



T.C.
KAHRAMANMARAŞ SÜTÇÜ İMAM ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ENJEKSİYON KALIPLAMA YÖNTEMİYLE
LİGNOSELÜLOZİK DOLGU MADDESİ KATKILI
POLİSTİREN ESASLI KOMPOZİTLERİN
ÜRETİLMESİ VE KÖPÜKLENDİRİLMESİ

BELGİN ŞEKER

YÜKSEK LİSANS TEZİ
ORMAN ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

KAHRAMANMARAŞ 2012

T.C.
KAHRAMANMARAŞ SÜTÇÜ İMAM ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ENJEKSİYON KALIPLAMA YÖNTEMİYLE
LİGNOSELÜLOZİK DOLGU MADDESİ KATKILI
POLİSTİREN ESASLI KOMPOZİTLERİN
ÜRETİLMESİ VE KÖPÜKLENDİRİLMESİ

BELGİN ŞEKER

Bu tez,
Orman Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalında
YÜKSEK LİSANS
Derecesi için hazırlanmıştır.

Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü öğrencisi **BELGİN ŞEKER** tarafından hazırlanan “**ENJEKSİYON KALIPLAMA YÖNTEMİYLE LİGNOSELÜLOZİK DOLGU MADDESİ KATKILI POLİSTİREN ESASLI KOMPOZİTLERİN ÜRETİLMESİ VE KÖPÜKLENDİRİLMESİ**” adlı bu tez, jürimiz tarafından 06 / 07 / 2012 tarihinde oy birliği / oy çokluğu ile Orman Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Doç. Dr. Fatih MENGELOĞLU (DANISMAN)

.....

Orman Endüstri Mühendisliği KSÜ

Prof. Dr. Mehmet TÜMER (ÜYE)

.....

Kimya Bölümü KSÜ

Prof. Dr. İbrahim BEKTAŞ (ÜYE)

.....

Orman Endüstri Mühendisliği KSÜ

Yukarıdaki imzaların adı geçen öğretim üyelerine ait olduğunu onaylarım.

Prof. Dr. M. Hakkı ALMA

.....

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.

Belgin Şeker

Bu çalışma Bilimsel araştırma projeleri yönetim birimi tarafından desteklenmiştir.
Proje No: 2012/2-4 YLS

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

ENJEKSİYON KALIPLAMA YÖNTEMİYLE LİGNOSELÜLOZİK DOLGU MADDESİ KATKILI POLİSTİREN ESASLI KOMPOZİTLERİN ÜRETİLMESİ VE KÖPÜKLENDİRİLMESİ

ÖZET

Bu çalışmada, lignoselülozik dolgu maddesi olarak odun unu, buğday sapı unu ve katkı maddesi olarak ise Polystyrene-*block*-poly(ethylene-*ran*-butylene)-*block*-polystyrene-*graft*-maleic anhydride (SEBS-MA) kullanılarak enjeksiyon kalıplama yöntemiyle polistiren esaslı kompozitler ve köpükleri üretilmiştir. Üretilen kompozitler üzerinde çekme direnci, çekmede elastikiyet modülü, kopmada uzama değeri, eğilme direnci, eğilmede elastikiyet modülü ve darbe direnci testleri gibi mekanik özellikleri belirleme çalışmaları yapılmıştır. Köpüklendirilmiş örnekler üzerinde ise yoğunluk ve bazı mekanik özelliklerin (eğilme direnci, eğilmede elastikiyet modülü ve darbe direnci) belirlenmesi ve taramalı elektron mikroskobu (SEM) yardımıyla morfoloji çalışmaları yapılmıştır.

Kompozitlerin mekanik özelliklerine bakıldığında dolgu maddesi ve katkı maddesi miktarlarının araştırılan tüm mekanik özellikleri istatistiksel olarak önemli düzeyde etkilediği tespit edilmiştir. Genel anlamda dolgu maddesi miktarındaki artışla çekme direnci, eğilme direnci ve kopmada uzama değerleri azalırken çekmede ve eğilmede elastikiyet modülü değerlerinin arttığı gözlemlenmiştir. Darbe direnci ise dolgu maddesi miktarında ki artıştan olumsuz olarak etkilenmemiştir. Katkı maddesi miktarının ise çekme direnci, çekmede elastikiyet modülü, eğilme direnci ve eğilmede elastikiyet modülü değerleri üzerinde istatistiksel olarak etkili olduğu ve bu değerleri azalttığı ve kopmada uzama değerini artırdığı tespit edilmiştir. Ancak katkı maddesi miktarındaki artışın darbe direnci değerleri üzerinde istatistiksel olarak önemli bir etkisinin olmadığı bulunmuştur. Kullanılan dolgu maddesi tipinin etkisine bakıldığında odun unu kullanılan örneklerde çekmede elastikiyet modülü ve eğilme direnci değerleri yüksek bulunurken buğday sapı unu kullanılarak üretilen örneklerin darbe direnci değerleri daha yüksek bulunmuştur. Kompozitlerin yoğunluk değerlerinin dolgu maddesi miktarının artması ile arttığı ve katkı maddesi miktarının artması ile azaldığı tespit edilmiştir. Kullanılan dolgu maddesi tipinin ise yoğunluk üzerinde istatistiksel olarak önemli düzeyde etkili olmadığı bulunmuştur.

Köpüklendirilmiş kompozitlerin yoğunluklarının dolgu maddesi tipine bakılmaksızın dolgu maddesi miktarındaki artışla arttığı ancak katkı maddesi miktarından

istatistiksel olarak önemli düzeyde etkilenmediği tespit edilmiştir. Köpüklendirilmiş örneklerin mekanik özellikleri incelendiğinde ise odun unu kullanılarak üretilmiş kompozitlerin eğilme direnci değerlerinin dolgu maddesi ve katkı maddesi miktarındaki artışla azaldığı tespit edilmiştir. Ancak yüksek dolgu maddesi kullanılan kompozitlerde katkı maddesi miktarının yüksek olmasının dolgu maddesinin olumsuz etkisini bir miktar azalttığı bulunmuştur. Buğday sapı unları kullanılarak üretilen kompozitlerde ise dolgu maddesi ve katkı maddesi miktarlarının eğilme direnci üzerinde istatistiksel olarak önemli bir etkisinin olmadığı tespit edilmiştir. Eğilmede elastikiyet modülü değerlerinin ise dolgu maddesi tipine bakılmaksızın dolgu maddesi miktarıyla arttığı tespit edilmiştir. Katkı maddesinin bir etkisinin olmadığı bulunmuştur. Darbe direnci değerlerinin ise odun unu kullanılarak yapılan kompozitlerde odun unu miktarı ile artış gösterdiği ve katkı maddesinden etkilenmediği tespit edilmiştir. Buğday sapı unu ile üretilen kompozitlerde ise dolgu maddesi miktarının etkisi olmazken katkı maddesinin bu değerleri azalttığı tespit edilmiştir. Oluşturulan kompozit köpükler üzerinde taramalı elektron mikroskobu (SEM) yardımıyla görüntüler alınmıştır. Örneklerin homojen bir şekilde köpüklendirilemediği ve köpük hücrelerin büyüklüklerinin geniş bir aralıkta olduğu gözlemlenmiştir. Bu durum mekanik özelliklerdeki farklılıkların bu yapıdan kaynaklanma olasılığını göstermektedir.

Bu tez kapsamında polistiren esaslı lignoselülozik dolgu maddesi içeren kompozitler ve köpükleri enjeksiyon kalıplama yöntemiyle üretilmiştir. Bu sayede enjeksiyon kalıplama yöntemiyle köpüklendirme konusunda bilgi üretilmiş ve tecrübe kazanılmıştır. Daha sonra bu konuda yapılacak çalışmalar için alt yapı oluşturulmuştur.

Anahtar Kelimeler; odun unu, buğday sapı unu, enjeksiyon kalıplama, köpük, odun-plastik kompozit.

THE MANUFACTURE OF LIGNOCELLULOSIC MATERIAL FILLED POLYSTYRENE BASED COMPOSITES AND THEIR FOAMS THROUGH INJECTION MOLDING

SUMMARY

In this study, lignocellulosic filler (wood flour or wheat straw flour) and polystyrene-block-poly(ethylene-ran-butylene)-block-polystyrene-graft-maleic anhydride (SEBS-MA) additive were used to manufacture polystyrene-based composites and foams through injection molding method. For regular composites, mechanical properties such as tensile strength, tensile modulus, elongation at break, flexural strength, flexural modulus and impact strength were determined. For foamed composites, densities and selected mechanical properties (flexural strength, flexural modulus and impact strength) were also evaluated and morphology was studied using scanning electron microscopy (SEM).

In the case of mechanical properties, filler loading and additive loading had a significant effect on all mechanical properties investigated. With the increase of filler loading tensile strength, flexural strength and elongation at break values were reduced while tensile and flexural modulus were increased. Filler loading did not have any significant effect on impact strength. In the case of additive loading, tensile strength, tensile modulus, flexural strength and flexural modulus values were reduced but elongation at break values were improved. Additive loading did not affect the impact strength significantly. When filler types were compared, composites produced with wood flour provided better tensile modulus and flexural strength while composites produced with wheat straw flour provided better impact strength values. In addition density of the composites were increased with filler loading but reduced with additive loading. There were no significant difference between the densities of wood flour and wheat straw flour filled composites.

Regardless of filler type, the density of foamed composites were increased by filler loading but not significantly affected by additive loadings. For wood flour filled foamed composites, flexural strength values were reduced with filler and additive loading. However, at high filler loading, this reduction was reduced by high additive loading. For wheat straw flour filled foamed composites, flexural strength values were not significantly affected by both filler and additive loadings. In the case of flexural modulus, regardless of

filler type, it is increased with the increase of filler loading. However, additive loading had no significant effect on flexural modulus. For wood flour filled foamed composites, impact strength values were improved with filler loading but not affected by additive loading. For wheat straw flour filled foamed composites, impact strength values were not significantly affected by filler loading. However, it is reduced by additive loadings. Scanning electron microscopy (SEM) of the produced composites were taken. From these pictures, it can be concluded that homogeneous foaming was not established and there are foams with great differences in size. It must be responsible for the variety in mechanical properties also.

In this thesis, lignocellulosic material (wood flour and wheat straw flour) filled polystyrene based composites and their foams were produced through injection molding method. The knowledge in this area was gained and background for future studies were established.

Key words; wood flour, wheat straw flour, injection molding, foam, wood-plastic composites.

TEŞEKKÜR

“Enjeksiyon kalıplama yöntemiyle lignoselülozik dolgu maddesi katkılı polistiren esaslı kompozitlerin üretilmesi ve köpüklendirilmesi” adı altında hazırlamış olduğum bu doktora tezimin çalışmalarında;

Tez jürimde bulunan ve hiçbir konuda yardımlarını benden esirgemeyen değerli hocalarım Prof. Dr. İbrahim BEKTAŞ, Prof. Dr. Mehmet TÜMER’ e çok teşekkür ediyorum.

İlgi ve desteğini esirgemeyen, tez çalışmamın hazırlanmasında büyük emekler sarf eden ve tezimin yönlendirilmesinde bilgi ve tecrübeleri ile her zaman yanımda olan Danışman Hocam Doç. Dr. Fatih MENGELOĞLU’ na sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Tezimle ilgili deney hazırlıklarında ve laboratuvar çalışmalarında yardımlarını benden esirgemeyen çok değerli arkadaşlarım Kadir KARAKUŞ ve İbrahim KILIÇ’ a çok teşekkür ederim.

Ayrıca bu çalışmamda her türlü maddi ve manevi yardımlarını benden esirgemeyen başta annem olmak üzere babama, kardeşlerime (Gülşah ŞEKER, Fatma ŞEKER, Nazife ŞEKER, Ülkü ŞEKER, Eray Kaan ŞEKER ve Koray Kaan ŞEKER) sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Belgin ŞEKER

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖZET	I
SUMMARY	III
TEŞEKKÜR	V
İÇİNDEKİLER	VI
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	VIII
ŞEKİLLER LİSTESİ	IX
ÇİZELGELER DİZİNİ	XII
1. GİRİŞ	1
1.1. Kızılçam	2
1.1.1. Kızılçam hakkında genel bilgiler ve yayılış alan	2
1.1.2. Kızılçamın Kimyasal Özellikleri	3
1.2. Buğday Hakkında Genel Bilgiler	4
1.3. Plastikler	6
1.3.1. Plastiklerin tarihçesi ve genel özellikleri	6
1.3.2. Termosetler	10
1.3.3. Termoplastikler	11
1.3.3.1. Polietilen (PE)	12
1.3.3.2. Polipropilen (PP)	14
1.3.3.3. Polistiren (PS)	15
1.3.3.4. Polivinil klorür (PVC)	18
1.3.4. Dünya genelinde plastik sektörünün durumu	19
1.3.5. Türkiye’ de plastik sektörünün genel durumu	20
1.4. Köpük Ajan Türleri	21
1.5. Enjeksiyon Kalıplama Makinesinde Üretim	22
1.5.1. Enjeksiyon yönteminin avantajları	25
1.5.2. Enjeksiyon yönteminin dezavantajları	26
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR	27
3. MATERYAL VE YÖNTEM	36
3.1. Materyal	36
3.1.1. Dolgu maddeleri	36
3.1.2. Kullanılan polimer	36
3.1.3. Katkı maddeleri	36

3.1.4. Kullanılan köpük ajanı.....	37
3.2. Yöntem	37
3.2.1. Hammadde hazırlanması	37
3.2.1.1. Dolgu maddelerinin hazırlanması.....	37
3.2.2. Kompozitlerin üretilmesi	39
3.2.2.1. Enjeksiyon-Kalıplama yöntemiyle üretim.....	41
3.2.3. Üretilen kompozitlerin özelliklerinin belirlenmesinde kullanılan testler	42
3.2.3.1. Özgül ağırlık belirleme testi	42
3.2.3.2. Su alma miktarı.....	43
3.2.3.3. Kalınlık artımı	43
3.2.3.4. Mekanik özellikleri belirleme testleri.....	44
3.2.3.5. Taramalı elektron mikroskobu (sem) analizi.....	48
3.2.4. Veri analizi	48
4. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	49
4.1. Enjeksiyon Kalıplama Yöntemiyle Üretilmiş Lignoselülozik Dolgu Maddesi Katkılı Polistiren Esaslı Kompozitler ve Özellikleri	49
4.1.1. Üretilen kompozitlerin yoğunlukları	50
4.1.2. Enjeksiyon kalıplama yöntemiyle üretilmiş kompozitlerin mekanik özellikleri	52
4.1.3. Odun unu ve buğday sapı unu katkılı kompozitlerin su alma özellikleri	66
4.2. Köpüklendirilmiş Odun unu ve Buğday Sapı Unu Katkılı Kompozitler ve Özellikleri	68
4.2.1. Köpüklendirilmiş odun unu ve buğday sapı unu katkılı kompozitlerin yoğunlukları.....	68
4.2.2. Köpüklendirilmiş odun unu ve buğday sapı unu katkılı kompozitlerin mekanik özellikleri	72
4.2.3. Köpüklendirilmiş odun unu ve buğday sapı unu katkılı kompozitlerin morfolojisi	79
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	80
KAYNAKLAR.....	82
ÖZGEÇMİŞ.....	90

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

OPK: Odun plastik kompozit

O: Odun unu ile yapılan kompozitlerin grup adı.

B: Buğday sapı unu ile yapılan kompozitlerin grup adı.

OU: Odun unu

PS: Polistiren

ÖA: Özgöl ağırlık

a: Örnek ağırlığı

b: Suyu batırıldıktan sonra örneğin ve batırma aparatının ağırlığı

w: Batırma aparatının ağırlığı

ED: Eğilme direnci

EM: Elastikiyet modülü

ÇD: Çekme direnci

MPa: Megapaskal

J/m: Joule/metre

N: Newton

ŞEKİLLER LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1.1. Plastik Üretimi.....	9
Şekil 1.2. 1)Termoplastiklerin Polimer Zincir Yapıları 2) Termosetlerin Polimer Zincir Yapıları	10
Şekil 1.3. Türkiye’ de Tüketilen Termoplastik Miktarları (%)	12
Şekil 1.4. Etilen Monomerinin Şematik Gösterilişi.....	13
Şekil 1.5. Etilen Monomeri ve Polietilenin Şematik Gösterimi	13
Şekil 1.6. Polietilenden İmal Edilmiş Ürünler.....	13
Şekil 1.7. Polipropilenin Şematik Gösterilişi	14
Şekil 1.8. İzotaktik Polipropilenin Şematik Gösterilişi	15
Şekil 1.9. Ataktik Polipropilenin Şematik Gösterilişi	15
Şekil 1.10. Polipropilenden İmal Edilmiş Ürünler	15
Şekil 1.11. Polistirenin Zincir Parçası	16
Şekil 1.12. Polivinil Klorürden İmal Edilmiş Ürünler.....	18
Şekil 1.13.A) Polivinil Klorür Polimerinin Zincir Yapısı B)Polivinil Klorür ve Klorür Monomeri	18
Şekil 1.14. Dünya Plastik Üretiminin Ülkelere Göre Dağılımı (%).....	20
Şekil 1.15. Enjeksiyon Kalıplama Makinesi	22
Şekil 1.16. Plastikasyonun Başlaması	23
Şekil 1.17. Plastikasyonun Bitimi	23
Şekil 1.18. Kalıbın Kapanması.....	24
Şekil 1.19. Enjeksiyonun Başlaması	24
Şekil 1.20. Enjeksiyon Bitimi ve Parçanın Soğuması.	25
Şekil 1.21. Ürünün Kalıptan Dışarı Atılması	25
Şekil 3.1. Öğütücü Makinesi	38
Şekil 3.2. Sarsak Elek.....	38

Şekil 3.3. Enjeksiyon-kalıplama yöntemiyle polimer esaslı kompozit üretimi öncesi boncuk üretimi iş akış şeması.....	39
Şekil 3.4. Polimer Kompozit Üretiminde Kullanılan Karıştırıcı	40
Şekil 3.5. Ekstruder’ de Üretim	40
Şekil 3.6. Kırıcıda Ekstruder Çıktısının Pelet Haline Getirme İşlemi.....	41
Şekil 3.7. Enjeksiyon Makinesinde Köpüksüz ve Köpüklü olarak Eğilme ve Çekme Örneklerinin Üretilmesi	41
Şekil 3.8. Eğilme Testinden bir Görünüş.	45
Şekil 3.9. Çekme Testinden Bir Görünüş.....	45
Şekil 3.10. Polytest Rayran Çentik Açma Aleti	46
Şekil 3.11. Zwick/Roell HIT5.5P.....	47
Şekil 4.1. Odun Unu katkılı Polistiren Esaslı Kompozitlerin Yoğunluk Değerleriyle İlgili a) Yarı Normal Olasılık Dağılımı ve b) 3D Grafiği	50
Şekil 4.2. O (a) ve B (b) Grupları İçin Çekme Direnci Değerlerine Ait Grafikler.....	53
Şekil 4.3. O (a) ve B (b) Grupları İçin Çekmede Elastikiyet Modülü Değerlerine Ait Grafikler	56
Şekil 4.4. O (a) ve B (b) grupları için kopmada uzama değerlerine ait grafikler.....	58
Şekil 4.5. O (a) ve B (b) grupları için eğilme direnci değerlerine ait grafikler	60
Şekil 4.6. O (a) ve B (b) Grupları İçin Eğilmede Elastikiyet Modülü Değerlerine Ait Grafikler.	62
Şekil 4.7. O (a) ve B (b) Grupları için Darbe Direnci Değerlerine Ait Grafikler.....	64
Şekil 4.8. Odun Unu Katkılı Kompozitlerin Su Alma Özellikleri.....	67
Şekil 4.9. Odun Unu Katkılı Kompozitlerin Su Alma Özellikleri.....	68
Şekil 4.10. Odun Unu katkılı Polistiren Esaslı Köpüklendirilmiş Kompozitlerin yoğunluk değerleriyle ilgili a) Yarı Normal Olasılık Dağılımı ve b) 3D Grafiği	70
Şekil 4.11. Buğday Sapı Unu katkılı Polistiren Esaslı Köpüklendirilmiş Kompozitlerin yoğunluk değerleriyle ilgili a) Yarı Normal Olasılık Dağılımı ve b) 3D Grafiği.	71
Şekil 4.12. Köpüklendirilmiş O (a) ve B (b) Grupları İçin Eğilme Direnci Değerlerine Ait Grafikler.	74

Şekil 4.13. Köpüklendirilmiş O (a) ve B (b) Grupları için Eğilmede Elastikiyet Modülü Değerlerine Ait Grafikler.....	76
Şekil 4.14. Köpüklendirilmiş O (a) ve B (b) grupları için darbe direnci değerlerine ait grafikler	78
Şekil 4.15. Normal ve Köpüklendirilmiş Örneklere Ait Resimler: a) Saf PS, b) köpüklendirilmiş PS, c) %17 OU katkılı PS kompozit ve d) Köpüklendirilmiş %17 OU Katkılı PS Kompozit	79

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa No

Çizelge 1.1. Bazı odun olmayan hammaddelerin lif uzunlukları ve kimyasal özellikleri.....	5
Çizelge 1.2. Buğday Sapının Yıllara göre Üretim Miktarı (1000 ton).....	6
Çizelge 1.3. Türkiye’de Bazı Tarla ve Bahçe Ürünleri Atık Miktarları.....	7
Çizelge 1.4. Ticari Kristal ve Antişok Polistirenlerin Tipik Özellikleri.....	17
Çizelge 1.5. Genel Amaçlı Polistirene Ait Bazı Veriler.....	17
Çizelge 1.6. Genel Amaçlı Polistiren için Tavsiye edilen Ocak Sıcaklıkları.....	17
Çizelge 1.7. Türkiye’ de Yıllara göre Tüketilen Polistiren Miktarları (Ton).....	18
Çizelge 1.8. Bölgesel Bazda Dünya Plastik Malzeme Tüketimi.....	19
Çizelge 3.1. Katkı Maddesi (SEBS-MA) Bazı Özellikleri	37
Çizelge 3.2. Ekzotermik (Tracel DB 170) Kimyasal Köpük Ajanlarının Özellikleri	37
Çizelge 4.1. Polistiren Esaslı Odun ve Buğday Sapı Unu Katkılı Kompozitler İçin Üretim Reçetesi.	49
Çizelge 4.2. O grubu kompozitlere ait yoğunluk değerleri.	50
Çizelge 4.3. B grubu kompozitlere ait yoğunluk değerleri.....	50
Çizelge 4.4. Köpüksüz Kızılçam Odun unu Katkılı ve Polistiren Esaslı Kompozitlere ait Mekanik Özellikler.....	52
Çizelge 4.5. Köpüksüz Buğday Sapı Unu Katkılı ve Polistiren Esaslı Kompozitlere ait Mekanik Özellikler.....	52
Çizelge 4.6. O Grubu Kompozitlerin Çekme Direnci Değerlerine ait ANOVA Tablosu ...	53
Çizelge 4.7. B grubu kompozitlerin Çekme Direnci Değerlerine ait ANOVA Tablosu	53
Çizelge 4.8. O Grubu Kompozitlerin Çekmede Elastikiyet Modülü Değerlerine ait ANOVA Tablosu.....	55
Çizelge 4.9. B Grubu Kompozitlerin Çekmede Elastikiyet Modülüne Değerlerine ait ANOVA Tablosu.....	56
Çizelge 4.10. O Grubu Kompozitlerin Kopmada Uzama Değerlerine ait ANOVA Tablosu .	58

Çizelge 4.11. B grubu kompozitlerin Kopmada Uzama Değerlerine ait ANOVA Tablosu ...	58
Çizelge 4.12. O Grubu Kompozitlerin Eğilme Direnci Değerlerine ait ANOVA Tablosu.	60
Çizelge 4.13. B grubu kompozitlerin Eğilme Direnci Değerlerine ait ANOVA Tablosu...	60
Çizelge 4.14. O Grubu Kompozitlerin Eğilmede Elastikiyet Modülü Değerlerine ait ANOVA Tablosu.....	62
Çizelge 4.15. B grubu kompozitlerin Eğilmede Elastikiyet Modülü Değerlerine ait ANOVA Tablosu.....	62
Çizelge 4.16. O Grubu Kompozitlerin Darbe Direnci değerlerine ait ANOVA Tablosu	64
Çizelge 4.17. B grubu kompozitlerin darbe direnci değerlerine ait ANOVA Tablosu	64
Çizelge 4.18. O Grubu Köpüklendirilmiş Kompozitlere ait Yoğunluk Değerleri.....	69
Çizelge 4.19. B Grubu Köpüklendirilmiş Kompozitlere Ait Yoğunluk Değerleri.....	69
Çizelge 4.20. Köpüklü Kızılçam Odun Unu Katkılı ve Polistiren Esaslı Kompozitlere ait Mekanik Özellikler	72
Çizelge 4.21. Köpüklü Buğday Sapı unu Katkılı ve Polistiren Esaslı Kompozitlere ait Mekanik Özellikler	72
Çizelge 4.22. Köpüklendirilmiş O Grubu Kompozitlerin Eğilme Direnci Değerlerine ait ANOVA Tablosu.....	73
Çizelge 4.23. Köpüklendirilmiş B grubu kompozitlerin Eğilme Direnci Değerlerine ait ANOVA Tablosu.....	73
Çizelge 4.24. Köpüklendirilmiş O Grubu Kompozitlerin Eğilmede Elastikiyet Modülü Değerlerine ait ANOVA Tablosu.....	75
Çizelge 4.25. Köpüklendirilmiş B grubu kompozitlerin Eğilmede Elastikiyet Modülü Değerlerine ait ANOVA Tablosu.....	75
Çizelge 4.26. Köpüklendirilmiş O Grubu Kompozitlerin darbe direnci değerlerine ait ANOVA Tablosu.....	77
Çizelge 4.27. Köpüklendirilmiş B grubu kompozitlerin darbe direnci değerlerine ait ANOVA Tablosu.....	77

1. GİRİŞ

Odun-plastik kompozitler (OPK) odundan elde edilen un ya da liflerin plastiklerle karıştırılması sonucunda üretilen kompozitlere verilen genel bir addır. Bu isimde yer alan “odun” kelimesi sadece ağaç yongalarından elde edilen malzeme anlamında değil lignoselülozik karaktere sahip bütün tarımsal atıklar ve odunsu materyali kapsamaktadır. Lignoselülozik malzeme katkılı termoset kompozitler 1900’lü yılların başlarında üretilmiş olsa da termoplastik esaslı odun plastik kompozitlerin üretimi 1920’li yılların başlarında bir İtalyan firmasının polipropilen ve odun ununu kullanan, üretim yapan ve bunun üzerine bir patent almasıyla başlamıştır. OPK’ların kullanımındaki asıl artış ise bu İtalyan patentinin 1980’lerin başlarında otomobil parçaları üretiminde kullanılması ile başlamıştır. 1990’lı yıllardan itibaren ise OPK’lar özellikle yapı için kereste üreten önemli sektörlerden biri haline gelmiştir.

Plastik sektöründe genellikle plastik matrisi içerisine üretilen malzemenin fiziksel ve/veya mekanik özelliklerini artırmak ya da maliyetini düşürmek amacıyla mika, talk, kalsiyum karbonat, sentetik elyaf ve kil gibi inorganik materyaller (Wolcott ve Anglund, 1991; Balatinecz ve Woodhams, 1993; Clemons, 2002; Wolcott ve Smith, 2004) kullanılmaktadır. Son yıllarda inorganik dolgu maddeleri yerine daha ucuz, düşük yoğunluklu ve daha yumuşak yapıları dolayısıyla aşınmaya sebep olmayan lignoselülozik esaslı dolgu maddeleri (odun unu ya da lifleri) kullanılmaya başlanmıştır (Pickering ve Murray, 1999a; Pickering ve Murray, 1999b; Wolcott ve ark., 2001; Panthapulakkal ve ark., 2004; Pervaiz ve Sain, 2004; Englund ve ark., 2004). Organik lignoselülozik dolgu maddelerinin inorganik dolgu maddeleri yerine kullanılmaya başlanmasının sebepleri arasında doğada çok miktarda bulunmaları, sürdürülebilir ve yenilenebilir bir kaynak olmaları sayılabilir (Sain ve Kokta, 1994; Berger ve Stark, 1997; Clemons, 2002; Klyosov, 2007).

Organik dolgu maddeleri kullanılarak üretilen OPK’lar, ağaç malzemeye göre üstün su alma ve kalınlığına şişme değerlerine sahip olmaları, plastik kerestelere göre maliyetlerinin daha düşük olması, doğada daha erken bozunabilmesi ve daha iyi elastikiyet modülü değerlerine sahip olması gibi avantajlara sahip olmasına rağmen ağaç malzemeye göre yoğunluklarının fazla olması ve plastiğe göre darbe dayanımlarının daha düşük olması sebepleriyle yeterli derecede kullanım alanı bulamamaktadır. Bu dezavantajı ortadan kaldırmak için odun-plastik kompozitlerin köpüklendirilmesi yoluna gidilmiştir.

Köpüklendirme işlemi ekstruder içerisinde, basınç çemberinde, pres içerisinde ve enjeksiyon makinesinde gerçekleştirilebilmektedir. Daha önce yapılan çalışmalarda PVC, PP, PE vb. esaslı odun plastik kompozitler ekstruder içerisinde, basınç çemberi içerisinde köpüklendirilmiştir. Dünya üzerinde önemli bir kullanım alanına sahip olan polistiren kullanılarak üretilen lignoselülozik dolgu maddeli kompozitlerin enjeksiyon kalıplama yöntemiyle köpüklendirilmesi üzerinde yeterli çalışma bulunmamaktadır. Bu tez çalışmasında Polistiren esaslı ve lignoselülozik dolgu maddesi (ülkemizdeki ormanlarımızın % 25'ini oluşturan kızılçam odunlarından elde edilen unlar ve ülkemizde yıllık 3,5 milyon ton buğday saplarında elde edilen unlar) kullanarak enjeksiyon yöntemiyle odun plastik kompozitlerin üretimini ve kimyasal köpük ajanı kullanılarak köpüklendirilmesi çalışılmıştır.

