

**BİYOPLASTİK MALZEME KULLANILARAK
YASSI DAMLA SULAMA BORUSUNUN
GELİŞTİRİLMESİ**

Murat ALKAN

Doktora Tezi

Tarım Makinaları Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Bülent EKER

2013

T.C.
NAMIK KEMAL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DOKTORA TEZİ

BİYOPLASTİK MALZEME KULLANILARAK YASSI DAMLA SULAMA
BORUSUNUN GELİŞTİRİLMESİ

Murat ALKAN

TARIM MAKİNALARI ANABİLİM DALI

DANIŞMAN: Prof. Dr. Bülent EKER

TEKİRDAĞ-2013

Her hakkı saklıdır

Prof. Dr. Bülent EKER danışmanlığında, Murat ALKAN tarafından hazırlanan bu çalışma, aşağıdaki jüri tarafından, Tarım Makinaları Anabilim Dalı'nda Doktora Tezi olarak kabul edilmiştir.

Jüri Başkanı : Prof. Dr. Poyraz ÜLGER	<i>İmza :</i>
Üye : Prof. Dr. Bülent EKER (Danışman)	<i>İmza :</i>
Üye : Prof. Dr. Kamil ALİBAŞ	<i>İmza :</i>
Üye : Prof. Dr. Ahmet İSTANBULLUOĞLU	<i>İmza :</i>
Üye : Doç. Dr. Tolga ERDEM	<i>İmza :</i>

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu adına

Prof. Dr. Fatih KONUKCU

Enstitü Müdürü

ÖZET

Doktora Tezi

BİYOPLASTİK MALZEME KULLANILARAK YASSI DAMLA SULAMA BORUSUNUN GELİŞTİRİLMESİ

Murat ALKAN

Namık Kemal Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Tarım Makinaları Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Bülent EKER

Doğa ile teknoloji arasında devam eden çatışma doğanın aleyhine hızlı bir şekilde ilerlemektedir. Tarım ve sanayinin ortak bir noktada buluştuğu plastik boru atıklarının azaltılması tez konumuzu oluşturmuştur. Polietilen (PE) hammaddesi kullanılarak üretilen tarımsal sulama boruları görevlerini yerine getirdikten sonra tarımsal arazilerde çevreyi kirletmek pahasına bırakılmaktadır. Tarımsal sulama sistemlerinin en verimli olan damla sulama yöntemlerinde kullanılan, yassı damla sulama borusunun polietilen esaslı üretim hammaddesi yerine, çevre dostu, mısır nişastası esaslı biyoplastik hammadde kullanım olanakları belirlenmiştir.

Tez kapsamında, iki grup hammadde kullanılmıştır. Bunlar; alçak yoğunluklu polietilen hammadde grubu - AYPE (G03-5 ve F2-12) ve ana bileşeni mısır nişastası olan biyobozunur PHB hammadde grubu - BIOPLAST (Masterbatch: BOR-M-501F, BOR-M-502F, Reçine: BOR-Z-503FM ve BOR-Z-703J)'tir. AYPE hammaddesine, % 25, % 30, % 35 ve % 40 oranlarında 4 çeşit biyoplastik hammadde ve % 5 siyah masterbatch ayrı ayrı granül halinde eklenerek karışımlar elde edilmiştir. Bu karışımlardan ekstrüzyon film üretim yöntemi kullanılarak test numuneleri hazırlanmıştır.

Test numuneleri üzerinde mekanik testler, çekme deneyleri, termal analizler (Diferansiyel Tarama Kalorimetresi (DSC) analizleri ve termal kamera çekimleri), aerobik havuz ve tarla deneyleri yapılmıştır. Ortaya çıkan veriler, piyasada mevcut kullanılan damla sulama borularının sonuçları ile istatistiksel yöntemler kullanılarak karşılaştırılmıştır. Biyoplastik katkı üretilen numunelerin karışım oranları ve numune kodları sırası ile alus01=% 70 F2-12 + % 25 BOR-M-501F + % 5 Siyah Masterbatch, alus02= % 70 F2-12 + % 25 BOR-M-502F + % 5 Siyah Masterbatch, alus03=% 65 F2-12 + % 30 BOR-Z-503FM + % 5 Siyah Masterbatch ve alus04= % 65 F2-12 + % 30 BOR-Z-703J + % 5 Siyah Masterbatch karışımıdır.

