüksek hızda enjeksiyonluk ve elyaflık olarak kullanılabilen bir polimer olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Polimer matris içerisine LDMO paralel olarak kopmada uzama miktarında düşmelere neden olacağı, LDMO'nun artması ile OPK'lerin sertlik değerlerini arttırmasından dolayı kopmada uzama miktarında azalmaya neden olacağı belirtilmiştir (Raj ve ark., 1989; Yam ve ark., 1990; Clemons, 2002; Sain ve Panthapulakkal, 2006). Dolgu maddesi tipi, oranı ve EAI'nin deney numunelerinin kopmada uzama miktarına etkileri Şekil 4.8'te gösterilmiştir.

Design-Expert® Software

Kopm. Uzama (%)

■ B1 KOU

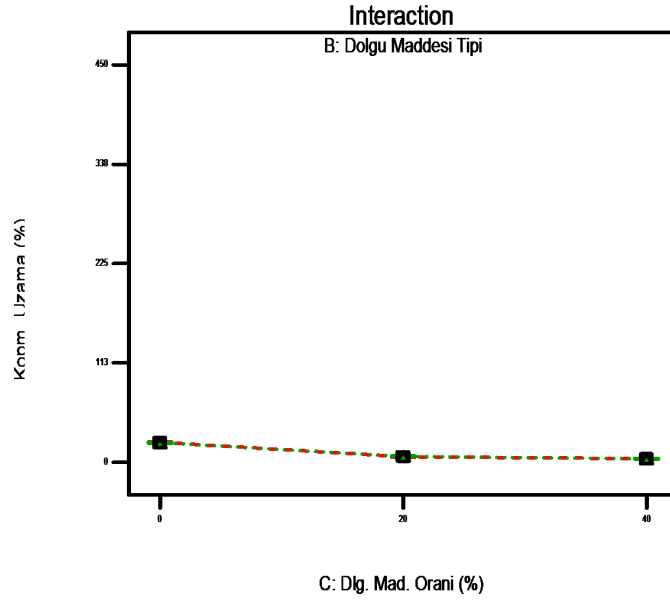
▲ B2 ZP

X1 = C: Dlg. Mad. Oranı (%)

X2 = B: Dolgu Maddesi Tipi

Actual Factor

A: Polimer Tipi = H-MFI



(a)

Design-Expert® Software

Kopm. Uzama (%)

■ B1 KOU

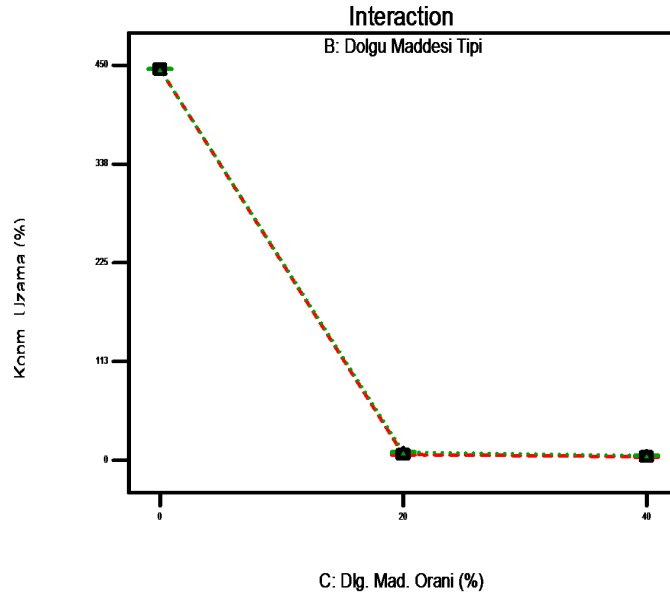
▲ B2 ZP

X1 = C: Dlg. Mad. Oranı (%)

X2 = B: Dolgu Maddesi Tipi

Actual Factor

A: Polimer Tipi = L-MFI



(b)

Şekil 4.8. Deney numunelerinin kopmada uzama miktarı değerleri a) H-MFI, b) L-MFI.

4.1.2.4. Darbe direnci

LDMT olarak KOU ve ZPU, LMFI ve HMFI PP'ler içerisinde farklı oranlarda kullanılarak üretilen deney numunelerinin darbe direnci belirlenmiştir. Deney numunelerinden elde edilen darbe direnci ortalama ve standart sapma değerleri Çizelge 4.13'te gösterilmiştir.

Çizelge 4.13. Deney numune gruplarına ait ortalama darbe direnci değerleri (kJ/m²).

Ü.K. ^{***}	I-1	I-2	I-3	I-4	I-5	I-6	I-7	I-8	I-9	I-10
Ort.(kJ/m ²)	1,80*	1,93	1,91	1,94	2,46	4,10	4,09	4,20	4,03	1,84
S.S.	(0,06)**	(0,30)	(0,23)	(0,16)	(0,19)	(0,05)	(0,05)	(0,02)	(0,08)	(0,30)

*ortalama değer, **standart sapma, Ü.K: üretim kodu *** her gruptan 5 deney numunesi test edilmiştir.

LDMT, LDMO ve EAI'nin deney numunelerinin darbe direnci değerleri üzerine etkilerinin önem düzeyini belirlemek amacıyla ANOVA testi uygulanmış ve elde edilen değerler Çizelge 4.14'te gösterilmiştir. Çizelge 4.1.14 incelendiğinde LDMT, LDMO'nun darbe direnci değerleri üzerine istatistiksel olarak önemli düzeyde etkili olduğu belirlenmiştir (P<0.0001).

Çizelge 4.14. LDMT, LDMO ve EAI'nin deney numunelerinin darbe direnci değerleri üzerine etkisine ait ANOVA sonuçları.

Test	Kaynak	Kareler Top.	DF	Kareler Ort.	F	P
Darbe Direnci	Model	63,74	11	5,79	173,09	< 0,0001significant
	A-Polimer Tipi	0,12	1	0,12	3,62	0,0630
	B-Dolgu Maddesi Tipi	5,86	1	5,86	175,05	< 0,0001
	C-Dlg. Mad. Oranı (%)	19,63	2	9,82	293,20	< 0,0001
	AB	10,98	1	10,98	328,05	< 0,0001
	AC	0,31	2	0,15	4,60	0,0148
	BC	11,77	2	5,88	175,72	< 0,0001
	ABC	15,07	2	7,54	225,09	< 0,0001
	Pure Error	1,61	48	0,033		
	Cor Total	65,34	59			

LDMT, LDMO ve EAI'nin deney numunelerinin darbe direncine etkileri Şekil 4.9'da gösterilmiştir.

Deney sonuçlarından elde edilen darbe direnci değerleri incelendiğinde bu değerler üzerinde EAI'nin, dolgu maddesi türü ve miktarının önemli oranda etkili olduğu tespit edilmiştir. Deney numunelerinin darbe direnci değerleri sırasıyla 1,80 ile 4,20 (kJ/m²) aralığında tespit edilmiştir. En yüksek darbe direnci değeri %40ZPU+HMFİ ve %20ZPU+HMFİ deney numunelerinden elde edilmiştir. LDMT olarak KOU kullanıldığında katılım oranı arttıkça darbe direncinin arttığı ancak bu artışın ZPU katılan deney numunelerine göre daha düşük olduğu tespit edilmiştir. Bunun nedeni olarak ZPU'nun KOU'ya göre daha sert olmasından kaynaklanabileceği öngörülmüştür. Polimer matris içine dolgu maddesi katılmasının OPK sertliğini artırarak OPK'yı daha kırılğan bir hale getirip (Adhikary ve ark., 2000; Clemons, 2002, Morreale ve ark., 2008; Çavdar, 2011; Karakuş ve Mengeloğlu, 2016) darbe direnci değerlerini azalttığı tespit edilmiştir.

Artan LDMO yüzeyel bölgelerde çatlamalara sebep olabilmektedir ve LDM polimer rijitliğini artırarak şok direncinin düşmesine sebep olabilmektedir (Zaini, 1996).

Design-Expert® Software

Darbe Direnci (KJ/mm²)

■ B1 KOU

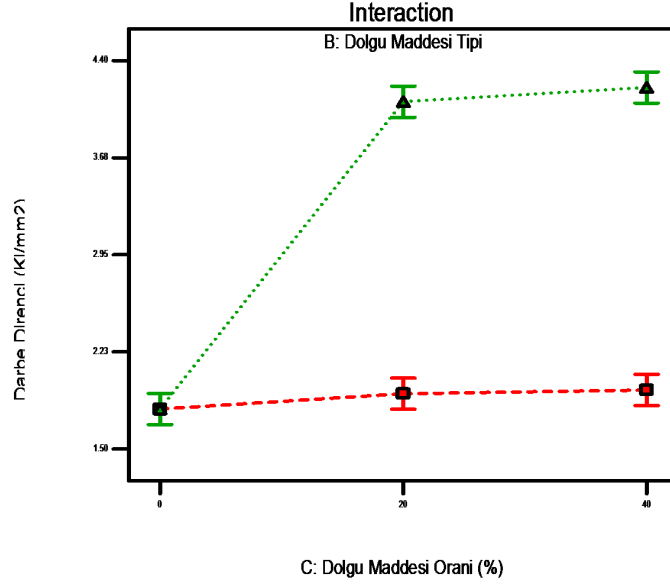
▲ B2 ZP

X1 = C: Dolgu Maddesi Oranı (%)

X2 = B: Dolgu Maddesi Tipi

Actual Factor

A: Polimer Tipi = H-MFI



(a)

Design-Expert® Software

Darbe Direnci (KJ/mm²)

■ B1 KOU

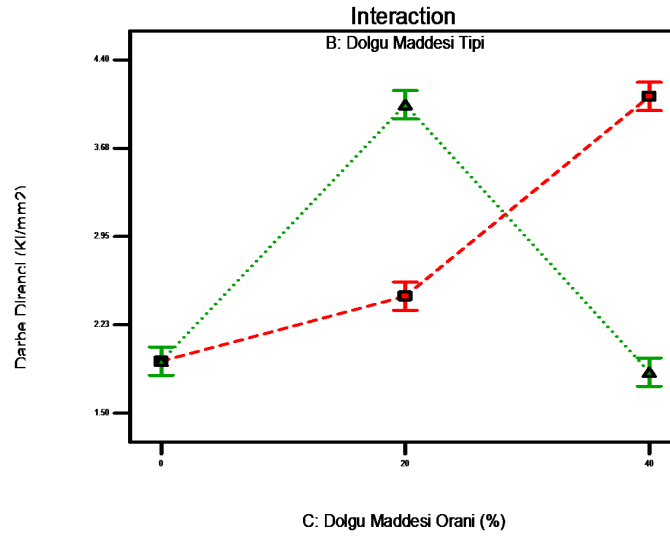
▲ B2 ZP

X1 = C: Dolgu Maddesi Oranı (%)

X2 = B: Dolgu Maddesi Tipi

Actual Factor

A: Polimer Tipi = L-MFI



(b)

Şekil 4.9. Deney numunelerinin darbe direnci değerleri a) H-MFI, b) L-MFI.

4.1.2.5. Sertlik direnci

LDMT olarak KOU ve ZPU, LMFI ve HMFI PP'ler içerisinde farklı oranlarda kullanılarak üretilen deney numunelerinin sertlik direnci belirlenmiştir. Deney

numunelerinden elde edilen sertlik direnci ortalama ve standart sapma değerleri izelge 4.15’te gösterilmiştir.

Çizelge 4.15. Deney numune gruplarına ait ortalama sertlik değerleri (Shore- D).

.K***	I-1	I-2	I-3	I-4	I-5	I-6	I-7	I-8	I-9	I-10
Sertlik	67,52*	64,28	70,64	74,28	69,28	75,08	69,42	70,84	70,40	72,26
S.S.	(1,43)	(1,74)	(2,06)	(1,02)	(1,90)	(2,27)	(1,86)	(0,62)	(1,44)	(0,97)

*ortalama değer, **standart sapma, .K: Üretim kodu *** her gruptan 5 deney numunesi test edilmiştir.

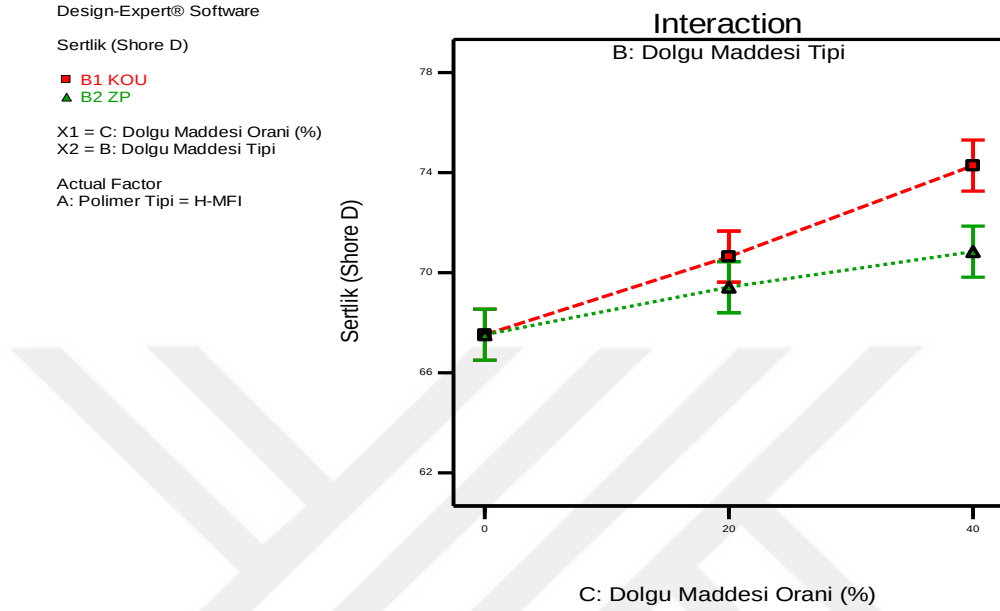
LDMT, LDMO ve EAI’nin deney numunelerinin sertlik direnci değerleri üzerine etkilerinin önem düzeyini belirlemek amacıyla ANOVA testi uygulanmış ve elde edilen değerler izelge 4.16’da gösterilmiştir. Çizelge 4.16 incelendiğinde LDMO’nun sertlik direnci değerleri üzerine istatistiksel olarak önemli düzeyde etkili olduğu belirlenmiştir ($P < 0.0001$).

Çizelge 4.16. LDMT, LDMO ve EAI’nin deney numunelerinin sertlik direnci değerleri üzerine etkisine ait ANOVA sonuçları.

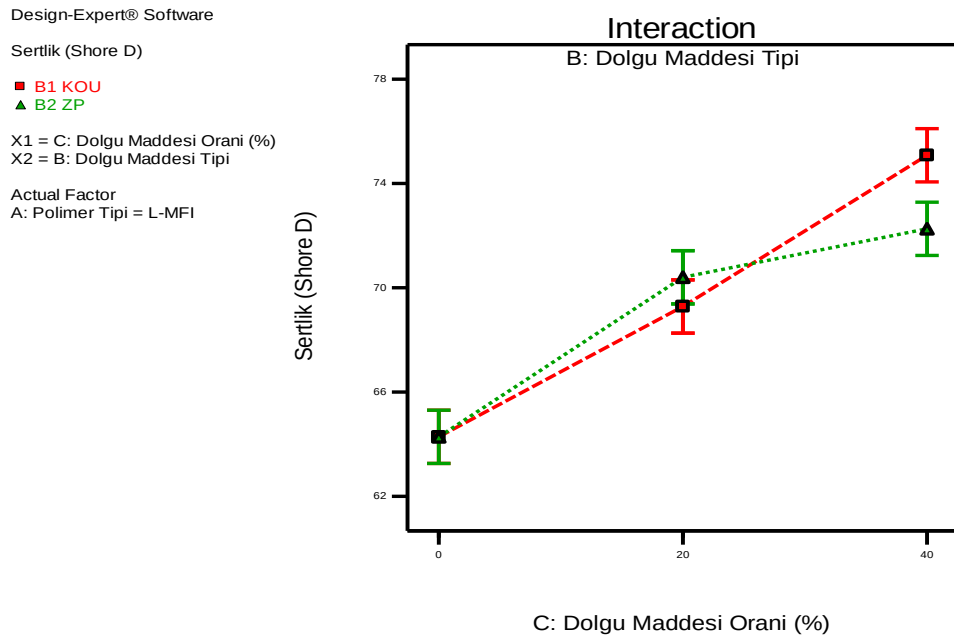
Test	Kaynak	Kareler Top.	DF	Kareler Ort.	F	P
Sertlik direnci	Model	638.15	11	58.01	22.48	< 0,0001significant
	A-Polimer Tipi	8,97	1	8,97	3,48	0,0684
	B-Dolgu Maddesi Tipi	16,85	1	16,85	6,53	0,0138
	C-Dlg. Mad. Oranı (%)	523,00	2	261,50	101,34	< 0,0001
	AB	3,65	1	3,65	1,41	0,2401
	AC	49,86	2	24,93	9,66	0,0003
	BC	32,14	2	16,07	6,23	0,0039
	ABC	3,67	2	1,84	0,71	0,4958
	Pure Error	123,86	48	2,58		
	Cor Total	762,01	59			

LDMT, LDMO ve EAI’nin deney numunelerinin sertlik değerlerine etkileri şekil 4.10’da gösterilmiştir. şekil 4.10 incelendiğinde, numunelerin sertlik değerlerinin dolgu maddesi oranına paralel olarak arttığı, EAI’nin bu artışta önemli olmadığı LDMT ve LDMO etkili olduğu belirlenmiştir. En fazla artış KOU+HMFIPP ile üretilen deney numunelerinde tespit edilmiştir. Bu durum erime akış indeksine bağlı olarak deney numunelerinin üretimi sırasında kalıp içerisinde daha homojen dağılması ve kalıbı daha kolay doldurması ile açıklanabilir. ZPU katılan deney numuneleri kontrol örneklerine göre sertlik değerlerini arttırmasına rağmen KOU katılmış deney numunelerinden daha düşük tespit edilmiştir. Bunun sebebi olarak KOU’nun ZPU’ ya göre daha lifli bir yapıda olması ve üretim tek idalı ekstruderden yapılmasından kaynaklanabilecek dengeli dağılım olmamasından kaynaklanabilir. Odun unu yoğunluğundaki artışa bağlı olarak deney numunelerinin sertlik direnci de artmaktadır. Bununla birlikte OPK’ler içerisinde plastik

oranı azaldıkça malzemenin süneklik ve darbe direnci dayanımının azaldığı bildirilmiştir. LDMO'nun artmasına paralel olarak malzemenin sertliği arttığını ve bunda darbe direncini azalttığı yapılan araştırmalarda belirtilmiştir (Morreale ve ark., 2008; Avcı, 2012; Hosseinihashemi ve ark., 2016).



(a)



(b)

Şekil 4.10. Deney numunelerinin sertlik değerleri a) H-MFI, b) L-MFI.

4.1.2.6. Doğrusal yanma hızı

LDMT olarak KOU ve ZPU, LMFI ve HMFİ PP'ler içerisinde farklı oranlarda kullanılarak üretilen deney numunelerinin doğrusal yanma hızı belirlenmiştir. Deney numunelerinden elde edilen doğrusal yanma hızı ortalama ve standart sapma değerleri Çizelge 4.17'de gösterilmiştir.

Çizelge 4.17. Deney numune gruplarına ait ortalama doğrusal yanma hızı değerleri (mm\dak.).

Ü.K***	I-1	I-2	I-3	I-4	I-5	I-6	I-7	I-8	I-9	I-10
Ort. (mm\dak)	26,45*	33,35	35,35	35,90	20,42	20,00	19,29	16,52	30,26	31,87
S.S.	(2,11)	(2,32)	(1,86)	(3,26)	(1,14)	(1,93)	(1,89)	(1,56)	(1,57)	(2,86)

* ortalama değer, **standart sapma, Ü.K: üretim kodu *** her gruptan 10 adet deney numunesi test edilmiştir.

LDMT, LDMO ve EAI'nin deney numunelerinin doğrusal yanma hızı değerleri üzerine etkilerinin önem düzeyini belirlemek amacıyla ANOVA testi uygulanmış ve elde edilen değerler Çizelge 4.18'de gösterilmiştir. Çizelge 4.18 incelendiğinde polimer tipi, LDMT ve LDMO'nun doğrusal yanma hızı değerleri üzerine istatistiksel olarak önemli düzeyde etkili olduğu belirlenmiştir ($P < 0.0001$).

Çizelge 4.18. LDMT, LDMO ve EAI'nin deney numunelerinin doğrusal yanma hızı değerleri üzerine etkisine ait ANOVA sonuçları.

Test	Kaynak	Kareler Top.	DF	Kareler Ort.	F	P
Doğrusal yanma hızı	Model	5255.44	11	477,77	103,32	<0.0001significant
	A-Polimer Tipi	69,77	1	69,77	15,09	0.0002
	B-Dolgu Maddesi Tipi	155,87	1	155,87	33,71	< 0.0001
	C-Dlg. Mad. Oranı (%)	364.63	2	182,32	39,43	< 0.0001
	AB	2730,66	1	2730,66	590,55	< 0.0001
	AC	449,29	2	224,65	48,58	< 0.0001
	BC	80,66	2	40,33	8,72	0.0003
	ABC	1404,56	2	702,28	151,88	< 0.0001
	Pure Error	499,39	108	4,62		
	Cor Total	5754,83	119			

LDMT, LDMO ve EAI'nin deney numunelerinin doğrusal yanma hızı değerlerine etkileri Şekil 4.11'de gösterilmiştir.

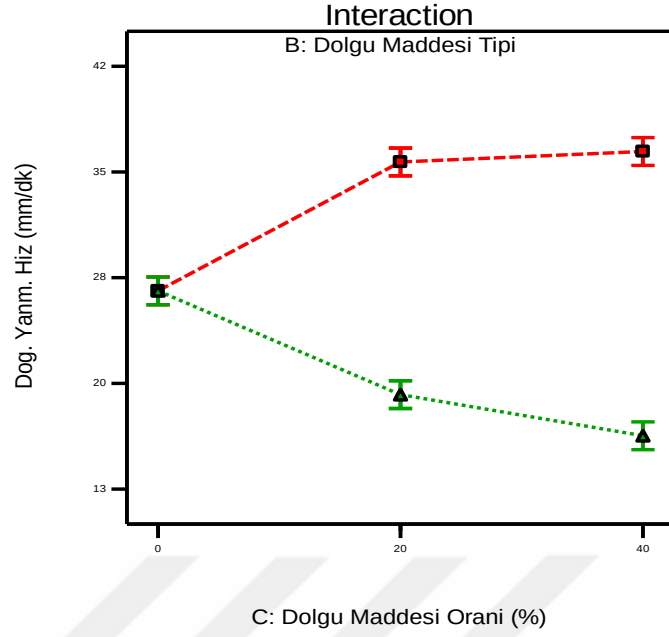
Design-Expert® Software

Dog. Yanm. Hiz (mm/dk)

■ B1 KOU
▲ B2 ZP

X1 = C: Dolgu Maddesi Orani (%)
X2 = B: Dolgu Maddesi Tipi

Actual Factor
A: Polimer Tipi = H-MFI



(a)

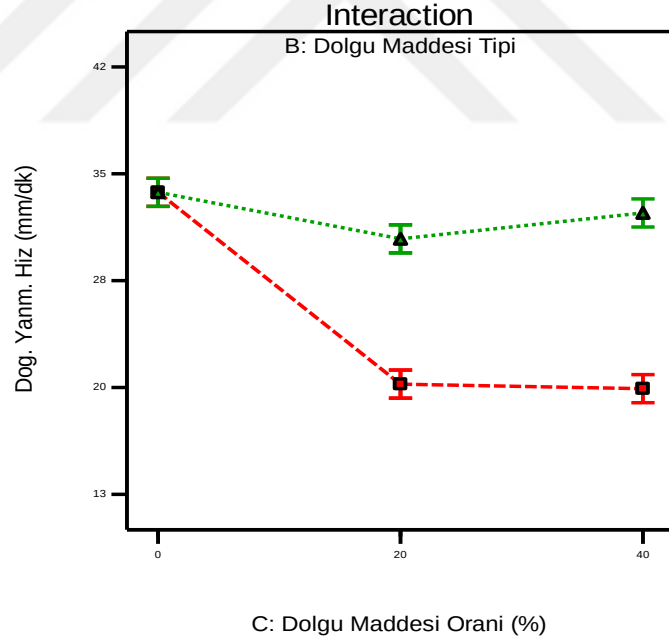
Design-Expert® Software

Dog. Yanm. Hiz (mm/dk)

■ B1 KOU
▲ B2 ZP

X1 = C: Dolgu Maddesi Orani (%)
X2 = B: Dolgu Maddesi Tipi

Actual Factor
A: Polimer Tipi = L-MFI



(b)

Şekil 4.11. Deney numunelerinin doğrusal yanma hızı değerleri a) H-MFI ve b) L-MFI

Deney numunelerin ortalama yanma hız değerlerinin 16.52 ile 35.90 mm\dak. aralığında oldukları görülmüştür. Şekil 4.11 incelendiğinde, deney numunelerin doğrusal yanma hızının LDMT, LDMO'a paralel olarak düştüğü tespit edilmiştir. Doğrusal yanma hızı en düşük değerler HMFI+%40 ZPU oranında katılan deney numunelerinden elde

edilirken, en yüksek doğrusal yanma hızı HMFI+%40 KOU deney numunelerinde belirlenmiştir. HMFI içerisine KOU katılımı ile doğrusal yanma hızı artmasına rağmen ZPU katılımı doğrusal yanma hızını azalmıştır. LMFI içerisine KOU katılımı doğrusal yanma hızını azaltırken, LMFI içerisinde ZPU kullanımı doğrusal yanma hızını artırmıştır. Deney numunelerinin yanma hız değerleri üzerinde MFI, LDMT, LDMO'nun önemli oranda etkili olduğu tespit edilmiştir. Literatürde deney numunelerinin yanma özelliği hakkında çok az araştırma vardır. Yapılan araştırmalarda polimer içerisine konulan dolgu maddesi oranının artmasına paralel olarak doğrusal yanma hızında düşme olduğu bildirilmiştir (Verma ve ark., 2016). Doğrusal yanma hızının polimerin EAI'nin ve türünden etkilenmediğini ancak polimer veya LDM'nin kimyasal bileşimi, yoğunluğu, plastiğin niteliğini, plastik içeriğini ve dolgu maddesi miktarlarındaki farklılıklara bağlı olabileceği bildirilmiştir (Binhussain ve Tonsy, 2013).

4.1.2.7. Gerilme gevşeme

Gerilme gevşemesi sabit uzama altında olan polimer malzemede sabit uzamaya yol açan gerilme zamanla düşmesi olarak açıklanabilir. Gerilme gevşemesinin meydana gelmesinin nedeni, polimer zincirlerinin aralarındaki ikincil bağların koptuktan sonra yeniden oluşması ve zincir büklümlerinin çözülüp zincirlerin birbirleri üzerinde yavaşça kaymaları şeklinde meydana gelen Iskoz akıştır. Sürecin meydana gelebilmesi için yeterli aktivasyon enerjisi varsa, gerilme gevşemesi malzemenin kendiliğinden daha düşük enerjili duruma geçmesini sağlar. Polimer malzemelerde gerilme gevşemesi sıcaklığa ve aktivasyon enerjisine bağlıdır. Gerilme gevşemesinin oluşma hızı gevşeme zamanı τ 'ye bağlıdır.

LDMT olarak KOU ve ZPU, LMFI ve HMFI PP'ler içerisinde farklı oranlarda kullanılarak üretilen deney numunelerinin gerilme gevşeme direnci belirlenmiştir. Deney numunelerinden elde edilen gerilme gevşeme direnci ortalama ve standart sapma değerleri Çizelge 4.19'da gösterilmiştir.

Çizelge 4.19. Deney numunelerinden elde edilen gerilme gevşeme direnci ortalama ve standart sapma değerleri (N).

Ü. K***	F(Δt_1)	F(Δt_2)	F(Δt_3)	F(Δt_4)	F(Δt_5)	F(Δt_6)	FARK
I-1	597,93* (0,12) **	388,11 (1,90)	366,74 (1,84)	356,56 (4,28)	349,73 (4,50)	344,48 (5,46)	253,46 (5,59)
I-2	598,06 (0,09)	399,90 (9,50)	377,86 (8,82)	368,62 (12,64)	359,67 (15,63)	348,92 (10,25)	249,15 (10,33)
I-3	597,32 (0,24)	408,64 (2,90)	385,31 (3,64)	376,17 (12,25)	366,95 (2,66)	361,14 (5,28)	236,18 (5,51)
I-4	596,88 (0,07)	410,92 (9,55)	394,30 (9,41)	388,50 (9,42)	376,31 (21,41)	376,83 (13,94)	220,05 (14,00)
I-5	597,39 (0,10)	407,39 (3,35)	387,64 (4,74)	375,24 (5,61)	366,28 (6,30)	360,17 (7,72)	237,22 (7,79)
I-6	596,77 (0,25)	427,24 (2,24)	411,30 (3,66)	398,47 (6,77)	388,42 (5,80)	381,91 (6,23)	214,86 (6,17)
I-7	597,70 (0,32)	398,10 (6,54)	373,64 (2,93)	357,82 (0,49)	346,94 (2,07)	338,27 (1,50)	259,43 (1,18)
I-8	597,41 (0,07)	394,90 (1,35)	377,65 (2,73)	363,85 (7,20)	354,61 (9,01)	349,97 (8,99)	247,45 (8,94)
I-9	597,76 (0,10)	401,66 (4,49)	380,82 (2,09)	365,81 (5,07)	358,53 (7,83)	352,95 (7,63)	244,81 (7,62)
I-10	597,72 (0,05)	392,60 (3,61)	368,08 (8,20)	356,57 (11,60)	347,16 (11,87)	339,823 (12,91)	257,91 (12,87)

* ortalama değer, **standart sapma, Ü.K: üretim kodu *** her gruptan 3 adet deney numunesi test edilmiştir.

LDMT, LDMO ve EAI'nin deney numunelerinin gerilme gevşeme değerleri üzerine etkilerinin önem düzeyini belirlemek amacıyla ANOVA testi uygulanmış ve elde edilen değerler Çizelge 4.20'de gösterilmiştir. Çizelge 4.20 incelendiğinde LDMT'nin türünün gerilme gevşeme değerleri üzerine istatistiksel olarak önemli düzeyde etkili olduğu belirlenmiştir ($P < 0.0001$).

Çizelge 4.1.20. LDM türü, oranı ve EAI'nin deney numunelerinin gerilme gevşeme değerleri üzerine etkisine ait ANOVA sonuçları.

Test	Kaynak	Kareler Top.	DF	Kareler Ort.	F	P
Gerilme gevşeme	Model	6127,75	11	557,07	6,69	<0.0001significant
	A-Polimer Tipi	41,88	1	41,88	0,50	0,4859
	B-Dolgu Maddesi Tipi	2562,29	1	2562,29	30,78	< 0.0001
	C-Dlg. Mad. Oranı (%)	1414,12	2	707,06	8,50	0,0020
	AB	0,83	1	0,83	9.948E-03	0,9215
	AC	117,36	2	58,685	0,71	0,5054
	BC	1725,70	2	862,85	10,37	0.0007
	ABC	346,68	2	173,34	2,08	0,1496
	Pure Error	1747,87	21	83,23		
	Cor Total	7875,62	32			

Deney numunelerin deney süresince eksponansiyelliğin bitip yaklaşık lineerliğin doğrunun başladığı nokta arasındaki fark değerleri alınmıştır. Şekil 4.12 incelendiğinde, deney numunelerin gerilme gevşeme değerlerinin EAI, dolgu maddesi türü ve oranın etkili olduğu tespit edilmiştir. Gerilme gevşemedeki ortalama maksimum düşüş değerlerinin 214,86 ile 259,43 N aralığında oldukları tespit edilmiştir. Gerilme gevşeme değerlerindeki ortalama en küçük düşme değeri farkı %54PP+40KOU (LMFI) oranında katılan deney numunelerinde elde edilirken, en küçük gerilme gevşeme ortalama büyük değeri değer farkı ise 74PP+20ZPU (HMFI) deney numunelerinde belirlenmiştir. Deney numuneleri içerisine LDM katılımı EAI'ne bağlı kalmaksızın gerilme gevşemedeki düşüşü değerini kontrol numunesi olan saf plastiğe göre azalttığı belirlenmiştir. Deney numuneleri içerisine %20 oranında ZPU dolgu maddesi katılımı L-MFI deney numunelerinde gerilme düşüşü değerini arttırdığı ancak ZPU katılım oranı %40 olduğunda bu değeri kontrol numunelerine göre düşürdüğü tespit edilmiştir. Gerilme gevşeme HMFI ve LMFI EAI'nin ve dolgu maddesi türünün gerilme gevşeme değerlerinde önemli bir etkisinin olmadığı tespit edilmiştir. LDMO'nun deney numunelerinin gerilme gevşeme değerlerinde etkili olduğu ve katılım oranı arttıkça gerilme gevşeme değerlerini belirgin bir şekilde düşürdüğü tespit edilmiştir. Benzer şekilde veriler daha önce yapılan çalışmalarda elde edilmiştir. Literatürde dolgu maddesi oranın polimer zincirlerinin aralarındaki hareket kabiliyetini azalttığı, bu durumun gevşemeyi geciktirdiği ve dolgu maddesi miktarı arttıkça gevşemenin azaldığı rapor edilmiştir (Kutty ve Nando, 1991; Bhattacharyya ve ark., 2006; Mirzai ve ark., 2011; Wan ve ark., 2012; Obaid ve ark., 2017).

LDMT, LDMO ve EAI'nin deney numunelerinin gerilme gevşeme değerlerine etkileri Şekil 4.12'de gösterilmiştir. Mirzai ve arkadaşları (2011) tarafından yapılan çalışmada ağırlıkça %25 ve %50 oranında dört çeşit dolgu malzemesi (odun unu, pirinç kabuğu, gazete kağıdı ve kenaf lifi) HDPE içerisinde dolgu maddesi olarak kullanılmış ve gerilme gevşeme özellikleri araştırılmıştır. Deney numunelerinden elde edilen veriler dolgu maddesi oranı arttıkça gevşeme değerlerinin düşürdüğü, gerilme ve gevşeme selyesinin dolgu maddesi oranı ile ters korelasyona sahip olduğunu göstermiştir. Ek olarak dolgu türleri arasında odun unu ve kenaf lifi benzer davranışlar sergilerken, gazete kağıdı pirinç kabuğu bu dolgu maddelerinden farklı performans gösterdiğini tespit etmişlerdir.

Design-Expert® Software

Gevseme (N)

■ B1 KOU

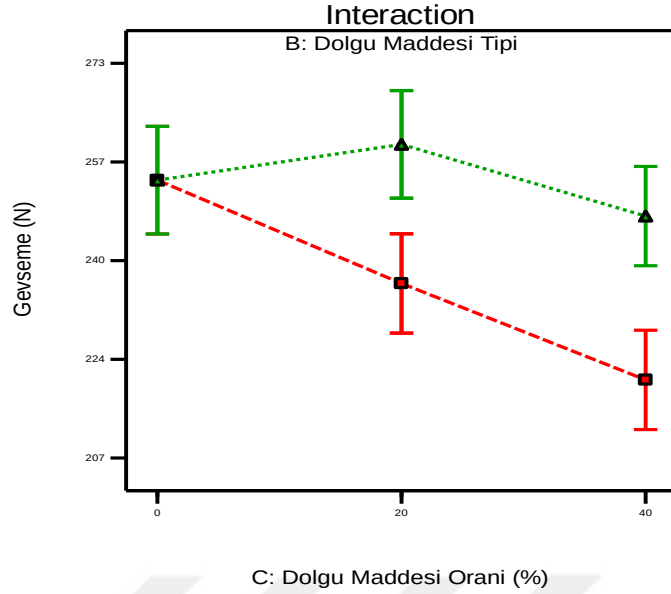
▲ B2 ZP

X1 = C: Dolgu Maddesi Orani (%)

X2 = B: Dolgu Maddesi Tipi

Actual Factor

A: Polimer Tipi = H-MFI



(a)

Design-Expert® Software

Gevseme (N)

■ B1 KOU

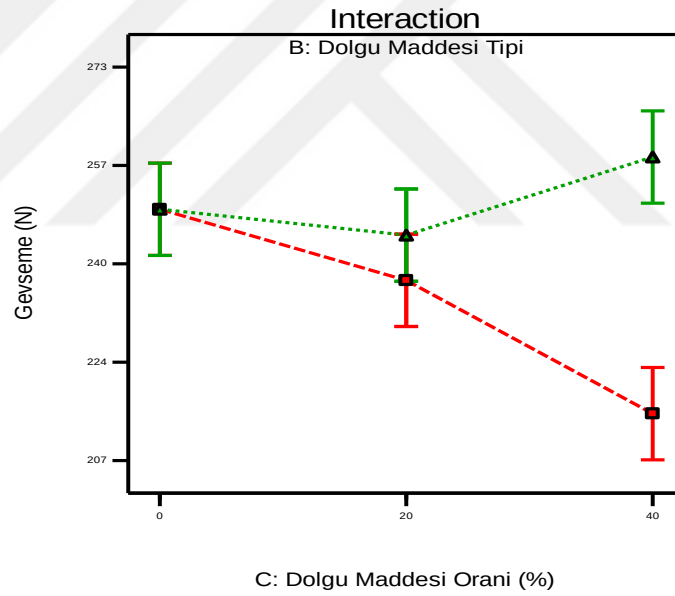
▲ B2 ZP

X1 = C: Dolgu Maddesi Orani (%)

X2 = B: Dolgu Maddesi Tipi

Actual Factor

A: Polimer Tipi = L-MFI



(b)

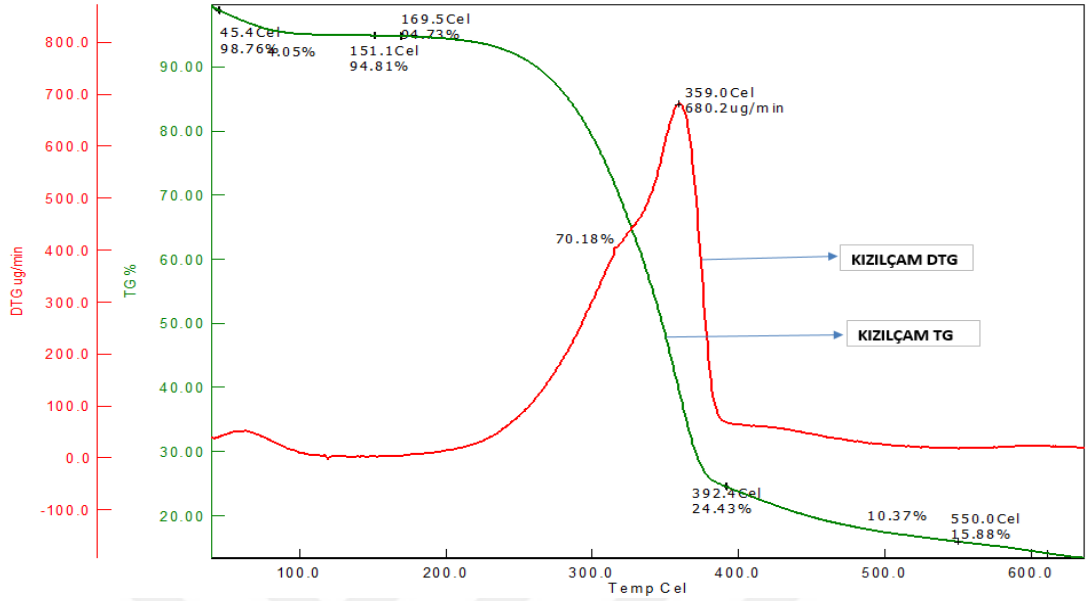
Şekil 4.12. Deney numunelerinin gerilme gevşeme değerleri a) H-MFI ve b) L-MFI.

4.1.2. Deney numunelerinin Termal Özellikleri

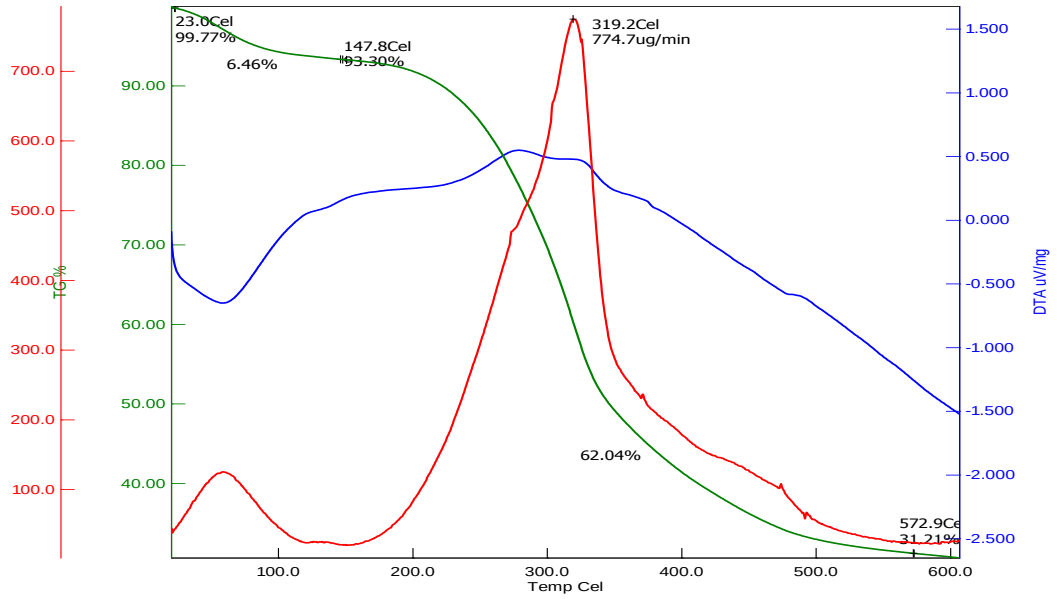
4.1.2.1. Termogravimetrik analiz (TGA)

Bu kısımda I-1, I-2, I-4, I-6, I-8 ve I-10 üretim kodu ile üretilen deney numuneleri ile kızılçam ve zeytin pirinası ununun TGA ve DTGA analizleri yapılmıştır. Deney numunelerinin üretiminde kullanılan kızılçam ve zeytin pirinasına ait termogravimetrik

(TGA) ve diferansiyel termogravimetrik analiz (DTG) termografları Şekil 4.13'te gösterilmiştir.



Kızılçam odunu



Zeytin pirinası

Şekil 4.13. kızılçam ve zeytin pirinasına ait TGA ve DTG termografları.

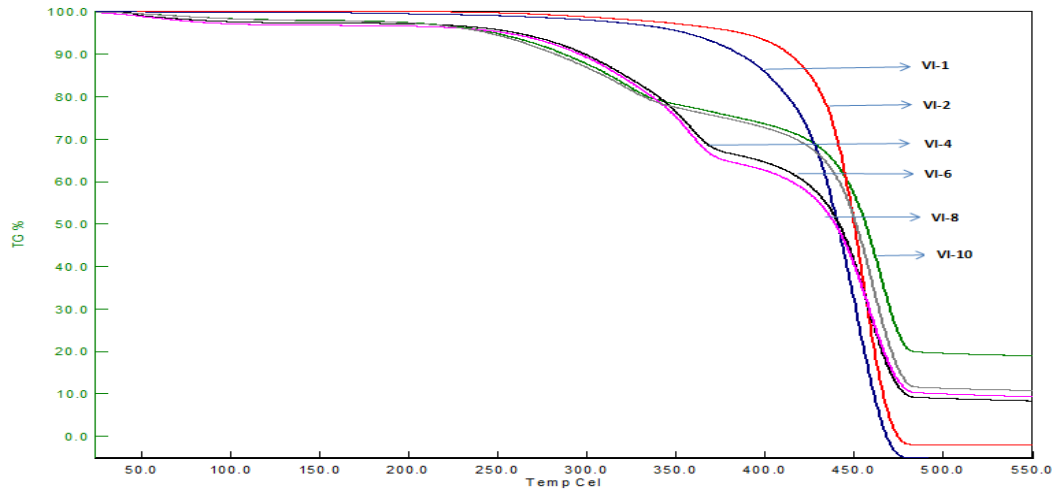
LDMT olarak KOU ve ZPU, düşük ve HMFİ PP'ler içerisinde farklı oranlarda kullanılarak üretilen deney numunelerinin termal bozunmaları TGA ile tespit edilmiş ve sonuçlar Çizelge 4.1.21'de gösterilmiştir.

Çizelge 4.21. Deney numunelerinin termogravimetrik (TGA) analizleri

Ü.K.	Pik	Onset Temp. (°C)	Endset Temp. (°C)	Inflection point (°C)	Weight loss (%)	Residue after 520 (°C) (%)
I-1	1. Pik	255,5	499,2	454,4	98,86	1,04
I-2	1. Pik	179,5	500,2	455,9	99,03	0,97
I-4	1. Pik	137,9	370,0	355,0	31,32	7,73
	2. Pik	389,5	614,3	460,8	57,78	
I-6	1. Pik	131,8	376,1	350,0	31,67	8,89
	2. Pik	376,1	589,9	461,1	55,98	
I-8	1. Pik	106,5	350,0	330	21,58	10,31
	2. Pik	358,1	602,8	464,2	66,48	
I-10	1. Pik	104,7	350,0	330,0	21,20	18,15
	2. Pik	361,1	624,2	468,2	59,49	

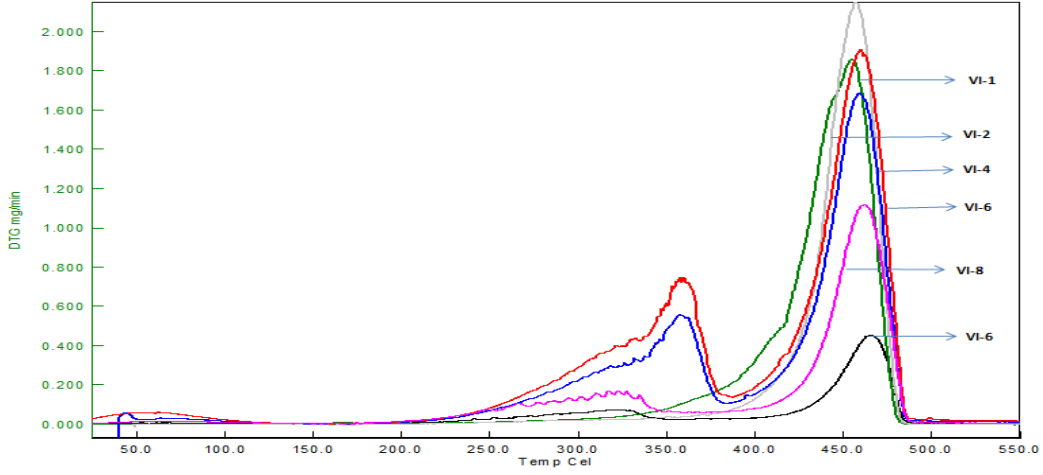
Şekil 4.13 incelendiğinde kızılçamda 110 °C altında bünyesinde bulunan ve yüzeylere tutunmuş olan su kaybı görülmüştür. 169,5 ile 392,4 °C arasında %70,18 kayıp olduğu gözlenmiştir. Kalıntı miktarı 600°C’de %15,88 olduğu tespit edilmiştir. Zeytin pirinasında ise 110 °C altında yüzeyde absorblanmış bulunan su kaybı meydana gelmiştir. 147,8 ile 572,9 °C aralığında %62,04 kayıp meydana gelmiş ve 600 °C’de %31,21 kalıntı miktarı gözlenmiştir.

LDMT olarak KOU ve ZPU, düşük ve HMFİ PP’ler içerisinde farklı oranlarda kullanılarak üretilen deney numunelerinin termogravimetrik (TGA) termografları Şekil 4.14’te gösterilmiştir.



Şekil 4.14. Deney numune gruplarına ait termogravimetrik (TGA) termografları.

LDMT olarak KOU ve ZPU, düşük ve HMFİ PP’ler içerisinde farklı oranlarda kullanılarak üretilen deney numunelerinin diferansiyel termogravimetrik analiz termografları (DTG) Şekil 4.15’te gösterilmiştir.



Şekil 4.15. Deney numunelerinin diferansiyel termogravimetrik Analiz (DTG) termografları.

Şekil 4.15'te görüldüğü gibi yüksek erime akış indeksine sahip polipropilende 255,5 °C'de bozunmaya abaslamış 499,2 °C'de bitmiş ve bu aralıkta %99 bozunma meydana gelmiştir. En fazla 454 °C de olup %78,44 bozunma meydana gemiş ve 600 °C'de tamamı bozunmuştur. Düşük erime akış indeksine sahip polipropilende ise 179,5 °C'de bozunmaya başlamış 502,5 °C'de bitmiş ve bu aralıkta tamamı bozunmuştur. En fazla bozunma 455,9 °C'de olup %72,2 bozunma meydana gemiş ve 600 °C'de tamamı bozunmuştur.

İçerisine %40 oranında KOU katılmış H-MFI polipropilende ise bozunma 2 aşamada gerçekleşmiştir. 137,9 °C'de bozunmaya başlamış 380 °C'de bitmiş ve bu aralıkta %31,32 bozunma meydana gelmiştir. En fazla bozunma ise 389,5 °C'de başlamış 614 °C'de bitmiş ve bu aralıkta %57,8 bozunma ve kalıntı miktarı %7,7 meydana gelmiştir. İçerisine %40 oranında KOU katılmış L-MFI polipropilende ise bozunma 2 aşamada gerçekleşmiştir. İlk önce 110°C'de adsorblanmış su buharlaşmış 131,8 °C'de bozunma başlamış 376,1 °C'de bitmiştir. Bu aralıkta %31,67 bozunma meydana gelmiştir. en fazla bozunma 376,1 °C'de başlamış 589,9 °C'de bitmiş ve bu aralıkta %65,19 bozunma meydana gelmiştir. 600 °C'de kalıntı miktarı %7,72 olarak tespit edilmiştir.

İçerisine %40 oranında ZPU katılmış H-MFI polipropilende ise bozunma 2 aşamada gerçekleşmiştir. 110 °C'de yüzeye adsorblanmış su buharlaşmıştır. İlk bozunma 150 °C'de başlamış 350 °C'de bitmiş ve bu aralıkta %21,58 bozunma meydana gelmiştir. 2. Bozunma 335,1 °C'de başlamış 602 °C'de bitmiş ve bu aralıkta %66,48 bozunma meydana gelmiştir. 602 °C'de kalıntı miktarı %10,31 olarak tespit edilmiştir. İçerisine %40 oranında ZPU katılmış L-MFI polipropilende ise bozunma 2 aşamada gerçekleşmiştir. İlk bozunma 150 °C'de başlamış 355 °C'de bitmiş ve bu aralıkta %21,20 bozunma meydana

gelmiştir. 2. Bozunma 361,1 °C’de başlamış 624,2 °C’de bitmiş, bu aralıkta %59,49 bozunma ve kalıntı miktarı %18,15 olarak tespit edilmiştir.

Lignoselülozik malzemeler doğal yapılarında çeşitli oranlarda lignin, selülozdan ve hemiselüloz bulundurmaktadırlar. Lignoselülozik malzemelerin bozunma sıcaklıkları ile yapılan bazı çalışmalar, ligninin 200 °C’de, selülozun 210 °C hemiselülozun ise yaklaşık bozunma sıcaklığı 180 °C olarak belirlenmiştir (Li ve ark.,2002; Sun ve ark., 2004; Canetti ve ark., 2006; Xu ve ark., 2006; Sain ve Panthapulakkal, 2006).

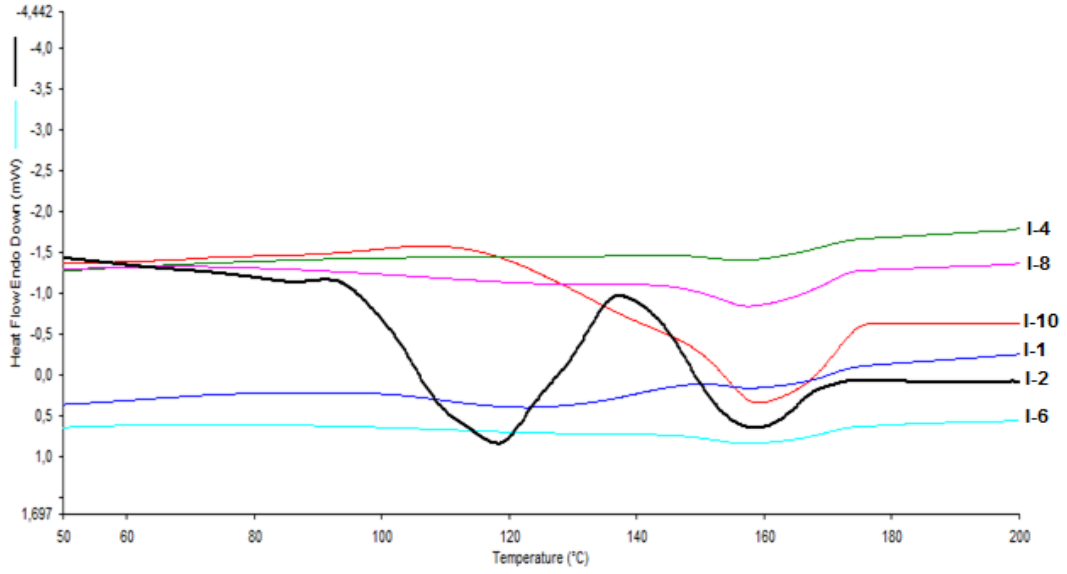
Yapılan bir çalışmada YYPE, çay fabrikası atıkları, birleştirici ve yangın geciktiriciler ile üretilen levhalarda TGA analizi sonucu 500 °C sıcaklıktaki ortalama kalıntı miktarı en düşük %8,6, en yüksek %20,2, PP kullanılarak yapılan üretimlerde ise en düşük %6,3, en yüksek %21,6 olarak elde edilmiştir (Çavdar, 2011).

4.1.2.2. Diferansiyel taramalı kalorimetre (DSC)

LDMT olarak KOU ve ZPU, düşük ve HMFİ PP’ler içerisinde farklı oranlarda kullanılarak üretilen deney numunelerinin diferansiyel taramalı kalorimetre (DSC) analizleri tespit edilerek sonuçlar Çizelge 4.22’de gösterilmiştir.Çizelge 4.22. Deney numunelerinin diferansiyel taramalı kalorimetre (DSC) analizleri

Ü.K.	Pikler	Onset (°C)	Endset (°C)	Area (mJ)	Delta H (J/g)	Pik (°C)	Pik Height (mW)
I-1	1. pik	153,55	167,88	101,779	101,7788	162,66	1.6375
	2. pik	233,81	247,78	1,428	1,4282	242,20	0,0375
I-2	1. pik	148,01	100,42	48,924	48,9236	125,67	0,2698
	2. pik	153,64	169,43	14,292	14,924	161,34	0,2442
	3. pik	209,91	257,23	100,325	100,3251	235,51	0,6153
	4. pik	281,99	292,87	10,543	10,5432	292,87	0,1362
I-4	1. pik	147,98	169,60	14,424	14,4236	159,87	0,1828
I-6	1. pik	147,19	172,99	14,204	14,2045	158,0	0,1432
	2. pik	260,02	248,02	10,423	10,4232	271,84	0,1161
I-8	1. pik	97,65	135,58	261,088	261,0883	118,17	1,8819
	2. pik	143,50	170,01	108,551	108,5513	156,50	1,0347
	3.pik	310,14	348,48	38,971	38,9713	329,22	0,2591
I-10	1. pik	147,97	170,04	35,273	35,2734	160,35	0,4269
	2. pik	288,39	308,73	12,696	12,6960	299,37	0,1657

LDMT olarak KOU ve ZPU, düşük ve HMFİ PP’ler içerisinde farklı oranlarda kullanılarak üretilen deney numunelerinin diferansiyel taramalı kalorimetre (DSC) analizleri tespit edilerek sonuçlar Şekil 4.16’da gösterilmiştir.



Şekil 4.16. Deney numunelerinin diferansiyel taramalı kalorimetre (DSC) termogramları.

Bu kısımda I-1, I-2, I-4, I-6, I-8 ve I-10 üretim kodu ile üretilen deney numunelerinin DSC analizleri yapılmıştır. Yüksek ve düşük erime akış indeksine sahip polipropilenler için erime başlangıç sıcaklıkları H-MFI için ortalama 164°C ve L-MFI için ise 161°C olarak bulunmuştur. Diferansiyel taramalı kalorimetri (DSC) sonuçlarına ait grafikler aşağıdaki şekillerde gösterilmiştir. Diferansiyel taramalı kalorimetri (DSC) sonuçlarına endotermik termogramlardan görüldüğü gibi polipropilen ve kompozitlerin erime sıcaklıklarında belirgin değişimler izlenemedi ve yüksek ve düşük erime akış indeksine sahip polipropilen için erime sıcaklıklarının yaklaşık olarak 160°C civarında olduğu saptandı. Diferansiyel taramalı kalorimetre analiz (DSC) sonuçları, cam geçiş sıcaklığı (T_g) ve ergime sıcaklığının (T_m) lignoselülozik dolgu maddesi türü ve erime akış indeksine bağlı önemli bir değişiklik göstermediği belirlenmiştir. Üretilen deney numunelerine ait DSC eğrilerinde zeytin pirinası unu ve kızılçam odun unu kullanımının kompozitin erime sıcaklığı üzerinde önemli bir etkisinin olmadığı gözlenmiştir. DSC deneyleri sonucunda kristalizasyon sıcaklıklarının yükseldiğini, erime sıcaklıklarında ise belirgin bir değişikliğin görülmediğini belirtmişlerdir. Bu değerler LDMT olarak KOU ve ZPU, düşük ve HMFİ PP'ler içerisinde farklı oranlarda kullanılarak üretilen deney numunelerinin üretimi için ihtiyaç duyulan en düşük sıcaklığı göstermektedir.

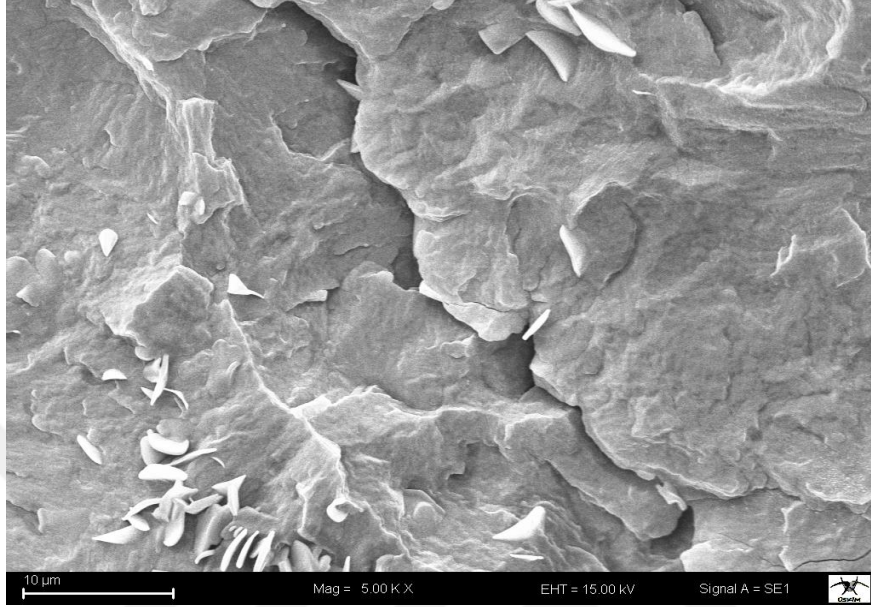
Mengeloğlu ve Karakuş tarafından (2008) yılında yapılan bir çalışmada buğday sapı unu, YYPE 129 ve PP kullanılarak deney numuneleri üretilmiştir. Üretilen deney numunelerine ait DSC eğrilerinde buğday sapı unu kullanımının kompozitin erime sıcaklığı üzerinde ciddi bir etkisinin olmadığı erime sıcaklığının termoplastik polimer

tipine göre (YYPE için 129 °C, PP için ise 163°C) değiştiği belirtilmiştir. OPK üretimi sırasında ekstrüzyon sıcaklığının malzemenin erime sıcaklığının üstünde olması ve lignoselülozik materyalin bozunumunu önlemek için üretim prosesinde uygulanan sıcaklığın 220 °C'yi geçmemesi gerektiğini belirtmişlerdir (Mengeloğlu ve Karakuş, 2008; Mengeloğlu ve Kabakçı, 2008).

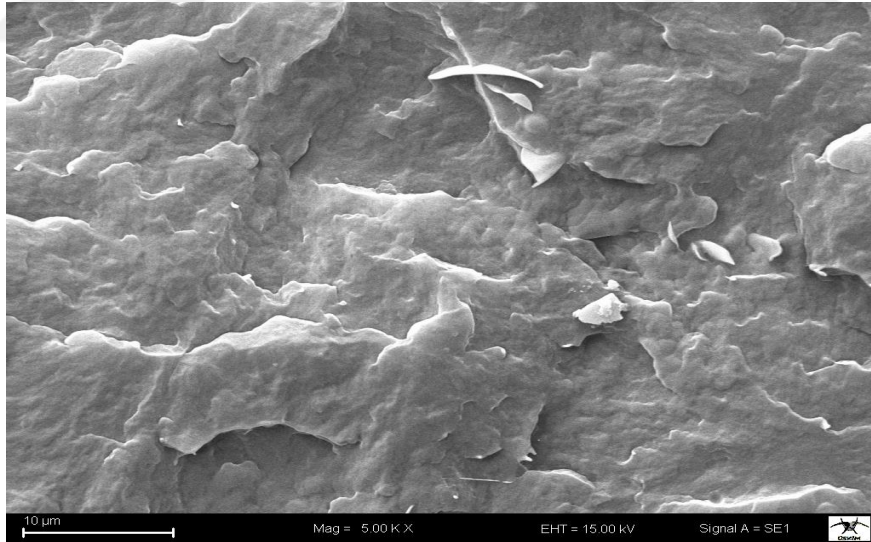
4.1.2.3. Deney Numunelerinin Morfolojik Özellikleri (SEM)

LDMT olarak KOU ve ZPU, düşük ve HMFI PP'ler içerisinde farklı oranlarda kullanılarak üretilen odun plastik kompozitlerin morfolojisi taramalı elektron mikroskobu (SEM) yardımıyla çalışılmış ve görüntüleri Şekil 4.16-17-18-19-20-21-22'de gösterilmiştir.

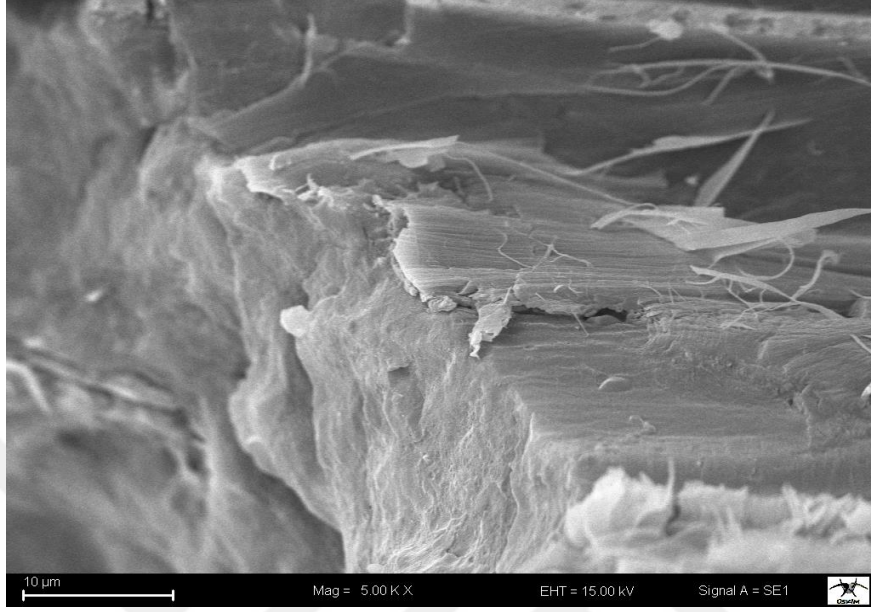
Şekil 4.16-17-18-19-20-21-22 incelendiğinde yüksek ve alçak erime akış indeksine sahip polipropilenler ve bu polipropilenler içerisine %40 oranında KOU ve ZPU katkılı kompozitlerin SEM görüntüleri verilmiştir. Şekil 4. Şekil 4.16-17-18-19-20-21-22'de oklarla gösterilmiş olan alanlar tam olarak plastikleşmemiş bölgeleri göstermektedir. Plastikleşmemiş bölgelerin artması kompozitin direnç özelliklerini düşürdüğü literatürde belirtilmiştir (Karakuş,2012). Bu resimlerde kızılçam odun unu ve zeytin pirinasının bazıları oklarla gösterilmiştir. SEM görüntüleri incelendiğinde; kızılçam odun unu ve zeytin pirinasının polipropilende deformasyona neden olduğu içerisinde iyi bir dağılım göstermediği ve kopma sırasında oluşan izler görülmektedir. Lignoselülozik materyal ile termoplastik materyal arasındaki uyumsuzluktan dolayı boşluk oluşumunun meydana geldiği görülmektedir. Kızılçam odun unu parçacıklarının kırılmış kompozit yüzeyinde bağımsız olarak durduğu ve kopan parçacıkların geride bıraktığı oyuklar gözükmemektedir. Kızılçam ve zeytin pirinası unu ile polipropilen arasında tam bağlanma sağlanmış olsaydı SEM görüntülerinde parçacıkların geride bıraktığı oyuklar yerine lignoselülozik dolgu maddeleri görünecekti. Deney numuneleri saf polipropilen ile karşılaştırıldığında levha içerisindeki boşlukların arttığı lignoselülozik dolgu malzemesinin polipropilen içerisinde homojen dağılım göstermediği ve SEM görüntülerinde boşluklar olduğu görülmektedir. Oluşan boşluk oranının yüksek erime akış indeksine sahip olan polipropilende düşük olana göre daha az olduğu SEM görüntülerinden anlaşılmaktadır. Deney numunelerinin kırılma yüzeylerinin dolgunun etkisi ile daha pürüzlü olduğu gözlenmektedir. Pürüzlü yüzeylerinin nedeninin dolgu ilavesi neticesinde heterojen bir yapı oluştuğu için meydana geldiği düşünülmektedir.



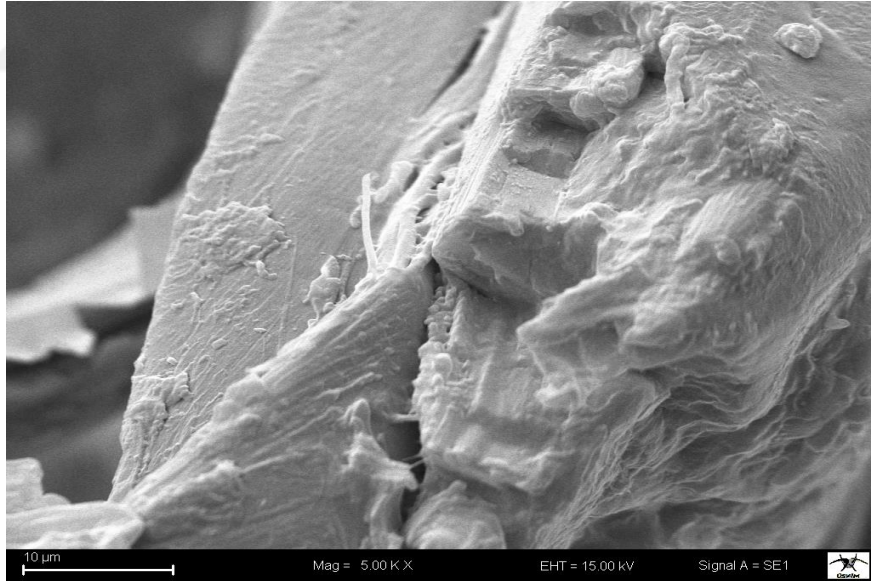
Şekil 4.17. Deney numune gruplarına ait (%94 PP(H-MFI))SEM görüntüleri



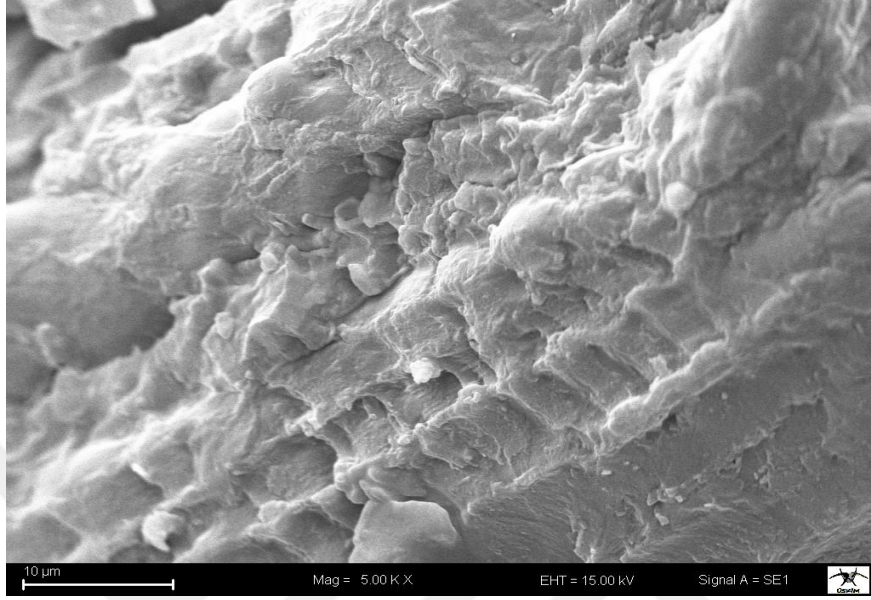
Şekil 4.18. Deney numune gruplarına ait (%94PPLMFI) SEM görüntüleri.



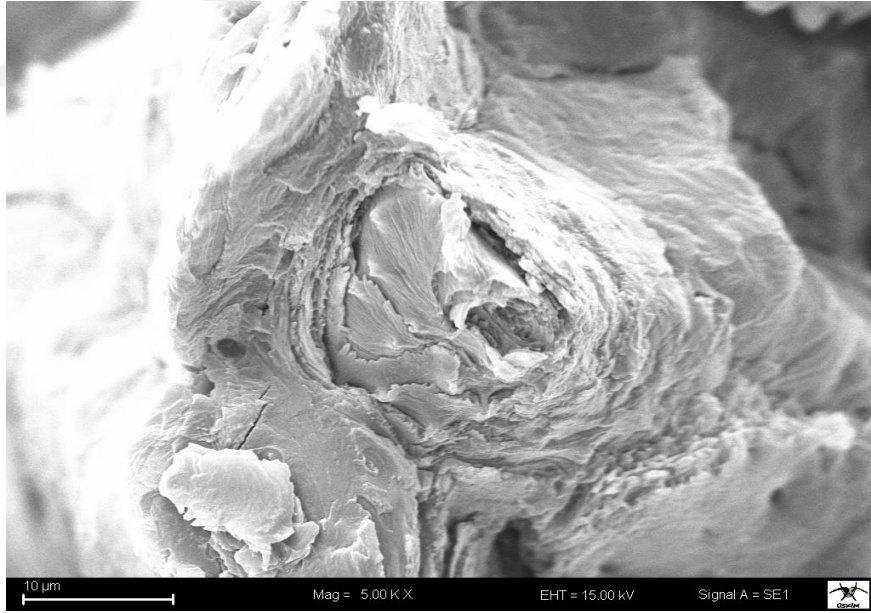
Şekil 4.19. Deney numune gruplarına ait (%54PP+40 KOU(H-MFI) SEM görüntüleri



Şekil 4.20. Deney numune gruplarına ait (%54PP+40 KOU L-MFI) SEM görüntüleri.



Şekil 4.21. Deney numune gruplarına ait (%54PP+40 ZPU(H-MFI) SEM görüntüleri.



Şekil 4.22. Deney numune gruplarına ait (%54PP+40 ZPU L-MFI) SEM görüntüleri.

4.2. Sentetik ve Lignoselülozik Dolgu Maddesi Tipi ve Sentetik Dolgu Maddesi Kullanım Sırasının (Enjeksiyon ve Ekstruder Üretimi Sırasında) Odun Plastik Kompozitlerin Özelliklerine Etkisinin Belirlenmesi

4.2.1. Fiziksel özellikler

4.2.1.1. Yoğunluk

Bu çalışmada, sentetik dolgu maddesi olarak magnezyumoksisulfat (MOS) maddesi ve Lignoselülozik dolgu maddesi olarak KOU kullanılmıştır. Lignoselülozik dolgu maddesi oranı (LDMO) ve magnezyumoksisulfat oranı (MOSO) ile MOS'un aynı parametreler kullanılarak ekstruder öncesi (EÖ) ve enjeksiyon sırasında (ES) katılması ile üretilen deney numunelerinin yoğunlukları belirlenmiştir. Yoğunlukların belirlenmesinde ASTM D 792'de belirtilen esaslara uyulmuştur. LDMO ve MOSO ile MOS'un aynı parametreler kullanılarak EÖ ve ES katılması (MOSK) ile üretilen deney numunelerinin yoğunlukları üzerine etkisi incelenmiştir. Üretilen kompozitlerin yoğunluk değerlerini belirlemek için çekme direnci deney numunelerinden deney sonrası kesilen parçalar kullanılarak yoğunluk belirlenmiştir. Deney numunelerinin ortalama yoğunlukları standart sapma değerleri Çizelge 4.23'te gösterilmiştir.

Çizelge 4.23. Deney numune gruplarına ait ortalama yoğunluk değerleri (gr/cm³).

ÜK***	E.Ö. Yoğunluk	ÜK***	E.S. Yoğunluk
II-1	0,96* (0,01) **	II-10	0,96 (0,01)
II-2	0,93 (0,01)	II-11	0,92 (0,01)
II-3	1,00 (0,01)	II-12	0,99 (0,03)
II-4	0,96 (0,01)	II-13	0,91 (0,04)
II-5	0,98 (0,01)	II-14	0,98 (0,03)
II-6	1,04 (0,03)	II-15	1,02 (0,06)
II-7	0,97 (0,02)	II-16	0,99 (0,01)
II-8	1,11 (0,01)	II-17	1,08 (0,01)
II-9	1,05 (0,02)	II-18	1,01 (0,02)

EÖ: enjeksiyondan önce sentetik dolgu maddesi kullanımı, **ES:** enjeksiyon sırasında sentetik dolgu maddesi kullanımı, *ortalama değer, **standart sapma, **Ü.K:** üretim kodu *** her gruptan 5 adet deney numunesi test edilmiştir.

LDMO ve MOSO ile MOS'un kullanım zamanının (EÖ ve ES) deney numunelerinin yoğunluk değerleri üzerine etkilerinin önem düzeyini belirlemek amacıyla ANOVA testi uygulanmış ve elde edilen değerler Çizelge 4.24'te gösterilmiştir. Çizelge 4.24 incelendiğinde LDMO ve MOS ile MOSK'nın deney numunelerinin yoğunluk değerleri üzerine istatistiksel olarak önemli düzeyde etkili olduğu belirlenmiştir ($P<0.0001$).

Çizelge 4.24. Deney numunelerine ait yoğunluk değerleri üzerine etkisine ait ANOVA sonuçları.

Test	Kaynak	Kareler Top.	DF	Kareler Ort.	F	P
Yoğunluk	Model	0.22	6	0,037	59,40	< 0,0001significant
	A-Odun Orani (%)	0,072	1	0,072	114,83	< 0,0001
	B-MOS- Orani (%)	0,14	1	0,14	224,56	< 0,0001
	C-MOS Kullanım Sekli	3,302E-003	1	3,302E-003	8,80	0,0040
	AB	5.550E-003	1	5,550E-003	8,80	0,0040
	AC	1.049E-003	1	1,049E-003	1,66	0,2009
	BC	1.296E-004	1	1,296E-004	0,21	0,6516
	Residual	0,052	82	6,310E-004		
	Lack of Fit	0,018	11	1,636E-003	3,44	0,0007significant
	Pure Error	0,034	71	4,753E-004		
	Cor Total	0,28	88			

MOS'un enjeksiyon öncesi kullanımı ile üretilen deney numunelerinin yoğunlukları 0,93 ile 1,11 gr/cm³ aralığında belirlenmiştir. MOS'un EÖ sırasında kullanımı ile üretilen deney numunelerinin yoğunlukları 0,91 ile 1,08 gr/cm³ aralığında belirlenmiştir. Şekil 4.23 incelendiğinde OPK içerisindeki LDMO artmasına paralel olarak kompozit gruplarının yoğunluk değerinde artışlar meydana geldiği görülmektedir. Polimer içerisindeki dolgu maddelerinin miktarı arttıkça kompozit malzemenin yoğunluklarında artış olacağı literatürde belirtilmiştir (Mengeloğlu ve Karakuş, 2012, Karakuş ve Mengeloğlu 2016). ES MOS kullanılan deney numunelerinde en düşük yoğunluk artışı %2,93KOU+%2,93MOS ve en yüksek yoğunluk ise %17,07KOU+%17,07MOS deney numunelerinde tespit edilmiştir. Buna karşın EÖ'nde MOS kullanılan deney numunelerinde en düşük yoğunluk artışı %2,93KOU, en yüksek yoğunluk ise %17,07KOU+%17,07MOS deney numunelerinde tespit edilmiştir. LDMO ve MOSO'nun kompozitlerin yoğunlukları üzerinde etkisinin olmasına karşın, MOS'un ekstruder ve enjeksiyon üzerinde kullanımının deney numunelerinin yoğunluğu üzerinde önemli bir etkisinin olmadığı tespit edilmiştir. Kompozit yapı içerisinde farklı oranlarda MOS katılmasının KOU'ya göre kompozitlerin yoğunluğunu artırdığı gözlenmiştir. Yüksek oranda kompozit yapıya KOU katılan deney numunelerinin MOS ile kullanımı yoğunluğu artırdığı tespit edilmiştir. Deney numunelerine dolgu maddesi olarak katılan MOS yoğunluğunun 0.98 g/cm³ ve KOU yoğunluğunun 0.54 g/cm³ olması yoğunluk değerleri üzerinde etkili olmuştur. Bunun nedeni olarak bir kompozitin özellikleri, LDM daha yüksek hücre duvarı yoğunluğuna sahip olması, kendisini meydana getiren bileşenlerin miktarı ve özellikleri ile yakından ilişkili olması (karışım kuralı) ile açıklanabilir (Mengeloğlu ve Karakuş 2008; Ashori ve Nourbakhsh, 2009). Deney numunelerinde LDMO ve MOSO ile MOS'un aynı parametreler kullanılarak EÖ ve ES katılması ile

üretileen deney numunelerinin yoğunlukları üzerine etkileri sırasıyla Şekil 4.23'te gösterilmiştir.

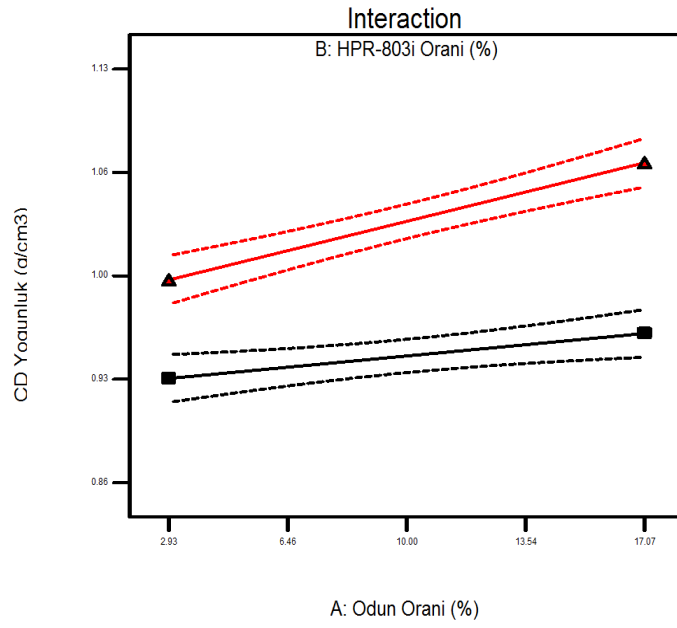
Design-Expert® Software

ÇD Yoğunluk (g/cm³)

■ B- 2.929
▲ B+ 17.071

X1 = A: Odun Oranı (%)
X2 = B: HPR-803i Oranı (%)

Actual Factor
C: HPR Kullanım Sekli = Ekstrz



(a)

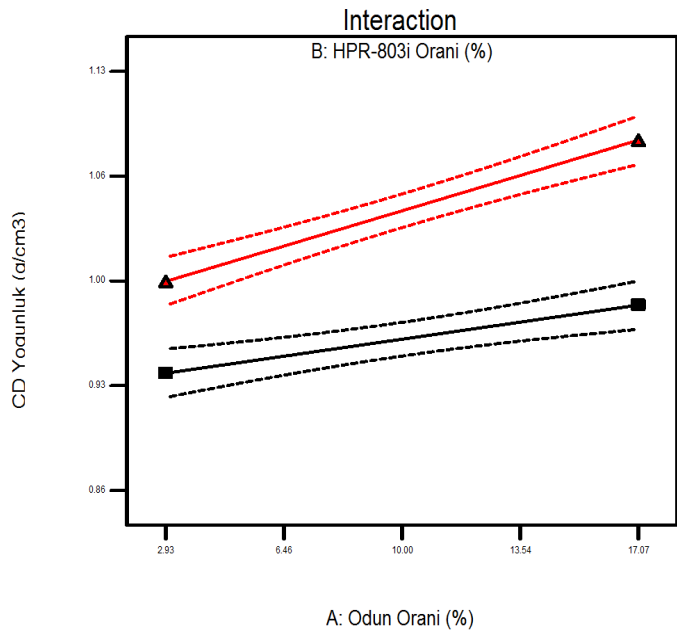
Design-Expert® Software

ÇD Yoğunluk (g/cm³)

■ B- 2.929
▲ B+ 17.071

X1 = A: Odun Oranı (%)
X2 = B: HPR-803i Oranı (%)

Actual Factor
C: HPR Kullanım Sekli = Enjeks



(b)

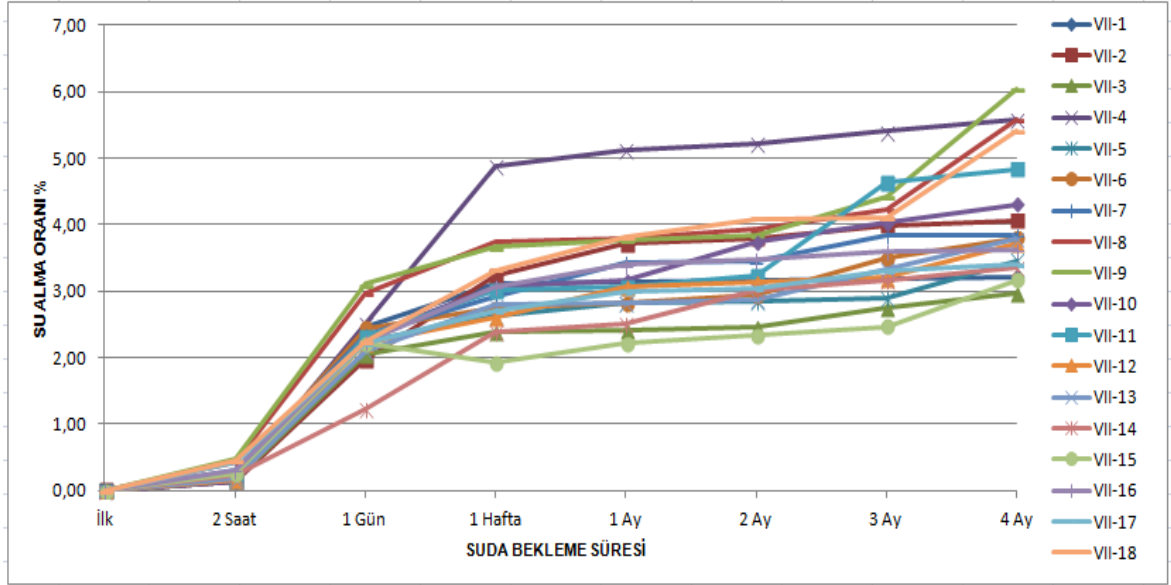
Şekil 4.23. Deney numunelerinin yoğunluk değerleri. a): E.Ö, (b): E.S

4.2.1.2. Su alma oranı

LDMO ve MOS ile MOSK'nın aynı parametreler kullanılarak EÖ ve ES katılması ile üretilen deney numunelerinin suda bekletme sonucu su alma oranları belirlenmiştir. Bu

nedenle üretilen deney numunelerinin ilk ölçümleri yapıldıktan sonra, 2 saat, 6 saat, 1 gün, 1 hafta, 1 ay, 2 ay, 3 ay ve 4 ay süreyle destile su içerisinde tutularak periyodik olarak ölçülmüştür. LDMO ve MOS ile MOSK'nın aynı parametreler kullanılarak EÖ ve ES katılmasının deney numunelerinin su alma özelliklerine etkileri belirlenmiştir.

LDMO ve MOS ile MOSK'nın aynı parametreler kullanılarak EÖ ve ES katılması ile üretilen deney numunelerinin su alma oranı. Şekil 4.24'te gösterilmiştir.



Şekil 4.24. Deney numunelerinin su alma oranı.