1.1. Kızılçam

1.1.1. Kızılçam Hakkında Genel Bilgiler ve Yayılış Alanları

Kızılçam (*Pinus brutia* Ten) *Pinaceae* familyası, *Pinus* L. cinsine ait bir türüdür (Yaltırık, 1988). Kızılçam taksonomide *Pinus brutia* Ten.; *Pinus brutia*, *Pinus stankewiczii*, *Pinus pithyusa*, *Pinus elderica* olmak üzere dört alt türe ayrılmaktadır. Bu alt türlerden en geniş yayılışa sahip olan *Pinus brutia*'dır (Critchfield ve Little, 1966; Saatçioğlu, 1976). *P. pithyusa* ve *P. stankewiczii* sıra ile Kafkaslar ve Kırımın Karadeniz kıyılarında doğal ormanlar kurmakta, *P. elderica* ise doğal olarak Kafkaslarda küçük bir yayılış göstermekte, olası bazı yabancı orijinleri de İran ve Afganistan'a uzanmaktadır (Schiller, 2000). Genellikle Doğu Akdeniz ülkelerinde yayılış gösteren kızılçam, Türkiye'de 4,2 milyon hektar alan kaplamakta ve iğne yapraklı türler içinde en geniş yayılışa sahip tür olma özelliği taşımaktadır (DPT, 2007). Kızılçamın yayılış alanı Türkiye başta olmak üzere Ege Adaları, Yunanistan'ın Türkiye sınırı, Suriye, Kıbrıs, Lübnan ve Irak'ın kuzeyidir. Karadeniz Bölgesinde Samsun-Çamgölü civarından başlayarak serpili yayılışlar halinde vadiler boyu iç kısımlara girmekte ve 800-1000 m yüksekliğe kadar çıkabilmektedir. Marmara Bölgesinde, Kuzey Marmara sahilleri, İstanbul Adaları, Keşan, Gelibolu ve İğne ada civarında yayılış göstermekte ve 400 m yüksekliğe çıkabilmektedir. Batı Anadolu'da Çanakkale, İzmir, Aydın, Denizli, Balıkesir, Bursa, Uşak, Bilecik başta olmak üzere vadiler boyunca içerilere kadar sokulup, 800-1000 m yükseltiye kadar geniş bir yayılış göstermektedir. Akdeniz bölgesinde Muğla, Antalya, Mersin, Kahramanmaraş,

Gaziantep ve Adıyaman yörelerini takip eden hatta görülmektedir. Dicle ırmağı vadisinde Siirt- Eruh'a kadar yayılış yapmakta ve genel olarak 1300 m, bazen de 1500-1650 m yüksekliğe kadar çıkabilmektedir (Boydak vd., 2006). Yükseltiye bağlı olarak genelde Karadeniz Bölgesinde 0-600 m, Ege Bölgesinde 0-1000 m, Akdeniz Bölgesinde ise 0-1500 m yükselti aralığında yayılış alanı bulunmaktadır (Saatçioğlu, 1976; Atalay vd., 1998). Ayrıca, Gölhisar ormalarında 1595-1600 m'lere kadar meşcere formunda (Kılıç ve Güner, 2000), Afyon-Hocalar/Çal Dağı mevkiinde 1080-1200 m'ye kadar çıkabilmektedir (Genç, vd., 1997). Bu yayılış alanı içerisinde 161 milyon m³'ü aşan serveti, 5 milyon m³' den fazla artımı ve 4 milyon m³'e yaklaşan etası ile kızılçam meşcereleri ormancılığımızda ayrı bir yer ve öneme sahiptir. Akdeniz Bölgesinde % 47, Ege Bölgesinde % 40, Marmara Bölgesinde % 10 oranında ve Karadeniz Bölgesi'nin batı kıyılarında ise, % 3 oranında tek ve serpili bir yayılış göstermektedir (Kanat ve Sivrikaya, 2004). Kahramanmaraş ormanlarındaki kızılçam ormanları ise ülke kızılçam ormanlarının % 6 sına karşılık gelmektedir.(Kanat ve Sivrikaya, 2004). Kızılçam tipik bir ışık ağacıdır. Doğrudan güneş alan sahalarda iyi gelişmekte olup sıcaklık isteği fazladır. Donlara karşı hassastır ve karasal iklimden kaçınır. Rüzgâr, gövde ve tepe şekillenmesine olumsuz etki yapmaktadır (Saatçioğlu, 1976). Kızılçam generatif faaliyete genellikle erken başlamakta ve çiçeklenme 2 yaşında oluşabilmektedir. Normal gelişim yapmış kozalaklara 4–7 yaşında rastlamak mümkün olmaktadır (Çelik, 2009). Tozlaşmanın ardından iki yıl sonra nisan ayında, kozalak ve tohum olgunlaşmaktadır (Genç, 2004). Zorunlu hallerde 20 aylık kozalaklarda da kasım ayı ortasından itibaren tohum hasadı yapılabilmekte ve % 80'in üstünde çimlenme elde edilebilmektedir (Eler ve Şenergin, 1990).

1.1.2. Kızılçamın Kimyasal Özellikleri

Kızılçam odununda % 65 holoselüloz, % 27,5 lignin, % 10 pentozan ve % 0,5 kül bulunmaktadır. Arslan ve Şahin (2008); Lif uzunluğunu 2-4 mm, lif genişliğini 0,001-0,002 olarak tespit etmişlerdir. 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 (Göksel, 1981; Erten ve Önal'dan 2001). Hafizoğlu ve Usta (2005), kızılçamın selüloz oranını öz odunda % 52,6, diri odunda % 57,9, α–selüloz oranını öz odunda % 45,2, diri odunda % 50,2 ve lignin oranını öz odunda % 28, diri odunda % 29 olarak bulmuşlardır. Ayrıca soguk 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 (Şahin ve Arslan, 2008).

1.2. Buğday Hakkında Genel Bilgiler

Buğday tek çenekliler sınıfında gramineae ait yıllık bir bitkidir. Gövde tek veya küme halinde olup 35-100 cm boyunda olup, düzgün tamamen çıplak veya nodlarda biraz tüylüdür. Volkanik kayalar, tepe yamaçları, tebeşirli steplerden kurak düzlüklere kadar çeşitli toprak ve iklimlerde yetişmektedir. Buğday bitkisi saplarda boğumlar (nodlar), boğumlar arası (internod), yapraklar, başak ve başak eksenini olmak üzere beş ana morfolojik kısımdan oluşur. Sapa bileşiminde değişik oranda C, H, N, O, Si, Fe, Al, Ca, Mg, Na, K, P, Cu, Mn, Zn elementleri bulunur. Buğday sapağının ağırlık yüzdesi değişiktir. Saptaki su, protein, yağ, ekstraktif madde, lif, pentozan, selüloz, lignin oranları ve buna bağlı olarak da kül oranı değişir. Kimyasal bileşikleri yönünden yapraklar, kılavuzlar ve nodlar yüksek oranda silisyum içerir. Morfolojik özellikleri buğday türü ve çeşidi, ekolojik koşullar, toprak seviyesinden kesilme yüksekliği gibi etkenlere bağlı olarak değişir (Biricik, vd., 1991).

Buğday (*Triticum aestivum*), dünyada en çok yetiştirilen bitkilerin başında gelir. Yıllık dünya buğday üretimi yaklaşık 627 milyon tondur ve Türkiye buğday üretiminde dünyada 7. sırayı almaktadır. Türkiye'de 2005 yılında 10 milyon hektar alanda buğday ekimi yapılmış olup, 21 milyon ton üretim sağlanmıştır. Buğdaydan elde edilecek saman, hasat edilen buğdayın türüne, iklime ve ziraai koşullara bağlı olmakla birlikte ortalama 1 kg buğday eldesine karşılık 1,3 kg saman açığa çıkmaktadır (Montane ve ark., 1998).

Buğday sapı, bağlantı yerlerinden boğumlarla ayrılmış, dik ve silindirik şeklinde gövdelerdir. Saplar genelde altı iç-boğuma sahip olup cinslerine, iklime ve toprağın durumuna bağlı olarak 0,5 ile 1,5 metre arasında uzunluğa ulaşırlar. Lignoselülozik lif yapıları, dolayısı ile odunu andıran buğday sapları gibi tahıl sapları tarihsel olarak kağıt hamuru ve kağıt yapımında yaygın olarak kullanılmıştır. Fakat Kuzey Amerika ve Avrupa'nın büyük bir kısmında odundan kağıt hamuru üretimi çok ekonomik duruma geldiği için buğday saplarının kağıt endüstrisindeki kullanımı zarar görmüş ve azalmıştır. Çoğu Asya, Güney Amerika ve Doğu Avrupa ülkeleri hala tahıl saplarını kağıt hamuru üretiminde kullanmaktadırlar. Türkiye kaynak olarak çok büyük buğday ve diğer tahıl sapları, kendir sapları ile diğer tarımsal atık potansiyeline sahiptir (Kurtuluş, 2010).

Morfolojik karakterleri açısından buğday saplarından elde edilen lifler odun liflerine kıyasla daha heterojendir. Odunla kıyaslandığında, buğday sapları hemen hemen aynı miktarda holoselüloza sahip olmalarına rağmen çok daha az alfa-selüloza sahiptirler. Pentozan miktarı fazla olmakla birlikte lignin miktarı odundan biraz daha azdır. Sonuç olarak, buğday sapları kimyasal içerik bakımından yapraklı ağaçlara daha fazla benzemektedir (Kurtuluş, 2010).

Buğday sapları %70-75 oranında holoselüloz içerir ki bunun yaklaşık olarak yarısı (%35) alfa-selülozdur. Holoselülozlar bitki dokularındaki suda çözünmeyen karbonhidratlar olarak tanımlanırlar ve alfa-selüloz (ya da basitce selüloz) ile hemiselülozdan oluşurlar (Kurtuluş, 2010).

Aşağıdaki tabloda buğday sapına ait bazı kimyasal özellikler yer almaktadır.

Çizelge 1.1. Bazı odun olmayan hammaddelerin lif uzunlukları ve kimyasal özellikleri (Atchison, 1993; Atchison, 1997; Mabey ve Roy, 1999; Mengeloğlu ve Alma, 2002)

Lif Kaynakları	Ortalama Lif uzunluğu (mm)	Selüloz (%)	Lignin (%)	Hemiselüloz (%)	Kül (%)	Silikat (%)
Buğday Sapı	1,5	50–52	16–20	26–30	5–10	4–8
Pamuk Sapı	1	50,9	21–25	26,7	1–4	-
Pamuk Linteri	7	80–85	2,5	-	0,8–2	-
Yağ Keteni	30	47	23	25	5	-
Arpa sapı	-	47–48	14–15	24–29	5–7	3–6
Yulaf Sapı	-	44–53	16–19	27–38	6–8	4–6,5
Çavdar Sapı	-	50–54	16–19	27–30	2–5	0,5–4
Şeker Kamışı	1,7	53–56	19–24	27–32	2–5	2–4
Pirinç Sapı	0,5–1,0	42–46	12–15	24–30	15–20	10–18
Kendir (Bast)	25	61	10	23	2	-
Kendir (Core)	0,8	34	21	38	1	-
Kenaf (Bast)	2,6	47–57	15–19	23	1,7	5

Aşağıdaki tablolarda ise buğday bitkisinin yıllara göre üretim miktarı ve 2010 verilerine göre bu üretim sonucunda meydana gelen buğday sapı atığı verilmiştir.

Çizelge 1.2. Buğday Sapının Yıllara göre Üretim Miktarı (1000 ton). (DPT, 2007).

Yıllar	Buğday	Arpa	Mısır	Pirinç	Nohut	Mercimek	Fasulye
1980	16,500	5,300	1,240		275	195	165
1985	17,000	6,500	1,900	162	400	618	170
1990	20,000	7,300	2,100	138	860	846	210
1995	18,000	7,500	1,900	150	730	665	225
2000	21,000	8,000	2,300	210	548	353	230
2001	19,000	7,500	2,200	216	535	520	225
2002	19,500	8,300	2,100	216	650	565	250
2003	19,000	8,100	2,800	223	600	540	250
2004	21,000	9,000	3,000	294	620	540	250
2005	21,500	9,500	4,000	315	605	560	210

Çizelge 1.3. Türkiye’de Bazı Tarla ve Bahçe Ürünleri Atık Miktarları (TTGV, 2010).

Ürünler	Ürün Miktarı (1,000 Ton/Yıl)	Atıklar	Kullanılabilir Atık Miktarı (1,000 Ton/Yıl)
Buğday	22,439	Saman	3,514
Arpa	8,327	Saman	1,344
Çavdar	253	Saman	54,000
Yulaf	323	Saman	48,000
Mısır	2,210	Sap	2,982
Pirinç	332	Saman	126,000
Tütün	181	Sap	246,000
Pamuk	2,293	Sap	1,512
Ayçiçeği	836	Sap	1,355
Zeytin	1,497	Prina	747,000
Fındık	653	Kabuk	453
Antep Fıstığı	43	Kabuk	4

2010 verilerine bakıldığında ülkemizde yaklaşık olarak 22,5 milyon ton buğday üretimi olmakta ve bu üretim sonucunda 3,5 milyon ton buğday sapı (saman) meydana gelmektedir.

1.3. Plastikler

1.3.1. Plastiklerin Tarihçesi ve Genel Özellikleri

Plastikler kalıba dökülebilir diğer bir deyimle kolayca biçimlendirilebilir maddelerin araştırılmasında önemli bir aşamadır. Kauçuk ve diğer doğal ürünler genellikle plastik tanımının dışında tutulmaktadır. Bilinen bütün biçimlendirme şekilleri plastiklerin işlenmesinde kullanılabilmektedir. Plastik, petrokimya sanayinde, petrol esaslı ürün veya

yan ürünler ile doğal gazı hammadde olarak kullanıp bunların kimyasal dönüşümleri ile elde edilen önemli madde gruplarından birisidir (Güller ve Çobanoğlu, 1997).

Plastiklerin genel özellikleri:

1. Isıtılırken kolayca yumuşamaları ve erimeden biçimlendirilebilir bir esneklik kazanmaları
2. Yumuşak halde iken kolayca şekil verildikten sonra soğuduklarında tekrar sertleşmeleridir.

Plastikler çok büyük polimeri molekül ağından oluşmaktadırlar. Polimer zincirleri Van der Waals, London gibi zayıf bağlar veya Hidrojen bağları, dipol-dipol etkileşimi gibi nispeten daha güçlü bağlarla bir arada tutulmaktadır (Güller ve Çobanoğlu, 1997).

Ticari olarak yapılan ilk plastikler, yarı sentetiktir. Bunlar, genellikle pamuk artıklarından elde edilen karbonhidrat olan selülozdan türetilmiştir. 1862 yılında İngiliz Kimyacı Alexander Parkes, kolayca kalıplanabilen ve biçimlendirilebilen, "Parkesine"(Parkesin) adlı bir plastik hazırlamıştır. Bu plastik, pamuk artıklarının nitrat ve sülfat asitlerinin karışımıyla tepkimeye girmesi sonucu oluşan bir nitroselüloz bileşiğine, hintyağı, biraz kafuru ve renklendirici maddeler katılarak yapılmıştır. Parkesine' nin küçük miktarlarda hazırlanması kolaydı, ama endüstri ölçeğinde üretimi başarısızlıkla sonuçlanmıştır (Eraslan, vd., 2007, Güller ve Çobanoğlu, 1997).

1870 yılında A. B. Dickson' ın matbaacı John Wesley Hyatt, ticari bakımdan ilk başarılı plastik olan selüloiti Parkesine'a benzer biçimde, ama hintyağı yerine de kafuruyu kullanarak hazırladı. Hyatt' ın buluşu kafurunun plastikleştirici etkisiydi. Bu madde ilk kez fildişinin ve kaplumbağa kabuğunun yerine kullanılabilecek bir materyal oluşturulmasını sağlamıştır. Bu yeni madde, gözlük çerçeveleri, taraklar, bıçak sapları gibi çok çeşitli ürünlerin yapımında kullanıldı. İlk sentetik lif ise 1889 yılında, nitroselülozdan yapılan yapay ipekti (Güller ve Çobanoğlu, 1997).

İlk tam sentetik plastikler, endüstriyel olarak üretilmelerinden yıllarca önce ortaya çıkarıldı. 1838 yılında Fransız Regnault, vinil klorürün, güneş ışığının etkisi altında reçineleşmesini gözledi. Bu madde aslında günümüzde bol ve yaygın olarak kullanılan polivinil klorürdü. Ticari bir önemi olduğu o dönem anlaşılamamıştır (Güller ve Çobanoğlu, 1997).

Ertesi yıl, Alman kimyacı Simon, doymamış bir hidrokarbon olan stirenden polistiren üretimini gerçekleştirdi. Bu maddenin ticari önem kazanması ancak 90 yıl sonra oldu (Güller ve Çobanoğlu, 1997).

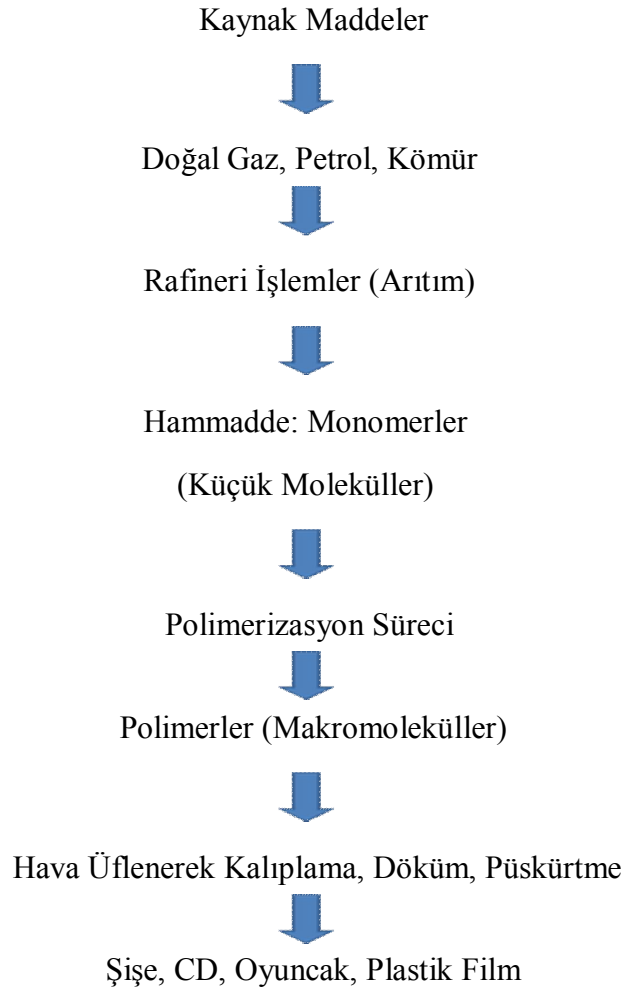
Metil metakrilat, ilk kez 1877 yılında, Alman kimyacıları Fitting ve Paul tarafından polimerleştirildi. Elde ettikleri ürün, yani polimetilmetakrilat, yarım yüzyıl sonra ortaya çıkan perspeks adlı plastiğin temelini oluşturdu. Etilenin polimerleştirilmesiyle ilgili ilk denemeler 1879 yılında başlamıştır. İlk çalışmalar sonuç vermemiş ancak yağlama amacıyla kullanılan bir yağ elde edilmiştir. Daha sonra etilenin polimerleştirilmesiyle polietilen elde edildi. Bu uygulama günümüzde de yaygın olarak kullanılmaktadır (Güller ve Çobanoğlu, 1997).

1909 yılında Leo H. Baekeland, fenolün formaldehitte tepkimesi sonucu elde ettiği ürünün patentini aldı. Aslında ilk formaldehit reçinesini 1872 yılında Adolf von Bayer bulmuştur (Güller ve Çobanoğlu, 1997).

1922 yılında Herman Standinger plastiklerin küçük moleküllerin birleştirilmesiyle oluşan dev moleküller ya da polimerler olduğunu gösterdi. Benzer moleküllerin polimer zincirleri oluşturacak biçimde bağlanması anlamına gelen polimerizasyon işlemi ile kimya sanayi hızla gelişti. İkinci Dünya Savaşı plastik endüstrisinin gelişiminde en önemli etkenlerden birisi olmuştur (Güller ve Çobanoğlu, 1997).

Bütün plastikler polimerizasyon ürünüdür. Hemen hemen bütün plastikler esas olarak doğal gaz, petrol ve kömürden oluşmaktadır. Plastik yapımındaki ön işlem, bunların monomerlere çevrilmesidir. Bunlar etilen, propilen, benzen, para ksilen ve toluen gibi maddelerdir. Etilen gazı en yaygın olarak kullanılan monomerlerden birisidir. Isı, basınç ve birçok kimyasalın etkisiyle plastik üretiminin ikinci evresi başlamaktadır. Buna polimerizasyon denmektedir. Yani plastik oluşumunu sağlamak için monomerlerin zincirlerle bağlanması anlamına gelmektedir. Etilen polietilene, propilen polipropilene, stiren polistirene dönüşmektedir. Polimerizasyon süreci belirli aşamalarda durdurularak belirli özelliklere sahip plastikler elde edilmesi mümkün olabilmektedir. Polietilenin yoğunluğa göre yüksek yoğunluklu polietilen (HDPE) ve düşük yoğunluklu polietilen (LDPE) oluşturacak biçimde değiştirilebilir. Yüksek yoğunluklu polietilen taşıma vb. işlemler için elverişli kapların yapımında, düşük yoğunluklu polietilen ise film vb. malzemelerin yapımında elverişlidir (Güller ve Çobanoğlu, 1997).

Polimerizasyon ürünleri doğrudan kullanılabilirdi gibi katkı maddeleri ile esneklik, dayanıklılık, ısıya dayanma, ultraviyole ışınlar dayanma gibi özellikleri artırılmakta ve bunlardan değişik ürünlerin imalatında yararlanılmaktadır. Katkı maddeleri aracılığıyla plastiklerin renkleri de değiştirilmektedir. Bu katkı maddeleri plastiklerin % 1' lik miktarını oluşturmaktadır. Ancak bazı plastik tiplerinde renklendiriciler % 10' lara varabilmektedir. Bazı plastiklerin içerisine % 40' lara varan oranlarda plastizerler katılmaktadır. Ancak bu katkı maddelerinin çoğu ağır metaller ve toksik maddeler içermektedir (Güller ve Çobanoğlu, 1997).



Şekil 1.1. Plastik Üretimi (Güller ve Çobanoğlu, 1997).

Eski plastiklerin başlıca sakıncası, kolayca tutuşmalarıydı. Bu duruma nitroselüloz neden oluyordu. Bu nedenle günümüzde, selüloz temelli plastiklerin hazırlanmasında,

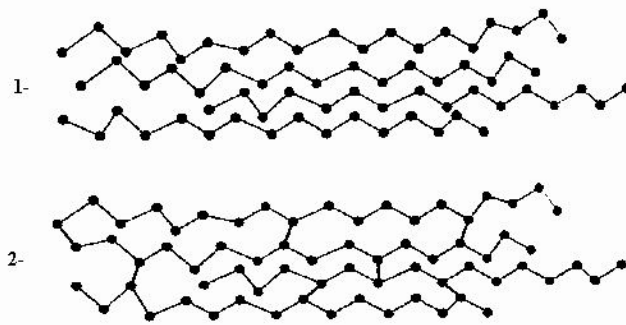
nitroselüloz yerine, selülozun bir başka esteri olan selüloz asetat kullanılmaktadır (Güller ve Çobanoğlu, 1997).

Bütün bu gelişmeler ışığında plastikler termoplastikler ve termosetler olarak ikiye ayrılmaktadır.

1.3.2. Termosetler

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 bulunurlar. Geçirdikleri çeşitli kimyasal işlemlerden sonra katı hal alabilirler. Isıtıldıklarında sertleşirler. Termosetlere örnek olarak polyester, epoksi, PVC ve asetol verilebilir (Yaşar H. , 2001). Termosetlerdeki polimer zincirleri arasında kuvvetli bağlar oluşur ve bunun neticesinde üç boyutlu ağ yapısı meydana gelir. Bu da termosetleri termoplastiklere göre daha dayanımlı ve rijit yapar. Termosetler de polimerizasyon işlemi ile elde edilirler. Termosetlerin polimerizasyonu genelde iki aşamalı bir süreçtir (Ezdeşir vd., 1999, Yaşar, 2001, Can, 2008).

İlk aşamada termoseti oluşturacak monomerler bir araya getirilir. İkinci aşama ise üretim sürecinin içerdiği kalıpta meydana gelir. Yüksek basınç ve sıcaklıkta monomerler reaksiyona girer ve polimer zincirleri oluşur. Bu durumda polimer zincirlerinde reaksiyona girmemiş birimler bulunmaktadır. Basınç ve sıcaklık etkisi ile polimer zincirleri arasında yan bağlar meydana gelir ve kalıplanmış bir termoseti oluşturan polimer zincirleri arasında ağ yapısında bağlar oluşur (Yaşar H., 2001).



Şekil 1.2. 1) Termoplastiklerin Polimer Zincir Yapıları 2) Termosetlerin Polimer Zincir Yapıları (Ekşi, 2007).

1.3.3. Termoplastikler

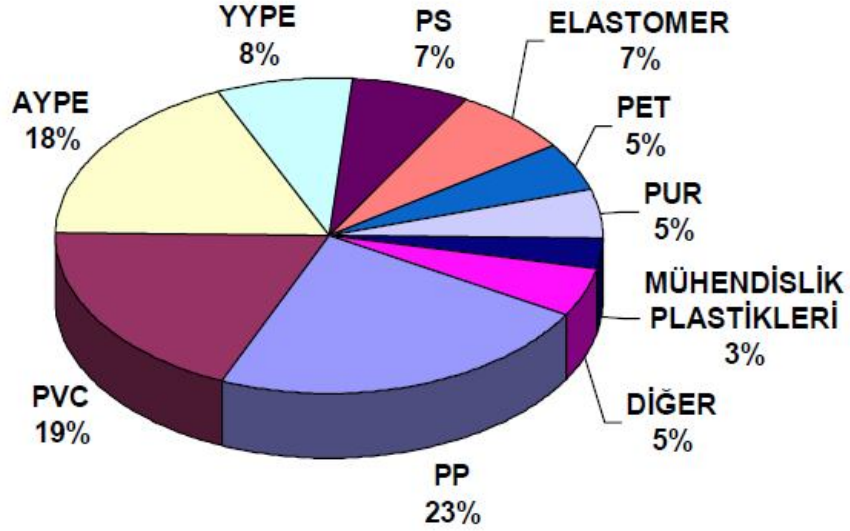
Plastikler lineer veya dallanmış dev moleküllerden yani makromoleküllerden oluşmuşlardır. Termoplastiklerde, makromoleküller arasında kimyasal bağ bulunmaz. Bu bağların bulunmaması termoplastiklerin tekrar tekrar işlenebilmesine imkân sağlamaktadır. Aynı zamanda termoplastikler kimyasal çözücülerde çözülebilmektedir. Termoplastikleri makromoleküllerin dizilişine göre ikiye ayırmak mümkündür. Eğer makromoleküllerin dizilişi rasgele gerçekleşmiş ise malzeme “amorf” olarak adlandırılır. Amorf malzemelere katkı malzemeleri katılmadığı sürece şeffaf bir görünüme sahiptirler. 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 (Ezdeşir vd., 1999, Yaşar, 2001, Can, 2008).

Katı hal: Malzeme sert ve tok bir davranış gösterir

Termoelastik hal: Bu durumda malzeme yüksek elastikiyet değerlerine sahiptir

Termoplastik hal: Bu durumda malzeme akışkan bir sıvı halindedir.

Termoplastikler ısıtılırlar, eritilirler ve sonunda şekillenmiş bir ürün eldesi sağlanabilir. Daha sonra katılaştırmış termoplastik yeniden ısıtılabilir ve eritildikten sonra yeniden kalıplanarak ürün haline getirilebilir. Her ne kadar geri dönüşüm söz konusu olsa da termoplastiklerin ısıtılıp eritme ve soğutma işlemleri belirli tekrarlar sınırlı kalmalıdır. Aksi takdirde termoplastiğin fiziksel özelliklerinde değişiklikler görülmektedir. Termoplastiklere örnek olarak polietilen, polistren ve polipropilen verilebilir (Ezdeşir vd., 1999, Yaşar, 2001, Can, 2008).



Şekil 1.3. Türkiye’ de Tüketilen Termoplastik Miktarları (%), (PAGEV, 2005, DPT, 2007).

Ençok kullanılan termoplastikler hakkındaki genel bilgiler aşağıda verilmiştir.

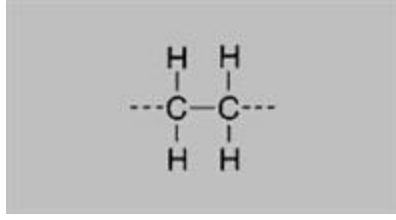
1.3.3.1. Polietilen (PE)

Etilen monomerinin polimerizasyonu sonrasında oluşan, uzun zincirli bir yapıya sahip makromoleküllü polimer “Polietilen” olarak adlandırılabilir. Polietilen bir homopolimerdir. Tarihte ilk üretilen polietilen, alçak yoğunluklu polietilen olarak adlandırılan AYPE’dir (Ezdeşir vd. , 1999).

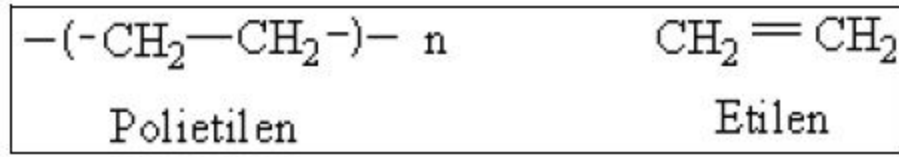
II. dünya savaşı sırasında düşük yoğunluklu polietilenin üretimi hızlandırılmış, elektronik, elektrik nakli, paketlenme, kalıplama alanında hammadde olarak kullanılmıştır. Daha sonrasında, Ziegler-Natta adıyla anılan yeni bir katalizörün bulunmasıyla, etilen monomeri daha düşük basınçta polimerizasyon işlemine tabi tutulabilmiş ve yapısının daha düzenli olması sağlanmıştır. Böylece yüksek yoğunluklu polietilen (YYPE) ve düz zincirli alçak yoğunluklu polietilen (LDPE) üretimi söz konusu olmuştur (Yaşar, 2001).

Daha sonraları, Metalosen adı verilen katalizörlerin bulunmasıyla polietilen zincir boyu kolaylıkla kontrol edilebilir bir konuma gelmiştir. Böylelikle hemen hemen eşit uzunluktaki zincirlerden oluşan polietilen elde edilmiştir. Metalosen adı verilen katalizörle polimer üretimi son yıllarda gelişmiştir. Ve bu katalizör yardımıyla üretilen polietilenin fiziksel özellikleri üstündür. Yoğunluğu 0,94 gr/cm³ olan ve düşük basınç şartlarında üretilen polietilenler, düz zincirli alçak yoğunluklu polietilen olarak adlandırılırlar. Düz zincirli alçak yoğunluklu polietilen LLDPE olarak adlandırılır. AYPE ile LLDPE’ nin

yoğunlukları aynı olmasına rağmen, LLDPE düz zincirli bir yapıya sahip olduğundan dolayı işleme özelliği AYPE 'den farklıdır. Sahip olduğu fiziksel özellikler AYPE 'ye nazaran üstünlükler içerir (Yaşar, 2001).

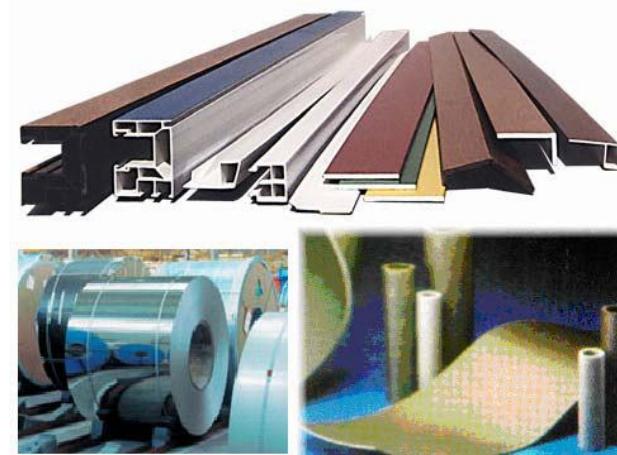


Şekil 1.4. Etilen Monomerinin Şematik Gösterilişi (Ekşi ve Erdoğan, 2007).



Şekil 1.5. Etilen Monomeri ve Polietilenin Şematik Gösterimi (Ekşi ve Erdoğan, 2007).