Biyoplastik karışımı numunelerden sadece alus03 kodlu karışıma ait 0.14 mm et kalınlığı, 443.54 kopmadaki % uzama miktarı, 0.967 g/cm³ yoğunluk ve 123.36 °C ergime pik noktası sıcaklık değerleri, piyasada kullanılan yassı damla sulama borularının değerlerine uyumlu çıkmıştır. alus03 hammaddesi ile prototip yassı damla sulama borusu üretimine başlanması için gerekli olan ilk verilere ulaşılmıştır.

Ayrıca bu çalışma sonucu ortaya çıkan biyoplastik katkı alus03 hammadde karışımı, tarım ve sanayi sektöründe yer alan PE uygulamalarda, alternatif bir malzeme olarak kullanılmaya uygundur. Malç filmi, fide torbası, poşet ve çöp torbası üretimlerinde kullanılabilir.

Anahtar Kelimeler: Yassı damla sulama borusu, Biyoplastik, Polietilen, Mısır nişastası, Ekstrüzyon.

ABSTRACT

Ph.D. Thesis

DEVELOPING FLAT DRIP IRRIGATION PIPES USING BIOPLASTIC MATERIALS

Murat ALKAN

Namık Kemal University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Main Science Division of Agriculture Machines

Supervisor : Prof. Dr. Bülent EKER

The conflict going on between the nature and technology has been moving ahead fast against the disadvantage of nature. The thesis subject is lessening of plastic pipes waste on which the industry and the agriculture agreed. After completing estimated life, at the expense of pollution of agricultural fields the irrigation pipes, produced by using (PE) polyethylene, left on the fields. This study analyzed the use of environmentally friendly, cornstarch based bioplastic raw materials instead of polyethylene based raw material to produce flat drip irrigation pipes, which is the most efficient agricultural irrigation system.

Two groups of raw materials were used in the thesis: low density polyethylene material group LDPE (G03-5 and F2-12) and cornstarch based biodegradable PHB raw material group BIOPLAST (Masterbatch: BOR-M-501F, BOR-M-502F, Resin: BOR-Z-503FM and BOR-Z-703J). Mixtures were obtained by adding 4 types of BIOPLAST raw materials at the ratio of 25 %, 30 %, 35 % and 40 % and 5% Black Masterbatch separately in the form of granules. Test samples were prepared from these mixtures using extrusion film production method.

Mechanical tests, shrinking tests, thermal analysis Differential Scanning Calorimetry (DSC) analysis and thermal camera captures, aerobic pool and field experiments have been performed on test samples. The data was compared to the results of commercially available drip irrigation pipes using statistical methods. Mixture ratios of bioplastic additive productions and sample codes are orderly : alus01= 70 % F2-12 + 25 % BOR-M-501F + 5 % Black Masterbatch, alus02= 70 % F2-12 + 25 % BOR-M-502F + 5 % Black Masterbatch, alus03= 65 % F2-12 + 30 % BOR-Z-503FM + 5 % Black Masterbatch and alus04= 65 % F2-12 + 30 % BOR-Z-703J + 5 % Black Masterbatch mixtures respectively.

Of the raw materials with bioplastic mixture, only the sample obtained alus 03 coded mixture was found to be consistent with the values of commercially available flat drip irrigation pipes with 0.14 mm wall thickness, 443.54 % strain at break, 0.967 g/cm³ density and 123.36 °C melting point. The first data necessary to start production of prototype flat drip irrigation pipe was reached using this raw material mixture.

Moreover, alus03 a mixture of raw materials with bioplastic additives obtained from the study are suitable for use as an alternative material in the PE applications used in the fields of agricultural and industry. It may be used producing mulch film, seedling bags, bags litter bags.

Key Words: Flat drip irrigation pipe, Bioplastic, Polyethylene, Cornstarch, Extrusion.

2013, 77 pages

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Doktora tezi kapsamında, tarımsal sulama sistemlerinin en verimli olan damla sulama yöntemlerinde kullanılan, polietilen esaslı yassı damla sulama borusu üretim hammaddesi yerine çevre dostu mısır nişastası kökenli biyoplastik hammadde kullanım olanaklarının belirlenmesine çalışılmıştır. Değişik oranlarda polietilen ve biyoplastik hammaddelerden oluşturulan karışımlardan ekstrüzyon film üretim yöntemi kullanılarak test numuneleri hazırlanmıştır. Bu test numuneleri üzerinde mekanik testler, çekme deneyleri, termal analizler (DSC analizleri ve termal kamera çekimleri), aerobik havuz ve tarla deneyleri yapılmıştır. Elde edilen veriler, piyasada mevcut kullanılan damla sulama borularının sonuçları ile istatistiksel yöntemler kullanılarak karşılaştırılmıştır. Ayrıca tez çalışması sonuçlarından yola çıkılarak elde edilen biyoplastik karışimli malzemelerin tarım ve sanayi sektöründeki kullanım alanları araştırılmıştır.