Şekil 4.24 incelendiğinde MOS'un EÖ sırasında katılması en düşük 2 saatlik su alma yüzdesi LDM katılmamış deney numunelerinde %0,15 tespit edilirken, en yüksek 2 saatlik su alma yüzdesi (%0,47) olarak %20 oranında %20KOU+%10MOS katılmış deney numunelerinden elde edilmiştir. LDMO %10KOU katılan ve MOS katılmamış deney numunelerinin 2 saatlik su alma yüzdesi ise (%0,17) olarak tespit edilirken bu durum %10MOS katılan ve KOU katılmamış deney numunelerinde ise (%0,15) olarak tespit edilmiştir. MOS'un ES katılması en düşük 2 saatlik su alma yüzdesi LDM katılmamış deney numunelerinde %10MOS (%0,14) tespit edilirken, en yüksek 2 saatlik su alma yüzdesi (%0,46) olarak %20 oranında %20KOU+%10MOS katılmış deney numunelerinden elde edilmiştir. LDMO %10KOU katılan ve MOS katılmamış deney numunelerinin 2 saatlik su alma yüzdesi ise (%0,14) olarak tespit edilirken bu durum %10MOS katılan ve KOU katılmamış deney numunelerinde ise (%0,18) olarak tespit edilmiştir.

MOS'un EÖ sırasında katılması en düşük 1 günlük su alma yüzdesi %2,93KOU+2,93MOS katılmış deney numunelerinde (%1,98) tespit edilirken, en yüksek 1 günlük su alma yüzdesi (%3,11) olarak %20 oranında %20KOU+%10MOS katılmış deney numunelerinden elde edilmiştir. LDMO %10KOU katılan ve MOS katılmamış deney numunelerinin 1 günlük su alma yüzdesi ise (%2,46) olarak tespit edilirken bu durum %10MOS katılan ve KOU katılmamış deney numunelerinde ise (%2,51) olarak tespit edilmiştir. MOS'un ES katılması en düşük 1 günlük su alma yüzdesi %10KOU+%10MOS katılmış deney numunelerinde (%1,22) tespit edilirken, en yüksek 1 günlük su alma yüzdesi (%2,31) olarak %20KOU+%10MOS oranında katılmış deney numunelerinden elde edilmiştir. LDMO %10KOU katılan ve MOS katılmamış deney numunelerinin 1 günlük su alma yüzdesi ise (%2,31) olarak tespit edilirken bu durum %10MOS katılan ve KOU katılmamış deney numunelerinde ise (%1,22) olarak tespit edilmiştir.

MOS'un EÖ sırasında katılması en düşük 1 haftalık su alma yüzdesi %2,93KOU+17,07MOS katılmış deney numunelerinde (%2,39) tespit edilirken, en yüksek 1 haftalık su alma yüzdesi (%4,89) olarak %10KOU katılmış deney numunelerinden elde edilmiştir. LDMO %10KOU katılan ve MOS katılmamış deney numunelerinin 1 haftalık su alma yüzdesi ise (%4,89) olarak tespit edilirken bu durum %10MOS katılan ve KOU katılmamış deney numunelerinde ise (%3,11) olarak tespit edilmiştir. MOS'un ES katılması en düşük 1 haftalık su alma yüzdesi %10KOU+%20MOS katılmış deney numunelerinde (%1,22) tespit edilirken, en yüksek 1 haftalık su alma yüzdesi (%3,32) olarak %20KOU+%10MOS oranında katılmış deney numunelerinden elde edilmiştir. LDMO %10KOU katılan ve MOS katılmamış deney numunelerinin 1 haftalık su alma yüzdesi ise (%2,79) olarak tespit edilirken bu durum %10MOS katılan ve KOU katılmamış deney numunelerinde ise (%3,07) olarak tespit edilmiştir.

MOS'un EÖ sırasında katılması en düşük 1 aylık su alma yüzdesi %2,93KOU+17,07MOS katılmış deney numunelerinde (%2,46) tespit edilirken, en yüksek 1 aylık su alma yüzdesi (%5,22) olarak %10KOU katılmış deney numunelerinden elde edilmiştir. LDMO %10KOU katılan ve MOS katılmamış deney numunelerinin 1 aylık su alma yüzdesi ise (%5,22) olarak tespit edilirken bu durum %10MOS katılan ve KOU katılmamış deney numunelerinde ise (%3,17) olarak tespit edilmiştir. MOS'un ES katılması en düşük 1 aylık su alma yüzdesi %10KOU+%20MOS katılmış deney numunelerinde (%2,34) tespit edilirken, en yüksek 1 aylık su alma yüzdesi (%3,32) olarak %20KOU+%10MOS oranında katılmış deney numunelerinden elde edilmiştir. LDMO

%10KOU katılan ve MOS katılmamış deney numunelerinin 1 aylık su alma yüzdesi ise (%2,79) olarak tespit edilirken bu durum %10MOS katılan ve KOU katılmamış deney numunelerinde ise (%4,09) olarak tespit edilmiştir.

MOS'un EÖ sırasında katılması en düşük 4 aylık su alma yüzdesi %2,93KOU+17,07MOS katılmış deney numunelerinde (%2,96) tespit edilirken, en yüksek 4 aylık su alma yüzdesi (%6,05) olarak %10KOU katılmış deney numunelerinden elde edilmiştir. LDMO %10KOU katılan ve MOS katılmamış deney numunelerinin 4 aylık su alma yüzdesi ise (%5,58) olarak tespit edilirken bu durum %10MOS katılan ve KOU katılmamış deney numunelerinde ise (%3,22) olarak tespit edilmiştir. MOS'un ES katılması en düşük 4 aylık su alma yüzdesi %10KOU+%20MOS katılmış deney numunelerinde (%3,17) tespit edilirken, en yüksek 4 aylık su alma yüzdesi (%5,41) olarak %20KOU+%10MOS oranında katılmış deney numunelerinden elde edilmiştir. LDMO %10KOU katılan ve MOS katılmamış deney numunelerinin 4 aylık su alma yüzdesi ise (%4,31) olarak tespit edilirken bu durum %10MOS katılan ve KOU katılmamış deney numunelerinde ise (%3,79) olarak tespit edilmiştir. Deney numunelerinin üretiminde MOS kullanılması hiçbir dolgu maddesi katılmamış PP'ye göre su alma özelliklerini iyileştirdiği ancak bu miktarın %20 seviyelerine çıkarıldığında su alma oranını arttırdığı, ancak bu oranın KOU ile birlikte kullanıldığında KOU'nun su alma yüzdesini düşürdüğü tespit edilmiştir.

Deney numunelerinden alınan veriler incelendiğinde su alma oranında LDMO ve MOSO'nun etkili olduğu görülmektedir. LDMO arttıkça su alma oranının arttığı MOS kullanımı ile bu oranın KOU'ya göre düşük olduğu, KOU+MOS kullanımı ile su alma yüzdesinin KOU'ya göre düşük olduğu tespit edilmiştir. Bu durum daha önceki çalışmalarla benzerlik göstermektedir (Gardner, 2003; H'ng Paik San ve ark., 2008; Çavdar, 2008; Avcı, 2012; Stokke ve Kaymakçı, 2015). KOU bünyesinde hidroksil grupları bulundurduğundan dolayı hidrofilik buna karşın plastik ise hidrofobik özelliğe sahiptir. Plastik malzeme oranı arttıkça buna paralel su alma oranı azalmakta KOU oranı arttıkça su alma oranı artmaktadır (Wang ve Morrell, 2004, Kylosov, 2007: Najafi ve ark.,2008). MOS lignoselülozik malzemelere göre su alma oranını düşürmektedir. Bunun nedeni olarak MOS'un sentetik bir yapıya sahip olmasından dolayı lignoselülozik dolgu maddelerine göre daha az su alma özelliğine sahip olması ile açıklanabilir. Elde edilen sonuçlar bu anlamda literatüre uygundur. Yapılan çalışmalarda plastik matris içerisindeki LDM'nin artışına paralel olarak deney numunelerinin su alma oranında artış olduğunu ve bu

artışında LDM'nin hidrofilik yapısına bağlı olduğunu belirtmişlerdir (Kaymakçı, 2015; Avcı 2012; Kord, 2011; George ve ark., 2001; Stark ve Rowlands, 2003). Ancak polimer içerisine %10MOS katılımı hiçbir dolgu maddesi katılmamış PP'ye göre su alma özelliklerini iyileştirdiği ancak bu miktarın %20 seviyelerine çıkarıldığında su alma oranını arttırdığı, bu oranın KOU ile karşılaştırıldığında daha düşük olduğu tespit edilmiştir. MOS'un EÖ sırasında katılmasının su alma özelliklerini, ES kullanımına göre düşürdüğü tespit edilmiştir. Bu durum MOS'un kompozit yapı içerisinde önce EÖ sırasında daha sonra ise hem de ES daha homojen bir karışım oluşturmada kaynaklandığı düşünülmüştür. MOS'un ES katılımı ile karışımın EÖ ile üretilen numuneler göre homojen olmadığı ve kompozit yapı içerisinde daha iyi karışmadığından boşluk oranını arttırmış olabileceği düşünülmüştür.

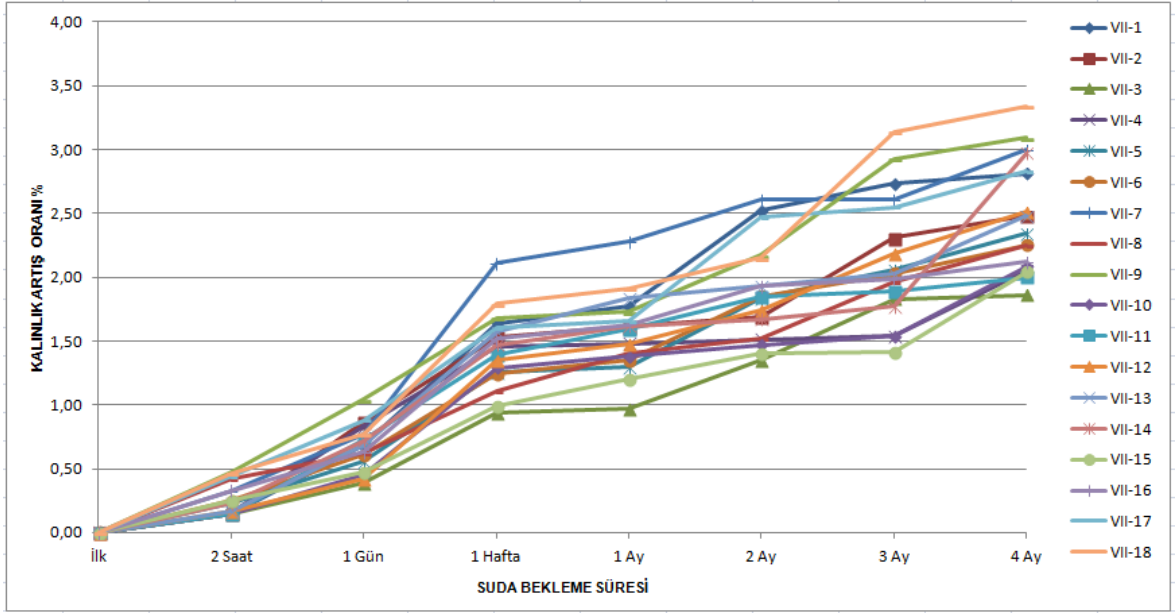
Wichman ve arkadaşları (1993) tarafından yapılan bir çalışmada elektron mikroskopisi ile HDPE/çam odunu kompozitlerin lif/matris adezyonu üzerine su alma etkisini araştırmışlardır. Araştırma sonuçlarına göre su alma oranının sıcaklık, lif oranı, liflerin yönlendirilmesi, yüzey koruması, maruz kalan yüzeylerin alanı, boşluk içeriği, bireysel bileşenlerin hidrofilik yapısına sahip olmasına bağlı olduğunu belirtmişlerdir. Deney numunelerinden elde edilen veriler literatüre uygunluk göstermektedir. Yapılan çalışmalarda plastik malzemelerin hidrofobik yapıya ve lignoselülozik malzemelerin ise hidrofilik karakterde olduğu ve kompozit yapı içerisinde su moleküllerinin lignoselülozik malzemenin bulunduğu kısımlarda absorbe edildiği bildirilmiştir (Najafî ve ark. 2008; Stokke ve Gardner 2003; Büyüksarı ve ark 2012; Kaymakçı ve ark. 2012; Mengeloğlu ve ark., 2015).

4.2.1.3. Kalınlığa artış oranı

LDMO ve MOSO ile MOS'un aynı parametreler kullanılarak EÖ ve ES katılması ile üretilen deney numunelerinin suda bekletme sonucu kalınlığa artış oranları belirlenmiştir.

Kalınlıkça artışın belirlenmesinde su alma oranının belirlenmesinde kullanılan deney numuneleri kullanılmıştır. Bu nedenle üretilen deney numunelerinin ilk ölçümleri yapıldıktan sonra, 2 saat, 6 saat, 1 gün, 1 hafta, 1 ay, 2 ay, 3 ay ve 4 ay süreyle destile su içerisinde tutularak periyodik olarak ölçülmüştür. LDMO ve MOSO ile MOS'un aynı parametreler kullanılarak EÖ ve ES katılmasının deney numunelerinin suda bekletme sonucu kalınlığa artış özelliklerine etkileri belirlenmiştir.

LDMO ve MOSO ile MOS'un aynı parametreler kullanılarak EÖ ve ES katılması ile üretilen deney numunelerinin suda bekletme sonucu kalınlıkça artma oranına etkileri Şekil 4.25'te gösterilmiştir.



Şekil 4.25. Deney numunelerinin kalınlıkça artış oranı.

Şekil 4.25 incelendiğinde MOS'un EÖ sırasında katılması en düşük 2 saatlik kalınlıkça artma oranı LDM katılmamış deney numunelerinde %0,15 tespit edilirken, en yüksek 2 saatlik kalınlıkça artma oranı (%0,47) olarak %20 oranında %20KOU+%10MOS katılmış deney numunelerinden elde edilmiştir. LDMO %10 olan ve MOS katılmamış deney numunelerinin 2 saatlik kalınlıkça artma oranı ise (%0,16) olarak tespit edilirken bu durum %10MOS katılan ve KOU katılmamış deney numunelerinde ise (%0,15) olarak tespit edilmiştir. MOS'un ES katılması en düşük 2 saatlik kalınlıkça artma oranı LDM katılmamış deney numunelerinde %10MOS (%0,15) tespit edilirken, en yüksek 2 saatlik kalınlıkça artma oranı (%0,46) olarak %20 oranında %20KOU+%10MOS katılmış deney numunelerinden elde edilmiştir. LDMO %10KOU katılan ve MOS katılmamış deney numunelerinin 2 saatlik kalınlıkça artma oranı ise (%0,15) olarak tespit edilirken bu durum %10MOS katılan ve KOU katılmamış deney numunelerinde ise (%0,17) olarak tespit edilmiştir.

MOS'un EÖ sırasında katılması en düşük 1 günlük kalınlıkça artma oranı %2,93KOU+17,07MOS katılmış deney numunelerinde (%0,39) tespit edilirken, en yüksek 1 günlük kalınlıkça artma oranı (%1,04) olarak %20 oranında %20KOU+%10MOS katılmış deney numunelerinden elde edilmiştir. LDMO %10KOU katılan ve MOS

katılmamış deney numunelerinin 1 günlük kalınlıkça artma oranı ise (%0,83) olarak tespit edilirken bu durum %10MOS katılan ve KOU katılmamış deney numunelerinde ise (%0,68) olarak tespit edilmiştir. MOS'un ES katılması en düşük 1 günlük kalınlıkça artma oranı %2,93KOU+17,07MOS katılmış deney numunelerinde (%0,42) tespit edilirken, en yüksek 1 günlük kalınlıkça artma oranı (%2,31) olarak %17,07KOU+17,07MOS oranında katılmış deney numunelerinden elde edilmiştir. LDMO %10KOU katılan ve MOS katılmamış deney numunelerinin 1 günlük kalınlıkça artma oranı ise (%0,45) olarak tespit edilirken bu durum %10MOS katılan ve KOU katılmamış deney numunelerinde ise (%0,69) olarak tespit edilmiştir.

MOS'un EÖ sırasında katılması en düşük 1 haftalık kalınlıkça artma oranı %2,93KOU+17,07MOS katılmış deney numunelerinde (%0,94) tespit edilirken, en yüksek 1 haftalık kalınlıkça artma oranı (%2,11) olarak %17,07KOU+2,93MOS deney numunelerinden elde edilmiştir. LDMO %10KOU katılan ve MOS katılmamış deney numunelerinin 1 haftalık kalınlıkça artma oranı ise (%1,64) olarak tespit edilirken bu durum %10MOS katılan ve KOU katılmamış deney numunelerinde ise (%1,46) olarak tespit edilmiştir. MOS'un ES katılması en düşük 1 haftalık kalınlıkça artma oranı %10KOU+%20MOS katılmış deney numunelerinde (%0,99) tespit edilirken, en yüksek 1 haftalık kalınlıkça artma oranı (%1,49) olarak %20KOU+%10MOS oranında katılmış deney numunelerinden elde edilmiştir. LDMO %10KOU katılan ve MOS katılmamış deney numunelerinin 1 haftalık kalınlıkça artma oranı ise (%1,57) olarak tespit edilirken bu durum %10MOS katılan ve KOU katılmamış deney numunelerinde ise (%1,29) olarak tespit edilmiştir.

MOS'un EÖ sırasında katılması en düşük 1 aylık kalınlıkça artma oranı %2,93KOU+17,07MOS katılmış deney numunelerinde (%1,35) tespit edilirken, en yüksek 1 aylık kalınlıkça artma oranı (%2,61) olarak %2,93MOS+17,07KOU katılmış deney numunelerinden elde edilmiştir. LDMO %10KOU katılan ve MOS katılmamış deney numunelerinin 1 aylık kalınlıkça artma oranı ise (%1,51) olarak tespit edilirken bu durum %10MOS katılan ve KOU katılmamış deney numunelerinde ise (%2,52) olarak tespit edilmiştir. MOS'un ES katılması en düşük 1 aylık kalınlıkça artma oranı %10KOU+%10MOS katılmış deney numunelerinde (%1,40) tespit edilirken, en yüksek 1 aylık kalınlıkça artma oranı (%2,47) olarak %17,07KOU+%17,07MOS oranında katılmış deney numunelerinden elde edilmiştir. LDMO %10KOU katılan ve MOS katılmamış deney numunelerinin 1 aylık kalınlıkça artma oranı ise (%1,93) olarak tespit edilirken bu

durum %10MOS katılan ve KOU katılmamış deney numunelerinde ise (%1,47) olarak tespit edilmiştir.

MOS'un EÖ sırasında katılması en düşük 4 aylık kalınlıkça artma oranı %2,93KOU+17,07MOS katılmış deney numunelerinde (%1,86) tespit edilirken, en yüksek 4 aylık kalınlıkça artma oranı (%3,09) olarak %20KOU+10MOS katılmış deney numunelerinden elde edilmiştir. LDMO %10KOU katılan ve MOS katılmamış deney numunelerinin 4 aylık kalınlıkça artma oranı ise (%2,05) olarak tespit edilirken bu durum %10MOS katılan ve KOU katılmamış deney numunelerinde ise (%2,81) olarak tespit edilmiştir. MOS'un ES katılması en düşük 4 aylık kalınlıkça artma oranı %2,93KOU+%2,93MOS katılmış deney numunelerinde (%2,00) tespit edilirken, en yüksek 4 aylık kalınlıkça artma oranı (%3,34) olarak %20KOU+%10MOS oranında katılmış deney numunelerinden elde edilmiştir. LDMO %10KOU katılan ve MOS katılmamış deney numunelerinin 4 aylık kalınlıkça artma oranı ise (%2,48) olarak tespit edilirken bu durum %10MOS katılan ve KOU katılmamış deney numunelerinde ise (%2,08) olarak tespit edilmiştir.

Deney numunelerinin üretiminde MOS kullanılması hiçbir dolgu maddesi katılmamış PP'ye göre kalınlıkça artma özelliklerini arttırdığı ancak MOS'un KOU ile birlikte kullanıldığında KOU'nun kalınlıkça artma oranını düşürdüğü tespit edilmiştir. Bu durum daha önceki çalışmalarla benzerlik göstermektedir (Stokke ve Gardner, 2003; H'ng Paik San ve ark., 2008; Çavdar, 2011; Avcı, 2012; Kaymakçı, 2015).

Deney numunelerinin kalınlıkça artma oranında LDMT, LDMO'nın önemli bir şekilde etkili olduğu görülmektedir. LDMO'nın artmasına paralel olarak deney numunelerinin kalınlıkça artma oranının arttığı tespit edilmiştir. Suda bekletme süresi arttıkça tüm deney numunelerinde kalınlıkça artma oranı su alma oranına paralel bir şekilde arttığı gözlenmiştir. LDMT, LDMO'nın kalınlıkça artma oranı üzerinde etkili olduğu tespit edilmiştir. Bu durum daha önceki çalışmalarla benzerlik göstermektedir (Çavdar, 2011, Avcı, 2012; Esnaashari ve ark., 2012; Kaymakçı ve Ayrılmış, 2014; Kaymakçı, 2014; Mengeloğlu ve ark., 2015). Hidrofilik malzemelerde bünyesine su alıp verme özelliklerinden dolayı kalınlıkça artma oranı hidrofobik malzemelere göre yüksek olması ile açıklanabilir. LDM kullanım oranı arttıkça deney numunelerinin kalınlıkça artma yüzdesinin arttığı ve kullanım oranının azalmasına paralel olarak azaldığı tespit edilmiştir. Yapılan çalışmalarda plastik matris içerisindeki LDM'nin artışına paralel olarak deney numunelerinin kalınlıkça artma oranında artış olduğunu ve bu artışında LDM'nin

hidrofilik yapısına bağı olduğunu belirtmişlerdir (Stark ve Rowlands, 2003; Avcı 2012; Kaymakçı, 2015).

LDMO arttıkça kalınlıkça artma oranının arttığı MOS kullanımı ile bu oranın KOU'ya göre düşük olduğu, KOU+MOS kullanımı ile kalınlıkça artma oranının KOU'ya göre düşük olduğu tespit edilmiştir. Ancak polimer içerisine %10MOS katılımı hiçbir dolgu maddesi katılmamış PP'ye göre kalınlıkça artış özelliklerini iyileştirdiği ancak bu miktarın %20 seviyelerine çıkarıldığında kalınlıkça artma oranını arttırdığı, bu oranın KOU ile karşılaştırıldığında daha düşük olduğu tespit edilmiştir. MOS'un EÖ sırasında katılmasının kalınlıkça artma oranı özelliklerini, ES kullanımına göre düşürdüğü tespit edilmiştir. Bu durum MOS'un kompozit yapı içerisinde önce EÖ sırasında daha sonra ise hem de ES daha homojen bir karışım oluşturmada kaynaklandığı düşünülmüştür. MOS'un ES katılımı ile karışımın EÖ ile üretilen numuneler göre homojen olmadığı ve kompozit yapı içerisinde daha iyi karışmadığından boşluk oranını arttırmış olabileceği düşünülmüştür.

4.2.2. Mekanik özellikler

4.2.2.1. Eğilme direnci

LDMO ve MOSO ile MOS'un aynı parametreler kullanılarak enjeksiyon ve EÖ ve ES katılması ile üretilen deney numunelerinin eğilme dirençleri belirlenmiştir. Deney numunelerinden elde edilen eğilme direnci ortalama ve standart sapma değerleri Çizelge 4.25'te gösterilmiştir.

Çizelge 4.25. Deney numune gruplarına ait eğilme direnci ortalama ve standart sapma değerleri.

E.Ö.		E.S.	
ÜK***	Eğilme direnci (MPa)	ÜK	Eğilme direnci (MPa)
II-1	36,274* (0,34)**	II-10	39,846 (0,83)
II-2	36,274 (0,34)	II-11	37,676 (0,41)
II-3	43,186 (1,43)	II-12	49,964 (0,65)
II-4	37,712 (0,79)	II-13	36,786 (0,54)
II-5	42,668 (0,61)	II-14	42,44 (0,44)
II-6	45,058 (1,90)	II-15	56,87 (0,59)
II-7	42,002 (0,27)	II-16	42,032 (0,62)
II-8	49,304 (3,69)	II-17	53,588 (0,79)
II-9	49,862 (0,68)	II-18	48,066 (0,67)

EÖ: enjeksiyondan önce sentetik dolgu maddesi kullanımı, ES: enjeksiyon sırasında sentetik dolgu maddesi kullanımı, *ortalama değer, **standart sapma, Ü.K: üretim kodu ***her gruptan 5 adet deney numunesi test edilmiştir.

LDMO ve MOSO ile MOS'un kullanım zamanının (EÖ ve ES) deney numunelerinin eğilme direnci değerleri üzerine etkilerinin önem düzeyini belirlemek amacıyla ANOVA testi uygulanmış ve elde edilen değerler Çizelge 4.26'da gösterilmiştir. Çizelge 4.26 incelendiğinde LDMO ve MOSO ile MOS'un kullanım şeklinin (EÖ ve ES) deney numunelerinin eğilme direnci değerleri üzerine istatistiksel olarak önemli düzeyde etkili olduğu belirlenmiştir ($P < 0.0001$).

Çizelge 4.26. Deney numune gruplarına ait ortalama eğilme direnci değerlerine ait ANOVA sonuçları.

Test	Kaynak	Kareler Top.	DF	Kareler Ort.	F	P
Eğilme direnci	Model	2993,49	8	374,19	142,34	< 0,0001significant
	A-Odun Orani (%)	734,52	1	734,52	279,40	< 0,0001
	B-MOS- Orani (%)	1723,56	1	1723,56	655,62	< 0,0001
	C-MOS Kullanım Sekli	187,88	1	187,88	71,47	< 0,0001
	AB	1,86	1	1,86	0,71	0,4026
	AC	30,43	1	30,43	11,58	0,0011
	BC	256,30	1	256,30	97,49	< 0,0001
	A ²	8,62	1	8,62	3,28	0,0740
	B ²	20,58	1	20,58	7,83	0,0065
	Residual	207,68	79	2,63		
	Lack of Fit	158,45	7	17,61	25,03	< 0,0001significant
	Pure Error	49,23	70	0,70		
	Cor Total	3201,18	87			

Deney numunelerinin LDMO ve MOSO ile MOS'un aynı parametreler kullanılarak EÖ ve ES katılması ile üretilen deney numunelerinin eğilme dirençleri değerleri Şekil 4.26'da gösterilmiştir.

Design-Expert® Software

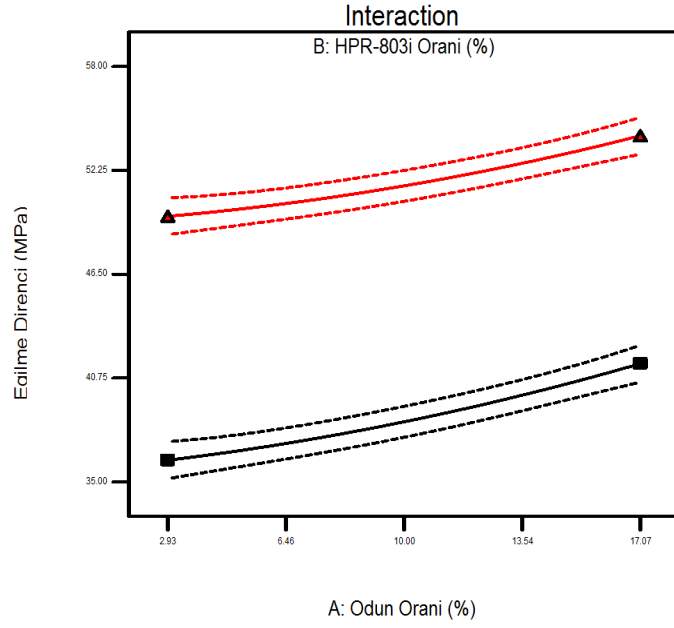
Eğilme Direnci (MPa)

■ B- 2.929
▲ B+ 17.071

X1 = A: Odun Oranı (%)
X2 = B: HPR-803i Oranı (%)

Actual Factor

C: HPR Kullanım Sekli = Ekstruz



(a)

Design-Expert® Software

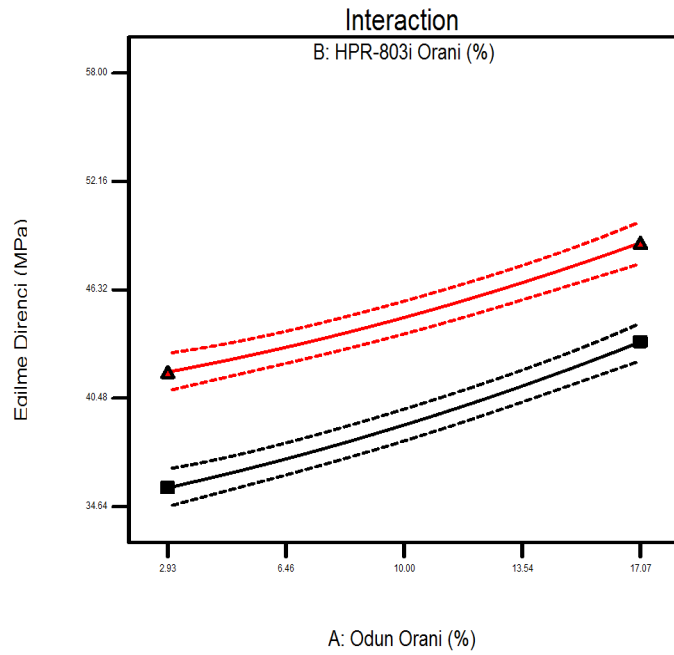
Eğilme Direnci (MPa)

■ B- 2.929
▲ B+ 17.071

X1 = A: Odun Oranı (%)
X2 = B: HPR-803i Oranı (%)

Actual Factor

C: HPR Kullanım Sekli = Enjeks



(b)

Şekil 4.26. Deney numunelerinin eğilme direnci değerleri. a): E.Ö, (b): E.S

Deney numunelerinin eğilme dirençleri 36.27 ile 49.86 MPa (Ekstruder) ve 36.786 ile 56.87 MPa (Enjeksiyon) aralığında tespit edilmiştir. Eğilme direnci değerleri incelendiğinde MOS ve KOU'nun kompozitlerin eğilme direnci üzerine etkili olduğu görülmüştür. MOS'un EÖ katılımıyla en düşük eğilme direnci değeri %10 MOS (36,274)

ve en yüksek eğilme direnci %10KOU+%20MOS (49,862 MPa) deney numunelerinden elde edilmiştir.

MOS'un ES katılımıyla en düşük eğilme direnci değeri %10KOU (36,786) ve en yüksek eğilme direnci %10KOU+%20MOS (56,873 MPa) deney numunelerinden elde edilmiştir.

Şekil 4.26 incelendiğinde OPK içerisindeki MOS oranının artması ile birlikte eğilme direncinde artma meydana geldiği gözlenmiştir. MOS ile birlikte KOU oranının artmasına paralel olarak kompozit gruplarının eğilme direnci MOS kullanımına göre azalma görülmüştür. MOS kullanımının EÖ olması ES kullanımına göre eğilme direnci değerlerini daha arttırdığı gözlenmiştir. Bunun sebebi EÖ kullanımın daha homojen bir yapı meydana getirmesidir. Deney numunelerinin içerisindeki LDM ve MOS oranının artmasına paralel olarak kompozit gruplarının eğilme direnci değerinde artışlar meydana geldiği görülmektedir. Dolgu maddesi olarak %0, 2,93, 10, 17,07 ve 20 oranlarında KOU katılımı ile deney numunelerinin eğilme direnci değerlerinde artışlar meydana geldiği ancak bu artış miktarının MOS'a göre daha düşük olduğu tespit edilmiştir. Deney numunelerin içerisine MOS katılımı oranına paralel olarak eğilme direnci değerlerinde artış meydana gelirken MOS ve KOU'nun aynı oranda kullanılması ile eğilme direnci değerlerinin dengeli olduğu ES MOS katılımın deney numunelerin eğilme direnci değerlerini EÖ katılımına oranla arttırdığı tespit edilmiştir. Bu durum dolgu maddesinin direnç özelliklerinin yüksek olması ve kimyasal özelliklerinin daha iyi olmasından kaynaklanabilir. Dolgu maddelerinin kompozit yapı içerisinde katılım oranının artmasına paralel olarak polimer malzeme katılım oranı azalmakta ve bu durum eğilme direncinde düşüşe neden olabileceği literatürde belirtilmiştir (Douglas, 2001; Mishra ve Naik, 2005; Mengeloğlu ve Karakuş, 2008; Kord, 2011; Karakuş, 2015; Mengeloğlu ve ark., 2015; Hongzhen ve ark., 2017). Hidrofil karakterde olan LDM ile hidrofobik karakterde olan plastik arasındaki zayıf bağlanma, LDM'nin kompozit yapı içerisinde homojen dağılmaması bölgesel yığılmalara neden olmaktadır (Mengeloğlu ve Karakuş, 2008).

4.2.2.2. Elastikiyet modülü

LDMO ve MOSO ile MOS'un aynı parametreler kullanılarak EÖ ve ES katılımı ile üretilen deney numunelerinin eğilmede elastikiyet modülü belirlenmiştir. Deney numunelerinden elde edilen eğilmede elastikiyet modülü ortalama ve standart sapma değerleri Çizelge 4.27'de gösterilmiştir.

Çizelge 4.27. Deney numune gruplarına ait eğilmede elastikiyet modülü ortalama ve standart sapma değerleri.

E.Ö.		E.S.	
ÜK***	Eğilmede Elastikiyet modülü (MPa)	ÜK	Eğilmede Elastikiyet modülü(MPa)
II-1	1144,086 (77,34)	II-10	1274,244(43,76)
II-2	1144,086 (77,34)	II-11	1141,856(12,57)
II-3	1650,936 (82,35)	II-12	1934,826(76,30)
II-4	1246,954 (32,31)	II-13	1108,43 (24,70)
II-5	1563,87 (61,03)	II-14	1440,62 (26,47)
II-6	1963,76 (71,39)	II-15	2605,12 (71,59)
II-7	1514,328 (16,26)	II-16	1454,514(58,47)
II-8	2848,992(233,89)	II-17	2542,28 (55,86)
II-9	2385,398 (42,47)	II-18	2118,848(80,83)

EÖ: enjeksiyondan önce sentetik dolgu maddesi kullanımı, **ES:** enjeksiyon sırasında sentetik dolgu maddesi kullanımı, *ortalama değer, **standart sapma, **Ü.K:** üretim kodu ***her gruptan 5 adet deney numunesi test edilmiştir.

Çizelge 4.28. Deney numune gruplarına ait ortalama eğilmede elastikiyet modülü değerlerine ait ANOVA sonuçları.

Test	Kaynak	Kareler Top.	DF	Kareler Ort.	F	P
Eğilmede elastikiyet modülü	Model	2.285E+007	8	2,856E+006	203,34	< 0,0001significant
	A-Odun Oranı (%)	8,289E+006	1	8,289E+006	590,12	< 0,0001
	B-MOS- Oranı (%)	1,338E+007	1	1,338E+007	952,43	< 0,0001
	C-MOS Kullanım Sekli	36357,85	1	36357,85	71,47	0,1116
	AB	4,917E+005	1	4,917E+005	35,00	2,59
	AC	3,035E+005	1	3,035E+005	21,61	< 0,0001
	BC	5,528E+005	1	5,528E+005	39,35	< 0,0001
	A ²	4,158E+005	1	4,158E+005	29,60	< 0,0001
	B ²	4,172E+005	1	4,172E+005	29,70	< 0,0001
	Residual	1,110E+006	79	1404	6,93	< 0,0001
	Lack of Fit	8,683E+005	9	96472,74		
	Pure Error	2,415E+005	70	3449,32	27,97	< 0,0001significant
	Cor Total	2,396E+007	87			

LDMO ve MOSO ile MOS'un kullanım zamanının (EÖ ve ES) deney numunelerinin eğilmede elastikiyet modülü değerleri üzerine etkilerinin önem düzeyini belirlemek amacıyla ANOVA testi uygulanmış ve elde edilen değerler Çizelge 4.28'de gösterilmiştir. Çizelge 4.28 incelendiğinde LDMO ve MOSO ile MOS'un kullanım şeklinin deney numunelerinin eğilmede elastikiyet modülü yoğunluk değerleri üzerine istatistiksel olarak önemli düzeyde etkili olduğu belirlenmiştir ($P < 0.0001$).

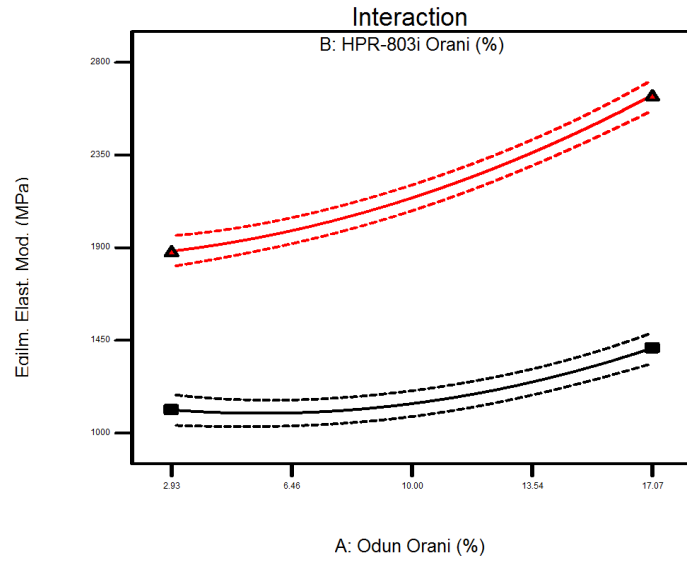
Design-Expert® Software

Eğilm. Elast. Mod. (MPa)

■ B- 2.929
▲ B+ 17.071

X1 = A: Odun Oranı (%)
X2 = B: HPR-803i Oranı (%)

Actual Factor
C: HPR Kullanım Sekli = Ekstrz



(a)

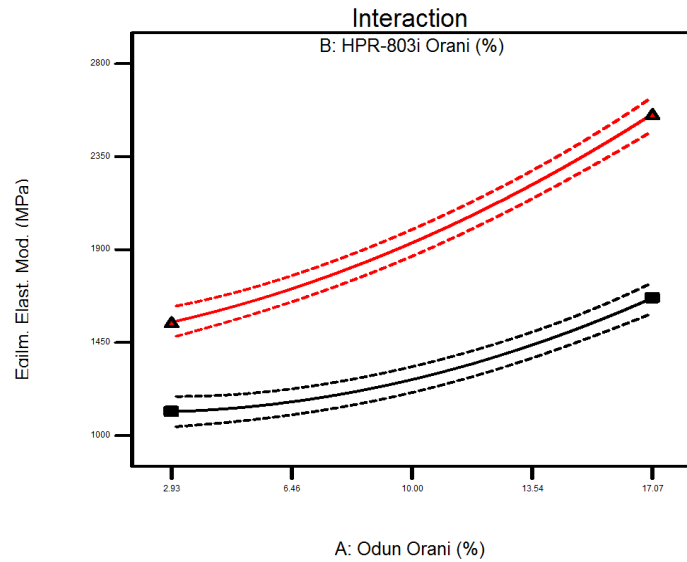
Design-Expert® Software

Eğilm. Elast. Mod. (MPa)

■ B- 2.929
▲ B+ 17.071

X1 = A: Odun Oranı (%)
X2 = B: HPR-803i Oranı (%)

Actual Factor
C: HPR Kullanım Sekli = Enjeks



(b)

Şekil 4.27. Deney numunelerinin eğilmede elastikiyet modülü değerleri. a): E.Ö, (b): E.S

Deney numunelerinin üretiminde MOS dolgu maddesinin EÖ katılımlarında eğilmede elastikiyet modülü değerleri 1144 ile 2848 MPa aralığında tespit edilmiştir. MOS dolgu maddesinin ES katılımlarında ise eğilmede elastikiyet modülü değerleri 1108 ile 2605 MPa aralığında tespit edilmiştir. Deney numunelerinin üretiminde MOS'un EÖ ve ES katılımlarının eğilmede elastikiyet modülüne etkisi Şekil 4.27'de gösterilmiştir.

Şekil 4.27'deki eğilmede elastikiyet modülü değerleri incelendiğinde MOS kullanımının EÖ ve ES sırasında katılmasına bağlı kalmaksızın MOS ve KOU miktarına paralel olarak eğilmede elastikiyet modülü değerlerinde de artış olduğu tespit edilmiştir. Lignoselülozik esaslı dolgu maddelerinin polimer matrisi içerisine katılmasıyla eğilmede elastikiyet modülü değerleri beklenen bir artış olduğu rapor edilmiştir (Hornsby ve ark., 1997; Mengeloğlu ve Karakuş, 2008). En yüksek değerler %17,07KOU+%17,07MOS (enjeksiyon) ve en düşük değerler ise %10KOU+%0MOS, (ekstruder) deney numunelerinden elde edilmiştir. Polimer matris içerisine KOU katılımı eğilmede elastikiyet modülü değerlerini arttırmasına rağmen, bu değerler MOS+KOU katılımı ile karşılaştırıldığına oldukça düşük oranda artmıştır. Farklı dolgu maddesi kullanılarak yapılan çalışmalarda bu durumun lignoselülozik malzemenin kullanılan polimerlere göre daha rijit ve yüksek elastikiyete sahip olduğundan kaynaklandığı bildirilmiştir (Zabihzadeh, 2010; Chaharmahali ve ark. 2010; Ayrılmış ve ark. 2012; Yeh ve ark., 2013).

Polimer matris içerisine MOS'un enjeksiyon veya EÖ sırasında katılımı irdelendiğinde MOS'un ES katılımının EÖ katılımına göre eğilmede elastikiyet modülü değerlerini arttırmasına rağmen, bu değerler MOS+KOU katılımı ile karşılaştırıldığına düşürdüğü gözlenmiştir. Bunun nedeni olarak MOS'un EÖ polimer içerisine karışıktan sonra kırıcıda kırılarak pellet haline getirilmesi ve ES kullanımında bu işlemlerin yapılmamasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Eğilmede elastikiyet modülü, eğilme direnci ve çekme dayanımı gibi mekanik özellikler kompozitin mikro yapısına bağlıdır. Odunsu materyal ve plastik arasında iyi bağlantı olmaması, odunsu materyalin polyester içinde iyi dağılmaması, iç yapıda süreksiz odunsu materyal parçalarının bulunuşu ve plastiğin sertleşme sırasında iç yapısında meydana gelen gerilmeler mekanik özellikleri olumsuz etkilediği belirtilmiştir (Yaşar, 1996). Liang ve ark., OPK'lerde LDMO'nun artmasına paralel olarak elastikiyet modülünü değerinin arttığı ve azalan yonga boyutunun eğilmede elastikiyet modülü değerini arttırdığını belirtmişlerdir.

4.2.2.3. Çekme direnci

LDMO ve MOS ile MOSK'nın aynı parametreler kullanılarak EÖ ve ES katılması ile üretilen deney numunelerinin çekme dirençleri belirlenmiştir. Çekme direnci ortalama ve standart sapma değerleri Çizelge 4.29'da gösterilmiştir.

Çizelge 4.29. Deney numune gruplarına ait çekme direnci ortalama ve standart sapma değerleri.

E.Ö.		E.S.	
ÜK***	Çek. Dir. (MPa)	ÜK***	Çek.Dir (MPa)
II-1	26,01* (0,53)**	II-10	29,61 (0,25)
II-2	27,75 (0,26)	II-11	28,16 (0,28)
II-3	27,00 (1,72)	II-12	32,98 (0,35)
II-4	25,85 (0,13)	II-13	26,11 (0,17)
II-5	27,53 (0,30)	II-14	26,95 (0,37)
II-6	26,69 (2,59)	II-15	34,55 (0,24)
II-7	27,10 (0,30)	II-16	26,52 (0,30)
II-8	29,28 (3,19)	II-17	31,58 (0,45)
II-9	26,95 (0,40)	II-18	27,48 (0,28)

EÖ: enjeksiyondan önce sentetik dolgu maddesi kullanımı, **ES:** enjeksiyon sırasında sentetik dolgu maddesi kullanımı, * ortalama değer, **standart sapma, **Ü.K:** üretim kodu *** her gruptan 5 adet deney numunesi test edilmiştir.

LDMO ve MOSO ile MOS'un kullanım zamanının (EÖ ve ES) deney numunelerinin çekme direnci değerleri üzerine etkilerinin önem düzeyini belirlemek amacıyla ANOVA testi uygulanmış ve elde edilen değerler Çizelge 4.30'da gösterilmiştir. Çizelge 4.30 incelendiğinde MOS oranı ile MOS'un kullanım şeklinin deney numunelerinin çekme direnci değerleri üzerine istatistiksel olarak önemli düzeyde etkili olduğu belirlenmiştir ($P < 0.0001$).

Çizelge 4.30. Deney numune gruplarına ait çekme direnci ortalama değerlerine ait ANOVA sonuçları.

Test	Kaynak	Kareler top.	DF	Kareler ort.	F	P
Çekme direnci	Model	468,46	8	58,56	49,98	< 0,0001significant
	A-Odun Oranı (%)	6,22	1	6,22	5,31	0,0239
	B-MOS- Oranı (%)	144,48	1	144,48	123,32	< 0,0001
	C-MOS Kullanım Sekli	130,15	1	130,15	111,09	< 0,0001
	AB	1,93	1	1,93	1,65	0,2031
	AC	17,91	1	17,91	15,29	0,0002
	BC	140,34	1	140,34	119,80	< 0,0001
	A ²	3,31	1	3,31	2,82	0,0969
	B ²	11,69	1	11,69	9,98	0,0022
	Residual	92,55	79	1,17		
	Lack of Fit	63,72	9	7,08	17,19	< 0,0001 significant
	Pure Error	28,83	70	0,41		
	Cor Total	561,01	87			

Deney numunelerin üretiminde MOS'un EÖ ve ES katılımın çekme direncine etkisi Şekil 4.28'de gösterilmiştir.

Design-Expert® Software

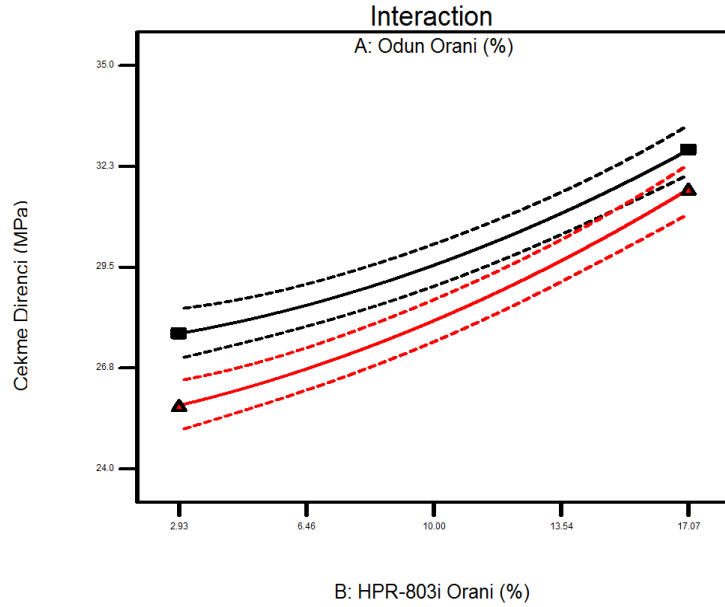
Çekme Direnci (MPa)

■ A- 2.929
▲ A+ 17.071

X1 = B: HPR-803i Oranı (%)
X2 = A: Odun Oranı (%)

Actual Factor

C: HPR Kullanım Sekli = Ekstrz



(a)

Design-Expert® Software

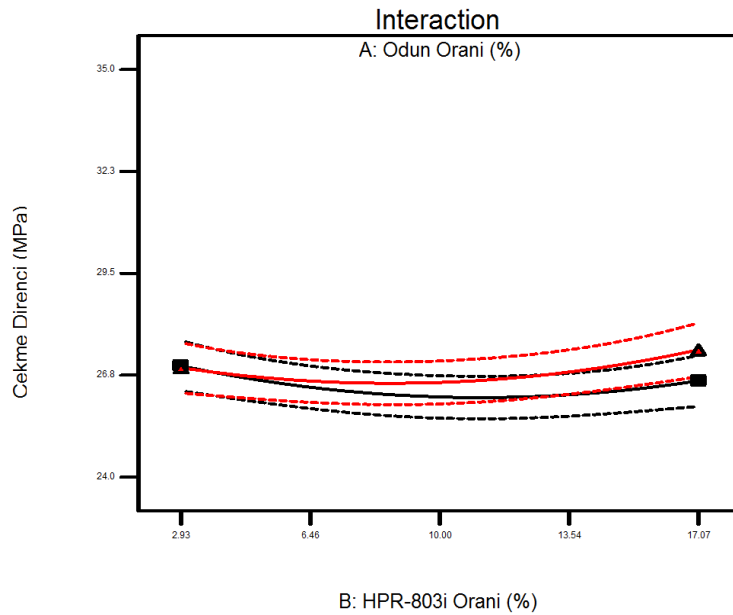
Çekme Direnci (MPa)

■ A- 2.929
▲ A+ 17.071

X1 = B: HPR-803i Oranı (%)
X2 = A: Odun Oranı (%)

Actual Factor

C: HPR Kullanım Sekli = Enjeks



(b)

Şekil 4.28. Deney numunelerinin çekme direnci değerleri. a): E.Ö, (b): E.S

Deney numunelerinin üretimi için MOS'un EÖ katılımında, çekme direnci, değerleri 25,85 ile 29,28 MPa aralığında ve aynı değerler MOS'un ES katılımında, 26,112 ile 34,55 MPa aralığında tespit edilmiştir. OPK içerisinde MOS oranının çekme direncini önemli düzeyde etkilediği görülmüştür ($P < 0,0001$). MOS'un aynı oranlarda EÖ sırasında katılması EÖ'ye katılmasına göre bu direnci daha fazla arttırdığı gözlenmiştir. Bunun nedeni MOS'un lif boyunun kızılçam odununa göre daha uzun olması ekstruderden

geçtikten sonra pelletlerin kırılıp lif boyunun küçülerek enjeksiyon da kalıplanması sırasında daha homojen bir karışıma sebep olması ve polimer ile MOS arasındaki bağlanmanın daha iyi olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Aynı zamanda artan odun unu ve MOS miktarına paralel olarak bu dirençte artış ve artan polimer oranına göre de bu dirençte azalma görülmüştür. Çekme direncindeki azalmanın dolgu maddesi ile polimer matrisi arasındaki uyumsuzluktan kaynaklandığı bazı çalışmalarda rapor edilmiştir (Mengeloğlu ve Karakuş 2008). En yüksek çekme direnci değerleri %10KOU+%20MOS ES katılımında ve en düşük değerler ise %10KOU+%0MOS deney numunelerinden elde edilmiştir. Kompozitlerin çekme dirençlerinin ağırlıklı olarak dolgu maddesi ile polimer matris arasındaki arayüzden etkilendiği literatürde belirtilmiştir (Sun ve ark., 2006; Hussain ve ark., 2006; Ashori ve Nourbakhsh, 2011).

Çekmede elastikiyet modülü

LDMO ve MOSO ile MOS'un aynı parametreler kullanılarak EÖ ve ES katılımı ile üretilen deney numunelerinin çekmede elastikiyet Modülü belirlenmiştir. Çekmede elastikiyet modülü ortalama ve standart sapma değerleri Çizelge 4.31'de gösterilmiştir.

Çizelge 4.31. Deney numune gruplarına ait çekmede elastikiyet modülü ortalama ve standart sapma değerleri.

E.Ö.		E.S.	
ÜK***	Çekmede elastikiyet Modülü (MPa)	ÜK***	Çekmede elastikiyet Modülü (MPa)
II-1	499,51 (40,08)	II-10	511,16 (24,00)
II-2	458,80 (12,93)	II-11	498,07 (31,80)
II-3	600,68 (51,86)	II-12	622,01 (38,28)
II-4	478,51 (50,81)	II-13	455,90 (29,53)
II-5	521,99 (38,89)	II-14	486,33 (100,90)
II-6	722,41 (28,88)	II-15	746,13 (30,53)
II-7	542,06 (39,98)	II-16	549,06 (16,17)
II-8	892,32 (38,92)	II-17	747,75 (34,17)
II-9	761,55 (41,24)	II-18	698,59 (20,10)

EÖ: enjeksiyondan önce sentetik dolgu maddesi kullanımı, **ES:** enjeksiyon sırasında sentetik dolgu maddesi kullanımı, * ortalama değer, **standart sapma, **Ü.K:** üretim kodu *** her gruptan 5 adet deney numunesi test edilmiştir.

LDMO ve MOSO ile MOS'un kullanım zamanının (EÖ ve ES) deney numunelerinin çekmede elastikiyet modülü değerleri üzerine etkilerinin önem düzeyini belirlemek amacıyla ANOVA testi uygulanmış ve elde edilen değerler Çizelge 4.32'de gösterilmiştir. Çizelge 4.32 incelendiğinde LDMO ve MOSO ile MOS'un deney numunelerinin çekmede elastikiyet modülü değerleri üzerine istatistiksel olarak önemli düzeyde etkili olduğu belirlenmiştir ($P<0.0001$).

Çizelge 4.32. Deney numune gruplarına ait çekmede elastikiyet modülü ortalama değerlerine ait ANOVA sonuçları.

Test	Kaynak	Kareler top.	DF	Kareler Ort.	F	P
Çekmede elastikiyet modülü	Model	1.261E+006	8	1,577E+005	98,58	< 0,0001 significant
	A-Odun Orani (%)	7,404E+005	1	7,404E+005	462,90	< 0,0001
	B-MOS- Orani (%)	7,404E+005	1	7,404E+005	462,90	< 0,0001
	C-MOS Kullanım Sekli	4127,28	1	4127,28	2,58	0,1122
	AB	44295,06	1	44295,06	27,69	< 0,0001
	AC	26002,89	1	26002,89	16,26	0,0001
	BC	3417,80	1	3417,80	2,14	0,1478
	A ²	61780,05	1	61780,05	38,63	< 0,0001
	B ²	44451,98	1	44451,98	27,79	< 0,0001
	Residual	1,248E+005	78	1599,47		
	Lack of Fit	31285,07	9	3476,12	2,57	0,0131significant
	Pure Error	93473,64	69	1354,69		
	Cor Total	1,386E+006	86			

Deney numunelerinin üretimi için MOS'un EÖ katılımlında çekmede elastikiyet modülü 458.80 ile 892.32 MPa ve aynı değerler MOS'un ES katılımlında ise çekmede elastikiyet modülü 455.898 ile 747.754 MPa aralığında tespit edilmiştir. Çekmede elastikiyet modülü (Şekil 4.29) değerlerine incelendiğinde MOS kullanım sırası ve oranının bu direnç özellikleri üzerinde etkili olduğu ve KOU ile birlikte kullanımının bu özellikleri olumlu anlamda geliştirdiği gözlenmiştir. En yüksek çekmede elastikiyet modülü %17,07KOU+%17,07MOS (enjeksiyon) ve en düşük ise %10KOU+%0MOS (enjeksiyon) deney numunelerinde tespit edilmiştir. MOS'un aynı oranlarda EÖ sırasında katılması enjeksiyon üretiminde katılmasına göre bu direnci daha fazla arttırdığı tespit edilmiştir. LDMO arttıkça çekme direnci değerleri azalırken, çekmede elastikiyet modülü değerleri arttığı literatürde belirtilmiştir (Berger ve Stark, 1997; Julson ve ark. 2004; Breton ve ark., 2004; Coleman ve ark., 2006; Kaymakçı ve ark. 2012). Bu anlamda deney numunelerinden elde edilen verilerin literatürle uyumlu olduğu görülmüştür.

Deney numunelerin üretiminde MOS'un EÖ ve ES katılımın çekmede elastikiyet modülüne etkisi Şekil 4.29'da gösterilmiştir.

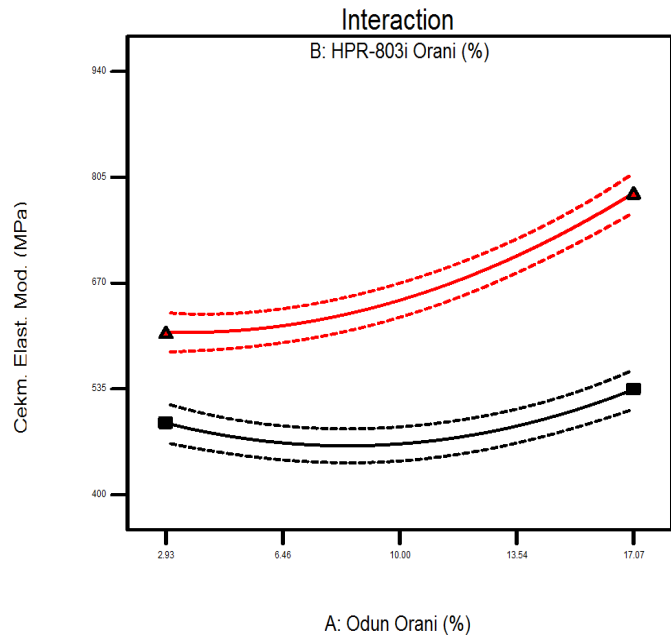
Design-Expert® Software

Çekm. Elast. Mod. (MPa)

■ B- 2.929
▲ B+ 17.071

X1 = A: Odun Oranı (%)
X2 = B: HPR-803i Oranı (%)

Actual Factor
C: HPR Kullanım Sekli = Ekstrz



(a)

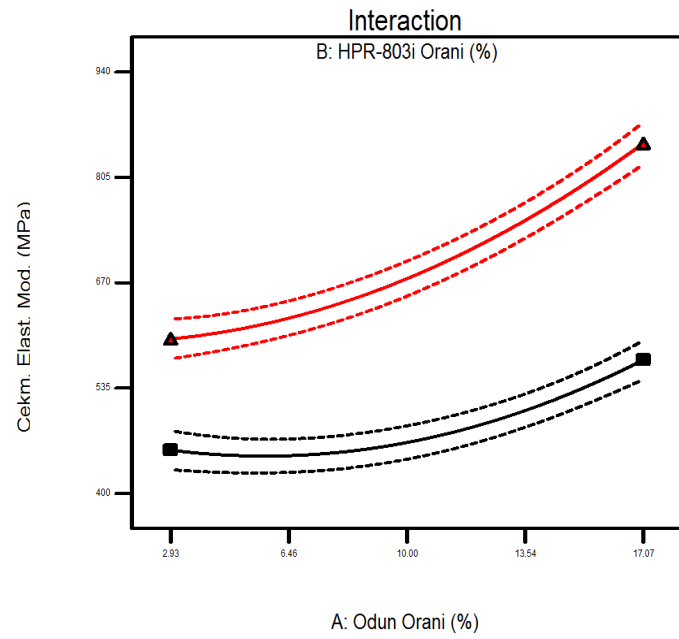
Design-Expert® Software

Çekm. Elast. Mod. (MPa)

■ B- 2.929
▲ B+ 17.071

X1 = A: Odun Oranı (%)
X2 = B: HPR-803i Oranı (%)

Actual Factor
C: HPR Kullanım Sekli = Enjeks



(b)

Şekil 4.29. Deney numunelerinin çekmede elastikiyet modülü değerleri. a): E.Ö, (b): E.S

Kopmada uzama miktarı

LDMO ve MOSO ile MOS'un aynı parametreler kullanılarak EÖ ve ES katılması ile üretilen deney numunelerinin kopmada uzama miktarı belirlenmiştir. Kopmada uzama miktarı ortalama ve standart sapma değerleri Çizelge 4.33'te gösterilmiştir.

Çizelge 4.33. Deney numune gruplarına ait çekmede elastikiyet modülü ortalama ve standart sapma değerleri.

E.Ö.		E.S.	
ÜK***	Kopmada uzama miktarı (%)	ÜK***	Kopmada uzama miktarı (%)
II-1	11,96 (1,16)	II-10	28,40 (9,07)
II-2	17,96 (1,70)	II-11	18,15 (2,09)
II-3	7,14 (0,58)	II-12	8,90 (0,76)
II-4	11,27 (0,93)	II-13	14,46 (1,16)
II-5	8,65 (0,39)	II-14	10,10 (3,93)
II-6	5,49 (0,47)	II-15	6,29 (0,28)
II-7	7,74 (0,88)	II-16	7,88 (0,46)
II-8	4,30 (0,30)	II-17	5,65 (0,26)
II-9	4,41 (0,26)	II-18	5,29 (0,21)

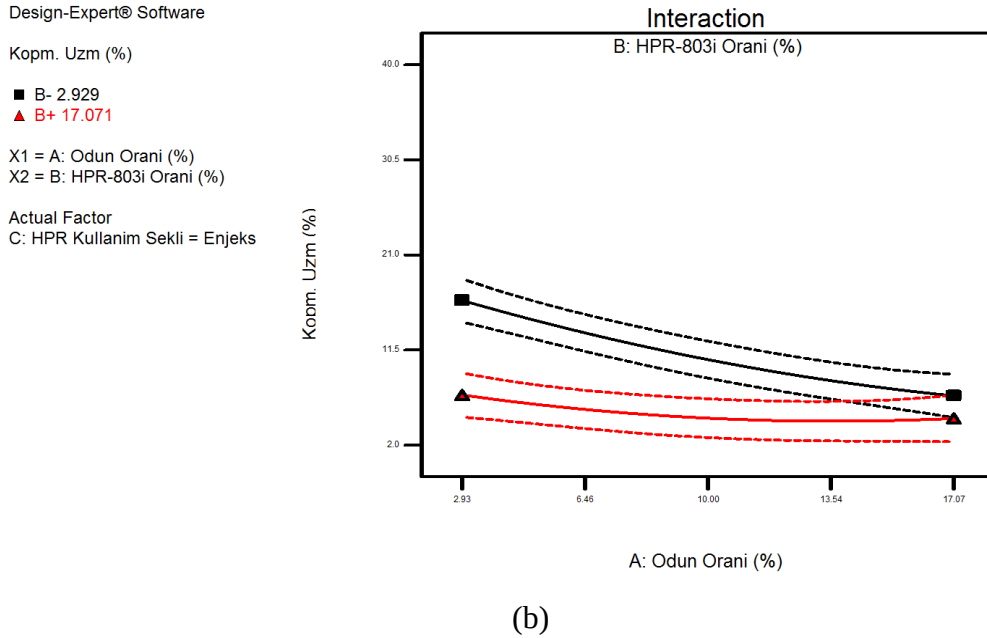
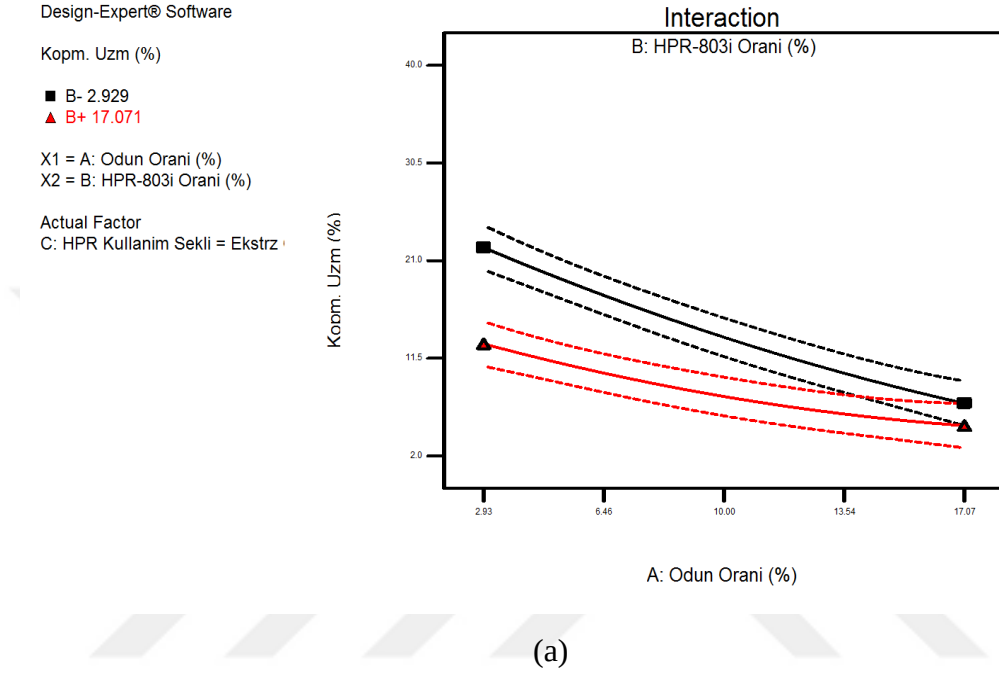
EÖ: enjeksiyondan önce sentetik dolgu maddesi kullanımı, **ES:** enjeksiyon sırasında sentetik dolgu maddesi kullanımı, * ortalama değer, **standart sapma, **Ü.K:** üretim kodu *** her gruptan 5 adet deney numunesi test edilmiştir.

LDMO ve MOSO ile MOS'un kullanım zamanının (EÖ ve ES) deney numunelerinin kopmada uzama miktarı değerleri üzerine etkilerinin önem düzeyini belirlemek amacıyla ANOVA testi uygulanmış ve elde edilen değerler Çizelge 4.34'te gösterilmiştir.

Çizelge 4.34. Deney numune gruplarına ait kopmada uzama ortalama değerlerine ait ANOVA sonuçları.

Test	Kaynak	Kareler top.	DF	Kareler Ort.	F	P
Kopmada uzama miktarı	Model	2727.29	8	340,91	28,53	< 0,0001significant
	A-Odun Oranı (%)	1509,31	1	1509,31	126,32	< 0,0001
	B-MOS- Oranı (%)	645,59	1	645,59	54,03	< 0,0001
	C-MOS Kullanım Sekli	201,08	1	201,08	16,83	< 0,0001
	AB	125.76	1	125,76	10,53	0,0017
	AC	155.27	1	155,27	13,00	0,0005
	BC	0.036	1	0,036	3,037E-003	0,9562
	A ²	35.16	1	35,16	2,94	0,0902
	B ²	6.82	1	6,82	0,57	0,4522
	Residual	931,95	78	11,95		
	Lack of Fit	492,12	9	54,68	8,58	< 0,0001 significant
	Pure Error	439,84	69	6,37		
	Cor Total	3659,25	86			

Çizelge 4.34 incelendiğinde LDMO ve MOSO ile MOS'un kullanım şeklinin (EÖ ve ES) deney numunelerinin kopmada uzama miktarı değerleri üzerine istatistiksel olarak önemli düzeyde etkili olduğu belirlenmiştir ($P < 0.0001$). Deney numunelerin üretiminde MOS'un EÖ ve ES katılımının çekmede elastikiyet modülüne etkisi Şekil 4.30'da gösterilmiştir.



Şekil 4.30. Deney numunelerinin kopmada uzama miktarı değerleri. a): E.Ö, (b): E.S

Deney numunelerinin üretimi için MOS'un ES katılımında kopmada uzama miktarı %4.30 ile 17.96 ve MOS'un EÖ katılımında ise kopmada uzama miktarı %5.29 ile 28.404

aralığında tespit edilmiştir. opmada uzama miktarının belirlenmesi için elde edilen değerler incelendiğinde artan MOS ve KOU dolgu maddesi miktarındaki artışa paralel olarak bu değerde azalma meydana geldiği tespit edilmiştir. Kopmada uzama miktarında en yüksek değer %10MOS (ekstruder) numunesinde tespit edilmiştir. Buna karşın %2,93KOU+%2,93MOS (enjeksiyon) numunesinde %10MOS (enjeksiyon) kopmada uzama miktarını geliştirmesine rağmen artan MOS ve KOU miktarına göre düşürdüğü gözlenmiştir. Dolgu maddesi oranının kopmada uzama değeri üzerindeki etkisinin önemli olduğu ve ES MOS katılımının bu değerleri çok az miktarda geliştirdiği tespit edilmiştir. MOS ve KOU dolgu maddelerinin OPK'yı daha sert hale getirerek kopmada uzama miktarında azalmaya neden olduğu tespit edilmiştir. Yapılan çalışmalarda polimer içerisine dolgu maddesi olarak katılan lignoselülozik madde miktarının artmasına paralel olarak deney numunelerinin daha sert ve gevrek bir hale getirerek kopmada uzama miktarında azalmaya sebep olduğu belirtilmiştir (Felix ve Gatenholm, 1991; Albano ve ark., 2002; Sain ve Panthapulakkal, 2006; Ndiaye ve ark., 2012).

4.2.2.4. Darbe direnci

LDMO ve MOSO ile MOS'un aynı parametreler kullanılarak EÖ ve ES katılması ile üretilen deney numunelerinin darbe dirençleri belirlenmiştir. Darbe direnci ortalama ve standart sapma değerleri Çizelge 4.35'de gösterilmiştir.

Çizelge 4.35. Deney numune gruplarına ait darbe direnci ortalama değerleri ve standart sapma.

E.Ö.		E.S.	
ÜK***	Darbe direnci (kJ/m ²)	ÜK***	Darbe direnci (kJ/m ²)
II-1	1,70* (0,39)**	II-10	2,59 (0,34)
II-2	2,39 (0,72)	II-11	1,96 (0,35)
II-3	2,55 (0,93)	II-12	4,24 (0,03)
II-4	2,38 (0,24)	II-13	2,24 (0,32)
II-5	2,10 (0,23)	II-14	2,23 (0,11)
II-6	2,09 (0,07)	II-15	2,15 (0,08)
II-7	2,34 (0,17)	II-16	2,44 (0,27)
II-8	2,17 (0,06)	II-17	2,15 (0,07)
II-9	2,31 (0,20)	II-18	2,35 (0,15)

EÖ: enjeksiyondan önce sentetik dolgu maddesi kullanımı, ES: enjeksiyon sırasında sentetik dolgu maddesi kullanımı, * ortalama değer, **standart sapma, Ü.K: üretim kodu *** her gruptan 5 adet deney numunesi test edilmiştir.

LDMO ve MOSO ile MOS'un kullanım zamanının (EÖ ve ES) deney numunelerinin darbe direnci değerleri üzerine etkilerinin önem düzeyini belirlemek amacıyla ANOVA testi uygulanmış ve elde edilen değerler Çizelge 4.36'da gösterilmiştir. Çizelge 4.36 incelendiğinde MOS'un kullanım şeklinin (EÖ ve ES) deney numunelerinin

darbe direnci değerleri üzerine istatistiksel olarak önemli düzeyde etkili olduğu belirlenmiştir ($P<0.0001$).

Çizelge 4.36. Deney numune gruplarına ait darbe direnci değerlerine ait ANOVA sonuçları.

Test	Kaynak	Kareler Top.	DF	Kareler Ort.	F	P
Darbe Direnci	Model	15,21	6	2,53	14,00	< 0,0001significant
	A-Odun Oranı (%)	0,30	1	0,30	1,64	0,2029
	B-MOS- Oranı (%)	0,77	1	0,77	4,26	0,0416
	C-MOS Kullanım Sekli	2,84	1	2,84	15,69	< 0,0001
	AB	5,97	1	5,97	32,97	< 0,0001
	AC	3,30	1	3,30	18,24	< 0,0001
	BC	1,93	1	1,93	10,64	0,0015
	Residual	17,92	99	0,18		
	Lack of Fit	11,92	11	1,08	15,91	< 0,0001significant
	Pure Error	6,00	88	0,068		
	Cor Total	33,13	105			

Deney sonuçlarından elde edilen darbe direnci değerleri incelendiğinde darbe direnci değerlerinin MOS dolgu miktarının etkili olduğu tespit edilmiştir. MOS miktarı arttıkça bu oranın arttığı ancak KOU miktarı arttıkça bu direnç değerlerinde düşüş ve MOS+KOU deney numunelerinde ise MOS miktarınca artış olduğu tespit edilmiştir. MOS'un EÖ sırasında katılımı ile üretilen deney numunelerinin darbe direnci değerleri 1,70 ile 2,55 (kJ/m^2) aralığında oldukları tespit edilmiştir. Darbe direnci değerlerindeki ortalama en yüksek düşme değeri farkı %17,07MOS+%2,93KOU oranında katılan deney numunelerinde elde edilirken, en küçük darbe direnci değeri ise %10MOS deney numunelerinde belirlenmiştir.

Deney numunelerin üretiminde MOS'un EÖ ve ES katılımının darbe direncine etkisi Şekil 4.31'de gösterilmiştir.

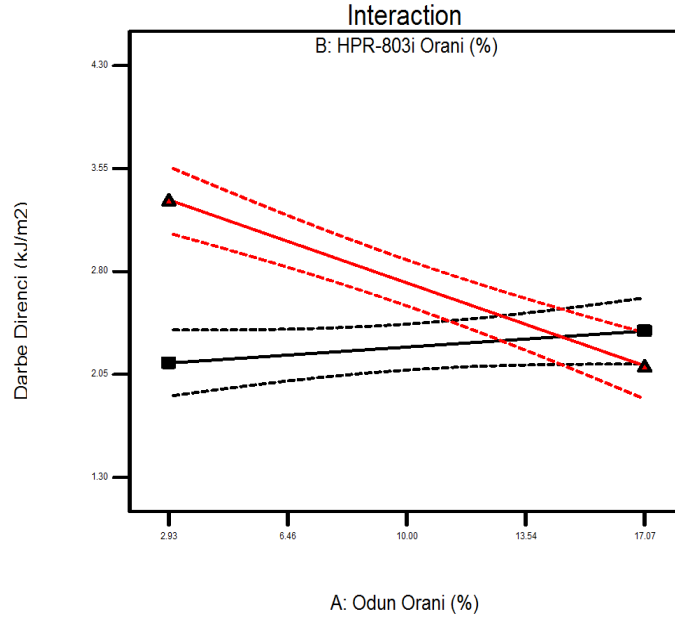
Design-Expert® Software

Darbe Direnci (kJ/m²)

■ B- 2.929
▲ B+ 17.071

X1 = A: Odun Orani (%)
X2 = B: HPR-803i Orani (%)

Actual Factor
C: HPR Kullanım Sekli = Ekstrz



(a)

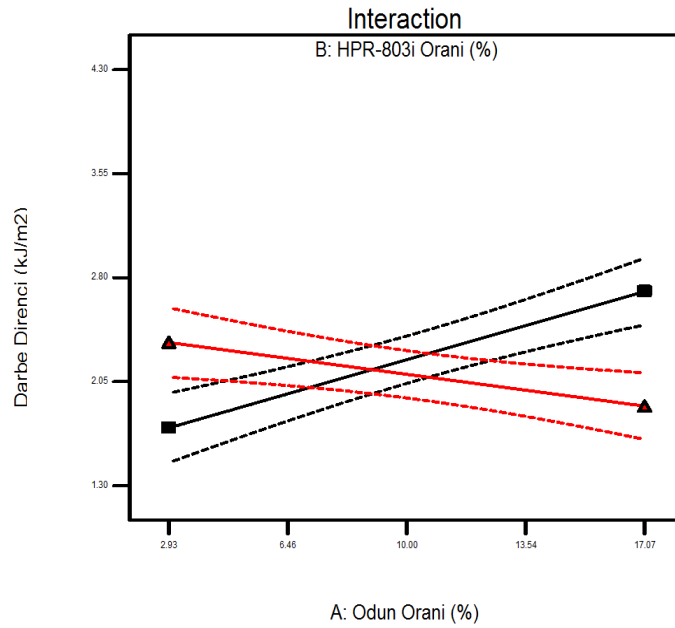
Design-Expert® Software

Darbe Direnci (kJ/m²)

■ B- 2.929
▲ B+ 17.071

X1 = A: Odun Orani (%)
X2 = B: HPR-803i Orani (%)

Actual Factor
C: HPR Kullanım Sekli = Enjeks



(b)

Şekil 4.31. Deney numunelerinin darbe direnci değerleri. a): E.Ö, (b): E.S

MOS'un ES katılımı ile üretilen deney numunelerinin darbe direnci değerleri 1,92 ile 4,24 (kJ/m²) aralığında oldukları tespit edilmiştir. Darbe direnci değerleri ortalama en yüksek düşme değeri farkı %17,07MOS+%2,93KOU oranında katılan deney numunelerinde elde edilirken, en küçük darbe direnci değerleri ortalama değeri ise %2,93MOS+%2,93 KOU deney numunelerinde belirlenmiştir.

Polimer matris içine dolgu maddesi olarak KOU katılmasının sertliği arttırdığını, OPK'yı daha kırılğan bir hale getirip darbe direncini azalttığı (Albano ve ark., 2002; Ndiaye ve ark., 2012; Kazemi ve ark., 2015; Karakuş ve Mengeloğlu, 2016; Nunes ve ark., 2017) tespit edilmiştir. Deney numunelerinin içerisine ekstrüzyon üretimi öncesinde %10 oranında yalnız MOS katılımı ile darbe direnci değerleri ES katılımına göre düşük çıkmıştır. Aynı şekilde %10KOU ve %10MOS katılımı ile darbe direnci değerleri ES katılımında elde edilen değerlere göre düşük çıkmıştır. LDM ile birlikte MOS kullanımın darbe direnci değerlerini düşürdüğü, KOU oranının artmasına paralel olarak darbe direnci değerlerinde artışlar olduğu ve MOS katılımının ES yapılmasının bu değerleri arttırdığı tespit edilmiştir.

4.2.2.5. Sertlik direnci

LDMO ve MOSO ile MOS'un aynı parametreler kullanılarak EÖ ve ES katılması ile üretilen deney numunelerinin sertlik direnci belirlenmiştir. Deney numunelerinden elde edilen sertlik direnci ortalama ve standart sapma değerleri Çizelge 4.37'de gösterilmiştir.

Çizelge 4.37. Deney numune gruplarına ait ortalama sertlik değerleri (Shore-D).

E.Ö.		E.S.	
ÜK***	Sertlik (Shore-D)	ÜK***	Sertlik (Shore-D)
II-1	70,14 (1,53)	II-10	69,84 (1,09)
II-2	68,48 (7,70)	II-11	69,60 (0,72)
II-3	71,64 (1,65)	II-12	71,18 (2,21)
II-4	67,10 (2,44)	II-13	66,28 (3,08)
II-5	70,68 (0,61)	II-14	70,86 (0,60)
II-6	73,70 (1,47)	II-15	74,00 (2,48)
II-7	69,66 (1,58)	II-16	70,56 (0,62)
II-8	77,00 (1,51)	II-17	74,78 (0,85)
II-9	73,92 (0,92)	II-18	74,52 (1,34)

EÖ: enjeksiyondan önce sentetik dolgu maddesi kullanımı, **ES:** enjeksiyon sırasında sentetik dolgu maddesi kullanımı, * ortalama değer, **standart sapma, **Ü.K:** üretim kodu *** her gruptan 5 adet deney numunesi test edilmiştir.

LDMO ve MOSO ile MOS'un kullanım zamanının (EÖ ve ES) deney numunelerinin sertlik direnci değerleri üzerine etkilerinin önem düzeyini belirlemek amacıyla ANOVA testi uygulanmış ve elde edilen değerler Çizelge 4.38'de gösterilmiştir. Çizelge 4.38 incelendiğinde LDMO ve MOSO'nun deney numunelerinin sertlik direnci değerleri üzerine istatistiksel olarak önemli düzeyde etkili olduğu belirlenmiştir ($P < 0.0001$).

Çizelge 4.38. Deney numune gruplarına ait ortalama sertlik direnci değerleri ait ANOVA sonuçları.

Test	Kaynak	Kareler Top.	DF	Kareler Ort.	F	P
Sertlik direnci	Model15.21	616,62	8	77,08	29,07	< 0,0001significant
	A-Odun Orani (%)	387,68	1	387,68	146,19	< 0.0001
	B-MOS- Orani (%)	150,42	1	150,42	56,72	< 0.0001
	C-MOS Kullanım Sekli	0,60	1	0,60	0,22	0,6366
	AB	34,03	1	34,03	12,83	0,0006
	AC	1,65	1	1,65	0,62	0,4331
	BC	1.857E-003	1	1.857E-03	7.005E-04	0,9790
	A ²	0,41	1	0,41	0,16	0,6945
	B ²	18,49	1	18,49	6,97	0,1000
	Residual	209,49	79	2,65		
	Lack of Fit	30,31	9	2,37	1,32	0,2448 not significant
	Pure Error	179,19	70	2,56		
	Cor Total	836,12	87			

Çizelge 4.32 incelendiğinde, deney numunelerin sertlik değerlerinin MOS+KOU dolgu maddesi oranına paralel olarak arttığı belirlenmiştir. En fazla artış %17,07 MOS+%17,07KOU (EÖ ve ES) en düşük artış ise %0 MOS+%10KOU (enjeksiyon) ve %0MOS+%10KOU (ekstruder) deney numunelerinde tespit edilmiştir. Bu durum MOS'un EÖ ve ES katılmasının numunelerin sertlik değerlerini etkilemediği, ancak dolgu maddesi oranı ve birlikte kullanımının sinerji oluşturarak bu direnci etkilediği tespit edilmiştir. Deney numunelerinin içerisinde ES sadece MOS katılımı ile sertlik direncinde; EÖ katılıma göre artış olduğu, bu artışın MOS+KOU katılımı ile önemli olmayan bir miktarda arttığı tespit edilmiştir. MOS katılmamış sadece KOU katılmış deney numuneleri incelendiğinde ise KOU katılım oranına paralel olarak sertliğin arttığı ancak MOS katılım oranına paralel olarak sertlik direnci değerlerinde bir miktar azalmaya neden olduğu gözlenmiştir. Deney sonuçlarında elde edilen veriler bu anlamada literatür ile uyumlu olduğu görülmüştür (Rowell, 1997; Kazemi ve ark., 2015).

Deney numunelerin üretiminde MOS'un EÖ ve ES katılımının sertlik direncine etkisi Şekil 4.32'de gösterilmiştir.

Design-Expert® Software

Sertlik (Shore D)

■ A- 2.929

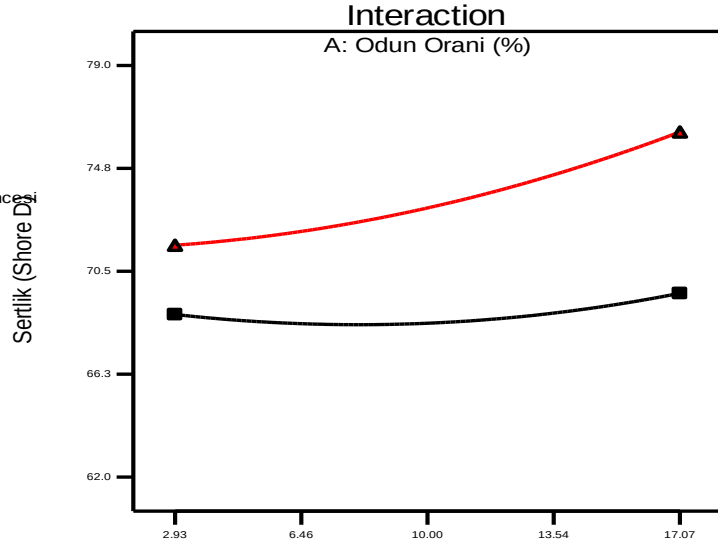
▲ A+ 17.071

X1 = B: HPR-803i Orani (%)

X2 = A: Odun Orani (%)

Actual Factor

C: HPR Kullanım Sekli = Ekstrz Önce



(a)

Design-Expert® Software

Sertlik (Shore D)

■ A- 2.929

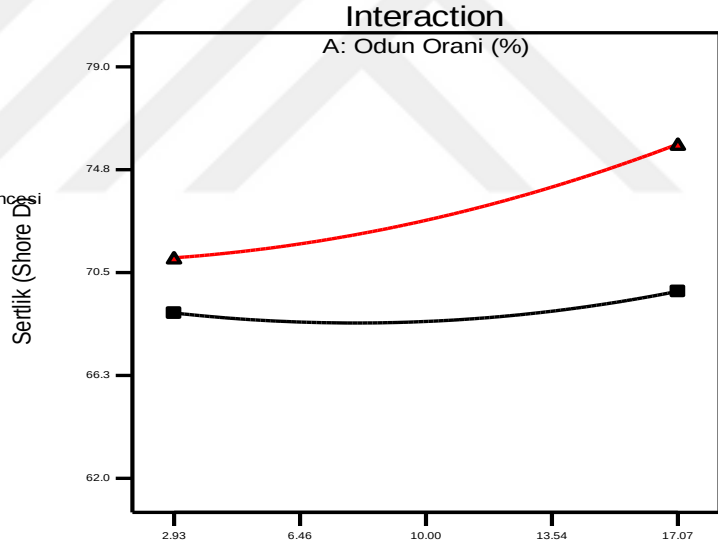
▲ A+ 17.071

X1 = B: HPR-803i Orani (%)

X2 = A: Odun Orani (%)

Actual Factor

C: HPR Kullanım Sekli = Enjeks Önce



B: HPR-803i Orani (%)

(b)

Şekil 4.32. Deney numunelerinin sertlik (Shore-D) değerleri. a): E.Ö, (b): E.S

4.2.2.6. Doğrusal yanma hızı

LDMO ve MOSO ile MOS'un aynı parametreler kullanılarak EÖ ve ES katılması ile üretilen deney numunelerinin yanma direnci belirlenmiştir. Deney numunelerinden elde edilen doğrusal yanma hızı ortalama ve standart sapma değerleri Çizelge 4.39'da gösterilmiştir.

Çizelge 4.39. Deney numune gruplarına ait ortalama doğrusal yanma hızı değerleri (mm\dak.).