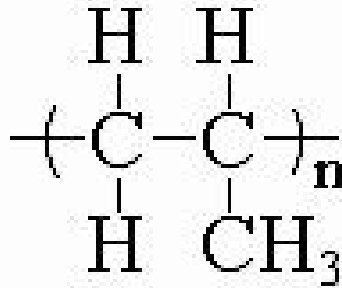
Günümüz plastikleri içerisinde en fazla üretim oranına sahip olan polietilenin toplam üretimi plastiklerin üretiminin % 40'ını oluşturmaktadır. Alçak yoğunluklu polietilen, yüksek yoğunluklu polietilen gibi türleri üretilmektedir. Birçok plastik işleme yöntemiyle şekillendirilebilen polietilen, film, levha, profil v.b. ürünlerin üretiminde kullanılmaktadır. (Ezdeşir, vd. , 1999).



Şekil 1.6. Polietilenden İmal Edilmiş Ürünler (Ezdeşir, vd. , 1999).

1.3.3.2. 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 üretilmiş polipropilen türü bulunmaktadır. Bu kadar fazla türde üretilen polipropilenin bulunması, beraberinde polipropilenin kullanım alanlarını da geliştirmiştir (Ekşi, 2007).

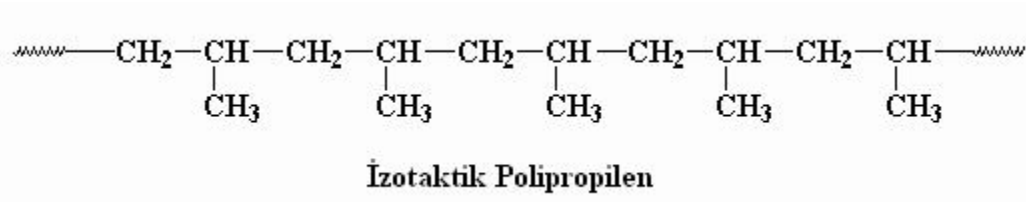


Şekil 1.7. Polipropilenin Şematik Gösterilişi (Ekşi ve Erdoğan, 2007).

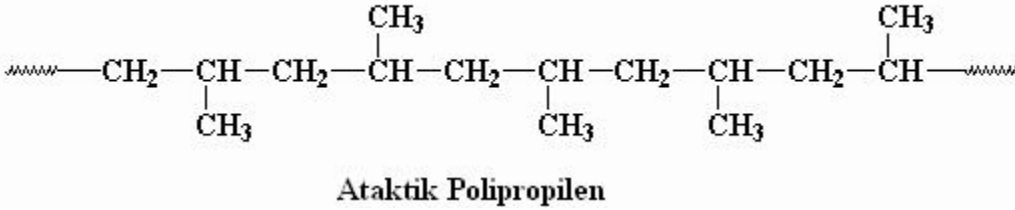
Polipropilen, paketlenme filmi, otomobil parçası, çeşitli ev aletleri, ev eşyası, tel ve kablo kaplamalarında, gıda maddesi ambalajında, kaplama ve laminasyon malzemesi olarak, halı ve yer döşemesi yapımında, halat ve çuval lifi üretiminde, akü kabı üretiminde, meşrubat şişesi kasalarında, laboratuvar donanımı yapımında, oyuncak yapımında, radyatör ızgaralarında, sentetik çim yapımında, plastik boru üretiminde, mühendislik plastiklerinin uygulamalarında, optik ve elektrik malzemelerin imalatında, profil, levha, halı, keçe, paspas ve ilaç ambalaj sanayisinde kullanılmaktadır (Ekşi ve Erdoğan, 2007).

Polipropilen 1950'li yılların ortalarında NATTA tarafından bulunmuştur. Polipropilen, bir gaz olan propilen monomerinin polimerizasyonu sonrasında elde edilmektedir. Uygulanan yöntem katılma polimerizasyonudur. Polipropilenin yoğunluğu 0.905 gr/cm³'tür. Hafif bir plastiktir. Rijit bir termoplastik olan polipropilen yüksek mekanik özelliklere sahiptir. Çekme dayanımı yaklaşık olarak 3500 N/cm²'dir. Mekanik özelliklerini yüksek sıcaklıklara kadar koruyabilmektedir. Darbe dayanımı yüksektir.

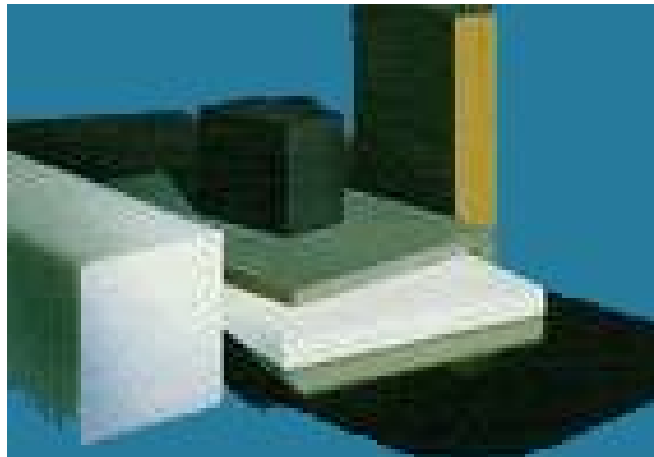
Elektriksel özellikleri çok iyi olan polimer, kimyasal maddelere karşıda direnç gösterir. Polipropilen bir termoplastik ürün olarak, birçok plastik işleme yöntemiyle şekillendirilebilir. Levha, film, profil ve tel haline getirilebilir (Ezdeşir vd. , 1999).



Şekil 1.8. İzotaktik Polipropilenin Şematik Gösterilişi (Ekşi ve Erdoğan, 2007).



Şekil 1.9. Ataktik Polipropilenin Şematik Gösterilişi (Ekşi ve Erdoğan, 2007).



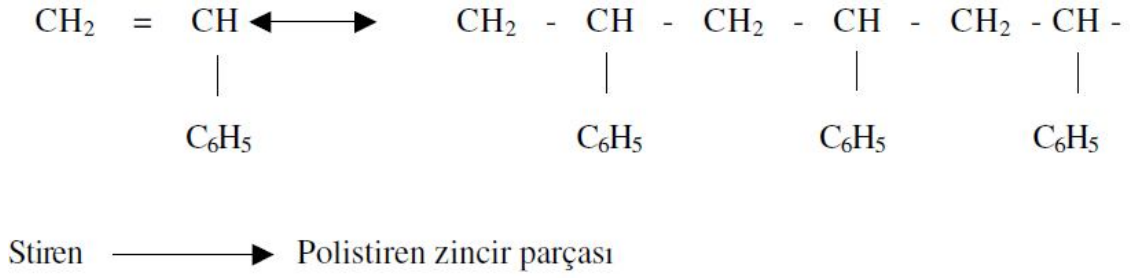
Şekil 1.10. Polipropilenden İmal Edilmiş Ürünler (Ekşi ve Erdoğan, 2007).

1.3.3.3. Polistiren (PS)

Plastikler, yapay organik malzemelerdir. Yapılarındaki en küçük karakteristik birim monomer adını almaktadır. Monomerlerin birbirlerine bağlanmasıyla oluşan zincir yapılar ise polimer olarak anılmaktadır ve plastiğe ismini vermektedir. Monomerlerin birbirlerine bağlanarak polimer zinciri oluşturması da polimerizasyon adı verilen işlemlerle gerçekleşmektedir. Bu çalışmada kullanılan plastik hammadde polistirendir.

Polistiren, bir araya gelmiş stiren monomerlerinin oluşturduğu polimerin adıdır. Stiren, 145 °C' de kaynayan ve bu sıcaklıkta hızla polimerleşen bir sıvıdır. Stiren

monomerlerinin birleşerek oluşturduğu polimer zincir parçası aşağıdaki gibi gösterilmektedir:



Şekil 1.11. Polistirenin Zincir Parçası

Polistiren zinciri 750 ile 1300 monomer biriminden meydana gelen, 100°C' nin altında şeffaf ve katı, 100 °C' nin üzerinde yumuşayıp akışkan hale dönüşen ve kolayca kalıplanıp şekillendirilebilen bir plastiktir (Yaşar, 2001, Ekşi ve Erdoğan, 2007).

Polistiren en çok kullanılan plastiklerdendir. Stirenin polimerizasyonu ile elde edilen türüne “kristal polistiren” veya “genel amaçlı polistiren” denir. Stiren monomerinin polibutadien kauçuğu ile aşıl原因arak üretilen türüne ise antişok polistiren denilmektedir. Ticari kristal ve antişok polistirenlerin tipik özellikleri Çizelge 1.4’ de verilmektedir (Tuğ ve Haksever, 2005).

Polistireni diğer termoplastiklerden avantajlı duruma geçiren özellik, onun amorf yapısıdır. Camsı halden eriyik hale geçerken az enerji harcanmaktadır. Kristalizasyon enerjisinin olmaması, hızlı ısıtılıp soğutulmasını, dolayısıyla hızlı kalıplanma avantajını sağlar (Tuğ, 2005, Ekşi, 2007). Ekstrüzyon ve enjeksiyon kalıplama metodları ile düşük enerji kullanılarak, bozunmadan kolayca kalıplanabilir. Genel amaçlı polistirene ait tavsiye edilen enjeksiyon üretim değerleri Çizelge 1.5 ve Çizelge 1.6’ da verilmiştir.

Polistirenin amorf yapıda olması, kristal yapıli polietilen ve polipropilen gibi plastiklere göre kalıplama esnasında çekme (shrinkage) miktarının çok az olmasına sebep olur (% 0,45). Polistiren elektrik izolasyon özelliği açısından bütün polimer tipleri arasında en iyisidir. Dielektrik sabiti 20-80°C arasında sıcaklıktan bağımsızdır (Taskiran, 2001).

Çizelge 1.4. Ticari Kristal ve Antişok Polistirenlerin Tipik Özellikleri (Taskıran, 2001).

Özellik	Antişok Polistiren	Kristal Polistiren	Test Metodu		
			ASTM	ISI	TS
Vicat Yumuşama Sıcaklığı (°C)	88-108	94-104	D1525	306	1825
Deformasyon Sıcaklığı (°C)	75-103	81-92	D648	75	985
Çekme Dayanımı (Mpa)	36-56	15-20	D638	527	1398
Kopmada Uzama (%)	1,6-2,4	2,0-4,0	D638	527	1398
İzod Darbe Direnci (J/m) (Çentikli)	19-24	37-80	D256	180	1005
Sertlik (Rockwell, M skala)	72-76	25-65	D785	2039	9406

Çizelge 1.5. Genel Amaçlı Polistirene Ait Bazı Veriler (Taskıran, 2001).

Oda Sıcaklığında Ortalama Yoğunluk	1,05 gr/cm ³
Tavsiye Edilen Kitleleme Gücü Değerleri	150-300 bar
Enjeksiyon İşleme Sıcaklığı	180-250 °C
Tavsiye Edilen Kalıp Sıcaklığı	30-60 °C
Maksimum Tavsiye Edilen Havalandırma Deliği	0,042/ 0,06 mm
Özgül Isı	1,34 kJ/kg°K
Isıl İletkenlik	0,12 W/m°K
Erime Sıcaklığı Aralığı	210-250 °C
1 Kg Plastiği Eritmek İçin Gerekli Isı	268 kJ/kg
Tavsiye Edilen Parça Kalınlığı	0,85-3,8 mm
Akma Uzunluğu Oranı	150/1 mm
Geri Dönüşüm Oranı	% 100
Çekme Oranı	% 0,45

Çizelge 1.6. Genel Amaçlı Polistiren için Tavsiye edilen Ocak Sıcaklıkları (Taskıran, 2001).

Flanş	20-30 °C
1. Bölge	150-180 °C
2. Bölge	180-230 °C
3. Bölge	210-280 °C
4. Bölge	220-280 °C
Meme	210-280 °C

Aşağıdaki Çizelge 1.7 ise polistirenin ülkemizdeki tüketiminin yıllara göre miktarları verilmiştir.

Çizelge 1.7. Türkiye’ de Yıllara göre Tüketilen Polistiren Miktarları (Ton) (DPT, 2007)

	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
Polistiren	47.392	51.463	31.647	41.289	43.641	54.784	55.000

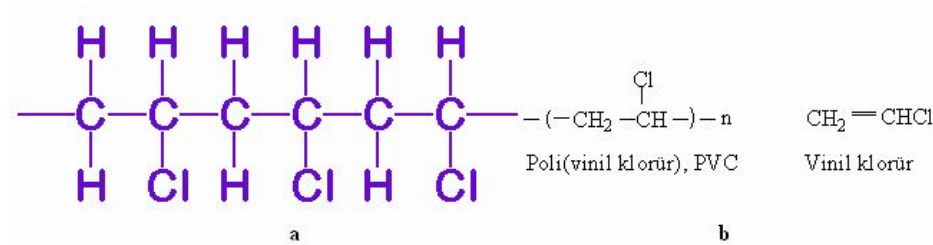
1.3.3.4. Polivinil Klorür (PVC)

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).



Şekil 1.12. Polivinil Klorürden İmal Edilmiş Ürünler (Ezdeşir, vd. , 1999).

PVC, vinil klorür monomerinden hazırlanan bir polimerdir.



Şekil 1.13. a) Polivinil Klorür Polimerinin Zincir Yapısı b)Polivinil Klorür ve Klorür

Monomeri

Özgöl 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 vd., 1999).

1.3.4. Dünya Geneline Plastik Sektörünün Durumu

Dünyada büyük bir pazarı bulunan plastik ve plastik ürünlerinin başlıca üretici ve tüketicileri Kuzey Amerika, Batı Avrupa ve Güneydoğu Asya ülkeleridir. 2003 yılında kişi başına plastik tüketiminde dünya ortalaması 28 kg olarak gerçekleşmiş olup, 2010 yılında 37 kg' a çıkması beklenmektedir (Plastic Europe, 2004).

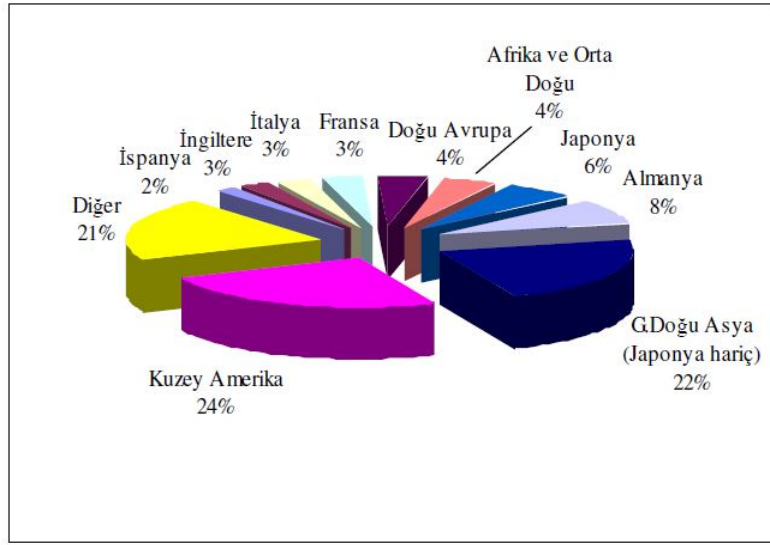
Çizelge 1.8. Bölgesel Bazda Dünya Plastik Malzeme Tüketimi (Plastic Europe, 2004).

	1990	2003	2010
Milyon Ton	86	176	250
Tüketimin % Dağılımı			
Afrika-Orta Doğu	4,0	6,0	5,5
Orta Avrupa	6	3,5	4
Latin Amerika	4	5,5	5,5
Japonya	12	6	5,5
Güney Asya	16,5	32,5	36
Kuzey Amerika	29	25	24
Batı Avrupa	28,5	22	19
Toplam	100	100	100

Çizelge 1.8'de görüldüğü üzere, Kuzey Amerika ve Batı Avrupa dünya toplam plastik tüketiminin yarısından fazlasını gerçekleştirmektedir. Kişi başına plastik tüketiminde 2003 yılı itibari ile Kuzey Amerika 104 ton ile ilk sırada yer alırken, Batı Avrupa 99 ton ve Japonya 85 ton ile onu takip etmektedirler. 2003 yılında dünya kişi başına plastik tüketimi 28 ton olarak gerçekleşmiştir. Yapılan projeksiyonlar 2010 yılında kişi başına plastik tüketimin 37 tona çıkacağını öngörürken, plastik tüketiminde önde olan ülkelerin konumlarını muhafaza edecekleri beklenmektedir (Plastic Europe, 2004). Tüketimi yönlendiren Kuzey Amerika, Japonya ve Batı Avrupa dünya plastik malzeme üretiminde de önemli bir noktadadır. Bu ülkelere ilave olarak Güney Doğu Asya ülkelerinin de plastik malzeme üretiminde ciddi bir pay sahibi oldukları görülmektedir. Afrika, Ortadoğu, Doğu Avrupa gibi ekonomik olarak nispeten geri kalmış ülkelerin

plastik tüketiminde olduğu kadar plastik malzeme üretiminde de ciddi bir pay sahibi olamamışlardır. Plastik ürünlerinin ana hammaddesi olan petrolün çıktığı ülkelerde bile plastik üretim ve tüketimi çok sınırlı düzeyde kalmaktadır (Eraslan, vd., 2007).

Avrupa'nın en büyük ikinci sektörü olarak ön plana çıkan kimya endüstrisinin alt kolu olan plastik sektöründe yaklaşık 1,1 milyon kişi çalışırken ancak 70 bin kişi plastik üretiminde çalışmaktadır. Plastik sektörü Batı Avrupa'da yıllık yaklaşık 130 milyon Euro ciroya ulaşmaktadır. Aynı zamanda, plastik imalatı sektörü yıllık yaklaşık 700 milyon Euro Ar-Ge harcaması yapmaktadır (Eraslan, vd., 2007).



Şekil 1.14. Dünya Plastik Üretiminin Ülkelere Göre Dağılımı (%) (Eraslan, vd., 2007).

1.3.5. Türkiye' de Plastik Sektörünün Genel Durumu

Türkiye'de plastik endüstrisinin geçmişi 1960 yılına yani ülkemizin sanayileşme yıllarına dayanmaktadır. En hızlı büyüyen pazarlardan biri olarak dikkat çeken plastik sektörünün sanayi üretimi, 7. Plan döneminde (1996-2000) yılda ortalama % 12,5 oranında artmıştır. İhracat artışı % 13,2, ithalat artışı ise % 14,9 olmuştur. Kişi başına toplam plastik tüketimi 1995 yılında 14 kg civarında iken 1999 yılı sonu itibariyle 30 kg' a ulaşmıştır. 1995 yılı itibariyle plastik işleme sektörünün kapasitesi 986.186 ton/yıl iken, 1999 yılı sonunda 2.630.580 ton/yıl' a ulaşmış; kapasite kullanımı 2001 yılında % 61,4 olarak gerçekleşmiştir. Plastik sanayi üretimi 2000 yılı itibariyle 1,900 milyar dolar seviyesinde gerçekleşmiştir. 2001 yılında plastik ürünleri ithalatı 570,6 milyon Amerikan Doları, ihracatı ise 478,7 Milyon Amerikan Doları olarak gerçekleşmiştir. Yılda 3,7 milyon ton işleme kapasitesi ile AB ülkeleri içinde 6. sırada bulunan plastik sektörü, 8. plan

döneminde yılda ortalama % 8 büyüme gerçekleştirerek GSMH (Gayri safi milli hasılat) ortalama büyüme hızının 2 katı düzeyinde performans göstermiştir. 2005 yılı sonunda 12,5 milyar dolarlık üretim değeri ile toplam GSMH içinde % 4 pay almıştır. 2005 yılında 1,7 milyar dolarlık doğrudan ve 3 milyar dolarlık dolaylı ihracat ile kimyasallar sektöründe birinci ihracatçı sektör konumundadır (PAGEV, 2005).

Plastik hammaddeleri ve mamul ürünlerin yer aldığı bu sektörde 2006 (Ocak-Nisan) döneminde, 2005 yılının aynı dönemine göre miktarda % 27, değerinde de % 19 oranında artışlarla 276 bin ton karşılığı 584 milyon dolarlık ihracat gerçekleşmiştir. Yine, plastik hammaddeleri ve mamul ürünlerinin 2006 (Ocak-Nisan) döneminde en fazla ihraç edildiği ülkeler arasında Rusya Federasyonu 42 milyon dolarla ilk sırada yer alırken, bu ülkeye yapılan söz konusu ürün ihracatında bir önceki yılın aynı dönemine göre % 20 oranında artış gözlenmiştir. İtalya 35,6 milyon dolarla ikinci (% 94 artış), Romanya 35 milyon dolarla (%15 artış) üçüncü sıradadır. Almanya (34,3 milyon dolar, % 5 artış), İngiltere (28,6 milyon dolar, % 5 artış), Ukrayna (27 milyon dolar, % 4 artış), Irak (25 milyon dolar, % 33 artış) ve Fransa (24 milyon dolar, % 42 artış) plastikler ve mamulleri ihracatının yapıldığı diğer önemli ülkeler olmuşlardır (DTM, 2006).

Sonuç olarak, sektörel gelişimi Türkiye’de 1960’lı yıllara kadar uzanan plastik sektörü, özellikle 80’li ve 90’lı yıllarda hızlı bir büyüme eğilimine girmiştir. Ancak, sektörün hem mikro hem de makro ölçekte vizyon ve stratejik planlama eksikliğinden dolayı bir daralma ile karşı karşıya kaldığı ve plansız büyümenin sancılarını yaşamaya başladığı görülmektedir. Özellikle, aynı işi yapan birçok firmanın sektörde faaliyet göstermesi çok şiddetli bir maliyet odaklı rekabete neden olmaktadır.

1.4. Köpük Ajan Türleri

Fiziksel ve kimyasal olmak üzere iki tür köpük ajanı mevcuttur. Fiziksel köpük ajanları fiziksel değişimler altında polimerlerin köpüklenmesi için gaz sağlar. Sıcaklık ve basınç altında eriyen polimer içerisinde bulunan sıvıların buharlaşma esnasında atmosferik basınca geçiş sırasındaki fark sonucu meydana gelir. Fiziksel köpük ajanları su, klorokarbonlar ve düşük buharlaşmaya sahip hidrokarbonlardır. Fiziksel köpük ajanları polietilen, polistiren plastiklerinin düşük yoğunluklu köpük üretiminde kullanılmaktadır. Bu düşük yoğunluklu köpüklerin iyileştirilmesi için yardımcı köpük ajanı olarak ise aseton kullanılmaktadır (Rhomie ve Heck, 1998).

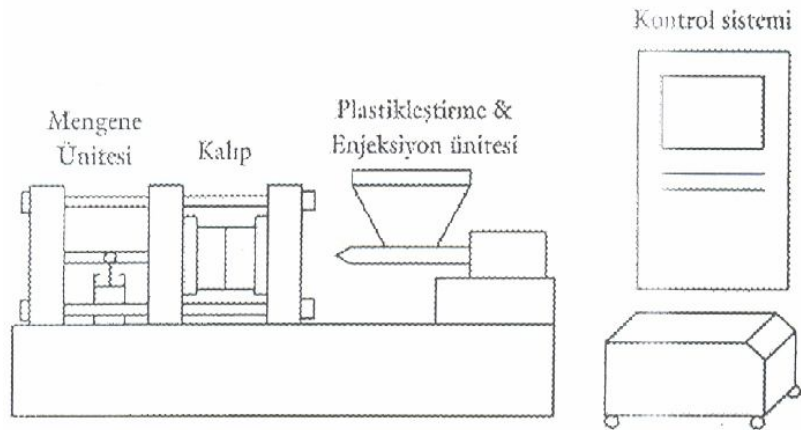
Kimyasal köpük ajanları ise kimyasal reaksiyon altında gaz veya gazların çıkışını sağlar. Polimerin köpüklenmesi sırasında bir veya birçok gaz çıkışıyla molekülün orijinal yapısı bozulur. Kimyasal köpük ajanlarının bozulması sıcaklıkla uyarılmış örneklerde kimyasal olarak başlamaktadır. Daima kimyasal köpük ajanları katıdır ve plastik üretim yönteminde özel olmayan depolanma ve taşınma ekipmanına ihtiyaç duyar. Kimyasal köpük ajanları kompozitlerin üretilmesinde fiilen içine katılarak köpüklendirme işlemine tabi tutulur (Rhomie ve Heck, 1998).

Sınıf olarak kimyasal köpük ajanları endotermik ve ekzotermik olmak üzere ikiye ayrılır. Basitçe açıklamak gerekirse endotermik; köpüklendirme işlemi sırasında dışarıdan ısı alırken, ekzotermik; köpüklendirme sırasında dışarıya ısı verir. Genellikle endotermik işlem sırasında büyük miktarda CO₂ gazı verirken, ekzotermik ise işlem sırasında nitrojen gazı verir, bazen ise dışarıya diğer gazların bileşimini verir. Nitrojen gazı CO₂ gazı ile kıyaslandığında malzemeden daha yavaş oranda çıktığından dolayı köpüklendirme miktarı daha verimli bir şekilde yapılabilir (Rhomie ve Heck, 1998).

Bu tez çalışmasında ekzotermik kimyasal köpük ajan türü olan azodikarbonamide kullanılmıştır.

1.5. Enjeksiyon Kalıplama Makinesinde Üretim

Enjeksiyon kalıplama makinesi, hammaddenin tek bir işlemle istenen şekilde kalıplanabilmesini sağlaması ve birçok durumda imal edilen ürün için son işlem uygulamaları gerektirmemesi, bu metodu seri mal üretimi için oldukça uygun bir hale getirmektedir.



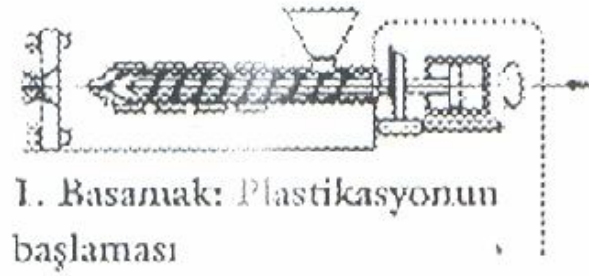
Şekil 1.15. Enjeksiyon Kalıplama Makinesi (Tuğ ve Haksever, 2005).

Bir enjeksiyon makinesinin başlıca komponentleri;

- Plastikasyon (plastikleştirme) ve enjeksiyon ünitesi
- Mengene ünitesi
- Kontrol sistemi
- Kalıp ve kalıp elemanları (kalıp ısı kontrol cihazları, sıcak yolluk ısı kontrol cihazları gibi) (Tuğ, 2005).

Enjeksiyon işlemi tam olara aşağıdaki basamaklardan oluşur;

1) Plastikasyonun Başlaması: Helezon döner bir yandan malzeme hunisinden ocağın (silindirin) içine plastik hammaddeyi alırken bir yandan da erimeye başlayan malzemeyi ocağa aldığı malzeme sayesinde ileri, meme boşluğuna doğru iter. Helezon bu işlemleri yaparken aksel olarak geriye doğru hareket eder.



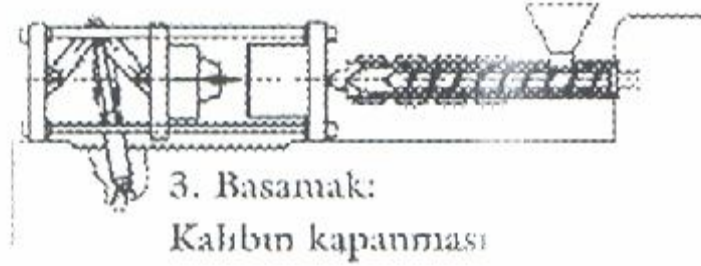
Şekil 1.16. Plastikasyonun Başlaması (Tuğ ve Haksever, 2005).

2) Plastikasyonun Bitmesi: Helezonun dönmesi durur. Memede artık enjeksiyon yapmaya yetecek kadar malzeme vardır.



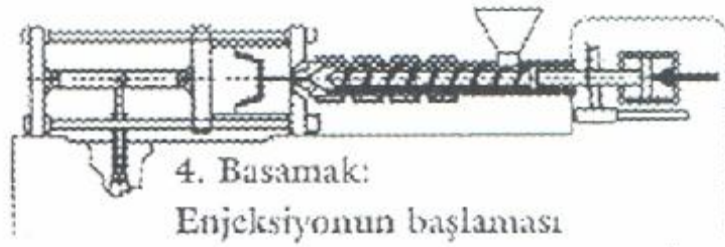
Şekil 1.17. Plastikasyonun Bitimi (Tuğ ve Haksever, 2005).

3) Kalıbın Kapanması: Mengene, kalıp parçaları tam olarak üst üste gelecek şekilde sıkıca kapatılır.



Şekil 1.18. Kalıbın Kapanması (Tuğ ve Haksever, 2005).

4) Enjeksiyon İşleminin Başlaması: Helezon dönmeden, aksenal olarak ileri hareketiyle eriyik malzemeyi kalıp boşluğuna doğru iter yani enjekte eder.



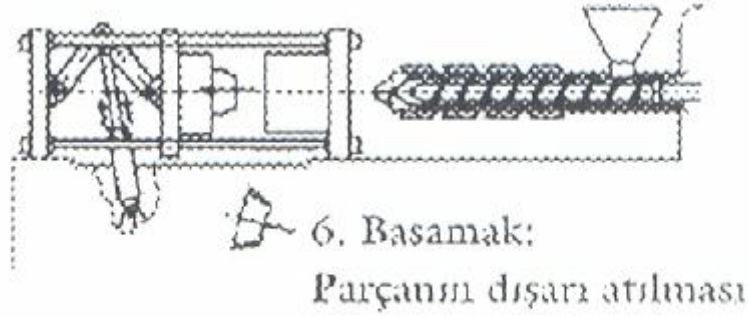
Şekil 1.19. Enjeksiyonun Başlaması (Tuğ ve Haksever, 2005).

5) Enjeksiyon Bitmesi ve Kalıbın içindeki Malzemenin Soğuması: Artık sıcak malzeme kalıp boşluklarını tam olarak doldurulmuş ve hemen soğumaya başlamıştır. Kalıba enjekte edilen sıcak mal daha düşük sıcaklıktaki kalıpla temas eder etmez soğumaya başlar ve çekme yapar yani büzülür. İşte malzemenin bu büzülmesini engellemek için biraz daha malzeme kalıba nakledilir (Ütüleme veya tutma basınçları safhası.). Ya da bu büzülmeyi engellemek için kalıba su girdisi ilavesi de yapılabilir.



Şekil 1.20. Enjeksiyon Bitimi ve Parçanın Soğuması (Tuğ ve Haksever, 2005).

6) Ürünün Kalıptan Dışarı Atılması: Kalıplanan malzeme yeterince soğuduktan sonra kalıp açılır ve ürün, itici denet sistem yardımıyla kalıptan dışarı atılır. Bu arada 2. basamak (plastikasyon) sona ermiş ve kalıp bir sonraki enjeksiyon için hazır hale gelmiştir.



Şekil 1.21. Ürünün Kalıptan Dışarı Atılması (Tuğ ve Haksever, 2005).