Çevre dostu biyoplastik hammadde kullanılarak yassı damla sulama borusu malzemesi geliştirilmesi konusu ile orijinal bir tezin oluşmasında yaptığı bilimsel ve yenilikçi katkılarından dolayı tez danışmanım, değerli bilim insanı Prof. Dr. Bülent EKER'e en içten teşekkürlerimi sunarım.

Tezin olmazsa olmazı, biyoplastik hammadde ihtiyacını karşılayan, her türlü desteğini sunan Sayın Haşim ÇAYLI (Bioplast Türkiye-Karizma Dış Tic. Ltd. Şti.)'ya teşekkür ederim. Numune üretimlerini gerçekleştirerek beni destekleyen Unisis Plastik San. ve Tic. A.Ş. ile Bil Plastik Ambalaj ve Plastik San. ve Tic. A.Ş.'ye teşekkür ederim.

Test, analiz ve deneylerin yapılmasında her türlü yardımı ve olanağı bana sağlayan Sayın Prof. Dr. Ayşegül AKDOĞAN EKER'e, Sayın Arş. Gör. Dr. Onur KÜÇÜKYILDIRIM'a, Sayın Öğr. Gör. Dr. N. Kamil SALİHOĞLU'na ve Sayın Gürcan YAKIŞIK'a teşekkürlerimi sunarım.

Bana verdikleri bilimsel desteklerden dolayı Sayın Prof. Dr. Poyraz ÜLGER'e, Sayın Prof. Dr. Kamil ALİBAŞ'a, Sayın Prof. Dr. Rasim OKURSOY'a, Sayın Doç. Dr. Tolga ERDEM'e, ve Sayın Yrd. Doç. Dr. Ali DURMUŞ'a teşekkürlerimi sunarım.

Bursa İl Özel İdaresi'ndeki tüm çalışma arkadaşlarıma içten teşekkür ederim.

Her türlü desteği benden esirgemeyen anneme, babama ve diğer aile fertlerime en içten teşekkürlerimi gönderirim.

Son olarak hayatımın güneşi eşim Mukadder ile yıldızları Ali ve Mahir'e sevgi dolu şükranlarımı sunarım.

Murat ALKAN

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

alus	:	Test Numunesi Karışımı Kod Adı
ASTM	:	Amerika Test ve Malzeme Birliği
atm	:	Atmosfer
AYPE	:	Alçak Yoğunluklu Polietilen
BOİ	:	Biyokimyasal Oksijen İhtiyacı (mg/l)
C	:	Karbon
CH ₄	:	Metan
CO ₂	:	Karbondioksit
ÇO	:	Çözünmüş Oksijen (mg/l)
ÇY	:	Çamur Yaşı (gün)
da	:	Dekar
DSC	:	Diferansiyel Tarama Kalorimetresi
F/M	:	Besin/Mikroorganizma
H	:	Hidrojen
ha	:	Hektar
HV	:	Hidroksivalerian asit
ISO	:	Uluslararası Standart Birimi
l	:	Litre
l/s	:	Litre/Saniye
LAYPE	:	Lineer Alçak Yoğunluklu Polietilen
m/dk	:	Metre/dakika
MFI	:	Erime Akış İndeksi
mil	:	Uzunluk Birimi (0,0254 mm)
N	:	Azot
NBŞ	:	Nisasta Bazlı Şekerler
O	:	Oksijen
OYPE	:	Orta Yoğunluklu Polietilen
PA	:	Poliamid
PBS	:	Polibütirat Süksinat
PBSA	:	Polibütilen Süksinat Adipat
PC	:	Polikarbonat
PCL	:	Polikaprolakton
PE	:	Polietilen
PET	:	Polietilenterefitalat
PHA	:	Poli-Beta-Hidroksialkanat
PHB	:	Poli-Beta-Hidroksibütirat
PHBV	:	Polihidroksibutirat Valerat
PHO	:	Polihidroksioktonat
PLA	:	Polilaktik Asit