E.Ö.		E.S.	
ÜK***	Doğrusal yanma hızı (mm\dak.)	ÜK	Doğrusal yanma hızı (mm\dak.)
II-1	19,36 (1,23)	II-10	22,25 (0,44)
II-2	25,68 (1,89)	II-11	25,92 (2,68)
II-3	23,33 (1,22)	II-12	7,11 (0,20)
II-4	12,98 (0,82)	II-13	10,24 (0,30)
II-5	23,88 (1,04)	II-14	12,36 (1,77)
II-6	6,80 (0,15)	II-15	12,36 (0,27)
II-7	26,17 (1,83)	II-16	12,32 (0,55)
II-8	9,36 (0,20)	II-17	8,57 (0,32)
II-9	7,25 (0,17)	II-18	6,62 (0,21)

EÖ: enjeksiyondan önce sentetik dolgu maddesi kullanımı, **ES:** enjeksiyon sırasında sentetik dolgu maddesi kullanımı, * ortalama değer, **standart sapma, **Ü.K:** üretim kodu *** her gruptan 5 adet deney numunesi test edilmiştir.

LDMO ve MOSO ile MOS'un kullanım zamanının (EÖ ve ES) deney numunelerinin doğrusal yanma hızı değerleri üzerine etkilerinin önem düzeyini belirlemek amacıyla ANOVA testi uygulanmış ve elde edilen değerler Çizelge 4.40'ta gösterilmiştir. Çizelge 4.40 incelendiğinde LDMO ve MOSO ile MOS'un kullanım zamanının (EÖ ve ES) deney numunelerinin doğrusal yanma hızı değerleri üzerine istatistiksel olarak önemli düzeyde etkili olduğu belirlenmiştir ($P < 0.0001$).

Çizelge 4.40. Deney numune gruplarına ait ortalama doğrusal yanma hızı değerleri ait ANOVA sonuçları.

Test	Kaynak	Kareler Top.	DF	Kareler Ort.	F	P
Doğrusal yanma hızı	Model	5659,74	8	707,47	28,12	< 0,0001significant
	A-Odun Oranı (%)	1439,84	1	1439,84	57,24	< 0.0001
	B-MOS- Oranı (%)	2665,53	1	2665,53	105,96	< 0.0001
	C-MOS Kullanım Sekli	526,88	1	526,88	20,94	< 0.0001
	AB	0,87	1	0,87	0,035	0,8526
	AC	43,25	1	43,25	1,72	0,1915
	BC	8,48	1	8,48	0,34	0,5622
	A ²	972,52	1	972,52	38,66	< 0.0001
	B ²	348,15	1	348,15	13,84	0,0003
	Residual	4301,74	171	25,16		
	Lack of Fit	4081,93	9	453,55	334,26	<0.0001 not significant
	Pure Error	219,81	162	1,36		
	Cor Total	9961,48	179			

Deney numunelerin üretiminde MOS'un EÖ ve ES katılımının doğrusal yanma hızına etkisi Şekil 4.33'te gösterilmiştir.

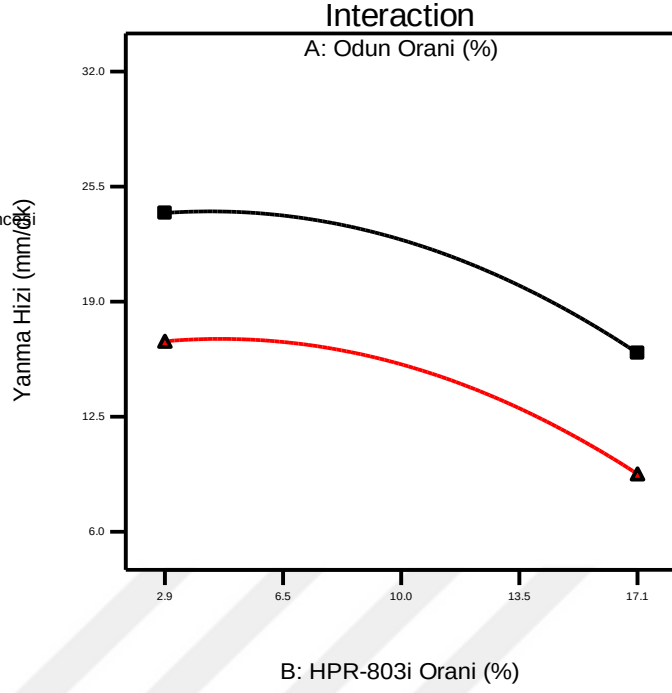
Design-Expert® Software

Yanma Hızı (mm/dk)

■ A- 2.929
▲ A+ 17.071

X1 = B: HPR-803i Oranı (%)
X2 = A: Odun Oranı (%)

Actual Factor
C: HPR Kullanım Sekli = Ekstrz Öncüsi



(a)

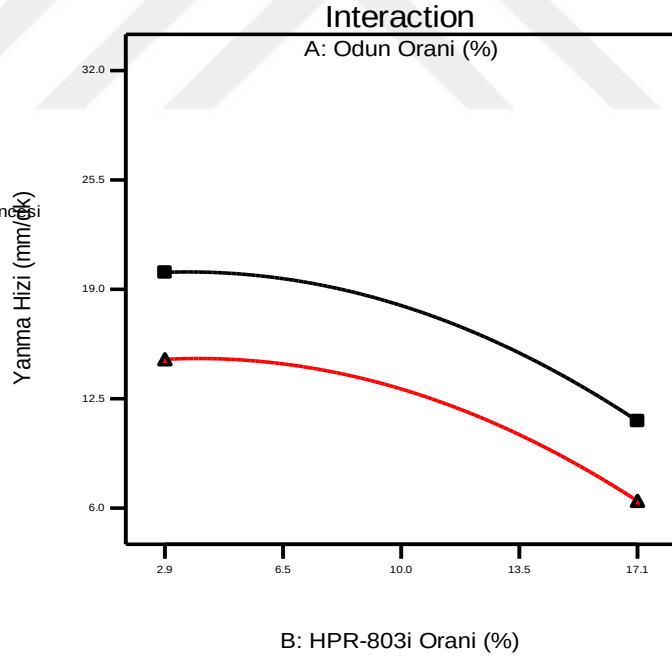
Design-Expert® Software

Yanma Hızı (mm/dk)

■ A- 2.929
▲ A+ 17.071

X1 = B: HPR-803i Oranı (%)
X2 = A: Odun Oranı (%)

Actual Factor
C: HPR Kullanım Sekli = Enjeks Öncüsi



(b)

Şekil 4.33. Deney numunelerinin doğrusal yanma hızı değerleri. a): E.Ö, (b): E.S

Şekil 4.33 incelendiğinde deney numunelerin yanma hız değerlerinin MOS'un EÖ sırasında katılımı ile üretilenlerde 6,80 ile 26,17 mm\dak. aralığında oldukları tespit edilmiştir. Benzer şekilde deney numunelerin yanma hız değerlerinin MOS'un ES katılımı

ile üretilenlerde 6,62 ile 25,92 mm\dak. aralığında oldukları tespit edilmiştir. Doğrusal yanma hızında en yüksek değerler %2,93 MOS+%17,07KOU katılmış deney numunelerinde (EÖ) ve %10MOS oranında sadece MOS katılmış deney numunelerinde (ES) tespit edilmiştir. En düşük doğrusal yanma hızı değerleri ise %20MOS+%10KOU (EÖ) ve %10MOS+%20KOU (ES) deney numunelerinde tespit edilmiştir. Deney numunelerin doğrusal yanma hızının dolgu maddesi türü ve oranına paralel olarak düştüğü tespit edilmiştir. Kompozit yapı içerisinde odun unu miktarı arttıkça doğrusal yanma hızının arttığı MOS kullanımı ile doğrusal yanma hızının düştüğü ve MOS kullanım zamanının (EÖ ve ES) doğrusal yanma hızında etkili olduğu tespit edilmiştir.

Literatürde mineral dolgu maddesi eklenmesinin deney numunelerinin linear doğrusal yanma hızını düşürdüğü belirtilmiştir. (Faud, 1994; Malvar, 2001; Chaudry, 2007; Kurt ve Mengeloğlu, 2011). Stevens tarafından 2007 yılında yapılan yüksek lisans tezinde odun plastik kompozit içerisine %4-8 ve 12 oranlarında wollastonit eklenmesinin kompozitin doğrusal yanma hızı değerlerini önemli oranda düşürdüğü, dolgu maddesi türü, boyutu ve oranının yangın geciktirici etkiye neden olabileceği belirtilmiştir.

4.2.2.7. Gerilme gevşeme

LDMO ve MOSO ile MOS'un aynı parametreler kullanılarak EÖ ve ES katılması ile üretilen deney numunelerinin gerilme gevşeme direnci belirlenmiştir. Deney numunelerinden elde edilen gerilme gevşeme direnci ortalama ve standart sapma değerleri Çizelge 4.41'de gösterilmiştir.

Çizelge 4.41. Deney numunelerinden elde edilen gerilme gevşeme direnci ortalama ve standart sapma değerleri.

ÜK***	F(Δt_1)	F(Δt_2)	F(Δt_3)	F(Δt_4)	F(Δt_5)	F(Δt_6)	$\Delta F\epsilon$
II-1 (E.Ö.)	597,73 (0,04)	398,76 (1,75)	378,61 (2,28)	366,78 (0,54)	359,10 (1,75)	351,70 (1,03)	246,03 (0,99)
II-2 (E.Ö.)	597,84 (0,15)	399,95 (3,38)	378,09 (3,11)	365,77 (1,50)	357,43 (3,25)	349,95 (5,38)	247,89 (5,24)
II-3 (E.Ö.)	597,09 (0,10)	399,60 (3,75)	379,44 (1,93)	367,20 (3,17)	357,82 (4,05)	348,87 (5,59)	248,22 (5,49)
II-4 (E.Ö.)	597,63 (0,10)	405,35 (4,83)	385,86 (6,75)	372,84 (4,79)	362,69 (5,85)	354,64 (5,40)	242,99 (5,46)
II-5 (E.Ö.)	597,30 (0,04)	402,40 (6,15)	382,94 (5,89)	372,20 (8,84)	363,33 (9,36)	359,17 (13,57)	238,13 (13,60)
II-6 (E.Ö.)	596,76 (0,03)	402,00 (3,56)	382,47 (4,25)	371,27 (4,92)	361,94 (4,76)	355,02 (4,21)	241,74 (4,21)
II-7 (E.Ö.)	597,37 (0,29)	399,19 (5,01)	378,74 (7,78)	369,34 (11,05)	364,49 (12,41)	354,37 (11,61)	243,00 (11,36)
II-8 (E.Ö.)	597,05 (0,24)	421,76 (3,88)	402,88 (1,80)	384,82 (3,83)	374,33 (6,25)	368,35 (9,14)	228,70 (9,00)
II-9 (E.Ö.)	596,87 (0,14)	428,58 (6,38)	410,33 (8,94)	398,68 (8,96)	390,59 (8,54)	383,60 (8,37)	213,27 (8,25)
II-10(E.S.)	597,50 (0,14)	415,67 (6,23)	396,73 (5,98)	383,19 (6,39)	375,62 (3,03)	367,28 (2,78)	230,23 (2,67)
II-11 (E.S.)	597,62 (0,11)	409,82 (5,87)	389,02 (5,49)	373,94 (3,04)	365,16 (1,73)	358,44 (2,65)	239,18 (2,56)
II-12 (E.S.)	596,86 (0,06)	406,22 (2,99)	388,41 (3,67)	376,14 (4,45)	367,85 (5,11)	361,21 (7,53)	235,66 (7,52)
II-13 (E.S.)	597,72 (0,03)	407,57 (10,65)	387,20 (9,43)	373,86 (10,68)	364,40 (9,32)	358,00 (8,14)	239,72 (8,12)
II-14 (E.S.)	597,22 (0,12)	412,46 (2,53)	392,61 (1,48)	380,44 (0,78)	373,39 (1,89)	367,48 (1,38)	229,74 (1,44)
II-15 (E.S.)	596,83 (0,05)	403,25 (0,57)	384,83 (0,26)	375,08 (3,02)	369,15 (2,84)	364,01 (3,04)	232,82 (3,05)
II-16 (E.S.)	597,15 (0,05)	418,84 (17,21)	400,08 (16,06)	389,49 (16,45)	380,53 (16,54)	374,69 (15,97)	222,46 (15,93)
II-17 (E.S.)	597,12 (0,37)	413,23 (6,14)	399,01 (8,46)	387,96 (8,42)	380,23 (8,80)	374,16 (11,05)	222,96 (11,26)
II-18 (E.S.)	596,76 (0,12)	410,90 (3,73)	393,65 (3,35)	381,63 (4,43)	375,30 (4,85)	369,75 (5,11)	227,01 (5,05)

EÖ: enjeksiyondan önce sentetik dolgu maddesi kullanımı, **ES:** enjeksiyon sırasında sentetik dolgu maddesi kullanımı, * ortalama değer, **standart sapma, **Ü.K:** üretim kodu *** her gruptan 5 adet deney numunesi test edilmiştir.

LDMO ve MOSO ile MOS'un kullanım zamanının (EÖ ve ES) deney numunelerinin gerilme gevşeme değerleri üzerine etkilerinin önem düzeyini belirlemek amacıyla ANOVA testi uygulanmış ve elde edilen değerler Çizelge 4.42'de gösterilmiştir. Çizelge 4.42 incelendiğinde MOSO ve MOS'un kullanım zamanının (EÖ ve ES) deney numunelerinin gerilme gevşeme değerleri üzerine istatistiksel olarak önemli düzeyde etkili olduğu belirlenmiştir ($P < 0.0001$).

Çizelge 4.42. Deney numune gruplarına ait ortalama gerilme gevşeme değerleri ait ANOVA sonuçları.

Test	Kaynak	Kareler Top.	DF	Kareler Ort.	F	P
Gerilme gevşeme	Model	3780,50	8	472,56	8,81	< 0,0001significant
	A-Odun Orani (%)	274,68	1	274,68	5,12	0,0286
	B-MOS- Orani (%)	1632,79	1	1632,79	30,45	< 0.0001
	C-MOS Kullanım Sekli	586,28	1	586,28	10,93	0,0019
	AB	154,98	1	154,98	2,89	0,0962
	AC	9,67	1	9,67	0,18	0,6731
	BC	404,09	1	404,09	7,54	0,0087
	A ²	208,11	1	208,11	3,88	0,0551
	B ²	46,52	1	46,52	0,87	0,3567
	Residual	2359,10	44	53,62		
	Lack of Fit	610,65	9	67,85	1,36	0,2441 not significant
	Pure Error	1748,45	35	49,96		
	Cor Total	6139,60	52			

Deney numunelerin deney süresince eksponansiyelliğin bitip yaklaşık lineerliğin başladığı noktalar arasındaki fark değerleri alınmıştır. Şekil 4.34 incelendiğinde, deney numunelerin gerilme gevşeme değerleri üzerinde MOS'un ekstruder ve ES katılımının, dolgu maddesi türü ve oranın etkili olduğu tespit edilmiştir. MOS'un EÖ sırasında katılımı ile üretilen deney numunelerinin gerilme gevşemedeki ortalama maksimum düşüş değerlerinin 228,70 ile 248,22 N aralığında oldukları tespit edilmiştir. Gerilme gevşeme değerlerindeki ortalama en yüksek düşme değeri farkı %17,07MOS+%2,9340KOU oranında katılan deney numunelerinde elde edilirken, en küçük gerilme gevşeme ortalama düşme değeri değer farkı ise %17,07MOS+%17,07KOU deney numunelerinde belirlenmiştir.

MOS'un ES katılımı ile üretilen deney numunelerinin gerilme gevşemedeki ortalama maksimum düşüş değerlerinin 222,46 ile 239,18 N aralığında oldukları tespit edilmiştir. Gerilme gevşeme değerlerindeki ortalama en yüksek düşme değeri farkı %2,93MOS+%2,93KOU oranında katılan deney numunelerinde elde edilirken, en küçük gerilme gevşeme ortalama düşme değeri değer farkı ise %2,93MOS+%17,07KOU deney numunelerinde belirlenmiştir.

Deney numunelerine EÖ ve ES MOS katılımının gerilme gevşeme değerlerine etkisi sırasıyla Şekil 4.34'te gösterilmiştir.

Design-Expert® Software

Gevseme (N)

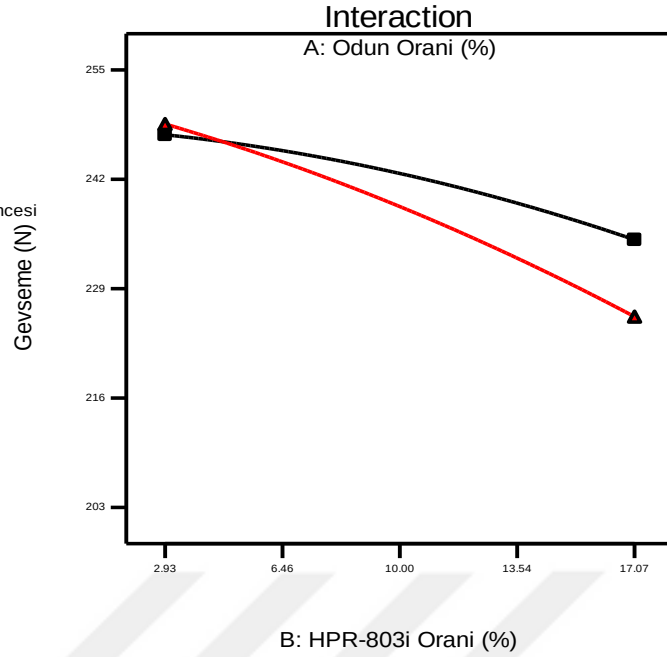
■ A- 2.929
▲ A+ 17.071

X1 = B: HPR-803i Orani (%)

X2 = A: Odun Orani (%)

Actual Factor

C: HPR Kullanım Sekli = Ekstrz Öncesi



(a)

Design-Expert® Software

Gevseme (N)

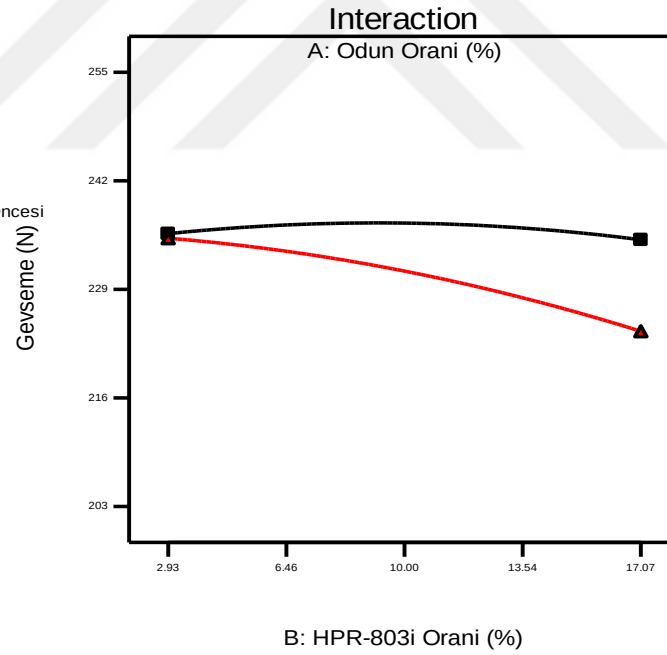
■ A- 2.929
▲ A+ 17.071

X1 = B: HPR-803i Orani (%)

X2 = A: Odun Orani (%)

Actual Factor

C: HPR Kullanım Sekli = Enjeks Öncesi



(b)

Şekil 4.34. Deney numunelerinin gerilme gevşeme değerleri. a): E.Ö, (b): E.S

Deney numuneleri içerisinde lignoselülozik ve sentetik dolgu maddesi katılımı MOS'un ekstruder ve ES katılımının bağlı kalmaksızın gerilme gevşeme değerlerini düşürdüğü belirlenmiştir. Deney numuneleri içerisinde %10 oranında sadece KOU veya

MOS katılımı deney numunelerinde gerilme düşüşü değerini düşürdüğü ancak %10 oranında sadece MOS katılım oranı bu değeri arttırdığı tespit edilmiştir. Aynı değerler üzerinden MOS'un ES kullanılmasının EÖ sırasında kullanılmasına göre bu değerleri düşürdüğü tespit edilmiştir. Gerilme gevşeme değerleri üzerinde MOS ve KOU'nun aynı oranlarda kullanılmasının gerilme gevşeme değerlerini sadece MOS kullanılmış deney numunelerine göre düşürdüğü tespit edilmiştir. LDM katılım oranının MOS ile birlikte kullanım oranı arttıkça ve sadece KOU kullanımının MOS'a göre gerilme gevşeme değerlerini düşürdüğü tespit edilmiştir. LDM katılım oranının deney numunelerinin gerilme gevşeme değerlerinde etkili olduğu ve katılım oranı arttıkça gerilme gevşeme değerlerini belirgin bir şekilde düşürdüğü tespit edilmiştir. Benzer şekilde veriler daha önce yapılan çalışmalarda elde edilmiştir. Literatürde dolgu maddesi oranının polimer zincirlerinin aralarındaki hareket kabiliyetini azalttığı, bu durumun gevşemeyi geciktirdiği ve dolgu maddesi miktarı arttıkça gevşemenin azaldığı rapor edilmiştir (Kutty ve Nando, 1991; Bhattacharyya ve ark., 2006; Mirzai ve ark., 2011; Wan ve ark., 2012; Obaid ve ark., 2017).

Kutty ve Nando, (1991) kısa kevlar liflerini dolgu maddesi olarak poliüretan içerisinde kullandığı çalışmada lif katılım oranının artışına paralel olarak gerilme gevşeme değerlerindeki düşüşün arttığını gözlemlemiştir. Yapılan birçok araştırma bu gözlemi desteklemektedir. Örneğin, Suhara, Kutty ve Nando (1998) poliüretan içinde polyester elyafın dolgu maddesi olarak kullanılmasının gerilme gevşemesini yavaşlattığını belirtmişlerdir. Pothan ve ark., (2004) muz liflerinin dolgu maddesi olarak gerilme gevşemesini oranını azalttığını tespit etmiştir. Bhattacharyya ve ark. (2006). Odun lifi miktarı arttıkça PP kompozitlerinin gevşemesini azaldığını tespit etmişlerdir. Başka bir çalışmada Saeed ve ark. (2014). Cam liflerinin yüksek yoğunluklu polietilende zincir mobilitesinde azalmaya neden olduğunu tespit etmişlerdir. Boukettaya ve ark. (2015) Hurma ağacı lifleri ile güçlendirilmiş PP kompozitlerin stres rahatlama davranışını belirlemiştir. Kompozit yapı içerisinde hurma ağacı lif miktarının artırılmasının gevşeme oranının düşmesine neden olduğu gözlenmiştir. Wan ve ark., (2012) odun ununun eklenmesinin PP'nin kompozitlerin gerilme gevşetme oranını azalttığını göstermiştir.

Birçok çalışmada; birden fazla lif türü içeren hibrit kompozitlerin gerilme gevşeme davranışı araştırılmıştır. Sreekala ve ark. (2001) fenol formaldehit matrisindeki kısa palmye liflerini kullanarak yaptıkları çalışmada lif içeriğinin artmasının gerilme gevşeme değerlerini düşürdüğünü belirtmiştir. Başka bir çalışmada ise Stan ve Fetecau,

(2004) politetrafluoroetilen (PTFE) kompozitlerin gerilme gevşeme davranışını incelemiştir. Elde edilen sonuçlar dolgu maddesi kullanılmamış politetrafluoroetilen ile %15 grafit partikülleri, %32 karbon ve %3 grafit içeren hibrit polietilenfluoroetilen (PTFE) ile karşılaştırılmıştır. Dolgu maddesi kullanılmamış PTFE'nin en iyi gerilme gevşeme değerine sahip olduğu ve dolgu maddesi katılımı ile bu değerlerin düştüğü tespit edilmiştir. Özet olarak literatürde polimer içerisinde dolgu maddesi kullanımının gerilme gevşeme değerlerini düşürdüğünü belirtmiştir. Bunun nedeni olarak polimer içerisindeki dolgu maddesi varlığının matrisin arayüzündeki akışı yavaşlattığı ve polimer zincirlerini sınırlandırması olabilir.



4.3. Dolgu Maddesi Türü (sentetik temelli mineral lif, kızılçam odunu) Kompozit Yapı İçerisinde Kullanım Oranının Odun Plastik Kompozitlerin Özelliklerine Etkisi

4.3.1. Fiziksel özellikler

4.3.1.1 Yoğunluğun belirlenmesi

Bu çalışmada, LDMO ve MOSO'nun deney numunelerinin yoğunluklarına etkileri belirlenmiştir. Yoğunlukların belirlenmesinde ASTM D 792'de belirtilen esaslara uyulmuştur. LDMO ve MOSO'nun (%10–20) üretilen deney numunelerinin yoğunlukları üzerine etkisi incelenmiştir. Üretilen kompozitlerin yoğunluk değerlerini belirlemek için çekme direnci deney numunelerinden deney sonrası kesilen parçalar kullanılarak yoğunluklar belirlenmiştir. Deney numunelerinin ortalama yoğunlukları standart sapma değerleri Çizelge 4.43'te gösterilmiştir.

Çizelge 4.43. Deney numune gruplarına ait ortalama yoğunluk değerleri (gr/cm³).

ÜK***	III-1	III-2	III-3	III-4	III-5
Yoğunluk	0,90*	0,96	0,96	1,02	0,96
S.S.	(0,01)**	(0,01)	(0,01)	(0,02)	(0,01)

*ortalama değer, **standart sapma, Ü.K: üretim kodu *** her gruptan 5 adet deney numunesi test edilmiştir.

Dolgu maddesi türü ve oranının deney numunelerinin yoğunluk değerleri üzerine etkilerinin önem düzeyini belirlemek amacıyla ANOVA testi uygulanmış ve elde edilen değerler Çizelge 4.44'te gösterilmiştir. Çizelge 4.44 incelendiğinde dolgu maddesi oranı ve tipinin deney numunelerinin yoğunluk değerleri üzerine istatistiksel olarak önemli düzeyde etkili olduğu belirlenmiştir ($P < 0.0001$).

Çizelge 4.44. Dolgu maddesi türü ve kullanım oranının deney numunelerinin yoğunluk değerleri üzerine etkisine ait ANOVA sonuçları.

Test	Kaynak	Kareler Top.	DF	Kareler Ort.	F	p-value Prob > F
Yoğunluk	Model	0.045	5	8,915E-003	47,14	< 0,0001significant
	A-Dolgu Tipi	3,088E-003	1	3,088E-003	16,33	0,0005
	B-Dolgu Oranı (%)	0,035	2	0,018	93,86	< 0,0001
	AB	5.987E-003	2	2,993E-003	15,83	< 0,0001
	Pure Error	4,539E-003	24	1,891E-004		
	Cor Total	0,049	29			

Deney numunelerinde; LDMO ve MOSO'nun deney numunelerinin yoğunluk değerleri üzerine etkileri sırasıyla Şekil 4.35'te gösterilmiştir.

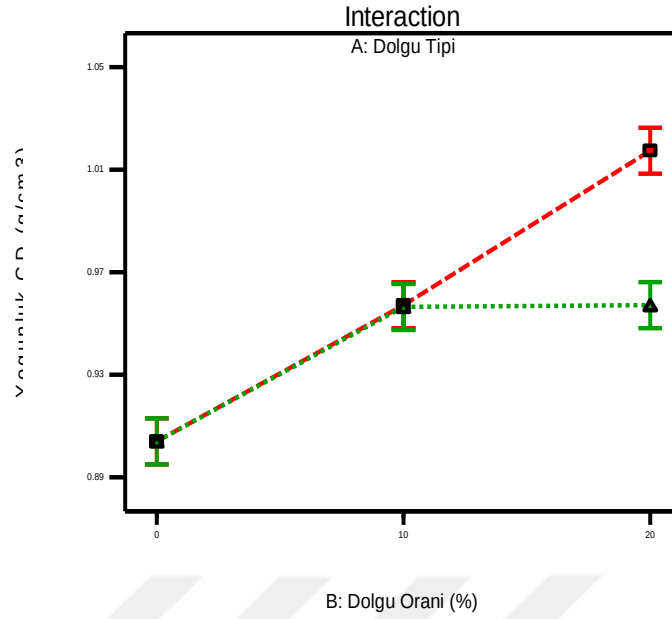
Design-Expert® Software

Yoğunluk ÇD (g/cm³)

■ A1 HPR
▲ A2 Odun Unu

X1 = B: Dolgu Oranı (%)

X2 = A: Dolgu Tipi



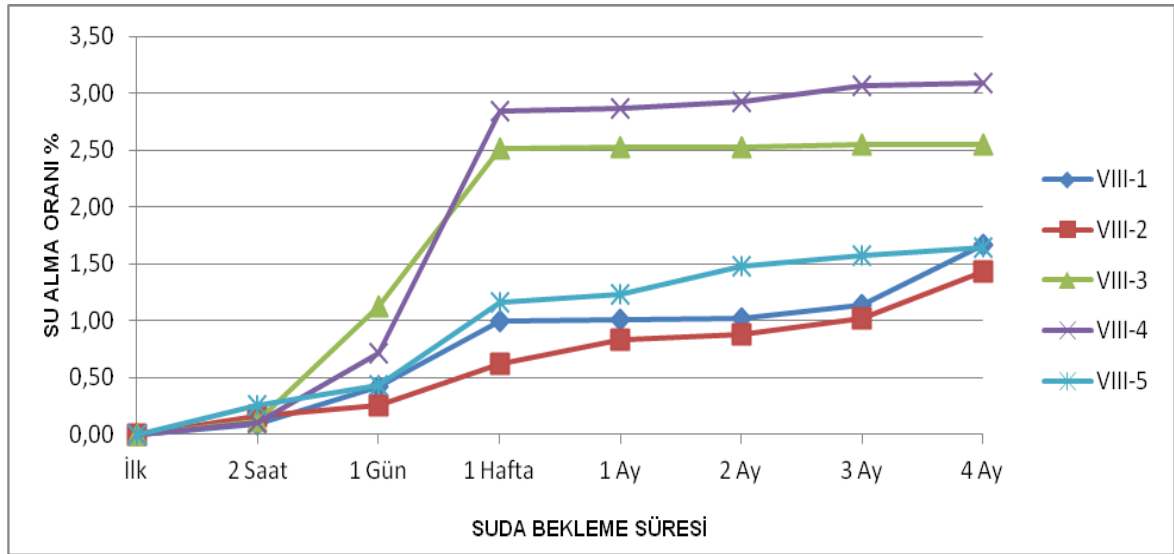
Şekil 4.35. Deney numunelerinin yoğunluk değerleri.

Deney numunelerinin yoğunlukları 0,90 ile 1,02 gr/cm³ aralığında belirlenmiştir. En yüksek yoğunluk %74PP+20MOS deney numunelerinde (1,02 gr/cm³) ve en düşük yoğunluk kontrol deney numunelerinde tespit edilmiştir (0,90 gr/cm³). Saf PP içerisine %10 MOS katılımı ile %6,07 oranında yoğunluk artışı ortaya çıkarken, MOS oranı %20'ye çıktığında ise bu oranın %11,6 olduğu tespit edilmiştir. Saf PP içerisine %10 KOU katılması ile %0,60 oranında yoğunluk artışı oluşurken KOU oranı %20'ye çıktığında ise bu oranın sabit kaldığı belirlenmiştir. Kompozit yapı içerisinde farklı oranlarda MOS katılmasının KOU'ya göre kompozitlerin yoğunluğunu artırdığı gözlenmiştir. Bunun nedeni olarak MOS yoğunluğunun (0.98 g/cm³) KOU ve PP yoğunluğuna (0,53 gr/cm³) göre daha yüksek olması söylenebilir. Bu durum bir kompozitin özellikleri, kendisini meydana getiren bileşenlerin miktarı ve özellikleri ile yakından ilişkili olması (karışım kuralı) ile açıklanabilir. Aynı zamanda polimer içerisindeki dolgu maddelerinin miktarı arttıkça kompozit malzemenin yoğunluklarında artış olacağı literatürde belirtilmiştir (Clemons, 2002; Klyosov, 2007; Çavdar, 2011; Mengeloğlu ve Karakuş, 2012, Mengeloğlu ve ark., 2015; Kaymakçı, 2015; Karakuş ve Mengeloğlu, 2016). Ek olarak üretimde kullanılan ve hidrofobik yapıdaki PP ile hidrofilik yapıdaki LDM arasındaki bağlanmayı uyumlu hale getirmek için kullanılan MAPP'ın yoğunluk değerinde belirli artışlara neden olduğu çeşitli araştırmacılar tarafından ortaya konulmuştur (Ndiaye ve Tidjani 2012; Kaymakçı, 2015).

4.3.1.2. Su alma oranı

LDMO ve MOSO'nun üretilen deney numunelerinin suda bekletme sonucu su alma oranına etkileri belirlenmiştir. Bu nedenle üretilen deney numunelerinin ilk ölçümleri yapıldıktan sonra, 2 saat, 6 saat, 1 gün, 1 hafta, 1 ay, 2 ay, 3 ay ve 4 ay süreyle destile su içerisinde tutularak periyodik olarak ölçülmüştür.

LDMO ve MOSO'nun deney numunelerinin su alma oranlarına etkisi Şekil 4.36'da gösterilmiştir.



Şekil 4.36. LDMO ve MOSO'nun deney numunelerinin su alma oranlarına etkisi.

Şekil 4.36 incelendiğinde en düşük 2 saatlik su alma yüzdesi LDM katılmamış PP'de (%0,09) tespit edilirken, en yüksek 2 saatlik su alma yüzdesi (%0,25) olarak %20 oranında KOU katılmış deney numunelerinden elde edilmiştir. LDMO %20 olarak katılan deney numunelerinin 2 saatlik su alma yüzdesi ise (%0,16) olarak tespit edilmiştir. Dolgu maddesi olarak %10 ve 20 oranında MOS kullanılmış deney numunelerinde ise 2 saatlik su alma yüzdesi sırasıyla (%0,12 ve %25) olarak tespit edilmiştir.

Deney numunelerinin en düşük 1 günlük su alma yüzdesi %10 MOS dolgu maddesi katılmış PP'de (%0,26) tespit edilirken, en yüksek 1 günlük su alma yüzdesi (%1,01) olarak %20 oranında KOU katılmış deney numunelerinden elde edilmiştir. LDMO %10 oranında katılan deney numunelerinin 1 günlük su alma yüzdesi ise (%0,98) olarak tespit edilmiştir. Dolgu maddesi olarak %10 ve 20 oranında MOS kullanılmış deney numunelerinde ise 1 günlük su alma yüzdesi sırasıyla (%0,26 ve %72) olarak tespit edilmiştir.

Deney numunelerinin en düşük 1 haftalık su alma yüzdesi %10 MOS dolgu maddesi katılmış PP'de (%0,62) tespit edilirken, en yüksek 1 haftalık su alma yüzdesi (%2,39) olarak %20 oranında KOU katılmış deney numunelerinden elde edilmiştir. LDMO %10 oranında katılan deney numunelerinin 1 haftalık su alma yüzdesi ise (%2,21) olarak tespit edilmiştir. Dolgu maddesi olarak %10 ve 20 oranında MOS kullanılmış deney numunelerinde ise 1 haftalık su alma yüzdesi sırasıyla (%0,62 ve %1,84) olarak tespit edilmiştir.

Deney numunelerinin en düşük 1 aylık su alma yüzdesi %10 MOS dolgu maddesi katılmış PP'de (%1,02) tespit edilirken, en yüksek 1 aylık su alma yüzdesi (%2,61) olarak %20 oranında KOU katılmış deney numunelerinden elde edilmiştir. LDMO %10 oranında katılan deney numunelerinin 1 aylık su alma yüzdesi ise (%2,50) olarak tespit edilmiştir. Dolgu maddesi olarak %10 ve 20 oranında MOS kullanılmış deney numunelerinde ise 1 aylık su alma yüzdesi sırasıyla (%1,02 ve %2,07) olarak tespit edilmiştir.

Deney numunelerinin en düşük 4 aylık su alma yüzdesi %10 MOS dolgu maddesi katılmış PP'de (%1,14) tespit edilirken, en yüksek 4 aylık su alma yüzdesi (%2,67) olarak %20 oranında KOU katılmış deney numunelerinden elde edilmiştir. LDMO %10 oranında katılan deney numunelerinin 4 aylık su alma yüzdesi ise (%2,52) olarak tespit edilmiştir. Dolgu maddesi olarak %10 ve 20 oranında MOS kullanılmış deney numunelerinde ise 4 aylık su alma yüzdesi sırasıyla (%1,14 ve %2,09) olarak tespit edilmiştir.

Deney numunelerinin su alma oranında LDMO ve MOSO'nın etkili olduğu görülmektedir. LDMO arttıkça su alma oranının arttığı tespit edilmiştir. Bu durum daha önceki çalışmalarla benzerlik göstermektedir (Stokke ve Gardner, 2003; H'ng Paik San ve ark., 2008; Çavdar, 2008; Avcı, 2012; Kaymakçı, 2015). Lignoselülozik malzemeler bünyelerinde hidroksil grupları bulundurduğundan dolayı hidrofiliktir. Ancak deney numunelerinin bünyesinde bulunan ve hidrofobik özelliğe sahip plastikler su alma oranını ağaç malzeme veya lignoselülozik malzemelere göre düşürmektedir (Wang ve Morrell, 2004, Najafi ve ark.,2008; Kylosov, 2007). LDM kullanım oranı arttıkça deney numunelerinin su alma yüzdesinin arttığı ve kullanım oranının azalmasına paralel olarak azaldığı tespit edilmiştir. Elde edilen sonuçlar bu anlamda literatüre uygundur. Yapılan çalışmalarda plastik matris içerisindeki LDM'nin artışına paralel olarak deney numunelerinin su alma oranında artış olduğunu ve bu artışında LDM'nin hidrofilik yapısına bağlı olduğunu belirtmişlerdir (Stark ve Rowlands, 2003; George ve ark., 2001; Kord, 2011; Avcı 2012; Kaymakçı, 2015). Ancak polimer içerisine %10 oranında MOS katılımı hiçbir dolgu

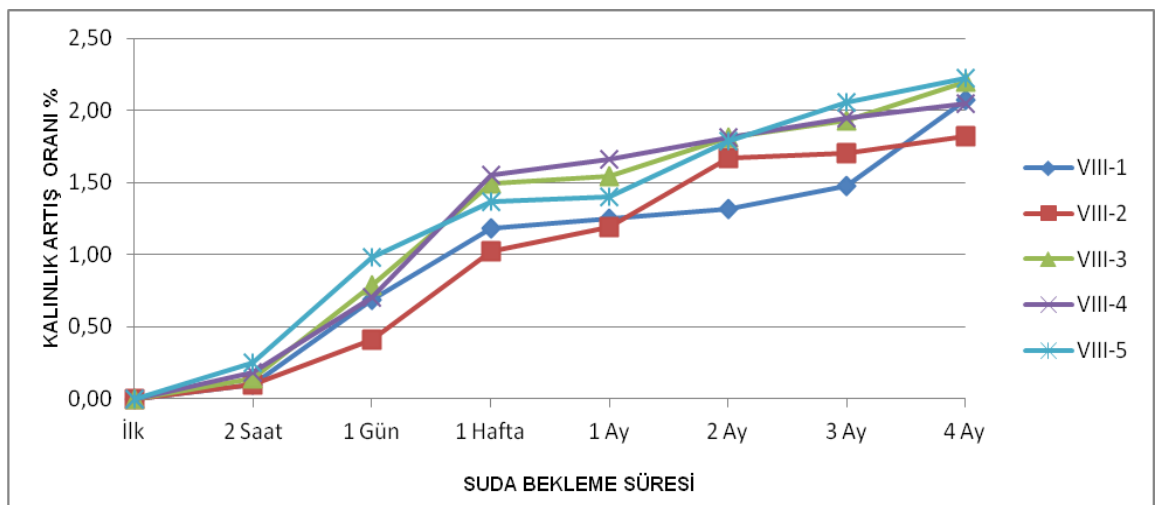
maddesi katılmamış PP'ye göre su alma özelliklerini iyileştirdiği ancak bu miktarın %20 seviyelerine çıkarıldığında su alma oranını arttırdığı ancak bu oranın KOU ile karşılaştırıldığında daha düşük olduğu tespit edilmiştir. Bu durum sıcaklık, lif oranı, liflerin yönlendirilmesi, yüzey koruması, maruz kalan yüzeylerin alanı, boşluk içeriği, bireysel bileşenlerin hidrofilik yapısına bağlı olması ile açıklanabilir (Wichman ve ark., 1993).

4.3.1.3. Kalınlığa artış oranı

LDMO ve MOSO'nun üretilen deney numunelerinin suda bekletme sonucu kalınlığa artış oranları belirlenmiştir. Bu nedenle üretilen deney numunelerinin ilk ölçümleri yapıldıktan sonra, 2 saat, 6 saat, 1 gün, 1 hafta, 1 ay, 2 ay, 3 ay ve 4 ay süreyle destile su içerisinde tutularak periyodik olarak ölçümleri yapılmıştır.

Şekil 4.37 incelendiğinde en düşük 2 saatlik kalınlıkça artma yüzdesi LDM katılmamış ve %10 MOS katılmış PP'de (%0,10) olarak tespit edilirken, en yüksek 2 saatlik kalınlıkça artma yüzdesi (%0,25) olarak %20 oranında KOU katılmış deney numunelerinden elde edilmiştir. LDMO %10 oranında katılan deney numunelerinin 2 saatlik kalınlıkça artma yüzdesi ise (%0,14) olarak tespit edilmiştir. Dolgu maddesi olarak %10 ve 20 oranında MOS kullanılmış deney numunelerinde ise 2 saatlik kalınlıkça artma yüzdesi sırasıyla (%0,10 ve %0,18) olarak tespit edilmiştir.

LDMO ve MOSO'nun deney numunelerinin kalınlıkça artma yüzdesine etkisi Şekil 4.37'de gösterilmiştir.



Şekil 4.37. LDMO ve MOS ile MOSK'nın deney numunelerinin kalınlıkça artma oranlarına etkisi.

Deney numunelerinin en düşük 1 günlük kalınlıkça artma yüzdesi %10 MOS dolgu maddesi katılmış PP'de (%0,41) tespit edilirken, en yüksek 1 günlük kalınlıkça artma yüzdesi (%0,98) olarak %20 oranında KOU katılmış deney numunelerinden elde edilmiştir. LDMO %10 olarak katılan deney numunelerinin 1 günlük kalınlıkça artma yüzdesi ise (%0,79) olarak tespit edilmiştir. Dolgu maddesi olarak %10 ve 20 oranında MOS kullanılmış deney numunelerinde ise 1 günlük kalınlıkça artma yüzdesi sırasıyla (%0,41 ve %70) olarak tespit edilmiştir.

Deney numunelerinin en düşük 1 haftalık kalınlıkça artma yüzdesi %10 MOS dolgu maddesi katılmış PP'de (%1,02) tespit edilirken, en yüksek 1 haftalık kalınlıkça artma yüzdesi (%1,55) olarak %20 oranında MOS katılmış deney numunelerinden elde edilmiştir. LDMO %10 VE 20 oranında katılan deney numunelerinin 1 haftalık kalınlıkça artma yüzdesi ise sırasıyla (%1,54 ve %1,40) olarak tespit edilmiştir. Dolgu maddesi olarak %10 oranında MOS kullanılmış deney numunelerinde ise 1 haftalık kalınlıkça artma yüzdesi sırasıyla (%1,67) olarak tespit edilmiştir.

Deney numunelerinin en düşük 1 aylık kalınlıkça artma yüzdesi dolgu maddesi katılmamış PP'de (%1,32) tespit edilirken, en yüksek 1 aylık kalınlıkça artma yüzdesi (%1,81) olarak %20 oranında MOS ve KOU katılmış deney numunelerinden elde edilmiştir. LDMO %20 olarak katılan deney numunelerinin 1 aylık kalınlıkça artma yüzdesi ise (%1,79) olarak tespit edilmiştir. Dolgu maddesi olarak %10 oranında MOS kullanılmış deney numunelerinde ise 1 aylık kalınlıkça artma yüzdesi (%1,67) olarak tespit edilmiştir.

Deney numunelerinin en düşük 4 aylık kalınlıkça artma yüzdesi dolgu maddesi katılmamış PP'de (%1,53) tespit edilirken, en yüksek 4 aylık kalınlıkça artma yüzdesi (%2,22) olarak %20 oranında KOU katılmış deney numunelerinden elde edilmiştir. LDMO %10 oranında katılan deney numunelerinin 4 aylık kalınlıkça artma yüzdesi ise (%2,20) olarak tespit edilmiştir. Dolgu maddesi olarak %10 ve 20 oranında MOS kullanılmış deney numunelerinde ise 4 aylık kalınlıkça artma yüzdesi sırasıyla (%1,82 ve %2,05) olarak tespit edilmiştir. Deney numunelerinin kalınlıkça artma oranında LDMO ve MOSO'nın etkili olduğu görülmektedir. LDMO arttıkça kalınlıkça artma oranının arttığı tespit edilmiştir. Bu durum daha önceki çalışmalarla benzerlik göstermektedir (Stokke ve Gardner, 2003; H'ng Paik San ve ark., 2008; çavdar, 2008; Avcı, 2012; Kaymakçı, 2015).

Deney numunelerinin kalınlıkça artma oranında LDMO'nın önemli bir şekilde etkili olduğu görülmektedir. LDMO'nın artmasına paralel olarak deney numunelerinin kalınlıkça artma oranının arttığı tespit edilmiştir. Suda bekletme süresi arttıkça tüm deney numunelerinde kalınlıkça artma oranı su alma oranına paralel bir şekilde arttığı gözlenmiştir. LDMO kalınlıkça artma oranı üzerinde etkili olduğu tespit edilmiştir. Yoğunluğu yüksek malzemelerin su alma ve kalınlıkça artma oranları düşük oranda yoğunluğu düşük malzemelerde ise bu oran daha yüksektir (Kylosov, 2007). Bu durum daha önceki çalışmalarla benzerlik göstermektedir (Çavdar, 2011; Avcı, 2012; Esnaashari ve ark., 2012; Kaymakçı ve Ayrılmış, 2014; Kaymakçı, 2014; Mengeloğlu ve ark., 2015). Hidrofilik malzemelerde bünyesine su alıp verme özelliklerinden dolayı kalınlıkça artma oranı hidrofobik malzemelere göre yüksek olması ile açıklanabilir. LDM kullanım oranı arttıkça deney numunelerinin kalınlıkça artma yüzdesinin arttığı ve kullanım oranının azalmasına paralel olarak azaldığı tespit edilmiştir. Yapılan çalışmalarda plastik matris içerisindeki LDM'nin artışına paralel olarak deney numunelerinin kalınlıkça artma oranında artış olduğunu ve bu artışında LDM'nin hidrofilik yapısına bağlı olduğunu belirtilmiştir (Stark ve Rowlands, 2003; Avcı 2012; Kaymakçı, 2015). Su alma oranında olduğu gibi, LDMO ve MOSO'nın kalınlıkça artma oranı üzerinde etkili olduğu belirlenmiştir.

4.3.2. Mekanik özellikler

4.3.2.1. Eğilme direnci

LDMO ve MOSO'nın üretilen deney numunelerinin eğilme dirençleri belirlenmiştir. Eğilme direncinin tespiti için her parametre için 5'er adet deney numunesi kullanılmıştır. Deney numunelerinden elde edilen eğilme direnci ortalama ve standart sapma değerleri Çizelge 4.45'te gösterilmiştir.

Çizelge 4.45. Deney numune gruplarına ait eğilme direnci ortalama ve standart sapma değerleri

ÜK***	III-1	III-2	III-3	III-4	III-5
E.D. (MPa)	37,878*	39,846	37,712	53,712	42,01
S.S.	(1,27)**	(0,34)	(0,79)	(0,33)	(0,83)

* ortalama değer, **standart sapma, Ü.K: üretim kodu *** her gruptan 5 adet deney numunesi test edilmiştir.

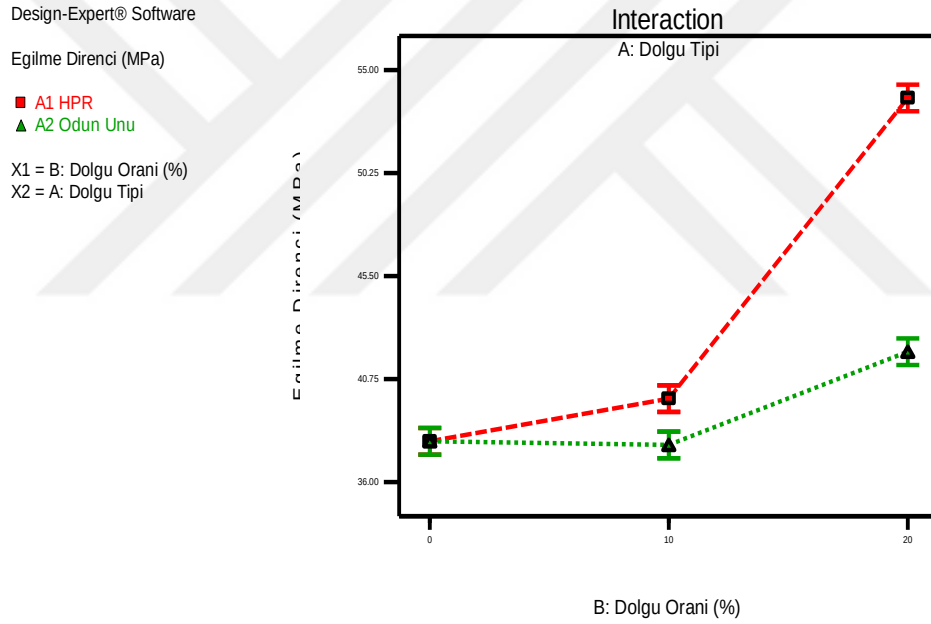
Dolgu maddesi türü ve kullanım oranının deney numunelerinin eğilme direnci değerleri üzerine etkilerinin önem düzeyini belirlemek amacıyla ANOVA testi uygulanmış ve elde edilen değerler Çizelge 4.46'da gösterilmiştir. Çizelge 4.46 incelendiğinde dolgu

maddesi türü ve oranının eğilme direnci değerleri üzerine istatistiksel olarak önemli düzeyde etkili olduğu belirlenmiştir ($P < 0.0001$).

Çizelge 4.46. Dolgu maddesi türü ve kullanım oranının deney numunelerinin eğilme direnci değerleri üzerine etkisine ait ANOVA sonuçları.

Test	Kaynak	Kareler Top.	DF	Kareler Ort.	F	p-value Prob > F
Eğilme direnci	Model	963,58	5	192,72	217,48	< 0,0001significant
	A-Dolgu Tipi	159,53	1	159,53	180,03	< 0,0001
	B-Dolgu Orani (%)	609,85	2	304,92	344,11	< 0,0001
	AB	194,30	2	97,10	109,58	< 0,0001
	Pure Error	21,27	24	0,89		
	Cor Total	984,84	29			

LDMO ve MOSO'nun üretilen deney numunelerinin eğilme direncine etkileri Şekil 4.38'de gösterilmiştir.



Şekil 4.38. Deney numunelerinin eğilme direnci değerleri.

Deney numunelerinin eğilme dirençleri 37,712 ile 53,712 MPa aralığında tespit edilmiştir. Eğilme direnci değerleri incelendiğinde MOS ve KOU'nun kompozitlerin eğilme direnci üzerine etkili olduğu görülmüştür. Çizelge 4.46 incelendiğinde OPK içerisine %10 oranında KOU katılması ile birlikte eğilme direncinde çok küçük bir oranda düşme olduğu ve aynı oranda MOS katılımı ile bu oranda artış olduğu görülmüştür. Bununla birlikte MOS katılım oranının %20 olması ile eğilme direnç değerlerinde %41 oranında bir artış ve KOU katılım oranının %20 olması ile eğilme direnç değerlerinde %27 oranında bir artış meydana gelmiştir. En düşük eğilme direnci değeri %84PP+10KOU

deney numunelerinde (37,712 MPa) ve en yüksek eğilme direnci %74PP+20MOS deney numunelerinden (53,712 MPa) elde edilmiştir. Deney numunelerinin içerisindeki LDMO ve MOSO'nun artmasına paralel olarak kompozit gruplarının eğilme direnci değerinde artışlar (Mengeloğlu ve Karakuş, 2008; Mengeloğlu ve ark., 2015) meydana geldiği görülmektedir. Dolgu maddesi olarak %10 ve 20 oranında KOU katılımı ile deney numunelerinin eğilme direnci değerlerinde artışlar meydana geldiği ancak bu artış miktarının MOS'a göre daha düşük olduğu tespit edilmiştir. Bu durum dolgu maddesinin direnç özelliklerinin yüksek olması ve kimyasal özelliklerinin daha iyi olmasından kaynaklanabilir. Dolgu maddelerinin kompozit yapı içerisinde katılım oranının artmasına paralel olarak polimer malzeme katılım oranı azalmakta ve bu durum eğilme direncinde düşüşe neden olabileceği literatürde belirtilmiştir (Mengeloğlu ve Karakuş, 2008). Hidrofil karakterde olan LDM ile hidrofobik karakterde olan plastik arasındaki zayıf bağlanma, LDM'nin kompozit yapı içerisinde homojen dağılmaması bölgesel yığılmalara neden olabileceği literatürde belirtilmiştir (Douglas, 2001; Mishra ve Naik, 2005; Mengeloğlu ve Karakuş, 2008; Kord, 2011; Karakuş, 2015).

4.3.2.2. Elastikiyet modülü

LDMO ve MOSO'nun üretilen deney numunelerinin eğilmede elastikiyet modülü belirlenmiştir. Eğilmede elastikiyet modülü tespiti için eğilme direncinin belirlenmesinde kullanılan deney numuneleri kullanılmıştır. Deney numunelerinden elde edilen eğilmede elastikiyet modülü ortalama ve standart sapma değerleri Çizelge 4.47'de gösterilmiştir.

Çizelge 4.47. Deney numune gruplarına ait eğilmede elastikiyet modülü ortalama ve standart sapma değerleri.

ÜK***	III-1	III-2	III-3	III-4	III-5
E.E.D. (MPa)	1108,79	1274,24	1246,95	2115,95	1553,00
S.S.	(50,60)	(43,76)	(32,31)	(15,53)	(46,48)

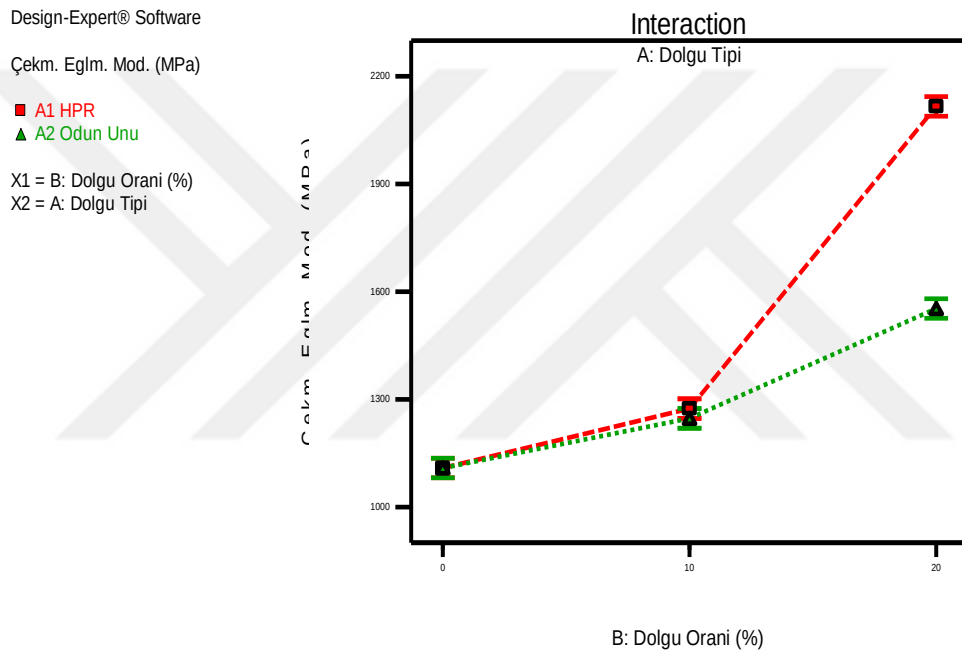
* ortalama değer, **standart sapma, Ü.K: üretim kodu *** her gruptan 5 adet deney numunesi test edilmiştir.

Dolgu maddesi türü ve kullanım oranının deney numunelerinin eğilmede elastikiyet modülü değerleri üzerine etkilerinin önem düzeyini belirlemek amacıyla ANOVA testi uygulanmış ve elde edilen değerler Çizelge 4.48'de gösterilmiştir. Çizelge 4.48 incelendiğinde dolgu maddesi türü ve oranının eğilmede elastikiyet modülü değerleri üzerine istatistiksel olarak önemli düzeyde etkili olduğu belirlenmiştir ($P < 0.0001$).

Çizelge 4.48. Dolgu maddesi türü ve kullanım oranının deney numunelerinin eğilmede elastikiyet modülü değerleri üzerine etkisine ait ANOVA sonuçları.

Test	Kaynak	Kareler Top.	DF	Kareler Ort.	F	p-value Prob > F
Eğilmede elastikiyet modülü	Model	3.724E+006	5	7,448E+005	426,36	<0,0001 significant
	A-Dolgu Tipi	2,903E+005	1	2,903E+005	166,19	< 0,0001
	B-Dolgu Oranı (%)	2,930E+006	2	1,465E+006	838,61	< 0,0001
	AB	5.038E+005	2	2,519E+005	144,30	< 0,0001
	Pure Error	41927,39	24	1746,97		
	Cor Total	3,766E+006	29			

Deney numunelerin üretiminde LDMO ve MOSO'nun eğilmede elastikiyet modülüne etkisi Şekil 4.39'da gösterilmiştir.



Şekil 4.39. Deney numunelerinin eğilmede elastikiyet modülü değerleri.

Deney numunelerinin üretiminde MOS dolgu maddesinin katılımı ile eğilmede elastikiyet modülü değerleri 1108 ile 2115 MPa olarak tespit edilmiştir. En düşük eğilmede elastikiyet modülü değeri kontrol numunelerinde tespit edilirken, en yüksek eğilme direnci %74PP+20MOS deney numunelerinden elde edilmiştir. Eğilmede elastikiyet modülü değerlerinde dolgu maddesi tipi ve oranına göre bağlı olarak artış meydana geldiği tespit edilmiştir. MOS katılım oranının %20 çıktığında saf polimere göre eğilmede elastikiyet değerlerinde %90 oranında bir artış meydana gelmiştir. Bu durum KOU ile karşılaştırıldığında KOU katılım oranının %20 çıktığında saf polimere göre eğilmede elastikiyet değerlerinde %40 oranında tespit edilmiştir. Lignoselülozik dolgu maddelerinin termoplastiklere göre daha yüksek elastikiyet modülüne sahip olduğu, LDMO

nın artışına paralel olarak eğilmede elastikiyet modülü değerlerinde artışlar meydana geldiği ve lignoselülozik dolgu maddelerinin termoplastiklere göre daha yüksek elastikiyet modülüne sahip oldukları yapılan çalışmalarda tespit edilmiştir (Bouafif, 2009; Chaharmahali ve ark., 2010; Çavdar, 2011; Ayrılmış ve Kaymakçı, 2013). Bu anlamda elastikiyet modülünde meydana gelen artışın literatüre uygun olduğu söylenebilir.

4.3.2.3. Çekme direnci

Farklı oranlarda MOS ve LDM kullanılarak üretilen deney numunelerinin çekme dirençleri belirlenmiştir. Çekme direncinin tespiti için her parametre için 5'er adet deney numunesi kullanılmıştır. Çekme direnci ortalama ve standart sapma değerleri Çizelge 4.49'da gösterilmiştir.

Çizelge 4.49. Deney numune gruplarına ait çekme direnci ortalama ve standart sapma değerleri.

ÜK***	III-1	III-2	III-3	III-4	III-5
Ç.D. (MPa)	29,29*	29,61	25,85	35,17	24,77
S.S.	(0,17)**	(0,25)	(0,13)	(0,22)	(0,77)

*ortalama değer, **standart sapma, Ü.K: üretim kodu *** her gruptan 5 adet deney numunesi test edilmiştir.

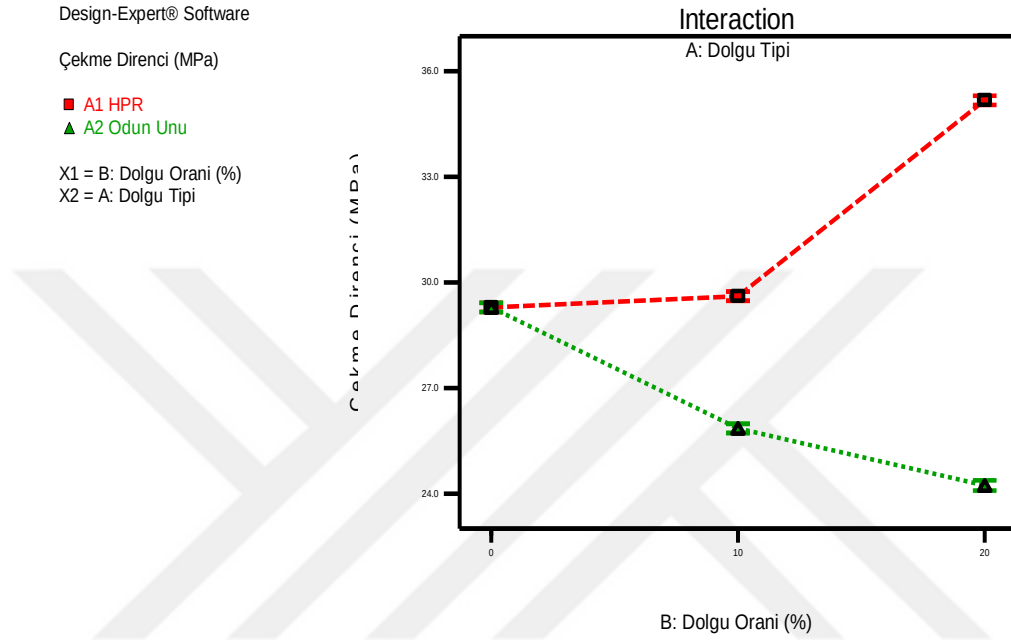
Dolgu maddesi türü ve kullanım oranının deney numunelerinin çekme direnci değerleri üzerine etkilerinin önem düzeyini belirlemek amacıyla ANOVA testi uygulanmış ve elde edilen değerler Çizelge 4.50'de gösterilmiştir. Çizelge 4.50 incelendiğinde dolgu maddesi türü ve oranının çekme direnci değerleri üzerine istatistiksel olarak önemli düzeyde etkili olduğu belirlenmiştir ($P < 0.0001$).

Çizelge 4.50. Dolgu maddesi türü ve kullanım oranının deney numunelerinin çekme direnci değerleri üzerine etkisine ait ANOVA sonuçları.

Test	Kaynak	Kareler Top.	DF	Kareler Ort.	F	p-value Prob > F
Çekme direnci	Model	309.17	5	61,83	1675,42	< 0,0001significant
	A-Dolgu Tipi	129,99	1	129,99	3522,25	< 0,0001
	B-Dolgu Oranı (%)	35,08	2	17,54	475,23	< 0,0001
	AB	129.59	2	64,79	1755,63	< 0,0001
	Pure Error	0,81	22	0,037		
	Cor Total	309,98	27			

Farklı oranlarda MOS ve LDM kullanılarak üretilen deney numunelerinin çekme direnci özelliklerine etkileri Şekil 4.40'ta gösterilmiştir. Deney numunelerinin üretimi için MOS ve KOU katılımında, çekme direnci, değerleri 24,77 ile 35,17 MPa aralığında tespit edilmiştir. OPK içerisinde MOS oranının çekme direncini önemli düzeyde etkilediği görülmüştür. MOS katılım oranı %10 oranında olduğunda çekme direncinde önemli bir

değişiklik olmamasına rağmen bu oran %20 oranına çıktığında çekme direncini saf plastiğe göre %20 oranında arttırdığı tespit edilmiştir. Bu durum KOU ile karşılaştırıldığında KOU katılım oranının %20 çıktığında saf polimere göre çekme direnci değerlerinde %18 oranında azalttığı tespit edilmiştir.



Şekil 4.40. Deney numunelerinin çekme direnci değerleri.

En yüksek çekme direnci değerleri %74PP+20MOS deney numunelerinden elde edilirken en düşük değerler ise %74PP+20KOU ve %84PP+10KOU deney numunelerinden elde edilmiştir. Çekme direnci değerleri incelendiğinde polimer kompozitler içerisindeki LDMO arttıkça bu direncin arttığı; buna karşın MOS katılımı ile çekme direncinde önemli bir şekilde artışa olmasına sebep olduğu tespit edilmiştir. Benzer sonuçlar farklı dolgu maddeleri ile yapılan çalışmalarda da rapor edilmiştir (Mengeloğlu ve ark. 2007; Çetin ve ark., 2014; Mengeloğlu ve ark. 2015). Çekme direnci üzerinde dolgu maddesi tipi ve oranının etkili olduğu gözlenmiştir. Bunun nedeni olarak polimer ile MOS arasındaki bağlanmanın KOU'ya göre daha fazla olmasından kaynaklanabileceği düşünülmüştür. Lignoselülozik dolgu maddelerinin polimer matris içerisinde oranı arttıkça eğilme ve çekme direncinde düşüşler olabileceği literatürde belirtilmiştir (Mengeloğlu ve Karakuş, 2008; Chaharmahali ve ark., 2010). Önceki çalışmalarda çekme direncindeki düşüşün polimer ile LDM arasındaki uyumsuzluktan kaynaklanan adezyon problemi, lignoselülozik malzemelerin çekme dirençlerinin polimere göre düşük olması ve kompozit yapı

içerisindeki polimer oranının azalması gibi sebeplerden kaynaklanabileceği belirtilmiştir (Rowell ve ark., 1997; Drouglas, 2001; Mengeloğlu ve Karakuş, 2008; Kord, 2011).

Çekmede elastikiyet modülü

LDM ve MOS kullanılarak üretilen deney numunelerinin çekmede elastikiyet modülü dirençleri belirlenmiştir. çekmede elastikiyet modülü tespiti için çekme direncinin belirlenmesinde kullanılan deney numuneleri kullanılmıştır. Çekmede elastikiyet modülü ortalama ve standart sapma değerleri Çizelge 4.51’de gösterilmiştir.

Çizelge 4.51. Deney numune gruplarına ait çekmede elastikiyet modülü ortalama ve standart sapma değerleri.

ÜK***	III-1	III-2	III-3	III-4	III-5
Ç.E.M. (MPa)	469,80 *	511,16	478,51	645,40	522,52
S.S.	(27,29) **	(24,00)	(50,81)	(23,72)	(59,50)

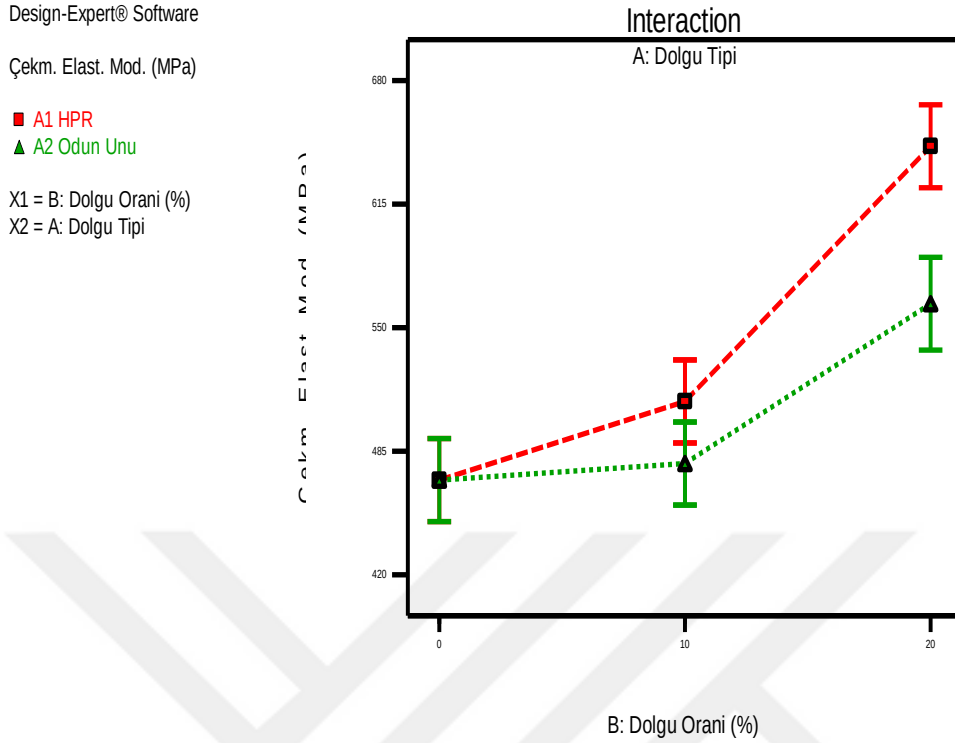
*ortalama değer, **standart sapma, Ü.K: üretim kodu *** her gruptan 5 adet deney numunesi test edilmiştir.

Dolgu maddesi türü ve kullanım oranının deney numunelerinin çekmede elastikiyet modülü değerleri üzerine etkilerinin önem düzeyini belirlemek amacıyla ANOVA testi uygulanmış ve elde edilen değerler Çizelge 4.52’de gösterilmiştir. Çizelge 4.52 incelendiğinde dolgu maddesi oranının çekmede elastikiyet modülü değerleri üzerine istatistiksel olarak önemli düzeyde etkili olduğu belirlenmiştir ($P < 0.0001$).

Çizelge 4.52. Dolgu maddesi türü ve kullanım oranının deney numunelerinin çekmede elastikiyet modülü değerleri etkisine ait ANOVA sonuçları.

Test	Kaynak	Kareler Top.	DF	Kareler Ort.	F	p-value Prob > F
Çekmede elastikiyet modülü	Model	1.183E+005	5	23653,70	22,76	< 0,0001significant
	A-Dolgu Tipi	8164,35	1	8164,35	7,85	0,0104
	B-Dolgu Oranı (%)	95153,94	2	47576,97	45,77	< 0,0001
	AB	7361,44	2	3680,72	3,54	0,0464
	Pure Error	22868,50	22	1039,48		
	Cor Total	1,411E+005	27			
	Cor Total	1,250E+006	27			

LDMO ve MOSO kullanılarak üretilen deney numunelerinin çekmede elastikiyet modülüne etkileri Şekil 4.41’de gösterilmiştir. Çekmede elastikiyet modülü değerleri incelendiğinde LDMO ve MOSO kullanım oranının bu direnç özellikleri üzerinde etkili olduğu ve MOSO’nın artmasıyla birlikte çekmede elastikiyet modülünü olumlu anlamda geliştirdiği gözlenmiştir.



Şekil 4.41. Deney numunelerinin çekmede elastikiyet modülü değerleri.

En yüksek çekmede elastikiyet modülü %74PP+20MOS ve en düşük ise kontrol deney numunelerinde tespit edilmiştir. Deney numunelerinin üretimi için MOS ve KOU katılımında, çekmede elastikiyet modülü değerleri 469,80 ile 645,40 Mpa aralığında tespit edilmiştir. MOS oranının çekmede elastikiyet modülünde önemli düzeyde etkilediği görülmüştür. MOS katılım oranı %10 oranında olduğunda %6 oranında ve MOS katılım oranı %20 olduğunda ise çekmede elastikiyet modülünde saf plastiğe göre %37 oranında arttırdığı tespit edilmiştir. Bu durum MOS'un elastikiyet modülünün KOU'ya göre daha yüksek olması ile açıklanabilir. Bu durum KOU ile karşılaştırıldığında katılım oranı %10 oranında olduğunda %1,8 oranında ve KOU katılım oranı %20 olduğunda ise çekmede elastikiyet modülünde saf plastiğe göre %11 oranında arttırdığı tespit edilmiştir. Benzer sonuçlar farklı dolgu maddeleri ile üretilen odun kompozit malzemelerde rapor edilmiştir. Dolgu maddesi miktarı arttıkça çekmede elastikiyet modülü değerleri artmıştır. (Li ve Matuana 2003; Wang ve ark., 2003; Qiu ve ark., 2004; Mengeloğlu ve ark., 2007; Yang ve ark., 2007). Bu durum lignoselülozik esaslı dolgu maddelerinin polimer matrisi içerisine katılmasıyla beklenen bir artış olup genelde karışım kuralı ile açıklanmaktadır (Matuana ve ark., 2007; Jennifer ve Xu, 2009). Lignoselülozik dolgu maddelerinin elastikiyet modülü değerleri polimer malzemelere göre daha yüksek olduğu, katılım oranına paralel olarak

elastikiyet modülünde arttırdıkları literatürde belirtilmiştir (Ward ve Hardley 1993; Rowel ve ark., 1997; Matuana ve Balatinecz, 1998; Bouafif, 2009; Zabihzadeh, 2010; Chaharmahali ve ark., 2010).

Kopmada uzama miktarı

Farklı oranlarda LDM ve MOS kullanılarak üretilen deney numunelerinin kopmada uzama miktarı dirençleri belirlenmiştir. Kopmada uzama miktarının tespiti için çekme direncinin belirlenmesinde kullanılan deney numuneleri kullanılmıştır. Kopmada uzama miktarı ortalama ve standart sapma değerleri Çizelge 4.53'te gösterilmiştir.

Çizelge 4.53. Deney numune gruplarına ait kopmada uzama miktarı ortalama ve standart sapma değerleri.

ÜK***	III-1	III-2	III-3	III-4	III-5
K.U.M. (%)	455,23*	28,40	11,27	8,90	7,56
S.S.	(0,35)**	(9,07)	(0,93)	(0,38)	(0,89)

*ortalama değer, **standart sapma, Ü.K: üretim kodu *** her gruptan 5 adet deney numunesi test edilmiştir.

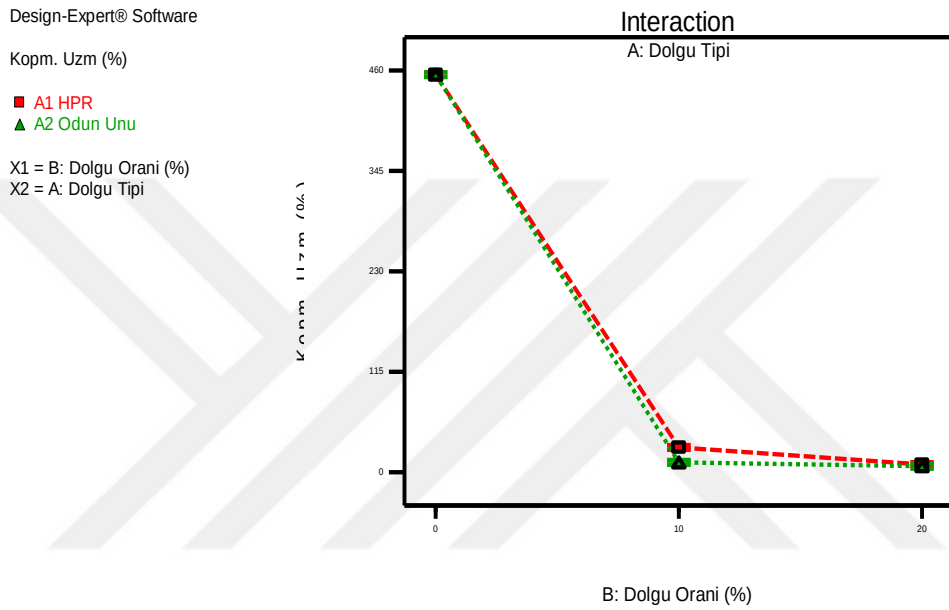
Dolgu maddesi türü ve kullanım oranının deney numunelerinin kopmada uzama miktarı değerleri üzerine etkilerinin önem düzeyini belirlemek amacıyla ANOVA testi uygulanmış ve elde edilen değerler Çizelge 4.54'te gösterilmiştir. Çizelge 4.54 incelendiğinde dolgu maddesi tipi ve oranının kopmada uzama miktarı değerleri üzerine istatistiksel olarak önemli düzeyde etkili olduğu belirlenmiştir ($P < 0.0001$).

Çizelge 4.54. Dolgu maddesi türü ve kullanım oranının deney numunelerinin kopmada uzama miktarı değerlerine etkisine ait ANOVA sonuçları.

Test	Kaynak	Kareler Top.	DF	Kareler Ort.	F	p-value Prob > F
Kopmada uzama miktarı	Model	1.249E+006	5	2,499E+005	16454,61	< 0,0001significant
	A-Dolgu Tipi	315,08	1	315,08	20,75	0,0002
	B-Dolgu Oranı (%)	1,247E+006	2	6,234E+005	41057,42	< 0,0001
	AB	426,33	2	213,17	14,04	0,0001
	Pure Error	334,05	22	15,18		
	Cor Total	1,250E+006	27			

Farklı oranlarda LDM ve MOS kullanılarak üretilen deney numunelerinin kopmada uzama miktarı etkileri Şekil 4.42'de gösterilmiştir. Deney numunelerinin üretimi için MOS ve KOU katılımında, kopmada uzama miktarı değerleri %7,56 ile 455,23 aralığında tespit edilmiştir. Kopmada uzama miktarı değerleri incelendiğinde MOS ve KOU kullanım oranının bu direnç özellikleri üzerinde etkili olduğu ve kullanım oranının artmasıyla birlikte kopmada uzama miktarında saf plastiğe göre azalmaya sebep olduğu tespit edilmiştir. En yüksek kopmada uzama miktarı %94PP olan kontrol deney numunelerinde

ve en düşük olarakta %74PP+20KOU deney numunelerinde tespit edilmiştir. MOS ve KOU dolgu maddelerinin OPK'yı daha sert hale getirerek kopmada uzama miktarında azalmaya neden olduğu tespit edilmiştir. Polimer matris içerisine LDM katılım oranına paralel olarak kopmada uzama miktarında düşmelere neden olacağı, LDM katılım oranının artması ile Deney numunelerinin sertlik değerlerini arttırmasından dolayı kopmada uzama miktarında azalmaya neden olacağı belirtilmiştir (Raj ve ark., 1989; Yam ve ark., 1990; Clemons, 2002; Sain ve Panthapulakkal, 2006; Mengeloğlu ve ark., 2015).



Şekil 4.42. Deney numunelerinin kopmada uzama miktarı değerleri.

4.3.2.4. Darbe direnci

Farklı oranlarda LDM ve MOS kullanılarak üretilen deney numunelerinin darbe dirençleri belirlenmiştir. Darbe direncinin tespiti için her parametre için 6 adet deney numunesi kullanılmıştır. Darbe direnci ortalama ve standart sapma değerleri Çizelge 4.55'te gösterilmiştir.

Çizelge 4.55. Deney numune gruplarına ait ortalama darbe direnci değerleri.

ÜK***	III-1	III-2	III-3	III-4	III-5
Darbe (kJ/m ²)	1,93*	2,59	2,36	2,33	2,58
S.S.	(0,30)**	(0,34)	(0,26)	(0,31)	(0,51)

*ortalama değer, **standart sapma, Ü.K: üretim kodu *** her gruptan 6 adet deney numunesi test edilmiştir.

Dolgu maddesi türü ve kullanım oranının deney numunelerinin darbe direnci değerleri üzerine etkilerinin önem düzeyini belirlemek amacıyla ANOVA testi uygulanmış ve elde edilen değerler Çizelge 4.56’da gösterilmiştir.

Çizelge 4.56. Dolgu maddesi türü ve kullanım oranının deney numunelerinin darbe direnci değerleri üzerine etkisine ait ANOVA sonuçları.

Test	Kaynak	Kareler Top.	DF	Kareler Ort.	F	p-value Prob > F
Darbe Direnci	Model	2.29	5	2,499E+005	3,86	<0,0100significant
	A-Dolgu Tipi	1,070E-007	1	1,070E-007	8,993E-007	0,9993
	B-Dolgu Oranı (%)	2,00	2	1,00	8,40	0,0016
	AB	0.29	2	0,15	1,24	0,3074
	Pure Error	2,97	25	0,12		
	Cor Total	5,27	30			

Farklı oranlarda MOS ve LDM kullanılarak üretilen deney numunelerinin darbe direncine etkileri Şekil 4.43’te gösterilmiştir.

Design-Expert® Software

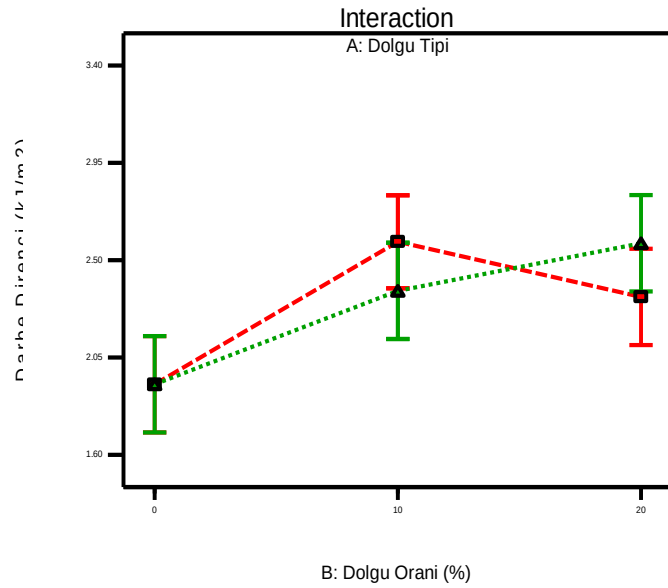
Darbe Direnci (kJ/m²)

■ A1 HPR

▲ A2 Odun Unu

X1 = B: Dolgu Oranı (%)

X2 = A: Dolgu Tipi



Şekil 4.43. Deney numunelerinin darbe direnci değerleri.

Deney numunelerinin üretimi için MOS ve KOU katılımında, darbe direnci değerleri 1,90 ile 2,59 kJ/m² aralığında tespit edilmiştir. Darbe direnci değerleri incelendiğinde MOS ve KOU kullanım oranının bu direnç özellikleri üzerinde etkili olduğu ve kullanım oranının artmasıyla birlikte darbe direnci değerleri saf plastiğe göre artışa sebep olduğu tespit edilmiştir. En yüksek darbe direnci %84PP+10MOS deney numunelerinde ve en düşük olarakta dolgu maddesi katılmamış deney numunelerinde tespit edilmiştir. KOU oranının darbe direnci önemli düzeyde etkilediği görülmüştür. KOU katılım oranı %10 oranında olduğunda %22 oranında ve %20 olduğunda ise darbe

direncinde saf plastiğe göre %33 oranında arttırdığı tespit edilmiştir. Bu durum MOS ile karşılaştırıldığında katılım oranı %10 oranında olduğunda %12 oranında bir azalmaya ve MOS katılım oranı %20 olduğunda darbe direncinde saf plastiğe göre %20 oranında artışta sebep olduğu tespit edilmiştir. Polimer matris içine dolgu maddesi katılmasının deney numunelerinin sertliğini arttırarak daha kırılğan bir hale getirip (Adhikary ve ark., 2000; Clemons, 2002, Morreale ve ark., 2008; Çavdar, 2011; Karakuş ve Mengeloğlu, 2016) darbe direnci değerlerini azalttığı tespit edilmiştir.

4.3.2.5. Sertlik direnci

Farklı oranlarda LDM ve MOS kullanılarak üretilen deney numunelerinin sertlik değerleri (Shore-D) belirlenmiştir. Sertlik direncinin tespiti için çekme, eğilme ve darbe deney numunelerinin her birinden 5'er adet olmak üzere her parametre için 15 adet deney numunesi kullanılmıştır. Sertlik direncine ait ortalama ve standart sapma değerleri Çizelge 4.57'de gösterilmiştir.

Çizelge 4.57. Deney numune gruplarına ait ortalama sertlik değerleri (Shore-D).

ÜK ^{***}	III-1	III-2	III-3	III-4	III-5
Sertlik	64,28*	69,84	67,10	71,78	71,14
S.S.	(1,74)**	(1,09)	(2,44)	(2,61)	(1,01)

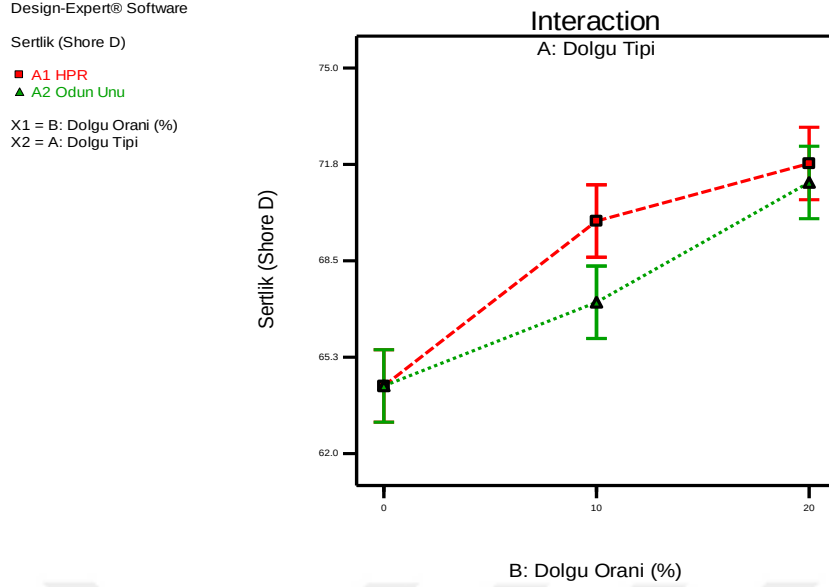
*ortalama değer, **standart sapma, Ü.K: üretim kodu *** her gruptan 5 adet deney numunesi test edilmiştir.