1.5.1. Enjeksiyon Yönteminin Avantajları

- Hızlı bir şekilde mal üretilmesi sağlama
- Yüksek hacimlerde mal üretilmesini sağlama
- Diğer işlemlere göre düşük maliyetli olma
- Otomasyona uygun olma
- Hemen hemen hiç son işlem gerektirmeme
- Çokça değişik yüzey, renk ve şekillerde mal üretilmesini sağlama

- Seri üretim imkanı olmayan çok küçük parçaların dahi seri üretimlerinin yapılabilmesi sağlama
- Malzeme kaybının çok az olmasını sağlama
- Aynı makinede ve aynı kalıpta farklı malzemelerin basılabilmesini sağlama
- Düşük toleranslarda çalışabilmesini sağlama
- Kalıba metal veya ametallerin eklenebilmesiyle mal basılabilmesini sağlama
- Plastik malzemeye asbest, talk, karbon gibi maddelerin eklenerek mal basılabilmesini sağlama
- Basılan malların iyi mekanik özelliklerine sahip olmasına neden olma (Ersan ve Tavman, 2006).

1.5.2. Enjeksiyon Yönteminin Dezavantajları

- Sektördeki yoğun rekabetten dolayı kâr marjının düşük olması
- Kalıp fiyatlarının pahalı olması
- Enjeksiyon makinelerinin ve yedek parçalarının pahalı olması
- İyi derecede işlem kontrolünün henüz tam anlamıyla sağlanamamış olması
- Malzeme kontrolünün makine tarafından direkt ve sürekli olarak yapılamaması
- Kalitede sürekliliğin tam olarak sağlanamaması (Ersan ve Tavman, 2006).

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Literatürde odun plastik kompozitlerin köpüklendirilmesi üzerine yapılmış birçok çalışma mevcuttur. Aşağıda bazıları verilmiştir.

Rızvı ve arkadaşları çalışmasında; lignoselülozik dolgu maddesi olarak iğne yapraklı ağaç odun türü olan Amerikan odun liflerini, polimer malzeme olarak polistren plastikleri kullanmışlardır. Köpük ajanı olarak fiziksel köpük ajanı olan Hydrocerol Compound (HC) kullanmışlardır. Bu hammaddeleri kullanarak ekstrüzyonda köpüklendirmeyi gerçekleştirmişlerdir. Çalışmasında yöntem sıcaklığının ve rutubet oranının köpüklendirmeye etkisini ve buna bağlı olarak hücre morfolojisi ve şişme oranını incelemişlerdir (Rızvı ve ark, 2000).

Matuana ve Mengeloğlu çalışmalarında; Polimer malzeme olarak polivinil klorik asit, odun unu olarak Amerikan odun liflerini, katkı maddesi olarak kalsiyum stearat, parafin wax, uyum sağlayıcı olarak aminosilani kullanmışlardır. Ekstuderde ürettikleri örnekleri basınç çemberinde köpüklendirmişlerdir. Köpüklenmiş örneklerde boşluklar oluşması sebebiyle yoğunluk azalmıştır. Ürettikleri örneklerle katılan uyum sağlayıcı sonucunda çapraz bağlanma meydana geldiğini tespit etmişlerdir (Matuana ve Mengeloğlu, 2001).

Xu ve arkadaşlarının çalışmasında polistiren ile yüksek yoğunluklu polietileni 100:0, 75.25, 50.50, 25.75, 0.100 oranlarında karıştırmışlardır. Daha sonra bu karışımlara % 30–40 oranında odun ununu eklemişler ve ekstruder yardımıyla üretimini gerçekleştirmişlerdir. Odun unun eklenmesiyle nihai gerilmenin ve elastikiyet modülünü arttırdığını gözlemlemişlerdir. Fakat polistren ile odun unu arasındaki bağın zayıf olduğunu belirtmişlerdir. Sünme hızının ise nihai gerilmenin % 50 doldurulmasıyla üç nokta geometrisine göre hesaplanmışlardır. Sünmenin, odun oranının arttırılmasıyla çok az azalttığını polistren oranının arttırılmasıyla (saf polistren hariç) önemli ölçüde arttığını gözlemlemişlerdir (Xu ve ark, 2001).

P. Rachtanapun ve arkadaşları; Bu çalışmalarında mikro hücreyle köpüklendirme yoluyla polietilen (HDPE)/ polipropilen (PP) karışımları ve odun lifi katkılı kompozitlerin üretimini ve köpüklendirilmesi işlemini gerçekleştirmişlerdir. Ürettikleri köpüklendirilmiş kompozitlerin yapı morfolojisini, boşluk oranını ve CO₂' i emme davranışını, kristalinite üzerine odun lifinin etkisinin yanında, batch işlem koşulları (köpüklendirme süresi ve

köpüklendirme sıcaklığını) ve karışım bileşiminin etkileri üzerine çalışmışlardır (Rachtanapun ve ark, 2003).

O. Li ve Matuana çalışmalarında; Polimer malzeme olarak polietileni (HDPE), lignoselülozik dolgu maddesi olarak akçaağaç (100 mesh) ve Amerikan odun lifini, uyumsağlayıcı olarak maleik anhidridle muamamele edilmiş polietileni kullanmışlardır. Köpük ajanı olarak ise üç tür endotermik (BIH40, Sodyum bikarbonat ve FP) ve üç tür ekzotermik (Celogen-OT, Celogen-AZNP ve EX210) köpük ajanlarını kullanmışlardır. Bu hammaddeler yardımıyla ekstruderde köpüklendirme işlemini gerçekleştirmişlerdir. Oluşan köpüklendirme oranını ise Arhimedes' in su ile yer değiştirme tekniğine göre belirlemişlerdir. Sonuç olarak ise; Kimyasal köpük ajan türlerinin ve şekillerinin hem saf HDPE(yüksek yoğunluklu polietilen) hem de HDPE/ odun unu kompozitlerini etkilemediğini ve gaz sınırlama limiti ile saf HDPE ve odun unu/HDPE kompozitlerinde gazın hücre boyutunu etkilediğini gözlemlemişlerdir. Ayrıca en yüksek kimyasal köpük ajanını (maksimum boşluk oranı) saf HDPE için %1, HDPE odun unu kompozitlerinde ise % 0,5 olarak belirlemişlerdir (Li ve Matuana, 2003).

G. Rızva ve arkadaşları çalışmalarında; Odun unu olarak iğne yapraklı ağaç türü olan çam'ı ve Amerikan odun liflerini, polimer malzeme olarak yüksek yoğunluklu polietileni (HDPE), kimyasal köpük ajanı olarak Celogen OT (ekzotermik)' yi, uyum sağlayıcı olarak maleik anhidridle muamele edilmiş polietileni (MAPE) kullanmışlardır. Seçtikleri lignoselülozik odun liflerinde % 4 ile % 8 rutubet oranını kullanmışlardır. Ekstrüzyonda köpüklendirmeyeyle ürettikleri örnekler üzerinde bu rutubet oranının şişme mekanizması üzerine etkisini incelemişlerdir. Sonuç olarak her iki rutubet oranında istenilen şişmeyi elde etmişlerdir. Fakat % 8' lik rutubette nemin fazla olmasından dolayı hücre çökmesi (kollaps) meydana gelmiştir. Bu yüzden hücre morfolojisi düzgün çıkmamıştır (Rızvı ve ark, 2003).

S. Doroudiani ve Kortschot' un yapmış olduğu çalışmada; Lignoselülozik dolgu maddesi olarak yapraklı ağaç odun lifini, polimer malzeme olarak polistreni köpük ajanı olarak fiziksel köpük ajanı olan ticari karbondioksit' i kullanmışlardır. Çalışmalarında odun plastik kompozitler üzerinde yöntem, yapı ve mekanik özellik arasındaki ilişkiyi araştırmışlardır. Ekstruder yoluyla ürettikleri örnekler üzerinde basıncın (köpüklendirme işleminde örneklere kapalı ortamda karbon dioksitin belli bir basınç verildiği basınç

G. Guo ve arkadaşları yapmış oldukları çalışmalarında; Lignoselülozik dolgu maddesi olarak iğne yapraklı ağaç türü olan Amerikan odun liflerini, polimer malzeme olarak yüksek yoğunluklu polietileni (HDPE), uyum sağlayıcı olarak E-MB-100D (Fusabond yapıştırıcı reçine)' yı, köpük ajanı olarak odun unu içerisindeki uçucu bileşiklerini kullanmışlardır. Ekstruder sıcaklığının etkisini incelemek için 140 °C, 145–170 °C, 175 °C sıcaklıklarını denemişlerdir. Bu işlem sıcaklıkları sonucunda görmüşlerdir ki sıcaklık arttıkça köpüklenme miktarı artmakta, yoğunluk azalmaktadır. Bunun nedeni ise sıcaklık miktarı arttıkça odun unundaki uçucu bileşiklerinin gaz halinde ki çıkışının artmasındandır. Çalışmaları sonucunda; Odun unun buharlaşmasından dolayı buharlaşmanın etkisini odun unu plastik kompozitlerin ekstrüzyon yönteminde tamamen önleyememişlerdir. Uçucuların köpük üzerine etkisini minimize etmek için ekstrüzyon sıcaklığının en fazla 170 °C olacağını belirtmişlerdir (Guo ve ark, 2004).

A. Bledzki ve arkadaşları çalışmalarında; Polimer malzeme olarak polipropilen ligoselülozik dolgu maddesi olarak keten lifi ve yapraklı ağaç odun ununu kullanmışlardır. Uyum sağlayıcı olarak MAH-PP (maleik anhidridle muamele edilmiş polipropilen), Kimyasal köpük ajanı olarak endotermik ve ekzotermik köpük ajanlarını kullanmışlardır. Deneysel çalışmalarında ürettikleri kompozitler üzerinde yoğunluk, hücre boyutu, eğilme ve çekme özelliklerini belirlemişlerdir. Maksimum hücre boyutlarını 10–50 μm arasında belirlemişlerdir. Köpüklendirilmiş kompozit ile köpüklendirilmemiş kompozit kıyaslandığında ve % 5 MAH-PP’ ında eklenmesiyle yoğunluk, 0,776 g/cm^3 ’ün yukarısında ve % 25–30 oranında azaldığını belirtmişlerdir. Köpüklendirilmiş kompozitlerde küçük boşlukların köpüklendirilmemiş kompozitlerdeki hacimdeki oranına

kıyasla % 0–20 oranında artmasıyla eğilme modülü % 10–15 oranında, eğilme direnci % 25 oranında azalmıştır. Yine boşluk oranında % 0–20 oranında artmasından dolayı çekme direnci ve çekmede elastikiyet modülü % 5–15 oranında azalmıştır (Bledzki ve ark, 2005).

A. Bledzki ve O. Faruk çalışmalarında; Lignoselülozik dolgu maddesi olarak iğne yapraklı ağaç odunu (Lignosel HBS 150–500), (150–500 µm çapında), polimer malzeme olarak polipropilen plastikleri, uyumlaştırıcı olarak maleik anhidridle muamele edilmiş polipropileni, kimyasal köpük ajanı olarak endotermik, ekzotermik, endotermik/ekzotermik’ leri kullanmışlardır. Enjeksiyon kalıplama yöntemiyle ürettikleri odunu polipropilen kompozitler üzerinde enjeksiyon parametrelerin (ön akış hızı, kalıp sıcaklığı, dolum miktarı), farklı kimyasal köpük ajanlarının, PP’ nin farklı türlerinin (melt flow index’ teki akış farklılığı) ve hücre morfolojisi (hücre boyutu, çapı ve mesafesi)’ ne etkisini incelemişlerdir. Sonuç olarak taramalı elektron mikroskopunda (SEM) örneklerin morfolojisini incelediklerinde en iyi sonucu ekzotermik köpük ajanı katılmış örneklerde elde etmişlerdir. Ayrıca en fazla yoğunluk azalması ekzotermik köpük ajanı katılmış örneklerde (%30 oranında ve 0,718 gr/cm³ olarak) gözlemlemişlerdir. Kalıp sıcaklığının 80–110 °C artmasıyla yüzey pürüzlülüğü % 70 oranında azalmıştır. Ayrıca MAPP’ ın eklenmesiyle köpüklenmiş örneklerin fiziko mekanik özellikleri % 80 oranında artmıştır (Bledzki ve Faruk, 2005).

A. Bledzki ve arkadaşları; Lignoselülozik dolgu maddesi olarak iğne yapraklı odun lifi, polimer malzeme olarak polipropilen ve köpük ajanı olarak ise endotermik kimyasalını kullanmışlardır. Enjeksiyon kalıplama makinesi ile örneklerin üretimini ve köpüklendirilmesini gerçekleştirmişlerdir. Enjeksiyon kalıplama makinesi sıcaklıklarının, hücre morfolojisi ve mekanik özellikleri (çekme, eğilme testi ve darbe testi) üzerine etkisini incelemişlerdir. Sonuç olarak ise 170–190 °C ve 160–180 °C’ de ince hücre yapısını gözlemlemişlerdir. İşlem sıcaklığının yukarısında ise mekanik özelliklerinin nispeten düştüğünü belirtmişlerdir (Bledzki ve ark, 2006).

A. Bledzki ve arkadaşları; Deneysel araştırmalarında kimyasal köpük ajanı kullanılarak polipropilen-odun lifi kompozitlerin enjeksiyon kalıplama yöntemiyle köpük üretimini gerçekleştirmişler ve bunlar da meydana gelen mikro hücre oluşumunu incelemişlerdir. Yoğunluk üzerine lif türlerinin (sert odun lifi (Lignosel HBS 150–500), yumuşak odun lifi (Lignosel BK 40–90)) ve farklı kimyasal köpük ajanlarının (endo/ekzotermik) etkisini incelemişlerdir. Köpüklendirilmiş PP odun lifi kompozitlerin

yüzey pürüzlülüğü ve hücre morfolojisi üzerine çalışmışlardır. Uyumlaştırıcı maleik anhidritle muamele edilmiş polipropilen kopolimer (MAH-PP) köpüklenmiş kompozitlerin mekanik özelliklerinin iyileştirmesi amacıyla kullanmışlardır. Sert odun lifi-PP kompozitlerin yoğunluğu ekzotermik kimyasal köpük ajanlarının kullanılmasıyla 0,741 gr/cm³ yukarısında ve % 30 oranında azalmıştır. Optik mikroskopta köpük ajanlarının hücre oranına ve boyutlarına etkisi görülmüştür. Kompozitlerin köpüklendirilmesiyle yüzey pürüzlülüğü, su alma, kalınlığına şişme ve yoğunlukları köpüklendirilmemiş kompozitlere kıyasla azalmıştır (Bledzki ve ark, 2006).

A. Bledzki ve O. Faruk çalışmasında; Polimer malzeme olarak polpropileni, lignoselülozik dolgu maddesi olarak yapraklı ağaç odun lifini (Lignosel HBS 150–500) (150–500 µm), uyum sağlayıcı olarak maleik anhidritle muamele edilmiş polipropilen ile KOH asitini (37–43 mg), kimyasal köpük ajanı olarak ekzotermik köpük ajanını (% 2–5 oranında) kullanmışlardır. Enjeksiyon yöntemiyle örneklerin üretimini gerçekleştirmişlerdir. Enjeksiyon kalıplama makinesinde işlem sıcaklığı 150–180 °C kalıp sıcaklığını 80–100 °C ve enjeksiyon basıncını 20 kN/ mm² olarak kullanmışlardır. Çalışmaları sonucunda mikroskoplar (Işık ve Sem mikroskobu) altında incelediklerinde % 2 köpük konsantrasyonunu ile diğer konsantrasyonlara sahip köpüklendirilmiş örnekleri kıyasladıklarında benzer ince hücre yapısına sahip olduklarını gözlemlemişlerdir. Mikro köpükten dolayı yoğunluk bütün köpük ajan katmanlarının azalmasıyla % 5 MAH-PP' lı, %30 odun unu konsantrasyonunda maksimum yoğunluk azalmasını 0,739 g/cm³ olarak belirlemişlerdir. MAH-PP' ın eklenmesiyle mikrohücreli odun lifi-PP kompozitlerin fiziko-mekanik özellikleri % 30 odun lifi konsantrasyonunda % 80' nin yukarısında iyileşmiştir (Bledzki ve Faruk, 2006).

R. Gosselin ve arkadaşları çalışmalarında; Lignoselülozik dolgu maddesi olarak sarı huş odun liflerini (425-1168 Mµ boyutlarında), polimer malzeme olarak polietilen/polipropileni (85:15 oranında karıştırılarak), köpük ajanı olarak azodikarbonamide' yi, uyum sağlayıcı olarak Maleik anhidridle muamele edilmiş polipropileni (MAPP) kullanmışlardır. Bu hammaddeler ile enjeksiyon kalıplama yöntemiyle odun plastik kompozitleri hem köpüklü hem de köpüksüz olarak üretimini gerçekleştirmişlerdir. Köpüklendirme sonucunda örneklerin yoğunluklarının azalmasıyla modüllerde azalma meydana geldiğini belirtmişlerdir. Bükülme ve burkulma modülleri için odun oranının artmasıyla bir artış olduğunu gözlemlemişlerdir. Çekme direncinin

maksimum değerini, % 20-30 odun unu konsantrasyonunda elde etmişlerdir. Kopmada uzama değerine bakıldığında odun unu oranı azaldıkça arttığını, örneklerin köpüklendirilmesiyle azaldığını belirlemişlerdir (Gosselin ve ark, 2006).

A. Bledzki ve O. Faruk alışmasında; Lignoselülozik dolgu maddesi olarak iğne yapraklı ağaç odun unu ve yapraklı ağaç odun unu (partikül boyutu 150–500 μm), iğne yapraklı ağaç ince odun unu (partikül boyutu 75–300 μm), yapraklı ağaç ince odun unu (partikül boyutu 180–300 μm)’nu kullanmışlardır. Polimerik malzeme olarak polipropileni (PP) kullanmışlardır. Ürettikleri örnekler üzerinde eğilme, çekme, yoğunluk ve hücre morfolojisini belirlemişlerdir. İğne yapraklı ağaç odun unu polipropilen kompozitlerin hücre morfolojisi incelendiğinde en yüksek hücre boyutu 50 μm olarak belirlemişlerdir. Yapraklı ağaç odun unu polipropilen kompozitlerin hücre morfolojisi incelendiğinde en yüksek hücre boyutu 100 μm olarak belirlemişlerdir. Yoğunluklarına bakıldığında köpüklendirmeye yoğunluğın düştüğünü gözlemlemişlerdir. En yüksek düşüşü iğne yapraklı ince odun lifli polipropilen kompozitlerinde % 25 olarak gözlemlemişlerdir. Mekanik özelliklerine bakıldığında köpüklendirilmemiş yapraklı ağaç odun lifi polipropilen kompozitlerin çekme direnci diğerlerine kıyasla daha yüksek olduğunu belirlemişlerdir. Köpüklendirmeye ekme direnci ve çekmede elastikiyet modülünün düştüğünü gözlemlemişlerdir. Eğilme direnci ve eğilmede elastikiyet modülünde benzer özellikler gösterdiğini belirtmişlerdir (Andrej ve Faruk, 2006).

M. Bengtsson ve K. Oksman çalışmalarında; yüksek yoğunluklu polietilen ile iğne yapraklı ağaç odun ununu ve uyum sağlayıcı ajan olarak silanı kullanmışlardır. Odun plastik kompozitlerde silanın oluşturduğu çapraz bağlanmayı incelemişlerdir. Dayanıklılık ve darbe direnci ve sürünme özelliklerini silanın eklenmesiyle iyileştiği gözlemlemişlerdir. Eğilme modülünde ise silanın oluşturduğu çapraz bağlanma nedeniyle silan eklenmeyen kompozitlere kıyasla daha yüksek değerde olduğunu gözlemlemişlerdir. Diferansiyel taramalı kalorimetrede silan ekli kompozitleri incelendiklerinde silan eklenmeyen kompozitlere kıyasla daha iyi kristalinite gösterdiğini belirtmişlerdir (Bengtsson ve Oksman, 2006).

O. Faruk ve arkadaşları çalışmalarında; Mikro yapılı odun lifi ile güçlendirilmiş polimer kompozitler üzerine farklı yöntemlerin (batch, enjeksiyon kalıplama, preste kalıplama işlemi) ve köpük ajanlarının etkisini incelemişler ve odun lifi polimer kompozitlerin köpüklendirilmesini gerçekleştirmişlerdir. Bu değerlendirilmeleri sonucunda

köpüklenmiş odun kompozitler köpüklenmemiş kompozitlere kıyasla daha iyi vida ve çivi tutma değerlerine sahip olmakta, ayrıca köpüklenme sonucu iç basınç oluşması sebebiyle daha iyi yüzey yaratma, malzemelerin daha keskin hatlara ve köşelere sahip olduğunu ileri sürmüşlerdir (Faruk ve ark, 2007).

M. Tajan ve arkadaşları; Deneysel olarak üretilen odun plastiğın önemli özelliklerini belirlemişlerdir. Örnekte Demir odunun %30 partikülü iki farklı katkı maddesi olarak geri dönüştürülmüş polipropilen köpüğü (RPPF), plastikleştirici gliserol ve uyumlaştırıcı olarak maleik anhidritle muamele edilmiş polipropilen (MAPP) homopolimerle karıştırılmıştır. Kompozitlerin ısı ve mekanik özelliklerinin, numunenin ilavesiyle analizi ve kıyaslamasını yapmışlardır. RPPF'le kıyaslandığında; Demir odun/RPPF kompozitleri yüksek erime ve kristalleşme sıcaklığına sahiptir, fakat kristallilik düzeyi düşürülmesiyle fazlasıyla düşmektedir. Onların ısı dengesi odun ununun bozunmasından dolayı RPPF' den daha düşüktür. Deneysel sonuçlarda odun ununun eklenmesiyle çekme modülünde artış gözlenmiştir, fakat kompozitlerin çekme direnci ve kopmada uzama değeri düşmüştür. Plastikleştirici ve uyumlaştırıcının kullanılması kompozitlerin ısı ve mekanik özellikleri üzerine etki ettiğı görülmüştür. Sonuçta belirlenen her iki gliserol ve MAPP' ın eklenmesiyle Demir odun unu ve RPPF' nin uyumluluğunu sağladığı, bu materyallerin özelliklerini iyileştirdiğini gözlemişlerdir (Tajan, 2008).

G. Guo ve arkadaşları deneysel çalışmalarında; Polimer olarak yüksek yoğunluklu polietileni (HDPE), ligoşelülozik dolgu maddesi olarak iğne yapraklı ağaç türü olan amerikan odun liflerini (75–125 µm, 150–250 µm ve 250–850 µm boyutlarında), uyum sağlayıcı olarak maleik anhidritli HDPE (ağırlıkça % 0 ve % 3 oranında)' yi, köpük ajanı olarak fiziksel köpük ajan türü olan karbondioksiti (CO₂) kullanmışlardır. Çalışmalarında odun unu partikül boyutunun ve uyum sağlayıcı oranın köpüklenme oranına, hücre boyutu ve viskoziteye etkisini incelemişlerdir. Ekstruder yoluyla köpükendirilmiş odun plastik kompozitleri üretmişlerdir. Viskozite üzerine odun boyutunun etkisine baktıklarında, odun partikül boyutu artıkça partiküller arasındaki hidrojen bağları da artacağına topaklanma meydana geleceğini ve bunun sonucunda viskozitenin azalacağını belirtmişlerdir. Uyum sağlayıcı oranı arttıkça odun ile plastik arasındaki bağları arttıracığından, uyum sağlayıcı oranı arttıkça viskozitenin artacağını belirtmişlerdir. Ayrıca inceledikleri farklı odun partikül boyutlarında yapılan köpüklenme sonucunda benzer yoğunluk azalması olduğunu

gözlemlemişlerdir. Hücre morfolojisi üzerine odun unu boyutunun etkisine baktıklarında en iyi hücre boyutunu ince odun unu boyutunda (75–125 µ boyutunda) 50 µm’ den daha az olarak gözlemlemişlerdir (Guo ve ark, 2008).

Mattaib ve arkadaşları çalışmalarında; polimer matriks olarak yüksek yoğunluklu polietileni, odun lifi olarak akasya lifleri ve alkali ile asetillendirilmiş akasya liflerini, uyum sağlayıcı olarak maleik anhidridle muamele edilmiş polietileni (MAPE) kullanmışlardır. Akasya liflerinin asetillendirilmesi ile çekme direncinin arttığını gözlemlemişlerdir. Hem akasya lifi hem de alkali ile asetillendirilmiş akasya lifli kompozitlere MAPE eklenmesiyle direnç özelliklerini iyileştirdiğini gözlemlemişlerdir. Su absorpsiyonu ise MAPE’ nin eklenmesiyle azalmıştır (Mattaib ve ark, 2010).

M. Poletto ve arkadaşları; Tek ve çift vidalı ekstruder yardımıyla termoplastik olarak geri kazanılmış genişletilmiş polistiren, (% 10, 20, 30 ve 40) oranlarında odun unu (Pinus elliottii) ve % 1, 2, 4 oranlarında uyum sağlayıcı ajanlar (kaplin ajanlar) kullanmışlardır. Odun unun eklenmesiyle saf polistirene kıyasla mekanik dirençler % 20 oranında azalmıştır. % 2 oranında uyum sağlayıcı ajanlarının eklenmesiyle polimer ile odun arasında bağ oluşturması sebebiyle eğilme ve darbe direncinin arttığını, % 2’ den daha fazla uyum sağlayıcı ajanlarının eklenmesiyle üretilen malzemenin mekanik direncini düşürdüğünü gözlemlemişlerdir (Poletto ve ark, 2011).

J. Zhang ve arkadaşları çalışmalarında; Polimer malzeme olarak yüksek yoğunluklu polietileni (HDPE), iğne yapraklı ağaç türü olan Amerikan odun liflerini, uyum sağlayıcı olarak maleik anhidritle muamele edilmiş polietileni (MAPE), yağlayıcı olarak TPW 113’ ü köpük ajanı olarak fiziksel köpük ajanı olan % 99,5 saflıktaki karbon dioksiti (CO₂) kullanmışlardır. Kullandıkları odun lifleri 125 mesh (125 mikron) ve 140 mesh (106 mikron) boyutlarındadır. Çift vidalı ekstruder yarımıyla köpüklendirilmiş kompozit üretimini gerçekleştirmişlerdir. Kullandıkları odun unu: HDPE oranı ise 10:90, 30:70, 50:50 olarak gerçekleştirmişlerdir. Çalışmalarında HDPE ve odun plastik köpüklerinin reolojik özellikleri, kristalizasyon davranışları ve hücre morfolojisi üzerine odun lifi konsantrasyonunun etkisini incelemişlerdir. HDPE içerisine odun liflerinin eklenmesiyle ortalama hücre boyutunun azaldığını, odun unu-HDPE ara yüzey arasında meydana gelen heterojen gaz köpük çekirdeklenmesinden dolayı hücre yoğunluğunun arttığını belirtmişlerdir. Ayrıca çok fazla odun unun eklenmesiyle odun plastik kompozitlerde erime ve gaz kaybının reolojik karakterinden dolayı ortalama hücre boyutunun ve hücre

yoğunluğunun azaldığını gözlemlemişlerdir. Örneklerini odun plastik kompozitleri safhasında difaransiyel taramalı kalorimetrede (DSC) incelediklerinde odun konsantrasyonunun artmasıyla kristalizasyon sıcaklığının çok az arttığını, HDPE' nin kristalinitesinin azaldığını belirtmişlerdir (Zhang ve ark, 2011).

3. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu kısım iki ana başlık altında değerlendirilmiş olup ilk kısımda tez çalışması kapsamında kullanılan dolgu maddeleri, plastikler ve katkı materyalleri tanıtılmıştır. İkinci kısımda ise odun-plastik kompozitlerin üretimi, köpüklendirilmesi, kompozit malzemelerin özelliklerinin belirlenmesinde kullanılan yöntemler ve bu amaçla kullanılan analizler anlatılmıştır.

3. 1. Materyal

3.1.1. Dolgu Maddeleri

Dolgu maddesi olarak kızılçam odunu talaşı ve buğday sapları kullanılmıştır. Dolgu maddesi olarak kullanılan kızılçam odun talaşları Kahramanmaraş'ta faaliyet gösteren kereste atölyelerinden satın alınmıştır. Kızılçam talaşlarının planya ve kalınlık makinesi yongalarından oluşmasına dikkat edilmiştir. Bu kompozit üretiminde kullanılacak olan odun unlarının homojenliği ve kabuk, çamur, taş ve aşındırıcı maddeler gibi artık maddeler içermemesine dikkat edilmiştir.

Bu tez çalışmasında kullanılan buğday sapları ise Kahramanmaraş bölgesinden temin edilmiştir. Bu amaçla çevre yerleşim birimlerindeki çiftçilerden satın alma yoluyla temin edilen buğday sapları kullanılmıştır.

3.1.2. Kullanılan Polimer

Bu tez çalışmasında Güçlü Plastik Elektrik Sanayi ve Ticaret LTD. ŞTİ.' den temin edilen polistirenin bir türü olan 7 TYPE 678 E LOT YE26 0804 JH HT kodlu kristal polistiren kullanılmıştır.

3.1.3. Kullanılan Katkı Maddesi

Bu tez çalışmasında katkı maddesi olarak Sigma Aldirich firmasından temin edilen maleik anhidritle muamele edilmiş stiren etilen bütlen (SEBS-MA) kullanılmıştır.

Çizelge 3.1. Katkı Maddesi (SEBS-MA)'nın Bazı Özellikleri

Melt İndex	21 gr/ 10 sn (230 °C/ 5,0 kg)
Maleik Anhidrit Bulunma Oranı	2%
Sertlik	75 (Shore A)
Viskozite	12,5 poise (% 15' lik toluen' de)
Yoğunluk	0,91 g/ ml (25 °C' de)
Kopmada Uzama	% 500 (ASTM D 412 göre)

3.1.4. Kullanılan Köpük Ajanı

Enjeksiyonda köpüklendirme işlemi için Tracel DB 170 kimyasal köpük ajanı kullanılmıştır. Bu köpük ajanına ait bilgiler ise aşağıdaki tabloda verilmiştir.

Çizelge 3.2. Ekzotermik (Tracel DB 170) Kimyasal Köpük Ajanlarının Özellikleri

Özellikler	Ekzotermik (Tracel DB 170)
Görünüş	Sarı Toz
Bozunma Sıcaklık Aralığı	≈200 °C

3.2. Yöntemler

3.2.1. Hammaddenin Hazırlanması

Bu tez çalışması kapsamında kullanılan hammaddelerden polimer (kristal polistiren), kimyasal köpük ajanı (Ekzotermik) ve maleik anhidritle muamele edilmiş stiren etilen bütlen (SEBS-Ma) üreticiden satın alındığı haliyle kullanıldıkları için aşağıda sadece lignoselülozik dolgu maddesinin üretime hazır hale getirilmesi açıklanmıştır.

3.2.1.1. Dolgu Maddelerinin Hazırlanması

Kahramanmaraş bölgesindeki çiftçilerden alınan buğday sapları ve Kahramanmaraş ilindeki kereste atölyelerinden temin edilen kızılçam odun talaşları kullanılarak bu çalışmadaki lignoselülozik hammadde ihtiyacı karşılanmıştır. Alınan kızılçam odun talaşları ve buğday sapları Şekil 3.1'de gösterilen öğütücü yardımıyla un haline getirilmiştir.



Şekil 3.1. Öğütücü Makinesi.