PP	:	Polipropilen
PS	:	Polistiren
PVC	:	Polivinil Klorid
TGA	:	Termogravimetrik Analiz
TKM	:	Toplam Katı Madde (mg/l)
TPS	:	Termoplastik Nişasta
μm	:	Mikron
UV	:	Morötesi Işın
YYPE	:	Yüksek Yoğunluklu Polietilen

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR.....	iii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	iv
İÇİNDEKİLER.....	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	viii
ÇİZELGELER DİZİNİ	x
1. GİRİŞ.....	1
2. KAYNAK ÖZETLERİ.....	4
2.1 Tarımsal Sulama Sistemleri.....	4
2.2 Damla Sulama Sistemi	5
2.3 Yassı Damla Sulama Borusu Üretimi.....	7
2.4 Yassı Damla Sulama Borusu Üretiminde Kullanılan Hammaddeler.....	12
2.5 Biyoplastik Hammaddeler ve Çevre.....	18
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	34
3.1 Materyal.....	34
3.1.1 Numune üretiminde kullanılan hammaddeler.....	34
3.1.1.1 Alçak yoğunluklu polietilen	34
3.1.1.2 Biyobozunur masterbatch ve reçineler.....	36
3.1.1.2.1 BOR-M-501F (Nişasta bazlı biyobozunur masterbatch).....	36
3.1.1.2.2 BOR-M-502F (Nişasta bazlı biyobozunur masterbatch).....	37
3.1.1.2.3 BOR-Z-503FM (Nişasta bazlı biyobozunur reçine).....	37
3.1.1.2.4 BOR-Z-703J (Nişasta bazlı biyobozunur reçine).....	37
3.1.2 Yassı damla sulama borusu.....	38
3.1.3 Numune üretiminde kullanılan makineler.....	38
3.1.4 Test ve analizlerde kullanılan cihazlar	39
3.2 Yöntem.....	42
3.2.1 Numune üretiminde kullanılan hammaddelerin karışım oranlarının saptanması.....	42
3.2.2 Numune üretim yöntemi.....	43
3.2.3 Numunelerin üzerinde uygulanan test ve analizler.....	44
3.2.3.1 Mekanik testler.....	44
3.2.3.2 Termal analizler.....	45

3.2.3.3. Termal kamera çekimleri.....	46
3.2.3.4 Aerobik havuz deneyi.....	46
3.2.3.5 Tarla deneyi.....	48
4. ARAŞTIRMA BULGULARI.....	49
4.1 Numune Üretimi	49
4.1.1 D firmasında gerçekleştirilen numunesi üretimi.....	49
4.1.2 E firmasında gerçekleştirilen numunesi üretimi.....	49
4.1.3 Başarısız numune üretimi.....	49
4.1.4 Üretimi başarı ile gerçekleştirilen numuneler.....	50
4.2 Test, Analiz ve Deney Sonuçları.....	53
4.2.1 Mekanik testler ve çekme deneyi sonuçları.....	53
4.2.2. Termal analiz sonuçları.....	57
4.2.3. Termal kamera görüntü sonuçları	60
4.2.4. Aerobik havuz deneyi sonuçları.....	61
4.2.5. Tarla deney sonuçları.....	62
4.3. İstatistiksel Analizler.....	63
5. TARTIŞMA VE SONUÇ.....	68
6. KAYNAKLAR.....	72
ÖZGEÇMİŞ.....	77