Dolgu maddesi türü ve kullanım oranının deney numunelerinin sertlik direnci değerleri üzerine etkilerinin önem düzeyini belirlemek amacıyla ANOVA testi uygulanmış ve elde edilen değerler Çizelge 4.58'de gösterilmiştir. Çizelge 4.58 incelendiğinde dolgu maddesi oranının sertlik direnci değerleri üzerine istatistiksel olarak önemli düzeyde etkili olduğu belirlenmiştir ($P < 0.0001$).

Çizelge 4.58. Dolgu maddesi türü ve kullanım oranının deney numunelerinin sertlik direnci değerleri üzerine etkisine ait ANOVA sonuçları.

Test	Kaynak	Kareler Top.	DF	Kareler Ort.	F	p-value Prob > F
Sertlik Direnci	Model	279,96	5	55,99	15,98	< 0,0100 significant
	A-Dolgu Tipi	9,52	1	9,52	2,72	0,1123
	B-Dolgu Oranı (%)	260,16	2	130,08	37,14	< 0,0100
	AB	10,27	2	5,14	1,47	0,2507
	Pure Error	84,07	24	3,50		
	Cor Total	364,02	29			

Farklı oranlarda LDM ve MOS kullanılarak üretilen deney numunelerinin sertlik direncine etkileri Şekil 4.44'te gösterilmiştir.



Şekil 4.44. Deney numunelerinin sertlik (Shore-D) değerleri.

MOS ve KOU katılımında, deney numunelerinin en yüksek sertlik direnci değeri (75,00) %20 MOS katılımında tespit edilirken en düşük değer ise dolgu maddesi katılmamış deney numunelerinde (67,14) aralığında tespit edilmiştir. Sertlik değerleri incelendiğinde MOS ve KOU kullanım oranına paralel olarak sertlik değerlerinin de arttığı belirlenmiştir. En yüksek sertlik değerleri %74PP+20MOS olan deney numunelerinde ve en düşük olarakta %94 PP olan kontrol deney numunelerinde tespit edilmiştir. MOS ve KOU dolgu maddelerinin katılım oranına paralel olarak OPK'yı daha sert hale getirerek sertlik direncinde azalmaya neden olduğu tespit edilmiştir. KOU+MOS oranının sertlik direnci önemli düzeyde etkilediği görülmüştür. KOU katılım oranı %10 oranında olduğunda %1,5 oranında bir artışa ve %20 olduğunda ise sertlik direncini saf plastiğe göre %4 oranında arttırdığı tespit edilmiştir. Bu durum MOS ile karşılaştırıldığında katılım oranı %10 oranında olduğunda %2 oranında bir artışa ve katılım oranı %20 olduğunda ise sertlik direncinde saf plastiğe göre %11,7 oranında artışta sebep olduğu tespit edilmiştir. Bu bağlamda elde edilen veriler literatür ile uyumludur (Morreale ve ark., 2008; Avcı, 2012; Mengeloğlu ve Karakuş, 2015; Hosseinihashemi ve ark., 2016).

4.3.2.6. Doğrusal yanma hızı

Farklı oranlarda LDM ve MOS kullanılarak üretilen deney numunelerinin doğrusal yanma hızı (mm/dak.) belirlenmiştir. Doğrusal yanma hızına ait ortalama ve standart sapma değerleri Çizelge 4.59'da gösterilmiştir.

Çizelge 4.59. Deney numune gruplarına ait ortalama doğrusal yanma hızı değerleri (mm\dak.).

ÜK***	III-1	III-2	III-3	III-4	III-5
D.Y.H. (mm\dak)	33,35*	22,25	12,98	10,78	32,63
S.S.	(2,32)**	(0,43)	(0,88)	(0,97)	(2,06)

*ortalama değer, **standart sapma, Ü.K: üretim kodu *** her gruptan 5 adet deney numunesi test edilmiştir.

Dolgu maddesi türü ve kullanım oranının deney numunelerinin doğrusal yanma hızı değerleri üzerine etkilerinin önem düzeyini belirlemek amacıyla ANOVA testi uygulanmış ve elde edilen değerler Çizelge 4.60'ta gösterilmiştir. Çizelge 4.60 incelendiğinde dolgu maddesi türü ve oranının doğrusal yanma hızı değerleri üzerine istatistiksel olarak önemli düzeyde etkili olduğu belirlenmiştir ($P < 0.0001$).

Çizelge 4.60. Dolgu maddesi türü ve kullanım oranının deney numunelerinin doğrusal yanma hızı değerleri üzerine etkisine ait ANOVA sonuçları.

Test	Kaynak	Kareler Top.	DF	Kareler Ort.	F	p-value Prob > F
Yanma hızı	Model	5520,60	5	1104,12	391,00	<0,0100 significant
	A-Dolgu Tipi	267,24	1	267,24	94,64	< 0,0100
	B-Dolgu Oranı (%)	2700,37	2	1350,19	478,13	< 0,0100
	AB	2552,99	2	1276,50	452,04	< 0,0100
	Pure Error	152,49	54	2,82		
	Cor Total	5673,09	59			

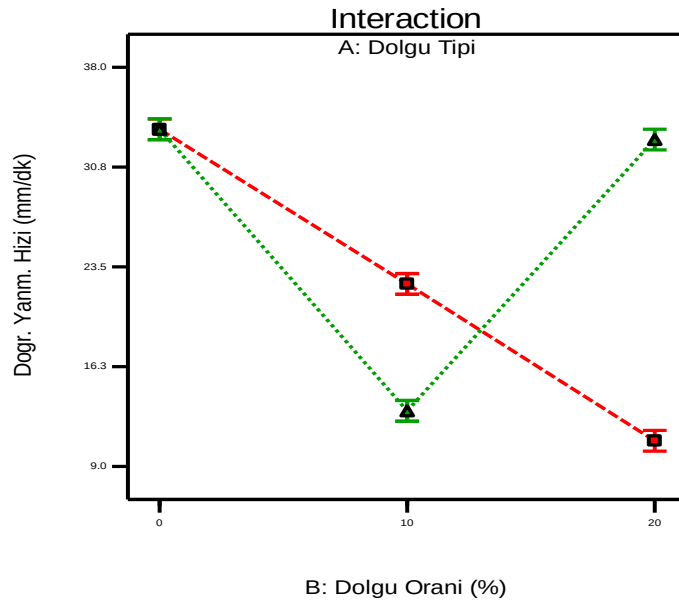
Farklı oranlarda LDM ve MOS kullanılarak üretilen deney numunelerinin doğrusal yanma hızı etkileri Şekil 4.45'de gösterilmiştir.

Design-Expert® Software

Dogr. Yanm. Hızı (mm/dk)

■ A1 HPR
▲ A2 Odun Unu

X1 = B: Dolgu Oranı (%)
X2 = A: Dolgu Tipi



Şekil 4.45. Deney numunelerinin doğrusal yanma hızı değerleri.

Deney numunelerinin üretimi için MOS ve KOU katılımında, doğrusal yanma hızı değerleri 10,78 ile 33,35 (mm/dak) aralığında tespit edilmiştir. Deney numunelerin doğrusal yanma hızının dolgu maddesi türü ve oranına paralel olarak düştüğü tespit edilmiştir. Doğrusal yanma hızı en yüksek değerler %94PP olan kontrol deney numunelerinde en düşük doğrusal yanma hızı değerleri ise %74PP+20MOS ve %84PP+10KOU deney numunelerinde tespit edilmiştir. OPK içerisinde odun unu miktarı arttıkça doğrusal yanma hızının da buna paralel olarak arttığı ve MOS kullanım oranına paralel olarak doğrusal yanma hızının düştüğü tespit edilmiştir. KOU katılım oranı %10 oranında olduğunda doğrusal yanma hızında azalma olduğu tespit edilmiştir. Bu durum MOS ile karşılaştırıldığında katılım oranı %10 ve 20 oranında olduğunda doğrusal yanma hızını saf plastiğe göre azalttığı tespit edilmiştir. Deney numunelerinden elde edilen veriler MOS'un doğrusal yanma hızını düşürdüğü ve OPK içerisinde yangın geciktirici dolgu maddesi olarak kullanılabileceğini ortaya koymuştur. Bu bağlamda elde edilen veriler literatür ile uyumludur (Binhussain ve Tonsy, 2013; Verma ve ark., 2016).

4.3.2.7. Gerilme gevşeme

LDMO ve MOSO ile üretilen deney numunelerinin çekmede gerilme gevşeme direnci belirlenmiştir. Deney numunelerin gerilme gevşeme davranışını belirlemek için deney süresince eksponansiyelliğin bitip yaklaşık lineerliğin doğrunun başladığı noktalar arasındaki fark değerleri alınmıştır. Deney numunelerinden elde edilen gerilme gevşeme direnci ortalama ve standart sapma değerleri Çizelge 4.61'de gösterilmiştir.

Çizelge 4.61. Deney numunelerinden elde edilen gerilme gevşeme direnci ortalama ve standart sapma değerleri.

Ü.K***	F(Δt_1)	F(Δt_2)	F(Δt_3)	F(Δt_4)	F(Δt_5)	F(Δt_6)	ΔF_{ϵ}
	N	N	N	N	N	N	FARK
III-1	598,07* (0,08)**	399,89 (9,50)	377,86 (8,82)	368,62 (12,64)	359,67 (15,63)	348,92 (10,25)	249,15 (10,32)
III-2	597,50 (0,14)	415,67 (6,23)	396,73 (5,98)	383,19 (6,39)	375,62 (3,03)	367,28 (2,78)	230,23 (2,67)
III-3	597,63 (0,10)	405,35 (4,83)	385,86 (6,75)	372,84 (4,79)	362,69 (5,85)	354,64 (5,40)	242,99 (5,46)
III-4	596,70 (0,07)	406,69 (8,89)	394,48 (3,30)	384,33 (4,28)	375,42 (6,43)	364,43 (7,12)	232,27 (7,14)
III-5	597,40 (0,05)	404,42 (11,40)	384,32 (4,42)	381,45 (3,49)	375,04 (5,76)	366,65 (11,84)	230,75 (11,89)

*ortalama değer, **standart sapma, Ü.K: üretim kodu *** her gruptan 5 adet deney numunesi test edilmiştir.

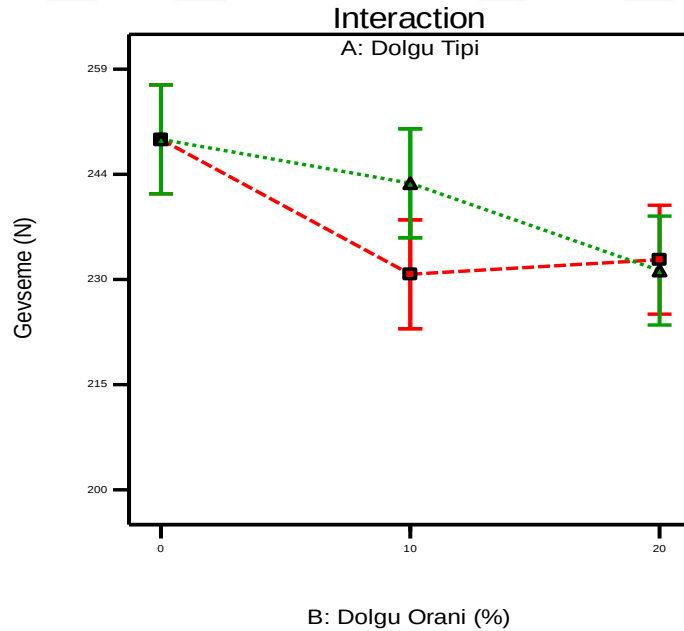
LDMO ve MOSO'nun deney numunelerinin doğrusal gerilme gevşeme değerleri üzerine etkilerinin önem düzeyini belirlemek amacıyla ANOVA testi uygulanmış ve elde edilen değerler Çizelge 4.62'de gösterilmiştir.

Çizelge 4.62. Dolgu maddesi türü ve kullanım oranının deney numunelerinin gerilme gevşeme değerleri üzerine etkisine ait ANOVA sonuçları.

Test	Kaynak	Kareler Top.	DF	Kareler Ort.	F	p-value Prob > F
Gerilme gevşeme	Model	1236,47	5	247,29	3,35	<0,0399 significant
	A-Dolgu Tipi	63,24	1	63,24	0,86	0,3727
	B-Dolgu Oranı (%)	988,622	2	494,33	6,70	0,0111
	AB	184,56	2	92,28	1,25	0,3209
	Pure Error	885,01	12	73,75		
	Cor Total	2121,48	17			

LDMO ve MOSO'nun deney numunelerinin çekmede gerilme gevşeme direncine etkileri Şekil 4.36'da gösterilmiştir. Şekil 4.46 incelendiğinde, deney numunelerin gerilme gevşeme değerlerinin dolgu maddesi türü ve oranın etkili olduğu tespit edilmiştir. Gerilme gevşemedeki ortalama maksimum düşüş değerlerinin 249,15 ile 230,23 N aralığında oldukları tespit edilmiştir.

Design-Expert® Software
 Gevşeme (N)
 ■ A1 HPR
 ▲ A2 Odun Unu
 X1 = B: Dolgu Oranı (%)
 X2 = A: Dolgu Tipi



Şekil 4.46. Deney numunelerinin ortalama gerilme gevşeme değerleri.

Gerilme gevşeme değerlerindeki ortalama en fazla düşme değeri farkı dolgu maddesi katılmamış kontrol deney numunesinde tespit edilmiştir. Deney numunelerinde,

en küçük gerilme gevşeme ortalama düşme değeri değer farkı ise 84PP+10MOS deney numunelerinde belirlenmiştir. Deney numuneleri içerisine LDM katılımı gerilme gevşemedeki düşüşü değerini kontrol numunesi olan saf plastiğe göre arttırdığı ancak bu artışın MOS'a göre daha düşük olduğu belirlenmiştir. Deney numuneleri içerisine %10 ve 20 oranında MOS dolgu maddesi katılımı ile gerilme düşüşü değerini KOU katılımına göre arttırdığı tespit edilmiştir. Gerilme gevşeme değerlerinde dolgu maddesi türü ve oranının gerilme gevşeme değerlerinde önemli bir etkisinin olduğu tespit edilmiştir. LDMO ve MOSO'nun deney numunelerinin gerilme gevşeme değerlerinde etkili olduğu ve katılım oranı arttıkça gerilme gevşeme değerlerini belirgin bir şekilde arttırdığı tespit edilmiştir. Bunun nedeni olarak polimer matris içerisine dolgu maddesi katılımının polimer zincirleri arasındaki bağların koparak birbirleri üzerinden rahatça kayabilmelerini sağladığı düşünülmektedir. Bu bağlamda elde edilen veriler literatür ile uyumludur (Kutty ve Nando, 1991; Bhattacharyya ve ark., 2006; Mirzai ve ark., 2011; Wan ve ark., 2012; Obaid ve ark., 2017).

4.3.3. Odun plastik kompozitlerin termal özellikleri

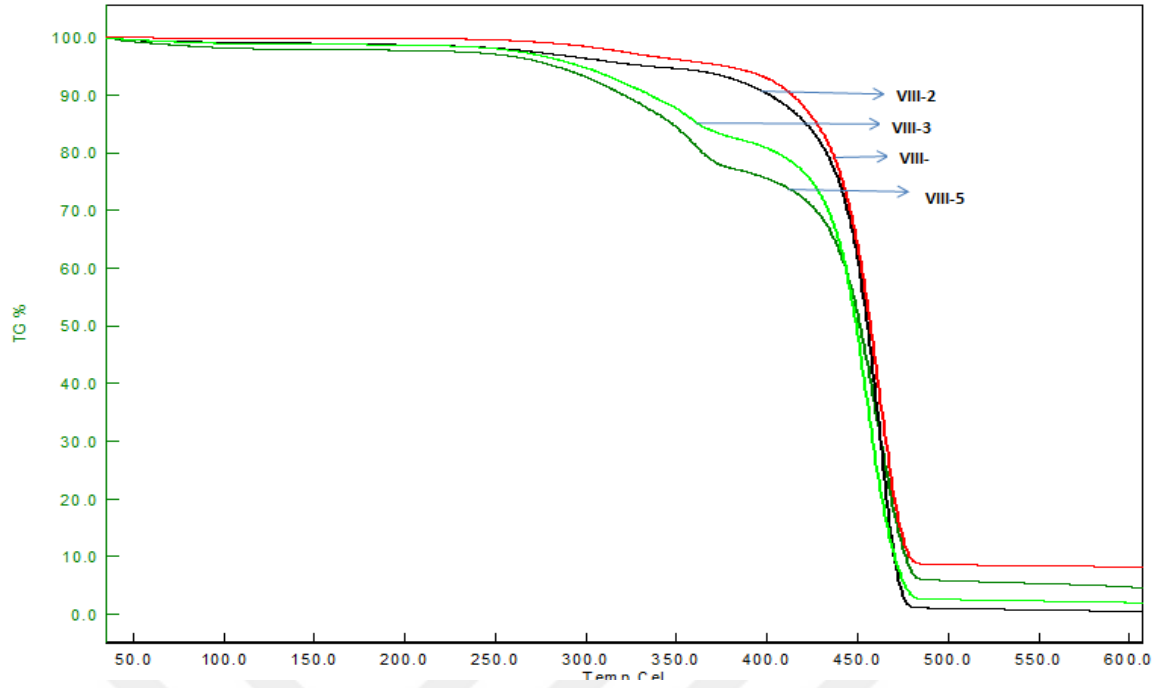
4.3.3.1. Termogravimetrik analiz (TGA)

Bu kısımda III-2, III-3, III-4 ve III-5 üretim kodu ile üretilen deney numunelerinin TGA ve DTGA analizleri yapılmıştır. LDMO ve MOSO'nun üretilen deney numunelerinin termal bozunmaları TGA ile tespit edilmiş ve sonuçlar Çizelge 4.63'te gösterilmiştir.

Çizelge 4.63. Deney numunelerinin termogravimetrik (TGA) analizleri

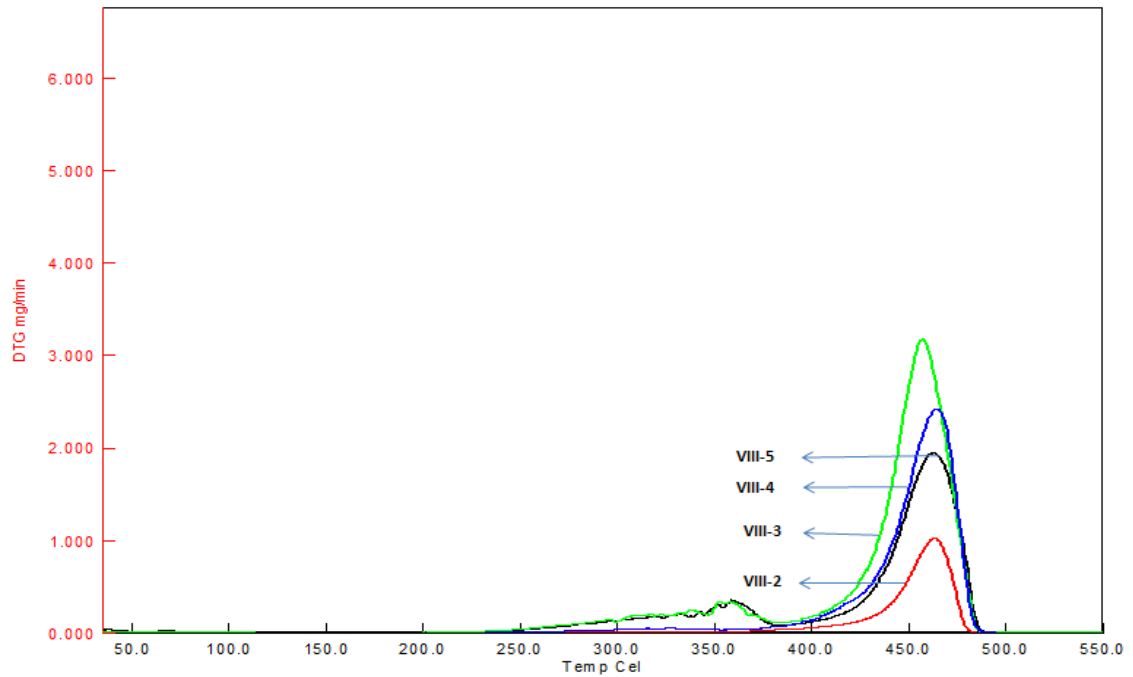
Ü.K	Pik	OnsetTemp. (°C)	Endset Temp. (°C)	Inflection point (°C)	Weight loss (%)	Residue after 520 (°C) (%)
III-2	1. Pik	275,4	532,0	462,3	96,3	0,9
III-3	1. Pik	230,1	380,0	360,0	16,58	2,49
	2. Pik	391,5	525,3	455,3	79,23	
III-4	1. Pik	355,5	524,9	462,8	87,4	8,5
III-5	1. Pik	165,2	375,0	365,0	20,46	5,46
	2. Pik	382,4	539,3	462,2	71,71	

LDMO ve MOSO'nun üretilen deney numunelerinin deney numunelerinin termogravimetrik (TGA) termografları Şekil 4.47'de gösterilmiştir.



Şekil 4.47. Deney numune gruplarına ait termogravimetrik (TGA) termografları.

LDMO ve MOSO'nun üretilen deney numunelerinin termogravimetrik (TGA) termografları Şekil 4.48'de gösterilmiştir.



Şekil 4.48. Deney numunelerinin diferansiyel termogravimetrik Analiz (DTG) termografları.

Şekil 4.48'de görüldüğü gibi L-MFI polipropilen içerisine %10 oranında katılan deney numunelerinde tek aşamada bozunma meydana gelmiştir. Bozunma sıcaklığı 275,4°C'de başlamış ve 532,0°C'de bitmiş ve bu aralıkta %96,3 oranında bozunma

meydana gelmiş ve kalan atık madde miktarı %0,91 olarak belirlenmiştir. L-MFI polipropilen içerisine %10 oranında KOU katılan deney numuneleri 2 aşamada bozunmaya başlamıştır. İlk aşamada bozunma sıcaklığı 230,1 °C’de başlamış ve 380,0°C’de bitmiş ve %16,58 oranında bozunma gözlenmiştir. 2. Aşamada ise bozunma sıcaklığı ise 391,5 ile 525,3°C’de %79,23 oranında bozunma meydana gelmiş ve daha fazla ağırlık kaybı meydana gelmiş ve 520 °C kalıntı miktarı %2,49 olarak belirlenmiştir.

L-MFI polipropilen içerisine %20 oranında MOS katılan deney numunelerinde bozunma tek aşamada gerçekleşmiştir. Bozunma sıcaklığı 355,5°C’de başlamış ve 524,9°C’de bitmiştir. Bu aralıkta en yüksek bozunma sıcaklığı 462,8 °C olup %87,4 oranında bozunma meydana gelmiş ve 520 °C kalan atık madde miktarı %8,5 olarak belirlenmiştir. L-MFI polipropilen içerisine %20 oranında KOU katılan deney numunelerinde ise bozunma 2 aşamada meydana gelmiştir. İlk bozunma sıcaklığı 135,2°C’de başlamış ve 375°C’de bitmiştir. 2 aşamada ise bozunma 382,4 °C başlamış ve 539,3°C bitmiştir. Bu aralıktaki maksimum bozunma sıcaklığı 462,2 °C olup %71,71 bozunma meydana gelmiştir.

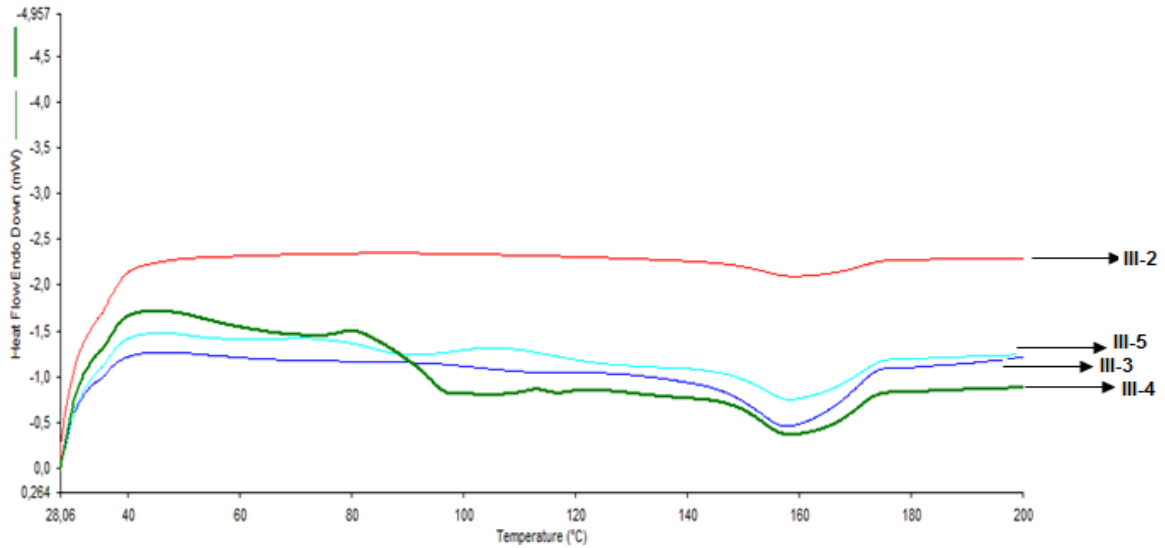
4.3.3.2. Diferansiyel taramalı kalorimetre (DSC)

LDMO ve MOSO’nın üretilen deney numunelerinin diferansiyel taramalı kalorimetre (DSC) analizleri tespit edilerek sonuçlar Çizelge 4.64’te gösterilmiştir.

Çizelge 4.64. Deney numunelerinin diferansiyel taramalı kalorimetre (DSC) analizleri

Ü.K	Pikler	Onset (°C)	Endset (°C)	Area (mJ)	Delta H (J/g)	Pik (°C)	Pik Height (mW)
III-2	1. pik	149,44	171,59	16,883	16,8827	161,54	0,2035
	2. pik	230,50	248,58	-37,586	37,5856	239,72	-0,5773
III-3	1. pik	170,20	148,17	52,323	52,3233	160,35	0,6410
	2. pik	292,55	309,90	2,571	2,5712	301,21	0,0404
III-4	1. pik	87,16	106,70	26,613	26,6127	96,37	0,3744
	2. pik	150,34	170,49	39,175	39,1750	161,02	0,5254
III-5	1. pik	80,64	102,76	8,585	8,5846	90,02	0,1014
	2. pik	146,80	174,38	39,485	39,4853	158,68	0,3795
	3. pik	306,99	320,57	19,988	19,9879	315,86	0,3810

LDMO ve MOSO’nın üretilen deney numunelerinin diferansiyel taramalı kalorimetre (DSC) termogramları Şekil 4.49’de gösterilmiştir.

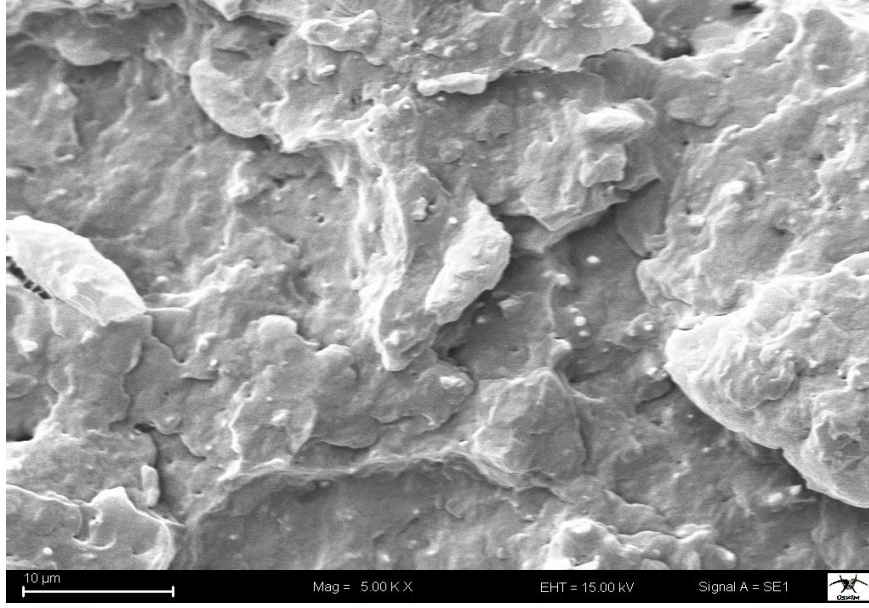


Şekil 4.49. Deney numunelerinin diferansiyel taramalı kalorimetre (DSC) termogramları.

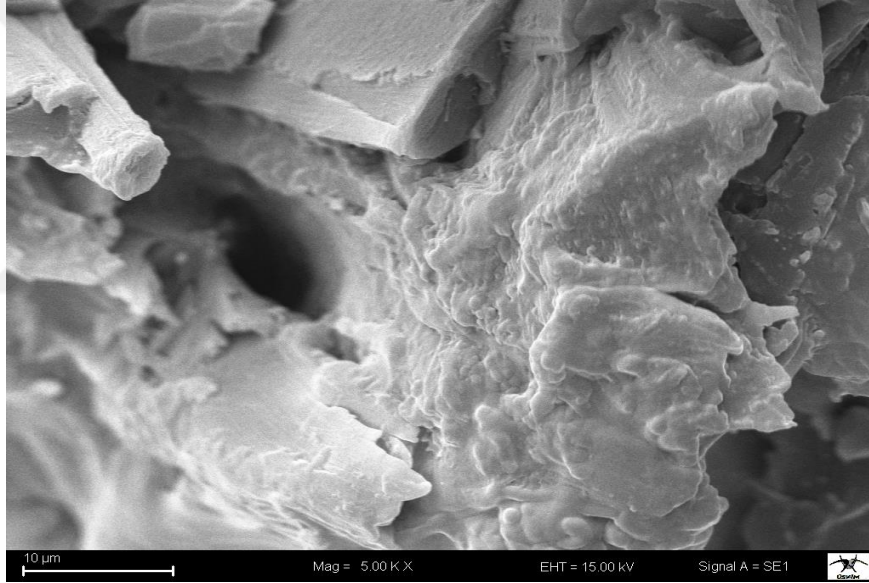
Bu kısımda III-2, III-3, III-4 ve III-5 üretim kodu ile üretilen deney numunelerinin DSC analizleri yapılmıştır. Diferansiyel taramalı kalorimetri (DSC) sonuçlarına ait grafikler aşağıdaki şekillerde gösterilmiştir. Diferansiyel taramalı kalorimetri (DSC) sonuçlarına endotermik termogramlardan görüldüğü gibi polipropilen ve kompozitlerin erime sıcaklıklarında belirgin değişimler izlenemedi ve polipropilen için erime sıcaklıklarının yaklaşık olarak 160°C civarında olduğu saptandı. Diferansiyel taramalı kalorimetre analiz (DSC) sonuçları, cam geçiş sıcaklığı (T_g) ve ergime sıcaklığının (T_m) LDMO ve MOSO'nına bağlı önemli bir değişiklik göstermediği belirlenmiştir. Üretilen deney numunelerine ait DSC eğrilerinde magnezyumoksisülfat ve kızılçam odunu kullanımı kompozitin erime sıcaklığı üzerinde önemli bir etkisinin olmadığı gözlenmiştir. DSC deneyleri sonucunda kristalizasyon sıcaklıklarının yükseldiğini, erime sıcaklıklarında ise belirgin bir değişikliğin görülmediğini belirtmişlerdir. Bu değerler dolgu maddesi olarak farklı LDMO ve MOSO ile üretilen deney numunelerinin üretimi için ihtiyaç duyulan en düşük sıcaklığı göstermektedir. Yapılan DSC analizlerinde polimer olarak PP kullanılan OPK'lerde 170°C civarında olduğu belirlenmiştir. Literatürde saf PP'nin erime sıcaklığının yaklaşık 163°C civarında olduğu bildirilmiştir. Bununla birlikte kullanılan dolgu maddesinin bu sıcaklık değerleri üzerinde önemli bir etkisinin olmadığı belirtilmiştir (Mengeloğlu ve Karakuş, 2008). Bu değerler dolgu maddesi olarak LDMO ve MOSO'nın üretilen Deney numunelerinin üretimi için ihtiyaç duyulan en düşük sıcaklığı göstermektedir.

4.3.3.4. Deney numunelerinin morfolojik özellikleri (SEM)

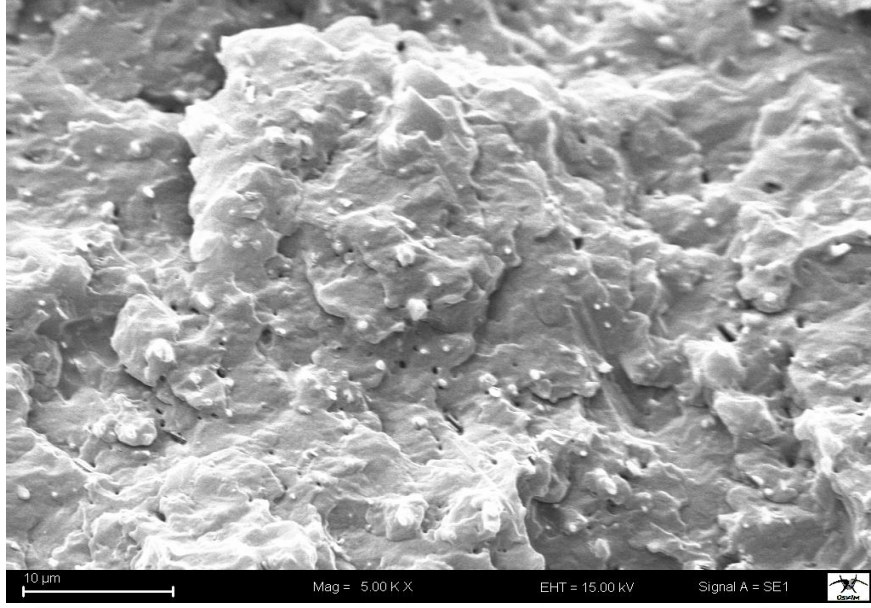
HMFI PP'ler içerisinde LDMO ve MOSO'nı ile üretilen deney numunelerinin morfolojisi taramalı elektron mikroskobu (SEM) yardımıyla çalışılmıştır. HMFI PP'ler içerisinde LDMO ve MOSO'nın üretilen deney numunelerine ait taramalı elektron mikroskobu (SEM) görüntüleri Şekil 4.50'de gösterilmiştir. Şekiller incelendiğinde polipropilenler içerisinde %10 ve 20 oranında KOU ve MOS katkılı kompozitlerin SEM görüntüleri verilmiştir. Şekil 4.51 ve 4.52'de oklarla gösterilmiş olan alanlar tam olarak plastikleşmemiş bölgeleri göstermektedir. Şekil 4.53 ve 4.54'de resimler ise %10 ve 20 oranında kızılçam odununu ve magnezyumoksisulfat bulunan deney numuneleri üzerinden çekilmiştir. Bu resimlerde kızılçam odununu ve magnezyumoksisulfatın bazıları oklarla gösterilmiştir. SEM görüntüleri incelendiğinde; magnezyumoksisulfatın polipropilende kızılçam odununa göre daha iyi bir dağılım gösterdiği ve kopmaların lif kopması şeklinde olduğu görülmektedir. Kızılçam odununun ise deformasyona neden olduğu polimer matris içerisinde iyi bir dağılım göstermediği ve kopma sırasında oluşan izler görülmektedir. Bunun nedeninin lignoselülozik materyal ile termoplastik materyal arasındaki uyumsuzluktan dolayı boşluk oluşumunun meydana geldiği düşünülmektedir. Kızılçam odunu parçacıklarının kırılmış kompozit yüzeyinde bağımsız olarak durduğu ve kopan parçacıkların geride bıraktığı oyuklar gözükmemektedir. Kızılçam odunu ile polipropilen arasında tam bağlanma sağlanmış olsaydı SEM görüntülerinde parçacıkların geride bıraktığı oyuklar yerine lignoselülozik dolgu maddeleri görünecekti. Deney numunelerinin üretiminde kullanılan magnezyumoksisulfat ve kızılçam odunu ile karşılaştırıldığında levha içerisinde kızılçam odunu kullanımı ile boşlukların arttığı lignoselülozik dolgu malzemesinin polipropilen içerisinde homojen dağılım göstermediği ve SEM görüntülerinde boşluklar olduğu görülmektedir. Magnezyumoksisulfat kullanımı ile boşluk oranının kızılçam odununa göre daha az olduğu SEM partikül-matris arayüzey adezyonunun yüksek olduğunu görüntülerinden anlaşılmaktadır.



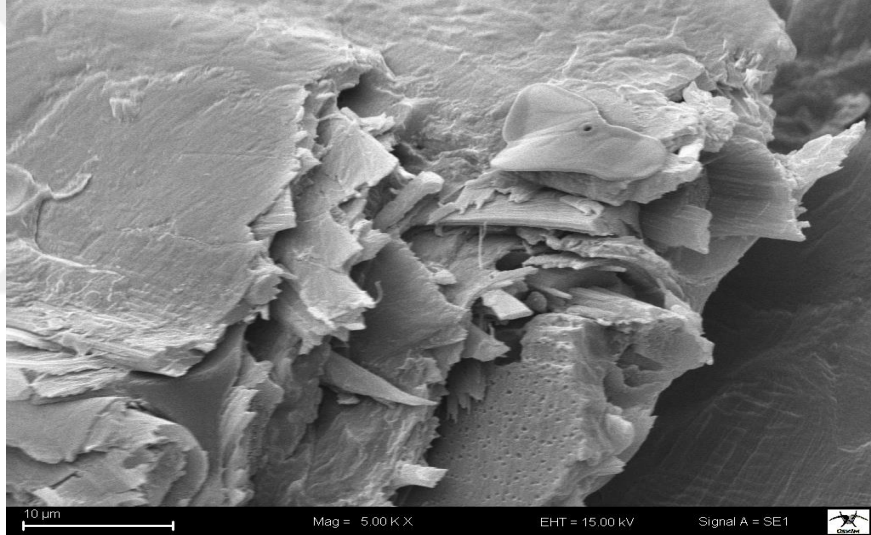
Şekil 4.50. Deney numune gruplarına ait (%84PP+10MOS) SEM görüntüleri.



Şekil 4.51. Deney numune gruplarına ait (%84PP+10KOU) SEM görüntüleri.



Şekil 4.52. Deney numune gruplarına ait (%74PP+20MOS) SEM görüntüleri.



Şekil 4.53. Deney numune gruplarına ait (%74PP+20KOU) SEM görüntüleri.

4.4. Farklı Parçacık Büyüklüğü ve Oranlarda (nano ve mikron) Titanyum dioksit Katılımının Odun Plastik Kompozitlerin Özelliklerine Etkisi

4.4.1. Fiziksel özellikler

4.4.1.1. Yoğunluğun belirlenmesi

Bu kısımda, farklı parçacık büyüklüğü ve oranlarda nano (nm) ve mikron (μm) TiO_2 katılımının deney numunelerinin yoğunlukları belirlenmiştir. Yoğunlukların belirlenmesinde ASTM D 792’de belirtilen esaslara uyulmuştur. Farklı parçacık büyüklüğü ve oranlarda (nm ve μm) TiO_2 katılımının deney numunelerinin yoğunlukları üzerine etkisi incelenmiştir. Üretilen deney numunelerinin yoğunluk değerlerini belirlemek için çekme direnci deney numunelerinden deney sonrası kesilen parçalar kullanılarak yoğunluklar belirlenmiştir. Doğal yaşlandırma (ilk, 6, 12 ve 18 ay) işlemine tabi tutulmuş deney numunelerinden elde edilen ortalama yoğunluk ve standart sapma değerleri Çizelge 4.65’te gösterilmiştir.

Çizelge 4.65. Deney numunelerine ait ilk, 6, 12 ve 18 aylık ortalama yoğunluk ve standart sapma değerleri.

ÜK***	İlk ay	6 ay	12 ay	18 ay
IV-1	1,01 (0,03) **	1,06 (0,02)	1,01 (0,00)	1,01 (0,02)
IV-2	0,90 (0,01)	1,00 (0,00)	0,88 (0,01)	0,89 (0,01)
IV-3	1,08 (0,03)	1,08 (0,01)	1,03 (0,01)	1,06 (0,02)
IV-4	0,89 (0,04)	1,00 (0,00)	0,91 (0,01)	0,92 (0,01)
IV-5	1,05 (0,02)	1,05 (0,01)	1,03 (0,01)	1,03 (0,01)
IV-6	0,92 (0,02)	1,00 (0,00)	0,90 (0,00)	0,91 (0,00)
IV-7	1,09 (0,00)	1,08 (0,01)	1,06 (0,00)	1,07 (0,01)
IV-8	0,92 (0,01)	1,00 (0,00)	0,93 (0,01)	0,91 (0,01)
IV-9	1,08 (0,00)	1,10 (0,00)	1,07 (0,01)	1,07 (0,01)
IV-10	0,94 (0,02)	1,00 (0,00)	0,91 (0,00)	0,91 (0,00)
IV-11	1,14 (0,02)	1,12 (0,01)	1,10 (0,00)	1,12 (0,01)
IV-12	0,95 (0,02)	1,00 (0,00)	0,94 (0,00)	0,93 (0,01)
IV-13	0,96 (0,02)	1,15 (0,00)	1,15 (0,04)	1,11 (0,02)
IV-14	1,11 (0,05)	1,00 (0,00)	0,95 (0,01)	0,93 (0,02)

*ortalama değer, **standart sapma, Ü.K: üretim kodu *** her gruptan 5 adet deney numunesi test edilmiştir.

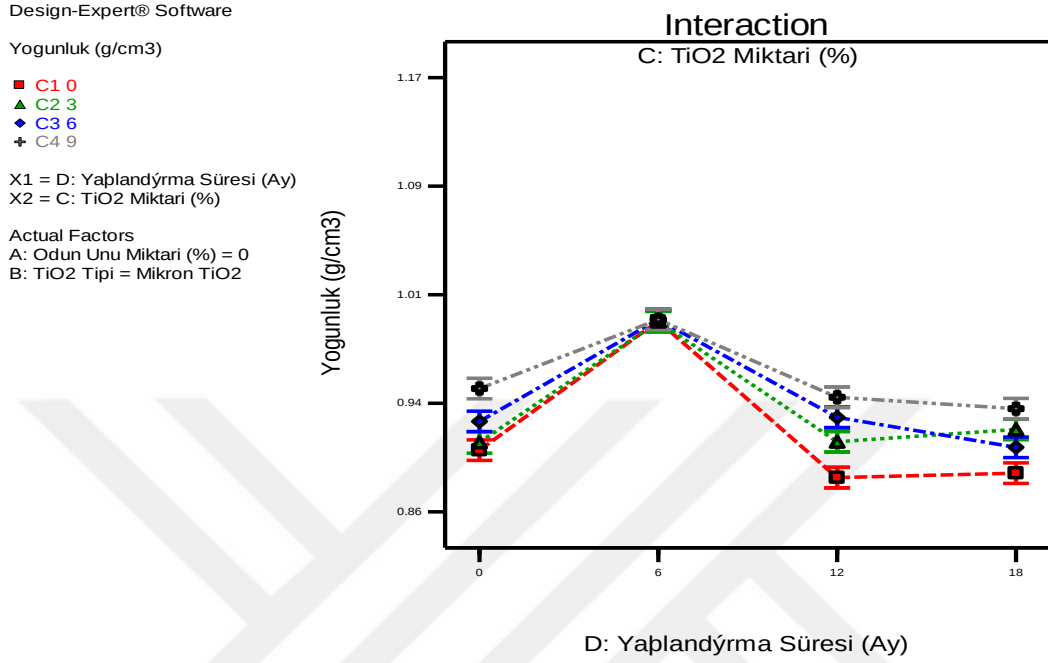
Çizelge 4.66. Farklı parçacık büyüklüğü ve oranlarda (nm ve μm) TiO_2 katılımının deney numunelerinin yoğunluk değerleri üzerine etkisine ait ANOVA sonuçları.

Test	Kaynak	Kareler Top.	DF	Kareler Ort.	F	p-value Prob > F
Yoğunluk	Model	1,87	63	0,030	215,84	< 0,0001significant
	A-Odun Unu Miktarı (%)	1,19	1	1,19	8648,43	< 0,0001
	B- TiO_2 Tipi	2,391E-005	1	2,391E-005	0,17	0,6773
	C- TiO_2 Miktarı (%)	0,19	3	0,064	463,43	< 0,0001
	D-Yaşlandırma Süresi (Ay)	0,18	3	0,061	440,10	< 0,0001
	AB	8,848E-003	1	8,848E-003	64,24	< 0,0001
	AC	0,011	3	3,691E-003	26,80	< 0,0001
	AD	0,042	3	0,014	101,14	< 0,0001
	BC	4,731E-003	3	1,577E-003	11,45	< 0,0001
	BD	1,299E-003	3	4,330E-004	3,14	< 0,0001
	CD	0,018	9	1,975E-003	14,34	< 0,0001
	ABC	0,018	3	6,046E-003	43,89	0,0258
	ABD	0,044	3	0,015	105,81	< 0,0001
	ACD	0,082	9	9,093E-003	66,01	< 0,0001
	BCD	2,273E-003	9	2,525E-004	1,83	< 0,0001
	ABCD	0,085	9	9,440E-003	68,53	< 0,0001
	Pure Error	0,035	252	1,377E-004		0,0628
	Cor Total	1,91	315			< 0,0001

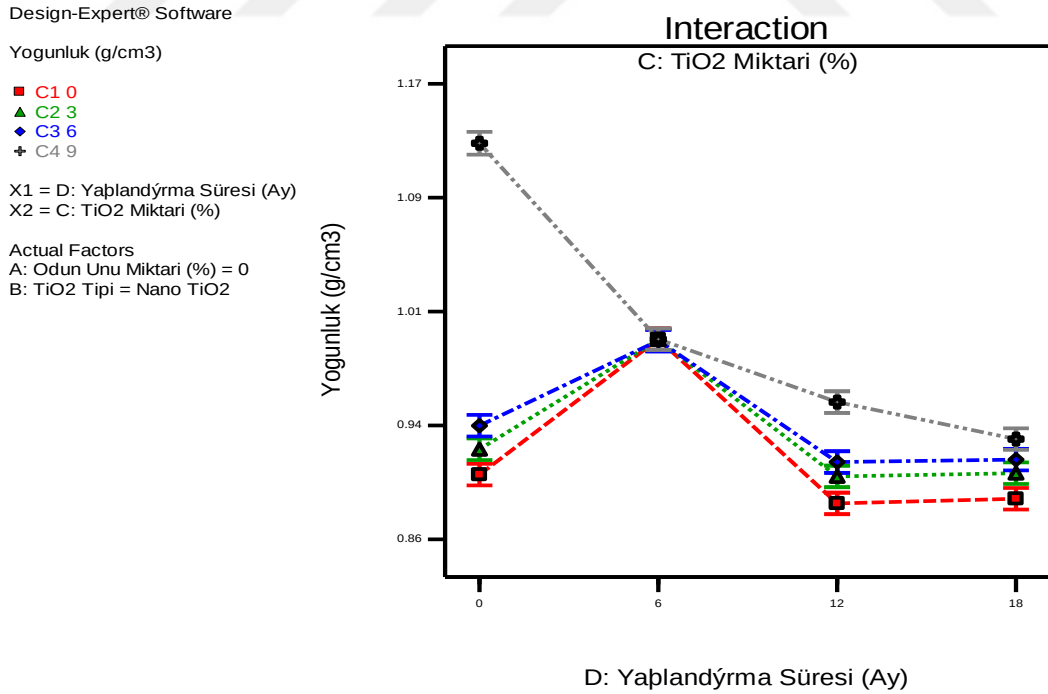
Farklı parçacık büyüklüğü ve oranlarda (nm ve μm) TiO_2 katılımının deney numunelerinin yoğunluk değerleri üzerine ilk, 6, 12 ve 18 ay doğal yaşlandırmanın etkisinin önem düzeyini belirlemek amacıyla ANOVA testi uygulanmış ve elde edilen değerler Çizelge 4.66’da gösterilmiştir. Çizelge 4.66 incelendiğinde LDMO ve TiO_2 miktarı ile doğal yaşlandırma süresinin (DYS) deney numunelerinin yoğunluk değerleri üzerine istatistiksel olarak önemli düzeyde etkili olduğu belirlenmiştir ($P<0.0001$).

Doğal yaşlandırma işlemine tabi tutulmamış en küçük yoğunluk dolgu maddesi katılmamış PP’de (0,90MPa) en yüksek yoğunluk ise %40KOU+%9 μmTiO_2 deney numunelerinde tespit edilmiştir. 6 ay doğal yaşlandırma işlemine tabi tutulmuş en küçük yoğunluk dolgu maddesi katılmamış PP’de (0,90MPa) en yüksek yoğunluk ise %40KOU+%9nm TiO_2 (1,15MPa) deney numunelerinde tespit edilmiştir. 12 ay doğal yaşlandırma işlemine tabi tutulmuş en küçük yoğunluk dolgu maddesi katılmamış PP’de (0,88MPa) en yüksek yoğunluk ise %40KOU+%9nm TiO_2 (1,15 MPa) deney numunelerinde tespit edilmiştir. 18 ay doğal yaşlandırma işlemine tabi tutulmuş en küçük yoğunluk dolgu maddesi katılmamış PP’de (0,89MPa) en yüksek yoğunluk ise %40KOU+%9nm TiO_2 (1,11MPa) deney numunelerinde tespit edilmiştir.

Farklı parçacık büyüklüğü ve oranlarda (nm ve μm) TiO_2 katılımının ilk, 6, 12 ve 18 ay doğal yaşlandırma işlemine tabi tutulmuş deney numunelerinin yoğunluklarına etkileri Şekil 4.54 ve 55’de gösterilmiştir.



(a)



(b)

Şekil 4.54. Deney numunelerinin yoğunluk değerleri. a) Saf grup ve Mikron TiO_2 , b) Saf grup

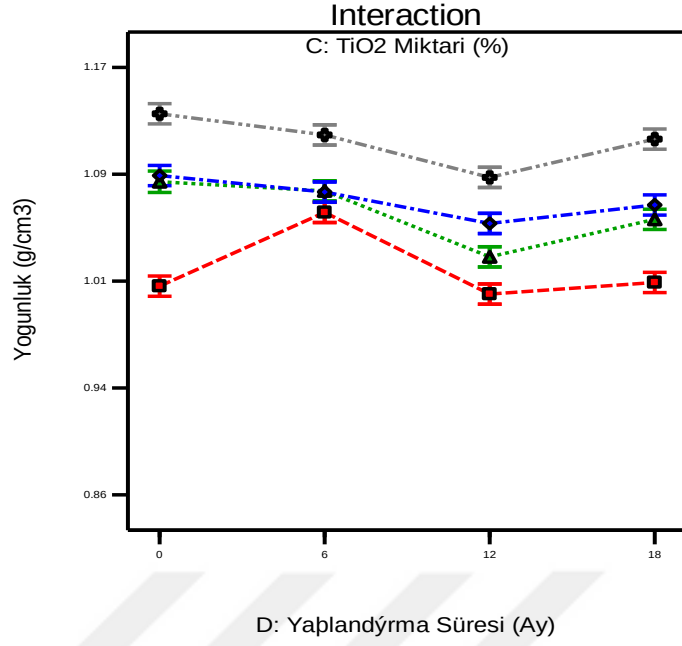
Design-Expert® Software

Yogunluk (g/cm3)

■ C1 0
▲ C2 3
◆ C3 6
✦ C4 9

X1 = D: Yapılandırma Süresi (Ay)
X2 = C: TiO2 Miktarı (%)

Actual Factors
A: Odun Unu Miktarı (%) = 40
B: TiO2 Tipi = Mikron TiO2



(c)

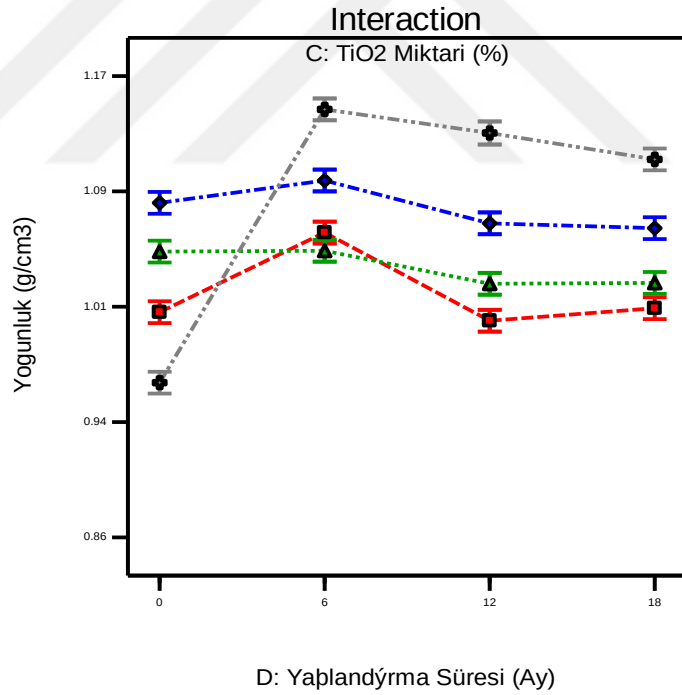
Design-Expert® Software

Yogunluk (g/cm3)

■ C1 0
▲ C2 3
◆ C3 6
✦ C4 9

X1 = D: Yapılandırma Süresi (Ay)
X2 = C: TiO2 Miktarı (%)

Actual Factors
A: Odun Unu Miktarı (%) = 40
B: TiO2 Tipi = Nano TiO2



(d)

Şekil 4.55. Deney numunelerinin yoğunluk değerleri Nano TiO2, c) Kompozit ve Mikron TiO2 ve d) Kompozit ve Nano TiO2.

Doğal yaşlandırma işlemine tabi tutulmamış deney numunelerinin yoğunlukları 0,89 ile 1,14 MPa, 6 ay 1,00 ile 1,15 MPa, 12 ay 0,89 ile 1,15 ve 18 ay 0,89 ile 1,12 aralığında tespit edilmiştir. Şekil 4.55 incelendiğinde OPK içerisindeki lignoselülozik

madde ve TiO_2 oranının artmasına paralel olarak kompozit gruplarının yoğunluk değerinde artışlar meydana geldiği görülmektedir. Polimer içerisindeki dolgu ve katkı maddelerinin miktarı arttıkça kompozit malzemenin yoğunluklarında artış olacağı (Clemons, 2002; Klyosov, 2007; Mengeloğlu ve Karakuş, 2012, Mengeloğlu ve ark., 2015; Karakuş ve Mengeloğlu, 2016) literatürde belirtilmiştir.

En yüksek yoğunluk artışı %40KOU+%9 TiO_2 ve en küçük yoğunluk ise kontrol numunelerinde tespit edilmiştir. Bunun nedeni LDM yoğunluklarının öğütme sonrası oluşan parçacık büyüklüğüne ve hücre çeper yoğunluğuna bağlı olması (Çavdar, 2011), odunun masif haldeki oluşumundan un haline geçtiğinde hava boşluğu oranlarının azalması (Avcı, 2012; Kaymakçı, 2015) ve dolgu maddesinin enjeksiyon makinesinde oluşan basınç hızı ile polimer matris arasında boşlukları tam olarak doldurması üretimde kullanılan ve hidrofobik yapıdaki PP ile hidrofilik yapıdaki LDM arasındaki bağlanmayı uyumlu hale getirmek için kullanılan MAPP'ın yoğunluk değerinde belirli artışlara neden olabileceği (Ndiaye ve Tidjani 2012; Kaymakçı, 2015) gibi nedenlerden kaynaklandığı literatürde belirtilmiştir.

Genel olarak kompozit malzemeler kompoziti oluşturan elemanların en iyi özelliklerin bir arada toplanması gerekir. Katkı malzemesi olarak kullanılan TiO_2 yoğunluğunun KOU (0,54 gr/ cm^3) ve PP'ye (0,905 gr/ cm^3) oranla çok yüksek olması odun plastik kompozitlerin yoğunluğunun artmasında etken rol oynamıştır. Kompozit yapı içerisinde farklı oranlarda nm boyutta TiO_2 katılmasının μm boyuttaki TiO_2 'ye göre kompozitlerin yoğunluğunu düşürdüğü gözlenmiştir. Bunun nedeni olarak nm boyutta TiO_2 (3.9 MPa) yoğunluğunun μm boyuttaki TiO_2 'ye (4,23 gr/ cm^3) göre daha yüksek olması söylenebilir.

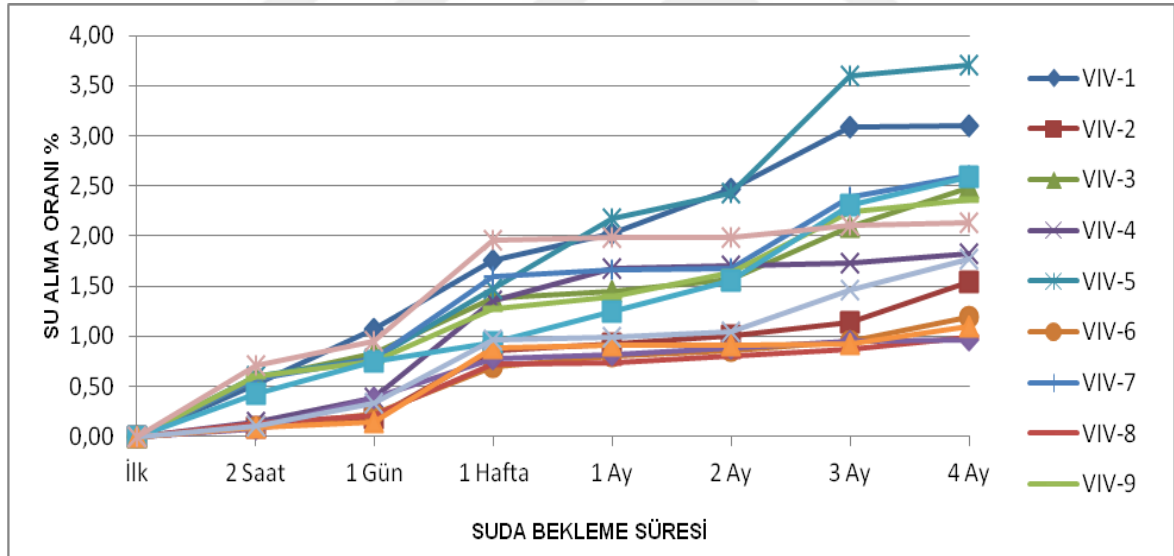
Deney numunelerinin yoğunlukları üzerine doğal yaşlandırmanın etkileri incelendiğinde ise dolgu ve katkı maddesi oran türü ve sürenin etkili olduğu tespit edilmiştir. Deney numunelerinin 6 ay doğal yaşlandırmaya tabi tutulmaları sonucunda yoğunluk değerlerinde bir artış meydana gelmesine rağmen bu artış 12 ve 18 ay bekletilmelerinde ise düşme göstermiştir. Doğal yaşlandırmaya tabi bırakılmış deney numunelerindeki yoğunluk artış ve düşüşünün polimer zincirleri arasındaki boşluklar, kırılmalar ve bozunmalar sonucunda gerçekleştiği söylenebilir. Bir kompozitin yoğunluğu, matrisin ve dolgu malzemesinin nispi oranına bağlıdır ve bu kompozitlerin özelliklerini belirleyen en önemli faktörlerden biridir. Boşluk içeriği, gerçek yoğunluk değerleri ile teorik olarak hesaplanan değerler arasındaki fark demektir. Boşluklar mekanik özelliklerin

bazılarını ve hatta kullanım yerinde bile kompozitlerin performansını önemli ölçüde etkiler. Daha yüksek boşluk içeriği genellikle daha küçük yorulma direnci, su alma ve hava koşullarından daha fazla etkilenmek anlamına gelir.

4.4.1.2. Su alma oranı

Farklı parçacık büyüklüğü ve oranlarda (nm ve μm) TiO_2 katılımı ile üretilen deney numunelerinin suda bekletme sonucu su alma oranları belirlenmiştir. Bu nedenle deney numuneleri ilk ölçümleri yapıldıktan sonra, 2 saat, 6 saat, 1 gün, 1 hafta, 1 ay, 2 ay, 3 ay ve 4 ay süreyle destile su içinde tutularak periyodik olarak ölçülmüştür. Farklı parçacık büyüklüğü ve oranlarda (nm ve μm) TiO_2 katılımının deney numunelerinin su alma özelliklerine etkileri belirlenmiştir. Ölçümler; her bir üretim parametresine ait 5 adet deney numunesi üzerinden 5 ölçüm yapılarak ortalama değerler üzerinden yürütülmüştür. Bu kısım istatistiksel değerlendirmeye alınmamıştır.

Farklı parçacık büyüklüğü ve oranlarda (nm ve μm) TiO_2 katılımı ile üretilen deney numunelerinin su alma oranı. Şekil 4.56'da gösterilmiştir.



Şekil 4.56. Farklı parçacık büyüklüğü ve oranlarda (nm ve μm) TiO_2 katılımı ile üretilen deney numunelerinin su alma oranı..

Şekil 4.56 incelendiğinde 2 saatlik su alma yüzdesi LDM ve TiO_2 katılmamış PP'de (%0,09) olarak ve LDM katılmış ve TiO_2 katılmamış deney numunelerinde ise (%0,52) olarak tespit edilmiştir. LDM katılmış deney numunelerinin içerisine %3-6-9 oranlarda TiO_2 (μm) katıldığında 2 saatlik su alma yüzdesi sırasıyla %0,58, %0,58 ve %0,42 ve %3-6-9 oranlarda TiO_2 (nm) katıldığında ise sırasıyla %0,60, %0,60 ve %0,71 olarak tespit edilmiştir. LDM katılmamış μmTiO_2 katılmış deney numunelerinin 2 saatlik su alma

yüzdesi (%0,09 ile %0,15) aralığında ve nmTiO₂ katıldığında ise (%0,08 ile %0,10) aralığında tespit edilmiştir. LDM ve µmTiO₂ katılmış deney numunelerinin 2 saatlik su alma yüzdesi (%0,42 ile %0,58) aralığında ve nmTiO₂ katıldığında ise (%0,60 ile %0,71) aralığında tespit edilmiştir.

Deney numunelerinin 1 günlük su alma yüzdesi LDM ve TiO₂ katılmamış PP'de (%0,19) olarak ve LDM katılmış ve TiO₂ katılmamış deney numunelerinde ise (%1,07) olarak tespit edilmiştir. LDM katılmış deney numunelerinin içerisine %3-6-9 oranlarda TiO₂ (µm) katıldığında 1 günlük su alma yüzdesi sırasıyla %0,83, %0,77 ve %0,75 ve %3-6-9 oranlarda TiO₂(nm) katıldığında ise sırasıyla %0,77, %0,75 ve %0,95 olarak tespit edilmiştir. LDM katılmamış µmTiO₂ katılmış deney numunelerinin 1 günlük su alma yüzdesi (%0,14 ile %0,39) aralığında ve nmTiO₂ katıldığında ise (%0,22 ile %0,33) aralığında tespit edilmiştir. LDM ve µmTiO₂ katılmış deney numunelerinin 1 günlük su alma yüzdesi (%0,75 ile %0,83) aralığında ve nmTiO₂ katıldığında ise (%0,75 ile %0,95) aralığında tespit edilmiştir.

Deney numunelerinin 1 haftalık su alma yüzdesi LDM ve TiO₂ katılmamış PP'de (%0,86) olarak ve LDM katılmış ve TiO₂ katılmamış deney numunelerinde ise (%1,76) olarak tespit edilmiştir. LDM katılmış deney numunelerinin içerisine %3-6-9 oranlarda TiO₂ (µm) katıldığında 1 haftalık su alma yüzdesi sırasıyla %1,38, %1,60 ve %0,94 ve %3-6-9 oranlarda TiO₂(nm) katıldığında ise sırasıyla %1,48, %1,27 ve %1,96 olarak tespit edilmiştir. LDM katılmamış µmTiO₂ katılmış deney numunelerinin 1 haftalık su alma yüzdesi (%0,72 ile %1,36) aralığında ve nmTiO₂ katıldığında ise (%0,70 ile %0,97) aralığında tespit edilmiştir. LDM ve µmTiO₂ katılmış deney numunelerinin 1 haftalık su alma yüzdesi (%0,94 ile %1,38) aralığında ve nmTiO₂ katıldığında ise (%1,27 ile %1,96) aralığında tespit edilmiştir.

Deney numunelerinin 1 aylık su alma yüzdesi LDM ve TiO₂ katılmamış PP'de (%1,70) olarak ve LDM katılmış ve TiO₂ katılmamış deney numunelerinde ise (%1,75) olarak tespit edilmiştir. LDM katılmış deney numunelerinin içerisine %3-6-9 oranlarda TiO₂ (µm) katıldığında 1 aylık su alma yüzdesi sırasıyla %1,57, %1,55 ve %1,68 ve %3-6-9 oranlarda TiO₂(nm) katıldığında ise sırasıyla %2,43, %1,64 ve %1,99 olarak tespit edilmiştir. LDM katılmamış µmTiO₂ katılmış deney numunelerinin 1 aylık su alma yüzdesi (%0,80 ile %1,70) aralığında ve nmTiO₂ katıldığında ise (%0,86 ile %1,04) aralığında tespit edilmiştir. LDM ve µmTiO₂ katılmış deney numunelerinin 1 aylık su alma

yüzdesi (%1,55 ile %1,68) aralığında ve nmTiO₂ katıldığında ise (%1,64 ile %2,43) aralığında tespit edilmiştir.

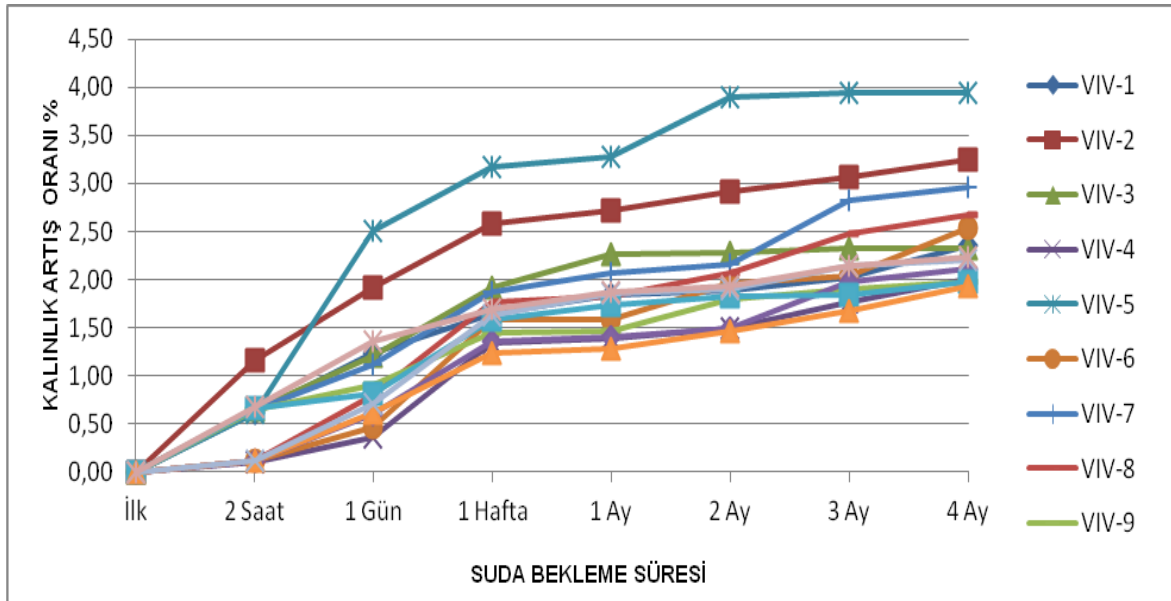
Deney numunelerinin 4 aylık su alma yüzdesi LDM ve TiO₂ katılmamış PP'de (%1,54) olarak ve LDM katılmış ve TiO₂ katılmamış deney numunelerinde ise (%3,10) olarak tespit edilmiştir. LDM katılmış deney numunelerinin içerisine %3-6-9 oranlarda TiO₂ (µm) katıldığında 4 aylık su alma yüzdesi sırasıyla %2,48, %2,60 ve %2,59 ve %3-6-9 oranlarda TiO₂(nm) katıldığında ise sırasıyla %3,71, %2,36 ve %2,13 olarak tespit edilmiştir. LDM katılmamış µmTiO₂ katılmış deney numunelerinin 4 aylık su alma yüzdesi (%0,89 ile %1,82) aralığında ve nmTiO₂ katıldığında ise ((%0,96 ile %1,77) aralığında tespit edilmiştir. LDM ve µmTiO₂ katılmış deney numunelerinin 4 aylık su alma yüzdesi (%2,48 ile %2,60) aralığında ve nmTiO₂ katıldığında ise (%2,13 ile %2,71) aralığında tespit edilmiştir.

Deney numunelerinin su alma oranında LDM ve TiO₂ boyut ve oranın etkili olduğu görülmektedir. LDMO arttıkça su alma oranının arttığı tespit edilmiştir. Bu durum daha önceki çalışmalarla benzerlik göstermektedir (Stokke ve Gardner, 2003; H'ng Paik San ve ark., 2008; Çavdar, 2011; Avcı, 2012). Lignoselülozik malzemeler bünyelerinde hidroksil grupları bulundurduğundan dolayı hidrofilitiktir. Ancak deney numunelerinin bünyesinde bulunan ve hidrofobik özelliğe sahip plastikler su alma oranını ağaç malzeme veya lignoselülozik malzemelere göre düşürmektedir (Wang ve Morrell, 2004, Kylosov, 2007: Najafi ve ark., 2008).

Mikron veya nm TiO₂ kullanım oranı arttıkça deney numunelerinin su alma yüzdesinin azaldığı; ancak TiO₂ kullanım oranının %9 oranına geldiğinde su alma yüzdesinin bir miktar arttığı, bu artışın nm boyutta daha az olduğu tespit edilmiştir. LDM ve TiO₂ birlikte kullanılan deney numunelerinin su alma oranı üzerinde etkisi irdelendiğinde µm veya nm TiO₂ kullanım oranı arttıkça su alma oranının azaldığı ve nm boyutta TiO₂ µm boyuttaki TiO₂ göre daha az su alma oranına sahip olduğu tespit edilmiştir. Elde edilen sonuçlar bu anlamda literatüre uygundur. Yapılan çalışmalarda plastik matris içerisindeki LDM artışına paralel olarak deney numunelerinin su alma oranında artış olduğunu ve bu artışında LDM'nin hidrofilik yapıya sahip olmasının etkili belirtmişlerdir (George ve ark., 2001; Stark ve Rowlands, 2003; Kord, 2011; Avcı 2012; Kaymakçı, 2015). Genellikle, odun plastik kompozitlerde su alma; dolgu veya katkı maddelerinin higroskopik yapısı ve dolgu veya katkı maddeleri ile plastikler arasındaki ara yüzeylerdeki boşluklar ve kusurlar yoluyla suyun kompozitlere nüfuz etmesi olarak iki şekilde meydana gelir.

4.4.1.3. Kalınlığma artış oranı

Farklı parçacık büyüklüğü ve oranlarda (nm ve μm) TiO_2 katılımı ile üretilen deney numunelerinin suda bekletme sonucu kalınlığına artış oranları belirlenmiştir. Bu nedenle deney numuneleri ilk ölçümleri yapıldıktan sonra, 2 saat, 6 saat, 1 gün, 1 hafta, 1 ay, 2 ay, 3 ay ve 4 ay süreyle destile su içerisinde tutularak periyodik olarak ölçülmüştür. Farklı parçacık büyüklüğü ve oranlarda (nm ve μm) TiO_2 katılımı ile üretilen deney numunelerinin kalınlıkça artış oranına etkileri Şekil 4.57’de gösterilmiştir.



Şekil 4.57. Farklı parçacık büyüklüğü ve oranlarda (nm ve μm) TiO_2 katılımı ile üretilen deney numunelerinin kalınlıkça artış oranı.

Şekil 4.57 incelendiğinde 2 saatlik kalınlıkça artış yüzdesi LDM ve TiO_2 katılmamış PP’de (%0,16) olarak ve LDM katılmış ve TiO_2 katılmamış deney numunelerinde ise (%0,62) olarak tespit edilmiştir. LDM katılmış deney numunelerinin içerisine %3-6-9 oranlarda TiO_2 (μm) katıldığında 2 saatlik kalınlıkça artış yüzdesi sırasıyla %0,64, %0,65 ve %0,66 ve %3-6-9 oranlarda TiO_2 (nm) katıldığında ise sırasıyla %0,62, %0,64 ve %0,67 olarak tespit edilmiştir. LDM katılmamış μmTiO_2 katılmış deney numunelerinin 2 saatlik kalınlıkça artış yüzdesi (%0,10 ile %0,12) aralığında ve nm TiO_2 katıldığında ise (%0,11 ile %0,12) aralığında tespit edilmiştir. LDM ve μmTiO_2 katılmış deney numunelerinin 2 saatlik kalınlıkça artış yüzdesi (%0,64 ile %0,66) aralığında ve nm TiO_2 katıldığında ise (%0,62 ile %0,67) aralığında tespit edilmiştir.

Deney numunelerinin 1 günlük kalınlıkça artış yüzdesi LDM ve TiO_2 katılmamış PP’de (%0,91) olarak ve LDM katılmış ve TiO_2 katılmamış deney numunelerinde ise (%1,24) olarak tespit edilmiştir. LDM katılmış deney numunelerinin içerisine %3-6-9

oranlarda TiO_2 (μm) katıldığında 1 günlük kalınlıkça artış yüzdesi sırasıyla %1,20, %1,11 ve %0,82 ve %3-6-9 oranlarda TiO_2 (nm) katıldığında ise sırasıyla %1,51, %0,91 ve %1,35 olarak tespit edilmiştir. LDM katılmamış μmTiO_2 katılmış deney numunelerinin 1 günlük kalınlıkça artış yüzdesi (%0,36 ile %0,80) aralığında ve nm TiO_2 katıldığında ise (%0,46 ile %0,71) aralığında tespit edilmiştir. LDM ve μmTiO_2 katılmış deney numunelerinin 1 günlük kalınlıkça artış yüzdesi (%0,82 ile %1,20) aralığında ve nm TiO_2 katıldığında ise (%0,91 ile %1,51) aralığında tespit edilmiştir.

Deney numunelerinin 1 haftalık kalınlıkça artış yüzdesi LDM ve TiO_2 katılmamış PP'de (%1,48) olarak ve LDM katılmış ve TiO_2 katılmamış deney numunelerinde ise (%1,65) olarak tespit edilmiştir. LDM katılmış deney numunelerinin içerisine %3-6-9 oranlarda TiO_2 (μm) katıldığında 1 haftalık kalınlıkça artış yüzdesi sırasıyla %1,91, %1,57 ve %1,81 ve %3-6-9 oranlarda TiO_2 (nm) katıldığında ise sırasıyla %2,17, %1,45 ve %1,69 olarak tespit edilmiştir. LDM katılmamış μmTiO_2 katılmış deney numunelerinin 1 haftalık kalınlıkça artış yüzdesi (%1,23 ile %1,36) aralığında ve nm TiO_2 katıldığında ise (%1,33 ile %1,38) aralığında tespit edilmiştir. LDM ve μmTiO_2 katılmış deney numunelerinin 1 haftalık kalınlıkça artış yüzdesi (%1,58 ile %1,91) aralığında ve nm TiO_2 katıldığında ise (%1,45 ile %2,17) aralığında tespit edilmiştir.

Deney numunelerinin 1 aylık kalınlıkça artış yüzdesi LDM ve TiO_2 katılmamış PP'de (%1,61) olarak ve LDM katılmış ve TiO_2 katılmamış deney numunelerinde ise (%1,89) olarak tespit edilmiştir. LDM katılmış deney numunelerinin içerisine %3-6-9 oranlarda TiO_2 (μm) katıldığında 1 aylık kalınlıkça artış yüzdesi sırasıyla %2,28, %2,16 ve %1, 82 ve %3-6-9 oranlarda TiO_2 (nm) katıldığında ise sırasıyla %2,30, %1,79 ve %1,93 olarak tespit edilmiştir. LDM katılmamış μmTiO_2 katılmış deney numunelerinin 1 aylık kalınlıkça artış yüzdesi (%1,27 ile %1,49) aralığında ve nm TiO_2 katıldığında ise (%1,40 ile %1,49) aralığında tespit edilmiştir. LDM ve μmTiO_2 katılmış deney numunelerinin 1 aylık kalınlıkça artış yüzdesi (%1,82 ile %2,28) aralığında ve nm TiO_2 katıldığında ise (%1,79 ile %2,30) aralığında tespit edilmiştir.

Deney numunelerinin 4 aylık kalınlıkça artış yüzdesi LDM ve TiO_2 katılmamış PP'de (%1,74) olarak ve LDM katılmış ve TiO_2 katılmamış deney numunelerinde ise (%2,35) olarak tespit edilmiştir. LDM katılmış deney numunelerinin içerisine %3-6-9 oranlarda TiO_2 (μm) katıldığında 4 aylık kalınlıkça artış yüzdesi sırasıyla %2,32, %2,26 ve %1,98 ve %3-6-9 oranlarda TiO_2 (nm) katıldığında ise sırasıyla %2,35, %1,97 ve %2,24 olarak tespit edilmiştir. LDM katılmamış μmTiO_2 katılmış deney numunelerinin 4 aylık

kalınlıkça artış yüzdesi (%1,43 ile %1,61) aralığında ve nmTiO₂ katıldığında ise ((%1,51 ile %1,61) aralığında tespit edilmiştir. LDM ve µmTiO₂ katılmış deney numunelerinin 4 aylık kalınlıkça artış yüzdesi (%1,98 ile %2,32) aralığında ve nmTiO₂ katıldığında ise (%1,97 ile %2,35) aralığında tespit edilmiştir. Deney numunelerinin kalınlıkça artma oranında LDM ve TiO₂ boyut ve oranın önemli bir şekilde etkili olduğu görülmektedir. LDM katılımına paralel olarak deney numunelerinin kalınlıkça artma oranının arttığı tespit edilmiştir. Suda bekletme süresi arttıkça tüm deney numunelerinde kalınlıkça artma oranı su alma oranına paralel bir şekilde arttığı gözlenmiştir. LDM ve TiO₂ boyut ve oranın istatistiksel anlamda kalınlıkça artma oranı üzerinde etkili olduğu tespit edilmiştir. Bu durum daha önceki çalışmalarla benzerlik göstermektedir (Çavdar, 2011, Avcı, 2012: Esnaashari ve ark., 2012: Kaymakçı ve Ayrılmış, 2014: Kaymakçı, 2014: Mengeloğlu ve ark., 2015). Hidrofilik malzemelerde bünyesine su alıp verme özelliklerinden dolayı kalınlıkça artma oranı hidrofobik malzemelere göre yüksek olması ile açıklanabilir. LDM kullanım oranı arttıkça deney numunelerinin kalınlıkça artma yüzdesinin arttığı ve kullanım oranının azalmasına paralel olarak azaldığı tespit edilmiştir. Yapılan çalışmalarda plastik matris içerisindeki LDM'nin artışına paralel olarak deney numunelerinin kalınlıkça artma oranında artış olduğunu ve bu artışında LDM'nin hidrofilik yapısına bağlı olduğunu belirtmişlerdir (Stark ve Rowlands, 2003; Avcı 2012; Kaymakçı, 2015).

Nano veya mikron TiO₂ kullanım oranı arttıkça deney numunelerinin kalınlıkça artış yüzdesinin azaldığı; bu azalmanın TiO₂ boyutunun nm olması durumunda µm boyuttaki TiO₂ göre kalınlıkça artma oranını düşürdüğü tespit edilmiştir. Polimer içerisine %3-6-9 oranında µm TiO₂ katılımı hiçbir dolgu maddesi katılmamış PP'ye göre kalınlıkça artış özelliklerini iyileştirdiği ancak nm TiO₂ katılımının kalınlıkça artma oranını daha azalttığı, bu oranın LDM katılmış deney numunelerinde de aynı etkiyi gösterdiği tespit edilmiştir. Araştırmacılar hava koşullarının ve su içerisinde odun plastik kompozitlerin fazla kalmasının, ekstraktların su itici etkisini azalttığını, hidrofobik lignin bileşenini bozarak ve selüloz bakımından zengin ahşap bileşeni kompozit yüzey katmanına maruz bırakarak ahşap bileşenin ıslanabilirliğini arttırdığını belirtmiştir (Colom ve diğerleri 2003). LDM ve TiO₂ birlikte kullanılan deney numunelerinin kalınlıkça artış oranı üzerinde etkisi irdelendiğinde µm veya nm TiO₂ kullanım oranı arttıkça kalınlıkça artış oranının azaldığı ve nm boyutta TiO₂ µm boyuttaki TiO₂ göre daha az kalınlıkça artış oranına sahip olduğu tespit edilmiştir. Elde edilen sonuçlar bu anlamda literatüre uygundur. Yapılan çalışmalarda plastik matris içerisindeki LDM artışına paralel olarak deney

numunelerinin kalınlıkça artış oranında artış olduğunu ve bu artışında LDM'nin hidrofilik yapıya sahip olmasının etkili belirtmişlerdir (George ve ark., 2001; Clemons, 2002; Stark ve Rowlands, 2003; Chen ve ark., 2006; Adhikary ve ark., 2008; Kord, 2011; Avcı 2012; Behzad, 2012; Aina ve ark., 2013; Kaymakçı, 2015).

4.4.2. Mekanik Özellikler

4.4.2.1. Eğilme direnci

Farklı parçacık büyüklüğü ve oranlarda (nm ve μm) TiO_2 katılımı ile üretilen deney numunelerinin doğal yaşlandırma (ilk, 6, 12 ve 18 ay) sonucunda eğilme dirençleri belirlenmiştir. Doğal yaşlandırma (ilk, 6, 12 ve 18 ay) işlemine tabi tutulmuş deney numunelerinden elde edilen eğilme direnci ortalama ve standart sapma değerleri Çizelge 4.67'de gösterilmiştir.

Çizelge 4.67. Doğal yaşlandırma (ilk, 6, 12 ve 18 ay) işlemine tabi tutulmuş deney numunelerinin ortalama eğilme direnci ve standart sapma değerleri.

ÜK***	Eğilme direnci(MPA)			
	0	6 ay	12 ay	18 ay
IV-1	46,34* (0,66)**	44,992 (1,33)	46,65 (1,29)	40,28 (0,53)
IV-2	37,88 (1,27)	24,678 (5,62)	21,12 (80,84)	16,04 (0,39)
IV-3	45,75 (1,41)	47,37 (0,50)	45,62 (1,29)	45,61 (1,33)
IV-4	32,06 (0,55)	36,63 (0,40)	38,96 (0,81)	35,77 (0,67)
IV-5	46,54 (0,85)	46,25 (0,46)	45,72 (0,76)	44,25 (1,18)
IV-6	32,70 (0,30)	37,92 (0,37)	38,53 (0,76)	35,99 (0,70)
IV-7	46,44 (1,10)	46,52 (1,46)	47,90 (0,70)	45,58 (0,50)
IV-8	31,02 (1,32)	36,46 (0,71)	36,42 (0,52)	36,44 (0,99)
IV-9	45,66 (0,63)	46,38 (1,53)	47,87 (1,14)	44,91 (1,39)
IV-10	32,89 (0,17)	37,88 (0,78)	39,31 (0,75)	38,52 (2,10)
IV-11	45,39 (1,02)	54,09 (15,64)	47,25 (0,77)	45,22 (0,63)
IV-12	33,09 (0,60)	37,92 (0,61)	39,49 (0,82)	38,95 (0,32)
IV-13	43,67 (1,32)	44,50 (1,04)	44,59 (0,45)	44,42 (1,58)
IV-14	33,50 (0,30)	38,49 (0,51)	39,43 (1,31)	43,93 (1,38)

*ortalama değer, **standart sapma, Ü.K: üretim kodu *** her gruptan 5 adet deney numunesi test edilmiştir.

Farklı parçacık büyüklüğü ve oranlarda (nm ve μm) TiO_2 katılarak üretilen ve ilk, 6, 12 ve 18 aylık doğal yaşlandırma etkisinin deney numunelerini eğilme direnci değerleri üzerine önem düzeyini belirlemek amacıyla ANOVA testi uygulanmış ve elde edilen değerler Çizelge 4.68'de gösterilmiştir. Çizelge 4.68 incelendiğinde TiO_2 miktarı, LDMO ile DYS'nin deney numunelerinin eğilme direnci değerleri üzerine istatistiksel olarak önemli düzeyde etkili olduğu belirlenmiştir ($P<0.0001$).

Cizelge 4.68. Farklı parçacık büyüklüğü ve oranlarda (nm ve μm) TiO_2 katılımının eğilme direnci değerleri üzerine etkisine ait ANOVA sonuçları.