Üretilen malzemelerin performansları üzerinde dolgu maddelerinin boyutlarının etkili olması sebebiyle un halindeki lignoselülozik dolgu maddeleri sınıflandırmaya tabi tutulmuştur. Şekil 3.2’de gösterilen sarsak elek 20–40–60–80–100 ve 200’lük mesh gruplarına ayırma yeteneğine sahip beş elekten oluşmaktadır. Bu çalışmada 40 mesh’ ten alta geçen 60 mesh (0,250 mm) boyutundaki eleklerin üzerinde kalan lignoselülozik dolgu maddeleri kullanılmıştır.



Şekil 3.2. Sarsak Elek

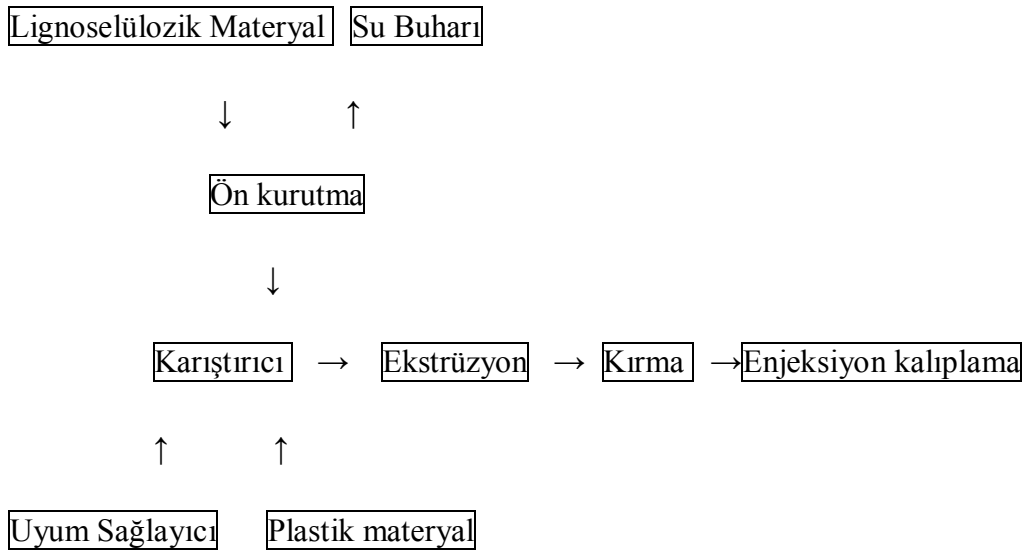
Sınıflandırılmış lignoselülozik dolgu maddeleri daha sonra 24 saatlik kurutma işlemine tabi tutulmuştur. Bu amaçla sıcaklık değerleri 103 ± 2 °C olacak şekilde ayarlanmış etüv kullanılmıştır. Polimer esaslı kompozit üretiminde lignoselülozik dolgu maddelerinin

kurutulmuş olarak kullanılması önemli bir yere sahiptir. Dolgu maddesi bünyesindeki fazla su üretim esnasında buhar kabarcıkların oluşmasına ve dolayısıyla performans kaybına sebep olabilmektedir.

3.2.2. Kompozitlerin Üretilmesi

Kompozitlerin üretimi; pelet (boncuk) üretilmesi ve kompozit veya kompozit köpüklerin üretimi olmak üzere iki aşamada gerçekleştirilmiştir.

Kompozit boncukların üretimi aşağıda verilen iş akış şemasına göre gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.3).



Şekil 3.3. Enjeksiyon-kalıplama yöntemiyle polimer esaslı kompozit üretimi öncesi boncuk üretimi iş akış şeması.

Kompozit boncukların üretimi beş (5) farklı aşama olarak düşünülebilir. Bunlar sırasıyla;

1. Lignoselülozik dolgu maddelerinin rutubeti 100 ± 3 °C sıcaklıkta 24 saat bekletilerek fırın kurusu haline getirilmiştir. Daha sonra hava almayacak şekilde paketlenerek üretime kadar saklanmıştır.
2. Üretim reçetesine bağlı olarak plastik matrisi (Kristal polistiren), lignoselülozik dolgu maddesi ve katkı maddesi yüksek devirli karıştırıcı (900–1000 devir/dak) (Şekil 3,4) kullanılarak homojen bir şekilde karıştırılmıştır.



Şekil 3.4. Polimer Kompozit Üretiminde Kullanılan Karıştırıcı

3. Oluşturulan homojen karışım ekstruder ağzından beslenmiş ve Ekstruder içerisindeki sıcaklık ve sürtünmenin etkisiyle bu karışımın eritilmesi ve bünyesindeki fazla rutubetin uzaklaştırılması sağlanmıştır. Ekstruder içerisinde farklı ısıtma zonları bulunmaktadır. Bu kısımlar plastiğin eritilmesi ve odun unu ve diğer katkı maddeleriyle homojen karışım haline gelmesini sağlamaktadır.



Şekil 3.5. Ekstruder’ de Üretim

4. Ekstruder içerisinde eritilmiş ve homojen karışım kalıba (die) doğru dakikada 45 devirlik vida hızı ile itilerek çıkan karışım su banyosunda soğutulmuştur (Şekil 3.5).
5. Soğutulan ekstruder çıktısı laboratuvarımızda bulunan kırıcı (Şekil 3.6) vasıtasıyla küçük boyutlu boncuklar haline dönüştürülmüştür.



Şekil 3.6. Kırıcıda Ekstruder Çıktısının Pelet Haline Getirme İşlemi

Ekstrüzyon işlemi sonrasında su banyosunda soğutulan ve kırıcı yardımıyla boncuk haline getirilen malzeme, su banyosunda kazanmış olduğu rutubeti buharlaştırmak amacıyla tekrar 100 ± 3 °C sıcaklıkta 24 saat bekletilerek fırın kurusu haline getirilmiştir. Kurutulan bu boncuklardan enjeksiyon-kalıplama yöntemiyle eğilme ve çekme örnekleri elde edilmiştir.

3.2.2.1. Enjeksiyon-Kalıplama Yöntemiyle Üretim

Enjeksiyon-kalıplama yöntemiyle üretimde ise Şekil 'da gösterilen Hürmak 88 XD model enjeksiyon makinesinde gerçekleştirilmiştir. Bu üretim esnasında 40 rpm vida hızı, 200-210-220 °C sıcaklıkları kullanılmıştır. Enjeksiyon basıncı 100 MPa ve enjeksiyon hızı 80 mm/sn olarak seçilmiştir.



Şekil 3.7. Enjeksiyon Makinesinde Köpüksüz ve Köpüklü olarak Eğilme ve Çekme Örneklerinin Üretilmesi

Köpüksüz örnekler enjeksiyon kalıplama makinesinde üretildikten sonra köpüklü kompozitlerin üretiminde aşağıdaki yol izlenmiştir.

Köpüklendirme işlemi de enjeksiyon makinesi içerisinde gerçekleştirilmiştir. Bölüm 3.2.2. 'de gösterilen boncuk üretimi sonrasında bu boncuklar % 2 oranında kimyasal köpük ajanı (azodicarbonamide) ile karıştırılmıştır. Bu karışım daha sonra enjeksiyon makinesinin ilk kısmında bulunan ocak içerisine boşaltılarak sıcaklığa maruz bırakılmıştır. Sıcaklığın etkisi ile plastik erimeye başlamış ve aynı zamanda köpük ajanları da bozunarak gaz oluşturmaya başlamıştır. Bu durumda ise ocak içerisinde gaz/polimer karışımı meydana getirilmiştir. Vidanın dönmesi ile bu karışım ocağın sonuna doğru itilmiştir. Buradaki gaz-polimer karışımı basınç yardımıyla enjeksiyon memesinden kalıbın içerisine doğru itilmiştir. Bu esnada kalıp içerisinde basıncın az olması dolayısıyla malzeme köpüklenmeye başlamış ve kalıbın içerisini doldurmuştur. Böylelikle de köpüklendirme işlemi gerçekleştirilmiştir. Daha sonra oluşturulan kompozit köpüklerin yoğunluk tayinleri ASTM D 792 standardına uygun olarak belirlenmiştir.

3.2.3. Üretilen Kompozitlerin Özelliklerinin Belirlenmesinde Kullanılan Testler

Tez çalışması kapsamında üretilen odun-plastik kompozitlerin (OPK) özgül ağırlıkları ve mekanik özellikleri (çekme, eğilme ve darbe direnci) belirlenmiştir.

3.2.3.1. Özgül Ağırlık Belirleme Testi

Tam kuru yoğunluğun belirlenmesinde ASTM D-792 (Metot A) (ANONİM, 2007) standardında belirtilen esaslara uyularak köpüklendirilmemiş gruplardan 5, köpüklendirilmiş gruplardan 10 adet deney numunesi kullanılmıştır. Örneklerin boyutları yaklaşık (5X20X20 mm) şeklindedir. Örneklerin ağırlıkları 0,01g duyarlılıktaki analitik terazi ile belirlenmiştir. Örneklerin ağırlıkları kuru ve düzenek yardımıyla 23 °C damıtılmış suya batırıldıktan sonra belirlenmiş ve özgül ağırlık (ÖA) aşağıdaki eşitlik (1) yardımıyla hesaplanmıştır.

$$\text{ÖA} = \frac{a}{[a + w) - b]} \quad (1)$$

Burada;

ÖA: Özgül ağırlık

a: Örnek ağırlığı (gr)

b: Suya batırıldıktan sonra örneğin ve batırma aparatının ağırlığı (kullanılan su dahil) (gr)

w: Batırma aparatının ağırlığı (kullanılan su dahil) (gr)

3.2.3.2. Su Alma Miktarı

192 saat su alma miktarının belirlenmesinde 4x16x30 mm ebatlarında 5 adet numune kullanılmıştır. Her deney parçası 0,0001 g duyarlıkta terazide tartıldıktan sonra içerisindeki suyun sıcaklığı 20 ± 1 °C olan su banyosuna numuneler birbirine değmeyecek şekilde su yüzeyinden 25 mm aşağıda olarak konulmuştur. Önce 2 saat sonra her 24 saate bir numuneler sudan dışarı alınıp bir bez ile fazla suyu alınmış ve bu durumdaki ağırlıkları 0,0001 g duyarlılıktaki terazide tartılmıştır. Kullanılan su her defasında değiştirilmiştir. Buna göre su alma miktarı aşağıdaki eşitlikte gösterilmiştir.

$$Gt = \frac{t_2 - t_1}{t_1} \times 100$$

Burada,

t_1 = Deney numunesinin suya daldırmadan önceki ağırlığı (g)

t_2 = Deney numunesinin suya daldırıldıktan sonraki ağırlığı (g)

3.2.3.3. Kalınlık Artımı

192 saat su içerisinde bekletilen numunelerin kalınlık artımlarının belirlenmesi için su alma deneylerinde kullanılan örneklerden yararlanılmıştır. Numunelerin tam ortasından $\pm 0,01$ mm duyarlılıkta kumpasla ölçülmüştür. Deney numuneleri 20 ± 1 °C sıcaklıkta temiz suda 24 saat süre ile su yüzeyinden 25 mm aşağıda tutulmuştur. Önce 2 saat sonra her 24 saate bir sudan çıkarılan numunelerin fazla suları bir bezle alınmış ve kalınlıklar ilk ölçüm noktasından tekrar ölçülmüştür. Bunlara göre kalınlık artışı eşitlikte gösterilmiştir.

$$K_a = \frac{m_y - e_k}{e_k} \times 100 (\%)$$

eşitliğinden hesaplanmıştır. Burada;

K_a = Kalınlık artımı (%)

m_y = suda bekletilen numunelerin kalınlığı (mm)

e_k = Deney numunesinin suya daldırmadan önceki kalınlığı (mm)

3.2.3.4. Mekanik Özellikleri Belirleme Testleri

Bu çalışmada üretilen polimer-kompozitlerin mekanik özellikleri “Malzemelerin Test Edilmesi için kullanılan Amerikan Standartları (ASTM)”na uygun olarak yapılmıştır. Polimer-kompozitlerin mekanik özelliklerinin belirlenmesi için yapılan testler ve kullanılan standartlar aşağıdaki gibidir;

1. Eğilme direnci testi (ASTM D 790) (ANONİM, 2003),
2. Çekme direnci testi (ASTM D 638) (ANONİM, 2001),
3. Darbe direnci testi (ASTM D 256) (ANONİM, 2000).

Eğilme direnci ve çekme direnci testleri Şekil 12’de gösterilen Zwick/Roell Z010 Universal Test Makinesi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Eğilme direnci ve eğilmede elastikiyet modülü değerlerinin belirlenmesi için 10 örnek test edilmiştir. Örnekler 5 mm kalınlığında, 13 mm genişliğinde ve 150 mm uzunluğunda olacak şekilde kesilmiştir. Deney numunelerinin boyutları 0,01 mm duyarlıkta ölçülerek belirlenmiştir. Deney parçasının yerleştirildiği silindirik mesnetlerin merkezleri arasındaki uzaklık 80 mm olarak ayarlanmıştır. Yük deney parçasının yüzeyine değişmez bir hızla yeknesak olarak yüklenmiş ve deney hızı 2 mm/dak olacak şekilde ayarlanmıştır. Kırılma anındaki kuvvet (P_{max}) okunup eğilme direnci (ED) aşağıdaki eşitliğe (2) göre hesaplanmıştır.

$$ED = \frac{3.P_{max}.L}{2.b.h^2} \quad (2)$$

Burada,

ED: Eğilme direnci (MPa)

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)

Elastiklik modülünün belirlenmesinde eğilme direnci numuneleri kullanılmıştır. Elastik deformasyon bölgesinde uygulanan kuvvet farkı (ΔF) ve örnekteki sehimlere ait

sonuçların aritmetik ortalamaları arasındaki fark (Δf) kullanılarak, elastiklik modülü (EM), aşağıdaki eşitlikten (3) yararlanılarak hesaplanmıştır.

$$EM = \frac{\Delta F \cdot L^3}{4 \cdot b \cdot h^3 \cdot \Delta f} \quad (3)$$

Burada,

EM: Elastikiyet modülü (MPa)

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

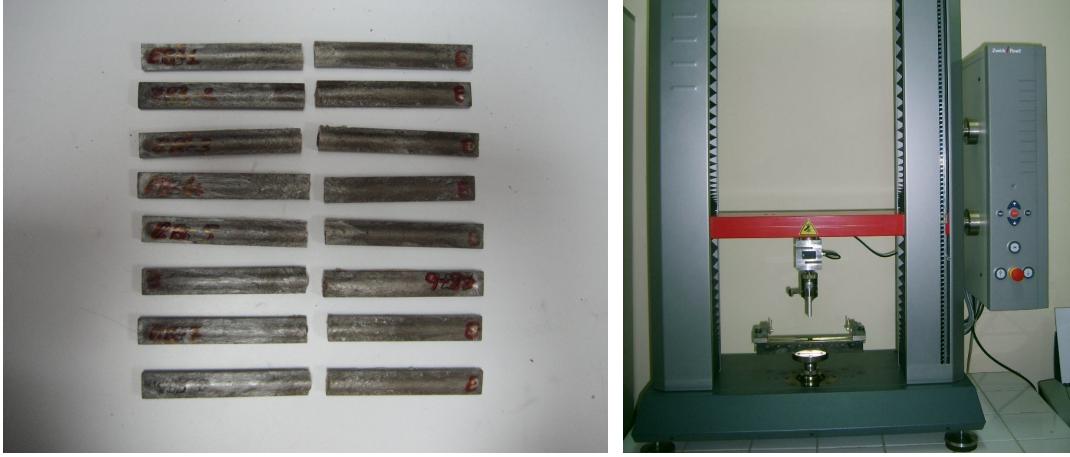
L: Dayanak noktaları arasındaki açıklık (mm)

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)





Şekil 3.8. Eğilme Testinden bir Görünüş.

Çekme direncinin tayini ASTM D638 (ANONİM, 2001)'e göre 5x18.6x165 mm boyutlarında köpüklendirilmemiş örneklerde 5 adet, köpüklendirilmiş örneklerde 10 adet numune kullanılarak, Zwick Roel universal test makinesinde (Z010) 5 mm/dak. test hızında gerçekleştirilmiştir. Deneyden önce, kuvvetin uygulandığı enine kesit alanı 0,01 duyarlıkta (axb) ölçülüp, kırılma anındaki maksimum kuvvet (Pmax) belirlenerek çekme dirençleri (ÇD) aşağıdaki eşitlikle (4) hesaplanmıştır.

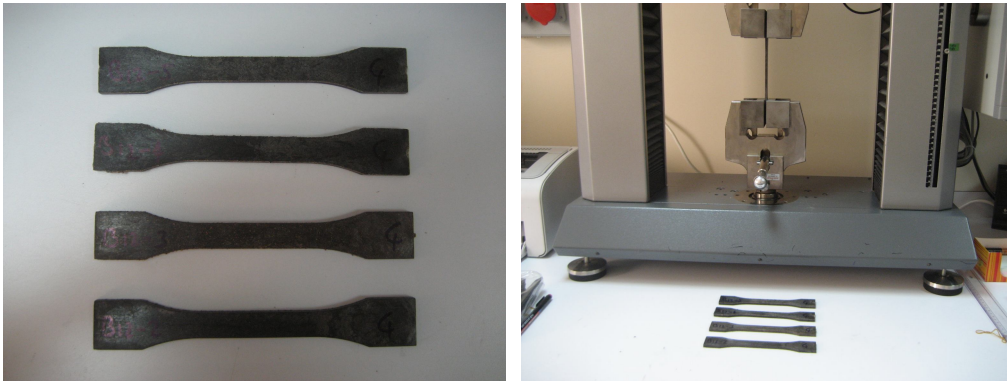
$$\text{ÇD} = \frac{P_{\max}}{a.b} \quad (4)$$

Burada;

ÇD: Çekme direnci (N/mm²)

Pmax = Maksimum yük (N)

a ve b = Deney parçasının enkesitsel boyutları (mm²)



Şekil 3.9. Çekme Testinden Bir Görünüş.

Darbe direncinin tayini köpüklendirilmemiş örneklerde 5 adet, köpüklendirilmiş örneklerde 10 adet numune kullanılarak, Zwick Roel universal test makinesinde (HIT5.5P) (Şekil 3.11) yapılmıştır. Test öncesi örnekler üzerinde Şekil 3.10'de gösterilen Polytest RayRan cihazı yardımıyla çentik açılmıştır. Deney numunelerinin 0,01 mm duyarlılıkta ölçüleri belirlenmiştir. Hazırlanan deney numuneleri darbe direnci test makinesine yerleştirilerek deneye başlanmış numunenin kırılması için gerekli enerji (Q) belirlenmiştir. Dinamik eğilme direnci (DE) aşağıdaki eşitliğe (5) göre hesaplanmıştır.

$$DE = \frac{Q}{b} \quad (5)$$

Burada;

DE= Dinamik eğilme direnci (J/m)

Q = Deney parçasının kırılması için gerekli enerji (j)

b = Deney parçasının radyal ve teğetsel yönlerdeki boyutları (m)



Şekil 3.10. Polytest Rayran Çentik Açma Aleti.



Şekil 3.11. Zwick/Roell HIT5.5P.

3.2.3.5. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) Analizi

Kompozit malzemelerle ilgili taramalı elektron mikroskobu (SEM) analizleri Jeol marka ve JSM 5000 model makine üzerinde gerçekleştirilmiştir. Analiz öncesinde, örnekler sert bir cisim yardımıyla kırılarak temiz bir kırık yüzey (fractured surface) elde edilmiştir. Daha sonra ise örneklerden SEM görüntüleri dijital ortamda elde edilerek CD'ye kopyalanmıştır.

3.2.4. Veri Analizi

Proje kapsamında üretilen deneme gruplarına ait her türlü veri analizleri Desing Expert® Version 7.0.3. İstatistik paket programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Faktörlerin etkilerini belirlemek amacıyla 2^2 Faktörlü dizayn analizi (ANOVA) testi uygulanmıştır. Ayrıca merkezi kompozit dizaynı (central composite design(CCD)) kullanılarak optimizasyon çalışmaları gerçekleştirilmiştir.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Bulgular ve tartışmalar kısmı üç ana başlık altında yazılmıştır. Birinci kısımda enjeksiyon kalıplama yöntemiyle üretilmiş kompozitler ve özellikleri anlatılırken ikinci kısım da aynı yöntemle üretilen kompozit köpüklerin özelliklerini verilmektedir. Üçüncü kısımda ise üretilen normal ve köpükendirilmiş kompozitlerin morfolojisi incelenmiştir.

4.1. Enjeksiyon Kalıplama Yöntemiyle Üretilmiş Lignoselülozik Dolgu Maddesi Katkılı Polistiren Esaslı Kompozitler ve Özellikleri

Lignoselülozik dolgu maddesi (odun unu ve buğday sapı unu) katkı ve polistiren (PS) esaslı kompozitler bir istatistik programı olan “Merkezi Kompozit Dizaynı (CCD) yardımıyla oluşturulan ve Çizelge 4.1’de gösterilen reçeteler yardımıyla enjeksiyon kalıplama yöntemiyle üretilmiştir. Bu dizayn da nümerik faktör olarak dolgu maddesi miktarı ve katkı maddesi miktarı kullanılırken kategorik faktör olarak dolgu maddesi tipi (odun unu veya buğday sapı unu) kullanılmıştır. Kızılçam odun unları kullanılarak üretilen kompozitler O grubu olarak adlandırılırken buğday sapı unları kullanılarak üretilen kompozitler B grubu olarak adlandırılmıştır.

Çizelge 4.1. Polistiren esaslı odun ve buğday sapı unu katkılı kompozitler için üretim

reçetesi

Grup no	Polistiren (PS)	Dolgu Maddesi (O ve B) Miktarı (%)	Katkı Maddesi (SEBS-MA) (%)
1	94,50	5	0,50
2	92,00	5	3,00
3	70,50	29	0,50
4	68,00	29	3,00

*O: Odun unu, B: Buğday sapı unu

Üretilen kompozitlerin fiziksel özelliklerinden yoğunlukları ile mekanik özelliklerinden çekme direnci, çekmede elastikiye modülü, kopmada uzama, eğilme direnci, eğilmede elastikiyet modülü ve darbe direnci değerleri ve morfolojileri belirlenmiştir.

4.1.1. Üretilen Kompozitlerin Yoğunlukları

Üretilen kompozitlerin yoğunlukları çekme, eğilme ve darbe direnci belirleme örnekleri üzerinden Bölüm 3.2.4’te belirtilen yöntemle göre tespit edilmiştir. Belirlenen bu yoğunluk değerlerinin ortalama ve standart sapmaları O ve B grupları olarak sırasıyla ile Çizelge 4.2 ve Çizelge 4.3’te verilmiştir.

Çizelge 4.2. O grubu kompozitlere ait yoğunluk değerleri

Grup No	Çekme Örnekleri Yoğunlukları (g/cm ³)	Eğilme Örnekleri Yoğunlukları (g/cm ³)	Darbe Örnekleri Yoğunlukları (g/cm ³)
O1	1,02 ¹ (0,01) ²	1,02 (0,01)	1,02 (0,01)
O2	1,04 (0,05)	1,02 (0,01)	1,01 (0,01)
O3	1,09 (0,02)	1,08 (0,01)	0,90 (0,05)
O4	1,04 (0,04)	1,06 (0,01)	1,03 (0,11)

¹Yoğunlukların aritmetik ortalamaları,

²Yoğunluk değerlerine ait standart sapmalar.

Çizelge 4.3. B grubu kompozitlere ait yoğunluk değerleri

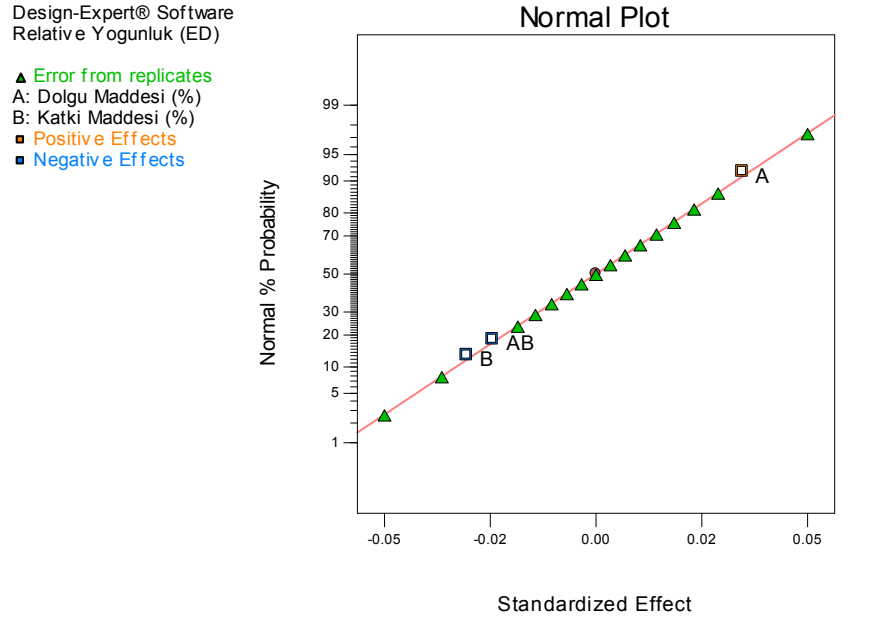
Grup No	Çekme Örnekleri Yoğunlukları (g/cm ³)	Eğilme Örnekleri Yoğunlukları (g/cm ³)	Darbe Örnekleri Yoğunlukları (g/cm ³)
B1	1,02 ¹ (0,01) ²	1,01 (0,01)	1,01 (0,00)
B2	1,00 (0,01)	0,99 (0,01)	1,00 (0,01)
B3	1,05 (0,06)	0,98 (0,15)	1,07 (0,02)
B4	1,06 (0,01)	1,03 (0,07)	0,99 (0,11)

¹Yoğunlukların aritmetik ortalamaları,

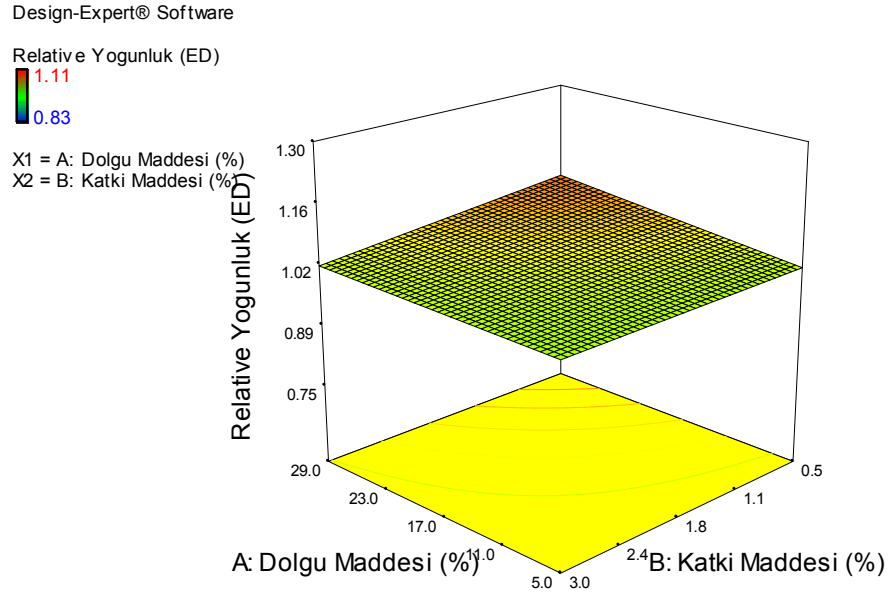
²Yoğunluk değerlerine ait standart sapmalar.

O grubu örneklerin yoğunluk değerleri 0,90–1,09 aralığında bulunurken B grubu örneklerin yoğunluk değerleri 0,91–1,09 arasında bulunmuştur. O grubuna ait sonuçlar incelendiğinde dolgu maddesi miktarındaki artışla yoğunluğun bir miktar arttığı ve yüksek dolgu maddesi oranlarında katkı maddesi oranındaki artışla yoğunluğun bir miktar azaldığı gözlemlenmiştir. Eğilme direnci örneklerinden elde edilen yoğunluklar üzerinde yapılan istatistiksel analiz sonucunda ise dolgu maddesi ve katkı maddesi miktarının istatistiksel olarak yoğunluk üzerinde etkili olmadığı tespit edilmiştir. Şekil 4.1’de tahmin edilen

değerlerle gözlenen değerler arasındaki farkı gösteren hata değerleri kullanılarak oluşturulan yarı normal olasılık dağılışı ve yoğunluk değerlerinin 3D grafiği verilmiştir.



(b)



(b)

Şekil 4.1. Odun Unu katkılı Polistiren Esaslı Kompozitlerin yoğunluk değerleriyle ilgili

a) Yarı Normal Olasılık Dağılımı ve b) 3D Grafiği

4.1.2. Enjeksiyon Kalıplama Yöntemiyle Üretilmiş Kompozitlerin Mekanik Özellikleri

Enjeksiyon kalıplama yöntemiyle üretilen kompozitlerin mekanik özellikleri (çekme direnci, çekmede elastikiyet modülü, kopmada uzama, eğilme direnci, eğilmede elastikiyet modülü ve darbe direnci) belirlenmiş ve bunlara ait aritmetik ortalamaları ve standart sapmaları O ve B grupları için sırasıyla Çizelge 4.4 ve Çizelge 4.5’de verilmiştir.

Çizelge 4.4. Köpüksüz Kızılçam Odun unu Katkılı ve Polistiren Esaslı Kompozitlere ait Mekanik Özellikler.

ID	Çekme Direnci (MPa)	Çekmede E. Modülü (MPa)	Kopmada Uzama (%)	Eğilme Direnci (MPa)	Eğilmede E. Modülü (MPa)	Darbe Direnci (J/m)
O1	30,47 (0,48) *	1288,03 (17,84)	3,31 (0,21)	64,60 (1,68)	2664,16 (41,28)	10,29 (1,55)
O2	25,08 (0,46)	1240,53 (41,06)	4,21 (0,36)	56,26 (0,44)	2554,52 (32,20)	10,21 (0,84)
O3	26,19 (1,44)	1473,37 (28,26)	2,42 (0,20)	53,83 (0,94)	3891,69 (52,50)	9,78 (1,02)
O4	20,92 (1,66)	1295,77 (81,51)	2,37 (0,13)	45,37 (1,05)	3361,03 (70,12)	15,62 (3,41)

*Parantez içerisindeki değerler standart sapmadır.

Çizelge 4.5. Köpüksüz Buğday Sapı unu Katkılı ve Polistiren Esaslı Kompozitlere ait Mekanik Özellikler.

ID	Çekme Direnci (MPa)	Çekmede E. Modülü (MPa)	Kopmada Uzama (%)	Eğilme Direnci (MPa)	Eğilmede E. Modülü (MPa)	Darbe Direnci (J/m)
B1	29,63 (0,50) *	1197,99 (63,12)	3,47 (0,32)	63,43 (2,07)	2663,82 (55,24)	12,88 (3,33)
B2	23,11 (0,36)	1191,98 (34,98)	4,35 (0,36)	52,71 (1,49)	2487,91 (107,64)	10,24 (2,97)
B3	23,75 (2,97)	1190,71 (60,83)	2,47 (0,36)	42,23 (10,33)	3355,01 (596,29)	16,66 (1,10)
B4	23,34 (1,11)	1318,10 (51,53)	2,65 (0,24)	42,79 (9,05)	3341,30 (1172,38)	17,44 (5,62)

*Parantez içerisindeki değerler standart sapmadır.