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1 Damla sulama sistemi.....	6
Şekil 2.2 Damla sulama borusu üretim akış şeması.....	9
Şekil 2.3 Yassı damla sulama borusu üretimi	10
Şekil 2.4 Film ekstrüzyon makinası	11
Şekil 2.5 Tek vidalı bir ekstrüzyon makinasının elemanları	11
Şekil 2.6 Yassı damla sulama borusu ve damlaticısı	13
Şekil 2.7 Polimerlerin sınıflandırılması.....	15
Şekil 2.8 Polimer yapılar arasındaki ilişkiler.....	15
Şekil 2.9 Biyobozunur polimerlerin katkı maddeleri	22
Şekil 2.10 Biyobozunur polimerlerin sınıflandırılması	23
Şekil 2.11 PLA'nın kimyasal yapısı.....	25
Şekil 2.12 PHA'nın kimyasal yapısı.....	27
Şekil 2.13 PHB'nin kimyasal yapısı.....	29
Şekil 2.14 PHB'nin parçalanması ve yeniden sentezi.....	32
Şekil 2.15 PHB'nin karbon döngüsü.....	33
Şekil 3.1. AYPE/G03-5 ve AYPE/F2-12 hammaddesi.....	34
Şekil 3.2 BOR-M-501F (Nişasta bazlı biyobozunur masterbach) uygulama fotoğrafları.....	36
Şekil 3.3 BOR-M-502F (Nişasta bazlı biyobozunur masterbach) uygulama fotoğrafları.....	37
Şekil 3.4 BOR BOR-Z-503FM (Nişasta bazlı biyobozunur reçine) uygulama fotoğrafları ...	37
Şekil 3.5 BOR-Z-703J (Nişasta bazlı biyoçözünür reçine) uygulama fotoğrafları.....	38
Şekil 3.6 D firması ekstrüzyon film şişirme makinası (AKABE).....	39
Şekil 3.7 E firması ekstrüzyon film şişirme makinası (ÇEPNİ).....	39
Şekil 3.8 Zimba cihazı (ATAMAK)	39
Şekil 3.9 Kalınlık ölçer (MITUTOYO) ve hassas terazi (METTLER TOLEDO).....	40
Şekil 3.10 Yoğunluk kiti ve sertlik ölçme cihazı (ZWICK SHORE D)	40

Şekil 3.11 Çekme cihazı (INSTRON).....	41
Şekil 3.12 DSC cihazı (PERKIN ELMER PYRIS 6)	41
Şekil 3.13 Termal kamera (FLIR P640).....	41
Şekil 3.14 Maşalı süzgeç aparatı	42
Şekil 3.15 Standart test numunesi	44
Şekil 3.16 Termal analiz yöntemleri	45
Şekil 3.17 Aerobik havuz genel görünüşü.....	46
Şekil 3.18 Test numunelerinin aerobik havuz deneyi.....	48
Şekil 3.19 Test numunelerinin tarla deneyi.....	48
Şekil 4.1 Başarısız numune üretim örnekleri.....	49
Şekil 4.2 alus01 ve alus02 Numune örnekleri.....	51
Şekil 4.3 alus03 ve alus04 Numune örnekleri.....	51
Şekil 4.4 alus05 ve alus06 Numune örnekleri.....	51
Şekil 4.5 alus07 ve alus08 Numune örnekleri.....	51
Şekil 4.6 Test numuneleri	52
Şekil 4.7 Çekme deneyi uygulanmış test numuneleri	55
Şekil 4.8 Test numunelerinin et kalınlığı, yoğunluk ve ağırlık değerlerinin karşılaştırma grafikleri	56
Şekil 4.9 Test numunelerinin çekme deneyi sonuçlarının karşılaştırma grafikleri	56
Şekil 4.10 alus01, alus02, alus03 ve alus04 Numunelerinin DSC ile elde edilen termal özellik grafikleri.....	57
Şekil 4.11 alus05, alus06, alus07 ve alus08 Numunelerinin DSC ile elde edilen termal özellik grafikleri.....	58
Şekil 4.12 Test Numunelerinin DSC ile elde edilen ergime ve kristalleşme sıcaklıkları karşılaştırma grafikleri	59
Şekil 4.13 Test numunelerinin termal kamera görüntüleri	60
Şekil 4.14 Et kalınlığı, ağırlık ve yoğunluğa göre istatistiksel analiz grafikleri.....	64
Şekil 4.15 Çekme deneyi sonuçlarına göre istatistiksel analiz grafikleri.....	66