Test	Kaynak	Kareler Top,	DF	Kareler Ort.	F	p-value Prob > F
Eğilme direnci	Model	17715,52	63	281,20	297,16	< 0,0001significant
	A-Odun Unu Miktarı (%)	10211,68	1	10211,68	10791,44	< 0,0001
	B- TiO_2 Tipi	2,13	1	2,13	2,25	0,1350
	C- TiO_2 Miktarı (%)	2047,41	3	682,47	721,22	< 0,0001
	D-Yaşlandırma Süresi (Ay)	262,03	3	87,34	92,30	< 0,0001
	AB	56,70	1	56,70	59,92	< 0,0001
	AC	1437,18	3	479,06	506,26	< 0,0001
	AD	26,75	3	8,92	9,42	< 0,0001
	BC	12,52	3	4,17	4,41	0,0048
	BD	4,92	3	1,64	1,73	0,1606
	CD	2243,88	9	249,32	263,48	< 0,0001
	ABC	34,84	3	11,61	12,27	< 0,0001
	ABD	5,95	3	1,98	2,10	0,1013
	ACD	1295,94	9	143,99	152,17	< 0,0001
	BCD	39,15	9	4,35	4,60	< 0,0001
	ABCD	12,74	9	1,42	1,50	0,1495
	Pure Error	237,52	251	0,95		
	Cor Total	17953,03	314			

Farklı parçacık büyüklüğü ve oranlarda (nm ve μm) TiO_2 katılımının ilk, 6, 12 ve 18 ay doğal yaşlandırma işlemine tabi tutulmuş deney numunelerinin eğilme direncine etkileri Şekil 4.58 ve 59'da gösterilmiştir. Doğal yaşlandırma işlemine tabi tutulmamış en küçük eğilme direnci dolgu maddesi katılmamış %6 μm TiO_2 katılmış PP'de (31,02 MPa) en yüksek eğilme direnci ise dolgu maddesi katılmamış %3 nm TiO_2 katılmış (46,54 MPa) deney numunelerinde tespit edilmiştir. Doğal yaşlandırma işlemine tabi tutulmuş (6 ay) en küçük eğilme direnci dolgu maddesi katılmamış PP'de (24,67 MPa) en yüksek eğilme direnci ise %40KOU+%9 μm TiO_2 (54,09 MPa) deney numunelerinde tespit edilmiştir. Doğal yaşlandırma işlemine tabi tutulmuş (12 ay) en küçük eğilme direnci dolgu maddesi katılmamış PP'de (21,12 MPa) en yüksek eğilme direnci ise %40 KOU+%6 μm TiO_2 (47,90 MPa) deney numunelerinde tespit edilmiştir. Doğal yaşlandırma işlemine tabi tutulmuş (18 ay) en küçük eğilme direnci dolgu maddesi katılmamış PP'de (16,04 MPa) en yüksek eğilme direnci ise %40KOU+%3 μm TiO_2 (45,61 MPa) deney numunelerinde tespit edilmiştir. Doğal yaşlandırma işlemine tabi tutulmamış deney numunelerinin eğilme dirençleri 31,02 ile 46,34 MPa aralığında belirlenmiştir. Doğal yaşlandırma işlemine tabi tutulmuş deney numunelerinin eğilme dirençleri sırasıyla 6 ay 24,67 ile 54,09 MPa, 12 ay 21,12 ile 47,90 ve 18 ay 16,04 ile 45,61 aralığında belirlenmiştir. Şekil 4.49 incelendiğinde OPK içerisindeki lignoselülozik madde oranının artmasına paralel olarak kompozit

gruplarının eğilme direnci değerinde artışlar meydana gelmesine rağmen nm veya μm TiO_2 katılımını paralel olarak eğilme direnci değerlerini düşürdüğü görülmektedir.

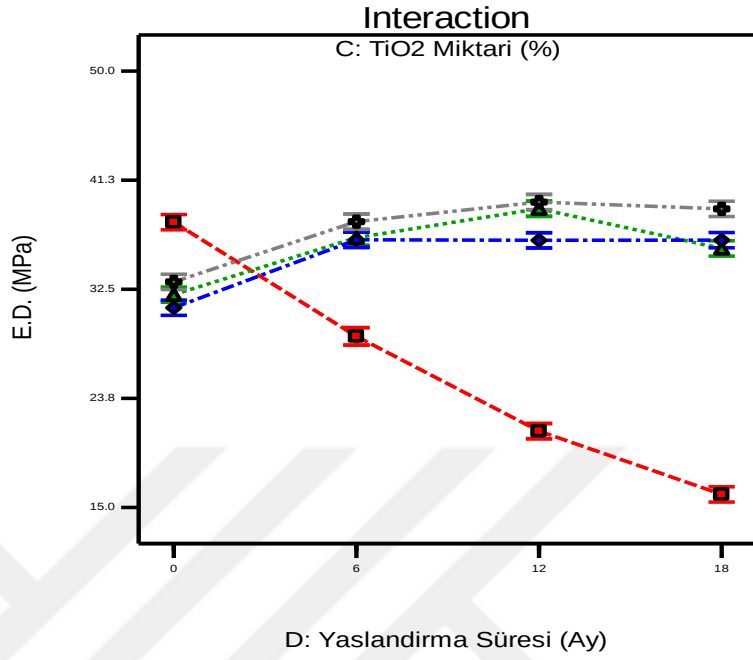
Design-Expert® Software

E.D. (MPa)

■ C1 0
▲ C2 3
◆ C3 6
+ C4 9

X1 = D: Yaslandırma Süresi (Ay)
X2 = C: TiO_2 Miktarı (%)

Actual Factors
A: Odun Unu Miktarı (%) = 0
B: TiO_2 Tipi = Mikron TiO_2



(a)

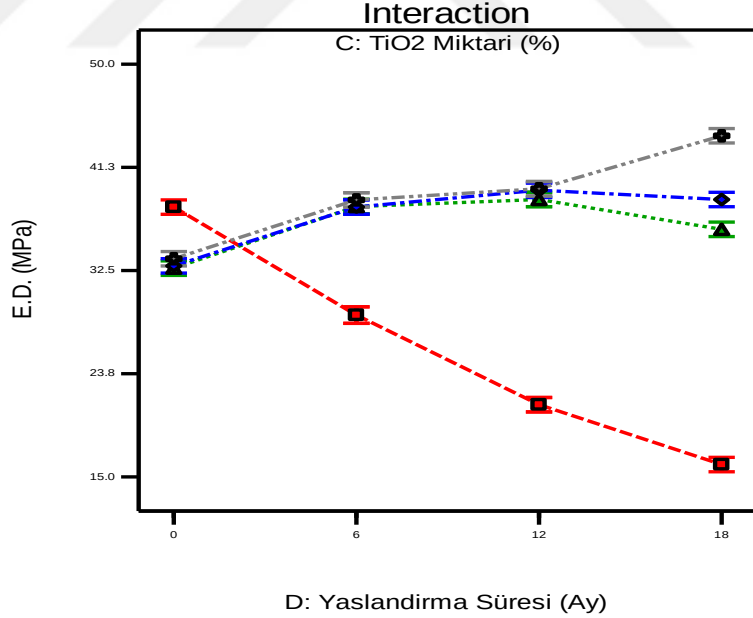
Design-Expert® Software

E.D. (MPa)

■ C1 0
▲ C2 3
◆ C3 6
+ C4 9

X1 = D: Yaslandırma Süresi (Ay)
X2 = C: TiO_2 Miktarı (%)

Actual Factors
A: Odun Unu Miktarı (%) = 0
B: TiO_2 Tipi = Nano TiO_2



(b)

Şekil 4.58. Deney numunelerinin eğilme direnci değerleri. a) Saf grup ve Mikron TiO_2 , b) Saf grup

Design-Expert® Software

E.D. (MPa)

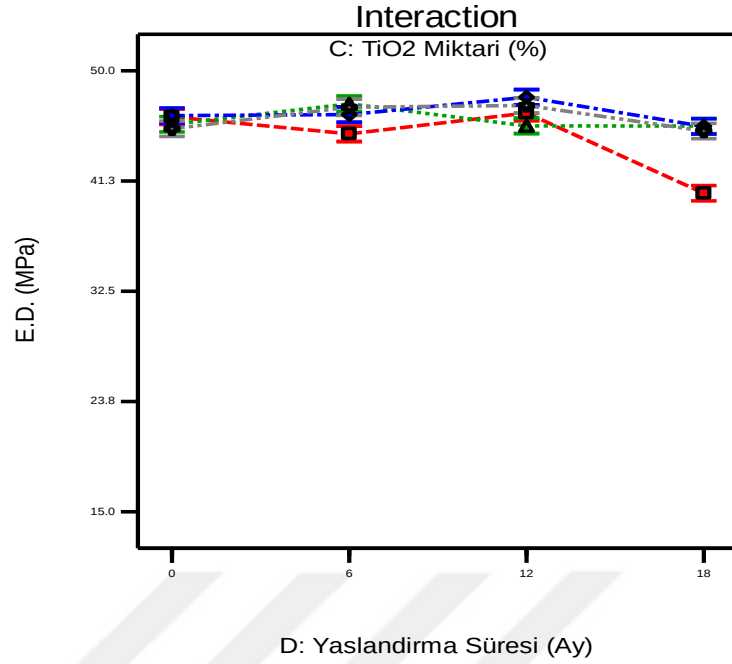
■ C1 0
▲ C2 3
◆ C3 6
+ C4 9

X1 = D: Yaslandirma Süresi (Ay)
X2 = C: TiO2 Miktarı (%)

Actual Factors

A: Odun Unu Miktarı (%) = 40

B: TiO2 Tipi = Mikron TiO2



(c)

Design-Expert® Software

E.D. (MPa)

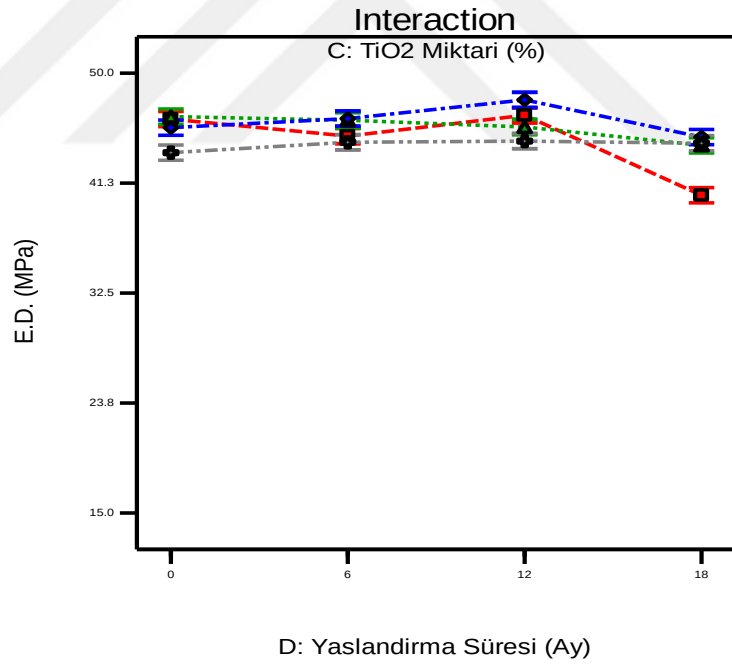
■ C1 0
▲ C2 3
◆ C3 6
+ C4 9

X1 = D: Yaslandirma Süresi (Ay)
X2 = C: TiO2 Miktarı (%)

Actual Factors

A: Odun Unu Miktarı (%) = 40

B: TiO2 Tipi = Nano TiO2



(d)

Şekil 4.59. Deney numunelerinin eğilme direnci değerleri nano TiO₂, c) Kompozit ve Mikron TiO₂ ve d) Kompozit ve Nano TiO₂.

Kompozit yapı içerisinde farklı oranlarda nm boyutta TiO₂ katılmasının μm boyuttaki TiO₂'ye göre kompozitlerin eğilme dirençlerini arttırdığı ancak bu artışın sadece KOU katılmış ve dolgu maddesi katılmamış PP'ye göre daha küçük olduğu gözlenmiştir.

Deney numunelerinin eğilme dirençleri üzerine doğal yaşlandırmanın etkileri incelendiğinde ise dolgu ve katkı maddesi oranı, türü ve sürenin etkili olduğu tespit edilmiştir. Deney numunelerinin içerisine μm veya nm TiO_2 katılmasının ilk, 6, 12 ve 18 ay yaşlandırma sonucunda eğilme direnci değerlerini saf PP'ye göre arttırdığı ancak bu artışın KOU+ μm veya nm TiO_2 katılımına oranla küçük olduğu tespit edilmiştir. Yaşlandırma sonucunda eğilme direnci arasında en fazla düşüş hiçbir dolgu maddesi ve katılmamış deney numunelerinde tespit edilmiştir. Doğal yaşlandırmaya tabi bırakılmış deney numunelerindeki eğilme direnci artış ve düşüşünün polimer zincirleri arasındaki boşluklar, kırılmalar ve bozunmalar sonucunda gerçekleştiği söylenebilir. Stark ve Matuana; eğilme direncindeki artış, HDPE'nin kristalleşmesinin veya çapraz bağlanmasının sonucu olabileceğini ve sürekli molekül ağırlığı bozulması nedeniyle zincir kesme işlemi, çapraz bağlama reaksiyonlarına göre daha baskın hale geldiğinde eğilme direncinde düşmeler olabileceğini belirtmişlerdir.

4.4.2.2. Elastikiyet modülü

Farklı parçacık büyüklüğü ve oranlarda (nm ve μm) TiO_2 katılımı ile üretilen deney numunelerinin doğal yaşlandırma (ilk, 6, 12 ve 18 ay) sonucunda eğilmede elastikiyet modülü değerleri belirlenmiştir. Doğal yaşlandırma (ilk, 6, 12 ve 18 ay) işlemine tabi tutulmuş deney numunelerinden elde edilen eğilmede elastikiyet modülü ortalama ve standart sapma değerleri Çizelge 4.69'da gösterilmiştir.

Çizelge 4.69. Doğal yaşlandırma (ilk, 6, 12 ve 18 ay) işlemine tabi tutulmuş deney numunelerinin ortalama eğilmede elastikiyet modülü ortalama ve standart sapma değerleri.

ÜK***	Eğilmede elastikiyet modülü (MPa)			
	İlk ay	6 ay	12 ay	18 ay
IV-1	2448,13* (69,51) **	2550,136 (19,92)	2868,64 (142,79)	2181,90 (62,47)
IV-2	1108,79 (50,60)	1099,878 (45,49)	610,27 (37,25)	413,77 (30,29)
IV-3	2006,82 (148,98)	2577,17 (43,62)	2648,63 (113,73)	2472,76 (60,31)
IV-4	868,22 (24,99)	1024,37 (24,16)	1220,94 (22,58)	1083,47 (39,43)
IV-5	2047,16 (194,45)	2617,29 (57,08)	2682,09 (122,34)	2556,53 (26,74)
IV-6	869,93 (43,99)	1095,72 (21,36)	1200,33 (25,22)	1087,57 (37,73)
IV-7	2212,85 (184,43)	2740,47 (57,06)	2968,84 (60,04)	2631,94 (66,62)
IV-8	700,52 (18,17)	1041,61 (16,56)	1146,78 (35,24)	1166,41 (47,28)
IV-9	2194,26 (176,39)	2754,92 (63,36)	3022,23 (59,98)	2652,69 (66,01)
IV-10	751,30 (42,77)	1103,65 (40,62)	1268,27 (27,09)	1255,35 (83,44)
IV-11	2188,45 (120,53)	3298,08 (1359,62)	2926,88 (83,77)	2633,44 (49,11)
IV-12	801,47 (94,54)	1115,56 (33,89)	1283,29 (36,74)	1262,15 (20,62)
IV-13	2156,67 (67,88)	2679,23 (48,77)	2480,35 (76,98)	2781,16 (87,21)
IV-14	882,63 (92,41)	1150,48 (15,71)	1291,38 (34,97)	1455,24 (46,24)

*ortalama değer, **standart sapma, Ü.K: üretim kodu *** her gruptan 5 adet deney numunesi test edilmiştir.

Farklı parçacık büyüklüğü ve oranlarda (nm ve μm) TiO_2 katılımının ilk, 6, 12 ve 18 ay doğal yaşlandırma Farklı parçacık büyüklüğü ve oranlarda (nm ve μm) TiO_2 katılarak üretilen ve ilk, 6, 12 ve 18 aylık doğal yaşlandırma etkisinin deney numunelerini eğilmede elastikiyet modülü değerleri üzerine önem düzeyini belirlemek amacıyla ANOVA testi uygulanmış ve elde edilen değerler Çizelge 4.70’te gösterilmiştir. Çizelge 4.70 incelendiğinde LDMO ve TiO_2 miktarı ile DYS’nin deney numunelerinin eğilmede elastikiyet modülü üzerine istatistiksel olarak önemli düzeyde etkili olduğu belirlenmiştir ($P < 0.0001$).

Çizelge 4.70. Farklı parçacık büyüklüğü ve oranlarda (nm ve μm) TiO_2 katılımının eğilmede elastikiyet modülü değerleri üzerine etkisine ait ANOVA sonuçları.

Test	Kaynak	Kareler Top,	DF	Kareler Ort.	F	p-value Prob > F
Eğilmede elastikiyet modülü	Model	1.990E+008	63	3.159E+006	1135,92	< 0,0001significant
	A-Odun Unu Miktarı (%)	1.744E+008	1	1.744E+008	62693,99	< 0,0001
	B- TiO_2 Tipi	33665.18	1	33665.18	12,10	0,0006
	C- TiO_2 Miktarı (%)	2.548E+006	3	8.494E+005	305,40	< 0,0001
	D-Yaşlandırma Süresi (Ay)	5.135E+006	3	1.712E+006	615,42	< 0,0001
	AB	51230.12	1	51230.12	18,42	< 0,0001
	AC	9.874E+005	3	3.291E+005	118,33	< 0,0001
	AD	1.257E+006	3	4.189E+005	150,61	< 0,0001
	BC	70550.02	3	23516.67	8,45	< 0,0001
	BD	92503.54	3	30834.51	11,09	< 0,0001
	CD	7.252E+006	9	8.058E+005	289,71	< 0,0001
	ABC	1.192E+005	3	39719.48	14,28	< 0,0001
	ABD	28295.49	3	9431.83	3,39	0,0187
	ACD	1.414E+006	9	1.572E+005	56,50	< 0,0001
	BCD	3.391E+005	9	37678.56	13,55	< 0,0001
	ABCD	1.850E+005	9	20559.22	7,39	< 0,0001
	Pure Error	6.731E+005	242	2781.40		
	Cor Total	1.997E+008	305			

Farklı parçacık büyüklüğü ve oranlarda (nm ve μm) TiO_2 katılımının ilk, 6, 12 ve 18 ay doğal yaşlandırma işlemine tabi tutulmuş deney numunelerinin eğilmede elastikiyet modülü etkileri Şekil 4.60 ve 61’de gösterilmiştir.

Design-Expert® Software

E.E.M. (MPa)

■ C1 0
▲ C2 3
◆ C3 6
✦ C4 9

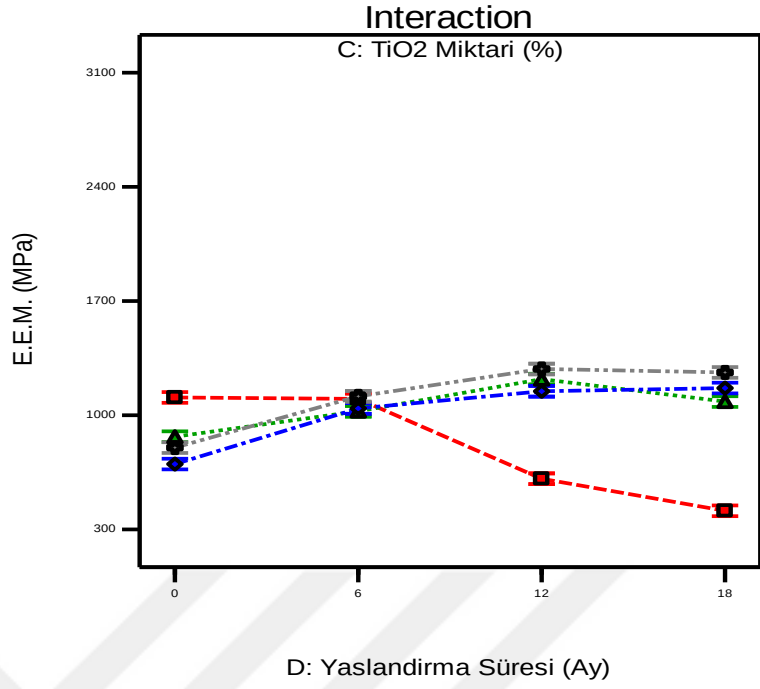
X1 = D: Yaslandirma Süresi (Ay)

X2 = C: TiO2 Miktarı (%)

Actual Factors

A: Odun Unu Miktarı (%) = 0

B: TiO2 Tipi = Mikron TiO2



(a)

Design-Expert® Software

E.E.M. (MPa)

■ C1 0
▲ C2 3
◆ C3 6
✦ C4 9

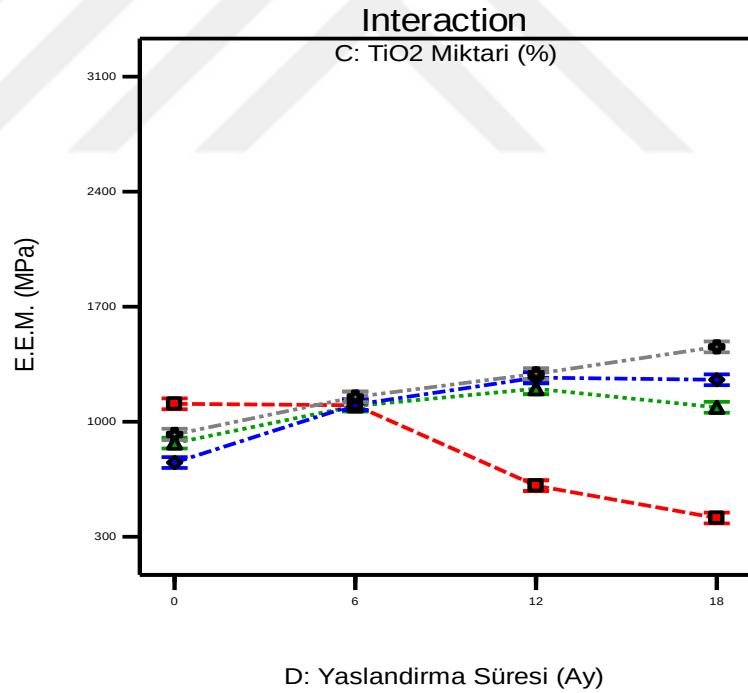
X1 = D: Yaslandirma Süresi (Ay)

X2 = C: TiO2 Miktarı (%)

Actual Factors

A: Odun Unu Miktarı (%) = 0

B: TiO2 Tipi = Nano TiO2



(b)

Şekil 4.60. Deney numunelerinin eğilmede elastikiyet modülü değerleri. a) Saf grup ve Mikron TiO₂, b) Saf grup.

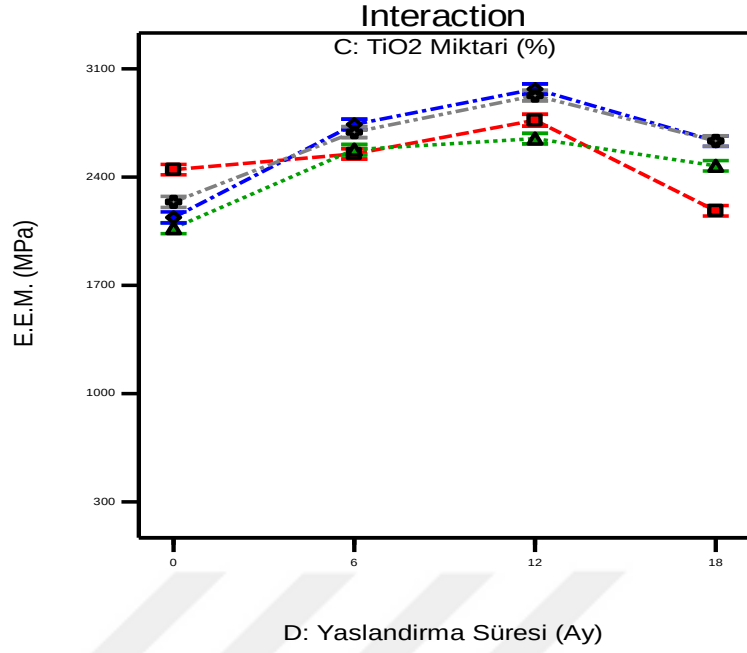
Design-Expert® Software

E.E.M. (MPa)

■ C1 0
▲ C2 3
◆ C3 6
+ C4 9

X1 = D: Yaslandırma Süresi (Ay)
X2 = C: TiO2 Miktarı (%)

Actual Factors
A: Odun Unu Miktarı (%) = 40
B: TiO2 Tipi = Mikron TiO2



(c)

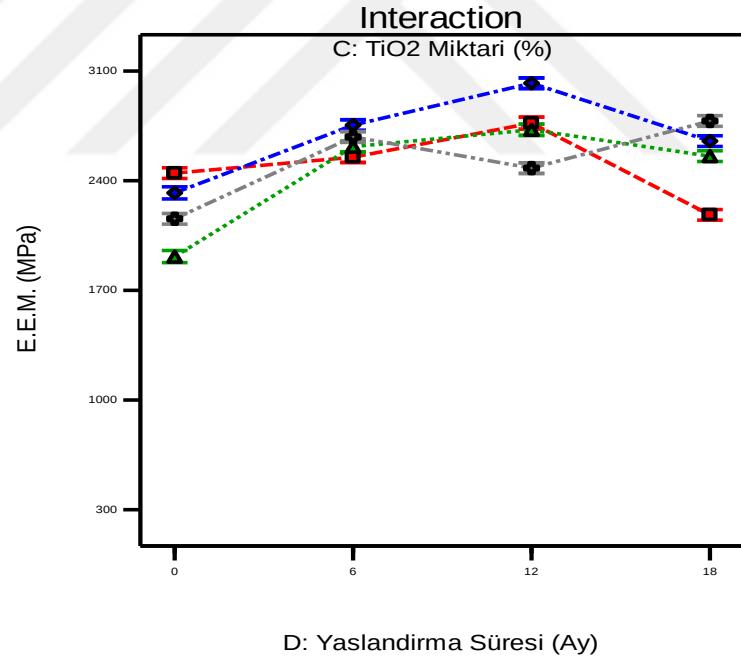
Design-Expert® Software

E.E.M. (MPa)

■ C1 0
▲ C2 3
◆ C3 6
+ C4 9

X1 = D: Yaslandırma Süresi (Ay)
X2 = C: TiO2 Miktarı (%)

Actual Factors
A: Odun Unu Miktarı (%) = 40
B: TiO2 Tipi = Nano TiO2



(d)

Şekil 4.61. Deney numunelerinin eğilmede elastikiyet modülü değerleri nano TiO₂, c) Kompozit ve Mikron TiO₂ ve d) Kompozit ve Nano TiO₂.

Doğal yaşlandırma işlemine tabi tutulmamış en küçük eğilmede elastikiyet modülü dolgu maddesi katılmamış %3 μm TiO₂ katılmış PP'de (868,22 MPa) en yüksek ise %40KOU dolgu maddesi katılmış (2448,13MPa) deney numunelerinde tespit edilmiştir.

Doğal yaşlandırma işlemine tabi tutulmuş (6 ay) en küçük eğilmede elastikiyet modülü dolgu maddesi katılmamış %3 μm TiO_2 PP'de (1024,37 MPa) en yüksek ise dolgu maddesi katılmış %40KOU+%9 μm TiO_2 (3298,08 MPa) deney numunelerinde tespit edilmiştir. Doğal yaşlandırma işlemine tabi tutulmuş (12 ay) en küçük eğilmede elastikiyet modülü dolgu maddesi katılmamış PP'de (610,27 MPa) en yüksek eğilmede elastikiyet modülü ise %40 KOU+%6 μm TiO_2 (3022,23 MPa) deney numunelerinde tespit edilmiştir. Doğal yaşlandırma işlemine tabi tutulmuş (18 ay) en küçük eğilmede elastikiyet modülü dolgu maddesi katılmamış PP'de (413,77 MPa) en yüksek ise %40KOU+%6 nm TiO_2 (2652,69 MPa) deney numunelerinde tespit edilmiştir. Doğal yaşlandırma işlemine tabi tutulmamış deney numunelerinin eğilmede elastikiyet modülü 868,22 ile 2448,13MPa aralığında belirlenmiştir. Doğal yaşlandırma işlemine tabi tutulmuş deney numunelerinin eğilme dirençleri sırasıyla 6 ay 1024,37 ile 3298,08 MPa, 12 ay 610,27 ile 3022,23 MPa ve 18 ay 413,77 ile 2652,69 MPa aralığında belirlenmiştir. Şekil 4.51 incelendiğinde OPK içerisindeki lignoselülozik madde oranının artmasına paralel olarak kompozit gruplarının eğilmede elastikiyet modülü değerinde artışlar meydana gelmesine rağmen nm veya μm TiO_2 katılımını paralel olarak eğilmede elastikiyet modülü değerlerini saf PP'ye ve KOU kullanımına göre düşürdüğü görülmektedir. Kompozit yapı içerisinde farklı oranlarda nm boyutta TiO_2 katılmasının μm boyuttaki TiO_2 'ye göre kompozitlerin eğilme dirençlerini arttırdığı ancak bu artışın sadece KOU katılmış ve dolgu maddesi katılmamış PP'ye göre daha küçük olduğu gözlenmiştir. Deney numunelerinin eğilme dirençleri üzerine doğal yaşlandırmanın etkileri incelendiğinde ise dolgu ve katkı maddesi oranı, türü ve sürenin etkili olduğu tespit edilmiştir. Deney numunelerinin içerisine μm veya nm TiO_2 katılmasının ilk, 6, 12 ve 18 ay yaşlandırma sonucunda eğilmede elastikiyet modülü değerlerini saf PP'ye göre arttırdığı ancak bu artışın KOU+ μm veya nm TiO_2 katılımına oranla küçük olduğu tespit edilmiştir. Yaşlandırma sonucunda eğilmede elastikiyet modülü arasında en fazla düşüşün eğilme direncinde olduğu gibi saf PP deney numunelerinde tespit edilmiştir. Doğal yaşlandırmaya tabi bırakılmış deney numunelerindeki eğilmede elastikiyet modülü artış ve düşüşünün polimer zincirleri arasındaki boşluklar, kırılmalar ve bozunmalar sonucunda gerçekleştiği söylenebilir. Stark ve Matuana kompozitin yapısında oluşabilecek mikro-çatlaklar, eğilme direncinde azalmaya ve matristeki gerilmeleri azaltmaya yol açtığını belirtmişlerdir.

4.4.2.3. Çekme direnci

Farklı parçacık büyüklüğü ve oranlarda (nm ve μm) TiO_2 katılımı ile üretilen deney numunelerinin doğal yaşlandırma (ilk, 6, 12 ve 18 ay) sonucunda çekme direnci değerleri belirlenmiştir. Doğal yaşlandırma (ilk, 6, 12 ve 18 ay) işlemine tabi tutulmuş deney numunelerinden elde edilen çekme direnci ortalama ve standart sapma değerleri Çizelge 4.71’de gösterilmiştir.

Çizelge 4.71. Doğal yaşlandırma (ilk, 6, 12 ve 18 ay)işlemine tabi tutulmuş deney numunelerinin ortalama çekme direnci ortalama ve standart sapma değerleri.

ÜK***	Çekme direnci (MPa)			
	0	6 ay	12 ay	18 ay
IV-1	25,00* (0,51) **	26,68 (0,57)	25,78 (0,29)	24,96 (0,64)
IV-2	29,29 (0,17)	12,19 (0,84)	14,42 (0,27)	10,96 (0,28)
IV-3	24,90 (0,25)	28,56 (0,55)	27,62 (0,71)	26,51 (0,71)
IV-4	25,66 (0,29)	28,48 (0,64)	28,51 (0,23)	29,00 (1,25)
IV-5	24,40 (0,46)	26,64 (0,34)	27,07 (1,03)	25,58 (0,36)
IV-6	25,99 (0,31)	29,93 (0,63)	29,42 (0,25)	27,62 (0,38)
IV-7	24,72 (0,24)	26,98 (0,47)	27,29 (0,50)	26,16 (0,30)
IV-8	25,85 (0,23)	28,47 (0,24)	28,49 (0,20)	27,68 (0,86)
IV-9	24,66 (0,25)	26,98 (0,26)	26,57 (0,16)	24,96 (1,44)
IV-10	27,13 (0,23)	29,71 (0,65)	30,38 (0,21)	28,57 (0,24)
IV-11	24,36 (0,26)	27,01 (0,31)	28,08 (0,38)	26,80 (0,61)
IV-12	27,11 (0,30)	30,99 (0,24)	30,22 (0,26)	29,12 (0,21)
IV-13	24,48 (0,40)	26,01 (0,61)	27,22 (0,61)	25,75 (0,53)
IV-14	27,68 (0,20)	30,49 (0,57)	30,48 (0,28)	28,40 (0,21)

*ortalama değer, **standart sapma, Ü.K: üretim kodu *** her gruptan 5 adet deney numunesi test edilmiştir.

Farklı parçacık büyüklüğü ve oranlarda (nm ve μm) TiO_2 katılarak üretilen ve ilk, 6, 12 ve 18 aylık doğal yaşlandırma etkisinin deney numunelerini çekme direnci değerleri üzerine önem düzeyini belirlemek amacıyla ANOVA testi uygulanmış ve elde edilen değerler Çizelge 4.72’de gösterilmiştir. Çizelge 4.72 incelendiğinde LDMO ve TiO_2 oranı ile DYS’nin deney numunelerinin çekme direnci değerleri üzerine istatistiksel olarak önemli düzeyde etkili olduğu belirlenmiştir ($P<0.0001$).

Çizelge 4.72. Farklı parçacık büyüklüğü ve oranlarda (nm ve μm) titanyum dioksit katılımının odun plastik kompozitlerin çekme direnci değerleri üzerine etkisine ait ANOVA sonuçları.

Test	Kaynak	Kareler Top.	DF	Kareler Ort.	F	p-value Prob > F
Çekme direnci	Model	6851,52	63	108,75	536,34	< 0,0001significant
	A-Odun Unu Miktarı (%)	21,93	1	21,93	108,13	< 0.0001
	B- TiO ₂ Tipi	0,38	1	0,38	1,87	0,1723
	C- TiO ₂ Miktarı (%)	2353,33	3	784,44	3868,63	< 0.0001
	D-Yaşlandırma Süresi (Ay)	96,91	3	32,30	159,32	< 0.0001
	AB	15,91	1	15,91	78,48	< 0.0001
	AC	1904,40	3	634,80	3130,63	< 0.0001
	AD	257,97	3	85,99	424,08	< 0.0001
	BC	11,34	3	3,78	18,64	< 0.0001
	BD	5,46	3	1,82	8,98	< 0.0001
	CD	1219,77	9	135,53	668,39	< 0.0001
	ABC	8,31	3	2,77	13,65	< 0.0001
	ABD	4,20	3	1,40	6,90	0.0002
	ACD	943,78	9	104,86	517,16	< 0.0001
	BCD	4,96	9	0,55	2,72	0,0049
	ABCD	9,79	9	1,09	5,36	< 0.0001
	Pure Error	50,90	251	0,20		
	Cor Total	6902,41	314			

Farklı parçacık büyüklüğü ve oranlarda (nm ve μm) TiO₂ katılımının ilk, 6, 12 ve 18 ay doğal yaşlandırma işlemine tabi tutulmuş deney numunelerinin çekme direncine etkileri Şekil 4.62 ve 63'te gösterilmiştir.

Doğal yaşlandırma işlemine tabi tutulmamış en küçük çekme direnci dolgu maddesi katılmış %9 μm TiO₂ katılmış (24,36 MPa) en yüksek ise dolgu maddesi katılmamış PP (29,29 MPa) deney numunelerinde tespit edilmiştir. Doğal yaşlandırma işlemine tabi tutulmuş (6 ay) en düşük çekme direnci dolgu maddesi katılmamış PP'de (12,19 MPa), en yüksek ise dolgu maddesi katılmamış +%9 μm TiO₂ (30,99 MPa) deney numunelerinde tespit edilmiştir. Doğal yaşlandırma işlemine tabi tutulmuş (12 ay) en küçük çekme direnci dolgu maddesi katılmamış PP'de (14,42 MPa) en yüksek çekme direnci ise dolgu maddesi katılmamış PP'de %9 nm TiO₂ (30,48 MPa) deney numunelerinde tespit edilmiştir. Doğal yaşlandırma işlemine tabi tutulmuş (18 ay) en küçük çekme direnci dolgu maddesi katılmamış PP'de (10,96 MPa) en yüksek çekme direnci ise dolgu maddesi katılmamış %3 μm TiO₂ (29,00 MPa) deney numunelerinde tespit edilmiştir. Doğal yaşlandırma işlemine tabi tutulmamış deney numunelerinin çekme dirençleri 24,40 ile 29,29 MPa aralığında belirlenmiştir. Doğal yaşlandırma işlemine tabi tutulmuş deney numunelerinin çekme dirençleri sırasıyla 6 ay 12,19 ile 30,99 MPa, 12 ay 14,42 ile 30,48 ve 18 ay 10,96 ile 29,00 aralığında belirlenmiştir. Şekil 4.63 incelendiğinde OPK içerisindeki lignoselülozik madde

oranına paralel olarak kompozit gruplarının çekme direnci değerinde düşmeler meydana geldiği, zamana bağlı olarak dolgu maddesi katılmamış PP'de fazla düşmeler olmasına rağmen nm veya μm TiO_2 katılımını paralel olarak çekme direnci değerlerinde artışlar meydana geldiği görülmektedir.

Design-Expert® Software

Ç.D. (MPa)

■ C1 0
▲ C2 3
◆ C3 6
+ C4 9

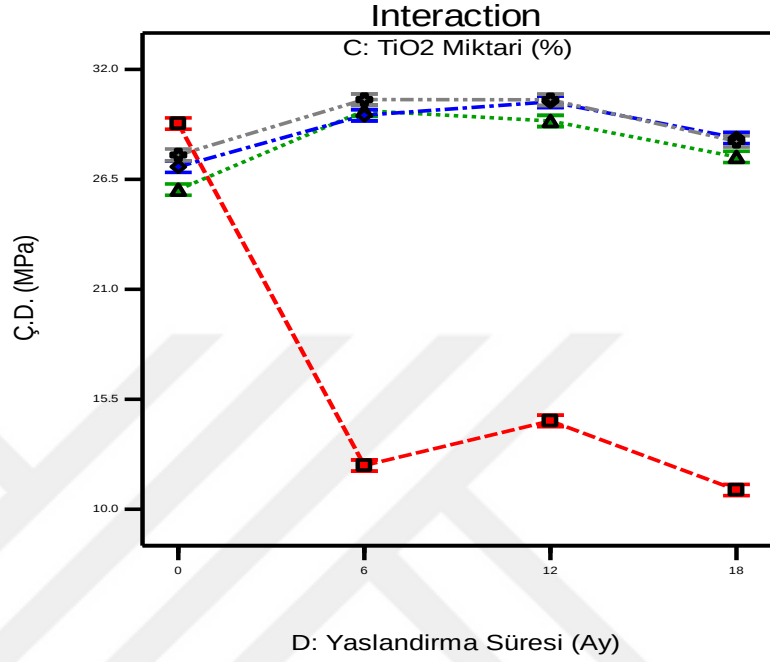
X1 = D: Yaslandirma Süresi (Ay)

X2 = C: TiO2 Miktarı (%)

Actual Factors

A: Odun Unu Miktarı (%) = 0

B: TiO2 Tipi = Nano TiO2



(a)

Design-Expert® Software

Ç.D. (MPa)

■ C1 0
▲ C2 3
◆ C3 6
+ C4 9

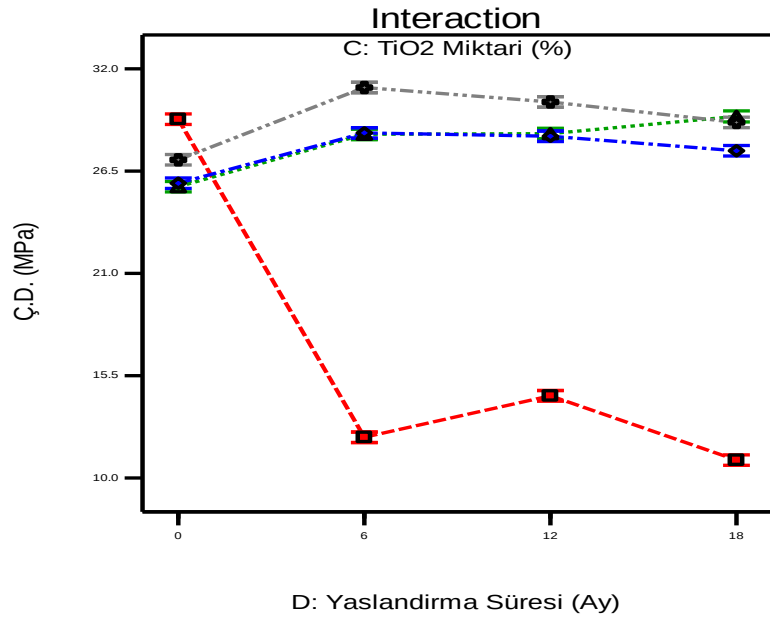
X1 = D: Yaslandirma Süresi (Ay)

X2 = C: TiO2 Miktarı (%)

Actual Factors

A: Odun Unu Miktarı (%) = 0

B: TiO2 Tipi = Mikron TiO2



(b)

Şekil 4.62. Deney numunelerinin çekme direnci değerleri nano TiO_2 , a) Saf grup ve Mikron TiO_2 , b) Saf grup.

Design-Expert® Software

Ç.D. (MPa)

■ C1 0
▲ C2 3
◆ C3 6
+ C4 9

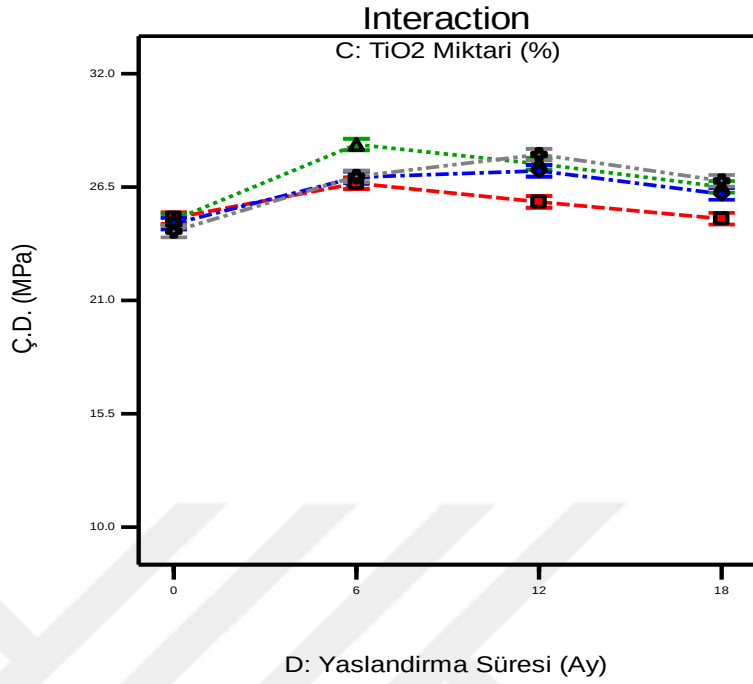
X1 = D: Yaslandirma Süresi (Ay)

X2 = C: TiO2 Miktarı (%)

Actual Factors

A: Odun Unu Miktarı (%) = 40

B: TiO2 Tipi = Mikron TiO2



(c)

Design-Expert® Software

Ç.D. (MPa)

■ C1 0
▲ C2 3
◆ C3 6
+ C4 9

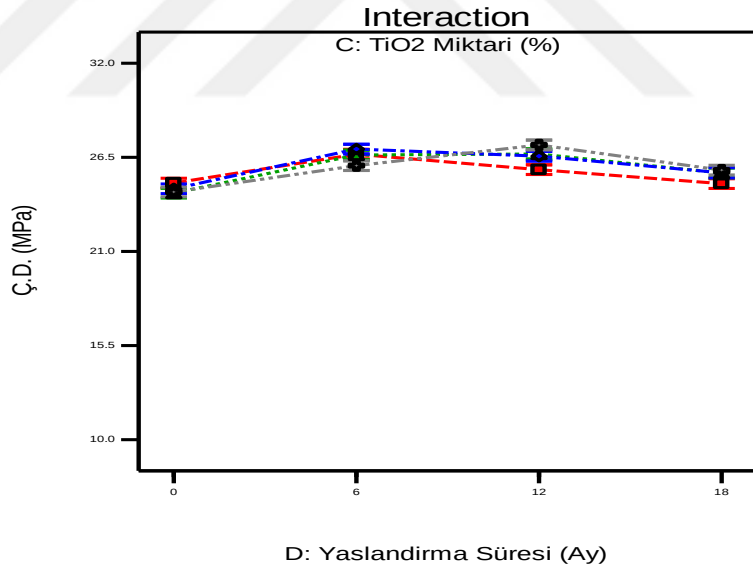
X1 = D: Yaslandirma Süresi (Ay)

X2 = C: TiO2 Miktarı (%)

Actual Factors

A: Odun Unu Miktarı (%) = 40

B: TiO2 Tipi = Nano TiO2



(d)

Şekil 4.63. Deney numunelerinin çekme direnci değerleri nano TiO2, c) Kompozit ve Mikro TiO2 ve d) Kompozit ve Nano TiO2.

Kompozit yapı içerisinde farklı oranlarda nm boyutta TiO2 katılmasının μm boyuttaki TiO2'ye göre kompozitlerin çekme dirençlerini arttırdığı ancak bu artışın sadece KOU katılmış ve dolgu maddesi katılmamış PP'ye göre zamana bağlı olarak arttığı gözlenmiştir. Deney numunelerinin çekme dirençleri üzerine doğal yaşlandırmanın etkileri

incelendiğinde ise dolgu ve katkı maddesi oranı, türü ve sürenin etkili olduğu tespit edilmiştir. Deney numunelerinin içerisinde μm veya nm TiO_2 katılmasının ilk, 6, 12 ve 18 ay yaşlandırma sonucunda çekme direnci değerlerinde yaşlandırma yapışmamış deney numunelerinde saf PP'ye göre arttırmadığı ancak yaşlandırma süresine bağlı olarak arttırdığı ve bu artışın μm TiO_2 katılımına göre nm TiO_2 katılımı ile daha da arttığı tespit edilmiştir. Yaşlandırma sonucunda çekme direnci arasında en fazla düşüş hiçbir dolgu maddesi ve katılmamış deney numunelerinde tespit edilmiştir. Doğal yaşlandırmaya tabi bırakılmış deney numunelerindeki çekme direnci artış ve düşüşünün polimer zincirleri arasındaki boşluklar, kırılmalar ve bozunmalar sonucunda gerçekleştiği söylenebilir. Ek olarak yaşlandırma sonucunda bu deney numunesinde oluşan bozunma ve kenarlarından parça atma gibi değişimler görsel olarak tespit edilmiştir. Doğal yaşlandırılmış deney numunelerinin ilk, 6, 12 ve 18 aylık gerilme gevşeme direncinde linear bir şekilde 13 deney numunesinde artış tespit edilmiştir. Bununla birlikte, saf PP'de, 6, 12 ve 18 aylık hava koşullarından sonra önemli ölçüde bir düşme oldu tespit edilmiştir.

Çekmede elastikiyet modülü

Farklı parçacık büyüklüğü ve oranlarda (nm ve μm) TiO_2 katılımı ile üretilen deney numunelerinin doğal yaşlandırma (ilk, 6, 12 ve 18 ay) sonucunda çekme direnci değerleri belirlenmiştir. Doğal yaşlandırma (ilk, 6, 12 ve 18 ay) işlemine tabi tutulmuş deney numunelerinden elde edilen çekme direnci ortalama ve standart sapma değerleri Çizelge 4.73'te gösterilmiştir.

Çizelge 4.73. Doğal yaşlandırma (ilk, 6, 12 ve 18 ay) işlemine tabi tutulmuş deney numunelerinin ortalama çekmede elastikiyet modülü ortalama ve standart sapma değerleri.

ÜK***	Çekmede elastikiyet modülü (MPa)			
	İlk	6 ay	12 ay	18 ay
IV-1	834,41* (47,01)**	775,07 (36,58)	906,81 (15,19)	849,56 (13,23)
IV-2	469,80 (27,29)	472,45 (33,52)	404,77 (6,33)	323,20 (12,85)
IV-3	781,64 (60,17)	802,79 (44,63)	869,04 (25,60)	888,05 (26,17)
IV-4	380,38 (31,90)	436,42 (22,49)	507,08 (16,50)	534,41 (34,96)
IV-5	849,43 (54,89)	786,41 (36,77)	1008,39 (30,19)	958,18 (13,19)
IV-6	372,43 (12,57)	325,72 (82,67)	532,14 (13,03)	499,69 (12,41)
IV-7	862,01 (70,02)	819,92 (75,82)	1019,37 (30,37)	976,93 (20,45)
IV-8	362,62 (53,78)	391,44 (36,15)	490,70 (16,00)	504,18 (16,50)
IV-9	869,18 (54,16)	824,17 (53,54)	988,34 (49,53)	980,94 (40,98)
IV-10	436,83 (13,25)	504,74 (14,53)	599,47 (4,40)	550,55 (4,89)
IV-11	880,34 (55,99)	726,59 (130,85)	1049,76 (40,43)	990,36 (11,60)
IV-12	443,25 (16,98)	451,21 (147,74)	574,35 (10,11)	544,30 (9,74)
IV-13	776,73 (45,77)	849,17 (113,18)	1005,63 (28,10)	1006,31 (16,33)
IV-14	373,90 (104,22)	372,45 (113,93)	577,69 (19,26)	300,02 (111,14)

*ortalama değer, **standart sapma, Ü.K: üretim kodu *** her gruptan 5 adet deney numunesi test edilmiştir.

Farklı parçacık büyüklüğü ve oranlarda (nm ve μm) TiO_2 katılarak üretilen ve ilk, 6, 12 ve 18 aylık doğal yaşlandırma etkisinin deney numunelerini çekmede elastikiyet modülü değerleri üzerine önem düzeyini belirlemek amacıyla ANOVA testi uygulanmış ve elde edilen değerler Çizelge 4.74'te gösterilmiştir. Çizelge 4.74 incelendiğinde LDMO ve TiO_2 miktarı ile DYS'nin deney numunelerinin çekmede elastikiyet modülü değerleri üzerine istatistiksel olarak önemli düzeyde etkili olduğu belirlenmiştir ($P < 0.0001$).

Çizelge 4.74. Farklı parçacık büyüklüğü ve oranlarda (nm ve μm) TiO_2 katılımının çekmede elastikiyet modülü değerleri üzerine etkisine ait ANOVA sonuçları.

Test	Kaynak	Kareler Top.	DF	Kareler Ort.	F	p-value Prob > F
Çekmede elastikiyet modülü	Model	1.663E+007	63	2.640E+005	145,31	< 0,0001significant
	A-Odun Unu Miktarı (%)	1.451E+007	1	1.451E+007	7986.93	< 0.0001
	B- TiO_2 Tipi	1556.28	1	1556.28	0,86	0,3556
	C- TiO_2 Miktarı (%)	2.467E+005	3	82236.27	45,26	< 0.0001
	D-Yaşlandırma Süresi (Ay)	7.892E+005	3	2.631E+005	144,80	< 0.0001
	AB	10298.97	1	10298.97	5,67	0.0180
	AC	7306.87	3	2435.62	1,34	0.2617
	AD	2.037E+005	3	67910.61	37,38	< 0.0001
	BC	81841.81	3	27280.60	15,02	< 0.0001
	BD	17196.82	3	5732.27	3,15	0.0255
	CD	3.830E+005	9	42559.07	23,42	< 0.0001
	ABC	1.140E+005	3	37992.22	20,91	< 0.0001
	ABD	36902.13	3	12300.71	6,77	0,0002
	ACD	1.654E+005	9	18382.23	10,12	< 0.0001
	BCD	86039.91	9	9559.99	5,26	< 0.0001
	ABCD	84277.26	9	9364.14	5,15	< 0.0001
	Pure Error	4.524E+005	249	1816.89		
	Cor Total	1.708E+007	312			

Doğal yaşlandırma işlemine tabi tutulmamış en küçük çekmede elastikiyet modülü değeri dolgu maddesi katılmış %40KOU+%9 μm TiO_2 katılmış (362,62 MPa) en yüksek ise dolgu maddesi katılmamış PP (880,34 MPa) deney numunelerinde tespit edilmiştir. Doğal yaşlandırma işlemine tabi tutulmuş (6 ay) en küçük çekmede elastikiyet modülü değeri %40KOU+ PP'de (325,72 MPa) en yüksek ise %40KOU+%9 nm TiO_2 (849,17 MPa) deney numunelerinde tespit edilmiştir. Doğal yaşlandırma işlemine tabi tutulmuş (12 ay) en küçük çekmede elastikiyet modülü değeri dolgu maddesi katılmamış PP'de (404,77 MPa) en yüksek ise %40 KOU%9 μm TiO_2 (1049,76 MPa) deney numunelerinde tespit edilmiştir.

Farklı parçacık büyüklüğü ve oranlarda (nm ve μm) TiO_2 katılımının ilk, 6, 12 ve 18 ay doğal yaşlandırma işlemine tabi tutulmuş deney numunelerinin çekmede elastikiyet modülü değerlerine etkileri Şekil 4.64 ve 65'te gösterilmiştir.

Design-Expert® Software

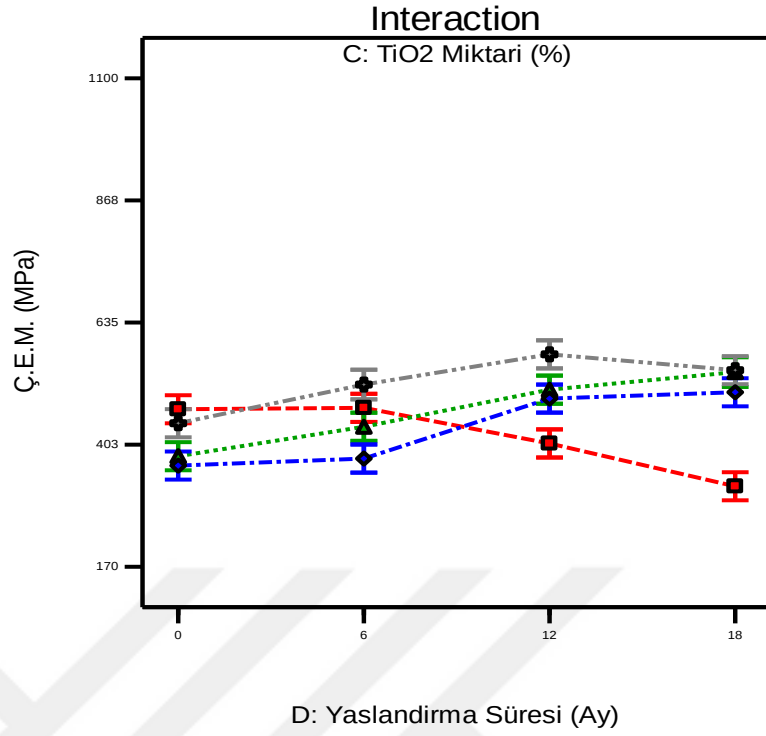
Ç.E.M. (MPa)

■ C1 0
▲ C2 3
◆ C3 6
+ C4 9

X1 = D: Yaslandirma Süresi (Ay)
X2 = C: TiO2 Miktarı (%)

Actual Factors

A: Odun Unu Miktarı (%) = 0
B: TiO2 Tipi = Mikron TiO2



(a)

Design-Expert® Software

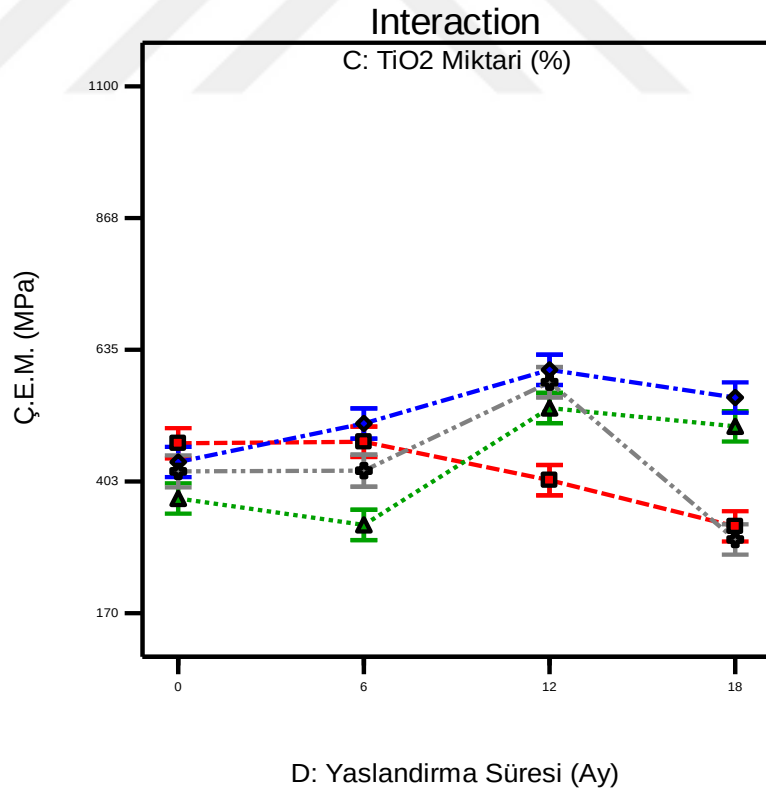
Ç.E.M. (MPa)

■ C1 0
▲ C2 3
◆ C3 6
+ C4 9

X1 = D: Yaslandirma Süresi (Ay)
X2 = C: TiO2 Miktarı (%)

Actual Factors

A: Odun Unu Miktarı (%) = 0
B: TiO2 Tipi = Nano TiO2



(b)

Şekil 4.64. Deney numunelerinin çekmede elastikiyet modülü değerleri a) Saf grup ve Mikro TiO2, b) Saf grup.

Design-Expert® Software

Ç.E.M. (MPa)

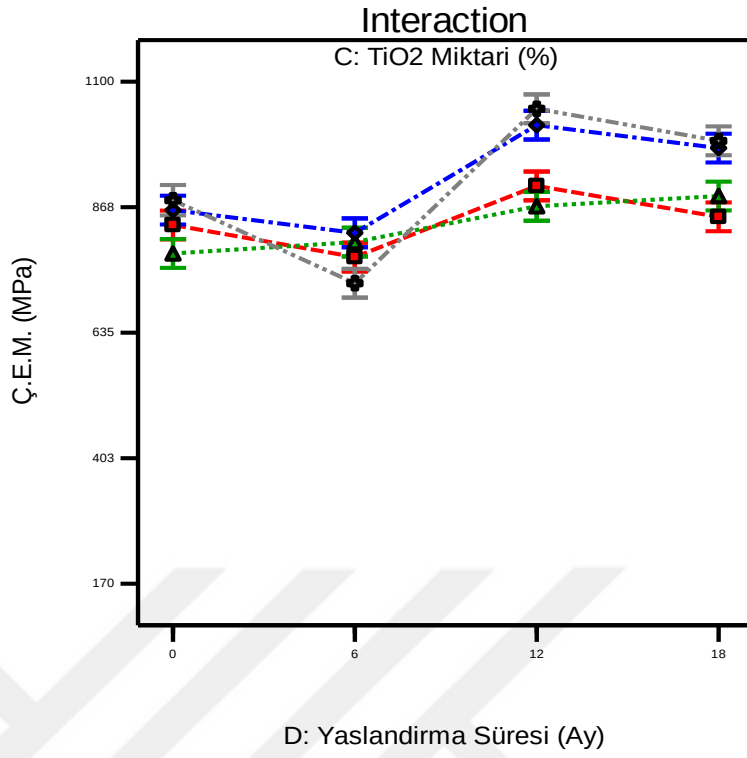
■ C1 0
▲ C2 3
◆ C3 6
✦ C4 9

X1 = D: Yaslandırma Süresi (Ay)
X2 = C: TiO2 Miktarı (%)

Actual Factors

A: Odun Unu Miktarı (%) = 40

B: TiO2 Tipi = Mikron TiO2



(c)

Design-Expert® Software

Ç.E.M. (MPa)

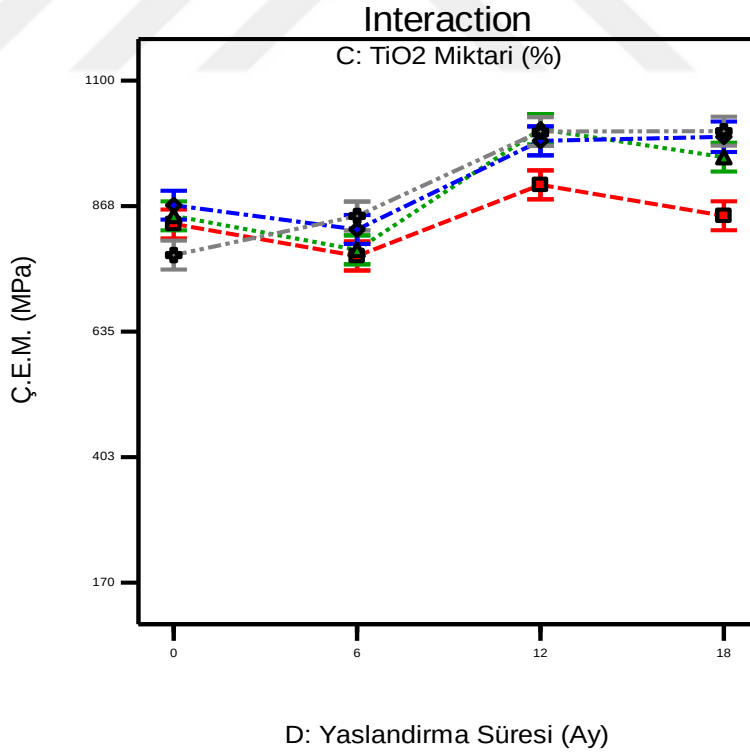
■ C1 0
▲ C2 3
◆ C3 6
✦ C4 9

X1 = D: Yaslandırma Süresi (Ay)
X2 = C: TiO2 Miktarı (%)

Actual Factors

A: Odun Unu Miktarı (%) = 40

B: TiO2 Tipi = Nano TiO2



(d)

Şekil 4.65. Deney numunelerinin çekmede elastikiyet modülü değerleri c) Kompozit ve Mikro TiO2 ve d) Kompozit ve Nano TiO2.

Doğal yaşlandırma işlemine tabi tutulmuş (18 ay) en küçük çekmede elastikiyet modülü değeri dolgu maddesi katılmamış, %9 nm TiO_2 katılmış PP'de (300,02 MPa) en yüksek ise %40KOU+%9 nm TiO_2 (1006,31 MPa) deney numunelerinde tespit edilmiştir. Doğal yaşlandırma işlemine tabi tutulmamış deney numunelerinin çekme dirençleri 362,62 ile 880,34 MPa aralığında belirlenmiştir. Doğal yaşlandırma işlemine tabi tutulmuş deney numunelerinin çekme dirençleri sırasıyla 6 ay 325,72 ile 849,17 MPa, 12 ay 404,77 ile 1049,76 ve 18 ay 300,02 ile 1006,31 aralığında belirlenmiştir.

Şekil 4.65 incelendiğinde OPK içerisindeki lignoselülozik madde ve TiO_2 oranına paralel olarak kompozit gruplarının çekmede elastikiyet modülü değerinde artış meydana geldiği görülmüştür. Yaşlandırma süresine bağlı olarak dolgu maddesi katılmamış PP'de fazla düşmeler olmasına rağmen nm veya μm TiO_2 katılımına paralel olarak çekmede elastikiyet modülü değerlerinde PP'ye göre azalmalar meydana geldiği ancak yaşlandırma zamanına bağlı olarak bu azalmaların PP'ye göre artarak çekmede elastikiyet modülünü iyileştirdiği tespit edilmiştir.

Kompozit yapı içerisinde farklı oranlarda nm boyutta TiO_2 katılmasının μm boyuttaki TiO_2 'ye göre kompozitlerin çekmede elastikiyet modülü değerini arttırdığı ancak bu artışın sadece KOU katılmış ve dolgu maddesi katılmamış PP'ye göre zamana bağlı olarak arttığı gözlenmiştir. Deney numunelerinin çekme dirençleri üzerine doğal yaşlandırmanın etkileri incelendiğinde ise dolgu ve katkı maddesi oranı, türü ve sürenin etkili olduğu tespit edilmiştir. Deney numunelerinin içerisine μm veya nm TiO_2 katılmasının ilk, 6, 12 ve 18 ay yaşlandırma sonucunda çekmede elastikiyet modülü değerlerinde yaşlandırma süresine bağlı olarak arttırdığı ve bu artışın μm TiO_2 katılımına göre nm TiO_2 katılımı ile daha da arttığı tespit edilmiştir. Yaşlandırma sonucunda çekmede elastikiyet modülü değeri arasında en fazla düşüş hiçbir dolgu maddesi ve katılmamış deney numunelerinde tespit edilmiştir. Doğal yaşlandırmaya tabi bırakılmış deney numunelerindeki çekmede elastikiyet modülü değeri artış ve düşüşünün polimer zincirleri arasındaki boşluklar, kırılmalar ve bozunmalar sonucunda gerçekleştiği söylenebilir. Ek olarak yaşlandırma sonucunda bu deney numunesinde oluşan bozunma ve kenarlarından parça atma gibi değişimler görsel olarak tespit edilmiştir. bunun nedeni olarak PP'nin kırılgan hale gelip dağılmaya başlamasıdır Literatürde nano boyutlu parçacıkların bir polimer matrisi içerisine eklenmesi ile çekme direncini arttırdığı bildirilmiştir (Hussain ve ark., 2006).

Kopmada uzama miktarı

Farklı parçacık büyüklüğü ve oranlarda (nm ve μm) TiO_2 katılımı ile üretilen deney numunelerinin doğal yaşlandırma (ilk, 6, 12 ve 18 ay) sonucunda kopmada uzama miktarı değerleri belirlenmiştir. Doğal yaşlandırma (ilk, 6, 12 ve 18 ay) işlemine tabi tutulmuş deney numunelerinden elde edilen kopmada uzama miktarı ortalama ve standart sapma değerleri Çizelge 4.75'te gösterilmiştir.

Çizelge 4.75. Doğal yaşlandırma (ilk, 6, 12 ve 18 ay) işlemine tabi tutulmuş deney numunelerinin ortalama kopmada uzama ortalama ve standart sapma değerleri.

ÜK***	Kopmada uzama (%)			
	İlk	6 ay	12 ay	18 ay
IV-1	3,90* (0,15)**	3,92 (0,16)	3,78 (0,11)	3,84 (0,11)
IV-2	454,78 (0,41)	2,79 (0,22)	5,39 (0,20)	5,02 (0,21)
IV-3	4,04 (0,15)	4,24 (0,17)	4,03 (0,16)	4,00 (0,22)
IV-4	461,86 (28,59)	444,14 (4,94)	445,02 (11,45)	193,76 (234,11)
IV-5	3,87 (0,07)	4,00 (0,16)	3,86 (0,20)	3,73 (0,06)
IV-6	448,66 (4,07)	339,50 (144,17)	26,35 (2,81)	131,60 (170,43)
IV-7	3,77 (0,18)	3,86 (0,17)	3,75 (0,11)	3,68 (0,18)
IV-8	409,98 (96,22)	391,08 (127,63)	75,01 (51,10)	274,77 (213,93)
IV-9	3,80 (0,11)	3,90 (0,09)	3,69 (0,10)	3,82 (0,07)
IV-10	372,60 (154,22)	68,90 (61,89)	20,31 (0,99)	29,09 (8,48)
IV-11	3,60 (0,16)	4,00 (0,21)	3,73 (0,17)	3,87 (0,10)
IV-12	431,16 (0,30)	346,42 (184,06)	31,28 (7,72)	61,54 (45,52)
IV-13	3,89 (0,12)	3,66 (0,31)	3,76 (0,11)	3,73 (0,15)
IV-14	407,70 (21,04)	169,45 (162,82)	19,32 (2,62)	22,47 (1,99)

*ortalama değer, **standart sapma, Ü.K: üretim kodu *** her gruptan 5 adet deney numunesi test edilmiştir.

Farklı parçacık büyüklüğü ve oranlarda (nm ve μm) TiO_2 katılarak üretilen ve ilk, 6, 12 ve 18 aylık doğal yaşlandırma etkisinin deney numunelerini kopmada uzama miktarı değerleri üzerine önem düzeyini belirlemek amacıyla ANOVA testi uygulanmış ve elde edilen değerler Çizelge 4.76'da gösterilmiştir. Çizelge 4.76 incelendiğinde LDMO, TiO_2 tipi, TiO_2 oranı ve DYS'nin deney numunelerinin kopmada uzama miktarı değerleri üzerine istatistiksel olarak önemli düzeyde etkili olduğu belirlenmiştir ($P < 0.0001$).

Cizelge 4.76. Farklı parçacık büyüklüğü ve oranlarda (nm ve μm) titanyum dioksit katılımının odun plastik kompozitlerin kopmada uzama miktarı değerleri üzerine etkisine ait ANOVA sonuçları.

Test	Kaynak	Kareler Top,	DF	Kareler Ort,	F	p-value Prob > F
Kopmada uzama miktarı	Model	8.914E+006	63	1.415E+005	103,94	< 0,0001significant
	A-Odun Unu Miktarı (%)	3.013E+006	1	3.013E+006	2213,19	< 0.0001
	B- TiO ₂ Tipi	1.589E+005	1	1.589E+005	116,77	< 0.0001
	C- TiO ₂ Miktarı (%)	2.971E+005	3	99018.54	72,74	< 0.0001
	D-Yaşlandırma Süresi (Ay)	1.646E+006	3	5.485E+005	402,95	< 0.0001
	AB	1.605E+005	1	1.605E+005	117,89	< 0.0001
	AC	3.039E+005	3	1.013E+005	74,43	< 0.0001
	AD	1.719E+006	3	5.731E+005	421,02	< 0.0001
	BC	70311.66	3	23437.22	17,22	< 0.0001
	BD	74876.76	3	24958.92	18,34	< 0.0001
	CD	3.317E+005	9	36850.63	27,07	< 0.0001
	ABC	67303.71	3	22434.57	16,48	< 0.0001
	ABD	83326.63	3	27775.54	20,40	< 0.0001
	ACD	3.632E+005	9	40353.42	29,64	< 0.0001
	BCD	2.550E+005	9	28334.22	20,82	< 0.0001
	ABCD	2.590E+005	9	28773.71	21,14	< 0.0001
	Pure Error	3.321E+005	244	1361,24		
	Cor Total	9.246E+006	307			

Farklı parçacık büyüklüğü ve oranlarda (nm ve μm) TiO₂ katılımının ilk, 6, 12 ve 18 ay doğal yaşlandırma işlemine tabi tutulmuş deney numunelerinin kopmada uzama miktarı değerleri üzerine etkisi Şekil 4.66 ve 67’de gösterilmiştir. Doğal yaşlandırma işlemine tabi tutulmamış en küçük kopmada uzama miktarı değeri %40KOU+%9 μm TiO₂ katılmış (%3,60) en yüksek ise dolgu maddesi katılmamış %3 μm TiO₂ katılmış (%461,86) deney numunelerinde tespit edilmiştir. Doğal yaşlandırma işlemine tabi tutulmuş (6 ay) en küçük kopmada uzama miktarı değeri dolgu maddesi katılmamış PP’de (%2,79) en yüksek ise dolgu maddesi katılmamış %3 μm TiO₂ (%444,14) deney numunelerinde tespit edilmiştir. Doğal yaşlandırma işlemine tabi tutulmuş (12 ay) en küçük kopmada uzama miktarı değeri %40KOU+%9 nm TiO₂ katılmış (%3,69) en yüksek ise dolgu maddesi katılmamış %3 μm TiO₂ (%445,02) deney numunelerinde tespit edilmiştir. Doğal yaşlandırma işlemine tabi tutulmuş (18 ay) en küçük kopmada uzama miktarı değeri %40KOU+%9 μm TiO₂ katılmış PP’de (%3,68) en yüksek ise %40KOU+%6 μm TiO₂ (%274,77) deney numunelerinde tespit edilmiştir. Doğal yaşlandırma işlemine tabi tutulmamış deney numunelerinin çekme dirençleri %3,60 ile 461,86 aralığında belirlenmiştir. Doğal yaşlandırma işlemine tabi tutulmuş deney numunelerinin çekme dirençleri sırasıyla 6 ay %2,79 ile 444,14, 12 ay %3,69 ile 461,86 ve 18 ay %3,68 ile 274,77 aralığında belirlenmiştir.

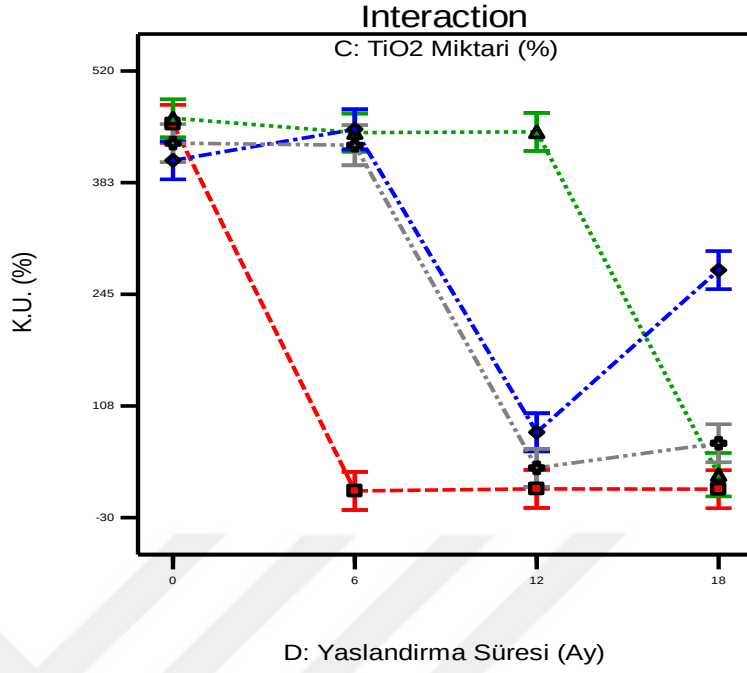
Design-Expert® Software

K.U. (%)

■ C1 0
▲ C2 3
◆ C3 6
+ C4 9

X1 = D: Yaslandirma Süresi (Ay)
X2 = C: TiO2 Miktarı (%)

Actual Factors
A: Odun Unu Miktarı (%) = 0
B: TiO2 Tipi = Mikron TiO2



(a)

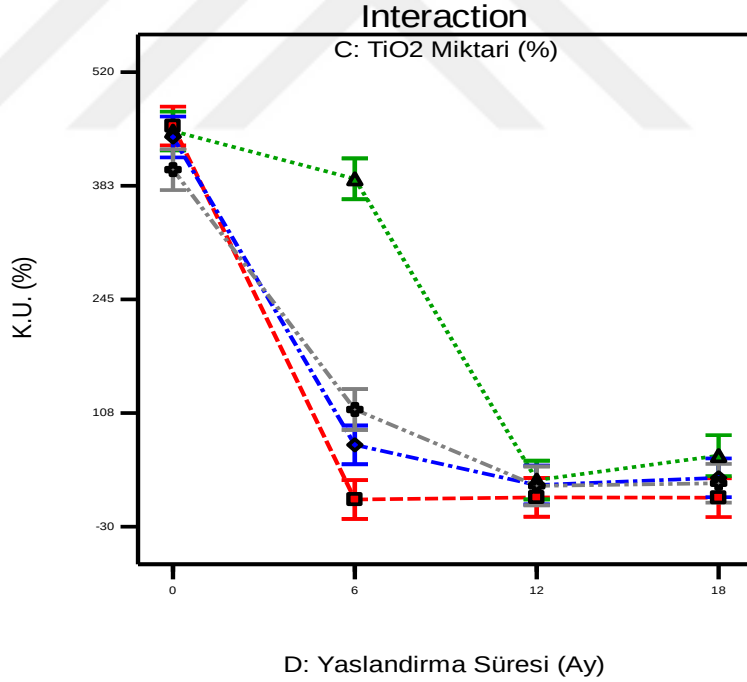
Design-Expert® Software

K.U. (%)

■ C1 0
▲ C2 3
◆ C3 6
+ C4 9

X1 = D: Yaslandirma Süresi (Ay)
X2 = C: TiO2 Miktarı (%)

Actual Factors
A: Odun Unu Miktarı (%) = 0
B: TiO2 Tipi = Nano TiO2



(b)

Şekil 4.66. Deney numunelerinin ortalama darbe direnci değerleri kopmada uzama miktarı değerleri a) Saf grup ve Mikro TiO2, b) Saf grup ve Nano TiO2.

Design-Expert® Software

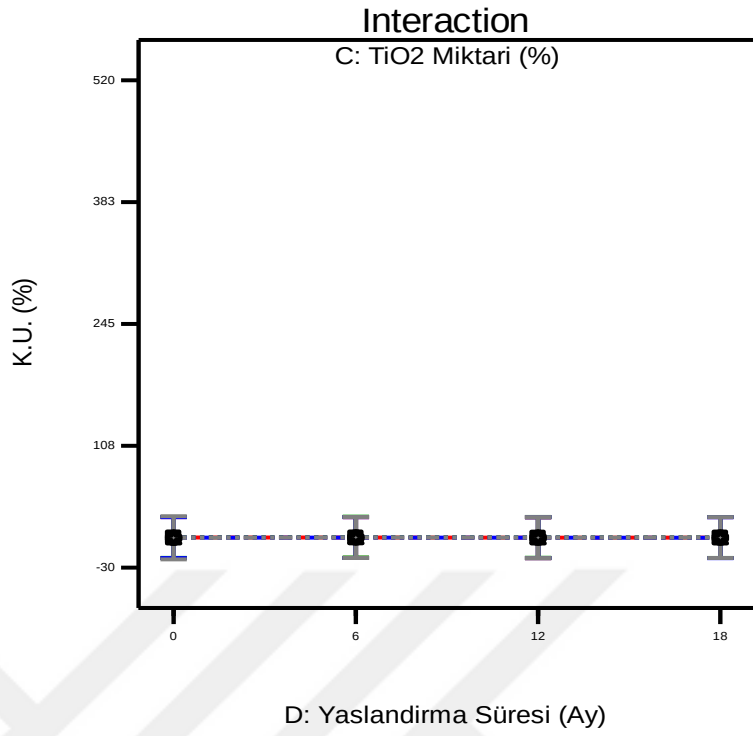
K.U. (%)

■ C1 0
▲ C2 3
◆ C3 6
✦ C4 9

X1 = D: Yaslandirma Süresi (Ay)
X2 = C: TiO2 Miktarı (%)

Actual Factors

A: Odun Unu Miktarı (%) = 40
B: TiO2 Tipi = Mikron TiO2



(c)

Design-Expert® Software

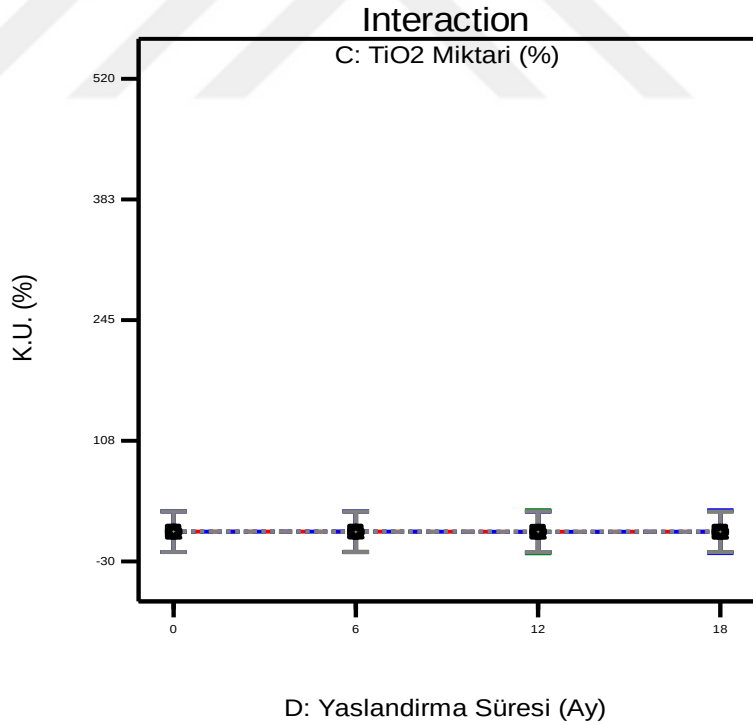
K.U. (%)

■ C1 0
▲ C2 3
◆ C3 6
✦ C4 9

X1 = D: Yaslandirma Süresi (Ay)
X2 = C: TiO2 Miktarı (%)

Actual Factors

A: Odun Unu Miktarı (%) = 40
B: TiO2 Tipi = Nano TiO2



(d)

Şekil 4.67. Deney numunelerinin ortalama darbe direnci değerleri kopmada uzama miktarı değerleri. c) Kompozit ve Mikro TiO2 ve d) Kompozit ve Nano TiO2.

Şekil 4.67 incelendiğinde OPK içerisindeki lignoselülozik madde ve TiO_2 oranına paralel olarak kompozit gruplarının kopmada uzama miktarı değerinde düşmeler meydana geldiği görülmüştür. Ancak zamana bağlı olarak dolgu maddesi katılmamış PP’de fazla düşmeler olmasına rağmen nm veya μm TiO_2 katılımına paralel olarak kopmada uzama miktarı değerlerinde PP’ye göre artmalar meydana geldiği ve yaşlandırma zamanına bağlı olarak bu azalmaların saf PP’nin kopmada uzama miktarı ne göre artarak saf PP kopmada uzama miktarı iyileştirdiği tespit edilmiştir. Kompozit yapı içerisinde farklı oranlarda nm veya μm boyuttaki TiO_2 katılmasının kopmada uzama miktarı değerini hem saf PP’ye göre hem de dolgu maddesi katılmış deney numunelerine göre düşürdüğü tespit edilmiştir. Deney numunelerinin çekme dirençleri üzerine doğal yaşlandırmanın etkileri incelendiğinde ise dolgu ve katkı maddesi oranı, türü ve sürenin etkili olduğu tespit edilmiştir. Deney numunelerinin içerisine μm veya nm TiO_2 katılmasının ilk, 6, 12 ve 18 ay yaşlandırma sonucunda kopmada uzama miktarı değerlerinde yaşlandırma süresine bağlı olarak düşürdüğü ve bu düşüşün μm TiO_2 katılımına göre nm TiO_2 katılımı ile daha da arttığı tespit edilmiştir. Ashori ve Nourbakhsh, (2009) yüksek nano kil partikül konsantrasyonu ile ürettikleri OPK’lerin nano kil toplanması nedeniyle azaldığını bildirmiştir. Kompozitlerin imalatında en önemli parametrelerden biri matristeki nano partikül dağılımıdır. Nano parçacıkların bir araya toplanması nano kompozitlerin fiziksel ve mekanik özelliklerinin azalmasına neden olabilir. Odun plastik kompozitlerde odun ununun eklenmesiyle daha yüksek kırılgenlik ortaya çıkar (Yeh ve ark., 2013). Kompozitlerin çekme mukavemeti ağırlıklı olarak dolgu miktarı, parçacıklar ve matris arasındaki ara yüz yapışmadan etkilenir (Sun ve ark., 2006). Kopmada uzama miktarındaki bu düşüş LDMO, hızlı yaşlandırma süresi sonunda numuneleri kırılgen hale getirmektedir. Bu durum deney numunelerin daha düşük kopma uzaması ve darbe dayanımları sahip olmasına sebep olmaktadır.

4.4.2.4. Darbe direnci

Farklı parçacık büyüklüğü ve oranlarda (nm ve μm) TiO_2 katılımı ile üretilen deney numunelerinin doğal yaşlandırma (ilk, 6, 12 ve 18 ay) sonucunda darbe direnci değerleri belirlenmiştir. Doğal yaşlandırma (ilk, 6, 12 ve 18 ay) işlemine tabi tutulmuş deney numunelerinden elde edilen darbe direnci ortalama ve standart sapma değerleri Çizelge 4.77’de gösterilmiştir.

Çizelge 4.77. Doğal yaşlandırma (ilk, 6, 12 ve 18 ay) işlemine tabi tutulmuş deney numunelerinin darbe direnci ortalama ve standart sapma değerleri.

ÜK***	Darbe direnci (kJ/m ²)			
	İlk	6 ay	12 ay	18 ay
IV-1	4,10* (0,05)**	2,28 (0,11)	2,46 (0,18)	2,33 (0,21)
IV-2	1,93 (0,30)	1,45 (0,36)	1,14 (0,13)	1,10 (0,39)
IV-3	2,60 (0,17)	2,53 (0,25)	2,99 (0,28)	2,65 (0,09)
IV-4	2,50 (0,80)	2,68 (1,04)	2,34 (0,17)	2,48 (0,60)
IV-5	2,81 (0,40)	2,43 (0,04)	2,89 (0,14)	2,86 (0,54)
IV-6	2,27 (0,48)	3,07 (0,36)	2,19 (0,35)	2,79 (0,77)
IV-7	2,69 (0,13)	2,34 (0,07)	2,54 (0,09)	2,60 (0,11)
IV-8	2,57 (0,73)	2,63 (0,25)	2,47 (0,42)	2,80 (0,30)
IV-9	2,64 (0,13)	2,55 (0,27)	2,52 (0,11)	2,72 (0,34)
IV-10	2,19 (0,67)	2,56 (0,53)	2,10 (0,23)	2,55 (0,67)
IV-11	2,85 (0,26)	3,06 (0,58)	2,89 (0,27)	2,82 (0,34)
IV-12	2,16 (0,44)	1,93 (0,13)	2,36 (0,45)	2,17 (0,31)
IV-13	2,13 (12,13)	2,37 (0,21)	2,38 (0,43)	2,44 (0,13)
IV-14	2,18 (9,26)	2,07 (0,33)	2,45 (0,16)	2,11 (0,27)

*ortalama değer, **standart sapma, Ü.K: üretim kodu *** her gruptan 6 adet deney numunesi test edilmiştir.