Yukarıdaki tablolarda her bir reçete için elde edilen sonuçların aritmetik ortalaması ve ortalama sonuçlar verilmesine rağmen buradan sonuçların değerlendirilmesini istatistik analiz yardımı olmadan tartışmak oldukça zor olmaktadır. Bu amaçla O ve B grupları için yapılan 2^2 Faktörlü dizayn analizi sonucunda araştırılan faktörlerin istatistiksel olarak önem düzeyi belirlenmiş ve araştırılan her bir mekanik özellik için etkileşim grafikleri oluşturulmuştur.

Çekme direnci değerleri için oluşturulan ANOVA tabloları Çizelge 4.6 ve Çizelge 4.7 verilmiştir. Bu sonuçlara göre hem O grubu hem de B grubu kompozitler için hammadde miktarı ve katkı maddesi miktarının çekme direnci üzerinde önemli düzeyde etkili olduğu görülmektedir. Ayrıca AxB faktörleri etkileşimi incelendiğinde O grubunda bir etki gözlemlenmezken ($P<0,9054$) B grubu kompozitlerde önemli oranda etkili olduğu ($P=0,0006$) tespit edilmiştir. Aşağıda çekme direnci değerleri için oluşturulan 3D etkileşim grafikleri verilmiştir (Şekil 4.2).

Çizelge 4.6. O Grubu Kompozitlerin Çekme Direnci Değerlerine ait ANOVA Tablosu

Kaynak	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Ortalamalar Karesi	F Değeri	P Değeri
Model	230,79	3	76,93	58,41	<0,0001
A: Dolgu Mad. Mik.	89,04	1	89,04	62,60	<0,0001
B: Katkı Mad. Mik.	141,72	1	141,72	107,60	<0,0001
AxB	0,019	1	0,019	0,015	0,9054
Hata	21,07	16	1,32		
Toplam	251,86	19			

Çizelge 4.7. B grubu kompozitlerin Çekme Direnci Değerlerine ait ANOVA Tablosu

Kaynak	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Ortalamalar Karesi	F Değeri	P Değeri
Model	146,48	3	48,83	18,72	<0,0001
A: Dolgu Mad. Mik.	39,85	1	39,85	15,28	0,0013
B: Katkı Mad. Mik.	60,03	1	60,03	23,02	0,0002
AxB	46,60	1	46,60	17,87	0,0006
Hata	41,73	16	2,61		
Toplam	188,21	19			

Etkileşim grafiğinde A eksenı dolgu maddesi miktarını, B eksenı katkı maddesi miktarını göstermektedir. İlk grafik odun unu kullanılarak üretilen kompozitlere ait iken ikinci grafik buğday sapı unu kullanılarak üretilen kompozitlere aittir.

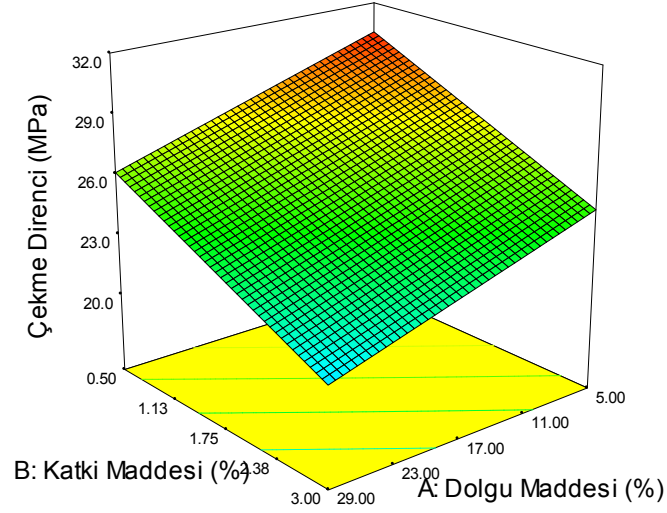
Design-Expert® Software

Çekme Direnci (MPa)



X1 = A: Dolgu Maddesi (%)

X2 = B: Katkı Maddesi (%)



(a)

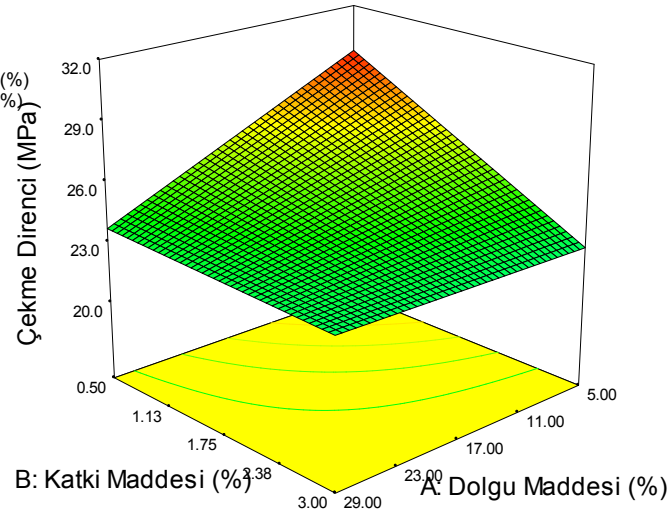
Design-Expert® Software

Çekme Direnci (MPa)



X1 = A: Dolgu Maddesi (%)

X2 = B: Katkı Maddesi (%)



(b)

Şekil 4.2. O (a) ve B (b) Grupları için Çekme Direnci Değerlerine ait Grafikler

Grafikler incelendiğinde odun unu ve buğday sapı unu katkılı kompozitlerin dolgu maddesi ve katkı maddesi miktarından etkilendiği görülmektedir. Dolgu maddesi miktarı arttıkça çekme direnci değerlerinde azalma meydana geldiği görülmektedir. Çekme direncindeki bu düşüş genelde dolgu maddesi ile polimer matrisi arasındaki uyumsuzluktan kaynaklanmaktadır. Benzer sonuçlar diğer polimerler içinde rapor edilmiştir (Xu ve ark, 2001; Mengeloğlu ve Karakuş 2008). Benzer şekilde katkı maddesi oranındaki artışında çekme direncin değerlerinde düşüşe sebep olduğu görülmüştür. Bu durumun katkı maddesinin polimer içerisinde homojen bir şekilde karışamamasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Genel anlamda O ve B grupları kıyaslandığında ise O grubu kompozitlerin bir miktar daha yüksek çekme direnci değerleri verdiği tespit edilmiştir.

Çekmede elastikiyet modülü değerleri için oluşturulan ANOVA tabloları Çizelge 4.8 ve Çizelge 4.9 verilmiştir. Bu sonuçlara göre hem O grubu hem de B grubu kompozitler için hammadde miktarı ve katkı maddesi miktarının çekmede elastikiyet modülü üzerinde önemli düzeyde etkili olduğu bulunmuştur. Ayrıca AxB faktörleri etkileşimi incelendiğinde AxB etkileşiminin hem O hem de B grubu kompozitlerde önemli oranda etkili olduğu tespit edilmiştir.

Çizelge 4.8. O Grubu Kompozitlerin Çekmede Elastikiyet Modülü Değerlerine ait

ANOVA Tablosu

Kaynak	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Ortalamalar Karesi	F Değeri	P Değeri
Model	1,568E+005	3	52281,01	22,14	<0,0001
A: Dolgu Mad. Mik.	72352,03	1	72352,03	30,64	<0,0001
B: Katkı Mad. Mik.	63334,14	1	63334,14	26,82	<0,0001
AxB	21156,86	1	21156,86	8,96	0,0086
Hata	37785,93	16	2361,62		
Toplam	1,946E+005	19			

Çizelge 4.9. B grubu kompozitlerin Çekmede Elastikiyet Modülü Değerlerine ait ANOVA

Tablosu

Kaynak	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Ortalamalar Karesi	F Değeri	P Değeri
Model	58313,20	3	19437,73	6,72	0,0038
A: Dolgu Mad. Mik.	17652,49	1	17652,49	6,11	0,0251
B: Katkı Mad. Mik.	18417,59	1	18417,59	6,37	0,0226
AxB	22243,12	1	22243,12	7,69	0,0136
Hata	46255,49	16	2890,97		
Toplam	1,046E+005	19			

Aşağıda ayrıca çekmede elastikiyet modülü değerleri için oluşturulan 3D etkileşim grafikleri verilmiştir (Şekil 4.3).

Design-Expert® Software

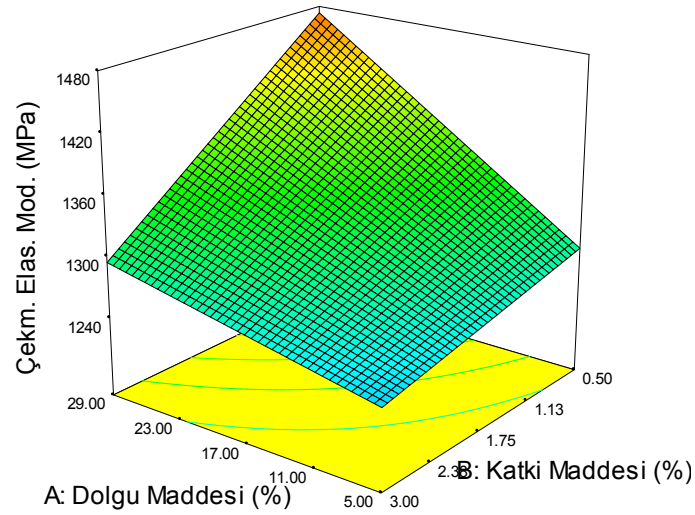
Çekm. Elas. Mod. (MPa)

1511.76

1167.05

X1 = A: Dolgu Maddesi (%)

X2 = B: Katkı Maddesi (%)



(a)

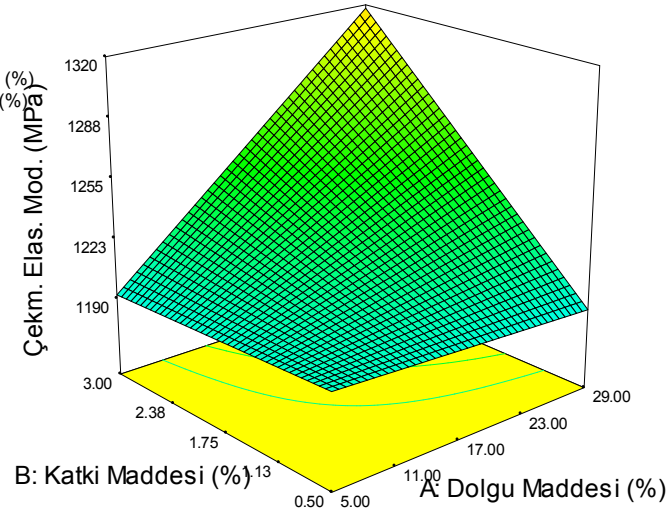
Design-Expert® Software

Çekm. Elas. Mod. (MPa)

1368.44
1121.17

X1 = A: Dolgu Maddesi (%)

X2 = B: Katkı Maddesi (%)



(b)

Şekil 4.3. O (a) ve B (b) Grupları için Çekmede Elastikiyet Modülü Değerlerine Ait Grafikler.

Çekmede elastikiyet modülü grafikleri incelendiğinde, bu değerlerin dolgu maddesi ve katkı maddesi miktarındaki artıştan etkilendiği görülmüştür. 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 (Jennifer and Xu, 2009). Katkı maddesi miktarındaki artışla ise kompozitlerin elastikiyet modülü değerlerinin azaldığı tespit edilmiştir. Bu durum katkı maddesinin içerisinde stiren-butadien yapısının bulunmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

Kopmada uzama değerleri için oluşturulan ANOVA tabloları Çizelge 4.10 ve Çizelge 4.11 verilmiştir. Bu sonuçlara göre hem O grubu hem de B grubu kompozitler için hammadde miktarı ve katkı maddesi miktarının kopmada uzama değerleri üzerinde önemli düzeyde etkili olduğu bulunmuştur. Ayrıca AxB faktörleri etkileşimi incelendiğinde AxB etkileşiminin hem O hem de B grubu kompozitlerde önemli oranda etkili olduğu tespit edilmiştir.

Çizelge 4.10. O Grubu Kompozitlerin Kopmada Uzama Değerlerine ait ANOVA Tablosu

Kaynak	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Ortalamalar Karesi	F Değeri	P Değeri
Model	11,39	3	3,80	66,08	<0,0001
A: Dolgu Mad. Mik.	9,37	1	9,37	163,06	<0,0001
B: Katkı Mad. Mik.	0,90	1	0,90	15,72	0,0011
AxB	1,12	1	1,12	19,47	0,0004
Hata	0,92	16	0,057		
Toplam	12,31	19			

Çizelge 4.11. B Grubu Kompozitlerin Kopmada Uzama Değerlerine ait ANOVA Tablosu

Kaynak	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Ortalamalar Karesi	F Değeri	P Değeri
Model	11,07	3	3,69	34,92	<0,0001
A: Dolgu Mad. Mik.	9,07	1	9,07	85,86	<0,0001
B: Katkı Mad. Mik.	1,41	1	1,41	13,34	0,0021
AxB	0,59	1	0,59	5,57	0,0313
Hata	1,69	16	0,11		
Toplam	12,76	19			

Kopmada uzama grafikleri incelendiğinde, bu değerlerin dolgu maddesi ve katkı maddesi miktarındaki artıştan etkilendiği görülmüştür. Dolgu maddesi miktarı arttıkça kopmada uzama değerlerinin azaldığı tespit edilmiştir. Bu durum lignoselülozik esaslı dolgu maddelerinin polimer matrisi içerisine katılmasıyla polimer matrisini daha kırılğan hale getirmesinden kaynaklanmaktadır . Katkı maddesi miktarındaki artışla kompozitlerin kopmada uzama değerlerinin katkı maddesinin içerisindeki stiren-etilen-butadien yapısı yardımıyla arttığı düşünülmektedir. Ancak bu artış düşük hammadde miktarı kullanılan kompozitlerde yüksek dolgu maddesi kullanılan kompozitlere kıyasla daha fazla olduğu bulunmuştur.

Şekil 4.4’ de kopmada uzama değerleri için oluşturulan 3D etkileşim grafikleri verilmiştir.

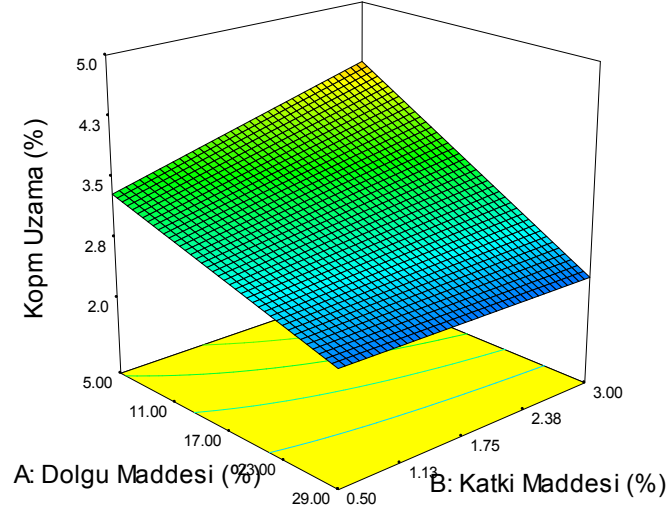
Design-Expert® Software

Kopm Uzama (%)



X1 = A: Dolgu Maddesi (%)

X2 = B: Katkı Maddesi (%)



(a)

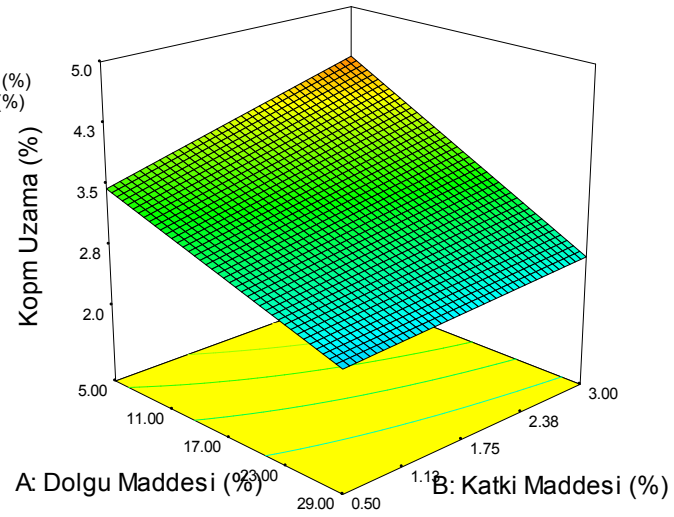
Design-Expert® Software

Kopm Uzama (%)



X1 = A: Dolgu Maddesi (%)

X2 = B: Katkı Maddesi (%)



(b)

Şekil 4.4. O (a) ve B (b) grupları için kopmada uzama değerlerine ait grafikler

Eğilme direnci değerleri için oluşturulan ANOVA tabloları Çizelge 4.12 ve Çizelge 4.13’ te verilmiştir. Bu sonuçlara göre O grubu kompozitler için hammadde miktarı ve katkı maddesi miktarının eğilme direnci üzerinde önemli düzeyde etkili iken B grubu kompozitlerde sadece dolgu maddesi miktarı önemli düzeyde etkili olmuştur.

Çizelge 4.12. O Grubu Kompozitlerin Eğilme Direnci Değerlerine ait ANOVA Tablosu

Kaynak	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Ortalamalar Karesi	F Değeri	P Değeri
Model	939,62	3	313,21	250,90	<0,0001
A: Dolgu Mad. Mik.	586,55	1	586,55	469,87	<0,0001
B: Katkı Mad. Mik.	353,05	1	353,05	282,82	<0,0001
AxB	0,017	1	0,017	0,014	0,0975
Hata	19,97	16	1,25		
Toplam	959,60	19			

Çizelge 4.13. B Grubu Kompozitlerin Eğilme Direnci Değerlerine ait ANOVA Tablosu

Kaynak	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Ortalamalar Karesi	F Değeri	P Değeri
Model	1498,40	3	499,47	10,23	0,0005
A: Dolgu Mad. Mik.	1210,41	1	1210,41	24,80	0,0001
B: Katkı Mad. Mik.	128,88	1	128,88	2,64	0,1237
AxB	159,10	1	159,10	3,26	0,0898
Hata	780,89	16	48,81		
Toplam	2279,29	19			

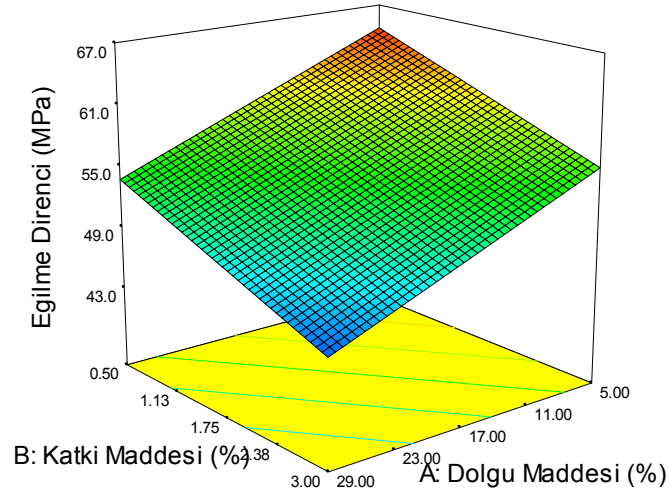
Şekil 4.5’ de eğilme direnci değerleri için oluşturulan 3D etkileşim grafikleri verilmiştir.

Design-Expert® Software

Eğilme Direnci (MPa)



X1 = A: Dolgu Maddesi (%)
X2 = B: Katkı Maddesi (%)



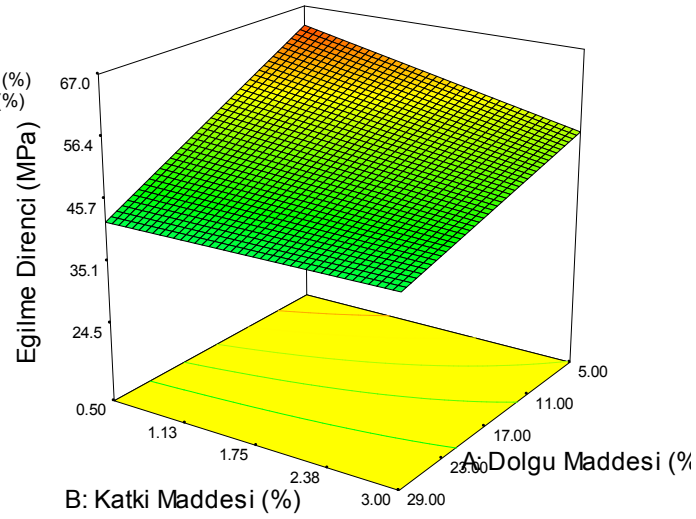
(a)

Design-Expert® Software

Eğilme Direnci (MPa)



X1 = A: Dolgu Maddesi (%)
X2 = B: Katkı Maddesi (%)



(b)

Şekil 4.5. O (a) ve B (b) Grupları için Eğilme Direnci Değerlerine ait Grafikler

Grafikler incelendiğinde O ve B grubu kompozitlerin dolgu maddesi miktarındaki artışla azaldığı tespit edilmiştir. Bu durumun genelde su itici yapıya sahip polimer ile suyu seven yapıya sahip lignoselülozik yapı arasındaki uyumsuzluktan kaynaklandığı rapor

edilmiştir (Xu ve ark, 2001; Mengeloğlu ve Karakuş 2008). Katkı maddesi miktarı incelendiğinde, bu değerlerin katkı maddesi miktarındaki artışla O grubu kompozitlerde istatistiksel olarak önemli düzeyde azalırken B grubu örneklerde bu azalma istatistiksel olarak önemli düzeyde bulunmamıştır.

Eğilmede elastikiyet modülü değerleri için oluşturulan ANOVA tabloları Çizelge 4.14 ve Çizelge 4.15’ te verilmiştir. Yapılan analiz sonucunda oluşturulan model B grubu için önemli düzeyde olmadığı için yorumlamalar sadece O grubu için yapılmıştır. Bu sonuçlara göre O grubu kompozitler için hammadde miktarı ve katkı maddesi miktarının çekmede elastikiyet modülü üzerinde önemli düzeyde etkili olduğu bulunmuştur. Ayrıca AxB faktörleri etkileşimi incelendiğinde AxB etkileşiminin de önemli oranda etkili olduğu tespit edilmiştir.

Çizelge 4.14. O Grubu Kompozitlerin Eğilmede Elastikiyet Modülü Değerlerine ait

ANOVA Tablosu

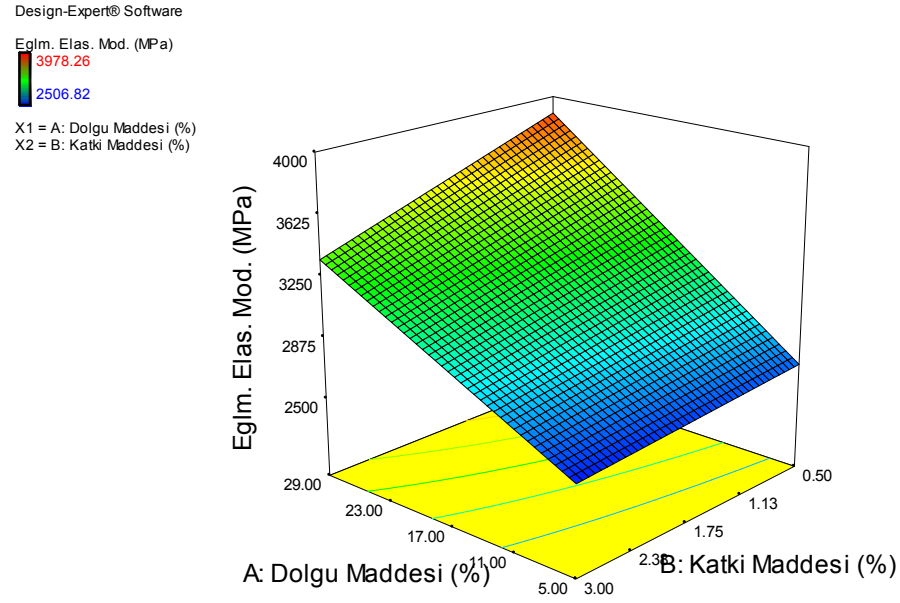
Kaynak	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Ortalamalar Karesi	F Değeri	P Değeri
Model	5,906E+006	3	1,969E+006	756,09	<0,0001
A: Dolgu Mad. Mik.	5,172E+006	1	5,172E+006	1986,34	<0,0001
B: Katkı Mad. Mik.	5,125E+005	1	5,125E+005	196,83	<0,0001
AxB	2,216E+005	1	2,216E+005	85,11	<0,0001
Hata	41657,31	16	2603,58		
Toplam	5,947E+006	19			

Çizelge 4.15. B grubu kompozitlerin Eğilmede Elastikiyet Modülü Değerlerine ait

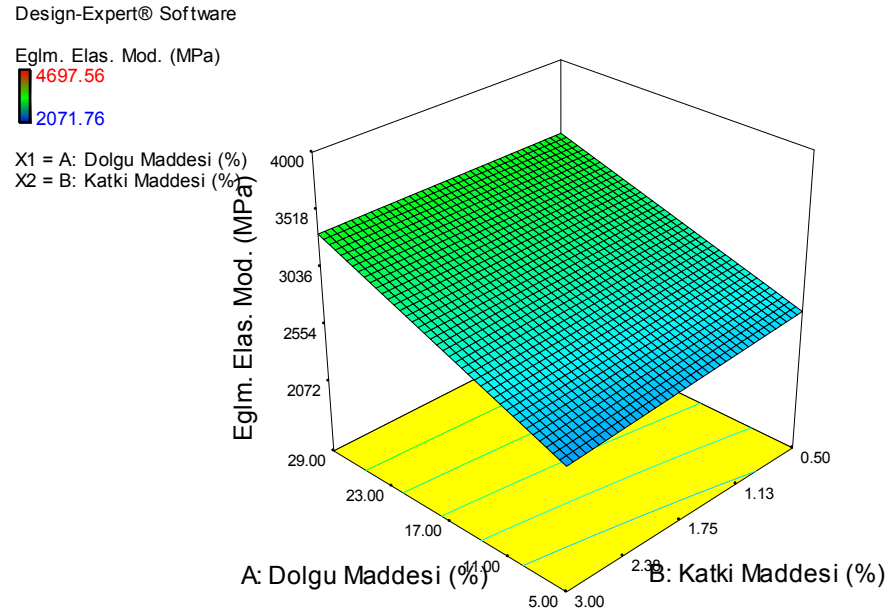
ANOVA Tablosu

Kaynak	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Ortalamalar Karesi	F Değeri	P Değeri
Model	3,060E+006	3	1,020E+006	2,34	0,1121
A: Dolgu Mad. Mik.	2,982E+006	1	2,982E+006	6,84	0,0188
B: Katkı Mad. Mik.	44948,47	1	44948,47	0,10	0,7524
AxB	32882,81	1	32882,81	0,075	0,7872
Hata	4,362E+005	16	4,362E+005		
Toplam	1,004E+007	19			

Aşağıda ayrıca eğilmede elastikiyet modülü değerleri için oluşturulan 3D etkileşim grafikleri verilmiştir (Şekil 4.6).



(a)



(b)

Şekil 4.6. O (a) ve B (b) Grupları için Eğilmede Elastikiyet Modülü Değerlerine ait

Grafikler.

Eğilmede elastikiyet modülü grafikleri incelendiğinde, bu değerlerin dolgu maddesi ve katkı maddesi miktarındaki artıştan etkilendiği görülmüştür. Dolgu maddesi miktarı arttıkça eğilmede elastikiyet modülü değerleri artmıştır. Bu durum lignoselülozik esaslı dolgu maddelerinin polimer matrisi içerisine katılmasıyla beklenen bir artış olup genelde karışım kuralı ile açıklanmaktadır (Mengeloğlu ve Karakuş, 2008). Katkı maddesi miktarındaki artışla ise kompozitlerin elastikiyet modülü değerlerinin azaldığı tespit edilmiştir. Bu azalma düşük dolgu maddesi oranlarında yüksek dolgu maddesi oranlarına göre daha az olmuştur.

Darbe direnci değerleri için oluşturulan ANOVA tabloları Çizelge 4.16 ve Çizelge 4.17 verilmiştir. Bu sonuçlara göre hem O grubu hem de B grubu kompozitler için hammadde miktarı ve katkı maddesi miktarının kopmada uzama değerleri üzerinde önemli düzeyde etkili olduğu bulunmuştur. Ayrıca AxB faktörleri etkileşimi incelendiğinde, AxB etkileşiminin O grubu için önemli düzeyde iken ($P=0,0051$) B grubu için önemli düzeyde olmadığı ($P=0,3251$) tespit edilmiştir.

Çizelge 4.16. O Grubu Kompozitlerin Darbe Direnci değerlerine ait ANOVA Tablosu

Kaynak	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Ortalamalar Karesi	F Değeri	P Değeri
Model	115,34	3	38,45	9,74	0,0007
A: Dolgu Mad. Mik.	29,94	1	29,94	7,59	0,0141
B: Katkı Mad. Mik.	41,44	1	41,44	10,50	0,0051
AxB	43,96	1	43,96	11,14	0,0042
Hata	63,15	16	3,95		
Toplam	178,49	19			

Çizelge 4.17. B grubu kompozitlerin darbe direnci değerlerine ait ANOVA Tablosu

Kaynak	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Ortalamalar Karesi	F Değeri	P Değeri
Model	164,83	3	54,94	4,19	0,0228
A: Dolgu Mad. Mik.	147,53	1	147,53	11,25	0,0040
B: Katkı Mad. Mik.	3,78	1	3,78	0,29	0,5985
AxB	13,51	1	13,51	1,03	0,3251
Hata	209,77	16	13,11		
Toplam	374,60	19			

Aşağıda darbe direnci değerleri için oluşturulan 3D etkileşim grafikleri verilmiştir (Şekil 4.7).

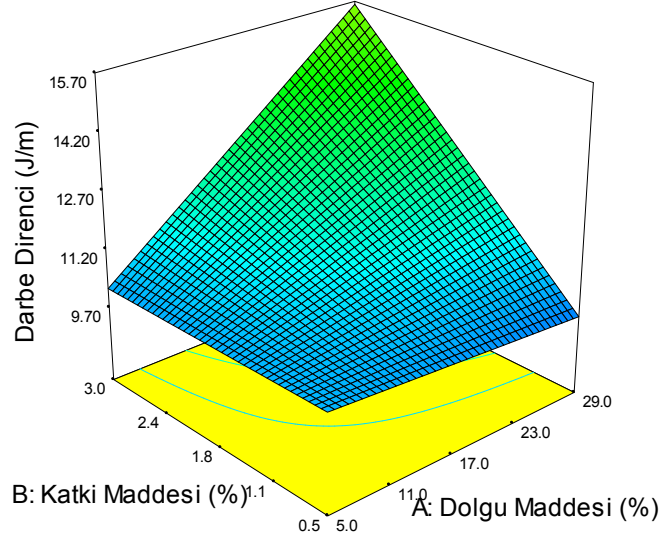
Design-Expert® Software

Darbe Direnci (J/m)



X1 = A: Dolgu Maddesi (%)

X2 = B: Katkı Maddesi (%)



(a)

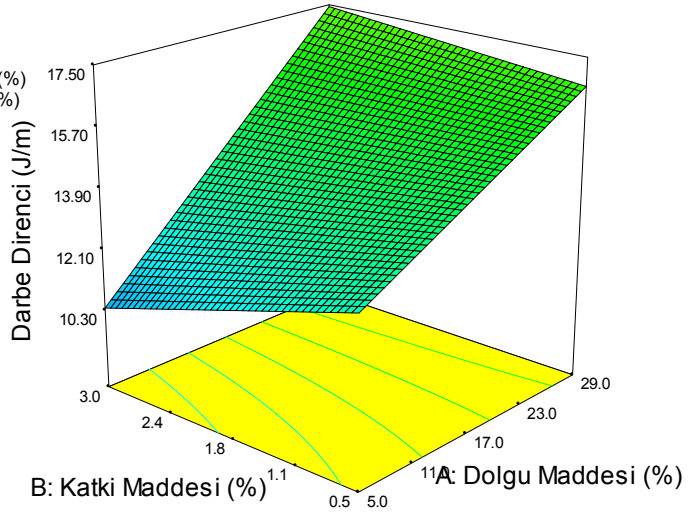
Design-Expert® Software

Darbe Direnci (J/m)



X1 = A: Dolgu Maddesi (%)

X2 = B: Katkı Maddesi (%)



(b)

Şekil 4.7. O (a) ve B (b) Grupları için Darbe Direnci Değerlerine Ait Grafikler

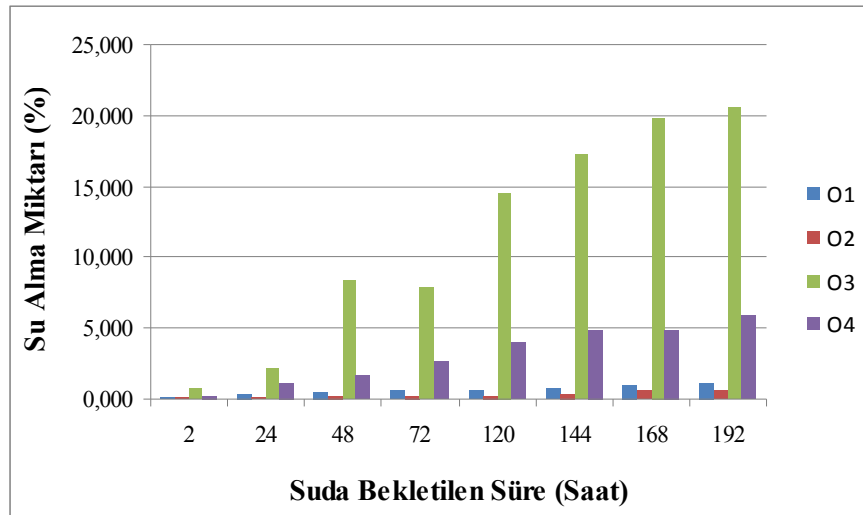
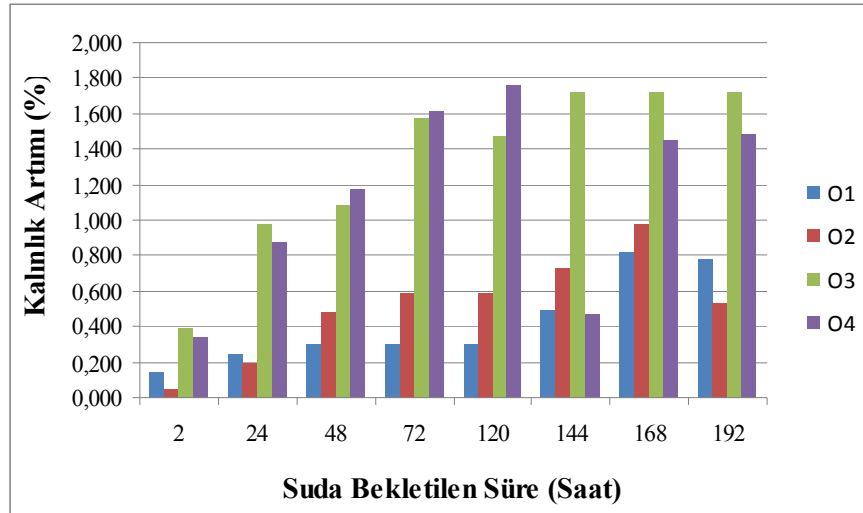
Darbe direnci grafikleri incelendiğinde, B grubu kompozitlerin O grubuna kıyasla nispeten daha iyi darbe direnci değerleri verdiği bulunmuştur. Dolgu maddesi miktarı arttıkça darbe direncinde bir miktar artış gözlemlenmiştir. Katkı maddesi miktarında ise % 3 kullanılan kompozitlerde bu değerleri olumlu yönde etkilediği tespit edilmiştir.

4.1.3. Odun unu ve Buğday Sapı Unu Katkılı Kompozitlerin Su Alma Özellikleri

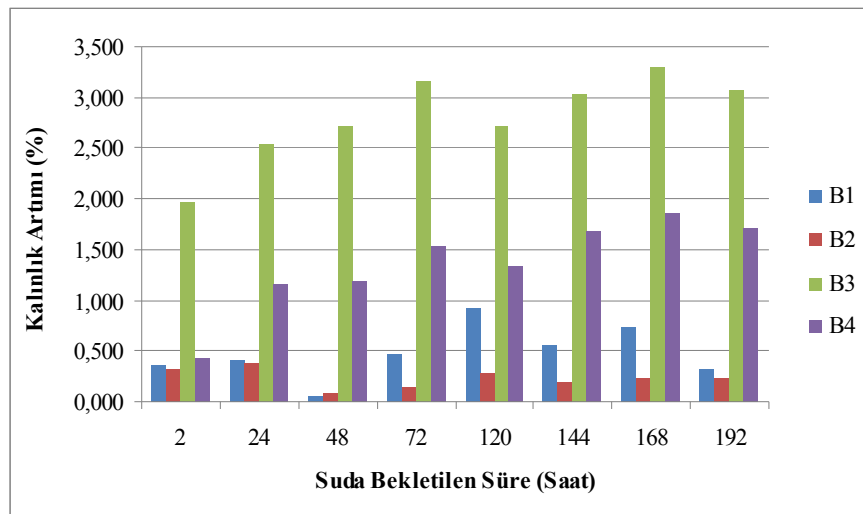
Odun unu ve buğday sapı unu katkılı kompozitlerin kalınlık artımı ve su alma miktarları incelenmiştir. Sonuçlar Şekil 4.8–4.9’de gösterilmiştir. O1 grubu içerisinde %5 odun unu ve %0,5 SEBS-Ma olan örnekleri gösterirken O2 grubu aynı miktarda odun unu ancak %3 SEBS-Ma içeren örnekleri göstermektedir. O3 ve O4 ise içerisinde %29 odun unu olan ve O1 ve O2 deki sırayla SEBS-Ma içeren örnekleri göstermektedir. Buğday sapı ile üretilen levhalar ise aynı oranlarda kullanılmış olup B ile gösterilmiştir.

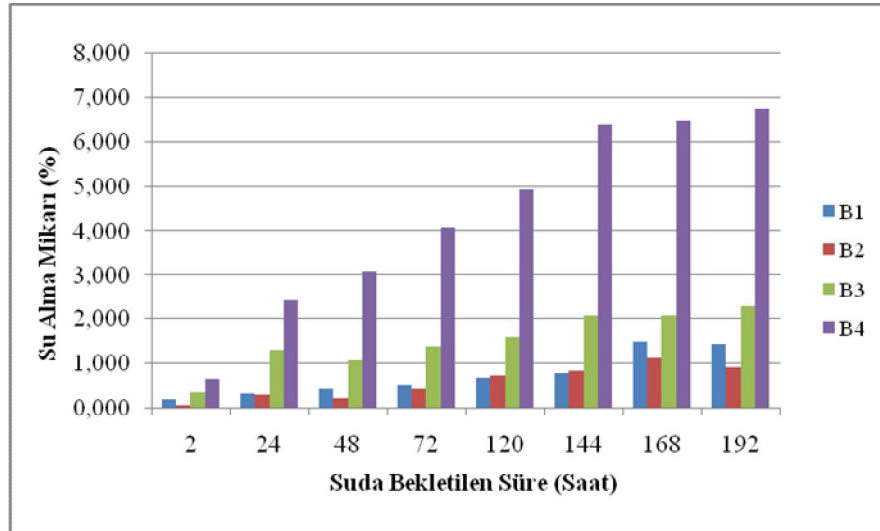
Kalınlık artımı ve su alma değerleri incelendiğinde en büyük farklılığın %5 dolgu maddesi içeren örneklerle %29 dolgu maddesi içeren örnekler arasında olduğu gözlemlenmektedir. Polimer kendi başına sınırlı miktarda su alma ve kalınlık artımı potansiyeline sahiptir. Diğer taraftan dolgu maddeleri ise lignoselülozik maddeler olduğu için higroskopik yapıdadırlar ve bulundukları ortamın nem durumuna göre su alıp verme özelliklerine sahiptirler. Örneklerin kalınlık artımı ve su alma özellikleri arasındaki farklılık bundan kaynaklanmaktadır.

Şekiller incelendiğinde gözlemlene bilen bir diğer farklılık ise SEBS-Ma oranındaki artışla bazı örneklerde daha düşük su alma ve kalınlık artımı değerlerinin tespit edilmesi olmuştur. Bu durum genelde dolgu maddesi ile polimer arasında daha iyi bir bağlanmanın olduğu durumlarda gözlemlenebilmektedir. Bu durumda suyun örnek içerisine girmek için kullanmış olduğu boşluklar azalmaktadır. Ancak mekanik özellikler üzerinde yapılan çalışmalarda dolgu maddesi ile polimer arasında bir uyumlaşmanın gerçekleştirildiğine dair bulgulara rastlanamamıştır. Dikkate alınması gereken bir diğer konu ise üretimin enjeksiyon kalıplama makinesinde yapılması ve üretilen örneklerin en geniş kısmının 13 mm olmasıdır. Bu durumda test için kesilen örnekler genelde 4mmx16mmx30mm boyutlarında olmuştur. Çoğunlukla polimer kompozitlerde su alma ve kalınlık artımı örneklerin kenarlardan giren suyun etkisi ile olduğundan bu küçük örnekler üzerinde yapılan çalışmada daha yüksek sonuçlar bulunmuş olabilmektedir.



Şekil 4.8. Odun Unu Katkılı Kompozitlerin Su Alma Özellikleri





Şekil 4.9. Buğday Sapı Unu Katkılı Kompozitlerin Su Alma Özellikleri

4.2. Köpüklendirilmiş Odun Unu ve Buğday Sapı Unu Katkılı Kompozitler ve Özellikleri

Lignoselülozik dolgu maddesi (odun unu ve buğday sapı unu) katkı polistiren (PS) esaslı köpüklendirilmiş kompozitler Bölüm 4.1. de gösterilen Çizelge 4.1'deki reçetelere göre yüzde (%) 2 oranında kimyasal köpük ajanı katılarak enjeksiyon kalıplama yöntemiyle üretilmiştir. Kızılçam odun unları kullanılarak üretilen kompozitler O grubu olarak adlandırılırken buğday sapı unları kullanılarak üretilen kompozitler B grubu olarak adlandırılmıştır.

Üretilen kompozitlerin fiziksel özelliklerinden yoğunlukları ile mekanik özelliklerinden eğilme direnci, eğilmede elastikiyet modülü ve darbe direnci değerleri ve morfolojik özellikleri belirlenmiştir.

4.2.1. Köpüklendirilmiş Odun unu ve Buğday Sapı Unu Katkılı Kompozitlerin

Yoğunlukları

Üretilen kompozitlerin yoğunlukları çekme, eğilme ve darbe direnci belirleme örnekleri üzerinden Bölüm 3.2.4'te belirtilen yöntemle tespit edilmiştir. Belirlenen bu yoğunluk değerlerinin ortalama ve standart sapmaları O ve B grupları olarak sırasıyla ile Çizelge 4.18 ve Çizelge 4.19'te verilmiştir.

Çizelge 4.18. O Grubu Köpüklendirilmiş Kompozitlere ait Yoğunluk Değerleri

Grup No	Eğilme Örnekleri Yoğunlukları (g/cm ³)	Darbe Örnekleri Yoğunlukları (g/cm ³)
O1	0,72 ¹ (0,05) ²	0,70 (0,07)
O2	0,75 (0,02)	0,74 (0,03)
O3	0,75 (0,04)	0,83 (0,06)
O4	0,80 (0,03)	0,87 (0,05)

¹Yoğunlukların aritmetik ortalamaları,

²Yoğunluk değerlerine ait standart sapmalar.

Çizelge 4.19. B Grubu Köpüklendirilmiş Kompozitlere Ait Yoğunluk Değerleri

Grup No	Eğilme Örnekleri Yoğunlukları (g/cm ³)	Darbe Örnekleri Yoğunlukları (g/cm ³)
B1	0,74 ¹ (0,07) ²	0,78 (0,05)
B2	0,73 (0,02)	0,77 (0,03)
B3	0,84 (0,11)	0,84 (0,08)
B4	0,88 (0,03)	0,81 (0,03)

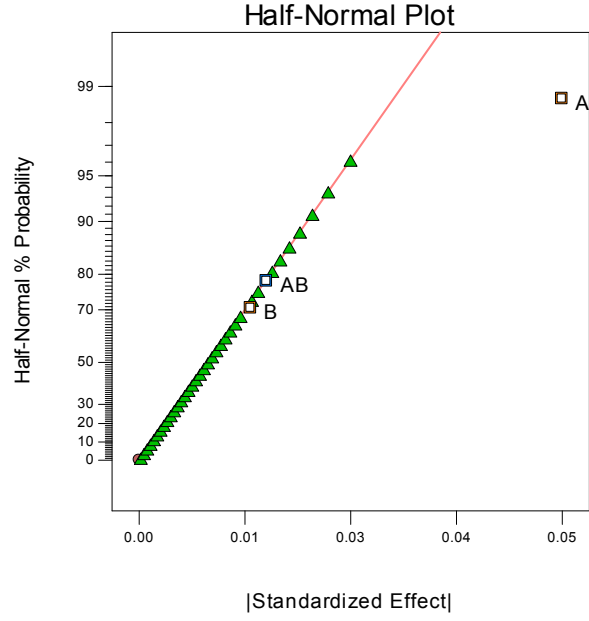
¹Yoğunlukların aritmetik ortalamaları,

²Yoğunluk değerlerine ait standart sapmalar.

O grubu örneklerin yoğunluk değerleri 0,70-0,87 aralığında bulunurken B grubu örneklerin yoğunluk değerleri 0,73-0,88 arasında bulunmuştur. Eğilme direnci örneklerinden elde edilen yoğunluklar üzerinde yapılan istatistiksel analiz sonucunda dolgu maddesi miktarının istatistiksel olarak yoğunluk üzerinde etkili olduğu tespit edilmiştir. Şekil 4.8 ve Şekil 4.9 'da O ve B grubu kompozitler için tahmin edilen değerlerle gözlenen değerler arasındaki farkı gösteren hata değerleri kullanılarak oluşturulan yarı normal olasılık dağılışı ve yoğunluk değerlerinin 3D grafiği verilmiştir.

Design-Expert® Software
Relative Yoğunluk (ED)

▲ Error from replicates
A: Dolgu Maddesi (%)
B: Katkı Maddesi (%)
■ Positive Effects
■ Negative Effects



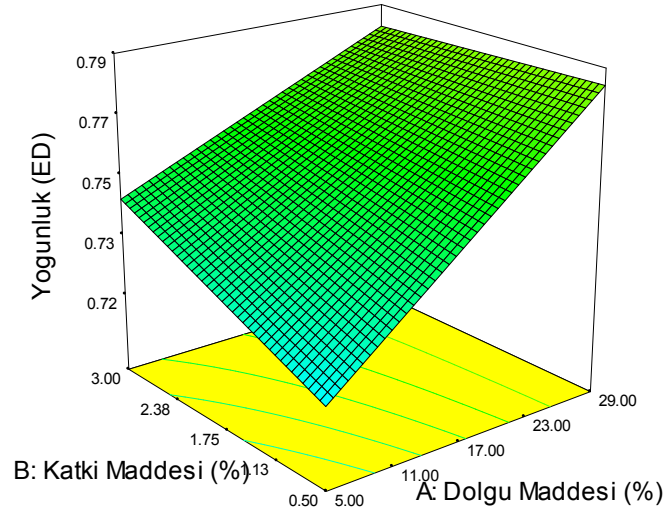
(a)

Design-Expert® Software

Relative Yoğunluk (ED)

0.85
0.67

X1 = A: Dolgu Maddesi (%)
X2 = B: Katkı Maddesi (%)

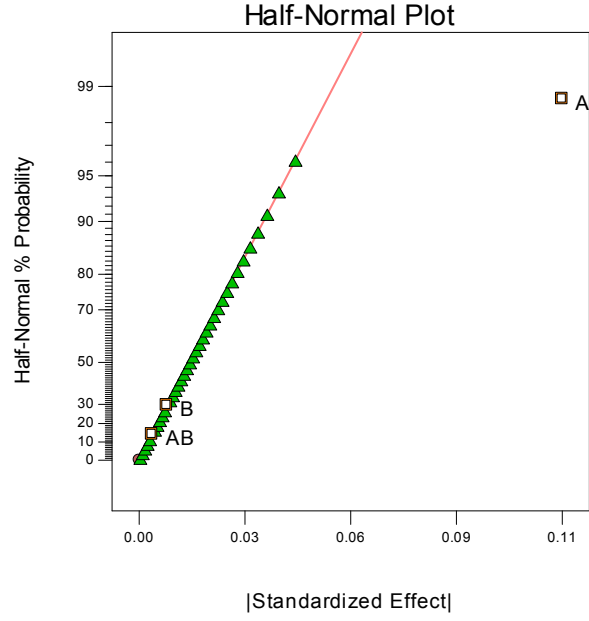


(b)

Şekil 4.10. Odun Unu katkılı Polistiren Esaslı Köpüklendirilmiş Kompozitlerin Yoğunluk Değerleriyle İlgili a) Yarı Normal Olasılık Dağılımı ve b) 3D Grafiği.

Design-Expert® Software
Relative Yoğunluk (DD)

▲ Error from replicates
A: Dolgu Maddesi (%)
B: Katkı Maddesi (%)
■ Positive Effects
■ Negative Effects



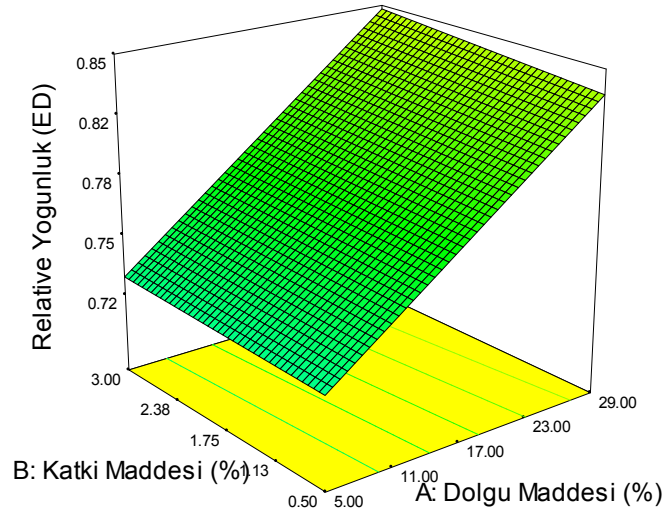
(a)

Design-Expert® Software

Relative Yoğunluk (ED)

0.96
0.59

X1 = A: Dolgu Maddesi (%)
X2 = B: Katkı Maddesi (%)



(b)

Şekil 4.11. Buğday Sapı Unu katkılı Polistiren Esaslı Köpüklendirilmiş Kompozitlerin Yoğunluk Değerleriyle İlgili a) Yarı Normal Olasılık Dağılımı ve b) 3D Grafiği.

4.2.2. Köpüklendirilmiş Odun Unu ve Buğday Sapı Unu Katkılı Kompozitlerin Mekanik Özellikleri

Enjeksiyon kalıplama yöntemiyle üretilen köpüklendirilmiş kompozitlerin mekanik özellikleri (eğilme direnci, eğilmede elastikiyet modülü ve darbe direnci) belirlenmiş ve bunlara ait aritmetik ortalamaları ve standart sapmaları O ve B grupları için sırasıyla Çizelge ve Çizelge 'de verilmiştir.

Çizelge 4.20. Köpüklü Kızılçam Odun Unu Katkılı ve Polistiren Esaslı Kompozitlere ait Mekanik Özellikler.

Özellikler	O1	O2	O3	O4
Eğilme Direnci (MPa)	28,04 (2,70)	23,19 (2,85)	21,08 (2,57)	22,22 (3,35)
Eğilmede E. Modülü (MPa)	793,50 (79,56)	786,99 (119,84)	1210,84 (143,20)	1323,08 (192,74)
Darbe Direnci (J/m)	6,57 (0,45)	10,15 (3,05)	11,75 (1,32)	12,22 (1,45)

Çizelge 4.21. Köpüklü Buğday Sapı unu Katkılı ve Polistiren Esaslı Kompozitlere ait Mekanik Özellikler.

Özellikler	B1	B2	B3	B4
Eğilme Direnci (MPa)	25,20 (6,56)	23,80 (2,29)	21,70 (5,42)	21,58 (3,38)
Eğilmede E. Modülü (MPa)	1147,22 (422,26)	850,64 (162,43)	1411,84 (619,28)	1459,59 (290,78)
Darbe Direnci (J/m)	8,75 (1,67)	9,68 (2,95)	10,94 (1,83)	13,47 (3,34)

(Parantez içerisindeki değerler standart sapmadır.)

Yukarıdaki tablolarda her bir reçete için elde edilen sonuçların aritmetik ortalaması ve ortalama sonuçlar verilmesine rağmen buradan sonuçların değerlendirilmesini istatistik analiz yardımı olmadan tartışmak oldukça zor olmaktadır. Bu amaçla O ve B grupları için yapılan 2^2 Faktörlü dizayn analizi sonucunda araştırılan faktörlerin istatistiksel olarak önem düzeyi belirlenmiş ve araştırılan her bir mekanik özellik için etkileşim grafikleri oluşturulmuştur.

Köpüklendirilmiş kompozitlerin eğilme direnci değerleri için oluşturulan ANOVA tabloları Çizelge 4.22 ve Çizelge 4.23 verilmiştir. Bu sonuçlara göre O grubu kompozitler hammadde miktarı ve katkı maddesi miktarından istatistiksel olarak önemli düzeyde etkilenmiştir. B grubu örneklerde meydana gelen azalma istatistiksel olarak önemli düzeyde bulunmamıştır.

Çizelge 4.22. Köpüklendirilmiş O Grubu Kompozitlerin Eğilme Direnci

Değerlerine ait ANOVA Tablosu

Kaynak	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Ortalamalar Karesi	F Değeri	P Değeri
Model	281,93	3	93,98	11,32	<0,0001
A: Dolgu Mad. Mik.	157,49	1	157,49	18,97	0,0001
B: Katkı Mad. Mik.	34,65	1	34,65	4,17	0,0484
AxB	89,79	1	89,79	10,82	0,0023
Hata	298,86	36	8,30		
Toplam	580,79	39			

Çizelge 4.23. Köpüklendirilmiş B grubu kompozitlerin Eğilme Direnci Değerlerine ait

ANOVA Tablosu

Kaynak	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Ortalamalar Karesi	F Değeri	P Değeri
Model	91,67	3	30,56	1,37	0,2668
A: Dolgu Mad. Mik.	81,82	1	81,82	3,67	0,0632
B: Katkı Mad. Mik.	5,74	1	5,74	0,26	0,6148
AxB	4,10	1	4,10	0,18	0,6703
Hata	801,61	36	22,27		
Toplam	893,27	39			

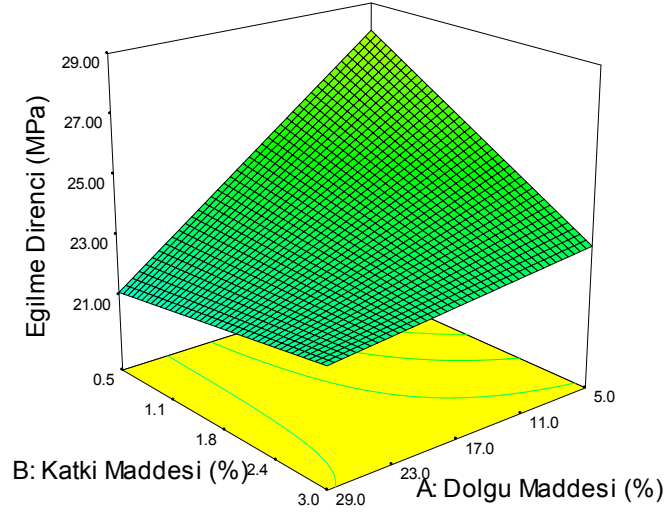
Aşağıda köpüklendirilmiş örneklere ait eğilme direnci değerleri için oluşturulan 3D etkileşim grafikleri verilmiştir (Şekil 4.10).

Design-Expert® Software

Eğilme Direnci (MPa)



X1 = A: Dolgu Maddesi (%)
X2 = B: Katkı Maddesi (%)



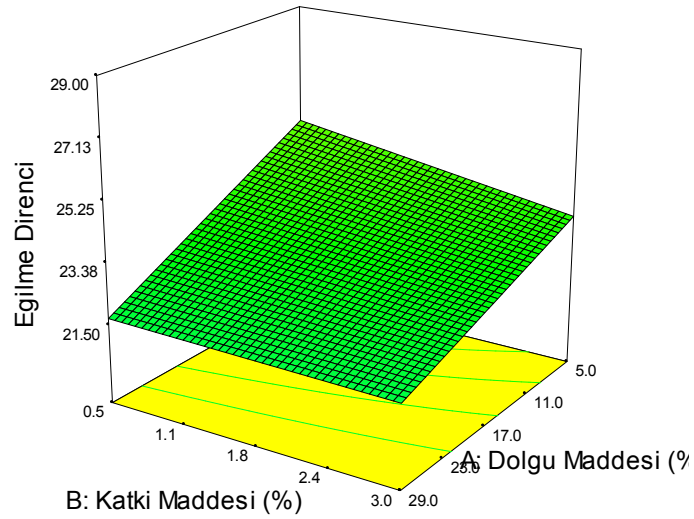
(a)

Design-Expert® Software

Eğilme Direnci



X1 = A: Dolgu Maddesi (%)
X2 = B: Katkı Maddesi (%)



(b)

Şekil 4.12. Köpüklendirilmiş O (a) ve B (b) Grupları İçin Eğilme Direnci Değerlerine Ait Grafikler

Grafikler incelendiğinde eğilme direnci değeri O ve B grubu kompozitlerin dolgu maddesi miktarındaki artışla azaldığı tespit edilmiştir. Bu durumun genelde polimer içerisine katılan dolgu maddesinin polimeri daha kırılgan hale getirmesinden

kaynaklanıyor diyebiliriz. Katkı maddesi miktarı incelendiğinde, bu değerlerin katkı maddesi miktarındaki artışla O grubu kompozitlerde istatistiksel olarak dolgu maddesi miktarı fazla olan kompozitlerde (% 29) etkilemezken düşük dolgu maddesi, katkılı kompozitleri önemli düzeyde düşürmüştür. B grubu örneklerde benzer bir durum görülmüştür.

Köpüklendirilmiş O ve B gruplarının eğilmede elastikiyet modülü değerleri için oluşturulan ANOVA tabloları Çizelge 4.24 ve Çizelge 4.25 verilmiştir. Yapılan analiz sonucuna göre O ve B grubu kompozitler için hammadde miktarı eğilmede elastikiyet modülü üzerinde önemli düzeyde etkili olduğu bulunmuştur. Katkı maddesi ise bu gruplar üzerinde istatistiksel olarak önemli düzeyde etkili olmamıştır.

Çizelge 4.24. Köpüklendirilmiş O Grubu Kompozitlerin Eğilmede Elastikiyet Modülü

Değerlerine ait ANOVA Tablosu.

Kaynak	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Ortalamalar Karesi	F Değeri	P Değeri
Model	2,336E+006	3	7,786E+005	39,75	<0,0001
A: Dolgu Mad. Mik.	2,273E+006	1	2,273E+006	116,03	<0,0001
B: Katkı Mad. Mik.	27948,67	1	27948,67	1,43	0,2401
AxB	35246,19	1	35246,19	1,80	0,1882
Hata	7,051E+005	36	19586,09		
Toplam	3,041E+006	39			

Çizelge 4.25. Köpüklendirilmiş B grubu kompozitlerin Eğilmede Elastikiyet Modülü

Değerlerine ait ANOVA Tablosu

Kaynak	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Ortalamalar Karesi	F Değeri	P Değeri
Model	2,359E+006	3	7,863E+005	4,68	0,0074
A: Dolgu Mad. Mik.	1,908E+006	1	1,908E+006	11,34	0,0018
B: Katkı Mad. Mik.	1,548E+005	1	1,548E+005	0,92	0,3438
AxB	2,964E+005	1	2,964E+005	1,76	0,1927
Hata	6,055E+006	36	1,682E+005		
Toplam	8,414E+006	39			

Design-Expert® Software

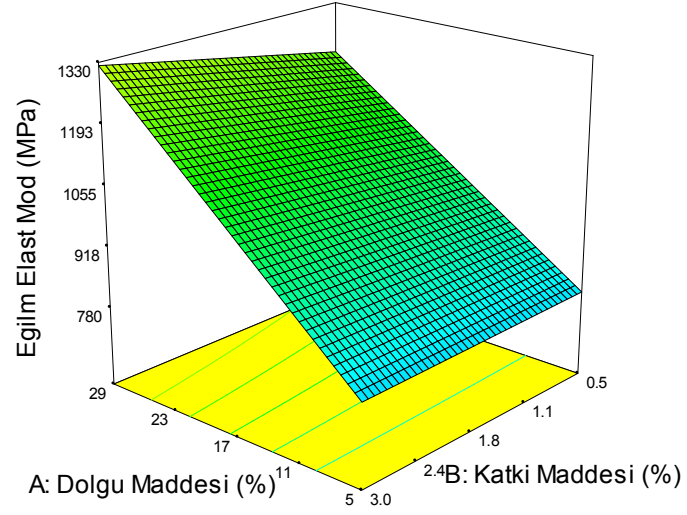
Eğilm. Elas. Mod.

1665.23

530.96

X1 = A: Dolgu Maddesi (%)

X2 = B: Katkı Maddesi (%)



(a)

Design-Expert® Software

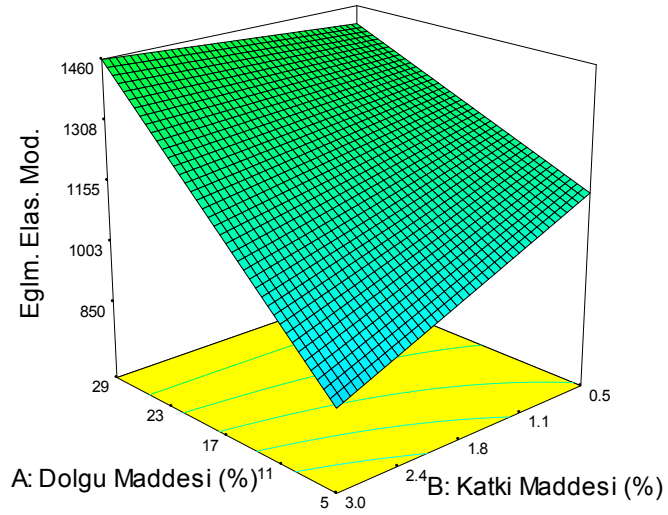
Eğilm. Elas. Mod.