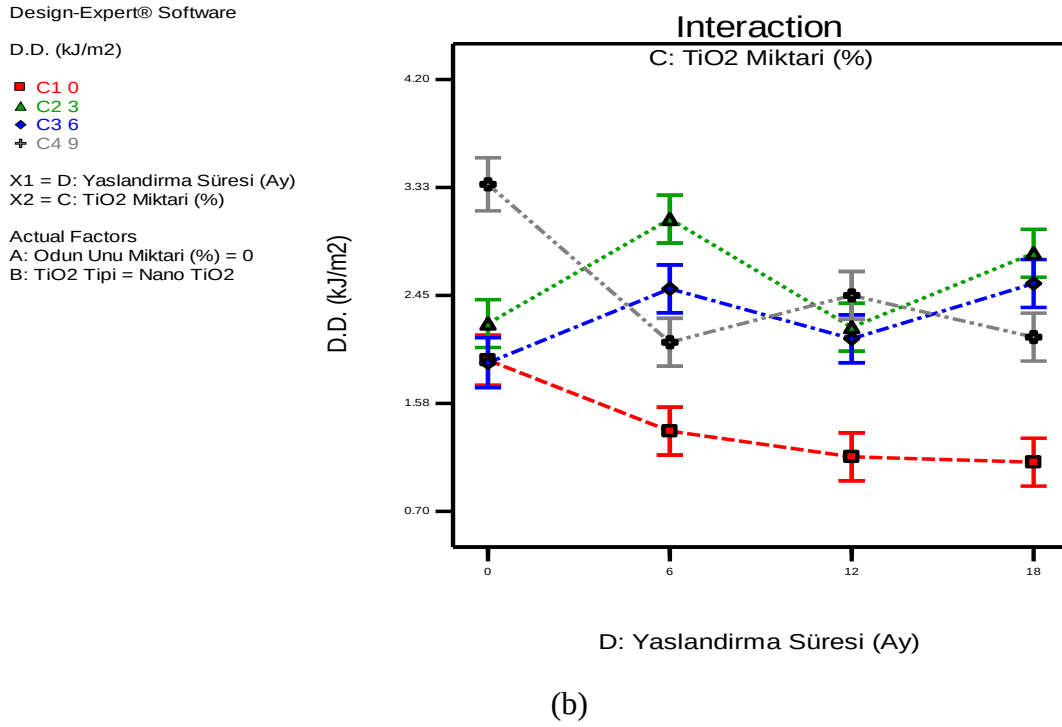
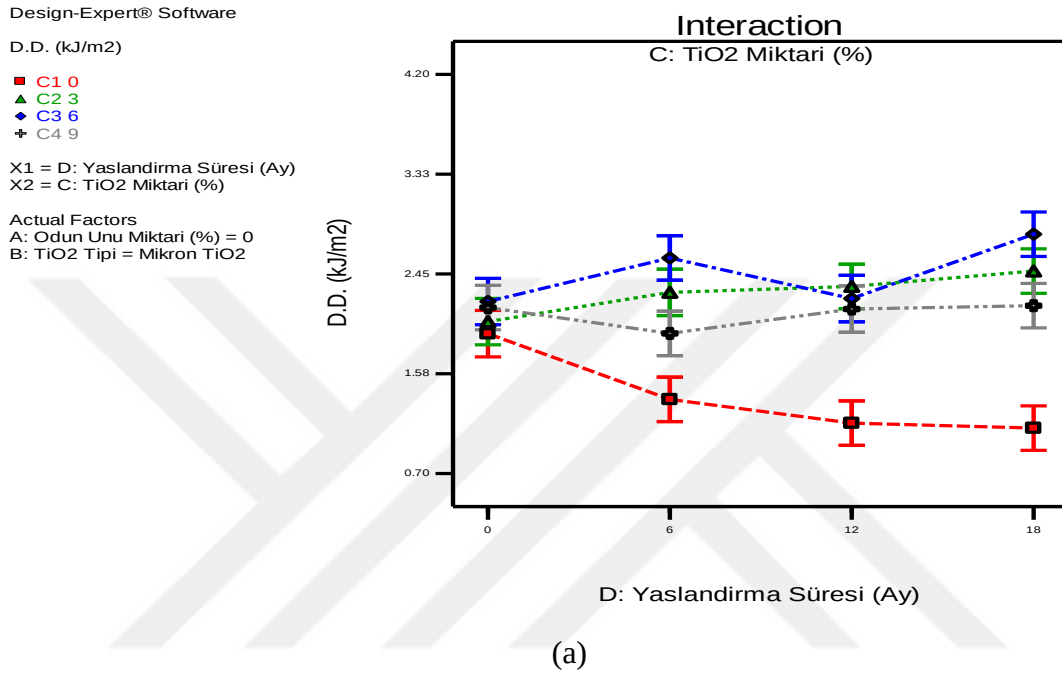
Çizelge 4.78. Farklı parçacık büyüklüğü ve oranlarda (nm ve µm) titanyum dioksit katılımının odun plastik kompozitlerin darbe direnci değerleri üzerine etkisine ait ANOVA sonuçları.

Test	Kaynak	Kareler Top.	DF	Kareler Ort.	F	p-value Prob > F
Darbe direnci	Model	114,46	63	1,82	16,03	<0,0001significant
	A-Odun Unu Miktarı (%)	27,97	1	27,97	246,82	< 0,0001
	B- TiO2 Tipi	6.853E-004	1	6.853E-004	6.047E-03	0.9381
	C- TiO2 Miktarı (%)	14,35	3	4,78	42,22	< 0,0001
	D-Yaşlandırma Süresi (Ay)	3,93	3	1,31	11,55	< 0,0001
	AB	1,14	1	1,14	10,06	0,0017
	AC	21,39	3	7,13	62,92	< 0,0001
	AD	2,93	3	0,98	8,63	< 0,0001
	BC	1,00	3	0,33	2,95	0,0332
	BD	0,20	3	0,066	0,58	0,6254
	CD	23,44	9	2,60	22,99	< 0,0001
	ABC	4,73	3	1,58	13,92	< 0,0001
	ABD	0,61	3	0,20	1,79	0,1492
	ACD	9,13	9	1,01	8,95	< 0,0001
	BCD	0,97	9	0,11	0,95	0,4831
	ABCD	2,89	9	0,32	2,83	0,0032
	Pure Error	34,56	305	0,11		
	Cor Total	149,02	368			

Farklı parçacık büyüklüğü ve oranlarda (nm ve µm) TiO₂ katılarak üretilen ve ilk, 6, 12 ve 18 aylık doğal yaşlandırma etkisinin deney numunelerini darbe direnci değerleri üzerine önem düzeyini belirlemek amacıyla ANOVA testi uygulanmış ve elde edilen değerler Çizelge 4.78’de gösterilmiştir. Çizelge 4.78 incelendiğinde LDMO ve TiO₂

miktarı ile DYS'nin deney numunelerinin darbe direnci değerleri üzerine istatistiksel olarak önemli düzeyde etkili olduğu belirlenmiştir ($P < 0.0001$).

Farklı parçacık büyüklüğü ve oranlarda (nm ve μm) TiO_2 katılımının ilk, 6, 12 ve 18 ay doğal yaşlandırma işlemine tabi tutulmuş deney numunelerinin darbe direnci değerleri üzerine etkisi Şekil 4.68'de gösterilmiştir.



Şekil 4.68. Deney numunelerinin ortalama darbe direnci değerleri. a) Saf grup ve Mikron TiO_2 , b) Saf grup ve Nano TiO_2 .

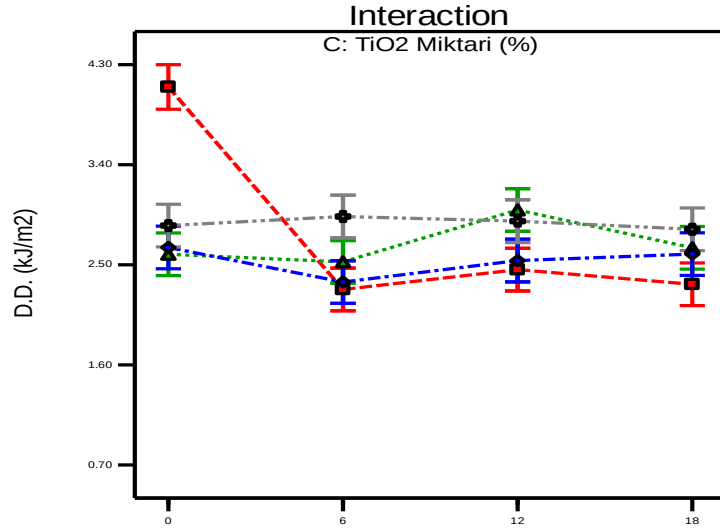
Design-Expert® Software

D.D. (kJ/m²)

■ C1 0
▲ C2 3
◆ C3 6
+ C4 9

X1 = D: Yaslandirma Süresi (Ay)
X2 = C: TiO₂ Miktarı (%)

Actual Factors
A: Odun Unu Miktarı (%) = 40
B: TiO₂ Tipi = Mikron TiO₂



(c)

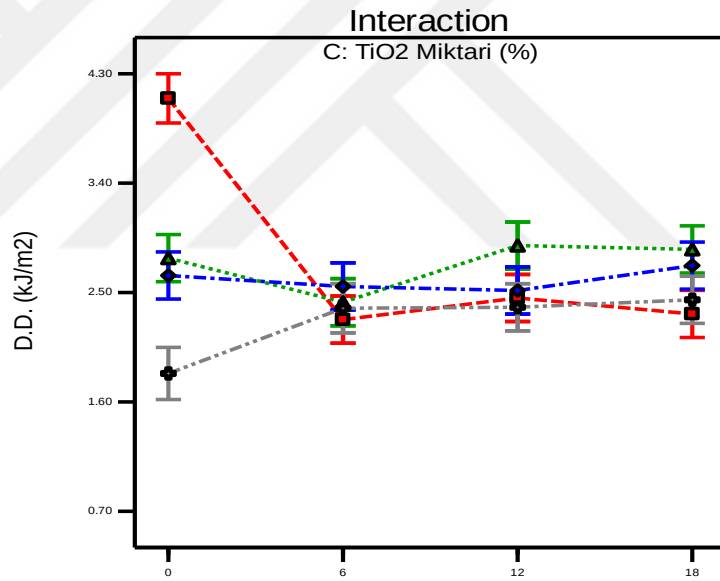
Design-Expert® Software

D.D. (kJ/m²)

■ C1 0
▲ C2 3
◆ C3 6
+ C4 9

X1 = D: Yaslandirma Süresi (Ay)
X2 = C: TiO₂ Miktarı (%)

Actual Factors
A: Odun Unu Miktarı (%) = 40
B: TiO₂ Tipi = Nano TiO₂



(d)

Şekil 4.69. Deney numunelerinin ortalama darbe direnci değerleri c) Kompozit ve Mikron TiO₂ ve d) Kompozit ve Nano TiO₂.

Doğal yaşlandırma işlemine tabi tutulmamış en küçük darbe direnci değeri dolgu maddesi katılmamış PP'de (1,93 kJ/m²) en yüksek darbe direnci değeri ise %40KOU ve TiO₂ katılmamış (4,10 kJ/m²) deney numunelerinde tespit edilmiştir. Doğal yaşlandırma işlemine tabi tutulmuş (6 ay) en küçük darbe direnci değeri dolgu maddesi ve TiO₂ katılmamış PP'de (1,45 kJ/m²) en yüksek darbe direnci değeri ise KOU katılmamış ve +%3

nm TiO_2 ($3,07 \text{ kJ/m}^2$) deney numunelerinde tespit edilmiştir. Doğal yaşlandırma işlemine tabi tutulmuş (12 ay) en küçük darbe direnci değeri dolgu maddesi ve TiO_2 katılmamış PP'de ($1,14 \text{ kJ/m}^2$) en yüksek darbe direnci değeri ise %40KOU+%3 μm TiO_2 ($2,99 \text{ kJ/m}^2$) deney numunelerinde tespit edilmiştir. Doğal yaşlandırma işlemine tabi tutulmuş (18 ay) en küçük darbe direnci değeri dolgu maddesi ve TiO_2 katılmamış PP'de ($1,10 \text{ kJ/m}^2$) en yüksek darbe direnci değeri ise KOU katılmamış ve %3 nm TiO_2 ($2,86 \text{ kJ/m}^2$) deney numunelerinde tespit edilmiştir. Artan odun unu miktarı yüzeysel bölgelerde çatlamalara sebep olabilmektedir ve odun ununun ilavesiyle polimer rijitliğini arttırır ve darbe direncinin düşmesine sebep olabilmektedir (Zaini, 1996). Şekil 4.69 incelendiğinde OPK içerisindeki lignoselülozik madde ve TiO_2 içeriğinin darbe direnci üzerinde önemli bir etkisinin olduğu görülmektedir. Dolgu maddesi eklenmiş deney numunelerinin darbe direnci değeri eklenmemiş PP göre yüksek çıkmıştır. Aynı şekilde KOU ve μm TiO_2 beraber kullanımı ile üretilen deney numunelerinde TiO_2 μm oranının artmasına paralel olarak kompozit gruplarının darbe direnci değeri değerinde artışlar meydana gelirken TiO_2 nm boyutta kullanılmasına paralel olarak darbe direnci değerlerinde düşmeler olduğu tespit edilmiştir. Polimer matris içine dolgu maddesi katılmasının OPK sertliğini arttırarak OPK'yı daha kırılğan bir hale getirip (Adhikary ve ark., 2000; Clemons, 2002, Morreale ve ark., 2008; Çavdar, 2011; Karakuş ve Mengeloğlu, 2016) darbe direnci değerlerini azalttığı tespit edilmiştir. Polimer içerisindeki dolgu ve katkı maddelerinin miktarı arttıkça kompozit malzemenin darbe direnci değerlerinde artış olacağı (Clemons, 2002; Klyosov, 2007; Mengeloğlu ve Karakuş, 2012, Mengeloğlu ve ark., 2015; Karakuş ve Mengeloğlu, 2016) literatürde belirtilmiştir. Doğal yaşlandırmaya tabi bırakılmış deney numunelerindeki darbe direnci değerindeki artış veya düşüşünün polimer zincirleri arasındaki kırılmalar ve bozunmalar sonucunda gerçekleştiği söylenebilir. Ek olarak saf PP darbe direnci yaşlandırılmış ve yaşlandırılmamış deney numunelerinde en küçük değeri vermiştir. Bu durumun nedeni deney numunelerinin üretimi sırasında uniform olmayan kalıp sıcaklığı ve üretim sırasında malzeme molekül yapısının homojen bir dağılım göstermediğinden kaynaklandığı düşünülmektedir.

4.4.2.5. Sertlik direnci

Farklı parçacık büyüklüğü ve oranlarda (nm ve μm) TiO_2 katılımının deney numunelerinin Sertlik direnci değerleri üzerine etkisi incelenmiştir. Üretilen deney numunelerinin Sertlik direnci değerlerini belirlemek için eğilme direnci deney numunelerinden deney sonrası kesilen parçalar kullanılarak sertlik belirlenmiştir. İlk, 6, 12

ve 18 ay doğal yaşlandırma işlemine tabi tutulmuş deney numunelerinden elde edilen deney numunelerinin ortalama sertlik direnci ve standart sapma değerleri Çizelge 4.79’da gösterilmiştir.

Çizelge 4.79. Deney numunelerine ait ilk, 6, 12 ve 18 aylık sertlik direnci (Shore-D) ortalama ve standart sapma değerleri.

ÜK***	İlk	6 ay	12 ay	18 ay
IV-1	75,08 * (2,27) **	75,08 (2,27)	76,72 (1,50)	76,14 (0,59)
IV-2	64,28 (1,74)	64,28 (1,74)	61,88 (1,82)	63,78 (3,02)
IV-3	74,36 (1,18)	74,36 (1,18)	76,24 (1,28)	75,72 (0,69)
IV-4	63,42 (0,74)	63,42 (0,74)	72,54 (3,40)	69,70 (2,90)
IV-5	77,52 (0,26)	77,52 (0,26)	78,28 (0,99)	76,96 (1,19)
IV-6	65,92 (2,68)	65,92 (2,68)	70,68 (2,29)	69,96 (2,42)
IV-7	76,70 (1,65)	76,70 (1,65)	77,90 (0,83)	78,42 (1,04)
IV-8	66,84 (1,15)	66,84 (1,15)	69,66 (0,74)	68,74 (1,27)
IV-9	77,86 (1,83)	77,86 (1,83)	77,24 (1,28)	77,20 (0,38)
IV-10	66,98 (0,34)	66,98 (0,34)	70,34 (0,68)	69,56 (0,63)
IV-11	76,62 (0,91)	76,62 (0,91)	77,36 (1,04)	77,10 (0,84)
IV-12	67,64 (1,36)	67,64 (1,36)	70,44 (1,01)	72,82 (0,62)
IV-13	69,38 (1,53)	76,60 (1,33)	78,08 (1,21)	77,64 (0,61)
IV-14	76,60 (1,33)	69,38 (1,53)	71,92 (0,78)	70,18 (2,04)

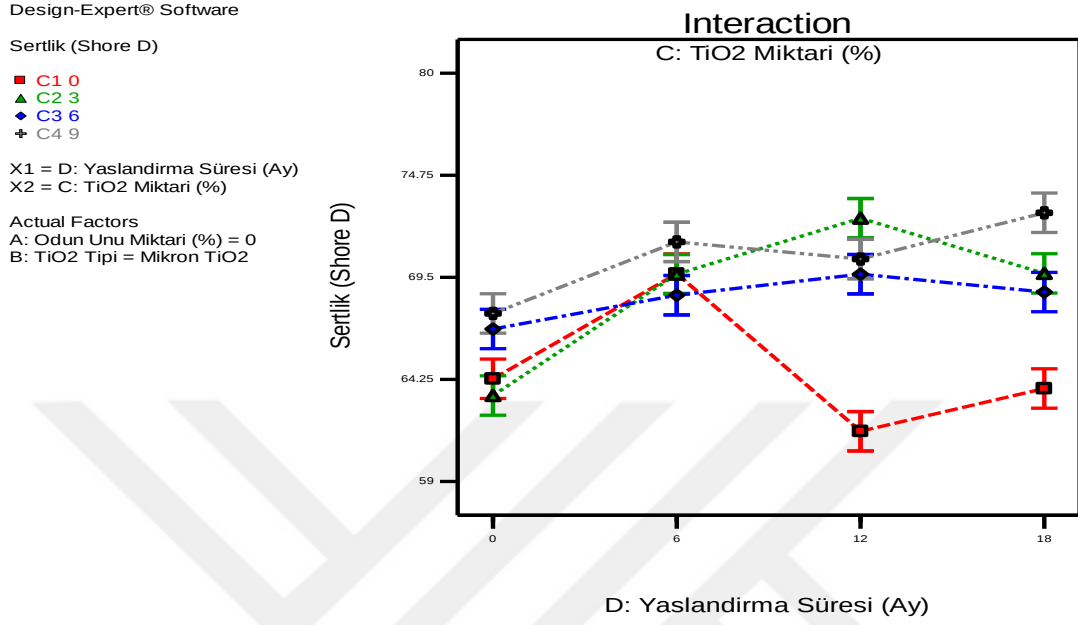
*ortalama değer, **standart sapma, Ü.K: üretim kodu *** her gruptan 5 adet deney numunesi test edilmiştir.

Çizelge 4.80. Farklı parçacık büyüklüğü ve oranlarda (nm ve μm) titanyum dioksit katılımının odun plastik kompozitlerin sertlik direnci değerleri üzerine etkisine ait ANOVA sonuçları.

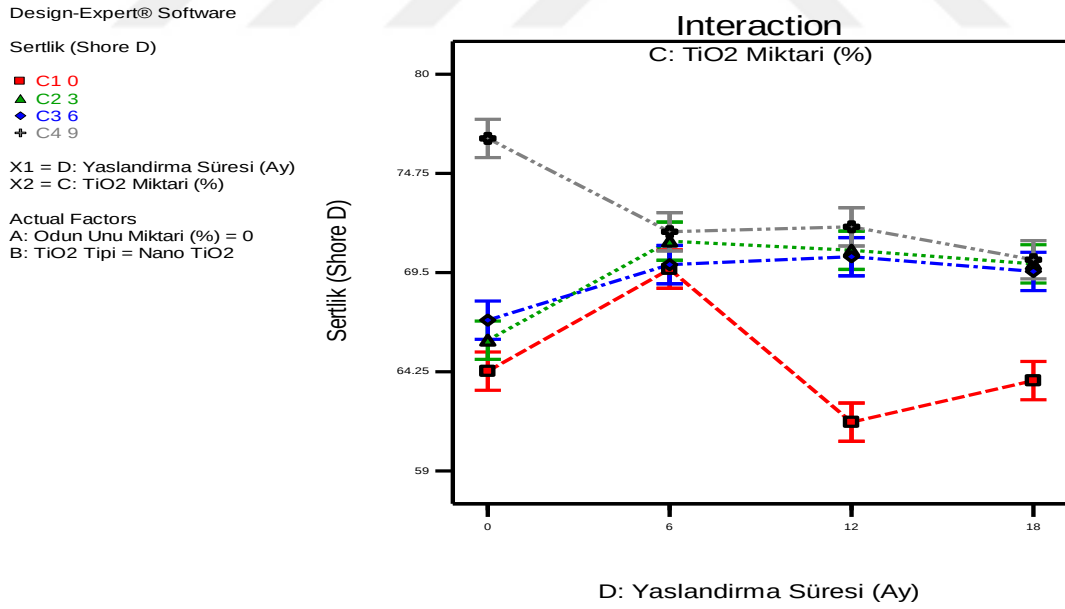
Test	Kaynak	Kareler Top.	DF	Kareler Ort.	F	p-value Prob > F
Sertlik direnci	Model	7587,32	63	120,43	45,50	<0,0001significant
	A-Odun Unu Miktarı (%)	5028,01	1	5028,01	1899,77	< 0,0001
	B- TiO ₂ Tipi	28,00	1	28,00	10,58	0,0013
	C- TiO ₂ Miktarı (%)	548,38	3	182,79	69,07	< 0,0001
	D-Yaşlandırma Süresi (Ay)	224,91	3	74,97	28,33	< 0,0001
	AB	5,27	1	5,27	1,99	0,1593
	AC	477,39	3	159,13	60,12	< 0,0001
	AD	70,31	3	23,44	8,86	< 0,0001
	BC	59,35	3	19,78	7,48	< 0,0001
	BD	21,60	3	7,20	2,72	0,0450
	CD	251,24	9	27,92	10,55	< 0,0001
	ABC	120,98	3	40,33	15,24	< 0,0001
	ABD	64,30	3	21,43	8,10	< 0,0001
	ACD	403,73	9	44,86	16,95	< 0,0001
	BCD	61,88	9	6,88	2,60	0,0070
	ABCD	239,71	9	26,63	10,06	< 0,0001
	Pure Error	674,89	255	2,65		
	Cor Total	8262,21	318			

Farklı parçacık büyüklüğü ve oranlarda (nm ve μm) TiO₂ katılarak üretilen ve doğal yaşlandırmanın deney numunelerinin sertlik direnci değerleri üzerine önem düzeyini belirlemek amacıyla ANOVA testi uygulanmış ve elde edilen değerler Çizelge 4.80’de

gösterilmiştir. Çizelge 4.80 incelendiğinde LDMO ve TiO_2 miktarı ile DYS'nin deney numunelerinin sertlik direnci değerleri üzerine istatistiksel olarak önemli düzeyde etkili olduğu belirlenmiştir ($P < 0.0001$).



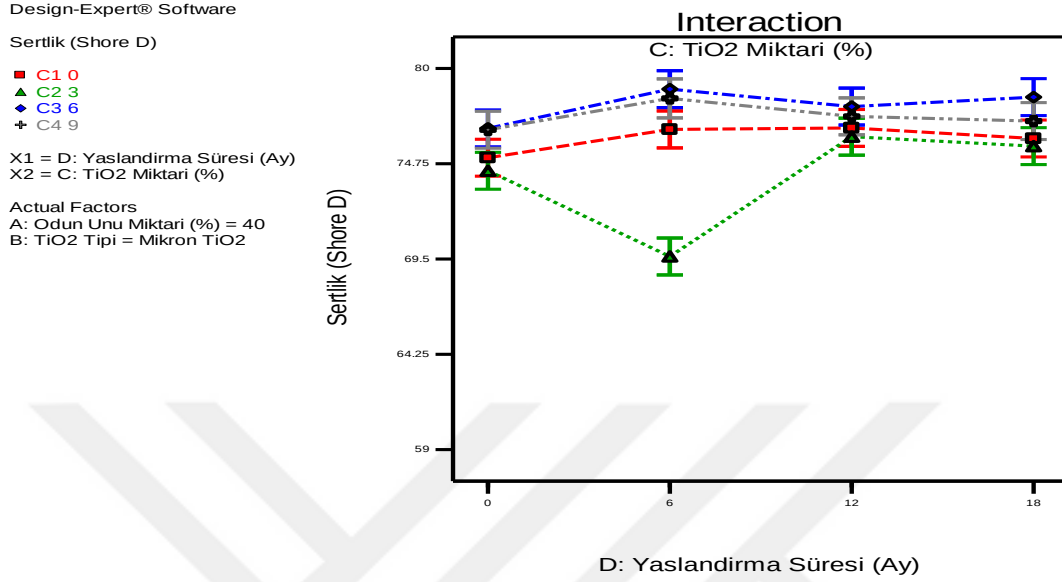
(a)



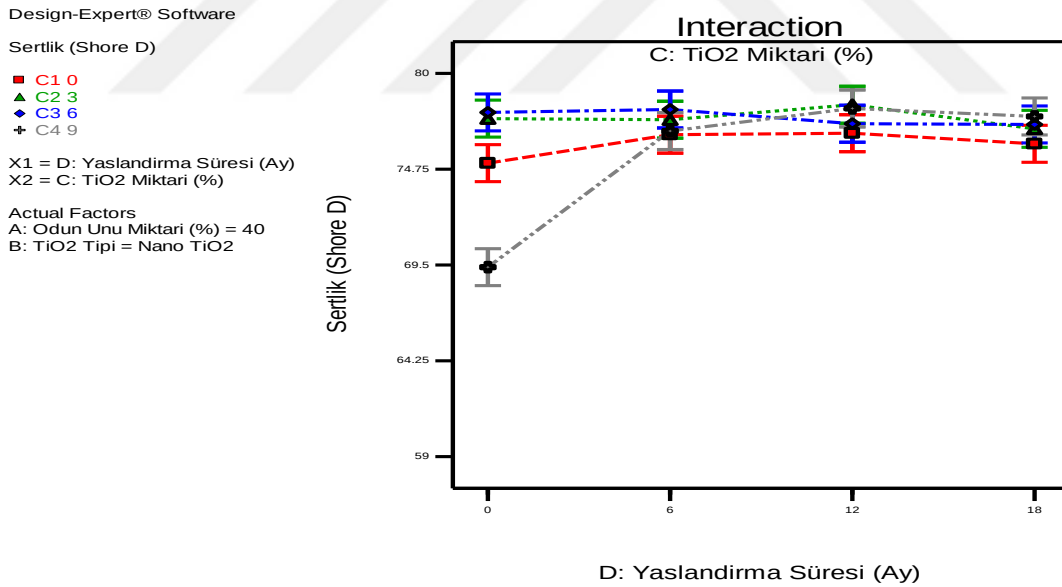
(b)

Şekil 4.70. Deney numunelerinin ortalama sertlik direnci değerleri a) Saf grup ve b) Kompozit.

Farklı parçacık büyüklüğü ve oranlarda (nm ve μm) TiO_2 katılımının ilk, 6, 12 ve 18 ay doğal yaşlandırma işlemine tabi tutulmuş eğilme direnci deney numunelerinin sertlik direnci değerlerine etkileri Şekil 4.70 ve 71’de gösterilmiştir.



(c)



(d)

Şekil 4.71. Deney numunelerinin ortalama sertlik direnci değerleri c)Kompozit ve Mikron TiO_2 ve d) Kompozit ve Nano TiO_2 .

Şekil 4.71 incelendiğinde OPK içerisindeki lignoselülozik madde ve TiO_2 oranının artmasına paralel olarak kompozit gruplarının sertlik direnci değerlerinde artışlar meydana geldiği görülmektedir. Doğal yaşlandırma işlemine tabi tutulmamış en küçük sertlik direnci değerleri KOU+%3 μm TiO_2 katılmış (63,42) ve en yüksek sertlik direnci değerleri ise

KOU ve TiO₂ katılmamış (75,08) deney numunelerinde tespit edilmiştir. Doğal yaşlandırma işlemine tabi tutulmuş (6 ay) en küçük sertlik direnci değerleri dolgu maddesi katılmamış % μmTiO_2 PP'de (63,42) en yüksek sertlik direnci değerleri ise %40KOU katılmış (75,08) deney numunelerinde tespit edilmiştir. Doğal yaşlandırma işlemine tabi tutulmuş (12 ay) en küçük sertlik direnci değerleri dolgu maddesi katılmamış PP'de (61,88) en yüksek sertlik direnci değerleri ise KOU katılmamış ve %3 nm TiO₂ (78,28) katılmış deney numunelerinde tespit edilmiştir. Doğal yaşlandırma işlemine tabi tutulmuş (18 ay) en küçük sertlik direnci değerleri dolgu maddesi katılmamış PP'de (63,78) en yüksek sertlik direnci değerleri ise %40 KOU+%6 μmTiO_2 (78,42) deney numunelerinde tespit edilmiştir. Doğal yaşlandırma işlemine tabi tutulmamış deney numunelerinin sertlik direnci değerleri 63,42 ile 75,08 Shore-D aralığında belirlenmiştir. Doğal yaşlandırma işlemine tabi tutulmuş eğilme direnci deney numunelerinin sertlik direnci değerleri sırasıyla 6 ay 63,42 ile 77,86 MPa, 12 ay 61,88 ile 78,28 ve 18 ay 63,78 ile 78,42 aralığında belirlenmiştir. Ek olarak kompozit yapı içerisinde kullanılan μm ve nm TiO₂ PP'den daha serttir ve sonuç olarak kompozitlerin sertliğini artırır.

4.4.2.6. Doğrusal yanma hızı

Farklı parçacık büyüklüğü ve oranlarda (nm ve μm) TiO₂ katılımının deney numunelerinin doğrusal yanma hızı değerleri üzerine etkisi incelenmiştir. Deney numunelerinden elde edilen doğrusal yanma hızı ortalama ve standart sapma değerleri Çizelge 4.81'de gösterilmiştir.

Çizelge 4.81. Deney numune gruplarına ait ortalama doğrusal yanma hızı değerleri (mm\dak.).

ÜK***	Doğrusal yanma hızı (mm\dak)
IV-1	20,47* (1,72) **
IV-2	33,35 (2,32)
IV-3	9,97 (0,39)
IV-4	29,36 (3,49)
IV-5	22,83 (4,70)
IV-6	20,10 (1,40)
IV-7	19,12 (1,64)
IV-8	15,77 (1,12)
IV-9	16,03 (0,95)
IV-10	20,45 (0,96)
IV-11	16,48 (0,79)
IV-12	10,43 (0,81)
IV-13	14,18 (1,22)
IV-14	20,72 (1,03)

*ortalama değer, **standart sapma, Ü.K: üretim kodu *** 10 adet deney numunesi test edilmiştir.

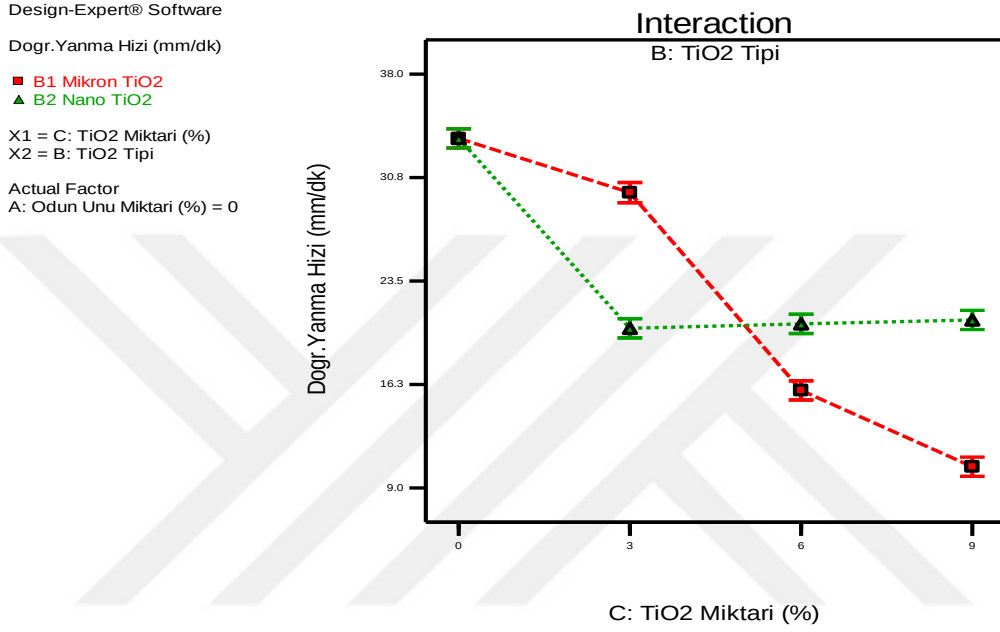
Farklı parçacık büyüklüğü ve oranlarda (nm ve μm) TiO_2 katılarak üretilen ve doğal yaşlandırmanın deney numunelerinin doğrusal yanma hızı değerleri üzerine önem düzeyini belirlemek amacıyla ANOVA testi uygulanmış ve elde edilen değerler Çizelge 4.82’de gösterilmiştir. Çizelge 4.82 incelendiğinde LDMO ve TiO_2 miktarı ile TiO_2 tipinin deney numunelerinin doğrusal yanma hızı değerleri üzerine istatistiksel olarak önemli düzeyde etkili olduğu belirlenmiştir ($P < 0.0001$).

Çizelge 4.82. Farklı parçacık büyüklüğü ve oranlarda (nm ve μm) TiO_2 katılımının doğrusal yanma hızı değerleri üzerine etkisine ait ANOVA sonuçları.

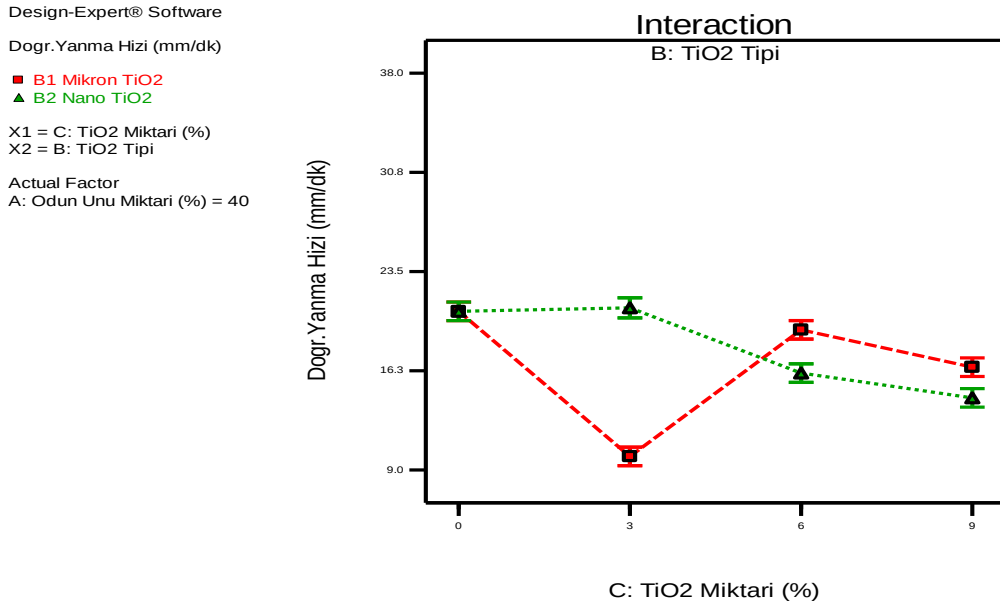
Test	Kaynak	Kareler Top.	DF	Kareler Ort.	F	p-value Prob > F
Doğrusal yanma hızı	Model	7105.66	15	473,71	207,95	< 0.0001significant
	A-Odun Unu Miktarı (%)	1270.71	1	1270.71	557,81	< 0.0001
	B- TiO_2 Tipi	65.18	1	65.18	28,61	< 0.0001
	C- TiO_2 Miktarı (%)	2974.47	3	991,49	435,24	< 0.0001
	AB	5.59	1	5,59	2,46	0.1194
	AC	1239.55	3	413,18	181,38	< 0.0001
	BC	103.00	3	34,33	15,07	< 0.0001
	ABC	1426.33	3	475,44	208,71	< 0.0001
	Pure Error	316.65	139	2,28		
	Cor Total	7422.31	154			

Farklı parçacık büyüklüğü ve oranlarda (nm ve μm) TiO_2 katılımı ile üretilen deney numunelerinin ortalama doğrusal yanma hızı değerlerine etkileri Şekil 4.71’de gösterilmiştir. Şekil 4.71 incelendiğinde, deney numunelerin ortalama yanma hız değerlerinin 10,43 ile 33,35 mm\dak. aralığında oldukları görülmüştür. Deney numunelerin doğrusal yanma hızının dolgu ve katkı maddesi türü ve oranına paralel olarak düştüğü tespit edilmiştir. Doğrusal yanma hızı en küçük (10,43mm\dak.) değerler %PP+%9 μm TiO_2 oranında katılan deney numunelerinden elde edilirken, en yüksek doğrusal yanma hızı (33,35 mm\dak.) dolgu LDM ve TiO_2 katılmamış deney numunelerinde tespit edilmiştir. PP içerisinde dolgu maddesi olarak KOU katılımı ile doğrusal yanma hızı değerlerinde saf PP’ye göre düşmeye neden olmasına rağmen KOU içerisine μm ve nm TiO_2 katılım oranına paralel olarak doğrusal yanma hızını azaltmıştır. PP içerisinde μm TiO_2 katılımı ile doğrusal yanma hızı değerlerinde saf PP’ye göre doğrusal yanma hızı değerlerinde düşmeye neden olmasına rağmen bu düşüş nm TiO_2 katılım oranı ile karşılaştırıldığında daha az doğrusal yanma hızı değerleri vermiştir. Deney numunelerinin yanma hız değerleri üzerinde dolgu maddesi ve TiO_2 miktar ve boyutunun önemli oranda etkili olduğu tespit edilmiştir. Literatürde odun plastik kompozitlerin yanma özellikleri üzerine sınırlı sayıda araştırma vardır. Yapılan araştırmalarda polimer içerisine konulan dolgu maddesi oranının artmasına paralel olarak doğrusal yanma hızında düşme olduğu bildirilmiştir (Verma ve

ark., 2016). Doğrusal yanma hızının polimer veya LDM'nin kimyasal bileşimi, yoğunluğu, plastiğin niteliğini, plastik içeriğini ve dolgu maddesi miktarlarındaki farklılıklara bağlı olabileceği bildirilmiştir (Binhussain ve Tonsy, 2013). En fazla doğrusal yanma hızı dolgu maddesi katılmamış PP'de meydana gelmiştir. Bunun nedeni ısı etkisiyle polimer zincirlerinin küçük parçalara veya moleküllere parçalanmasıyla ortamı daha yanıcı hale getirdiği düşünülmüştür.



(a)



(b)

Şekil 4.72. Deney numunelerinin ortalama doğrusal yanma hızı değerleri a) Saf grup ve b) Kompozit.

4.4.2.7. Gerilme gevşeme

Farklı parçacık büyüklüğü ve oranlarda (nm ve μm) TiO_2 katılımının deney numunelerinin çekmede gerilme gevşeme direnci değerleri üzerine etkisi incelenmiştir. Doğal yaşlandırma (ilk, 6, 12 ve 18 ay) işlemine tabi tutulmuş deney numunelerinden elde edilen gerilme gevşeme ortalama ve standart sapma değerleri Çizelge 4.83'te gösterilmiştir.

Çizelge 4.83. Doğal yaşlandırma işlemine tabi tutulmamış deney numunelerinin ortalama gerilme gevşeme ve standart sapma değerleri (N).

ÜK***	F(Δt_1)	F(Δt_2)	F(Δt_3)	F(Δt_4)	F(Δt_5)	F(Δt_6)	ΔF_{ϵ}
IV-1	596,7 (0,25)	427,2 (2,24)	411,3 (3,66)	398,4 (6,77)	388,4 (5,81)	381,9 (6,23)	214,8 (6,18)
IV-2	598,0 (0,08)	399,8 (9,50)	377,8 (8,82)	368,6 (12,64)	359,6 (15,63)	348,9 (10,25)	249,1 (10,32)
IV-3	596,5 (0,04)	420,2 (7,99)	401,4 (2,29)	393,3 (6,99)	381,0 (4,34)	378,0 (8,51)	218,5 (8,48)
IV-4	598,0 (0,14)	400,0 (6,56)	391,1 (4,17)	385,3 (1,14)	369,9 (11,74)	355,1 (1,69)	242,8 (1,82)
IV-5	596,7 (0,10)	436,8 (8,22)	411,4 (22,72)	404,7 (27,69)	397,5 (30,91)	387,4 (30,25)	209,3 (30,16)
IV-6	598,0 (0,03)	404,3 (6,72)	386,8 (2,76)	373,7 (12,10)	369,1 (7,25)	357,3 (4,00)	240,7 (3,97)
IV-7	596,6 (0,13)	434,9 (8,89)	422,6 (12,25)	412,5 (10,23)	398,5 (19,15)	392,5 (22,13)	204,1 (22,04)
IV-8	598,1 (0,02)	403,5 (2,98)	379,5 (8,35)	366,5 (13,47)	355,3 (18,45)	351,2 (18,65)	246,8 (18,67)
IV-9	597,0 (0,25)	429,5 (8,13)	414,8 (12,40)	403,6 (14,64)	389,6 (5,31)	393,3 (6,32)	203,7 (6,54)
IV-10	597,8 (0,10)	418,3 (11,10)	407,1 (11,42)	399,6 (11,44)	379,6 (2,10)	368,4 (3,74)	229,3 (3,82)
IV-11	596,7 (0,14)	430,9 (10,53)	405,8 (13,30)	400,5 (11,43)	389,6 (20,17)	388,7 (17,66)	207,9 (17,71)
IV-12	597,9 (0,03)	397,5 (10,94)	375,5 (7,13)	363,5 (13,25)	355,9 (16,62)	353,7 (18,92)	244,2 (18,89)
IV-13	596,9 (0,16)	430,9 (8,17)	413,9 (19,31)	407,1 (19,92)	391,9 (19,41)	380,2 (17,60)	216,7 (17,75)
IV-14	597,9 (0,19)	408,3 (10,46)	382,6 (8,67)	369,9 (12,79)	361,0 (15,11)	351,4 (14,18)	246,5 (14,06)

*ortalama değer, **standart sapma, Ü.K: üretim kodu *** her gruptan 3 adet deney numunesi test edilmiş ve süre 7200 saniye sabit tutulmuştur.

Farklı parçacık büyüklüğü ve oranlarda (nm ve μm) TiO_2 katılımı ile üretilen deney numunelerinin 6 ay doğal yaşlandırma sonucunda çekmede gerilme gevşeme direnci belirlenmiş ve elde edilen gerilme gevşeme direnci ortalama ve standart sapma değerleri Çizelge 4.84'te gösterilmiştir.

Çizelge 4.84. Doğal yaşlandırma (6 ay) işlemine tabi tutulmuş deney numune gruplarına ait ortalama gerilme gevşeme değerleri (N).

ÜK***	F(Δt_1)	F(Δt_2)	F(Δt_3)	F(Δt_4)	F(Δt_5)	F(Δt_6)	ΔF_{ϵ}
IV-1	596,8 (0,23)	445,4 (28,84)	428,0 (28,91)	416,1 (26,98)	408,8 (26,70)	400,8 (25,06)	210,3 (3,17)
IV-2	597,7 (0,17)	404,1 (11,64)	382,3 (17,98)	367,1 (21,45)	353,5 (14,11)	345,6 (13,94)	253,0 (5,47)
IV-3	596,7 (0,16)	441,2 (21,63)	425,2 (22,35)	414,9 (21,65)	406,8 (20,43)	400,4 (19,36)	196,2 (19,22)
IV-4	597,9 (0,09)	408,6 (3,02)	385,9 (2,10)	372,9 (2,40)	362,7 (3,91)	356,0 (3,45)	241,8 (3,54)
IV-5	596,9 (0,22)	430,8 (2,85)	414,4 (3,70)	404,5 (3,89)	397,9 (5,21)	393,3 (6,38)	203,6 (6,26)
IV-6	597,8 (0,16)	401,1 (6,17)	380,5 (1,50)	367,9 (3,05)	358,1 (4,00)	349,8 (7,34)	248,0 (7,46)
IV-7	596,7 (0,24)	432,4 (9,66)	416,2 (9,23)	406,3 (9,74)	399,8 (10,28)	393,9 (7,78)	202,7 (7,62)
IV-8	597,7 (0,20)	438,1 (30,07)	416,9 (30,61)	401,6 (32,75)	393,4 (30,95)	386,4 (30,75)	211,2 (30,95)
IV-9	596,8 (0,10)	442,2 (17,72)	423,6 (17,16)	415,9 (15,74)	410,0 (17,05)	399,9 (13,87)	196,8 (13,86)
IV-10	597,5 (0,37)	426,7 (37,81)	405,3 (39,28)	393,1 (37,79)	382,7 (38,47)	374,6 (36,96)	222,9 (37,34)
IV-11	596,9 (0,28)	448,6 (24,25)	430,8 (26,21)	420,5 (26,28)	411,4 (27,16)	405,8 (26,09)	191,1 (25,81)
IV-12	597,6 (0,23)	408,1 (13,97)	385,6 (12,38)	371,8 (11,21)	364,1 (11,45)	356,9 (11,90)	240,7 (12,12)
IV-13	596,9 (0,21)	440,7 (15,39)	423,8 (15,20)	414,0 (14,94)	405,4 (15,79)	397,4 (14,90)	199,4 (14,69)
IV-14	597,5 (0,29)	423,0 (26,56)	399,8 (25,41)	386,3 (24,46)	378,5 (24,71)	371,9 (23,50)	225,6 (23,79)

*ortalama değer, **standart sapma, Ü.K: üretim kodu *** her gruptan 3 adet deney numunesi test edilmiş ve süre 7200 saniye sabit tutulmuştur.

Farklı parçacık büyüklüğü ve oranlarda (nm ve μm) TiO_2 katılımı ile üretilen deney numunelerinin 12 ay doğal yaşlandırma sonucunda çekmede gerilme gevşeme direnci belirlenmiş ve elde edilen çekmede gerilme gevşeme direnci ortalama ve standart sapma değerleri Çizelge 4.85'te gösterilmiştir.

Çizelge 4.85. Doğal yaşlandırma (12 ay) işlemine tabi tutulmuş deney numune gruplarına ait ortalama gerilme gevşeme değerleri (N).

ÜK***	F(Δt_1)	F(Δt_2)	F(Δt_3)	F(Δt_4)	F(Δt_5)	F(Δt_6)	ΔF_{ϵ}
IV-1	596,8 (0,18)	448,0 (22,76)	434,0 (24,31)	425,9 (25,13)	418,6 (24,49)	413,0 (23,47)	183,7 (23,65)
IV-2	599,0 (0,07)	406,4 (1,19)	386,2 (2,78)	374,3 (3,52)	364,6 (3,88)	357,9 (4,80)	241,0 (4,74)
IV-3	596,8 (0,15)	429,2 (1,62)	413,7 (3,12)	404,2 (1,33)	398,8 (1,58)	394,0 (0,06)	202,8 (0,20)
IV-4	597,9 (0,10)	418,3 (23,71)	399,0 (24,85)	387,9 (24,31)	379,5 (2,03)	373,2 (23,89)	224,7 (23,98)
IV-5	596,7 (0,05)	433,2 (4,66)	417,6 (3,95)	408,8 (4,35)	402,6 (4,98)	397,6 (6,75)	199,0 (6,80)
IV-6	597,6 (0,43)	421,2 (33,09)	403,2 (32,97)	390,8 (32,82)	382,5 (32,27)	375,1 (32,33)	222,5 (32,76)
IV-7	596,9 (0,18)	456,9 (36,83)	444,1 (41,55)	435,8 (42,26)	429,4 (44,51)	425,4 (44,28)	171,4 (44,25)
IV-8	597,8 (0,21)	438,7 (39,50)	419,2 (38,72)	407,1 (37,76)	395,9 (34,09)	392,8 (34,79)	204,9 (35,00)
IV-9	597,0 (0,48)	441,7 (41,86)	434,7 (35,43)	427,7 (34,43)	422,1 (33,86)	409,3 (44,30)	187,6 (44,07)
IV-10	597,7 (0,14)	416,5 (7,99)	395,7 (8,52)	382,4 (7,54)	374,2 (7,10)	367,9 (5,98)	229,8 (6,12)
IV-11	596,8 (0,16)	429,8 (6,67)	415,2 (3,92)	405,0 (1,60)	396,6 (0,79)	392,6 (1,38)	204,1 (1,53)
IV-12	597,7 (0,13)	408,6 (0,20)	387,6 (1,00)	375,4 (1,80)	368,2 (0,59)	361,7 (1,35)	236,0 (1,34)
IV-13	596,9 (0,16)	437,4 (4,62)	421,4 (4,14)	411,5 (4,41)	404,7 (3,98)	398,0 (4,69)	198,8 (4,83)
IV-14	597,8 (0,09)	406,0 (0,17)	385,4 (1,36)	373,8 (1,49)	365,8 (1,66)	359,7 (2,07)	238,1 (2,12)

*ortalama değer, **standart sapma, Ü.K: üretim kodu *** her gruptan 3 adet deney numunesi test edilmiş ve süre 7200 saniye sabit tutulmuştur.

Farklı parçacık büyüklüğü ve oranlarda (nm ve μm) TiO_2 katılımı ile üretilen deney numunelerinin 18 ay doğal yaşlandırma sonucunda çekmede gerilme gevşeme direnci belirlenmiş ve elde edilen çekmede gerilme gevşeme direnci ortalama ve standart sapma değerleri Çizelge 4.86’da gösterilmiştir.

Çizelge 4.86. Doğal yaşlandırılmış (18 ay) deney numune gruplarına ait ortalama gerilme gevşeme değerleri (N).

ÜK***	F(Δt_1)	F(Δt_2)	F(Δt_3)	F(Δt_4)	F(Δt_5)	F(Δt_6)	ΔF_{ϵ}
IV-1	596,7 (0,17)	442,8 (30,90)	425,8 (33,78)	415,2 (35,11)	407,8 (34,92)	401,8 (34,16)	194,9 (34,32)
IV-2	--	--	--	--	--	--	--
IV-3	596,8 (0,15)	441,8 (34,61)	426,1 (37,25)	418,5 (40,54)	409,8 (37,66)	405,3 (37,54)	191,5 (37,41)
IV-4	597,8 (0,16)	425,1 (22,63)	405,5 (22,32)	393,4 (21,41)	385,5 (22,02)	378,7 (21,09)	219,0 (21,20)
IV-5	596,8 (0,07)	445,0 (31,20)	430,2 (31,33)	420,0 (32,77)	412,5 (32,08)	407,5 (31,69)	189,2 (31,63)
IV-6	598,1 (0,28)	370,2 (72,83)	347,4 (82,22)	331,2 (84,46)	320,0 (84,71)	312,1 (87,81)	286,0 (88,06)
IV-7	597,0 (0,06)	436,0 (7,53)	423,2 (9,62)	415,3 (12,20)	407,1 (14,24)	401,0 (15,45)	196,0 (15,40)
IV-8	598,0 (0,13)	416,4 (6,39)	396,63 (5,13)	386,59 (7,12)	378,5 (4,27)	366,7 (6,19)	231,2 (6,30)
IV-9	596,7 (0,36)	396,7 (64,69)	374,9 (69,19)	363,4 (71,09)	352,6 (76,82)	348,3 (77,44)	248,4 (77,79)
IV-10	597,9 (0,07)	419,0 (0,80)	398,4 (3,46)	390,3 (1,22)	368,6 (15,23)	360,2 (17,83)	237,7 (17,79)
IV-11	597,0 (0,16)	427,2 (9,69)	418,3 (4,54)	414,3 (2,48)	406,6 (2,19)	396,8 (8,55)	200,1 (8,38)
IV-12	597,9 (0,05)	418,8 (1,24)	403,5 (3,14)	385,8 (12,50)	377,6 (16,03)	377,1 (9,08)	220,8 (9,05)
IV-13	596,8 (0,19)	437,4 (9,19)	423,5 (11,50)	416,4 (8,39)	409,0 (6,71)	404,9 (8,48)	191,8 (8,29)
IV-14	597,9 (0,08)	410,8 (6,08)	386,4 (6,23)	373,0 (8,57)	360,5 (5,88)	353,4 (14,65)	244,4 (14,57)

*ortalama değer, **standart sapma, Ü.K: üretim kodu *** her gruptan 3 adet deney numunesi test edilmiş ve süre 7200 saniye sabit tutulmuştur. IV-2 Deney numunesi 600 N kuvvette kopmuştur.

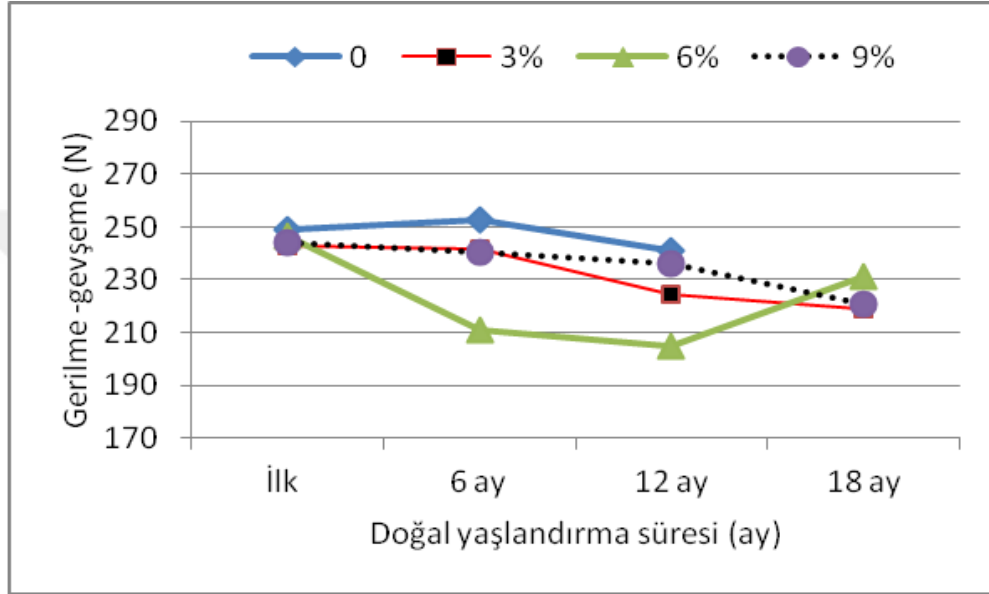
Farklı parçacık büyüklüğü ve oranlarda (nm ve μm) TiO_2 katılarak üretilen ilk, 6, 12 ve 18 aylık doğal yaşlandırma etkisinin deney numunelerinin çekmede gerilme gevşeme direnci değer farkı Çizelge 4.87’de gösterilmiştir.

Çizelge 4.87. Doğal yaşlandırma işlemine tabi tutulmuş deney numunelerinin ilk, 6, 12 ve 18 aylık ortalama gerilme gevşeme ve standart sapma değerleri (N).

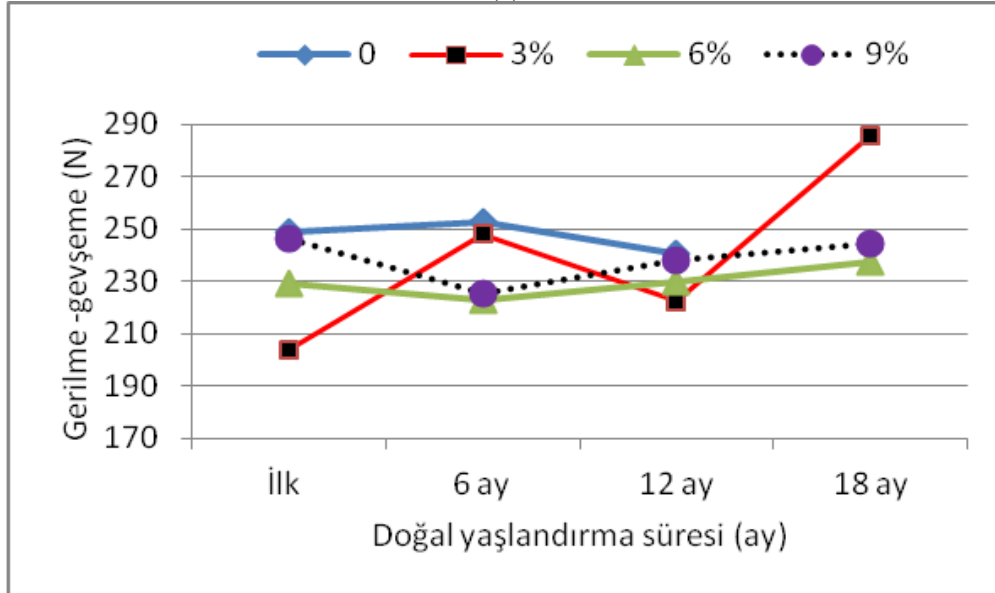
ÜK***	İlk	6 ay	12 ay	18 ay
IV-1	214,8 (6,18)	210,3 (3,17)	183,7 (23,65)	194,9 (34,32)
IV-2	249,1 (10,32)	253,0 (5,47)	241,0 (4,74)	--
IV-3	218,5 (8,48)	196,2 (19,22)	202,8 (0,20)	191,5 (37,41)
IV-4	242,8 (1,82)	241,8 (3,54)	224,7 (23,98)	219,0 (21,20)
IV-5	209,3 (30,16)	203,6 (6,26)	199,0 (6,80)	189,2 (31,63)
IV-6	240,7 (3,97)	248,0 (7,46)	222,5 (32,76)	286,0 (88,06)
IV-7	204,1 (22,04)	202,7 (7,62)	171,4 (44,25)	196,0 (15,40)
IV-8	246,8 (18,67)	211,2 (30,95)	204,9 (35,00)	231,2 (6,30)
IV-9	203,7 (6,54)	196,8 (13,86)	187,6 (44,07)	248,4 (77,79)
IV-10	229,3 (3,82)	222,9 (37,34)	229,8 (6,12)	237,7 (17,79)
IV-11	207,9 (17,71)	191,1 (25,81)	204,1 (1,53)	200,1 (8,38)
IV-12	244,2 (18,89)	240,7 (12,12)	236,0 (1,34)	220,8 (9,05)
IV-13	216,7 (17,75)	199,4 (14,69)	198,8 (4,83)	191,8 (8,29)
IV-14	246,5 (14,06)	225,6 (23,79)	238,1 (2,12)	244,4 (14,57)

*ortalama değer, **standart sapma, Ü.K: üretim kodu *** her gruptan 3 adet deney numunesi test edilmiş ve süre 7200 saniye sabit tutulmuştur. IV-2 Deney numunesi 600 N kuvvette kopmuştur (18 Ay).

Deney numunelerin gerilme gevşeme düşme değeri farkı tespiti için; deney süresince eksponansiyelliğin bitip yaklaşık lineerliğin doğrunun süre içerisinde bittiği nokta arasındaki fark değerleri alınmıştır. Farklı parçacık büyüklüğü ve oranlarda (nm ve μm) TiO_2 katılımı ile üretilen ilk, 6, 12 ve 18 aylık doğal yaşlandırılmış deney numunelerinin gerilme gevşeme direnç değerleri üzerine etkisi Şekil 4.73 ve 4.74'te gösterilmiştir. Şekil 4.73 ve 4.74 incelendiğinde, deney numunelerin gerilme gevşeme değerlerinin dolgu maddesi türü ve oranın etkili olduğu tespit edilmiştir.

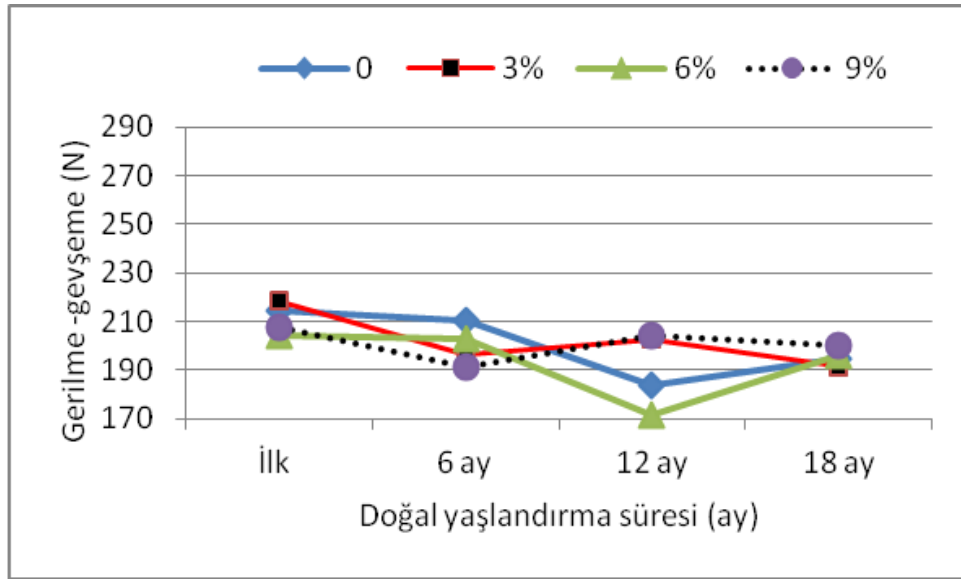


(a)

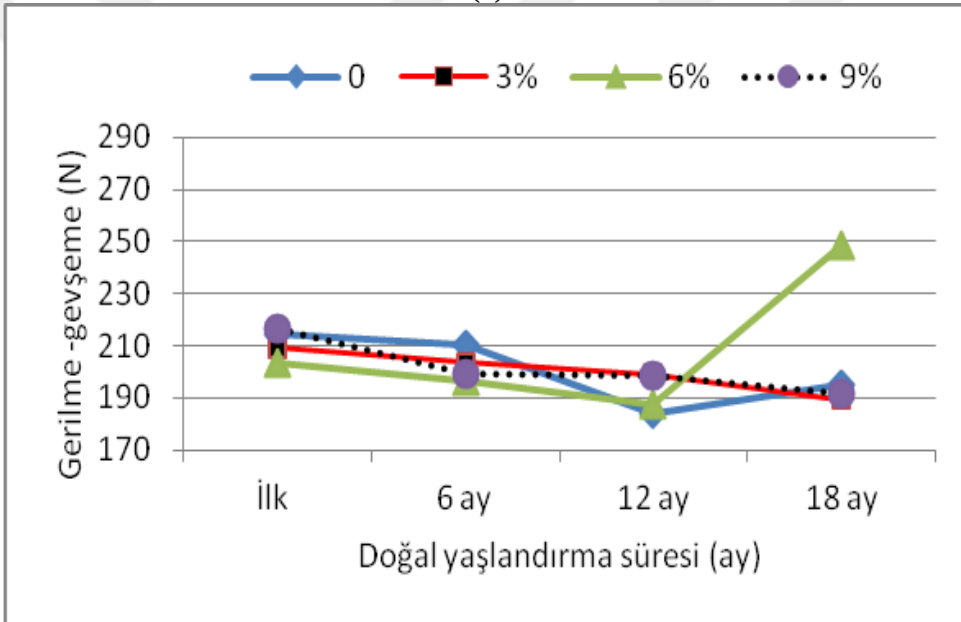


(b)

Şekil 4.73. Deney numunelerinin ortalama gerilme gevşeme değerleri a) Saf PP ve Mikron TiO_2 ve d) Saf PP Nano TiO_2 .



(c)



(d)

Şekil 4.74. Deney numunelerinin ortalama gerilme gevşeme değerleri c) Kompozit ve Mikron %TiO₂ ve d) Kompozit ve Nano %TiO₂.

Doğal yaşlandırma işlemine tabi tutulmamış deney numunelerinin gerilme gevşemedeki ortalama düşme değeri farkı 204,10 ile 249,15 N aralığında oldukları tespit edilmiştir. En küçük gerilme gevşemedeki ortalama düşüş değeri KOU+%6 μm TiO₂ katılmış (204,10 N) ve en yüksek ise KOU ve TiO₂ katılmamış PP'de (249,15 N) deney numunelerinde tespit edilmiştir. Doğal yaşlandırma işlemine tabi tutulmuş (6 ay) deney numunelerinin gerilme gevşemedeki ortalama düşüş değerlerinin 191,12 ile 253,05 N aralığında oldukları tespit edilmiştir. En küçük gerilme gevşemedeki ortalama düşüş değeri dolgu maddesi katılmamış %40KOU+%9 μm TiO₂ (191,12 N) ve en yüksek ise KOU ve

TiO₂ katılmamış PP'de (253,05 N) deney numunelerinde tespit edilmiştir. Doğal yaşlandırma işlemine tabi tutulmuş (12 ay) deney numunelerinin gerilme gevşemedeki ortalama düşüş değerlerinin 171,48 ile 241,03 N aralığında oldukları tespit edilmiştir. En küçük gerilme gevşemedeki ortalama düşüş değeri dolgu maddesi katılmamış %40KOU+%6 µmTiO₂ (171,48 N) ve en yüksek ise KOU ve TiO₂ katılmamış PP'de (253,05 N) deney numunelerinde tespit edilmiştir.

Doğal yaşlandırma işlemine tabi tutulmuş (18 ay) deney numunelerinin gerilme gevşemedeki ortalama düşüş değerlerinin 189,2 ile 286,0 N aralığında oldukları tespit edilmiştir. En küçük gerilme gevşemedeki ortalama düşüş değeri dolgu maddesi katılmamış %40KOU+%3nm TiO₂ (189,2 N) ve en yüksek ise %94PP+%3nm TiO₂ (286,0 N) deney numunelerinde tespit edilmiştir. Deney numune gruplarından IV-4 üretim kodlu (%94 PP) numuneler 600 N çekme kuvvetine doğal yaşlandırmanın etkisi ile dayanım göstermediğinden kırılmıştır. Bu nedenle bu kodlu numuneye ait değerler Çizelgede verilmemiştir.

Deney numuneleri içerisine LDM katılımı gerilme gevşemedeki düşüşü değerini kontrol numunesi olan PP'ye göre azalttığı belirlenmiştir. Deney numuneleri içerisine %3-6-9 oranında µm TiO₂ katılımı deney numunelerin gerilme düşüşü değerini arttırdığı ancak %3-6-9 oranında nm TiO₂ katılımı ile µm katılmış deney numunelerine göre düşürdüğü tespit edilmiştir. Doğal yaşlandırma işlemine tabi tutulmuş deney numunelerinde ise %3-6-9 oranında µm TiO₂ katılımı zamana ve katılım oranına paralel olarak deney numunelerin gerilme düşüşü değerini PP'ye göre arttırdığı ancak %3-6-9 oranında nm TiO₂ katılımı ile deney numunelerine göre düşürdüğü tespit edilmiştir. LDM katılım oranının deney numunelerinin gerilme gevşeme değerlerinde etkili olduğu ve TiO₂ katılım oranı arttıkça gerilme gevşeme ortalama düşüş değerlerini belirgin bir şekilde azalttığı tespit edilmiştir. Benzer şekilde veriler daha önce yapılan çalışmalarda elde edilmiştir. Literatürde dolgu maddesi oranın polimer zincirlerinin aralarındaki hareket kabiliyetini azalttığı, bu durumun gevşemeyi geciktirdiği ve dolgu maddesi miktarı arttıkça gevşemenin azaldığı rapor edilmiştir (Kutty ve Nando, 1991; Bhattacharyya ve ark., 2006; Mirzai ve ark., 2011; Wan ve ark., 2012; Obaid ve ark., 2017). Doğal yaşlandırılmış deney numunelerinin gerilme gevşeme direncinde azalmalar tespit edilmiştir. Mirzai ve arkadaşları (2011) tarafından yapılan çalışmada ağırlıkça %25 ve %50 oranında dört çeşit dolgu malzemesi (odun unu, pirinç kabuğu, gazete kağıdı ve kenaf lifi) HDPE içerisinde dolgu maddesi olarak kullanılmış ve gerilme gevşeme özellikleri araştırılmıştır. Deney numunelerinden elde

edilen veriler dolgu maddesi oranı arttıkça gevşeme değerlerinin düşürdüğü, gerilme ve gevşeme seviyesinin dolgu maddesi oranı ile ters korelasyona sahip olduğunu göstermiştir.

4.4.2.8. Doğal yaşlandırılmış örneklerde renk değişimi

Farklı parçacık büyüklüğü ve oranlarda (nm ve μm) TiO_2 katılımı ile üretilen deney numunelerinin ilk, 6, 12 ve 18 aylık doğal yaşlandırma sonucunda renk değişim değerleri belirlenmiştir. İlk ölçüm ve 6 ay doğal yaşlandırma işlemine tabi tutulmuş deney numunelerinden elde edilen renk değişim değerleri ortalama ve standart sapma değerleri Çizelge 4.88’de gösterilmiştir.

Çizelge 4.88. Deney numunelerinin ilk ve 6 aylık renk ölçüm değerleri ve 6 aylık ortalama ΔE^* .

ÜK***	0			6 ay			
	L*	a*	b*	L*	a*	b*	Ort. ΔE^*
IV-1	32,34* (1,07)	7,44 (0,41)	10,01(1,02)	64,60 (1,33)	1,60 (0,12)	5,74 (0,81)	33,08 (2,17)
IV-2	33,97 (0,27)	-0,23 (0,04)	13,50 (1,38)	39,86 (0,71)	-0,51 (0,08)	0,28 (0,02)	6,01 (0,94)
IV-3	71,67 (1,50)	4,11 (0,28)	14,68 (0,20)	78,22 (1,63)	1,63 (0,13)	7,52 (0,40)	10,05 (1,39)
IV-4	95,00 (0,65)	-0,13 (0,48)	37,24 (1,33)	92,76 (0,53)	-0,06 (0,04)	4,30 (0,27)	2,35 (1,05)
IV-5	69,35 (0,40)	4,26 (0,08)	13,99 (0,56)	76,67 (0,47)	1,69 (0,12)	7,81 (0,80)	9,94 (1,30)
IV-6	94,55 (0,67)	-0,29 (0,06)	3,63 (0,19)	91,44 (0,77)	0,16 (0,09)	4,60 (0,25)	3,31 (0,76)
IV-7	74,06 (0,45)	32,23 (1,64)	12,69 (1,75)	77,79 (1,15)	1,47 (0,29)	8,39 (2,88)	5,97 (1,29)
IV-8	95,60 (0,69)	-0,48 (0,05)	3,64 (0,09)	93,31 (0,28)	-0,10 (0,04)	4,13 (0,25)	2,40 (0,45)
IV-9	75,93 (0,92)	2,96 (0,21)	11,77 (0,50)	78,17 (0,55)	1,61 (0,19)	7,58 (0,80)	4,98 (0,76)
IV-10	95,93 (0,23)	-0,37 (0,02)	3,07 (0,01)	92,39 (0,53)	0,04 (0,06)	4,34 (0,38)	3,79 (0,44)
IV-11	80,40 (1,83)	2,21 (0,38)	11,13 (1,39)	82,47 (0,72)	1,71 (0,43)	7,89 (0,21)	4,04 (2,51)
IV-12	96,74 (0,12)	-0,39 (0,01)	2,79 (0,09)	93,48 (0,72)	-0,12 (0,02)	3,93 (0,13)	3,47 (0,63)
IV-13	77,14 (5,24)	2,34 (0,07)	10,65 (0,58)	82,17 (0,38)	1,55 (0,42)	7,65(2,27)	6,84 (3,98)
IV-14	96,16 (0,54)	-0,31 (0,01)	3,06 (0,10)	92,70 (0,55)	0,08 (0,06)	4,56(0,18)	3,80 (1,05)

*ortalama değer, **standart sapma, Ü.K: üretim kodu *** her gruptan 3 adet deney numunesi test edilmiştir.

İlk ölçüm ve 12 ay doğal yaşlandırma işlemine tabi tutulmuş deney numunelerinden elde edilen renk değişim değerleri ortalama ve standart sapma değerleri Çizelge 4.89’da gösterilmiştir.

Çizelge 4.89. Deney numunelerinin ilk ve 12 aylık renk ölçüm değerleri ve 12 aylık ortalama ΔE^* .

ÜK***	0			12 ay			
	L*	a*	b*	L*	a*	b*	Ort. ΔE^*
IV-1	33,19 (0,99)	7,54 (0,71)	10,67 (0,85)	63,51(8,84)	4,93 (3,67)	11,74 (0,19)	30,63 (8,46)
IV-2	34,14 (0,20)	-0,25 (0,06)	13,57 (2,82)	49,08 (1,82)	-0,37 (0,15)	3,27 (0,75)	15,09 (1,64)
IV-3	70,61 (1,36)	4,37 (0,34)	14,88 (0,60)	79,10 (0,81)	2,20 (0,77)	9,23 (1,04)	10,46 (2,24)
IV-4	95,65 (0,03)	-0,36 (0,02)	38,58 (0,32)	91,45 (1,03)	-0,36 (0,18)	6,93 (0,54)	5,20 (1,13)
IV-5	71,16 (0,58)	3,69 (0,07)	12,69 (0,20)	79,05 (1,15)	1,80 (0,18)	9,75 (1,06)	9,68 (4,62)
IV-6	95,05 (0,40)	-0,09 (0,29)	3,72 (0,16)	87,44 (0,96)	0,48 (0,23)	9,02 (0,93)	9,31 (1,44)
IV-7	75,30 (0,31)	32,26 (1,49)	12,68 (0,17)	80,61 (1,80)	1,67 (0,10)	9,55 (0,44)	6,38 (2,05)
IV-8	95,55 (0,64)	-0,43 (0,02)	3,57 (0,15)	91,38 (0,69)	-0,10 (0,13)	6,98 (0,31)	5,42 (0,30)
IV-9	73,82 (1,08)	3,02 (0,25)	11,16 (0,07)	78,49 (1,16)	2,38 (0,25)	9,72 (0,44)	4,94 (1,70)
IV-10	95,66 (0,46)	-0,38 (0,02)	3,06 (0,07)	85,63 (11,93)	2,89 (4,94)	5,32 (1,02)	4,99 (10,53)
IV-11	79,93 (1,04)	2,42 (0,13)	11,00 (0,34)	82,23 (1,27)	1,63 (0,13)	9,53 (1,31)	4,16 (1,57)
IV-12	96,59 (0,30)	-0,40 (0,01)	2,74 (0,05)	92,17 (0,64)	-0,05 (0,14)	6,11 (0,54)	5,56 (0,88)
IV-13	81,05 (0,26)	1,94 (0,18)	9,44 (0,76)	79,13 (3,15)	1,79 (0,43)	10,47 (1,11)	4,08 (0,86)
IV-14	96,42 (0,24)	-0,30 (0,03)	3,01 (0,12)	90,85 (1,04)	0,20 (0,14)	5,86 (0,56)	6,29 (1,02)

*ortalama değer, **standart sapma, Ü.K: üretim kodu *** her gruptan 3 adet deney numunesi test edilmiştir.

İlk ölçüm ve 18 ay doğal yaşlandırma işlemine tabi tutulmuş deney numunelerinden elde edilen renk değişim değerleri ortalama ve standart sapma değerleri Çizelge 4.90'da gösterilmiştir.

Çizelge 4.90. Deney numunelerinin ilk ve 18 aylık renk ölçüm değerleri ve 18 aylık ortalama ΔE^* .

ÜK***	0			18 ay			
	L*	a*	b*	L*	a*	b*	Ort. ΔE^*
IV-1	32,81 (0,84)	8,04 (0,15)	10,71 (0,93)	61,89 (2,36)	1,77 (0,76)	6,62 (0,98)	30,04(2,35)
IV-2	33,87 (0,40)	-0,17 (0,01)	15,26 (1,66)	53,90 (81,37)	-0,13 (0,07)	5,60 (0,57)	20,45 (0,83)
IV-3	71,08 (0,98)	4,43 (0,26)	15,46 (0,34)	78,45 (0,92)	1,01 (0,14)	7,37 (1,01)	11,50 (1,39)
IV-4	95,51 (0,17)	-0,37 (0,04)	37,60 (0,51)	87,67 (0,47)	0,60 (0,11)	9,39 (0,26)	9,71 (0,22)
IV-5	70,22 (0,88)	3,87 (0,26)	13,70 (0,30)	75,23 (1,26)	0,88 (0,33)	6,72 (1,28)	9,11 (0,84)
IV-6	95,06 (0,11)	-0,08 (0,25)	3,82 (0,02)	84,44 (0,19)	0,57 (0,24)	9,04 (0,19)	11,86 (0,17)
IV-7	74,86 (1,14)	32,66 (2,33)	13,05 (0,11)	78,87(1,82)	1,20 (0,07)	7,65 (0,17)	7,09 (0,65)
IV-8	96,23 (0,01)	-0,40 (0,02)	3,83 (0,03)	88,18 (1,60)	0,59 (0,28)	9,15 (1,46)	9,71(2,15)
IV-9	75,29 (1,72)	3,13 (0,26)	12,04 (0,51)	78,48 (1,57)	1,14 (0,17)	7,13 (0,83)	6,27 (2,03)
IV-10	96,09 (0,25)	-0,35 (0,01)	3,14 (0,04)	88,14 (2,32)	0,68 (0,33)	8,73 (1,50)	9,79 (2,75)
IV-11	79,67 (0,84)	2,31 (0,24)	10,62 (0,21)	81,95 (1,62)	0,83 (0,13)	7,08 (0,59)	4,50 (0,93)
IV-12	96,73 (0,27)	0,15 (0,29)	2,80 (0,14)	91,80 (0,67)	0,15 (0,20)	6,48 (0,44)	6,18 (0,71)
IV-13	79,91 (1,09)	2,01 (0,33)	9,42 (1,33)	80,13 (0,50)	0,97 (0,18)	7,85 (0,90)	1,93 (0,36)
IV-14	96,57 (0,40)	-0,28 (0,03)	3,02 (0,11)	90,94 (1,44)	0,29 (0,26)	7,03 (1,20)	6,94 (1,78)

*ortalama değer, **standart sapma, Ü.K: üretim kodu *** her gruptan 3 adet deney numunesi test edilmiştir.

Farklı parçacık büyüklüğü ve oranlarda (nm ve μm) TiO_2 katılımı ile üretilen deney numunelerinin 6, 12 ve 18 ay doğal yaşlandırma sonucunda renk değişim değerleri belirlenmiştir. İlk ölçüm ve 6, 12 ve 18 ay doğal yaşlandırma işlemine tabi tutulmuş deney numunelerinden elde edilen ortalama ΔE değerleri Çizelge 4.91'de gösterilmiştir.

Çizelge 4.91. Deney numunelerin 6-12 ve 18 ay ortalama ΔE^* değerleri.

ÜK***	Ölçüm aralığı sonrası elde edilen ortalama ΔE^*		
	6 ay	12 ay	18 ay
IV-1	33,08 (2,17)	30,63 (8,46)	30,04 (2,35)
IV-2	6,01 (0,94)	15,09 (1,64)	20,45 (0,83)
IV-3	10,05 (1,39)	10,46 (2,24)	11,50 (1,39)
IV-4	2,35 (1,05)	5,20 (1,13)	9,71 (0,22)
IV-5	9,94 (1,30)	9,68 (4,62)	9,11 (0,84)
IV-6	3,31 (0,76)	9,31 (1,44)	11,86 (0,17)
IV-7	5,96 (1,29)	6,38 (2,05)	7,09 (0,65)
IV-8	2,40 (0,45)	5,42 (0,30)	9,71 (2,15)
IV-9	4,91 (0,76)	4,99 (1,70)	6,27 (2,03)
IV-10	3,79 (0,44)	4,99 (10,53)	9,79 (2,75)
IV-11	4,03 (2,51)	4,16 (1,57)	4,50 (0,93)
IV-12	3,47(0,63)	5,56 (0,88)	6,18 (0,71)
IV-13	6,84(3,98)	4,08 (0,86)	1,93 (0,36)
IV-14	3,81(1,05)	6,29 (1,02)	6,94(1,78)

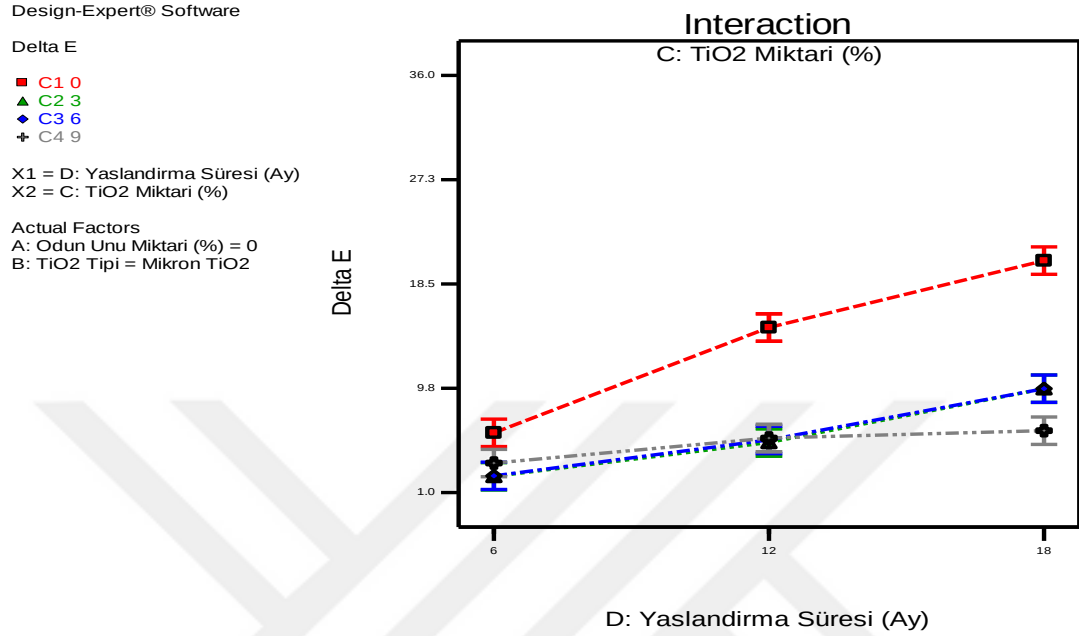
*ortalama değer, **standart sapma, Ü.K: üretim kodu *** her gruptan 3 adet deney numunesi test edilmiştir.

Farklı parçacık büyüklüğü ve oranlarda (nm ve μm) TiO_2 katılımı ile üretilen deney numunelerinin 6, 12 ve 18 ay doğal yaşlandırma sonucunda renk değişim değerleri üzerine önem düzeyini belirlemek amacıyla ANOVA testi uygulanmış ve elde edilen değerler Çizelge 4.92’de gösterilmiştir. Çizelge 4.92 incelendiğinde LDMO ve TiO_2 miktarı ile yaşlandırma süresinin deney numunelerinin renk değişim değerleri üzerine istatistiksel olarak önemli düzeyde etkili olduğu belirlenmiştir ($P < 0.0001$).

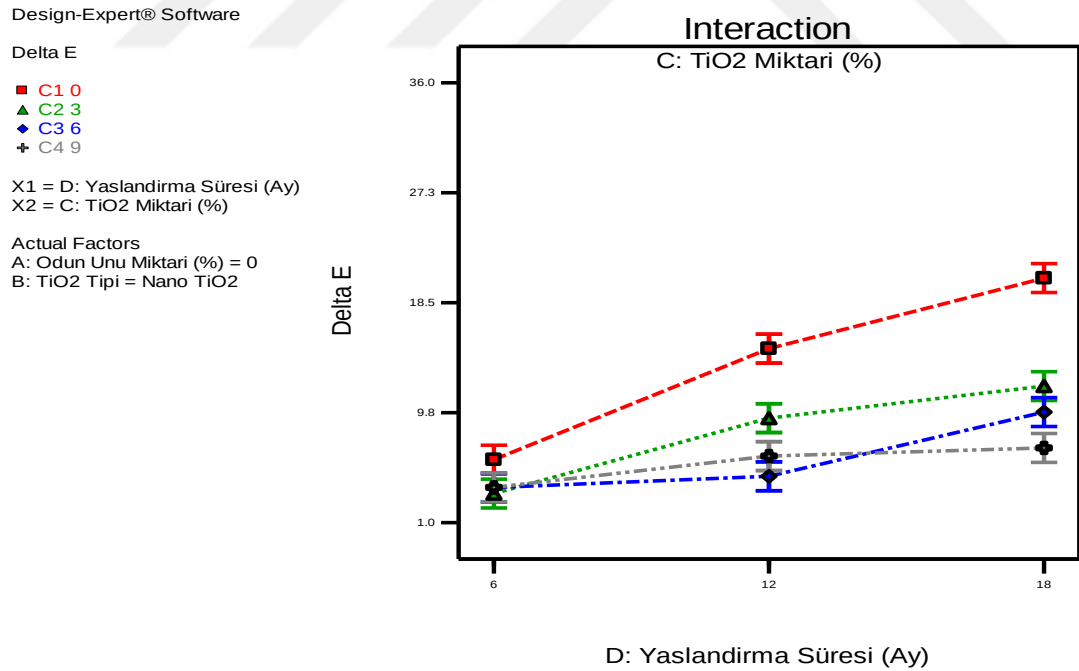
Çizelge 4.92. Farklı parçacık büyüklüğü ve oranlarda (nm ve μm) TiO_2 katılımı ile doğal yaşlandırmanın renk değişim değerleri üzerine etkisine ait ANOVA sonuçları.

Test	Kaynak	Kareler Top,	DF	Kareler Ort.	F	p-value Prob > F
Renk değişimi	Model	9797,79	47	208,46	103,94	< 0,0001significant
	A-Odun Unu Miktarı (%)	639,24	1	639,24	318,79	< 0.0001
	B- TiO_2 Tipi	0,13	1	0,13	0,065	07990
	C- TiO_2 Miktarı (%)	5969,64	3	1989,88	992,36	< 0.0001
	D-Yaşlandırma Süresi (Ay)	335,04	2	167,52	83,54	< 0.0001
	AB	21,47	1	21,47	10,71	0,0015
	AC	1902,53	3	634,18	316,27	< 0.0001
	AD	445,45	2	222,72	111,07	< 0.0001
	BC	3,71	3	1,24	0,62	0,6061
	BD	2,88	2	1,44	0,72	04,904
	CD	91,60	6	15,27	7,61	< 0.0001
	ABC	17,18	3	5,73	2,86	0,0415
	ABD	2,94	2	1,47	0,73	0,4830
	ACD	170,54	6	28,42	14,17	< 0.0001
	BCD	7,50	6	1,25	0,62	0,7114
	ABCD	14,05	6	2,34	1,17	0,3308
	Pure Error	180,47	90	2,01		
	Cor Total	9978,25	137			

Farklı parçacık büyüklüğü ve oranlarda (nm ve μm) TiO_2 katılımı ile üretilen 0, 6-12 ve 18 ay doğal yaşlandırılmış deney numunelerinin ortalama renk değişim değerleri üzerine etkisi Şekil 4.75 ve 76'da gösterilmiştir.



(a)



(b)

Şekil 4.75. Deney numune gruplarına ait 0, 6-12 ve 18 ay yaşlandırılmış ortalama renk değişim değerleri a) Saf grup ve Mikron TiO_2 , b) Saf grup ve Nano TiO_2 .

Design-Expert® Software

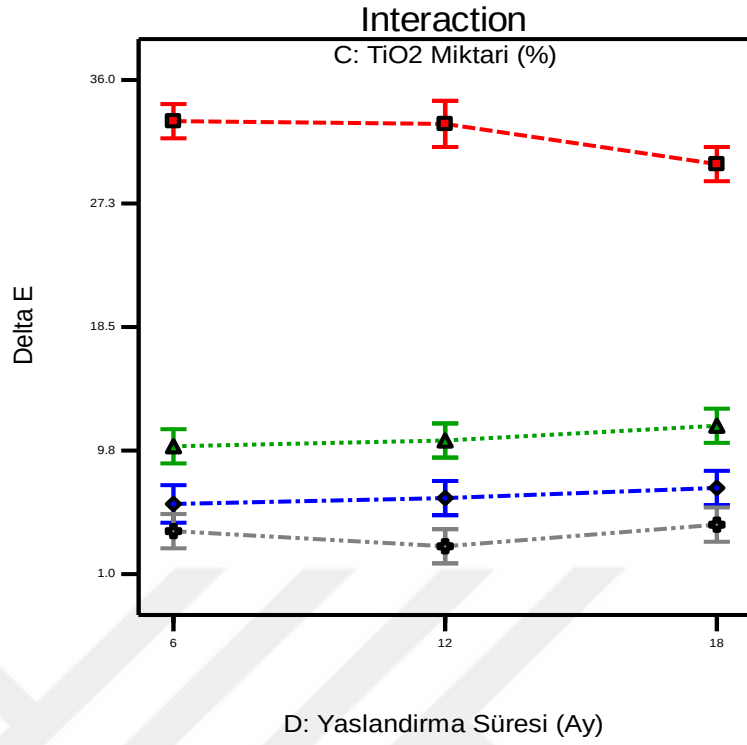
Delta E

■ C1 0
▲ C2 3
◆ C3 6
✦ C4 9

X1 = D: Yaslandirma Süresi (Ay)
X2 = C: TiO2 Miktarı (%)

Actual Factors

A: Odun Unu Miktarı (%) = 40
B: TiO2 Tipi = Mikron TiO2



(c)

Design-Expert® Software

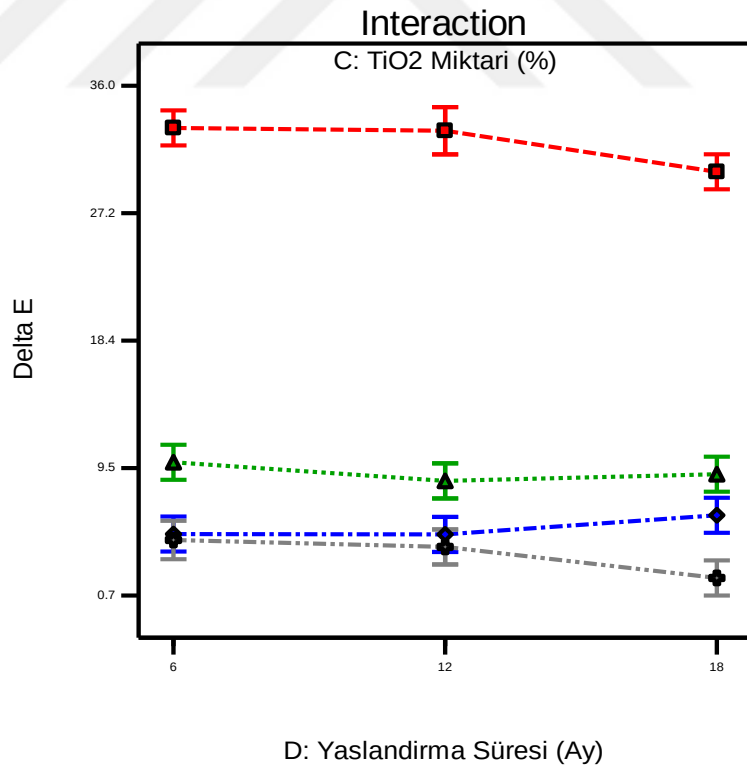
Delta E

■ C1 0
▲ C2 3
◆ C3 6
✦ C4 9

X1 = D: Yaslandirma Süresi (Ay)
X2 = C: TiO2 Miktarı (%)

Actual Factors

A: Odun Unu Miktarı (%) = 40
B: TiO2 Tipi = Nano TiO2



(d)

Şekil 4.76. Deney numune gruplarına ait 0, 6-12 ve 18 ay yaşlandırılmış ortalama renk değişim değerleri c) Kompozit ve Mikron TiO2 ve d) Kompozit ve Nano TiO2.

Üretilen deney numuneleri doğal yaşlandırma testine tabi tutulmuş ve sonuçlar ilk ölçüm değerleri ile karşılaştırılmıştır. Deney numunelerinin doğal yaşlandırmaları ilk ölçümleri yapıldıktan sonra 6-12 ve 18 ay olmak üzere 3 kademe halinde uygulanmış ve bu süreler sonunda renk değişimleri incelenmiştir. Doğal yaşlandırma işlemine tabi tutulmuş (6 ay) deney numunelerinin ortalama renk değişim değeri $\Delta E=2,35$ ile $\Delta E=33,08$ aralığında oldukları tespit edilmiştir. En küçük ortalama renk değişim değeri dolgu maddesi katılmamış %3 μmTiO_2 ($\Delta E=2,35$) ve en yüksek ise %40KOU katılmış ve TiO_2 katılmamış ($\Delta E=33,08$) deney numunelerinde tespit edilmiştir.

Doğal yaşlandırma işlemine tabi tutulmuş (12 ay) deney numunelerinin ortalama renk değişim değeri $\Delta E=4,08$ ile $\Delta E=30,63$ aralığında oldukları tespit edilmiştir. En küçük ortalama renk değişim değeri dolgu maddesi katılmamış %40KOU+%9nm TiO_2 ($\Delta E=4,08$) ve en yüksek ise %40KOU katılmış ve TiO_2 katılmamış ($\Delta E=30,63$) deney numunelerinde tespit edilmiştir.

Doğal yaşlandırma işlemine tabi tutulmuş (18 ay) deney numunelerinin ortalama renk değişim değeri $\Delta E=1,93$ ile $\Delta E=30,04$ aralığında oldukları tespit edilmiştir. En küçük ortalama renk değişim değeri dolgu maddesi katılmamış %40KOU+%9nm TiO_2 ($\Delta E=1,93$) ve en yüksek ise %40KOU katılmış ve TiO_2 katılmamış ($\Delta E=30,04$) deney numunelerinde tespit edilmiştir.

Deney numunelerinin L^* , a^* ve b^* değerleri incelendiğinde; L^* siyah-beyaz (siyah için $L^*=0$, beyaz için $L^*=100$) ekseninde, a^* kırmızı-yeşil (pozitif değeri kırmızı, negatif değeri yeşil) ekseninde, b^* ise sarı-mavi (pozitif değeri sarı, negatif değeri mavi) ekseninde yer almaktadır. ΔE^* , renklerin L , a ve b yönlerinde meydana gelen toplam renk değişikliklerini göstermektedir. ΔE^* 'nin düşük değerde olması, rengin değişmediği yâda çok az değişim olduğunu göstermektedir. Burada en yüksek değer, en yüksek renk değişimini göstermektedir.

Doğal yaşlandırma işlemine tabi tutulmuş (6 ay) sadece KOU katılmış ve saf PP L^* değerinde artma, a^* ve b^* azalma gözlenmiştir. Yani yaşlandırma sonrası kompozitlerin ışıklılık değeri azalırken, kırmızı ve sarılık değerlerinde artma meydana gelmiştir. 6 ay yaşlandırma sonrasında %3-6-9 $\mu\text{m KOU}+\text{TiO}_2$ katılan deney numunelerin L^* değerinde artma, a^* değerinde ve b^* değerinde azalma gözlenirken PP+ TiO_2 deney numunelerinin L^* , a^* ve b^* değerinde azalma gözlenmiştir. 6 ay yaşlandırma sonrasında %3-6-9 nm KOU+ TiO_2 katılan deney numunelerin L^* değerinde artma, a^* ve b^* azalma gözlenirken

PP+nmTiO₂ deney numunelerinin L*, artma a* ve b* değerinde ise kullanım miktarına göre azalma ve artma gözlenmiştir. KOU katılmış ve saf PP deney numunelerinin renk değişimi $\Delta E=10$ 'un üzerinde ve $\Delta E=52$ değerinin de altında yani meydana gelen renk değişimleri gözle fark edilebilir değerler arasında olmuştur. %3-6-9 μm ve nm katılmış deney numune gruplarının renk değişimleri $\Delta E=10$ altında yani meydana gelen renk değişimleri gözle fark edilemez değerler arasında olmuştur.

Doğal yaşlandırma işlemine tabi tutulmuş (12 ay) sadece KOU katılmış ve saf PP L* değerinde artma, a* değerinde ve b* değerinde azalma gözlenmiştir. Yani yaşlandırma sonrası kompozitlerin ışıklılık değeri azalırken, kırmızı ve sarılık değerlerinde artma meydana gelmiştir. 12 ay yaşlandırma sonrasında %3-6-9 μm KOU+TiO₂ katılan deney numunelerin L* değerinde artma, a değerinde ve b değerinde azalma gözlenirken, PP+TiO₂ deney numunelerinin L*, a* ve b* değerinde azalma gözlenmiştir. 12 ay yaşlandırma sonrasında %3-6-9 nm KOU+TiO₂ katılan deney numunelerin L* değerinde artma, a* ve b* değerinde azalma gözlenirken PP+nmTiO₂ deney numunelerinin L*, azalma, a* ve b* değerinde ise kullanım miktarına göre artma gözlenmiştir. KOU katılmış, saf PP ve %40KOU+%3 μm TiO₂ deney numunelerinin renk değişimi $\Delta E=10$ 'un üzerinde ve $\Delta E=52$ değerinin de altında yani meydana gelen renk değişimleri gözle fark edilebilir değerler arasında olmuştur. %3-6-9 μm ve nm katılmış deney numune gruplarının renk değişimleri $\Delta E=10$ altında yani meydana gelen renk değişimleri gözle fark edilemez değerler arasında olmuştur.

Doğal yaşlandırma işlemine tabi tutulmuş (18 ay) sadece KOU katılmış ve saf PP L* değerinde artma, a* değerinde ve b* değerinde azalma gözlenmiştir. Yani yaşlandırma sonrası kompozitlerin ışıklılık değeri azalırken, kırmızı ve sarılık değerlerinde artma meydana gelmiştir. 18 ay yaşlandırma sonrasında %3-6-9 μm KOU+TiO₂ katılan deney numunelerin L* değerinde artma, a* ve b* değerinde azalma gözlenirken, PP+TiO₂ deney numunelerinin L*, a* değerinde azalma ve b* değerinde azalma gözlenmiştir. 18 ay yaşlandırma sonrasında %3-6-9 nm KOU+TiO₂ katılan deney numunelerin L*, a* ve b* değerinde azalma gözlenirken PP+nmTiO₂ deney numunelerinin L* değerinde azalma, a* ve b* değerinde ise kullanım miktarına göre artma gözlenmiştir. KOU katılmış, saf PP ve %40KOU+%3 μm TiO₂ ve %3nm TiO₂ deney numunelerinin renk değişimi $\Delta E=10$ 'un üzerinde ve $\Delta E=52$ değerinin de altında yani meydana gelen renk değişimleri gözle fark edilebilir değerler arasında olmuştur. %3-6-9 μm ve nm katılmış deney numune gruplarının renk değişimleri $\Delta E=10$ altında yani meydana gelen renk değişimleri gözle fark

edilemez değerler arasında olmuştur. Deney numunelerinde (%40KOU) odun partiküllerinin yüzeye çıkışının olduğu beyazlama ve grileşme gibi renk değişimleri gözle belirlenmiştir. Ayrıca yüzeyde beyazlama (PP) gibi renk değişimlerine ve yüzeyinde aşınma ve çatlaklara rastlanmıştır. Renk değişikliği yüzey çatlaması takip ettiği önceki araştırmalarda bildirilmiştir (Rowell ve ark. 2000; Li 2000; Selden ve ark., 2004). Odun partiküllerinin matristen ayrılması büyük olasılıkla rutubet alıp verdikten sonra şişen ve küçülen odun partiküllerinin bir sonucudur (Stark ve Matuana 2007).

Rowell ve ark., (2000) yapmış olduğu yaşlandırma testinde, odun unu polipropilen kompozitler, 2000 aya kadar UV etkisine maruz bırakılmıştır. 2000 ay UV ve su etkisinden sonra örnekler beyaz renkte olup beyaz renk, örneğin 10 mm derinliğine kadar inmiştir. Stark ve Matuana OPK'lerin renk solması veya parlaklık kaybının çoğunluğunun ahşap bileşenin ağartılmasına bağlı olabileceğini ileri sürmüştür. Fabiyi ve ark., kompozitin renk ve parlaklığı ile ahşap lignin bozunumu arasında kuvvetli bir korelasyon olduğunu gözlemişlerdir. Kompozitlerin parlaklık kaybı için diğer bir olası sebep, ahşaba renk katan ve suda çözünen ekstraktların yağmura maruz kalmaları nedeniyle suda çözünerek kaybolmasıdır. Doğal yaşlandırmaya maruz bırakılmış (0,6, 12 ve 18 ay) deney numunelerinin ortalama 16,58°C sıcaklık, %60,74 rutubet, 37,08 (kg/m²), yağış ve 3,737 (m/sn) rüzgar hızına maruz kalmaları ve maruz kaldığı etkiler göz önünde bulundurulduğunda renk, parlaklık ve bozunmalarının olması kaçınılmazdır.

4.4.3. Odun plastik kompozitlerin termal özellikleri

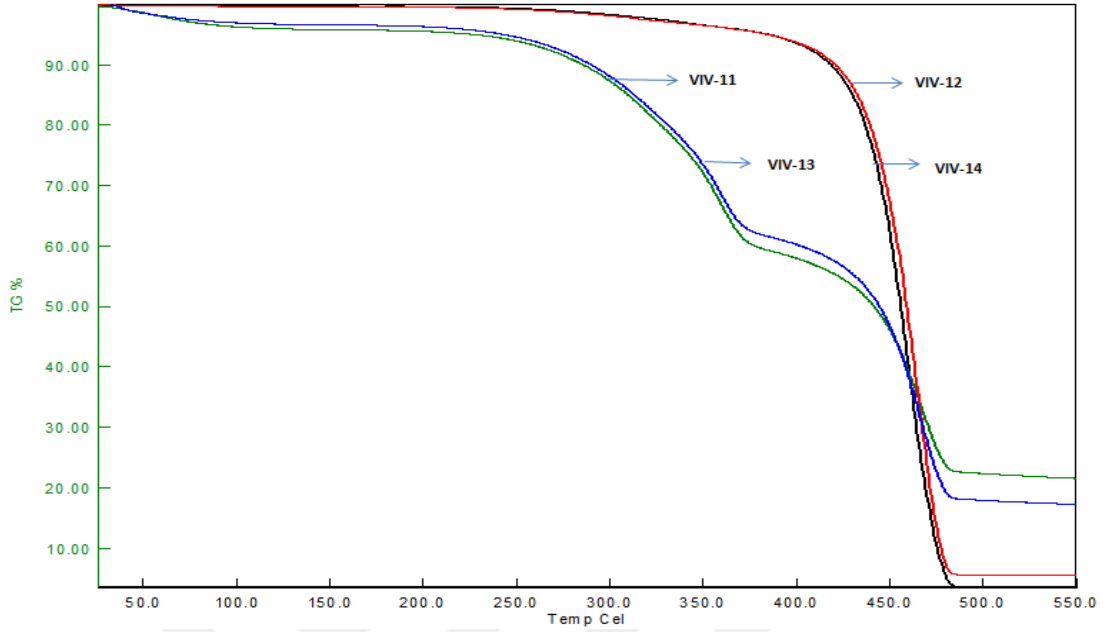
4.4.3.1. Termogravimetrik analiz (TGA)

Farklı parçacık büyüklüğü ve oranlarda (nm ve µm) TiO₂ kullanılarak üretilen deney numunelerinin termal bozunmaları TGA ile tespit edilmiş ve sonuçlar Çizelge 4.93'te gösterilmiştir.

Çizelge 4.93. deney numunelerine ait TGA analizleri

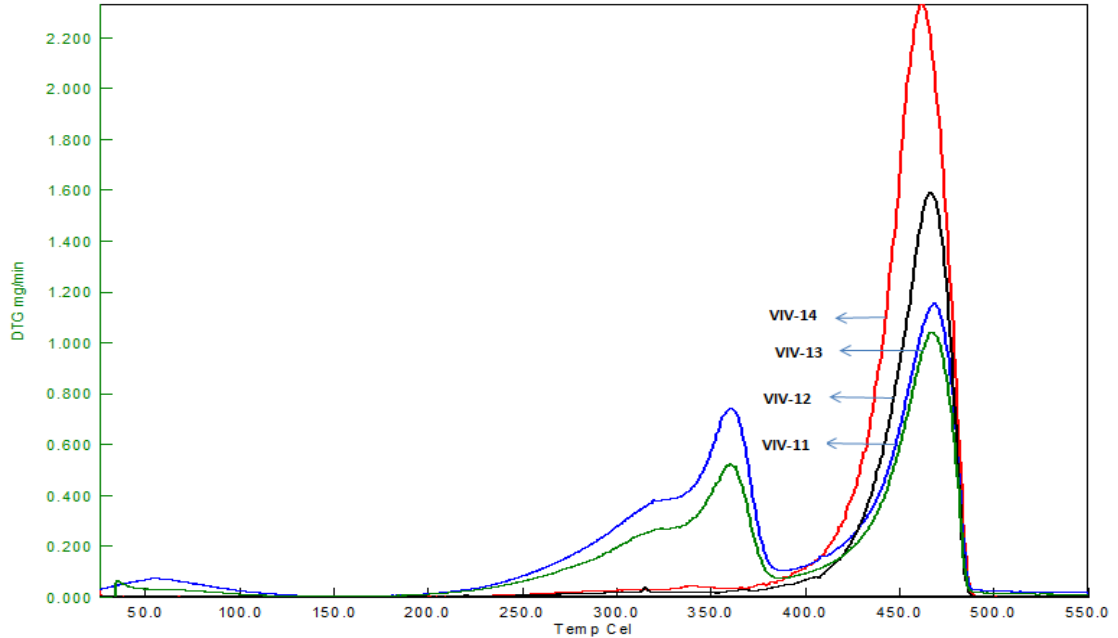
Ü.K.	Pik	Onset Temp. (°C)	Endset Temp. (°C)	Inflection point (°C)	Weight loss (%)	Residue after 520 (°C) (%)
IV-11	1. Pik	26,0	205,0	50,0	4,26	21,8
	2. Pik	205,0	375,0	370,0	36,39	
	3. Pik	388,2	534,8	468,2	37,17	
IV-12	1. Pik	233,2	524,2	465,9	93,82	5,53
IV-13	1. Pik	207,2	380,0	480	35,40	17,28
	2. Pik	395,6	549,0	380	43,58	
IV-14	1. Pik	246,8	548,2	461,1	95,81	3,56

Farklı parçacık büyüklüğü ve oranlarda (nm ve μm) TiO_2 kullanılarak üretilen deney numunelerinin termogravimetrik (TGA) termografları Şekil 4.77’de gösterilmiştir.



Şekil 4.77. Deney numune gruplarına ait termogravimetrik (TGA) termografları.

Farklı parçacık büyüklüğü ve oranlarda (nm ve μm) TiO_2 kullanılarak üretilen deney numunelerinin diferansiyel termogravimetrik termografları (DTG) Şekil 4.78’de gösterilmiştir.



Şekil 4.78. Deney numunelerinin diferansiyel termogravimetrik analiz (DTG) termografları.

Şekil 4.77 ve 4.78’de IV-11, IV-12, IV-13 ve IV-14 üretim kodu ile üretilen deney numunelerinin termogravimetrik (TGA) görüntüleri verilmiştir. TGA görüntüleri verilen deney numunelerinde tamamında %40 oranında lignoselülozik dolgu maddesi ve %9 oranında nano ve mikron boyutlarında ve TiO_2 bulunmaktadır. İçerisine %40 oranında kızılçam LDMO ve %9 oranında mikron TiO_2 katılan deney numunelerinde 110°C ’nin altında yüzeye adsorblanan su molekülünden kaynaklanan kütle kaybı görülmüştür. Bozunma 2 aşamada gerçekleşmiştir. İlk aşamada 205 ile 375°C arasında %36,39 oranında bir bozunma meydana gelmekle birlikte DTG grafiği incelendiğinde bu aralıkta 2 pikin yakın değer aralığında çakıştığı pikin omuz vermesinden anlaşılmıştır. 2 aşamadaki ise $388,2$ ile $534,8^\circ\text{C}$ aralığında bir başka bozunma piki meydana gelmiştir. Bu aralıkta maksimum bozunma $468,2^\circ\text{C}$ ’de meydana gelmiş olup %37,17 oranında bozunma meydana gelmiş ve 520°C ’de ki kalıntı miktarı %21,8 olarak tespit edilmiştir. İçerisine %40 oranında kızılçam LDMO ve %9 oranında nano TiO_2 katılan deney numunelerinde ise 2 aşamada bozunma meydana gelmiştir. İlk bozunma aralığı $207,2^\circ\text{C}$ ’de başlamış ve 380°C ’de bitmiştir. Bu aralıkta maksimum bozunma 380°C ’de gerçekleşmiş ve %35,40 bozunma meydana gelmiştir. İkinci bozunma $395,6^\circ\text{C}$ ’de bozunmaya başlamış 549°C ’de bitmiştir. Bu aralıktaki maksimum bozunma 480°C ’de olup %43,58 bozunma meydana gelmiştir. Ayrıca 225 ile 380 aralığında bir çakışma DTG grafiğindeki belirgin omuzun meydana geldiğinden anlaşılmaktadır. 520°C ’de %17,28 kalıntı miktarı miktarı tespit edilmiştir.

İçerisine %9 oranında mikron TiO_2 katılan deney numuneleri $233,2^\circ\text{C}$ ’de bozunmaya başlamış ve $524,2^\circ\text{C}$ ’de bitmiştir. 375 - 410°C aralığında bir çakışma olduğu gözlenmiş DTG grafiği incelendiğinde bunun nedeni olarak küçük bir omuzun meydana geldiği görülmüştür. 520°C ’de meydana gelmiş olup %37,17 oranında bozunma meydana gelmiş ve 520°C ’deki kalıntı miktarı %5,53 olarak tespit edilmiştir. İçerisine %9 oranında nano TiO_2 katılan deney numunelerinde bozunma tek aşamada gerçekleşmiştir. Bozunma $246,8^\circ\text{C}$ ’de başlamış $548,2^\circ\text{C}$ ’de bitmiştir. Bu aralıktaki maksimum bozunma $461,1^\circ\text{C}$ ’de olmuş ve bozunma miktarı %95,81 olarak tespit edilmiştir. 520°C ’deki kalıntı miktarının % 3,56 olduğu belirlenmiştir.

Şekil 4.78’de görüldüğü gibi L-MFI polipropilen içerisinde bulunan LDMO ile bozunmanın daha geç başladığı görülmektedir. Bozunma sıcaklığı $205,5^\circ\text{C}$ ’de başlamasına rağmen 375°C civarında %36,39 oranında bir ağırlık kaybı meydana gelmiştir. Bozunma sıcaklığı 388°C ’de başlamasına rağmen 534°C civarında %37,17

oranında bir ağırlık kaybı meydana gelmiştir. İçerisinde %9 oranında mikron boyutlarında TiO₂ bulunan deney numunelerinde bozunma sıcaklığı 233°C’de başlamasına rağmen 524°C civarında %93,82 oranında bir ağırlık kaybı meydana gelmiştir. İçerisinde %9 oranında nano boyutlarında TiO₂ bulunan deney numunelerinde ise bozunma sıcaklığı 246 °C’de başlamasına rağmen 548 °C civarında %95,81 oranında bir ağırlık kaybı meydana gelmiştir. Lignoselülozik malzemeler doğal yapılarında çeşitli oranlarda lignin, selülozdan ve hemiselüloz bulundurmaktadırlar. L-MFI polipropilen içerisine %40 oranında KOU ile %9 oranında mikron boyutlarında TiO₂ deney numunelerinin bozunma sıcaklıklarının %9 oranında nano boyutlarında TiO₂’ye göre bozunma sıcaklığını geliştirdiği tespit edilmiştir.

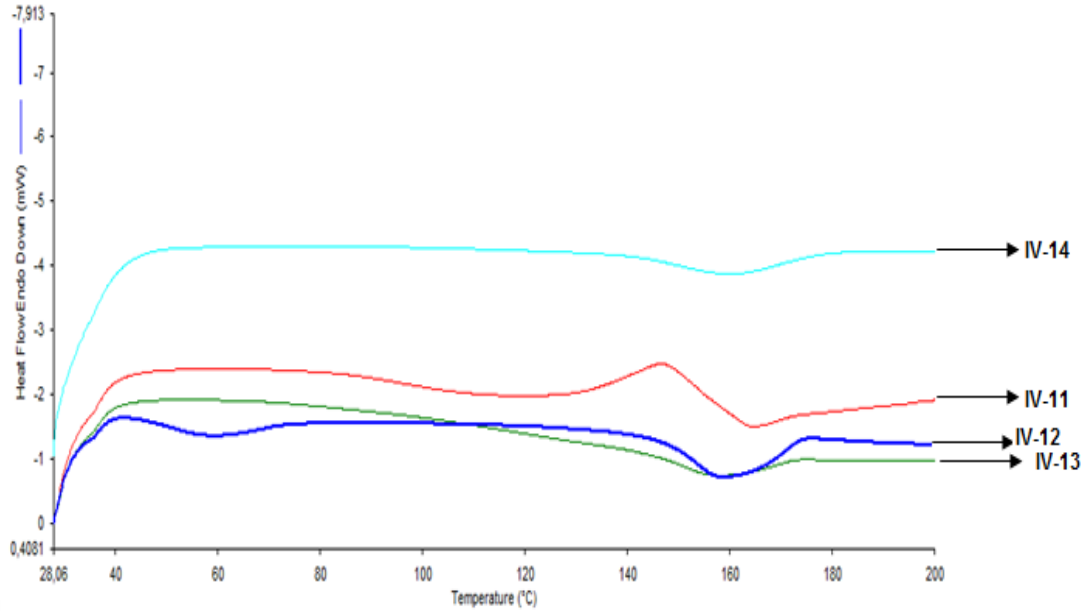
4.4.3.2. Diferansiyel taramalı kalorimetre (DSC)

Farklı parçacık büyüklüğü ve oranlarda (nm ve µm) TiO₂ katılımının deney numunelerinin diferansiyel taramalı kalorimetre (DSC) analizleri tespit edilerek sonuçlar Çizelge 4.94’te gösterilmiştir.

Çizelge 4.94. deney numunelerine ait DSC analizleri

Ü.K.	Pik	Onset (°C)	Endset (°C)	Area (mJ)	Delta H(J/g)	Pik(°C)	Pik Height(mW)
IV-11	1. pik	152,30	172,20	43,234	43,2343	160,69	0,6202
	2. pik	243,98	268,77	108,614	108,6141	259,53	1,2122
IV-12	1. pik	45,13	71,86	26,606	26,6056	59,27	0,2745
	2. pik	148,88	170,82	66,865	66,8650	161,02	0,7979
IV-13	1. pik	144,52	170,70	31,624	31,6239	158,85	0,3348
	2. pik	305,76	329,46	17,214	17,2140	317,38	0,2014
IV-14	1. pik	45,45	72,38	21,757	21,7568	58,70	0,2172
	2. pik	146,77	173,94	67,796	67,7956	158,52	0,6346
	3. pik	357,90	372,00	13,853	13,8533	364,37	0,2774

Farklı parçacık büyüklüğü ve oranlarda (nm ve µm) TiO₂ katılımının deney numunelerinin diferansiyel taramalı kalorimetre (DSC) analizleri tespit edilerek sonuçlar Şekil 4.79’da gösterilmiştir. Erime başlangıç sıcaklıkları ortalama 144 °C ve 200 °C aralığında ve ortalama 193°C olarak bulunmuştur. En fazla erime değeri 222°C civarında bulunmuştur. Diferansiyel taramalı kalorimetri (DSC) sonuçlarına ait grafikler aşağıdaki şekillerde gösterilmiştir. Bu kısımda IV-11, IV-12, IV-13 ve IV-14 üretim kodu ile üretilen deney numunelerinin DSC analizleri yapılmıştır. Diferansiyel taramalı kalorimetri (DSC) sonuçlarına ait grafikler aşağıdaki şekillerde gösterilmiştir.



Şekil 4.79. Deney numunelerinin diferansiyel taramalı kalorimetri (DSC) grafikleri.

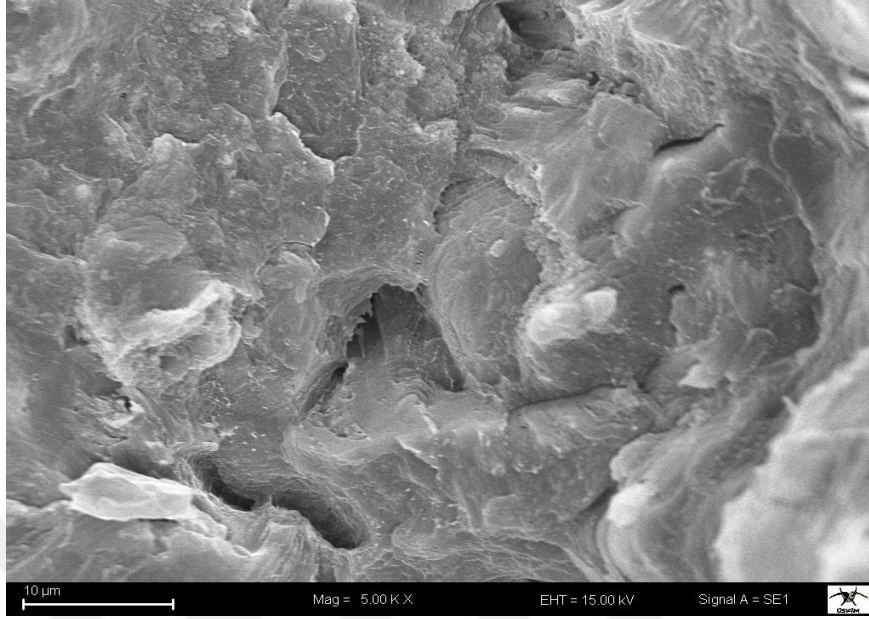
Diferansiyel taramalı kalorimetri (DSC) sonuçlarına endotermik termogramlardan görüldüğü gibi polipropilen ve kompozitlerin erime sıcaklıklarında belirgin değişimler izlenemedi ve polipropilen için erime sıcaklıklarının yaklaşık olarak 160°C civarında olduğu saptandı. Diferansiyel taramalı kalorimetre analiz (DSC) sonuçları, cam geçiş sıcaklığı (T_g) ve ergime sıcaklığının (T_m) LDM ve TiO_2 boyutları (nano ve mikron) bağlı önemli bir değişiklik göstermediği belirlenmiştir. Üretilen deney numunelerine ait DSC eğrilerinde TiO_2 ve kızılçam LDMO kullanımının kompozitin erime sıcaklığı üzerinde önemli bir etkisinin olmadığı gözlenmiştir. DSC deneyleri sonucunda kristalizasyon sıcaklıklarının yükseldiğini, erime sıcaklıklarında ise belirgin bir değişiklik görülmemiştir. Çizelge 4.94'te görüldüğü gibi odun talaşı ve TiO_2 türü ve boyutları bağlı T_m değerlerinde çok önemli bir değişim olmadığı tespit edilmiştir. Bu değerler dolgu maddesi olarak farklı parçacık büyüklüğü ve oranlarda (nm ve μm) TiO_2 katılımının deney numunelerinin üretimi için ihtiyaç duyulan en küçük sıcaklığı göstermektedir.

4.3.3.4. Deney Numunelerinin Morfolojik Özellikleri (SEM)

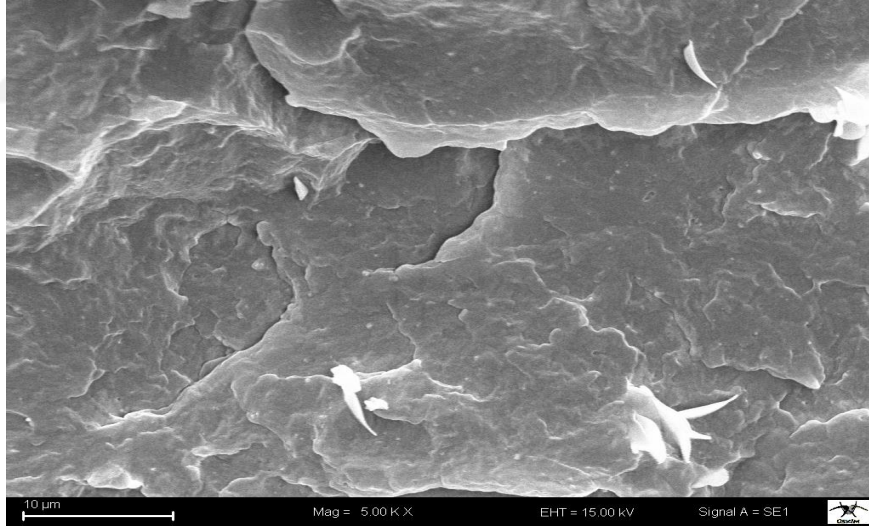
Farklı parçacık büyüklüğü ve oranlarda (nm ve μm) TiO_2 katılımı oranı kullanılarak üretilen deney numunelerinin morfolojisi taramalı elektron mikroskobu (SEM) yardımıyla çalışılmıştır. Farklı parçacık büyüklüğü ve oranlarda (nm ve μm) TiO_2 katılım oranı kullanılarak üretilen deney numunelerine ait taramalı elektron mikroskobu (SEM) görüntüleri Şekil 4.80'de gösterilmiştir. Şekil 4.80 ve 4.81'de IV-11, IV-12, IV-13 ve IV-14 üretim kodu ile üretilen deney numunelerinin SEM görüntüleri verilmiştir. SEM

görüntüleri verilen deney numunelerinin ve tamamında %40 oranında lignoselülozik dolgu maddesi ve %9 oranında nano ve mikron boyutlarında ve TiO_2 bulunmaktadır.

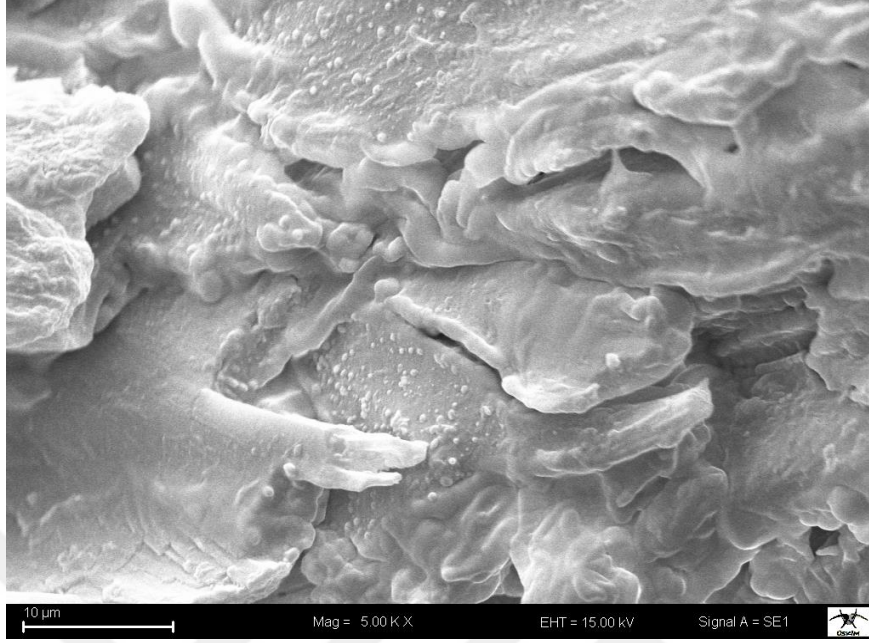
Şekil 4.80 ve 4.81’de resimler ise %40 oranında lignoselülozik dolgu maddesi ve %9 oranında nano ve mikron boyutlarında ve TiO_2 bulunan deney numuneleri üzerinden çekilmiştir. Bu resimlerde kızılçam odun unu ve TiO_2 bazıları oklarla gösterilmiştir. SEM görüntüleri incelendiğinde; Kızılçam odununun ise deformasyona neden olduğu polimer matris içerisinde iyi bir dağılım göstermediği ve kopma sırasında oluşan izler görülmektedir. Bunun nedeninin lignoselülozik materyal ile termoplastik materyal arasındaki uyumsuzluktan dolayı boşluk oluşumundan meydana geldiği düşünülmektedir. Kızılçam odun unu parçacıklarının kırılmış kompozit yüzeyinde bağımsız olarak durduğu ve kopan parçacıkların geride bıraktığı oyuklar gözükmemektedir. Deney numunelerinin üretiminde kullanılan TiO_2 ve kızılçam odun unu ile karşılaştırıldığında levha içerisinde kızılçam odun unu kullanımı ile boşlukların arttığı lignoselülozik dolgu malzemesinin polipropilen içerisinde homojen dağılım göstermediği ve SEM görüntülerinde boşluklar olduğu görülmektedir. Kızılçam odun unun plastik matristen bağımsız kaldığını ve tutunmanın düşük seviyede gerçekleştiği görülebilmektedir. TiO_2 kullanımı ile boşluk oranının kızılçam odun ununa göre daha az olduğu SEM görüntülerinden anlaşılmaktadır. Bu görüntülere göre hazırlanan numunelerde topaklaşmanın olmadığı fakat görülen bazı boşluklardan dolayı dolguların polimerle ara yüzey etkileşimlerinin zayıf olduğu düşünülmektedir. Bu görüntüler sayesinde TiO_2 ve kızılçam odun unu ile polipropilenin etkileşimi ve tutunabilirliği hakkında daha rahat fikir elde edilmiştir. Şekil 4.80’de oklarla gösterilmiş olan alanlar tam olarak plastikleşmemiş bölgeleri göstermektedir.



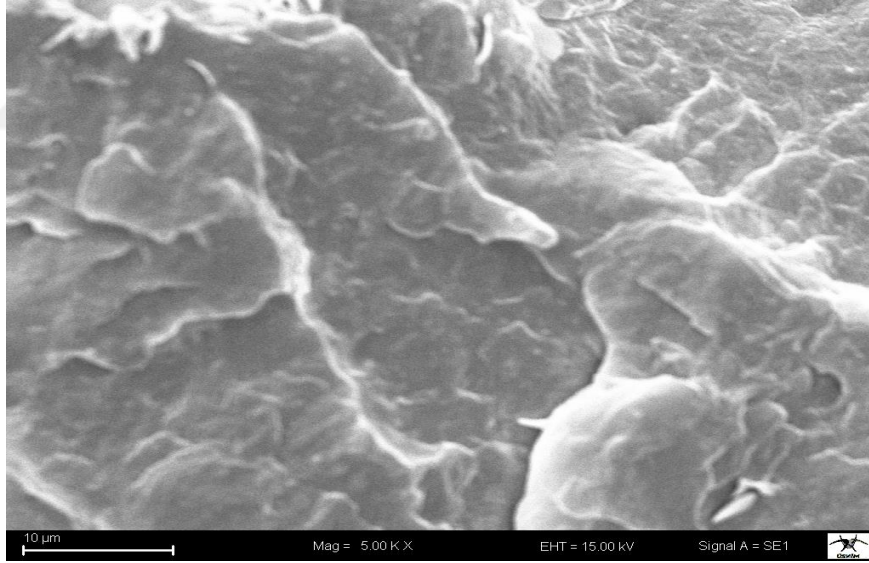
Şekil 4.80. Deney numune gruplarına ait (%45PP+40KOU+9TIO2Mikron) SEM görüntüsü.



Şekil 4.81. Deney numune gruplarına ait (%85PP+9TIO2Mikron) SEM görüntüsü.



Şekil 4.82. Deney numune gruplarına ait (%45PP+40KOU+9TIO2Nano) SEM görüntüsü.



Şekil 4.83. Deney numune gruplarına ait (%85PP+9TIO2 Nano) SEM görüntüsü.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

5.1. Sonuçlar

Ülkemizde, orman ve plastik endüstrilerinin karşılaştığı hammadde problemlerinin çözümü için alternatif bir hammadde kaynağı olarak odun atıkları ve zeytin pirinası odun plastik kompozit üretiminde kullanılabilir. Ülkemiz zeytin ve zeytinyağı üretimi bakımından dünyada önemli bir üretici olup, bu üretim sonucunda ortaya çıkan pirina ya yakıt olarak kullanılmakta ya da alıcı ortamlara verilmekte, boş arazilere dökülmektedir. Yine Akdeniz bölgesine ait bir tür olan kızılçam odunu ülkemizde yaygın olarak kullanılmaktadır. Kullanım sırasında kereste, kaplama, mobilya fabrikasından elde edilen atıklar ile yonga, testere talaşı, kaba ve ince talaş, zımpara tozu, baş ve uç kısımları gibi atıklar meydana gelmektedir. Bu atıklar çoğunlukla yakacak olarak tüketilmektedir. Türkiye’de atık plastik ve lignoselülozik maddelerin odun plastik kompozit üretiminde kullanılması ülke ekonomisine katkı sağlayacaktır. Bu kullanıma paralel olarak, atık plastik ve lignoselülozik malzemeler için yeni bir pazar oluşturabilecektir. Ayrıca geri dönüşüm plastik lignoselülozik maddelerin kullanılması ile doğal çevre üzerinde oluşan baskı azalacaktır.

Bu çalışmada, dolgu malzemesi olarak lignoselülozik maddeler ve sentetik temelli mineral lif kullanılmıştır. Bu nedenle, kızılçam odunu, zeytin pirinası unu, sentetik temelli mineral lif, farklı erime indeksine sahip polipropilenler, uyum sağlayıcı ajan, vaks, nano ve mikron boyutlarda titanyumdioksit ve bunların çeşitli oranlardaki karışımları kullanılarak odun plastik kompozitlerin üretimleri başarıyla gerçekleştirilmiştir. Odun plastik kompozitler ekstrüzyon ve enjeksiyon kalıplama yöntemleri ile üretilmiştir. Üretimlere başlanmadan önce merkezi kompozit dizayn programı kullanılarak dört farklı reçete oluşturulmuştur. Bu reçetelerden:

1. Lignoselülozik dolgu maddesi türü, kullanım oranı ve erime akış indeksinin odun plastik kompozitlerin özelliklerine etkisi belirlenmiştir.
2. Sentetik ve lignoselülozik dolgu maddesi türü ve oranı ile sentetik dolgu maddesinin enjeksiyon ve ekstruder üretimi sırasında katılmasının odun plastik kompozitlerin özelliklerine etkisi belirlenmiştir.

3. Dolgu maddesi türü sentetik temelli mineral lifin, kızılçam odunu kompozit yapı içerisinde kullanım oranının odun plastik kompozitlerin özelliklerine etkisi belirlenmiştir.
4. Farklı oranlarda ve parçacık büyüklüğünde (nano ve mikron) titanyum dioksit katılan kızılçam odunu ve plastik hammaddelerinin birlikte oluşturduğu odun plastik kompozitlerin özellikleri belirlenmiştir.

Üretilen kompozitlerin fiziksel, mekanik, yanma ve yaşlandırma özellikleri ile termogravimetrik (TGA) ve diferansiyel, taramalı kalorimetri (DSC) analizleri gibi ısısal özellikleri ve taramalı elektron mikroskobu ile morfolojik özellikleri başarı ile belirlenmiştir. Bu amaç için kompozitler üretilmiş, deneyler yapılmış, istatistiksel analizler çıkarılarak sonuçlar tartışılmıştır. Üretim reçetelerine göre elde edilen sonuçlar aşağıda sıralanmıştır. Deney sonuçlarına göre; üretilen odun-plastik kompozitler fiziksel ve mekanik özellikleri bakımından ASTM D 6662 (2001) standardında istenilen özellikleri sağladıkları görülmüştür. Ülkemizde bazı kamu kurum ve kuruluşları odun plastik kompozitlerle ilgili satın alma teknik şartnamelerinde; su alma oranını $\leq 7\%$, kalınlıkça artış oranını $\leq 4\%$ oranında istemektedirler. Bu anlamda tüm üretim reçetelerinden elde edilen deney sonuçlarına göre kalınlıkça artma ve su alma oranlarının talep edilen oranların oldukça altında olduğu tespit edilmiştir.

5.1.1. Lignoselülozik dolgu maddesi türü, kullanım oranı ve erime akış indeksinin odun plastik kompozitlerin özelliklerine etkisi.

Kompozit yapı içerisinde farklı oranlarda ZPU katılmasının KOU'ya göre kompozitlerin yoğunluğunu düşürdüğü ve LDM kullanım oranı arttıkça yoğunluk değerlerinde artış tespit edildi. EAI'nin yüksek veya düşük olmasının deney numunelerinin yoğunluklarına bir etkisi olmadığı tespit edilmiştir. Deney numunelerinde su alma ve kalınlık artış oranı suda bekletme süresine ve LDMO na paralel olarak arttığı tespit edildi. EAI'nin istatistiksel anlamda su alma ve kalınlıkça artma oranı üzerinde etkili olduğu belirlendi.

Eğilme direnci değerleri OPK içerisindeki LDMO n artmasına paralel olarak kompozit gruplarının eğilme direnci değerinde artışlar meydana geldiği görülmektedir. En düşük eğilme direnci değeri HMFİ+40 ZPU deney numunelerinden elde edilmiştir. Polimer tipi olarak LMFI ve HMFİ içerisinde ZPU oranının artmasına paralel olarak düşüş gözlenmesine rağmen LMFI ve HMFİ içerisinde KOU dolgu maddesi kullanılması eğilme

direncini düşürmediği tespit edildi. Eğilmede elastikiyet modülü değerleri incelendiğinde dolgu maddesi miktarına paralel olarak artış olduğu tespit edildi. LDM türü, oranı ve EAI'nin çekme direnci ve çekmede elastikiyet modülü ve kopmada uzama miktarı değerleri üzerinde etkili olduğu belirlendi.

Darbe direnci değerleri üzerinde EAI'nin, dolgu maddesi türü ve miktarının önemli oranda etkili olduğu tespit edildi. Darbe direnci değerleri LDM kullanım oranları arttıkça azaldığı tespit edildi. LDM katılım oranının artmasına paralel olarak malzemenin sertliği arttığı belirlendi. HMFI içerisine KOU katılımı ile doğrusal yanma hızı artmasına rağmen ZPU katılımı doğrusal yanma hızını azalmıştır. LMFI içerisine KOU katılımı doğrusal yanma hızını azaltırken, LMFI içerisinde ZPU kullanımı doğrusal yanma hızını artırdığı belirlendi. Gerilme gevşeme HMFI ve LMFI EAI'nin ve dolgu maddesi türünün gerilme gevşeme değerlerinde önemli bir etkisinin olmadığı tespit edilmiştir. LDM katılım oranının deney numunelerinin gerilme gevşeme değerlerinde etkili olduğu ve katılım oranı arttıkça gerilme gevşeme değerlerini belirgin bir şekilde düşürdüğü belirlendi.

5.1.2. Sentetik ve lignoselülozik dolgu maddesi türü ve oranı ile sentetik dolgu maddesinin enjeksiyon ve ekstruder üretimi sırasında katılmasının odun plastik kompozitlerin özelliklerine etkisi.

Dolgu maddesi tipi (DMT) ve oranının (DMO) kompozitlerin yoğunlukları üzerinde etkisinin olmasına karşın, MOS'un ekstruder ve enjeksiyon üzerinde kullanımının deney numunelerinin yoğunluğu üzerinde önemli bir etkisinin olmadığı tespit edildi. Kalınlıkça artma ve su alma oranında LDMO ve MOSO'nın etkili olduğu ve LDMO arttıkça su alma oranının arttığı MOS kullanımı ile bu oranın KOU'ya göre düşük olduğu, KOU+MOS kullanımı ile su alma yüzdesinin KOU'ya göre düşük olduğu tespit edildi.

OPK içerisindeki MOS oranının artması ile birlikte eğilme direncinde artma meydana geldiği ve MOS ile birlikte KOU oranının artmasına paralel olarak kompozit gruplarının eğilme direnci MOS kullanımına göre azalma görüldü. MOS kullanımının EÖ olması ES kullanımına göre eğilme direnci değerlerini daha arttırdığı belirlendi. Eğilmede elastikiyet modülü değerleri incelendiğinde MOS kullanımının EÖ ve ES sırasında katılmasına bağlı kalmaksızın MOS ve KOU miktarına paralel olarak eğilmede elastikiyet modülü değerlerinde de artış olduğu tespit edildi.

Deney numunelerinin üretimi için MOS'un EÖ katılımında, çekme direnci, değerleri 25,85 ile 29,28 MPa aralığında ve aynı değerler MOS'un ES katılımında, 26,112

ile 34,55 MPa aralığında tespit edilmiştir. OPK içerisinde MOS oranının çekme direncini önemli düzeyde etkilediği görüldü. Çekmede elastikiyet modülü değerleri üzerinde MOS kullanım sırası ve oranının etkili olduğu ve KOU ile birlikte kullanımının bu özellikleri olumlu anlamda geliştirdiği gözlemlendi. MOS ve KOU dolgu maddesi miktarındaki artışa paralel olarak kopmada uzama miktarında azalma meydana geldiği tespit edildi.

LDM ile birlikte MOS kullanımının darbe direnci değerlerini düşürdüğü, KOU oranının artmasına paralel olarak darbe direnci değerlerinde artışlar olduğu ve MOS katılımının ES yapılmasının bu değerleri arttırdığı tespit edilmiştir.

Deney numunelerin sertlik değerlerinin MOS+KOU dolgu maddesi oranına paralel olarak arttığı ve MOS'un EÖ ve ES katılmasının numunelerin sertlik değerlerini etkilemediği, ancak dolgu maddesi oranı ve birlikte kullanımının sinerji oluşturarak bu direnci etkilediği tespit edildi.

Deney numunelerin doğrusal yanma hızının DMT ve oranına paralel olarak düştüğü tespit edilmiştir. Kompozit yapı içerisinde LDM miktarı arttıkça doğrusal yanma hızının arttığı MOS kullanımı ile doğrusal yanma hızının düştüğü ve MOS kullanım zamanının (EÖ ve ES) doğrusal yanma hızında etkili olduğu tespit edildi. Deney numuneleri içerisine LDM ve MOS katılımı ve MOS'un ekstruder ve ES katılımına bağlı kalmaksızın gerilme gevşeme değerlerini düşürdüğü belirlendi.

5.1.3. Dolgu maddesi türü sentetik temelli mineral lifin, kızılçam odunu kompozit yapı içerisinde kullanım oranının odun plastik kompozitlerin özelliklerine etkisi.

Kompozit yapı içerisinde farklı oranlarda MOS katılmasının KOU'ya göre kompozitlerin yoğunluğunu artırdığı belirlendi. Deney numunelerinin su alma ve kalınlıkça artma oranında MOSO ve LDMO'nın etkili olduğu ve LDMO arttıkça su alma oranının arttığı tespit edildi.

Deney numunelerinin içerisindeki MOSO ve LDMO'nın artmasına paralel olarak eğilme direnci değerinde artışlar meydana geldiği belirlendi. Dolgu maddesi olarak %10 ve 20 oranında KOU katılımı ile deney numunelerinin eğilme direnci değerlerinde artışlar meydana geldiği ancak bu artış miktarının MOS'a göre daha düşük olduğu tespit edildi. LDMO'nun artışına paralel olarak eğilmede elastikiyet modülü değerlerinde artışlar meydana geldiği belirlendi.

Çekme direnci değerleri kompozit içerisindeki LDMO na paralel olarak arttığı ve MOS katılımı ile çekme direncinde önemli bir şekilde artışa olmasına sebep olduğu tespit edildi. MOS ve KOU kullanım oranının çekmede elastikiyet modülü değerleri üzerinde etkili olduğu ve MOS kullanım oranının artmasıyla birlikte çekmede elastikiyet modülünü olumlu anlamda geliştirdiği belirlendi. MOS ve KOU dolgu maddelerinin OPK'yı daha sert hale getirerek kopmada uzama miktarında azalmaya neden olduğu tespit edildi.

Darbe direnci değerleri üzerinde MOS ve KOU kullanım oranının etkili olduğu ve kullanım oranının artmasıyla birlikte bu direnç değerlerinde artışa sebep olduğu tespit edildi. MOS ve KOU kullanım oranına paralel olarak sertlik değerlerinin de arttığı belirlendi. Deney numunelerinden elde edilen veriler MOS'un doğrusal yanma hızını düşürdüğü ve OPK içerisinde yangın geciktirici dolgu maddesi olarak kullanılabileceği belirlendi.

Deney numuneleri içerisinde LDM katılımı gerilme gevşemedeki düşüşü değerini kontrol numunesi olan saf plastiğe göre arttırdığı ancak bu artışın MOS'a göre daha düşük olduğu belirlendi.

5.1.4. Farklı oranlarda ve parçacık büyüklüğünde (nano ve mikron) titanyum dioksit katılan kızılçam odunu ve plastik hammaddelerinin birlikte oluşturduğu odun plastik kompozitlerin özelliklerine etkisi.

Deney numunelerinin yoğunlukları üzerine doğal yaşlandırmanın etkileri incelendiğinde ise dolgu ve katkı maddesi (TiO_2 ve KOU) oran türü ve sürenin etkili olduğu tespit edilmiştir. Deney numunelerinin 6 ay doğal yaşlandırmaya tabi tutulmaları sonucunda yoğunluk değerlerinde bir artış meydana gelmesine rağmen bu artış 12 ve 18 ay bekletilmelerinde ise düşme göstermiştir.

Nano ve mikron TiO_2 kullanım oranı arttıkça deney numunelerinin kalınlıkça artma ve su alma yüzdesinin azaldığı; ancak TiO_2 kullanım oranının %9 oranına geldiğinde su alma yüzdesinin bir miktar arttığı, bu artışın nm boyutta daha az olduğu tespit edildi. LDM ve TiO_2 birlikte kullanılan deney numunelerinin su alma oranı üzerinde etkisi irdelendiğinde μm veya nm TiO_2 kullanım oranı arttıkça kalınlıkça artma ve su alma oranının azaldığı ve nm boyutta TiO_2 μm boyuttaki TiO_2 göre daha az su alma oranına sahip olduğu tespit edildi.

Farklı oranlarda nm boyutta TiO_2 katılmasının μm boyuttaki TiO_2 'ye göre kompozitlerin eğilme dirençlerini arttırdığı ancak bu artışın sadece KOU katılmış ve dolgu

maddesi katılmamış PP'ye göre daha küçük olduğu belirlendi. Deney numunelerinin eğilme dirençleri üzerine doğal yaşlandırmanın etkileri incelendiğinde ise dolgu ve katkı maddesi oranı, türü ve sürenin etkili olduğu; μm veya nm TiO_2 katılmasının 0, 6, 12 ve 18 ay yaşlandırma sonucunda eğilme direnci değerlerini saf PP'ye göre arttırdığı ancak bu artışın KOU+ μm veya nm TiO_2 katılımına oranla küçük olduğu tespit edilmiştir. Deney numunelerinin içerisine μm veya nm TiO_2 katılmasının 0, 6, 12 ve 18 ay yaşlandırma sonucunda eğilmede elastikiyet modülü değerlerini saf PP'ye göre arttırdığı belirlendi.

Farklı oranlarda nm boyutta TiO_2 katılmasının μm boyuttaki TiO_2 'ye göre kompozitlerin çekme dirençlerini arttırdığı ancak bu artışın sadece KOU katılmış ve dolgu maddesi katılmamış PP'ye göre zamana bağlı olarak arttığı belirlendi. LDM ve TiO_2 oranına paralel olarak kompozit gruplarının çekmede elastikiyet modülü değerinde artış meydana geldiği ancak zamana bağlı olarak dolgu maddesi katılmamış PP'de fazla düşmeler olmasına rağmen nm veya μm TiO_2 katılımına paralel olarak çekmede elastikiyet modülü değerlerinde PP'ye göre azalmalar meydana geldiği ancak yaşlandırma zamanına bağlı olarak bu azalmaların PP'ye göre artarak çekmede elastikiyet modülünü iyileştirdiği tespit edildi. OPK içerisindeki LDM ve TiO_2 oranına paralel olarak kopmada uzama miktarı değerinde düşmeler meydana geldiği μm veya nm TiO_2 katılmasının 0, 6, 12 ve 18 ay yaşlandırma sonucunda kopmada uzama miktarı değerlerinde yaşlandırma süresine bağlı olarak düşürdüğü ve bu düşüşün μm TiO_2 katılımına göre nm TiO_2 katılımı ile daha da arttığı tespit edildi.

Dolgu maddesi eklenmiş deney numunelerinin darbe direnci değeri eklenmemiş PP göre yüksek çıkmıştır. Aynı şekilde KOU ve μm TiO_2 beraber kullanımı ile üretilen deney numunelerinde TiO_2 μm oranının artmasına paralel olarak kompozit gruplarının darbe direnci değeri değerinde artışlar meydana gelirken TiO_2 nm boyutta kullanılmasına paralel olarak darbe direnci değerlerinde düşmeler olduğu tespit edildi.

LDM ve TiO_2 oranının artmasına paralel olarak sertlik direnci değerlerinde artışlar meydana geldiği doğal yaşlandırmanın deney numunelerinin sertliğini azalttığı tespit edildi. Deney numunelerin doğrusal yanma hızının dolgu ve katkı maddesi türü ve oranına paralel olarak düştüğü tespit edildi.

Deney numuneleri içerisine LDM katılımı gerilme gevşemedeki düşüşü değerini kontrol numunesi olan PP'ye göre azalttığı belirlendi. Deney numuneleri içerisine %3-6-9 oranında μm TiO_2 katılımı deney numunelerin gerilme düşüşü değerini arttırdığı ancak

%3-6-9 oranında nm TiO₂ katılımı ile µm katılmış deney numunelerine göre düşürdüğü tespit edildi. Doğal yaşlandırma işlemine tabi tutulmuş deney numunelerinde ise %3-6-9 oranında µm TiO₂ katılımı zamana ve katılım oranına paralel olarak deney numunelerin gerilme düşüşü değerini PP'ye göre arttırdığı ancak %3-6-9 oranında nm TiO₂ katılımı ile deney numunelerine göre düşürdüğü tespit edildi.

Doğal yaşlandırma işlemine tabi tutulmuş sadece KOU katılmış ve saf PP L* değerinde artma, a* değerinde ve b* değerinde azalma gözlemlendi. Yani yaşlandırma sonrası kompozitlerin ışıklılık değeri azalırken, kırmızı ve sarılık değerlerinde artma meydana geldi. Yaşlandırma sonrasında %3-6-9 µm KOU+TiO₂ katılan deney numunelerin L* değerinde artma, a* ve b* değerinde azalma gözlenirken, PP+TiO₂ deney numunelerinin L*, a* değerinde azalma ve b* değerinde azalma gözlemlendi. Yaşlandırma sonrasında %3-6-9 nm KOU+TiO₂ katılan deney numunelerin L*, a* ve b* değerinde azalma gözlenirken PP+nmTiO₂ deney numunelerinin L* değerinde azalma, a* ve b* değerinde ise kullanım miktarına göre artma gözlemlendi. KOU katılmış, saf PP ve %40KOU+%3 µm TiO₂ ve %3nm TiO₂ deney numunelerinin renk değişimi ΔE=10'un üzerinde ve ΔE=52 değerinin altında yani meydana gelen renk değişimleri gözle fark edilebilir değerler arasında oldu.

5.2. Öneriler

Bu tezde yüksek ve düşük erime akış indeksine sahip polipropilenler kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre her iki erime akış indeksine sahip polipropilenler odun plastik kompozit üretiminde kullanılabilir.

Deney sonuçları, zeytin pirinası ve kızılçam odunu atıklarının odun plastik kompozitlerde doğal dolgu malzemesi olarak kullanılabileceğini göstermiştir. Bu çalışmada %20 ve %40 oranlarında kullanılan zeytin pirinası ve kızılçam odunu ticari reçetelerde rahatlıkla kullanılabileceği söylenebilir. Böylelikle, değeri düşük olan bu atıklar yüksek katma değerli ürünlere dönüştürülmesi sağlanabilir.

Ticari bir kullanım alanı bulunmayan, ekonomik değeri yok denecek kadar az olan ve çoğunlukla yakılarak tüketilen bu atıklar, odun plastik kompozit üretiminde kullanılarak daha ekonomik katkı sağlanabilir.

Magnezyumoksisulfat maddesi bir sinerjist olarak kızılçam odunu ile birlikte odun plastik kompozit üretiminde dolgu malzemesi olarak kullanılabilir. Magnezyumoksisulfat maddesi ekstruder ve ES karışım reçetelerine katılabilir. Ancak hem

EÖ hem de ES üretim reçetlerinde karışıma ES dahil edilerek üretim gerçekleştirilebilir. Böylelikle ortaya çıkabilecek zaman kaybı, işçilik ve maliyetin artması gibi sakıncalar ortadan kalkabilir. Magnezyumoksisulfat maddesi yanma geciktirici olarak kızılçam odunu ile birlikte odun plastik kompozit üretiminde kullanılabilir. Böylelikle yüksek oranlarda ve tek başına magnezyumoksisulfat maddesi kullanılması ile maliyet artışı ortadan kaldırılabilir.

Odun plastik kompozitlerin yapısal uygulamalarda bu kompozitlerin kullanımını sınırlayan renk özelliklerinin geliştirilmesinde beyaz renk tercih edildiğinde çok daha pahalı olan nano boyuttaki mikron boyutta titanyumdioksit tercih edilmelidir. Bu yolla

Odun plastik kompozitlerin renk değişimini en aza indirmek için değişik ısı ve ışık stabilizatörleri kullanılarak renk değişimine karşı dirençlerinin araştırılıp geliştirilebilir.

Lignoselülozik dolgu maddeleri kullanılarak üretilen odun plastik kompozit üretiminde üretim sıcaklıkları 129 °C ile 210 °C arasında bir sıcaklığa üretilir. Böylelikle lignoselülozik dolgu maddesinin bozunması önlenir.

Bu kompozitlerin üretilmesiyle ülkemizde ekonomiye katkı sağlanabilecek, atık malzemeler için yeni bir pazar oluşturabilecek; üreticilere ek gelir, çalışma hayatına ek istihdam olanağı ve orman kaynaklarımızın rasyonel bir şekilde kullanımı sağlanabilir.

Odun plastik kompozitlerin üretiminde geri dönüşüm plastikler de kullanılmaktadır. Hem geri dönüşüm plastiklerin hem de lignoselülozik atık maddelerin kullanılması ve hizmet ömrünü tamamladıktan sonra bu malzemelerden geriye saf plastik malzemeye göre daha az atık kalması bu malzemeleri çevreci yapmaktadır. Bu nedenle, atık malzemelerin bu kompozitlerin üretiminde kullanımı ile ülke ekonomisine katkı sağlamanın yanı sıra çevreye olan zararlı etkileri de azaltılabilir ve çevre problemlerinin çözümüne yardımcı olunabilir.

Ülkemizde plastik hammaddesinin bir kısmı yurtdışından ithal edilmektedir. Bu duruma ek olarak, bazı odun plastik kompozit ürünleri hem hazır ürün olarak hem de pellet olarak yurtdışından ithal edilmektedir. Bu ürünlerin ithal edilmesi ülkemizin hem dışa bağımlı olmasına hem de ülkemizden döviz çıkmasına sebep olmaktadır. Bu ürünlerin, atıl malzemelerin dolgu maddesi olarak kullanılmasıyla üretilmesi sayesinde ülke ekonomisine katkı sağlanabilir.

Ülkemizde evsel, sanayi ve tarım orman işletmelerinde ortaya çıkan plastik ve lignoselülozik atıkların toplanarak odun plastik kompozit üretiminde değerlendirilmesi için

ilgili kuruluşlar, belediyeler, bakanlıklar ve meslek örgütlerinin işbirliği yapması ve bu atıkların belli merkezlerde toplanarak üreticilere verilmesi sağlanabilir.

Odun plastik kompozit ürünlerinde lignoselülozik maddelerin kullanım alanları, piyasa imkânları ve gelişimine yönelik araştırmaların hem akademik alanda hem de sanayi alanında daha fazla desteklenmesi gerekmektedir. Lignoselülozik maddelerin, odun plastik kompozit üretiminde dolgu maddesi olarak kullanım alanlarını arttırmak için daha fazla bilgi ve tanıtıma ihtiyaç duyulmaktadır. Bu bilgiler de üniversiteler ve sanayinin işbirliği içinde çalışması ile sağlanabilir.

Sentetik ve lignoselülozik maddelerin, odun plastik kompozit üretiminde dolgu maddesi olarak kullanımı ile piyasada var olan ürün çeşitliliği arttırılabilir ve bu yolla hem tüketiciye farklı ürün yelpazesi sunulabilir hem de yeni pazar oluşumunun önü açılabilir.

Farklı türdeki lignoselülozik maddelerin farklı türdeki plastik maddeler içerisinde dolgu maddesi olarak kullanımının araştırılması gerekmektedir. Araştırmacılar farklı emprenye maddeleri ile emprenye veya modifiye edilmiş lignoselülozik maddelerini odun plastik kompozit üretiminde dolgu maddesi olarak yoğunluk ve direnç özellikleri üzerine etkisini kullanımlarını araştırabilirler.

Odun plastik kompozitler çoğunlukla dış ortam şartlarında hizmet görmektedir. Yağmur, kar, hava kirliliği ve ultraviyole ışınlar gibi etkenler bu kompozitlerin hem mekanik hem de renk özelliklerinde değişimler meydana getirmekte ve bu kompozitlerin dış ortam şartlarında kullanımını sınırlamaktadır. Odun plastik kompozitlerin söz konusu olumsuz etkilerin araştırılıp geliştirilebilir. .

Bu tezde lignoselülozik, sentetik dolgu maddeleri ile üretimde kullanılan katkı maddeleri belirli oranlarda polimer matris içerisinde kullanılmıştır. Araştırmacılar, bu maddelerin daha yüksek oranda kullanıldığı odun plastik kompozitlerin fiziksel, kimyasal, mekanik, morfolojik, termal, yanma ve yaşlandırma gibi özelliklerini araştırıp geliştirebilirler.

KAYNAKLAR

- Aboulkas, A., El Harfi, K., El Bouadili, A., 2010. Thermal degradation behaviors of polyethylene and polypropylene. Part I: Pyrolysis kinetics and mechanisms. *Energy Conversion Management*, 51 (7) 1363–1369s.
- Acar, H., Salan, T., Altuntaş, E., Alma, M. H., 2014. Yüksek Yoğunluklu Polietilen (YYPE) ve Atık Pirinç Saplarından Üretilen Kompozitlerin Bazı Mekanik ve Fiziksel Özelliklerinin Belirlenmesi II. Ulusal Akdeniz Orman ve Çevre Sempozyumu “Akdeniz ormanlarının geleceği: Sürdürülebilir toplum ve çevre” 22-24 Ekim 2014 – Isparta. 808–815s.
- Acar, H., 2014. MDF Tozu ve Pirinç Sapı Atıklarının Termoplastik Kompozitlerin Üretiminde Değerlendirilmesi yüksek lisans tezi. Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü. 74s.
- Adhikary, K.B., Pang, s., Staiger, M. 2008. Dimensional stability and mechanical behaviour of wood–plastic composites based on recycled and virgin high-density polyethylene (HDPE) Composites Part B: Engineering, 39 (5): 807–815s.
- Ahrabi A.Z., 2009. Pet Atıkları Kullanılarak Kompozit Malzeme Kullanımının Araştırılması Yüksek Lisans Tezi. Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. 60s.
- Akkurt, S., 1991. Plastik Malzeme Bilgisi, Birsan Yayınevi, İstanbul. 88s.
- Akyüz, Ö. F., 1999. Plastikler ve Plastik Enjeksiyon Teknolojisine Giriş Pagev Yayınları, İstanbul. 104s.
- Akkurt S., 2007. Plastik Malzeme Bilimi, Teknolojisi ve Kalıp Tasarımı. Birsan Yayınevi.120s.
- Anşin, R., 1994. Tohumlu Bitkiler Gymnospermae (Açık Tohumlular), İkinci Baskı, Genel Yayın No: 122, Fakülte Yayın No: 15, K.T.Ü. Basımevi, Trabzon. 17–70s.
- Akıncı, M. Y., 1963. Kızılçam Ormanlarının Doğu Karadeniz Mıntıkasındaki Dağılışı ve Yayılışı. *Or. Müh. Derg.* Sayı: 5, 1–40s.
- Atalay, İ., 1983. Türkiye Vegetasyon Coğrafyasına Giriş. E. Ü. Edebiyat Fak. Yay. No: 19.
- Akın, S., 2015. Biokütle Olarak Pirininin Enerji Üretiminde Kullanılması”, Balıkesir Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi Kimya Bölümü, Balıkesir; <http://www.emo.org.tr/ekler/17c99c4861918e5_ek.pdf>, 20.10.2015.
- Akkuş, M., 2011. Renk Açma İşleminin Termal Modifikasyon Yapılmış Bazı Ağaç Malzemelere Etkisi. Yüksek Lisans Tezi. Düzce Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. 52s.
- Ashori A., 2008. Wood-plastic composites as promising green-composites for automotive industries, *Biosource Technology*, 99, 4661–4667s.

- ASTM D 256., 2002. Determining the Izod Pendulum Impact Resistance of Plastics, ASTM International, West Conshohocken, PA. 1–19s.
- ASTM D 638., 2004. Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics, ASTM International, West Conshohocken, PA. 1–24s.
- ASTM D 790., 2004. Flexural Properties of Unreinforced and Reinforced Plastics and Electrical Insulating Materials, ASTM International, West Conshohocken, Philadelphia, PA. 1–9s.
- ASTM D 792., 2004. Density and Specific Gravity (Relative Density) of Plastics by Displacement, ASTM International, West Conshohocken, PA. 1–11s.
- ASTM D 1037., 1996. Evaluating Properties of Wood-Base Fiber and Particle Panel Materials, ASTM International, West Conshohocken, PA. 1–20s.
- ASTM D 6662., 2001. Standard Specification for Polyolefin-Based Plastic Lumber Decking Boards, ASTM International, West Conshohocken, PA. 1–22s.
- ASTM D 2244., 2011. Standard Practice for Calculation of Color Tolerances and Color Differences from Instrumentally Measured Color Coordinates. American Society for Testing and Materials, West Conshohocken, Pennsylvania, United States. 1–20s.
- ASTM D 2240., 2010. Standard Test Method for Rubber Property-Durometer Hardness. American Society for Testing and Materials, West Conshohocken, Pennsylvania, United States. 1–27s.
- ASTM D 1641., 2004. Standard Practice for Conducting Outdoor Exposure Test of Varnishes. American Society for Testing and Materials, West Conshohocken, Pennsylvania, United States. 1–20s.
- ASTM D 635., 2004. Standard Test Method for Rate of Burning and/or Extent and Time of Burning of Plastics in a Horizontal Position, West Conshohocken, Pennsylvania, United States. 1–7s.
- Avcı, E., 2012. Ahşap Plastik Kompozitlerin Kullanım Performansları Üzerine Araştırmalar İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Orman Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı Odun Mekaniği ve Teknolojisi Programı Doktora tezi 1-260s.
- Avila, A.F. and Duarte M.V., 2003. A mechanical analysis on recycled PET/HDPE composites. *Polym. Degrad. and Stab.*, 80, 373–382s.
- Ayrılmış, N., Ashori, A., 2014. Lignocellulosic fibers and Nanocellulose as reinforcing filler in thermoplastic composites *Eurasian Journal of Forest Science*, 2(2) 1-6s.
- Ayrılmış, N., Buyuksari, U. 2010. Utilization of olive mill sludge in manufacture of lignocellulosic/polypropylene composite, *Journal of Materials Science*. 45.5, 1336-1342s.

- Baker, A. M., 2000. Modern plastics handbook / Modern Plastics, Chapter 1. Thermoplastics Charles A. Harper (editor in chief). The McGraw-Hill Companies, Inc. United States of America. 6 1.41–1.49s.
- Basan, S., 2001. Polimer kimyası Cumhuriyet Üniversitesi yayınları. Sivas 367s.
- Baş, A., 2015. Plastik Katkı Maddelerinin İzostatik Polipropilen Ahşap Kompozitleri Yapı ve Özelliklerine Etkisi Yüksek Lisans Tezi. Yalova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü. 73s.
- Başkan, A.E., 2010. Zeytinyağı İşletmelerinin Atıkları ve Değerlendirme yolları T.C. Güney Ege Kalkınma Ajansı Denizli 13–17s.
- Behraves, A. H. Shakouri, E. Zolfaghari, A., Golzar, M., 2010. Theoretical and Experimental Study on Die Pressure Prediction in Extrusion of Wood-Plastic Composite *Journal of Composite Materials*, Vol. 44, No. 11 1293s.
- Bektaş, İ. ve Tutuş, A., 1999. Türkiye’de Doğal Olarak Yetişen Kızılçam Odunlarının Değişik Yetiştirme Ortamlarındaki Yarılma Dirençlerinin Belirlenmesi, Turk J. Agric. For., 23 Ek Sayı 3 549-555s.
- Benthien, J.T., Ahlmeyer, M., 2013. Thickness swelling and water absorption of WPC after immersion in cold and boiling water, Wood Products, 71, 437-442s.
- Berkel, A., 1957. Kızılçamda (Pinus brutia) Teknolojik Araştırmalar, *İ.Ü. Orman Fakültesi Dergisi*, Seri B, Cilt: 7, S: 2 1–35s.
- Bhattacharyya, D., Manikath, J., Jayaraman, K. 2006. Stress relaxation of woodfiber-thermoplastic composites. J. Appl. Polym. Sci. 102, 401–407s.
- Bilici, İ., 2012. Atık Plastiklerden Kompozit Malzeme Üretimi ve Karakterizasyonu Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı Doktora Tezi. 71s.
- Biltekin, H., 2005. PE ve PP Polimerlerine Ahşap Tozu İlavesiyle Oluşturulan Karışımların Mekanik Termal ve Morfolojik Özelliklerinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi. Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. 67s.
- Bledzki, A.K ve Sperber, V.E., 1999. Recent Developments in wood-plastic: United States, Japan, and Europe, The Fifth International Conference on Woodfiber- Plastic Composites, May 26-27 1999, The Madison Concourse Hotel Madison, Wisconsin, 187-192s.
- Bledzki, A.K., Letman, M., Viksne, A., Rence, L., 2005. A Comparison of Compounding Processes and Wood Type for Wood Fibre – PP Composites, Composites Part A, Vol: 36. 789-797s.
- Bodur, M.S., 2010. Geri Dönüşüm İşleminin Tekstil Atığı Takviyeli Polimer Matrisli Karma Malzemelerin Mekanik Özellikleri Üzerine Etkisi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Y. Lisans Tezi. 86s.

- Boğa M., 2014. Zeytin Yağı Yan Ürünlerinin Ruminant Beslemede Kullanım Olanakları / Türk Tarım – Gıda Bilim ve Teknoloji Dergisi, 2(3): 137–143s.
- Botros, M., 2003. The Effect Of Advanced Maleic Anhydride Coupling Agents On The Performance Of Wood-Plastic Composites: Wood-Plastic Composites Conference–Vienna, Austria.1772- 1790s.
- Boukettaya, S., Almaskari, F., Abdala, A., Alawar, A., Daly, H.B., Hammami, A. 2015. Water absorption and stress relaxation behavior of PP/date palm fiber composite materials. In Design and Modeling of Mechanical Systems. 437–445s.
- Buldu, L., 2007. Enjeksiyon Parametrelerinin Bazı Mühendislik Plastiklerinin Akış Uzunluğuna Etkisinin Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi. Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. 65s.
- Bozkurt, Y., 1971. Önemli Bazı Ağaç Türleri Odunlarının Tanımı Teknolojik özellikleri ve Kullanış Yerleri. i. Ü. Orm. Fak. Yay. No: 177. 7s.
- Bozkurt, Y., Göker, Y., Erdin, N. ve As, N.,1993. Datça Kızılçamında Anatomik Teknolojik Özellikler, Uluslararası Kızılçam Sempozyumu Bildiriler Kitabı, 18-23 Ekim 1993, 628-635s.
- Bozkurt, A.Y., Erdin N., 1995. Odun Anatomisi (İğne Yapraklı Odunlarda Tanıma Özellikleri). İ. Ü. Orman Fakültesi, Yayın No:6/3907 İ. Ü. Basımevi. İstanbul.1–80s.
- Bozkurt, Y., Göker, Y., 1987. Fiziksel ve Mekanik Ağaç Teknolojisi”, İstanbul Üniversitesi, Orman Fakültesi Yayınları, İstanbul, 388: 348s.
- Brydson, J., 1999. Plastics Materials (Seventh edition b.). Butterworth Heinemann. 46–47s.
- Butylina, S., Hyvärinen, M., Kärki, T., 2012. Weathering of wood-polypropylene composites containing pigments *Eur. J. Wood Prod.* 70, 719–726s.
- Can, C., 2008. Plastik Enjeksiyon Kalıplamada Termoplastik Malzemelerin Modelleme ve Analizleri. Yüksek Lisans Tezi. Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. 82s.
- Carreau, P.J., Kee, D, Chhabra, R.P., 1997. Rheology of polymeric system Hanser /Gardner Publications, Cincinnati, 38: 1–132s.
- Carus, M., Eder, A., Dammer, L., Korte, H., Scholz, L., Essel, R. & Breitmayer, E., 2014. WPC/NFC market study: 1-7s.
- Casey, J.P., 1960. Cellulose and Paper Chemistry and Chemistry Technology, Interscience Publishers, INC, New York, 47-65s.
- Çavdar, A., D., Mengeloğlu, F., Karakuş, K., 2015. Effect of boric acid and borax on mechanical, fire and thermal properties of wood flour filled high density polyethylene composites *Measurement* 60 6–12s.

- Cengiz, A., 2014. Katkılı ve Katkısız Titanyum dioksit (TiO₂) Nanotellerin Üretilmesi ve Gaz Algılama Özelliklerinin İncelenmesi. Yüksek lisans tezi. Gebze İleri teknoloji Enstitüsü Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü. 73s.
- Çetin, N. S., Özmen, N., Narlıoğlu, N., Çavuş, V., 2014. Effect of bark flour on the mechanical properties of HDPE composites *Usak University Journal of Material Sciences Sayı: (2014): 23–32s.*
- Chaharmahali, M., Tajvidi, M., Najafi, S. K., 2008. Mechanical properties of wood plastic composite panels made from waste fiberboard and particleboard *Polymer Composites*, Volume 29, Issue 6, 606–610s.
- Chen, L., 2009. Extrudable Melamine Resin For wood plastic composite Master of Science in Civil Engineering. Washington State University. Department of Civil and Environmental Engineering 94s.
- Chen, X.Y., Guo, Q.P., Mi, X.L., 1998. Bamboo Fiber Reinforced Polypropylene Composites. A Study of the Mechanical Properties. *J. Appl. Polym. Sci.* 69: 1891-1899s.
- Choa, Y-S., Shim, M-J.; Kim, S-W., 1998. Thermal degradation kinetics of PE by the Kissinger equation. Materials Chemistry and Physics, *Materials Science Communication*, 52: 94–97s.
- Chrestini, C., Sermanni, G.G., Arygropoulos, D.S., 1998. Structural modifications induced during biodegradation of wheat lignin by *Lentinula edodes*. *Bioorganic & Medicinal Chemistry*. 6: 957–973s.
- Clemons C., 2002. Wood-plastic Composites in United States: The Interfacing of Two Industries. *Forest Products Journal*, 52: (6) 10–18s.
- Clemons CM, Ibach RE., 2004. Effects of processing method and moisture history on laboratory fungal resistance of wood HDPE composites. *Forest Prod J.* 54 (4): 507s.
- Crookston, K., 2009. Reliability of Wood Plastic Composites and Improving Lower Percentile Estimation via Induced Percentile Censoring. Masters Thesis. The University of Tennessee. 70s.
- Cuoci, A. T., Faravelli, A., Frassoldati, S., Granata, G., Migliavacca, E., Ranzi, S., Sommariva, S., 2007. A General Mathematical Model of Biomass Devolatilization”, 30th Meeting of the Italian Section of the Combustion Institute, 214s.
- Dammer, L., Carus, M., Raschka, A. & Scholz, L., 2013. Market developments of and opportunities for biobased products and chemicals. Final report. Nova-Institute for Ecology and Innovation, Germany: 42s.
- Daniel, F. C. Craig, C. Rodney, E. J., Roger, M. R., 2005. Wood Thermoplastic Composites, Handbook of wood chemistry and wood composites, CRC Press, 378s.

- Demirci, A., 2010. Plastik Ekstruderlerinde Isıtma-Soğutma Proseslerinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi. Yıldız Teknik Üniversitesi. Fen Bilimleri Enstitüsü. 70s.
- Demircan, S. F., 2009. Fındık Kabuğu Dolgulu Polietilen Kompozitlerin Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi. Yüksek lisans tezi. Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. 86s.
- Demirtepe, M., 2008. Balık Yemlerinde Pirina ve Pirina Yağı Kullanımı Üzerine Araştırmalar. Yüksek lisans tezi. Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. 75s.
- Demiryürek, O., 2004. Sentetik lif üretiminde kullanılan ekstruderler ve ekstruder-pompa sisteminin tasarım esasları. Yüksek lisans tezi. Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. 84s.
- Dobrev, D., Nenkov, S., Vasileva, S.T., 2006. Morphology and Mechanical Properties of Polypropylene-Wood Flour Composites. *Bioresources* 1 (2): 201–208s.
- Durademir, A., 2011. Öğütülmüş Bitki Kabukları İle Takviyeli Polimer Matrisli Karma Malzemelerin Mekanik Özellikleri. Yüksek Lisans Tezi. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü. 73s.
- Duru, A., Kaya, C., 2015. Zeytin Posası Silajının Hayvan Beslemede Kullanım Olanakları *Mustafa Kemal Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 20(1): 64–71s.
- Ece/Fao., 2000. Forest Products Annual Market Review, 1999–2000. Engineered Wood Products –Production, Trade, Consumption and Outlook. 131s.
- Eder, A., 2010. Wood-Plastic Composite Markets in Europe, The Fourth China International Summit of WPC, Nanning 142s.
- Eder, A., & Carus, M., 2013. Global Trends in Wood-Plastic Composites (WPC). *Bioplastics Magazine* 8s.
- Efe, R., Soykan, A., Cürebal, İ., Sönmez, S., 2013. Dünya’da, Türkiye’de, Edremit Körfezi Çevresinde Zeytin ve Zeytinyağı Edremit Belediyesi Kültür Yayınları No: 7 s. 313
- Ekşi, O., Erdoğan, S., 2007. Plastik Esaslı Malzemelerin Isıl Şekil Verme Özelliklerinin İncelenmesi. Edirne, 46s.
- Elber, G., 1993. Back to Basics: Polypropylene, Plastics Design Forum, *trade journal*, Advanstar Communications 18: 5s.
- Engin, K.E., Koyuncu, T., Lüle, F., 2015. Farklı kompozit malzemelerin üretilmesi ve bazı teknik özelliklerinin belirlenmesi *Anadolu Tarım Bilim. Dergisi*, Sayı: 30. 43–50s.
- English, W.B., Falk, H.R., 1995. Factors that Affect the Application of Woodfiber-Plastic Composites, Woodfiber-Plastic Composites Virgin and Recycled Wood Fiber and Polymer for Composites, Madison USA, 189-194s.
- Englund, K.R., 2001. Consolidation and Friction Mechanisms of Wood Composites and Their Influence of Pultrusion Processing. PhD Thesis. Washington State University. 71s.