2917.83

271.92

X1 = A: Dolgu Maddesi (%)

X2 = B: Katkı Maddesi (%)



(b)

Şekil 4.13. Köpüklendirilmiş O (a) ve B (b) Grupları için Eğilmede Elastikiyet Modülü Değerlerine Ait Grafikler

Eğilmede elastikiyet modülü grafikleri incelendiğinde hem O grubu hem de B grubu için dolgu maddesi miktarı arttıkça eğilmede elastikiyet modülü artmıştır. Katkı maddesi miktarı ise etkili olmamıştır.

Darbe direnci değerleri için oluşturulan ANOVA tabloları Çizelge 4.26 ve Çizelge 4.27’ de verilmiştir. Bu sonuçlara göre hem O grubu hem de B grubu kompozitler için hammadde miktarı ve katkı maddesi miktarının kopmada uzama değerleri üzerinde önemli düzeyde etkili olduğu bulunmuştur. Ayrıca AxB faktörleri etkileşimi incelendiğinde, AxB etkileşiminin O (P= 0,0095) ve B (P=0,0005) grupları için önemli düzeyde etkili olduğu tespit edilmiştir.

Çizelge 4.26.Köpüklendirilmiş O Grubu Kompozitlerin darbe direnci değerlerine ait

ANOVA Tablosu

Kaynak	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Ortalamalar Karesi	F Değeri	P Değeri
Model	200,59	3	66,86	20,03	<0,0001
A: Dolgu Mad. Mik.	133,37	1	133,37	39,96	<0,0001
B: Katkı Mad. Mik.	42,19	1	42,19	12,64	0,0011
AxB	25,03	1	25,03	7,50	0,0095
Hata	120,14	36	25,03		
Toplam	320,73	39	3,34		

Çizelge 4.27. Köpüklendirilmiş B grubu kompozitlerin darbe direnci değerlerine ait

ANOVA Tablosu

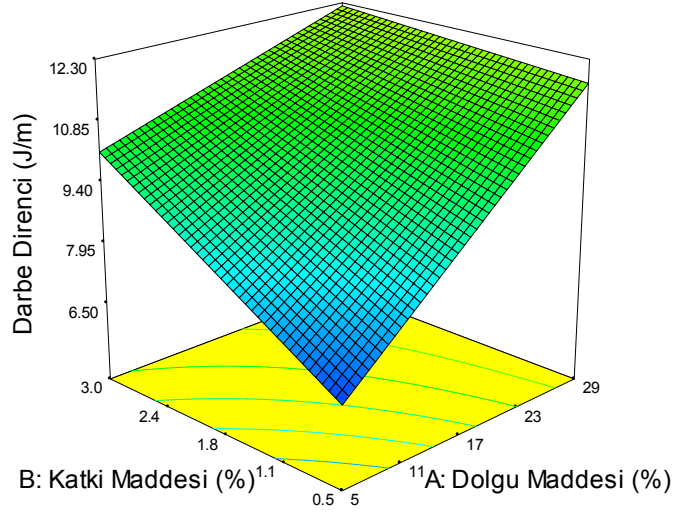
Kaynak	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Ortalamalar Karesi	F Değeri	P Değeri
Model	85,49	3	28,49	6,88	0,0009
A: Dolgu Mad. Mik.	0,80	1	0,80	0,19	0,6638
B: Katkı Mad. Mik.	23,78	1	23,78	5,74	0,0219
AxB	60,91	1	60,91	14,71	0,0005
Hata	149,06	36	4,14		
Toplam	234,55	39			

Design-Expert® Software

Darbe Direnci (J/m)



X1 = A: Dolgu Maddesi (%)
X2 = B: Katkı Maddesi (%)



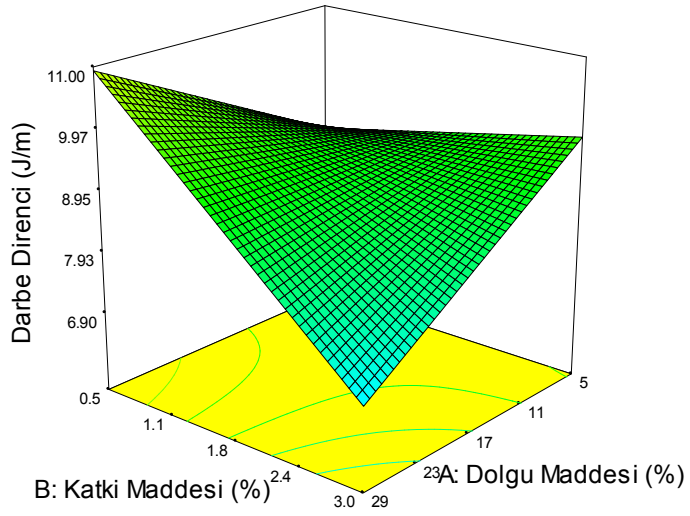
(a)

Design-Expert® Software

Darbe Direnci (J/m)



X1 = A: Dolgu Maddesi (%)
X2 = B: Katkı Maddesi (%)



(b)

Şekil 4.14. Köpüklendirilmiş O (a) ve B (b) Grupları için Darbe Direnci Değerlerine ait

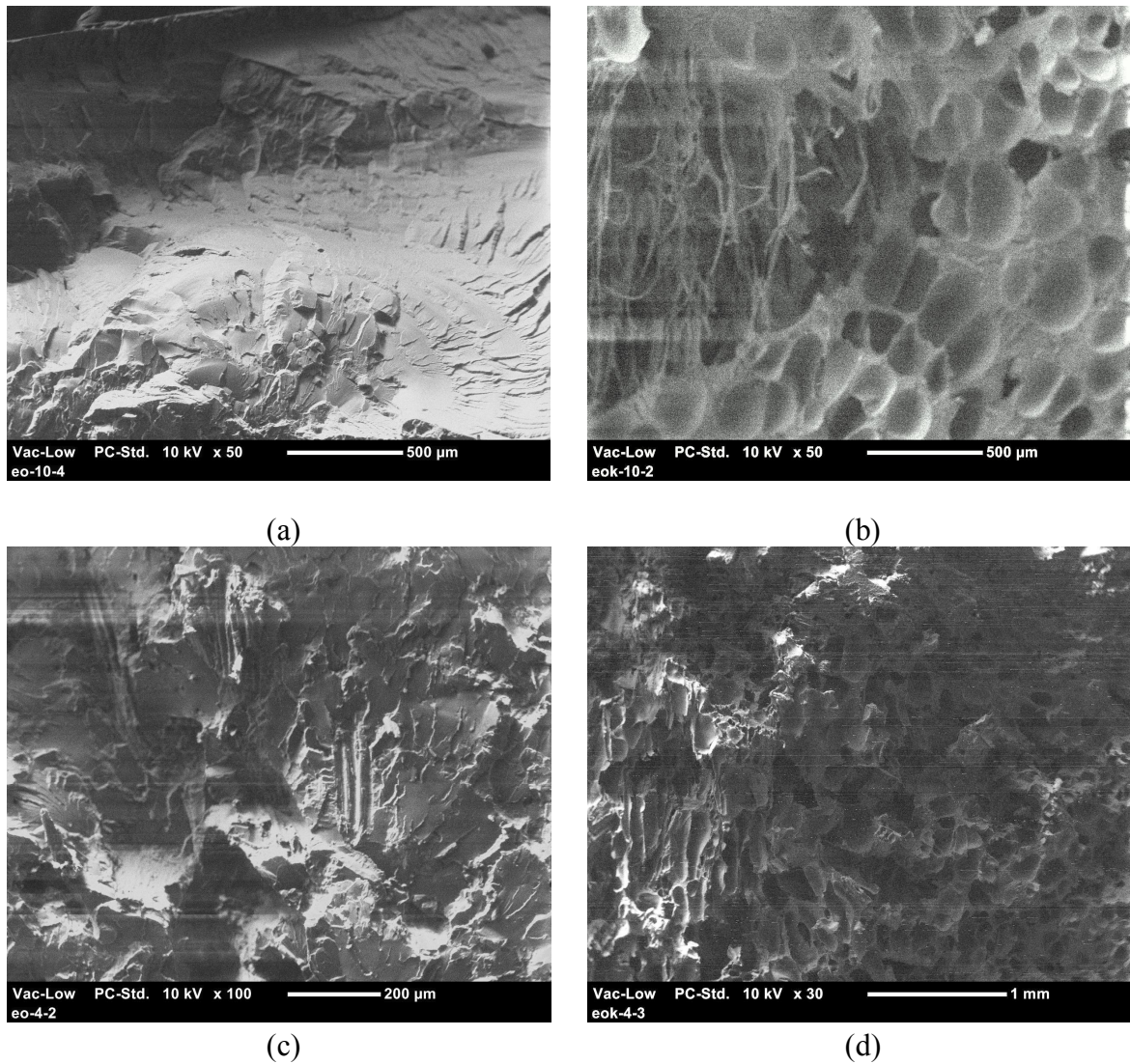
Grafikler

Grafikler incelendiğinde, katkı maddesinin darbe direncini önemli ölçüde etkilediği görülmüştür. Darbe direnci değeri % 5 oranındaki katkı maddesinde dolgu maddesi arttıkça artmakta iken % 3 oranında katkı maddesi içeren kompozitlerde dolgu maddesi oranı

arttıkça azalmaktadır. Bu durumun katkı maddesi içerisinde bulunan stiren-etilen-bütilen yapısından kaynaklandığını söyleyebiliriz.

4.2.3. Köpüklendirilmiş Odun Unu ve Buğday Sapı Unu Katkılı Kompozitlerin Morfolojisi

Üretilen kompozit ve köpüklerin morfolojisini görmek amacıyla Şekil 4.13’de SEM görüntüleri verilmiştir. Burada üstteki iki resim saf örnekleri gösterirken ikincisi içerisinde %17 odun unu bulunan örnekleri göstermektedir. Köpüklendirme sonrasında oluşturulan yapı sağ taraftaki resimlerde açıkça görülmektedir.



Şekil 4.15. Normal ve Köpüklendirilmiş Örneklere Ait Resimler: a) Saf PS,

b) köpüklendirilmiş PS, c) %17 OU katkılı PS kompozit ve d) Köpüklendirilmiş %17 OU Katkılı PS Kompozit

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında polistiren esaslı kızılçam odununu ve buğday sapı unu katkıli kompozitlerin enjeksiyon kalıplama yöntemiyle üretilmesi ve köpüklendirilmesi çalışılmıştır. Üretilen kızılçam ve buğday sapı unu katkıli köpüklü ve köpüksüz kompozitlerin yoğunlukları ve mekanik özellikleri belirlenmiştir. Sonuçlar aşağıda sıralanmıştır.

1. Kızılçam odununu ve buğday sapı unlarının dolgu maddesi olarak kullanıldığı PS esaslı kompozitler enjeksiyon kalıplama yöntemi ile başarılı bir şekilde üretilmiştir. Dolgu maddesi ve katkı maddesinin yoğunluk üzerinde bir etkisinin olmadığı tespit edilmiştir.
2. Dolgu maddesi miktarının artması ile O ve B grupları için üretilen kompozitlerin çekmede ve eğilmede elastikiyet modülleri ile darbe direnci değerleri artarken çekme ve eğilme dirençleri ile kopmada uzama değerlerinde azalma meydana gelmiştir.
3. Katkı maddesinin artmasıyla ise O ve B grupları için kopmada uzama değerleri artarken çekme direnci, çekmede elastikiyet modülü, eğilme direnci, eğilmede elastikiyet modülü değerleri azalmıştır. Darbe direnci değerleri ise O gruplarında artarken B gruplarında değişmemiştir.
4. Kimyasal köpük ajanı kullanılarak kızılçam odununu ve buğday sapı unu takviyeli PS esaslı kompozitler enjeksiyon kalıplama yöntemi ile başarılı bir şekilde köpüklendirilmiştir. Dolgu maddesi miktarındaki artışla yoğunluk değerleri artarken katkı maddesinin yoğunluk üzerinde önemli bir etkisi olmamıştır.
5. Dolgu maddesindeki artışla O grubu köpüklendirilmiş kompozitlerin eğilmede elastikiyet modülü ve darbe direnci değerleri artarken eğilme direnci değerleri azalmıştır. B grubu köpüklendirilmiş kompozitlerin ise eğilmede elastikiyet modülü değerleri artarken eğilme direnci ve darbe direnci değerlerinde önemli bir değişim olmamıştır.
6. Katkı maddesindeki artışla O ve B grubu köpüklendirilmiş kompozitlerin eğilme direnci ve eğilmede elastikiyet modülü değerlerinde önemli bir değişiklik olmamıştır. Darbe direnci değerleri ise O gruplarında artarken B gruplarında azalış göstermiştir.

7. Örneklerin kalınlık artımı ve su alma özellikleri incelendiğinde dolgu maddesi miktarındaki artışla bu özelliklerin kötüleştiği ve genel olarak odun unu içeren örneklerin daha iyi sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir.

Bu çalışma ile enjeksiyon kalıplama yöntemi ile lignoselülozik dolgu maddeli ve PS esaslı kompozitler ve köpükleri hakkında bilgi üretilmiştir. PS esaslı köpükler en fazla izolasyon amaçlı kullanım alanlarında ve kullan-at ambalaj malzemelerinde bulunmaktadır. Bu tez çalışması ile kullan-at ambalajlar için daha çevre dostu bir alternatif üretilmiştir. Ayrıca bu çalışma sonucunda üretilen malzemelerin PS'nin kullanıldığı alanlarda alternatif ve daha uygun bir malzeme olarak kullanılabileceği düşünülmektedir. Bundan sonraki çalışmalarda üretilen bu malzemelerin diğer özellikleri (ısı ve elektrik iletkenliği vb.) belirlenerek alternatif kullanım alanları araştırılacaktır. Ayrıca farklı kimyasal köpük ajanları kullanılarak bu çalışmanın devam ettirilmesinin faydalı olacağı düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

- Anonim, Standard Test Methods for Impact Resistance of Plastics and Electrical Insulating Materials, ASTM D 256, Annual Book of American Society for Testing and Materials (ASTM) Standards, Philadelphia, (2000).
- Anonim, Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics. ASTM D 638, Annual Book of American Society for Testing and Materials (ASTM) Standards, Philadelphia, (2001).
- Anonim, Standard Test Method for Density and Specific Gravity (Relative Density) of Plastics by Displacement, ASTM D 792, Annual Book of American Society for Testing and Materials (ASTM) Standards, Philadelphia, (2007).
- Anonim, Standard Test Methods for Flexural Properties of Unreinforced and Reinforced Plastics and Electrical Insulating Materials, ASTM D 790, Annual Book of American Society for Testing and Materials (ASTM) Standards, Philadelphia, (2003).
- Ahmad M., Thermoplastic Microspheres As Foaming Agents For Wood Plastic Composites, Presented at WPC 2004 Conference, Avusturya.
- Arslan M. B., Şahin, H. T., Orman ve Tarımsal Atıklardan Üretilen Kompozit Levhalarda Yüzey Kimyasal Özelliklerinin Araştırılması. Isparta, (2008).
- Atalay, İ., Sezer İ., Çukur, H., Kızılcım (*Pinus brutia* Ten.) ormanlarının ekolojik özellikleri ve tohum nakli açısından bölgelere ayrılması, Orman Ağaçları ve Tohumları Islah Araştırma Müdürlüğü, Yayın No: 6. İzmir, (1998).
- Atchison, J.E., World Wide Capacities For Non-Wood Plant Fiber Pulping- Increasing Faster Than Wood Pulping Capacities. Nonwood Plant Fiber, Progress Report No. 19. TAPPI, 1, 1991. (1993).
- Atchison, J.E., Data On Non-Wood Plant Fibers. In: Pulp and Paper Manufacture. (Ed. M.J. Kocurek and C.F.B. Stevens), CPPA., Montreal, Canada, pp. 157-169. (1997).

- Balatinecz, J.J., Woodhams, R.T., Wood-Plastic Composites, Doing More with Less, Journal of Forestry, 91, 11, 22-26, (1993).
- Berger, M., Stark, N., Investigations of Species Effects in an Injections Moulding Grade Wood Filled Polypropylene, Conf. Proc., Fourth International Conference on Woodfiber Plastic Composites, Madison, USA (1997).
- Biricik, H., Berktaş, İ., Aköz, F., Tulgar, A. N., Buğday Sapı Külünün Puzolanik Özelliklerinin Araştırılması, pp: 369-380. İstanbul, (1991).
- Boydak, M., Dirik, H., Çalıkoğlu, M., Kızılcamin (*Pinus brutia* Ten.) Biyolojisi ve Silvikültürü, OGEM-VAK Yayınları, ISBN:975-93943-4-0. Ankara, (2006).
- Bengtsson, M., Oksman, K., Silane crosslinked wood plastic composites: Processing and properties, 66, pp: 2177–2186, (2006).
- Bledzki, A. K., Zhang, W., Faruk, O., Microfoaming of flax and wood fibre reinforced polypropylene composites, Vol 63, pp: 30–37. (2005). Holz als Roh- und Werkstoff.
- Bledzki, K., Faruk, O., Effects Of The Chemical Foaming Agents, Injection Parameters, And Melt-Flow Index On The Microstructure And Mechanical Properties Of Microcellular Injection- Molded Wood-Fiber/Polypropylene Composites, Journal of Applied Polymer Science, 97, pp: 1090-1096. (2005).
- Bledzki, A. K., Faruk, O., Microcellular Injection Molded Wood Fiber–PP Composites: Part II – Effect of Wood Fiber Length and Content on Cell Morphology and Physico-mechanical Properties, Vol: 42, 77. (2006).
- Bledzki, A. K., Faruk, O., Injection moulded microcellular wood fibre–polypropylene composites, sciencedirect, Vol 37, No 9, pp: 1358-1367, (2006).
- Bledzki, A. K., Faruk, O., Influence of Processing Temperature on Microcellular Injection-Moulded Wood–Polypropylene Composites, Macromolecular Materials and Engineering, 291, 10, pp: 1226-1232. (2006).

- Bledzki, A. K., F. O., Microcellular Injection Molded Wood Fiber-Pp Composites: Part I- Effect of Chemical Foaming Agent Content on Cell Morphology and Physico-Mechanical Properties, Journal of Cellular Plastics, 42, 1, pp: 63-76. (2006).
- Clemons, C., Wood Plastic Composites in the United States, The Interfacing of Two Industries, Forest Product Journal, 52, 6, Pp: 10-18, (2002).
- Critchfield, W. B. And Little, JR. E. L., Geographic distribution of the pines of the world, U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Miscelloneus Publication 991, Washington, D.C. (1966).
- Can, C., Plastik Enjeksiyon Kalıplamada Termoplastik Malzemelerin Modelleme ve Analizleri, Trakya Üniversitesi. Edirne, (2008).
- Çelik, S., Bazı tohum Meşcereleri ve Bahçeleri Tohumlarıyla Kurulan Kızılçam (*Pinus Brutia* ten.) Ağaçlandırmasında Genetik Çeşitliliğin Yapılanması. Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta. (2009).
- Dokuzuncu Beş Yıllık Kalkınma Planı, Ormancılık Özel İhtisas Komisyonu Raporu, DPT Yayın No: 2712-OİK: 665. Ankara, (2007).
- Dokuzuncu Beş Yıllık Kalkınma Planı, Bitkisel Üretim Özel İhtisas Komisyon Raporu, DPT Yayın No: 2713- OİK: 666. Ankara, (2007).
- Dokuzuncu Beş Yıllık Kalkınma Planı, Petrokimya Sanayii- Klor Alkali- Sentetik Elyaf ve İplik Çalışma Grubu Raporu, DPT Yayın No: 2779-OİK: 708. Ankara, (2007).
- Doroudiani, S., Kortschot, M. T., Expanded Wood Fiber Polystyrene Composites: Processing–Structure–Mechanical Properties Relationships, Journal of Thermoplastic Composite Materials, 17, 13. (2004).
- Eler, Ü., Şenergin, Ş., Olgunlaşmamış Kızılçam (*Pinus brutia* Ten.) kozalaklarından yararlanabilme imkanları, OAE Yayını, Teknik Bülten Serisi, No:223-226, pp: 9-28. (1990).
- Ekşi, O., Erdoğan, S., Plastik Esaslı Malzemelerin Isıl Şekil Verme Özelliklerinin İncelenmesi. Edirne, (2007).

- Englund, K., Wolcott, M.P., Shirip, A., Wheat Straw Residues as A Fiber Source for Thermoplastic Composites, In: Proceedings of Progress in Wood Fiber Plastic Composites, Pp:105, (2004).
- Eraslan, İ. H., Karataş, A., Kaya, H., Türk Plastik Sektörünün Rekabetçilik Analizi, İstanbul Ticaret Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi, 6, 11, ss: 203-219. (2007).
- Ersan, M., Tavman, İ.H., Plastik Enjeksiyon Yöntemiyle Parça İmalatı. Dokuz Eylül Üniversitesi. (2006).
- Ezdeşir A. , Erbay E. , Taşkiran İ. , Yağcı M. A. , Cöbek M. , Bilgiç T., “Polimerler I” , PAGEV Yayınları, İstanbul , (17-167). (1999).
- Faruk, O., Bledzki, A.K., Matuana, L.M., Microcellular Foamed Wood-Plastic Composites by Different Processes: a Review, Macromolecular Materials and Engineering, Vol 292, No 2, pp: 113-127. (2007).
- Genç, M., Güner, Ş.T., Fakir, H, Afyon-Çal Dağı Kızılçam Meşcereleri, Orman Mühendisliği, 34 ,6, pp: 7-14. (1997).
- Genç, M., Silvikültürün Temel Esasları, S.D.Ü. Yayın No 44, S.D.Ü. Basımevi, Isparta. (2004).
- Guo, G., Rizvi, G. M., Park, C. B., Lin, W. S., Critical Processing Temperature in the Manufacture of Fine celled Plastic/ Wood-Fiber Composite Foams, Journal of Applied Polymer Science, 91, pp: 621-629. (2004).
- Guo, G., Lee, Y. H., Rizvi, G. M., Park, C. B., Influence of Wood Fiber Size on Extrusion Foaming of Wood Fiber/ HDPE Composites, Journal of Applied Polymer Science, 107, pp: 3505-3511. (2008).
- Güller, Ç., Çobanoğlu, Z., Plastikler, Çevre Sağlığı Temel Kaynak Dizisi, No 6. (1997). Ankara.
- Gosselin, R., Rodrigue, D., Riedl, B., Injection Molding of Postconsumer Wood-Plastic Composites II: Mechanical Properties, journal of Thermoplastic Composite Materials, 19, 6, pp: 659-669. (2006).

- Hafizoğlu, H., Özalp, M., Su Soğutma Kulelerinde Kullanılan Emprenyesiz Bazı Çam Türlerinin Çözünürlük Değerlerinde Meydana Gelen Değişimin İncelenmesi, ZKÜ Bartın Orman Fakültesi Dergisi 12, 20-25. (2007).
- Jennifer, L.M., Xu, M. H., Mesenchymal stem cell proliferation and differentiation on an injectable calcium phosphate – Chitosan composite scaffold, Biomaterials, 30, pp: 2675–2682. (2009).
- Kanat, M., Sivrikaya, F., Kahramanmaraş Yöresinde Kızılçamlarda (*Pinus brutia* Ten.) Çam Keseböceği, *Thaumatopoea pityocampa* (Schiff.)’ne Karşı Yapılan İlaçlı Mücadelenin Çap Artımına Etkisi, KSÜ. Fen ve Mühendislik Dergisi, 7,2, (2004).
- Kılıç, M., Güner, Ş.T., Gölhisar Kızılçam Meşceresi, Orman Mühendisliği, 37 ,5, 18-21. (2000).
- Kurtuluş, M., Lignoselülozik Materyallerden Termokatalitik İşlemle Suda Çözündürülen Polisakkaritlerin Moleküler Yapılarının İncelenmesi. (2010). Adana.
- Klyosov, A.A., Wood-Plastic Composites, Wiley-Interscience, Hoboken, NJ, Pp:36. (2007).
- Mabee, W.E. ve D.N. Roy, The Use of Non-Wood Fibers in the Pulp and Paper Industry. Faculty of Forestry, University of Toronto, Canada. (1999).
- Mattaib, R., Ramarad, S., Mohd Ishak, Z.A., Effect of Acetylation and MAPE on the Properties of Steam-Exploded Acacia mangium Fiber–HDPE Composites, 29, 3. (2010).
- Matuana, L. M., Microcellular Foaming of Impact-Modified Rigid PVC/Wood Flour Composites, Journal of Vinyl & Additive Technology, 7, 2. (2001).
- Mengeloğlu, F., Alma, M. H., Buğday Saplarının Kompozit Levha Üretiminde Kullanılması, KSÜ Fen ve Mühendislik Dergisi, 5, 2. (2002).
- Mengeloğlu, F., Karakuş, K., Thermal Degradation, Mechanical Properties and Morphology of Wheat Straw Flour Filled Recycled Thermoplastic Composites, 8, pp: 500-519, (2008)

- Montane, D., Farriol, X., Salvado, J., Jollez, P., Chornet, E., Application of steam explosion to the fractionation and rapid vapor-phase alkaline pulping of wheat straw. *Biomass and Bioenergy*, 14, 261-276. (1998).
- Pagev (Türk Plastik Sanayicileri Araştırma, Geliştirme ve Eğitim Vakfı). (2005).
- Pickering, K.L., Murray, T.L., Weak Link Scaling Analysis of High Strength Carbon Fiber, *Composites Part. A*, 30, Pp:1017–1021, (1999a)
- Pickering, K.L., Murray, T.L., Weak Link Scaling Analysis of High Strength Carbon Fiber. *Composites Part A*, 30, Pp: 1017–1021, (1999b).
- Pervaiz, M., Sain, M., High Performance Natural Fiber Thermoplastics for Automotive Interior Parts, SAE Paper No, 2004-01-0729, (2004).
- Panthapulakkal, S., Law, S., Sain, M., Injection Molded Hybrid Natural Fiber Composite Materials for Automotive Applications, SAE Paper No, 2004-01-0014, (2004).
- Plastic Europe, (2004). *Plastics in Europe; An Analysis of Plastics Consumption and Recovery in Europe*.
- Poletto, M., Zeni, M., Zattera, A., J., Effects Of Wood Flour Addition And Coupling Agent Content On Mechanical Properties Of Recycled Polystyrene/ Wood Flour Composites, *Journal of Thermoplastic Composite Material*, (2011).
- Rachtanapun, R., Selke, S.E.M., Matuana, L.M., Microcellular foam of polymer blends of HDPE/PP and their composites with wood fiber, 88, 12, pp: 2842-2850, (2003).
- Rizvi, G. M., Park, C. B., Lin, W. S., Guo, G., Pop-Iliev, R., Expansion Mechanisms Of Plastic/Wood-Flour Composite Foams With Moisture, Dissolved Gaseous Volatiles, And Undissolved Gas Bubbles, *Polymer Engineering And Science*, 43, 7. (2003).
- Rizvi, G., Matuana, L. M., Park, C. B., Foaming of PS/Wood Fiber Composites Using Moisture as a Blowing Agent, *Polymer Engineering and Science*, 40, 10, pp: 2124-2132. (2000).
- Rhomie, L., Heck, III., A Review of Commercially Used Chemical Foaming Agents for Thermoplastic Foams, *Journal Of Vinyl & Additive Technology*, 4, 2. (1998).

- Saatçioğlu, F., Silvikültürün Biyolojik Esasları ve Prensipleri (Silvikültür I), İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Yayınları No. 2187/222. İstanbul, (1976).
- Sain, M.M, Kokta B.V, Structure Property Relationship of Wood Fiber Filled Polypropylene Composites, Polym-Plast Technol Eng., 33, Pp: 89-104, (1994).
- Schiller, G., Inter-and intra-specific genetic diversity of *Pinus halepensis* Mill. And *P. brutia* Ten. pp.13-35.in: Ne'eman, G. & Trabaud, L. (eds.), Ecology, Biogeography and Management of *Pinus halepensis* and *P. brutia* Forest Ecosystems in the Mediterranean Basin, Backhuys Publishers. Leiden, (2000).
- Şahin, H.T., Arslan, M.B., Orman ve Tarımsal Atıklardan Üretilen Kompozit Levhalarda Yüzey Kimyasal Özelliklerinin Araştırılması. Isparta, (2008).
- Qingxiu, L., MatuanA, L. M., Foam Extrusion of High Density Polyethylene/Wood-Flour Composites Using Chemical Foaming Agents, Journal of Applied polymer Science, 88, pp: 3139-3150. (2003).
- Tajan M., Chaiwutthinan P., Leejarkpai T., Thermal And Mechanical Properties Of Wood-Plastic Composites From Iron Wood Flour And Recycled Polypropylene Foam, Journal of Metals, Materials and Minerals, Vol 18, No 2, pp: 53-56. (2008).
- Taskıran, İ., “Polistiren”, Polimerler I kitabı, Pagev Yayınları, ss: 167-197. (2001).
- Türkiye Geliştirme Vakfı, İleri Teknoloji Projeleri (İtep) Destek Programı Raporu. (2010).
- Tuğ, S., Haksever, A., Polistiren Enjeksiyonunda Çevrim Zamanı Optimizasyonu. Tekirdağ. (2005).
- T.C. Başbakanlık Dış Ticaret Müsteşarlığı (DTM), Dış Ticaret İstatistikleri, (2006).
- Wolcott, M.P., Englund, K., A Technology Review for Wood Plastic Composites, Proc. 33rd Inter. Particleboard Composite Materials Symp. WASHINGTON State University. (1991).
- Wolcott M.P., McLean D.I., Pendleton D.E., Smith P.M., Use of Wood Plastic Composites in Naval Waterfront Structures, The Global Outlook for Natural Fiber& Advanced Wood Composites Conference, December 3-5, Orlando, FL, (2001).

- Wolcott, M.P., Smith, P.M., Opportunities and Challenges for Wood Plastic Composites in Structural Applications, In: Proceedings of Progress in Wood Fiber–Plastic Composites, Toronto, ON, pp: 1–10, (2004).
- Yaşar H. , “Plastikler Dünyası”, MMO Yayınları, Ankara, 2. Baskı, (3- 89, 97, 107, 112, 115, 116, 118, 119, 121, 123, 125, 127, 131, 132) (2001).
- Zhang, J., Rizvi, G. M., Park, C. B., Effects of Wood Fiber Content on the Rheological Properties, Crystallization Behavior, and Cell Morphology of Extruded Wood Fiber/ HDPE Composites Foams, Bioresources, 6, 4, pp: 4979-4989. (2011).

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Adı, soyadı : Belgin ŞEKER
Uyruğu : T.C.
Doğum tarihi ve yeri : 10.06.1987 Osmaniye
Medeni hali : Bekâr
Telefon : 0 (546) 568 64 33
e-posta : sekerbelgin_80@hotmail.com

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Yüksek lisans	KSÜ/ Orman Endüstri Mühendisliği Bölümü	Devam ediyor
Lisans	KSÜ/Orman Endüstri Mühendisliği Bölümü	2010
Lise	Osmaniye Atatürk Lisesi	2004

Hobiler

Fotoğraf çekmek, dans etmek, kitap okumak