- Eriksson, K. E., Blanchette, R. A. ve Ander P., 1990. Biodegradation of lignin. In Microbial and enzymatic degradation of wood and wood components, Springer-Verlag KG, Berlin. 225–333s.
- Erten, P., Taşkın, O. 1985: Kızılçam (Pinus brutia Ten) Kabuklarında Tanen Miktarının Saptanmasına ilişkin Araştırmalar. *Or. Arşt. Enst. Yay. Teknik Bülten Serisi* No: 135. 1–15s.
- Erten, P., Önal, S., 1987. Kızılçam Odununun Özellikleri, Korunması, Reçine Üretimi ve Kullanım Yerleri, Orman araştırma Enstitüsü yayınları El Kitapları Dizisi I, Ankara, 182s.
- Erten P ve Önal S., 2001. Kızılçam, Ormancılık Araştırma Enstitüsü Yayınları, El Kitabı Dizisi:2, Muhtelif Yayınlar Serisi: 52, Ankara.1–47s. <http://www.ogm.gov.tr>. 22.11.2015.
- Ezdeşir, A., Erbay E., Taşkiran, Ğ., Yağcı, M.A., Cöbek, M., Bilgiç, T., 1999, *Pagev. Polimerler I.*, İstanbul, 185s.
- Fabiyi, J. S., McDonald, A. G., Wolcott, M.P., Griffiths, PR., 2008. Wood plastic composites weathering: Visual appearance and chemical changes *Polymer Degradation and Stability* 93: 1405–1414s.
- Fengel, D., Wegener, G., 1984. Wood Chemistry, Ultrastructure, Reactions, 3-11-008481-3, Walter de Gruyter, Berlin, New York, 154s.
- Gallagher, L., 2006. The Effect of Utilizing Micrometer Sized Wood Fibers in Wood Plastic Composites. Degree of Master of Science. College of Graduate Studies. University of Idaho 57s.
- Gächter, R. Ve Müller, H., 1993. Lubricants and Related Additives, in *Plastics Additives Handbook*, Hanser- Gardner Publications, Inc., 480s.
- Gächter, R., Müller, H., 1993. *Plastics Additives Handbook*, Fourth edition, Hanser/Gardner Publications, 561s.
- Gassan, J., Bledzki, A.K., 1997. The Influence of Fiber Surface Treatment on the Mechanical Properties of Jute-PP Composites. *Composites Part A*, 28A: s. 993–1000.
- Geethamma, V.G., Pothen, L.A., Rhao, B., Neelakantan, N.R., Thomas, S. 2004 Tensile stress relaxation of short-coir-fiber reinforced natural rubber composites. *J. Appl. Polym. Sci.* 94, 96–104s.
- George, J., Sreekala, M.S., Thomas, S., Bhagawan, S.S., Neelakantan, N.R. 1998. Stress relaxation behavior of short pineapple fiber reinforced polyethylene composites. *J. Reinforced Plastics Compos.* 17, 651–672s.
- Giles, Harold F., 2004. Extrusion: the definitive processing guide and handbook / by Harold F. Giles, Jr., John R. Wagner, Jr., Eldridge M. Mount, III. p. cm. ISBN 0-8155-1473-5 318s.

- Goodship, V., 2004. Arburg Practical Guide to Injection Moulding”, Smithers Rapra, 65s.
- Göksel, E., 1984. Kızılçamın Lif Morfolojisi ve Odunundan Sülfat Selülozu Elde Etme Olanakları Üzerine Araştırmalar. *İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi dergisi* 3204/364, İstanbul.120s.
- Göksel, E., Özden, Ö., 1993. Kağıt Endüstrisinde Kızılçam, Uluslararası Kızılçam Sempozyumu Bildiriler Kitabı, 18-23 Ekim, 648-654s.
- Guo, M. C., Heuzey, M. C., Carreau, P.J., 2007. Cell structure and dynamic properties of injection molded polypropylene foams, *Polymer Engineering and Science*, 47 (7): 1070–1081s.
- Gupta, B., 2006. Development of a coating technology for wood plastic composites. Washington State University Master of Science in Materials Science And Engineering. 130s.
- Gürsu, İ., Öktem, E., 1975. Asli Ağaç Türlerinin Bıçkı Sanayinde (Şerit ve Katrak Testerelede) Çap Kademelerine Göre Randımanlarının ve Artıklarının Saptanmasına ilişkin Araştırmalar. *Orm. Arşt. Enst. Teknik Bülten Serisi: 70*. 1–90s.
- Gürten, I. İ., 2008. Çay Atığından Adsorbent Üretimi Ve Üretilen Adsorbentin Adsorpsiyon Özelliklerinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi. Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.76s.
- GTB., 2014. Gümrük ve Ticaret Bakanlığı, Kooperatifçilik Genel Müdürlüğü 2013 Yılı Zeytin ve Zeytincilik Raporu Ankara 6–9s.
- Gwon, G.J., Lee, S.Y., Chun, S.J., Doh, G.H., Kim, J.h., 2010. Effects of chemical treatments of hybrid fillers on the physical and thermal properties of wood plastic composites *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing* 41 (10): 1491–1497s.
- Qiu, W., Endo, T., Hirotsu, T. 2004. Interfacial Interactions of A Novel Mechanochemical Composite of Cellulose with Maleated Polypropylene. *J. Appl. Polym. Sci.* 94:1326-1335s.
- Hafizoğlu, H., 1982. Orman Ürünleri Kimyası Ders Notları”, K.T.Ü. Orman Fakültesi, Yayın No: 52, Trabzon, 50s.
- Hafizoğlu, H., Yalınkılıç, M.K., Yıldız, Ü.C., Baysal, E., Demirci, Z., Peker, H., 1994. Türkiye Bor Kaynaklarının Odun Koruma (Emprenye) Endüstrisinde Değerlendirilme İmkanları, Tubitak Projesi, TOAG-875 No’lu Proje, 377).
- Hafizoglu, H., Usta, M., 2005. Chemical Composition of Coniferous Wood Species Occuring in Turkey, *Holz als Roh-und Werkstoff*, 63: s.83–85s.
- Hamalainen, K., Karki, T., 2014. Effects of wood flour modification on the fire retardancy of wood–plastic composites *Eur. J. Wood Prod.* 5 1-73s.

- Hamida, B., Ahmed, M., Nadia, N., Samira, M. 2015 Mechanical Properties of Polystyrene / Olive Stone Flour Composites. *Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences*, 6(3) 127s.
- Harper, Charles, A., 2006. Handbook of Plastics Technologies, McGraw-Hill Professional, 153s.
- Hietala, M., 2013. Extrusion Processing of Wood-Based Biocomposites. Doctoral Thesis. Luleå University of Technology. 97s.
- Hohenberger, W., 2003. Fillers and Reinforcements, Fifth edition, Plastics Additives Handbook, 948s.
- Ibach, R.E., Clemons, C.M., and Stark, N.M., 2003. Combined Ultraviolet and Water Exposure as a Preconditioning Method in Laboratory Fungal Durability Testing. Seventh International Conference on Wood Fiber Composites, 61–67s.
- Ichazo, M.N., Albano, C., González, J., Perera, R., Candal, R.W., 2001. Polypropylene/wood flour composites: treatments and properties *Composite Structures* 54 (2–3): 207–214s.
- Islam, R., 2010. Profile Extrusion Of Wood Plastic Cellular Composites And Formulation Evaluation Using Compression Molding, The Faculty of Engineering and Applied Science Mechanical Engineering Program University of Ontario Institute of Technology Oshawa, Ontario, Canada 106s.
- James Lee L., Changchun Z., Xia C., Xiangming H., Jiong S., Guojun X., 2005. Polymer nanocomposite foams, *Composites Science and Technology* 65 2344–2363s.
- Jaehyug, C., 2006. Engineering Plastics Handbook Copyright © 2006 by The McGraw-Hill Companies, Inc. United States of America. 412s.
- Jeong, G., 2005. Fracture Behavior of Wood Plastic Composites (WPC) Louisiana State University and Agricultural and Mechanical College 96s.
- Jennifer, L.M., Xu, M. H., 2009. Mesenchymal stem cell proliferation and differentiation on an injectable calcium phosphate – Chitosan composite scaffold, *Biomaterials*, 30, 2675–2682s.
- Jessica D. J., 2003. Investigating the Surface Energy and Bond Performance of Compression Densified Wood. master thesis. Faculty of Virginia Polytechnic Institute and State University. 88s.
- Johnson, D.D., Jacobson, R., Maclean, W.D., 1997. Wheat Straw as a Reinforcing Filler in Plastic Composites. Proceeding of the 4th International Conference on Woodfiber-Plastic Composites, Madison, 200s.
- Johansson E. Krantz-Rultcker C., Zhang, B. X., 1999. Chlorination and biodegradation of lignin. *Soil Biology & Biochemistry*, 1029–1032s.

- Kabakçı, A., 2009. Buğday Sapı Oranının ve Plastik Tipinin odun plastik kompozitlerin Mekanik Özelliklerine Etkisi. Yüksek Lisans Tezi. Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. 53s.
- Kantarıcı, M. D. 1984. Türkiye'nin Batı Akdeniz Bölümündeki Kızılçam Ağaçlandırmalarında Ekolojik Değerlendirmeler. *İ.Ü. Or. Fak. Derg. A*, Sayı: 2, 81–100s.
- Karakuş K., 2008. Üniversitemizdeki Polietilen ve Polipropilen atıkların Polimer Kompozit Üretiminde Değerlendirilmesi. Yüksek Lisans Tezi. Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. 68s.
- Karakuş, K., Başboğa, H.İ., Mengeloğlu, F., 2014. Termoplastik Esaslı Polimer Kompozitlerin Üretilmesinde Orman Budama Atıklarının Değerlendirilmesi II. Ulusal Akdeniz Orman ve Çevre Sempozyumu Akdeniz ormanlarının geleceği: Sürdürülebilir toplum ve çevre 22-24 Ekim 2014 Isparta 801-807s.
- Karakuş, K., Mengeloğlu, F., 2015. Termoplastik Nişasta Esaslı Polimer-Biokompozit Köpük Üretimi *Kastamonu Üni., Orman Fakültesi Dergisi*, 2015, 15 (2) 252-260s.
- Kattas, L., Gastrock, F., Levin, I., Cacciatore, A., 2000. Modern plastics handbook / Modern Plastics, Chapter 4. Plastic Additives Charles A. Harper (editor in chief). The McGraw-Hill Companies, Inc. United States of America. 4.21-4.44s.
- Katmer, Ş., 2010. Ticari Plastiklerde (Polietilen, Polipropilen, Polisitren) Enjeksiyon Parametrelerinin Artık Gerilmelere Etkisinin Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi. Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. 81s.
- Kayacık H., 1980. Orman ve Park Ağaçlarının Özel Sistematiği I. Cilt- Gymnospermae, *İ.Ü. Orman Fakültesi Yayınları*, İ.Ü. Yayın No: 2642, O.F. Yayın No: 281, İstanbul. 1–9s.
- Kavak, F., 2006. Ekstraksiyon Yöntemiyle Kızılağaç (*Alnus glutinosa* L. gaertn) Yapraklarından Mürekkep Yapımı. Yüksek Lisans Tezi. Gaziosmanpaşa Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. 72s.
- Kaya, S., 2012 Ahşap Tozu Takviyeli Polipropilen (PP) Esaslı Kompozit Malzemelerin Akış ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi. Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. 72s.
- Kaymakçı, A. Ayrılmış, N., Akbulut, T., 2014. Dış Cephe Kaplamalarına Ekolojik bir Yaklaşım: Ahşap Polimer Kompozitler 7. Ulusal Çatı & Cephe Sempozyumu 3– 4 Nisan 2014 Yıldız Teknik Üniversitesi Beşiktaş – İstanbul. 199–209s.
- Keser, O., Tanay, B., 2010. Zeytin Sanayi Yan Ürünlerinin Hayvan Beslemede Kullanım Olanakları *Hayvansal Üretim* 51(1): 64–72s.
- Keskinöz, S., 2010. Polietilen Malzemelerin Mekanik Özellikleri Üzerine Dolgu Maddelerinin Etkisi. Yüksek Lisans Tezi. İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. 69s.

- Khan, M.İ., 2014. Influence of Some Heterogeneous Catalysts on Pyrolytic Conversion of Model PolyPropylene and High-density Polyethylene into Fuel Like Products Institue Of Chemical Sciences University Of Peshawar Master tezi. 120s.
- Kılıç, F., 2007. Atık şişirilmiş polistirenin kimyasal geri kazanımı. Yüksek Lisans Tezi. İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. 60s.
- Kılıç, M.Y., 2011. Zeytin Karasuyunun İleri Arıtma Yöntemleri ile Ekonomik Arıtılabilirliğinin Araştırılması. UÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Bursa. 195s.
- Kılıçarslan, C. 2016. Zeytin Pirinasi/Polyester Kompozitin Basma Yüğü Altındaki Mekanik Özelliklerinin Belirlenmesi, *Mühendis ve Makina*, cilt 57, sayı 676, 26-31s.
- Klyosov A., 2007. Wood Plastic Composite”, Wiley Interscience Publication, 13: New Jersey, 416s.
- Kodal, M., 2009. Polipropilen ve Dolgu Maddeleri ile Hazırlanan Karışımların Fiziksel ve Kimyasal Özelliklerinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi. Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. 143s.
- Kord, B., 2011. Effect of wood flour content on the hardness and water uptake of thermoplastic polymer composites, *World Applied Sciences Journal*, 12 (9), 1632-1634s.
- Korucu, T., Mengeloğlu, F., 2007. Potentials of Agricultural Residues as Raw Materials and Their Alternative Usage Possibilities in Turkey. National Agricultural Mechanisation Congress, Kahramanmaraş, 297–307s.
- Kuo, P.Y., Wang, S.Y. Chen, J.H., Hsueh, H.C., Tsai, M.J., 2009. Effects of material compositions on the mechanical properties of wood–plastic composites manufactured by injection molding *Materials and Design* 30 3489–3496s.
- Köseoğlu, o. Ergönül, G., 2011. Gıda Sanayiinde Kullanılan İçme ve Kullanma Suları ile Arıtma Tesislerinde Kullanılan Sistemlerin Özellikleri. *Analiz dergisi*.18s.
- Kurt, R., Mengeloğlu, F., 2011. Utilization of boron compounds as synergists with ammonium polyphosphate for fl ame retardant wood-polymer composites TUBİTAK *Turk J Agric For*. 35: 155-163s.
- Kurtuluş, M., 2010. Lignoselülozik Materyallerden Termokatalitik İşleme Suda Çözündürülen Polisakkaritlerin Moleküler Yapılarının İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi. Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. 66s.
- Kutty, S.K.; Nando, G.B. 199. Short Kevlar fiber-thermoplastic polyurethane composite. *J. Appl. Polym. Sci.* 43, 1913–1923s.
- Küçükosmanoğlu, Y., 2006. Orman yangınlarının Kızılçam (*Pinus brutia* Ten.) odununun fiziksel ve mekanik özellikleri üzerine etkisi. Yüksek Lisans Tezi. Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. 100s.

- Leong, Y., W., Abu Bakar, M., B., Mohd. Ishak, Z., A., Ariffin, A., Pukanszky, B., 2004. Comprasion of the mechanical properties and interfacial interactions between talc, kaolin and calcium carbonate filled polypropylene composites, *Journal of Applied Polymer Science*, 91, 3315–3326s.
- Levy, S., 1981. Plastic Extrusion Technology handbook industrial Pres Inc. Newyork 131s.
- Li, Q., Matuana, LM. 2003. Effectiveness of Maleated and Acrylic Acid- Uctionalized Polyolefin Coupling Agents for HDPE-Wood-Flour Composites. *J. Thermoplast. Compos.* 16.551-564s.
- Maier, C. ve Calafut, T., 1998. Polypropylene- Definitive User's Guide and Databook, Plastics Design Library, Norwich, New York. 85s.
- Margolis J. M., 2006. Engineering Plastics Handbook Copyright © 2006 by The McGraw-Hill Companies, Inc. United States of America. 412s.
- Marisa, C. G. R., Antonio, H. M. F. T. S., Fernanda, M. B.C., Ana Lucia, N. S., 2005. Study of composites based on polypropylene and calcium carbonate by experimental design” *Polymer Testing*, 24 1053s.
- Martelli, F.G., 1983. Twin-screw Extruders: A Basic Understanding, Van Nostrand Reinhold Company, New York, NY., 137s.
- Martinez, A.T., Camerero, S., Gutierrez, A., 2001. Studies on wheat lignin degradation by Pleurotus species using analytical pyrolysis. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 59: 401–411s.
- Matuana, L. M., Heiden, P.A., 2004. Wood Composites, *Encyclopedia of Polymer Science and Technology*, 12: 546s.
- Matuana, L. M., Mengeloğlu, F., 2002. Manufacture of Rigid PVC/Wood Flour Composite Foams Using Moisture in VWood as Foaming Agent. *Journal of Vinyl&Additive Technology*, 8 (4): 264 – 270s.
- Matuana, LM., Park, CP., Balatinecz, JJ. 1998. Cell Morphology and Propert Relationships of Microcellular Foamed PVC / Wood-fiber composites. *Polym. Eng. Sci.* 38: 1862-1872s.
- Mazlum, U., 2008. EPDM Sentetik Kauçuğunun Gerilme Gevşemesi Davranışının Deneysel Olarak İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi. Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. 83s.
- Mengeloğlu, F., 2006. Odun/Termoplastik Kompozitler. Polimerik Kompozitler Sempozyomu TBMOB Kimya Mühendisleri Odası, İzmir. Bildiriler Kitabı 471s.
- Mengeloğlu, F., Karakuş, K. 2008. Polymer-Composites from Recyled High Density Polyethylene and Waste Lignocellulosic Materials, *Fresenius Environmental Bulletin*, 17 (2): 211–217s.

- Mengeloğlu, F., Karakus, K., 2008. Some properties of eucalyptus wood flour filled recycled high density polyethylene polymer-composites, *Turkish Journal Of Agriculture And Forestry*, 32, 537-546s.
- Mengeloğlu, F., Kurt, R., Gardner, D.J., ve O'Neil, S., 2007. Mechanical Properties of Extruded High Density Polyethylene and Polypropylene Wood Flour Decking Boards. *Iran. Polym. J.*, 2007; 16 (7): 477-487s.
- Mengeloğlu, F. Basboğa, I.H. Aslan, T., 2015. Selected Properties Of Furniture Plant Waste Filled Thermoplastic Composites. *Pro Ligno*. 11 (4): 199–206s.
- Mengeloğlu, F., Kabakçı, A., 2008. Determination of Thermal Properties and Morphology of Eucalyptus Wood Residue Filled High Density Polyethylene Composites. *International Journal of Molecular Sciences*, 9: 107–119s.
- Mengeloğlu, F., Alma, M.H., 2002. Buğday Saplarının Kompozit Levha Üretiminde Kullanılması, *KSÜ Fen ve Mühendislik Dergisi*, 5(2): 37-48s.
- Mengeloğlu, F., Alma, M.H., Çetin, N.S., 2002. Plastik Endüstrisinde Buğday Sapı Ununun Kullanılabilirliği. *Gazi Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, sayı: 2 (2): 57–65s.
- Mengeloğlu F., Matuana. L. M. King, J. A., 2000. Effects of Impact Modifiers on the Properties of Rigid PVC/Wood Fiber Composites. *Journal of Vinyl&Additive Technology*, 6 :(3): 153 157s.
- Mengeloğlu F., Matuana. L. M., 2003. Mechanical Properties of Extrusion foamed Rigid PVC/Wood- Flour Composites. *Journal of Vinyl&Additive Technology*, Vol. 9. No: 1, 26–31s.
- Mengeloğlu F., Matuana. L. M., 2001. Foaming of Rigid PVC/Wood Flour Composites Through a Continuous Extrusion Process. *Journal of Vinyl&Additive Technology*, 7 (3): 8s.
- Meryemoğlu. B., 2009. Buğday samanının farklı katalizörler kullanılarak sulu faz reformlama yöntemi ile gazlaştırılması. Yüksek Lisans Tezi. Çukurova üniversitesi Fen bilimleri Enstitüsü. 87s.
- Mete, N., Çetin, Ö., 2006. Zeytinin Botanik sınıflandırılması ve bölgelere göre yerli zeytin çeşitlerimiz, *Zeytin yetiştiriciliği*, ZAE, Bornova, İzmir.1–20s.
- Miles, D. C., Briston, J. H., 1996. Polymer Technology, Chemical Publishing Co. Inc., New York, 557-570s.
- Mohan, D., Pittman, C.U. ve Steele, P.H., 2006. Pyrolysis of wood/biomass for bio-oil: A critical review,” *Energy and Fuels*, 20, 848-889s.
- Mousa, G., Heinrich, U., Gohs, R., Hässler, U. Wagenknecht, N. 2009. Application of renewable agro-waste-based olive pomace on the mechanical and thermal performance of toughened PVC, *Polymer-Plastics Technology and Engineering*. 48:10s.

- Mudu, M., 2010. Organik-İnorganik Hibrit Takviyeli Polipropilen Kompozitlerin Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi. Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. 40s.
- Murphy, J., 1996. Additives for Plastics Handbook, *Elsevier Advanced Technology*, Oxford, UK, 26-28,454-455s.
- Mutlu S.F., 1990. Ayçiçeği Bitkisinin Sap ve Tohum Kabuklarının Enzimatik Yöntemlerle Şekere Dönüşümü, Doktora Tezi, Ankara Üniversitesi, Fen Fakültesi, Kimya Bölümü, Ankara, 90s.
- Monasse B. Haudin, J.M.,1995. Molecular Structure of Polypropylene Homoand Copolymers”, Karger-Kocsis, J. Polypropylene Structure, Blends and Composites; Vol.1 Structure and Morphology”, Chapman and Hall, Cambridge, Great Britain, 1-30s.
- Naghmouchi, F. X. Espinach, P. Mutjé, and S. Boufi. 2015. Polypropylene Composites Based On Lignocellulosic Fillers: How The Filler Morphology Affects The Composite Properties. *Mater. Design*. 65: 454s.
- Nas, S., Gökalp, H.Y., Ünsal, M., 2001. Bitkisel Yağ Teknolojisi, Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Ders Kitapları Yayınları No: 005, 50, Denizli.157-165s.
- Ndiaye, D., Tidjani, A., 2012. Effects of coupling agents on thermal behavior and mechanical properties of wood flour/polypropylene composites, *Journal of composite materials*, DOI: 10.1177/0021998311435675.
- Neyişçi, T., 2001. Kızılçamın Ekolojisi, Kızılçam El Kitabı 2, 47s.
- Nirkhe, C., 2003. Comparison of Approaches for Optimizing Molding Parameters. Yüksek Lisans Tezi. Massachusetts Lowell Üniversitesi, 73s.
- OGM, 2014. Türkiye Orman Atlası. Orman Genel Müdürlüğü Yayınları Ankara 30s.
- Onaran, K., 1999. Malzeme Bilimi, Bilim Teknik Yayınevi, İstanbul, 384s.
- Optimat Ltd. ve Merl Ltd, 2003. Wood Plastic Composites Study March 2003 Technologies and UK Market Opportunities The Waste and Resources Action Programme The Old Academy, 21 Horsefair, Banbury, 4s.
- Oruç, N., 2012. Zeytinyağı Fabrikası Atığı Karasu Ekolojik Kirlilik Yerine Toprak Düzenleyici Olabilir. *SAÜ Fen Edebiyat Dergisi* 1. 35–45s.
- Osswald, T.A. ve Hernandez-Ortiz, J.P., 2006. Polymer Processing: Modeling and Simulation, Carl Hanser Verlag, Munich. 66–85s.
- Otton, J., 1988. Investigation of the formation of poly (ethylene terephthalate) with model molecules: kinetics and mechanisms of the catalytic esterification and alcoholysis reactions. II. Catalysis by metallic derivatives (monofunctional reactants). *Journal of Polymer Science, Part A: Polymer Chemistry*, 26 (8): 2199–2224s.

- Öcal, A., 2005. Zeytinyağı Atık suyu ve Pirinanın Bitki Yetiştirilmesinde Kullanım Olanaklarının Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi. Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. 50s.
- Öktem, E., Sözen, M. ve Erten, A.P., 1993. Yatağan Yöresi Mevcut Çevre Kirliliği Şartlarında Kızılçam Odununun Fiziksel ve Mekaniksel Özellikleri, Uluslar arası Kızılçam Sempozyumu Bildiriler Kitabı, 18-23 Ekim, 636-647s.
- Özcan, A., 2008. Kağıt Yüzey Pürüzlülüğünün $L^*a^*b^*$ değerleri üzerine etkisinin belirlenmesi *İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi* Yıl:7 Sayı:14 Güz 2008/2 53–61s.
- Özgürsoy, S., 2006. Hatay İlinde Zeytin Ve Zeytinyağı Sektörünün Ekonomik Analizi Çukurova Üniversitesi Tarım Ekonomisi A.B.D. Doktora Tezi Adana 159s.
- Özmen, N., Çetin, N.S., Narlıoğlu, N. Çavuş, V., Altuntaş, E. 2014. MDF atıklarının odun plastik kompozitlerin üretiminde değerlendirilmesi *SDÜ Orman Fakültesi Dergisi*, 15: 65-71s.
- Öztürk, H., Şıklar, S., Alan, M., Ezen, T., Korkmaz, B., Gülbaba, A., Sabuncu, R., Tulukçu, M., Derilgen, S. I., 2004. Akdeniz Bölgesi Alçak Islah Zonunda (0-400 m) Kızılçam (*Pinus brutia* Ten.) Döl Denemeleri (4. Yaş Sonuçları). Orman Ağaçları ve Tohumları Islah Araştırma Müdürlüğü, Teknik bülten No:12, 147s.
- Öztürk, F. Yalçın, M. Dıraman, H., 2009. Türkiye Zeytinyağı Ekonomisine Genel Bir Bakış *Gıda Teknolojileri Elektronik Dergisi* Cilt: 4, No: 2, 35–51s.
- Öztürk, K. N., Sever, K., Seydibeyoğlu, M.Ö., Sütçü, M., Sarıkanat, M., Seki, Y. Pirina Atığı Katkılı Termoplastik Kompozitlerin Gelimat Mikser İle Üretimi XIX. Ulusal Mekanik Kongresi 24-28 Ağustos 2015, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon. 787s.
- Panthapulakkal, S., Zereschkian, A., Sain, M., 2006. Preparation and Characterization of Wheat Straw Fibers Reinforcing Application in Injection Molded Thermoplastic Composites. *Bioresource Technology*, 97: s. 265–272.
- Parisi, F., 1989. Advances in lignocellulosic hydrolysis and in the utilisation of the hydrolysates, *Advances Biochemical Engineering*, 38, 53–87s.
- Palonen, H., 2004. Role of lignin in the enzymatic hydrolysis of lignocellulose. VTT Biotechnology Technical Research Centre of Finland, Espoo 2004. 1-17s.
- Patrickios, C.S., 2010. Polymer Networks: Recent developments. *Macromolecular Symposia*, 291–292: 1–11s.
- Peng, J., Cao, Y., 2011. Preparation and Properties of PA66/PP/MOS whisker composites *Advanced Materials Research* Vols. 311–313:20–25s.
- Perhac, D., 2007. An Applied Statistical Reliability Analysis of the Modulus of Elasticity and the Modulus of Rupture for Wood-Plastic Composites. Masters Thesis. The University of Tennessee. 93s.

- Pişkin, E., 1987. Polimer Teknolojisine Giriş, İnkılap kitapevi, Ankara 1-95s.
- Pothan, L.A., Neelakantan, N.R., Rao, B., Thomas, S. 2004. Stress relaxation behavior of banana fiber-reinforced polyester composites. *J. Reinforced Plastics Compos.* 23, 153–165s.
- Psomiadou, E., Arvanitoyannis, I., Biliaderis, C.G., Ogawa, H., Kawaski, N., 1997. Biodegradable films made from low density polyethylene (LDPE), wheat starch and soluble starch for food packaging applications. Part 2. *Carbohydrate Polymers*, 33, 4, 227–242s.
- Rafighi, A., Dorostkar, A., Madhoushi, M., 2014. Investigation on mechanical properties of composite made of sawdust and high density Polyethylene *International Journal of Lignocellulosic Products*, 1 (2): 134-141s.
- Rahman, S.K., Islam M.N., Rahman, M.M., Hannan, M.O., Khalil, A.H., 2013. Flat-pressed wood plastic composites from sawdust and recycled polyethylene terephthalate (PET): physical and mechanical properties. *SpringerPlus*. 2.629s.
- Raid, B., Mohammad, M.F., 2015 Olive oil waste filled high density polyethylene bio-composites – mechanical, morphological and water absorption properties, *International Journal of Composite Materials*, 5(5), 135s.
- Ramos, L.P., 2003. The chemistry involved in the steam treatment of lignocellulosic materials. *Quim. Nova*, 26(6). 863–871s.
- Rocha, N., Coelho, J.F.J., Fonseca, A.C., Kazlaucius, A., Gil, M.H., Gonçalves, P.M., Guthrie, J.T., 2009. Poly(vinyl Chloride) and Wood Flour Press Mould Composites: New Bonding Strategies, *Journal of Applied Polymer Science*, 113, 2727-2738s.
- Rude, E., 2007. Evaluation of Coupling Mechanisms in Wood Plastic Composites Master of Science in Material and Engineering Department of Mechanical and Materials Engineering. Washington State University 84s.
- Rauwendaal, C., 2001. Polymer Extrusion. 4th edition. Munich: Carl Hanser Verlag.
- Rees, H., 1995. Mold Engineering, Hanser Publisers, 26s.
- Rosato, D.V., 1999. Injection Molding Handbook, Kluwer Academic Publishers, 96s.
- Rowell, R.M., Young, R.A. and Rowell, J.K., 1997. Paper and Composites from Agro Based Resources, CRC Press, Inc., 2000 Corporate Blvd., N.W., Boca Raton, Florida, USA, 6s.
- Rowell, R.M., 2006. Advances and Challenges of Wood Polymer Composites, Proceedings of the 8th Pacific Rim Bio-Based Composites Symposium, 20 – 23 November, 2006, Kuala Lumpur, Malaysia. 465s.
- Rutkowski, J.V., Levin, B., 1986. Acrylonitrile-Butadiene-Styrene Copolymers (ABS): Pyrolysis and Combustion Products and their Toxicity-A Review of the Literature *Fire and Materials*, Sayı: 10, 93-105s.

- Saçak, M., 2002. Polimer Teknolojisi, Gazi Kitapevi, ISBN: 9758895826, 9789758895823. 50s.
- Saeed, U., Hussain, K., Rizvi, G. 2014. HDPE reinforced with glass fibers: Rheology, tensile properties, stress relaxation, and orientation of fibers. *Polym. Compos.* 35, 2159–2169s.
- Sanadi, A.M., Rowell, R.M., Young, R.A., 1992. Estimation of fiber-matrix interfacial shear strength in lignocellulosic-thermoplastic composites. Materials interactions relevant to recycling of wood-based materials (Vol. 266), Eds. Rowell, R. M.; Laufenberg, T. L. and Rowell, J. K. 81-92s.
- Saha, B.C., 2003. Hemicellulose bioconversion. *J. Ind. Microbiol. Biotechnol.*, 30, 279-291s.
- Sain, M., Park, S.H., Suhara, F., Law, S., 2004. Flame retardant and mechanical properties of natural fibre–PP composites containing magnesium hydroxide Polymer Degradation and Stability. Volume 83, Issue 2, February, 363–367s.
- Salmen L., 1982. Temperature and water induced softening behaviour of wood fiber based materials. Master thesis. The Royal Institute of Technology. 83s.
- Sarıusta, S.E., 2007. Sarıçam (*Pinus sylvestris* L.), Karaçam (*Pinus nigra* Arnold.) ve Kızılçam (*Pinus brutia* Ten.) Reaksiyon Odununun Anatomik Yapısı ve Kimyasal Bileşimi Üzerine araştırmalar. Yüksek Lisans Tezi. Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. 108s.
- Savaş, M., 2012. Doğal Elyaf Tabakalı Karma Malzemelerin Otomotiv Uygulamalarında Kullanılması. Yüksek Lisans Tezi. İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. 71s.
- Savaşçı, Ö.T., Uyanık, N., Akovalı, G., 2002. Ana Hatları İle Plastikler ve Plastik Teknolojisi, İkinci Baskı, Pagev Yayınları, 8-20, 405s.
- Schwartz, M., 1992. Composite Materials Handbook, Second Edition, Mcgrawhill International Editions, USA, Chapter 1(1.1-1.35), Chapter 2(2.53), Chapter 4 (4.56): Chapter 5 5.46s.
- Selik, M., 1963. Kızılçam (*P. brutia* Ten.)'ın Botanik Özellikleri Üzerine Araştırmalar. *Or. Gn. Md. Yayını* No: 353, İstanbul. 1–95s.
- Semeralul O.H., 2009. Advancing the Technology Development for Better Quality Wood Plastic Composites. Master Thesis. University of Ontario Institute of Technology. 90s.
- Shelton, D.R. ve Lee, W.J., 2000. Cereal Carbonhydrates. In: Kulp, K. ve Ponte, J.G., editor. Handbook of Cereal Science and Technology. 417s.
- Smith, P. M., 2001. U.S. wood fiber-plastic composite decking market. In: Proc. Sixth International Conference on Woodfiber-Plastic Composites. *Forest Prod. Soc.*, Madison, WI. 13–17s.

- Sinha, A., Jhalani, Ravi, M. R., Ray, A., 2000. Modeling of pyrolysis in wood: a review, *SESI-Journal*, New Delhi, India, 10, 41–62s.
- Sluiter, J.B., Ruiz, R.O., Scarlata, C.J., Sluiter, A.D., and Templeton, D.W., 2010. Compositional Analysis Of Lignocellulosic Feedstocks. 1. Review And Description Of Methods”, *J. Agric. Food. Chem.*, 58: 9043–9053s.
- Sorenson, W. R., Campbell, T. W., 1961. Preparative Methods of Polymer Chemistry, Wiley-Interscience, New York, 1-70s.
- Sreekala, M.S., Kumaran, M.G., Joseph, R., Thomas, S. 2001. Stress relaxation behavior in composites based on short oil-palm fibres and phenol formaldehyde resins. *Compos. Sci. Technol.* 61, 1175–1188s.
- Stan, F., Fetecau, C., 2013 Study of stress relaxation in polytetrafluoroethylene composites by cylindrical macroindentation. *Compos. Part B. Eng.* 47, 298–307s.
- Stark, N.M.; Rowlands, R.E., 2003. Effects of wood fiber characteristics on mechanical properties of wood/polypropylene composites. *Wood Fiber Science.* 35(2): 167–174s.
- Stark, N. Mueller, S., 2008. Improving The Color Stability Of Wood Plastic Composites Through Fiber Pre treatment. *Wood and Fiber Science*, 40 (2): 271–278s.
- Stark, N.M.; Rowlands, R.E., 2003. Effects of wood fiber characteristics on mechanical properties of wood/polypropylene composites. *Wood Fiber Science.* 35(2): 167–174s.
- Strong, A.B., 2000. *Plastics Materials and Processing*”, 2nd Ed., Prentice-Hall, Inc., New Jersey, USA, 482s.
- Suhara, F.; Kutty, S.K.; Nando, G.B. 1998. Stress relaxation of polyester fiber-polyurethane elastomer composite with different interfacial bonding agents. *J. Elastom. Plastics* 30, 103–117s.
- Şahin, H.T., 2000. Kağıt ve kompozit ürünleri için hammadde kaynakları' *Orman Mühendisliği*, 43; Sayı: 4–5–6, 21–25s.
- Şeker, C., 1999. Termoplastiklerin Şekillendirilmesinde Kullanılan Enjeksiyon Kalıplarının incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi. Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. 72s.
- Taşkıran, İ., 2001. Polistiren, Polimerler I kitabı, Pagev Yayınları, 197s.
- Takase S, Shiraishi N., 1989. Studies on composites from wood and polypropylenes. II. *Journal of Applied Polymer Science*, 37: 645–659s.
- Tunalıoğlu, R., Bektaş, T., 2010. Türkiye Zeytinciliğinde Karasu Sorunu. *Zeytin Bilimi Dergisi*, 1 (2): 65–71s.
- Turkovich, R. and Ervin L., 1983. Fiber fracture in reinforced thermoplastic processing, *Polymer engineering and Science*, 23(13), 743-749s.

- Tüzün, C., 1999. Organik Kimya. Palme Yayınları, Ankara. 70s.
- Uzun, G., Gümüş, H., Yıldız, S., Gümüş, D., Aydemir, D., Bardak, T., 2014. TiO₂ İlaveli Polipropilen Nanokompozitlerin Hazırlanması ve Karakterizasyonu. II. Ulusal Akdeniz Orman ve Çevre Sempozyumu Akdeniz ormanlarının geleceği: Sürdürülebilir toplum ve çevre 22–24 Ekim 2014 – Isparta 212s.
- Vahapoğlu, V., 2006. Kauçuk Türü Malzemelerin İnelastik Özelliklerinin Deneysel Olarak İncelenmesi Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı Doktora Tezi. 136s.
- Valenzuela, M.B., Jones, C.W., Agrawal, P.K., 2006. *Energy Fuels* 20. 1744–1752s.
- Van de Velde K., Kietkens P., 2001. Thermoplastic polymers: overview of several properties and their cosequences in flax fibre reinforced composites” *Polymer testing*, 20, 885–893s.
- Van der vegt, V. A.K., 1999, From polymer to plastics, Delft Universitesi Yayınları, Delft, Netherlands, 22-49s.
- Vassilou, A.A., Chrissafis, K., Bikiaris, DN., 2010. Thermal degradation kinetics of in situ prepared PET nanocomposites with acid-treated multi-walled carbon nanotubes. *J Therm Anal Calorim*, 1063–1071s.
- Villechevrolle, V., 2008. Polymer Blends For Multi- Extruded Wood- Thermoplastic Composites. Master Thesis. Washington State University, 113s.
- Vos, D., 1998. Engineering Properties of Wood-Plastic Composite Panels. Master thesis. University of Wisconsin. 103s.
- Walker, J., 2004. Primary wood processing: principles and practice. 2nd ed. Dordrecht, Netherlands: Springer. 274-290s.
- Wang, Y., 2008. Morphological Characterization of Wood Plastic Composite (WPC) with Advanced Imaging Tools: Developing Methodologies for Reliable Phase and Internal Damage. Master Thesis. Oregon State University. 112s.
- Wang, Y., Cao, J., Zhu, L., Zhao, G. 2012. Interfacial compatibility of wood flour/polypropylene composites by stress relaxation method. *J. Appl. Polym. Sci.* 126, 89–95s.
- Wang, Y., Yeh, FC., Lai, SM., Chan, HC., Shen, HF. 2003. Effectiveness of Functionalized Polyolefins As Compatibilizers for Polyethylene/Wood Flour Composites. *Polym. Eng. Sci.* 43(4):933-945s.
- Wechslera, A., Hiziroglu, S., 2009. Some of the properties of wood–plastic composites. *Materials and Design*, 30 (2009): 4183–4191s.
- Weshsler, A., Hiziroglu, S., 2006. Some of the properties of wood–plastic composites, *Building and Environment*, 42, 2637-2644s.

- White, J & Kim, E., 2010. Twin screw extrusion: technology and principles 2nd edition. Munich Carl Hanser Verlag..45s.
- Winandy, J. E. Stark, N. M. Clemons, C. M., 2004. Considerations In Recyclin Wood Plastic Composites. 5 th Global Wood and Natural Fibre Composites Symposium April 27–28, 2004 in Kassel / Germany. 61s.
- Wolcott, M.P. ve Englund, K., 1999. A Technology Review of Wood-plastic Composite, Proceeding of 33rd International Particleboard/ Composite Materials Symposium, Washington, USA, 103-111s.
- Wolcott, M.P., Kamke, F.A., Dillard, D.A., 1994. Fundamental aspects of wood deformation pertaining to manufacture of wood-base composites. *Wood and Fiber Science*, 26(4) 496–511s.
- Wolcott, Michael P., Englund. K., 2010. A Technology Review of Wood-Plastic Composites. Pullman, WA: Washington State University, 2010. Print. 1147s.
- Yadama, V., 2002. Characterization and Modeling of Oriented Strand Composites. Washington State University Department of Civil and Environmental Engineering Doktora Tezi December. 213s.
- Yaltırık, F., Efe, A., 2000. Dendroloji Ders Kitabı Gymnospermae–Angiospermae II. Baskı, *İ.Ü. Yayın* No: 4265, O.F Yayın No: 465, İstanbul 1–20s.
- Yam, K.I., Gogoi, C.C., Lai, Sekle, S.E., 1990. Composites from compounding wood fibers with recycled high density polyethilene, *Polymer Engineering and Sci.*, 30(11), 693-699s.
- Yang, H., Yan, R., Chen, H., Lee D.H. and Zheng, C., 2007. Characteristics of hemicellulose, cellulose and lignin pyrolysis. *Fuel*, 86, 1781–1788s.
- Yang, C.H., Yang, S.F. ve Liu, W.S., 2007. Production of Xylooligosaccharides from Xylans by Extracellular Xylanases from *Thermobifida fusca*. *J. Agric. Food Chem.*, 55 (10), 3955-3959s.
- Yang, HS., Wolcott, MP., Kim, HS., Kim, S., Kim, HJ. 2007. Effect of Different Compatibilizing Agents on The Mechanical Properties of Lignocellulosic Material Filled Polyethylene Bio-Composites. *Compos. Struct.* 79: 369-375s.
- Yaşar H., 2001. Plastikler Dünyası 2. Baskı, Mimarlar Mühendisler Odası Yayınları, Ankara, 97s.
- Yuan, X., Li, C., Guan, G., Xiao, Y., Zhang, D., 2008. Thermal Degredation of Poly(ethylene terephthalate)/ Fibrous Silicate Nanocomposites. *Polymer Degradation and Stability*, 93, 2, 466–475s.
- Yuan, Q., Wu, D., Gotama, J., Betamen, S., 2008. Wood Fiber Reinforced Polyethylene and Polypropylene Composites with High Modulus and Impact Strength: *Journal of Thermoplastic Composite Materials*, 21 (3): 195-208s.

- Youngquist, J.A. (1995). Unlike partners. The marriage of wood and nonwood materials. *Forest Products Journal*, 45(10), 25–30s.
- Zengin, H. B., Boztuğ, A., Saraydın, D., 2004. Bazı maleik anhidrid kopolimerlerinde uranil iyonu adsorpsiyonu, XVIII. Ulusal Kimya Kongresi, Kafkas Üniversitesi, 5–9 Temmuz, Kars, 167–177s.



EKLER DİZİNİ

EK 1. LDM türü e oranı ile EAI'nin deney numunelerinin su alma oranlarına ait ortalama e standart sapma (I.Grup).

Ü.K.***	Saat		Gün							Ay			
	2	6	1	2 gün	3	4	5	6	7	1.ay	2.ay	3. ay	4.ay
I-1	0.09 (0.03)	0.11 (0.08)	0.15 (0.08)	0.29 (0.09)	0.36 (0.08)	0.39 (0.08)	0.54 (0.08)	0.59 (0.09)	0.63 (0.07)	0.74 (0.08)	1.11 (0.09)	1.85 (0.03)	1.90 (0.09)
I-2	0.09 (0.06)	0.19 (0.06)	0.42 (0.05)	0.52 (0.06)	0.61 (0.06)	0.78 (0.06)	0.85 (0.06)	0.98 (0.06)	1.00 (0.05)	1.02 (0.06)	1.14 (0.06)	1.29 (0.06)	2.65 (0.06)
I-3	0.25 (0.03)	0.64 (0.01)	0.87 (0.03)	1.06 (0.02)	1.24 (0.02)	1.57 (0.02)	1.62 (0.02)	1.72 (0.03)	1.84 (0.05)	1.85 (0.05)	2.74 (0.06)	2.50 (0.05)	3.27 (0.07)
I-4	0.55 (0.08)	0.83 (0.08)	0.90 (0.08)	1.23 (0.08)	1.42 (0.08)	1.55 (0.08)	1.67 (0.08)	1.77 (0.08)	1.81 (0.08)	1.86 (0.08)	2.22 (0.05)	3.57 (0.06)	3.82 (0.13)
I-5	0.25 (0.04)	0.36 (0.04)	0.49 (0.04)	0.58 (0.04)	0.70 (0.04)	0.77 (0.04)	0.80 (0.04)	0.85 (0.03)	0.89 (0.04)	0.89 (0.04)	1.03 (0.03)	1.17 (0.04)	1.83 (0.04)
I-6	0.54 (0.09)	0.66 (0.09)	0.94 (0.10)	0.96 (0.09)	1.38 (0.10)	1.52 (0.10)	1.63 (0.10)	1.69 (0.09)	1.85 (0.09)	1.84 (0.09)	1.89 (0.10)	2.96 (0.08)	4.31 (0.09)
I-7	0.24 (0.07)	0.28 (0.07)	0.53 (0.06)	0.92 (0.06)	1.04 (0.06)	1.10 (0.07)	1.26 (0.07)	1.27 (0.08)	1.30 (0.07)	1.43 (0.06)	1.72 (0.05)	1.55 (0.07)	2.53 (0.07)
I-8	0.54 (0.07)	0.66 (0.07)	1.15 (0.07)	1.57 (0.07)	1.70 (0.06)	1.85 (0.07)	1.96 (0.07)	2.07 (0.06)	2.16 (0.04)	2.21 (0.04)	2.87 (0.07)	2.94 (0.07)	4.96 (0.07)
I-9	0.22 (0.07)	0.37 (0.06)	0.47 (0.07)	0.61 (0.07)	0.64 (0.08)	0.76 (0.08)	0.84 (0.08)	0.87 (0.07)	0.89 (0.08)	1.00 (0.08)	1.04 (0.08)	1.20 (0.07)	2.18 (0.07)
I-10	0.48 (0.09)	0.69 (0.09)	1.10 (0.09)	1.14 (0.09)	1.15 (0.09)	1.26 (0.09)	1.36 (0.09)	1.39 (0.09)	1.45 (0.08)	1.48 (0.07)	1.82 (0.09)	2.38 (0.10)	3.83 (0.08)

* ortalama değer, **standart sapma, Ü.K: üretim kodu *** her gruptan 5 deney numunesi test edilmiştir.

EK 2. LDM türü e oranı ile EAI'nin deney numunelerinin kalınlığına artış oranlarına ait ortalama e standart sapma değerleri (I.Grup).

Ü.K. ***	Saat												
	2	6	24	48	72	96	120	144	168	336	504	1224	1944
I-1	0.10* (0.14)	0.19 (0.14)	0.26 (0.14)	0.32 (0.12)	0.35 (0.13)	0.48 (0.13)	0.73 (0.15)	0.85 (0.14)	1.15 (0.11)	1.52 (0.11)	1.68 (0.13)	1.88 (0.12)	2.91 (0.11)
I-2	0.10 (0.03)	0.11 (0.04)	0.69 (0.02)	0.75 (0.03)	0.89 (0.04)	0.93 (0.03)	0.99 (0.03)	1.08 (0.03)	1.16 (0.05)	1.58 (0.05)	2.09 (0.05)	2.82 (0.04)	4.04 (0.04)
I-3	0.30 (0.04)	1.08 (0.04)	1.35 (0.04)	1.53 (0.04)	1.68 (0.04)	1.76 (0.04)	1.84 (0.04)	1.96 (0.04)	2.18 (0.04)	2.22 (0.02)	2.26 (0.03)	2.83 (0.03)	2.99 (0.03)
I-4	0.64 (0.02)	3.79 (0.04)	4.03 (0.03)	4.17 (0.03)	4.25 (0.03)	4.27 (0.03)	4.33 (0.03)	4.51 (0.04)	4.52 (0.03)	4.55 (0.05)	5.05 (0.04)	5.59 (0.05)	6.52 (0.05)
I-5	0.34 (0.01)	0.71 (0.00)	0.81 (0.01)	1.10 (0.01)	1.36 (0.01)	2.05 (0.04)	2.06 (0.04)	2.09 (0.03)	2.11 (0.02)	2.14 (0.04)	2.16 (0.02)	2.18 (0.03)	2.57 (0.02)
I-6	0.64 (0.01)	1.51 (0.03)	1.61 (0.02)	1.83 (0.01)	1.89 (0.04)	1.96 (0.03)	2.04 (0.03)	2.06 (0.01)	2.20 (0.02)	2.22 (0.01)	2.38 (0.02)	3.14 (0.02)	3.87 (0.02)
I-7	0.30 (0.03)	1.40 (0.03)	1.48 (0.03)	1.87 (0.03)	2.00 (0.02)	2.08 (0.03)	2.17 (0.03)	2.20 (0.03)	2.21 (0.04)	2.24 (0.03)	2.81 (0.05)	3.64 (0.01)	3.99 (0.01)
I-8	0.63 (0.03)	2.55 (0.03)	3.27 (0.01)	3.45 (0.01)	3.65 (0.01)	3.68 (0.02)	3.75 (0.01)	3.80 (0.01)	3.85 (0.02)	4.12 (0.03)	4.55 (0.02)	4.88 (0.01)	4.97 (0.02)
I-9	0.21 (0.02)	0.65 (0.02)	0.91 (0.02)	1.20 (0.02)	1.25 (0.02)	1.29 (0.03)	1.65 (0.02)	1.74 (0.02)	1.76 (0.03)	1.91 (0.02)	1.98 (0.03)	2.23 (0.02)	2.54 (0.03)
I-10	0.63 (0.04)	0.66 (0.04)	1.21 (0.02)	1.32 (0.02)	1.39 (0.01)	1.45 (0.01)	1.47 (0.02)	1.72 (0.01)	1.92 (0.02)	2.30 (0.02)	2.47 (0.02)	2.95 (0.03)	3.70 (0.02)

* ortalama değer, **standart sapma, Ü.K: üretim kodu *** her gruptan 5 deney numunesi test edilmiştir.

EK 3. Deney numune gruplarının su alma oranlarına ait ortalama e standart sapma değerler (II.Grup).

Ü. K. ***	Saat												
	2	6	24	48	72	96	120	144	168	336	504	1224	1944
II-1	0,15 (0,03)	0,88 (0,02)	2,46 (0,03)	2,74 (0,02)	2,78 (0,04)	2,78 (0,04)	2,93 (0,05)	3,03 (0,05)	3,11 (0,06)	3,14 (0,05)	3,17 (0,04)	3,19 (0,02)	3,22 (0,09)
II-2	0,15 (0,05)	1,88 (0,06)	1,98 (0,05)	2,12 (0,02)	2,44 (0,07)	2,73 (0,04)	3,03 (0,07)	3,16 (0,05)	3,23 (0,07)	3,71 (0,09)	3,80 (0,06)	3,99 (0,04)	4,06 (0,02)
II-3	0,17 (0,06)	1,62 (0,06)	2,05 (0,07)	2,14 (0,02)	2,23 (0,05)	2,30 (0,05)	2,33 (0,07)	2,35 (0,05)	2,39 (0,06)	2,42 (0,02)	2,46 (0,04)	2,76 (0,08)	2,96 (0,05)
II-4	0,17 (0,06)	1,81 (0,06)	2,51 (0,06)	4,35 (0,02)	4,60 (0,06)	4,72 (0,05)	4,76 (0,07)	4,87 (0,07)	4,89 (0,04)	5,13 (0,04)	5,22 (0,02)	5,40 (0,05)	5,58 (0,08)
II-5	0,22 (0,07)	2,20 (0,03)	2,25 (0,07)	2,31 (0,03)	2,35 (0,05)	2,44 (0,05)	2,47 (0,07)	2,52 (0,05)	2,62 (0,07)	2,82 (0,04)	2,84 (0,09)	2,89 (0,03)	3,46 (0,05)
II-6	0,23 (0,05)	2,06 (0,02)	2,45 (0,04)	2,56 (0,05)	2,57 (0,03)	2,69 (0,09)	2,72 (0,07)	2,73 (0,05)	2,76 (0,05)	2,82 (0,08)	2,94 (0,05)	3,50 (0,04)	3,80 (0,03)
II-7	0,32 (0,08)	2,19 (0,07)	2,34 (0,09)	2,39 (0,03)	2,77 (0,04)	2,80 (0,04)	2,86 (0,05)	2,92 (0,04)	2,92 (0,07)	3,44 (0,09)	3,45 (0,06)	3,84 (0,03)	3,85 (0,04)
II-8	0,42 (0,04)	2,55 (0,05)	2,97 (0,04)	3,07 (0,03)	3,03 (0,02)	3,12 (0,04)	3,43 (0,06)	3,46 (0,02)	3,74 (0,07)	3,79 (0,07)	3,94 (0,09)	4,23 (0,04)	5,58 (0,02)
II-9	0,47 (0,03)	2,74 (0,02)	3,11 (0,02)	3,20 (0,02)	3,29 (0,05)	3,39 (0,04)	3,43 (0,08)	3,55 (0,03)	3,66 (0,09)	3,77 (0,05)	3,84 (0,08)	4,42 (0,03)	6,05 (0,02)
II-10	0,14 (0,11)	2,26 (0,09)	2,31 (0,11)	2,64 (0,11)	2,67 (0,11)	2,68 (0,11)	2,73 (0,11)	2,94 (0,11)	3,07 (0,11)	3,16 (0,12)	3,75 (0,02)	4,04 (0,08)	4,31 (0,08)
II-11	0,16 (0,06)	2,30 (0,06)	2,31 (0,07)	2,33 (0,07)	2,39 (0,07)	2,54 (0,06)	2,62 (0,07)	2,63 (0,06)	3,02 (0,06)	3,06 (0,07)	3,24 (0,06)	4,63 (0,05)	4,84 (0,06)
II-12	0,17 (0,03)	2,20 (0,02)	2,22 (0,04)	2,30 (0,04)	2,33 (0,04)	2,38 (0,04)	2,53 (0,04)	2,54 (0,04)	2,61 (0,04)	3,06 (0,04)	3,14 (0,03)	3,20 (0,04)	3,71 (0,02)
II-13	0,18 (0,02)	2,02 (0,03)	2,11 (0,02)	2,18 (0,02)	2,27 (0,03)	2,56 (0,03)	2,57 (0,03)	2,61 (0,03)	2,79 (0,04)	2,83 (0,03)	2,87 (0,04)	3,34 (0,02)	3,79 (0,03)
II-14	0,23 (0,09)	1,21 (0,07)	1,22 (0,10)	1,27 (0,10)	1,87 (0,07)	1,89 (0,07)	1,92 (0,11)	2,08 (0,07)	2,38 (0,11)	2,52 (0,10)	3,03 (0,10)	3,16 (0,11)	3,35 (0,07)
II-15	0,25 (0,04)	1,79 (0,02)	2,21 (0,03)	2,34 (0,04)	2,16 (0,04)	2,31 (0,03)	2,50 (0,04)	2,42 (0,04)	1,92 (0,04)	2,22 (0,03)	2,34 (0,04)	2,47 (0,04)	3,17 (0,04)
II-16	0,31 (0,06)	2,03 (0,06)	2,25 (0,06)	2,60 (0,06)	2,68 (0,06)	2,73 (0,06)	2,80 (0,06)	2,87 (0,04)	3,07 (0,06)	3,40 (0,06)	3,48 (0,06)	3,61 (0,06)	3,63 (0,06)
II-17	0,44 (0,05)	2,19 (0,04)	2,21 (0,05)	2,29 (0,04)	2,31 (0,04)	2,41 (0,04)	2,62 (0,04)	2,67 (0,04)	2,70 (0,04)	2,99 (0,05)	3,04 (0,04)	3,30 (0,05)	3,40 (0,06)
II-18	0,46 (0,05)	1,62 (0,05)	2,24 (0,04)	2,44 (0,04)	2,46 (0,01)	2,51 (0,03)	3,20 (0,05)	3,25 (0,01)	3,32 (0,04)	3,82 (0,04)	4,09 (0,04)	4,10 (0,04)	5,41 (0,03)

EO: enjeksiyondan önce sentetik dolgu maddesi kullanımı, ES: enjeksiyon sırasında sentetik dolgu maddesi kullanımı, * ortalama değer, **standart sapma, Ü.K: üretim kodu
*** her gruptan 5 adet deney numunesi test edilmiştir.

EK 4. Deney numune gruplarının kalınlıkça artma oranlarına ait ortalama e standart sapma değerleri (II.Grup).

Ü.K. ***	Saat												
	2	6	24	48	72	96	120	144	168	336	504	1224	1944
II-1	0.15 (0.02)	0.52 (0.02)	0.68 (0.02)	0.74 (0.04)	0.79 (0.04)	0.99 (0.04)	0.97 (0.02)	0.80 (0.03)	1.64 (0.02)	1.77 (0.02)	2.52 (0.02)	2.73 (0.02)	2.81 (0.02)
II-2	0.15 (0.01)	0.80 (0.01)	0.87 (0.02)	0.91 (0.03)	0.97 (0.03)	0.92 (0.03)	1.16 (0.04)	1.48 (0.06)	1.53 (0.03)	1.61 (0.01)	1.69 (0.04)	2.31 (0.02)	2.48 (0.01)
II-3	0.15 (0.02)	0.32 (0.02)	0.39 (0.02)	0.40 (0.01)	0.41 (0.01)	0.45 (0.01)	0.55 (0.03)	0.90 (0.03)	0.94 (0.02)	0.97 (0.02)	1.35 (0.02)	1.83 (0.02)	1.86 (0.02)
II-4	0.16 (0.03)	0.80 (0.04)	0.83 (0.03)	0.90 (0.04)	1.11 (0.04)	1.21 (0.04)	1.24 (0.04)	1.25 (0.04)	1.46 (0.04)	1.48 (0.03)	1.51 (0.01)	1.54 (0.03)	2.05 (0.02)
II-5	0.23 (0.03)	0.54 (0.03)	0.56 (0.02)	0.75 (0.02)	0.89 (0.01)	0.95 (0.02)	1.21 (0.02)	1.23 (0.01)	1.26 (0.04)	1.30 (0.02)	1.84 (0.03)	2.06 (0.01)	2.34 (0.02)
II-6	0.25 (0.02)	0.42 (0.02)	0.61 (0.02)	0.65 (0.03)	0.68 (0.03)	0.89 (0.02)	1.11 (0.04)	1.21 (0.01)	1.24 (0.02)	1.35 (0.01)	1.85 (0.03)	2.03 (0.02)	2.25 (0.01)
II-7	0.33 (0.03)	0.67 (0.04)	0.77 (0.05)	0.85 (0.04)	0.91 (0.04)	0.94 (0.04)	1.20 (0.03)	1.59 (0.03)	2.11 (0.02)	2.28 (0.05)	2.61 (0.04)	2.61 (0.04)	3.00 (0.03)
II-8	0.42 (0.04)	0.46 (0.04)	0.62 (0.03)	0.68 (0.03)	0.76 (0.03)	0.87 (0.03)	0.90 (0.03)	1.03 (0.02)	1.11 (0.02)	1.40 (0.04)	1.52 (0.03)	1.96 (0.01)	2.25 (0.01)
II-9	0.47 (0.03)	1.03 (0.02)	1.04 (0.02)	1.07 (0.03)	1.13 (0.02)	1.21 (0.02)	1.57 (0.03)	1.64 (0.01)	1.68 (0.02)	1.73 (0.01)	2.17 (0.02)	2.93 (0.02)	3.09 (0.04)
II-10	0.15 (0.03)	0.27 (0.03)	0.45 (0.02)	0.84 (0.03)	0.95 (0.02)	1.08 (0.02)	1.14 (0.03)	1.28 (0.01)	1.29 (0.02)	1.38 (0.01)	1.47 (0.02)	1.54 (0.02)	2.08 (0.04)
II-11	0.15 (0.01)	0.53 (0.05)	0.73 (0.05)	0.87 (0.05)	1.08 (0.06)	1.15 (0.05)	1.30 (0.02)	1.38 (0.05)	1.39 (0.01)	1.59 (0.03)	1.85 (0.05)	1.89 (0.04)	2.00 (0.01)
II-12	0.17 (0.01)	0.24 (0.03)	0.42 (0.03)	0.73 (0.03)	0.77 (0.03)	0.86 (0.02)	1.04 (0.02)	1.31 (0.02)	1.35 (0.02)	1.48 (0.01)	1.74 (0.03)	2.19 (0.03)	2.51 (0.02)
II-13	0.17 (0.03)	0.43 (0.02)	0.69 (0.02)	0.78 (0.03)	0.83 (0.02)	0.95 (0.03)	1.03 (0.03)	1.45 (0.03)	1.57 (0.03)	1.84 (0.02)	1.93 (0.02)	2.03 (0.03)	2.48 (0.03)
II-14	0.23 (0.06)	0.56 (0.06)	0.72 (0.04)	0.86 (0.05)	1.97 (0.05)	1.11 (0.05)	1.29 (0.05)	1.36 (0.08)	1.47 (0.03)	1.62 (0.04)	1.67 (0.04)	1.77 (0.05)	2.97 (0.01)
II-15	0.25 (0.02)	0.39 (0.04)	0.47 (0.04)	0.51 (0.02)	0.63 (0.02)	0.78 (0.02)	0.82 (0.02)	0.83 (0.03)	0.99 (0.04)	1.20 (0.03)	1.40 (0.03)	1.41 (0.04)	2.04 (0.02)
II-16	0.33 (0.01)	0.52 (0.02)	0.63 (0.02)	0.83 (0.04)	0.95 (0.04)	1.07 (0.04)	1.09 (0.04)	1.32 (0.04)	1.52 (0.04)	1.63 (0.02)	1.93 (0.03)	1.99 (0.04)	2.12 (0.01)
II-17	0.44 (0.01)	0.70 (0.02)	0.88 (0.01)	1.06 (0.02)	1.10 (0.03)	1.14 (0.04)	1.24 (0.03)	1.49 (0.04)	1.60 (0.02)	1.66 (0.03)	2.47 (0.01)	2.55 (0.01)	2.83 (0.04)
II-18	0.46 (0.03)	0.69 (0.03)	0.77 (0.01)	0.93 (0.03)	1.14 (0.03)	1.31 (0.02)	1.58 (0.03)	1.68 (0.02)	1.79 (0.02)	1.91 (0.01)	2.15 (0.01)	3.14 (0.03)	3.34 (0.04)

EÖ: enjeksiyondan önce sentetik dolgu maddesi kullanımı, ES: enjeksiyon sırasında sentetik dolgu maddesi kullanımı, * ortalama değer, **standart sapma, Ü.K: üretim kodu
*** her gruptan 5 adet deney numunesi test edilmiştir.

EK 5. MOS ve LDM türü e oranının deney numunelerinin su alma oranlarına ait istatistiksel değerleri (III.Grup).

Ü.K ***	Saat												
	2	6	24	48	72	96	120	144	168	336	504	1224	1944
III-1	0.09* (0.06) **	0,19 (0.05)	0.42 (0.05)	0.52 (0.06)	0.61 (0.06)	0.78 (0.06)	0.85 (0.06)	0,98 (0.06)	1,00 (0.05)	1.01 (0.06)	1,02 (0.06)	1.14 (0.01)	1,67 (0.05)
III-2	0.16 (0.04)	0,71 (0.03)	0.26 (0.04)	0,27 (0.04)	0,29 (0.03)	0,52 (0.03)	0,61 (0.03)	0,61 (0.04)	0,62 (0.04)	0,83 (0.03)	0,88 (0.03)	1,02 (0.03)	1.14 (0.04)
III-3	0.12 (0.06)	0,56 (0.07)	0,98 (0.06)	1,38 (0.06)	1,78 (0.06)	1,98 (0.06)	2,16 (0.06)	2,18 (0.06)	2,21 (0.06)	2,32 (0.06)	2,38 (0.07)	2,50 (0.04)	2,52 (0.07)
III-4	0.10 (0.03)	0,25 (0.03)	0,72 (0.03)	1,07 (0.03)	1,30 (0.02)	1,68 (0.02)	1,71 (0.02)	1,76 (0.03)	1,84 (0.02)	1,87 (0.03)	1,92 (0.03)	2,07 (0.04)	2,09 (0.03)
III-5	0.25 (0.03)	0,36 (0.02)	1,01 (0.03)	1,45 (0.03)	1,82 (0.03)	2,09 (0.03)	2,16 (0.03)	2,25 (0.03)	2,39 (0.03)	2,65 (0.03)	2,61 (0.04)	2,67 (0.02)	2,85 (0.02)

* ortalama değer, **standart sapma, Ü.K: üretim kodu *** her gruptan 5 deney numunesi test edilmiştir.

EK 6. MOS e LDM türü e oranının deney numunelerinin kalınlıkça artış oranlarına ait istatistiksel değerleri (III.Grup).

Ü. K ***	Saat												
	2	6	24	48	72	96	120	144	168	336	504	1224	1944
III-1	0.10 (0.03)	0,41 (0.03)	0.69 (0.02)	0.90 (0.03)	0.93 (0.03)	0.99 (0.01)	0.99 (0.03)	1.08 (0.03)	1.18 (0.05)	1.25 (0.05)	1.32 (0.03)	1.48 (0.03)	1.53 (0.01)
III-2	0.10 (0.02)	0,39 (0.02)	0.41 (0.03)	0.53 (0.05)	0.69 (0.04)	0.76 (0.02)	0.72 (0.01)	0.75 (0.03)	1.02 (0.01)	1.19 (0.02)	1.67 (0.03)	1.70 (0.04)	1.82 (0.01)
III-3	0.14 (0.03)	0,79 (0.03)	0.79 (0.03)	0.82 (0.04)	0.89 (0.04)	1.09 (0.04)	1.13 (0.04)	1.16 (0.03)	1.49 (0.04)	1.54 (0.03)	1.81 (0.02)	1.93 (0.03)	2.20 (0.02)
III-4	0.18 (0.01)	0,53 (0.01)	0.70 (0.02)	1.09 (0.02)	1.26 (0.03)	1.27 (0.03)	1.43 (0.03)	1.43 (0.03)	1.55 (0.04)	1.66 (0.02)	1.81 (0.01)	1.95 (0.01)	2.05 (0.02)
III-5	0.25 (0.03)	0,67 (0.04)	0.98 (0.03)	1.06 (0.04)	1.11 (0.03)	1.20 (0.03)	1.23 (0.03)	1.35 (0.02)	1.37 (0.04)	1.40 (0.04)	1.79 (0.02)	2.06 (0.03)	2.22 (0.01)

* ortalama değer, **standart sapma, Ü.K: üretim kodu *** her gruptan 5 deney numunesi test edilmiştir.

EK 7. Farklı parçacık büyüklüğü ve oranlarda (nm ve μm) TiO_2 katılımı ile üretilen deney numunelerinin su alma oranlarına ait ortalama ve standart sapma değerleri (IV.Grup).

Ü.K.	Saat												
	2	6	24	48	72	96	120	144	168	336	504	1224	1944
IV-1	0,52 (0,09)	0,72 (0,09)	1,07 (0,09)	1,10 (0,10)	1,30 (0,10)	1,52 (0,10)	1,57 (0,10)	1,65 (0,10)	1,76 (0,10)	2,03 (0,09)	2,47 (0,09)	3,09 (0,09)	3,10 (0,09)
IV-2	0,09 (0,06)	0,17 (0,06)	0,19 (0,06)	0,38 (0,06)	0,55 (0,06)	0,61 (0,06)	0,82 (0,06)	0,88 (0,05)	0,86 (0,06)	0,93 (0,05)	1,01 (0,06)	1,14 (0,06)	1,54 (0,06)
IV-3	0,58 (0,06)	0,63 (0,06)	0,83 (0,05)	0,87 (0,06)	1,05 (0,07)	1,19 (0,06)	1,23 (0,06)	1,27 (0,06)	1,38 (0,07)	1,45 (0,07)	1,57 (0,08)	2,09 (0,06)	2,48 (0,06)
IV-4	0,15 (0,04)	0,26 (0,04)	0,39 (0,04)	0,44 (0,03)	0,57 (0,04)	0,87 (0,04)	1,06 (0,03)	1,25 (0,03)	1,36 (0,04)	1,68 (0,03)	1,70 (0,01)	1,73 (0,04)	1,82 (0,04)
IV-5	0,60 (0,06)	0,61 (0,06)	0,77 (0,06)	1,08 (0,06)	1,14 (0,06)	1,26 (0,05)	1,40 (0,06)	1,46 (0,05)	1,48 (0,06)	2,18 (0,06)	2,43 (0,06)	2,60 (0,06)	2,71 (0,04)
IV-6	0,09 (0,12)	0,12 (0,12)	0,22 (0,12)	0,34 (0,12)	0,42 (0,13)	0,46 (0,12)	0,51 (0,12)	0,55 (0,12)	0,70 (0,12)	0,80 (0,11)	0,86 (0,11)	0,95 (0,12)	1,19 (0,12)
IV-7	0,58 (0,10)	0,61 (0,10)	0,77 (0,10)	0,91 (0,10)	0,93 (0,10)	1,02 (0,10)	1,31 (0,10)	1,50 (0,10)	1,60 (0,10)	1,66 (0,10)	1,68 (0,10)	2,39 (0,10)	2,60 (0,10)
IV-8	0,13 (0,12)	0,14 (0,12)	0,21 (0,12)	0,31 (0,12)	0,42 (0,11)	0,45 (0,11)	0,46 (0,12)	0,63 (0,12)	0,72 (0,12)	0,73 (0,12)	0,80 (0,13)	0,87 (0,11)	0,99 (0,11)
IV-9	0,60 (0,05)	0,72 (0,05)	0,75 (0,05)	0,87 (0,05)	0,92 (0,05)	0,98 (0,05)	1,02 (0,05)	1,23 (0,05)	1,27 (0,05)	1,40 (0,05)	1,64 (0,05)	2,24 (0,03)	2,36 (0,05)
IV-10	0,08 (0,13)	0,23 (0,13)	0,38 (0,13)	0,41 (0,13)	0,58 (0,13)	0,61 (0,14)	0,63 (0,13)	0,65 (0,13)	0,78 (0,13)	0,82 (0,13)	0,88 (0,15)	0,95 (0,12)	0,96 (0,13)
IV-11	0,42 (0,04)	0,46 (0,03)	0,75 (0,04)	0,76 (0,03)	0,78 (0,03)	0,80 (0,03)	0,83 (0,04)	0,88 (0,03)	0,94 (0,03)	1,24 (0,04)	1,55 (0,04)	2,31 (0,06)	2,59 (0,03)
IV-12	0,09 (0,08)	0,12 (0,08)	0,14 (0,08)	0,21 (0,08)	0,32 (0,08)	0,39 (0,08)	0,67 (0,08)	0,82 (0,08)	0,88 (0,08)	0,91 (0,08)	0,91 (0,06)	0,93 (0,07)	1,10 (0,08)
IV-13	0,10 (0,10)	0,26 (0,12)	0,33 (0,09)	0,49 (0,09)	0,50 (0,09)	0,86 (0,09)	0,93 (0,09)	0,94 (0,09)	0,97 (0,09)	0,99 (0,09)	1,04 (0,08)	1,46 (0,09)	1,77 (0,09)
IV-14	0,71 (0,10)	0,75 (0,17)	0,95 (0,14)	0,98 (0,09)	0,99 (0,17)	1,13 (0,17)	1,16 (0,17)	1,57 (0,17)	1,96 (0,15)	1,98 (0,15)	1,99 (0,17)	2,10 (0,11)	2,13 (0,13)

*ortalama değer, **standart sapma, Ü.K: üretim kodu *** her gruptan 5 adet deney numunesi test edilmiştir.

EK 8. Farklı parçacık büyüklüğü ve oranlarda (nm ve μm) TiO_2 katılımının Deney numunelerinin suda bekletme sonucu kalınlığına artış oranı özelliklerine etkileri (IV.Grup).

Ü.K. ***	Saat												
	2	6	24	48	72	96	120	144	168	336	504	1224	1944
IV-1	0,62 (0,02)	1,15 (0,03)	1,24 (0,02)	1,46 (0,01)	1,50 (0,03)	1,52 (0,03)	1,61 (0,03)	1,61 (0,01)	1,65 (0,02)	1,84 (0,01)	1,89 (0,01)	2,02 (0,01)	2,35 (0,03)
IV-2	0,16 (0,04)	0,52 (0,03)	0,91 (0,01)	1,02 (0,03)	1,04 (0,03)	1,12 (0,04)	1,23 (0,03)	1,31 (0,05)	1,48 (0,06)	1,52 (0,06)	1,61 (0,03)	1,67 (0,05)	1,74 (0,01)
IV-3	0,65 (0,01)	0,68 (0,01)	1,20 (0,01)	1,25 (0,01)	1,35 (0,01)	1,44 (0,01)	1,45 (0,02)	1,57 (0,01)	1,91 (0,03)	2,27 (0,01)	2,28 (0,01)	2,32 (0,01)	2,32 (0,02)
IV-4	0,10 (0,03)	0,23 (0,05)	0,36 (0,04)	0,48 (0,02)	0,57 (0,02)	0,63 (0,03)	0,73 (0,03)	1,22 (0,03)	1,34 (0,06)	1,38 (0,04)	1,49 (0,03)	1,57 (0,04)	1,61 (0,03)
IV-5	0,62 (0,03)	1,31 (0,00)	1,51 (0,01)	1,76 (0,00)	1,78 (0,00)	1,87 (0,00)	1,96 (0,01)	1,96 (0,00)	2,17 (0,01)	2,28 (0,01)	2,30 (0,01)	2,34 (0,01)	2,35 (0,01)
IV-6	0,12 (0,02)	0,41 (0,02)	0,46 (0,03)	0,52 (0,02)	0,62 (0,02)	0,68 (0,05)	1,27 (0,02)	1,35 (0,02)	1,38 (0,01)	1,39 (0,03)	1,46 (0,01)	1,50 (0,03)	1,54 (0,03)
IV-7	0,64 (0,01)	0,76 (0,01)	1,11 (0,02)	1,19 (0,01)	1,30 (0,02)	1,34 (0,02)	1,44 (0,01)	1,51 (0,01)	1,87 (0,02)	2,06 (0,01)	2,16 (0,01)	2,23 (0,01)	2,26 (0,01)
IV-8	0,12 (0,03)	0,70 (0,04)	0,80 (0,02)	0,90 (0,04)	0,99 (0,04)	1,22 (0,04)	1,31 (0,04)	1,35 (0,04)	1,36 (0,04)	1,42 (0,05)	1,47 (0,02)	1,47 (0,06)	1,57 (0,05)
IV-9	0,64 (0,01)	0,84 (0,02)	0,91 (0,01)	1,01 (0,01)	1,12 (0,02)	1,23 (0,02)	1,31 (0,01)	1,43 (0,02)	1,45 (0,01)	1,47 (0,03)	1,79 (0,01)	1,90 (0,02)	1,97 (0,02)
IV-10	0,11 (0,04)	0,22 (0,03)	0,60 (0,03)	1,00 (0,04)	1,20 (0,03)	1,24 (0,02)	1,28 (0,03)	1,33 (0,01)	1,35 (0,03)	1,40 (0,02)	1,49 (0,05)	1,58 (0,03)	1,61 (0,03)
IV-11	0,66 (0,01)	0,78 (0,02)	0,82 (0,01)	0,94 (0,01)	1,06 (0,01)	1,08 (0,02)	1,12 (0,01)	1,22 (0,01)	1,58 (0,01)	1,73 (0,01)	1,82 (0,01)	1,84 (0,01)	1,98 (0,03)
IV-12	0,12 (0,03)	0,45 (0,05)	0,61 (0,05)	0,85 (0,05)	0,93 (0,09)	0,96 (0,02)	1,06 (0,08)	1,23 (0,03)	1,23 (0,05)	1,28 (0,06)	1,27 (0,04)	1,38 (0,05)	1,43 (0,02)
IV-13	0,12 (0,07)	0,58 (0,03)	0,71 (0,02)	0,98 (0,02)	1,00 (0,03)	1,16 (0,09)	1,25 (0,01)	1,27 (0,02)	1,33 (0,01)	1,36 (0,03)	1,40 (0,04)	1,45 (0,03)	1,51 (0,02)
IV-14	0,67 (0,01)	0,95 (0,03)	1,35 (0,03)	1,37 (0,04)	1,37 (0,04)	1,45 (0,01)	1,48 (0,04)	1,53 (0,09)	1,69 (0,09)	1,87 (0,03)	1,93 (0,03)	2,15 (0,02)	2,24 (0,01)

*ortalama değer, **standart sapma, Ü.K: üretim kodu *** her gruptan 5 adet deney numunesi test edilmiştir.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Adı, soyadı: Vedat Çavuş
Uyruğu: T.C.
Doğum tarihi ve yeri: 04.01.1969 Kars
Medeni hali: Evli
Telefon: 0 (505) 567 83 44
e-posta: vedatcavus@hotmail.com

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Doktora:	KSU / Orman Endüstri Mühendisliği	-----
II. Yüksek Lisans:	KSÜ. F.B.E., Orman Endüstri Mühendisliği	2008.
I. Yüksek Lisans:	DEÜ. E.B.E., Eğitim Yönetimi Ve Denetimi	2004.
Lisans:	GÜ. T.E.Fi, Mobilya ve Dekorasyon Eğitimi	1995.
Lise:	G.A.M.P. End. Meslek. Lisesi. Mobilya ve Dekorasyon	1986.

İş Denevimi

Yıl	Yer	Görev
1995–2016	MEB	Öğretmen

Yabancı Dil

İngilizce, İtalyanca.

Yayınlar

- **Çavuş, V.** 2006. “Mobilya endüstrisinde kullanılan birleştirmeler.” *Mobilya Dekorasyon Dergisi* 59:(2), 110–116s.
- **Çavuş, V.** 2007. “Laminat teknolojisi.” *Laminart Dergisi* (39), 36–40s.
- **Çavuş, V.** 2007. “Laminat ve Lamine Yer Döşemesi.” *Pazarlama Dünyası Dergisi*, 21:(2), 26–34s.
- Kurt, R. **Çavuş, V.** 2011. “Manufacturing Of Parallel Strand Lumber (PSL) From Rotary Peeled Hybrid Poplar I–214 Veneers With Phenol Formaldehyde And Urea Formaldehyde Adhesives.” *Wood Research* Vol.56 No.1 137–145s.
- Kurt, R., Çil, M., Aslan, K., **Çavuş, V.**, 2011. “Effect of Pressure Duration on Physical, Mechanical and Combustibility Characteristics of Laminated Veneer Lumber (LVL) Made With Hybrid Poplar Clones.” 2011, *Bioresources*, 6/4: 4886-4894s.

- Kurt, R., Aslan, K., Cil, M., **Çavuş, V.**, 2012. “Properties of Parallel Strand Lumber From Two Hybrid Poplar Clones Using Melamine Formaldehyde Adhesive.” *Bioresources*, 7/3:3711-3719s.
- Kurt, R., Aslan, K., **Çavuş, V.** 2013. “Influence of Press Pressure on the Properties of Parallel Strand Lumber Glued with Urea Formaldehyde Adhesive.” *Bioresources*, 8/3:4029-4037s.
- Kurt, R., **Çavuş, V.**, Aslan, K., Çil, M. 2012. “Farklı Dolgu Maddelerinin Tabakalanmış Kaplama Kerestelerin (LVL) Bazı Mekanik ve Yanma Özellikleri Üzerine Etkileri.” *KSÜ Mühendislik Bil. Der.*, Özel Sayı, 45-49s.
- Çetin, N.S., Özmen, N., Narlıoğlu, N., **Çavuş, V.**, 2014. “Effect of bark flour on the mechanical properties of HDPE composites.” 2014, *Usak University Journal of Material Sciences*, Sayı 1: 23–32s.
- Özmen, N., Çetin, N.S., Narlıoğlu, N., **Çavuş, V.**, Altuntaş, E., 2014. “MDF atıklarının odun plastik kompozitlerin üretiminde değerlendirilmesi.” *SDÜ Orman Fakültesi Dergisi*. 15: 65-71s.
- **Çavuş, V.**, Mengeloğlu, F. 2016. Utilization of synthetic based mineral filler in wood plastics composite, *Journal of Achievements in Materials and Manufacturing*. 77(2):57-63s.
- **Çavuş, V.**, Mengeloğlu, F. 2017. The Effect Of Lignocellulosic Filler Types And Concentrations On The Mechanical Properties Of Wood Plastic Composites Produced With Polypropylene Having Various Melt Flowing Index (MFI) Pamukkale Univ Muh Bilim Derg. Baskıda

Ulusal ve Uluslararası konferans/sempozyumların bildiri kitaplarında yer alan yayınlar

- Kurt, R., “Okalıptüs Odununun Kullanımında Yeni Alanlar.” 1.Ulusal Okalıptüs Sempozyumu 15–17 Nisan 2008, Tarsus 84–87s.
- Kurt, R., **Çavuş, V.**, Meriç, H., 2010. “Keresteye Alternatif Bazı Mühendislik Ürünü Ağaç Malzemeler; Paralel şerit Kereste, Tabakalanmış şerit Kereste ve Ahşap I-Kiriş.” III Ulusal Karadeniz Ormancılık Kongresi. 20–22 Mayıs 2010 Cilt: V. 1772–1781s.
- Kurt, R., **Çavuş, V.**, Aslan, K., Çil, M. 2012. “Farklı Dolgu Maddelerinin Tabakalanmış Kaplama Kerestelerin (LVL) Bazı Mekanik ve Yanma Özellikleri Üzerine Etkileri.” I. Ulusal Akdeniz Orman ve Çevre Sempozyumu 26–28 Ekim 2011, Kahramanmaraş Bildiriler kitabı 395- 400s.
- **Çavuş, V.**, Kurt, R., Çil, M., Aslan, K. 2013. “Mobilya ve İçmekan Tasarımında Ağaç Esaslı Malzemelere Yeni Bir Yaklaşım: Mühendislik Ürünü Ağaç Malzemeler.” 3. Ulusal İç Mimarlık Sempozyumu, 0–12 Ekim 2012 Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi (MSGSÜ), İç Mimarlık Bölümü İstanbul. 210–220s.
- **Çavuş, V.**, Dizmen, E., Kurt, R., Karademir, A., Ertaş, M. 2013. “Orman Endüstride Suyun Kullanım Alanları.” 3. Uluslararası Bursa Su Kongresi Ve Sergisi. Bursa cilt: 2. Bildiriler kitabı 1003–1010s.
- **Çavuş, V.**, Kurt, R., Tomak, E.D., Karademir, A., Ertaş, M., 2013. “Mobilya sektörünün Bursa ekonomisindeki yeri ve önemi.” 7-8 Haziran, Bursa 4. Kent Sempozyumu, Bursa. Bildiriler kitabı 53–59s.

- Çetin, N.S., Özmen, N., Narlıoğlu, N., Çavuş, V. 2013. “Ağaç Kabuğunun YYPE Kompozitlerin Mekanik Özellikleri Üzerine Etkileri.” II. Ulusal Ege Kompozit Malzemeler Sempozyumu, 2013. Bildiriler kitabı 453-461s.
- Çetin, N.S., Özmen, N., Narlıoğlu, N., Çavuş, V. 2014. “Odun Plastik Kompozit Üretiminde Odun Unu Yerine Meşe Kabuğu Ununun Değerlendirilmesi.” 3. Uluslararası Odun Dışı Orman Ürünleri Sempozyumu, 8-10 mayıs 2014. Kahramanmaraş. Bildiriler kitabı 453–461s
- Kurt, R., Çavuş, V., Ercan, M., 2014. “Kavağın Mühendislik Ürünü Ağaç Malzemelerde Kullanımı” Türkiye Milli Kavak Koordinatörlüğü VIII. Genel kurul toplantısı 13-14 Kasım 2014. Orman Genel Müdürlüğü Yayınları. Yayın no: 272 seri no: 27. 17–25s.
- Çavuş, V., Mengeloğlu, F., 2016. “Effect of Lignocellulosic Filler Types and Concentrations on the Mechanical Properties of Polypropylene Based Composites with Various Melt Flow Index” Uluslararası Malzeme Sempozyumu 12-14 ekim 2016. Pamukkale Üniversitesi, Denizli. Bildiriler kitabı
- Çavuş, V., Mengeloğlu, F., 2016. “Utilization of Synthetic Based Mineral Filler in Wood Plastics Composite” Uluslararası Malzeme Sempozyumu 12-14 ekim 2016. Pamukkale Üniversitesi, Denizli. Bildiriler kitabı.

Proje Deneyimleri

- “I-214 (Populus X Euramericana) Melez Kavak Klonundan Fenol Formaldehit ve Üre Formaldehit Tutkalı Kullanılarak Üretilmiş Paralel şerit Kerestelerinin (PŞK) Bazı Fiziksel Ve Mekanik Özellikleri.” KSÜ. BAP. Proje no: 2007/3–17.
- “Tekstil Kimyasalı Modifikasyonunun Kavaktan Üretilen Paralel şerit Kerestelerin Bazı Fiziksel, Mekanik ve Biyolojik Özellikleri Üzerine Etkisi.” TÜBİTAK Cost Projesi. Proje no:113 O 257.
- “Farklı erime akış indeksine sahip polipropilen esaslı ahşap polimer kompozitlerin özelliklerinin belirlenmesi.” KSÜ. BAP. Proje no: 2015/3-63D.

Ödüller

- TUBİTAK Başkanlığı tarafından 2011 yılında verilen Yayın Teşvik Ödülü
- TUBİTAK Başkanlığı tarafından 2012 yılında verilen Yayın Teşvik Ödülü
- TUBİTAK Başkanlığı tarafından 2013 yılında verilen Yayın Teşvik Ödülü

Hobiler

Mühendislik bilimleri, kitap okuma.