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1 Damla sulama borularının sınıflandırılması	7
Çizelge 2.2 Yassı damla sulama borusu (16 mm) çeşitleri	8
Çizelge 2.3 Termoplastiklerin tipik özellikleri	16
Çizelge 2.4 Başlıca termoplastiklerin camsı geçiş ve ergime sıcaklıkları	16
Çizelge 2.5 PHA'nın özellikleri.....	28
Çizelge 2.6 PHB, PHO ve PP'nin karşılaştırmalı özellikleri.....	29
Çizelge 3.1 AYPE/G03-5 ve F2-12 hammaddelerinin özellikleri.....	35
Çizelge 3.2 BIOPLAST/BOR-M-501F, BOR-M-502F, BOR-Z-503FM ve BOR-Z-703J hammaddelerinin özellikleri.....	36
Çizelge 3.3 D ve E firmalarındaki ekstrüzyon şişirme makinalarının teknik özellikleri.....	38
Çizelge 3.4 Test numuneleri hammadde karışım oranları	43
Çizelge 3.5 Aerobik havuz (1000 saatlik bekleme süresi için) teknik özellikleri.....	47
Çizelge 4.1 Başarılı üretilen numunelerin hammadde karışım oranları	50
Çizelge 4.2 Test numuneleri mekanik test sonuçları listesi.....	53
Çizelge 4.3 Test numuneleri çekme deneyleri sonuç listesi.....	54
Çizelge 4.4 Test numunelerinin DSC ile elde edilen endotermik özellikleri.....	58
Çizelge 4.5 Test numunelerinin DSC ile edilen ekzotermik özellikleri.....	59
Çizelge 4.6 Test numunelerinin renk değiştirme sıcaklıkları.....	61
Çizelge 4.7 Test numuneleri aerobik havuz ağırlık değişim sonuçları.....	61
Çizelge 4.8 Test numuneleri tarla ortamında ağırlık değişim sonuçları.....	62
Çizelge 4.9 Test numunelerinin aerobik havuz ve tarla deneyleri % ağırlık değişim ortalama sonuçları.....	62
Çizelge 4.10 Et kalınlığı, ağırlık, yoğunluk ve sertliğe göre istatistiksel analiz verileri.....	63
Çizelge 4.11 Çekme deneyi sonuçlarına göre istatistiksel analiz verileri.....	65
Çizelge 4.12 Et kalınlığı, ağırlık, yoğunluk ve sertlik sonuçları LSMeans Differences Tukey HSD verileri	67
Çizelge 4.13 Çekme deneyi sonuçları LSMeans Differences Tukey HSD verileri.....	67

1. GİRİŞ

Tarımsal alanlarda hızla yayılan plastik uygulamalar telafisi zor çevre sorunlarına yol açmaktadır. Plastik malzeme hammaddesinin petrol türevli oluşu, kullanım koşulları kadar kullanım dışı koşullarında çok iyi bilinmesini gerekmektedir. Doğa kaynaklarının en önemlisi olan tarımsal alanlarda, bu tip malzemelerin yanlış kullanılması ya da yanlış malzemedен oluşturulması geri dönüşü zor olan bir ortamı bize bırakmaktadır.

Bu kapsamda son yıllarda yaygınlaşan damla sulama uygulamalarında bu tür malzemelerin sakıncalı sonuçları görülmeye başlanmıştır. Bunların başında damla sulama borularının kullanımını sırasında karşılaştığı mekaniksel, biyolojik, güneş vb. etkiler sonunda parçalanması, sistemdeki borularda bulunan damlatıcıların sulama suyunun kalitesinin düşük olmasından dolayı tıkanabilmesi gelmektedir. Parçalanan ya da damlatıcıları tıkanarak işlevsiz hale gelen borular tarımsal arazide kalmakta veya toplanıp başka bir yere atılmaktadır.

Ülkemizde teknik ve ekonomik koşullar dikkate alındığında, sulanabilir nitelikte alanın 8.5 milyon ha olduğu tahmin edilmektedir. 2012 yılında, TÜİK verilerine göre, gerek devlet yatırımı, gerekse halkın kendi olanakları ile sulanabilen toplam arazi büyüklüğü 5.30 milyon ha'dır. Bu alanın 4.25 milyon ha'lık kısmında salma sulama sistemi, 0.55 milyon ha'lık kısmında yağmurlama sulama sistemi ve 0.10 milyon ha'lık bölümünde damla sulama sistemi uygulanmıştır.

Bitkinin ihtiyaç duyduğu ve yağışlarla karşılanamayan suyun toprakta bitkinin kök bölgesine gereken yer ve zamanda verilmesi işlemine sulama denmektedir. Sulama sistemleri geleneksel yöntem ve kapalı borulu sulama sistemi olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Kapalı borulu sulama sistemi, basınçsız ve basınçlı borulu olarak ikiye ayrılmıştır.

Bilindiği gibi günümüzde su kaynakları son derece kısıtlıdır. Buna karşılık çeşitli sektörlerdeki su kullanımı ve tarımda sulanacak alan talebi de çok artmıştır. Bundan dolayı tarımsal sulama sistemlerinden basınçlı borulu sulama yöntemi en verimli sistem olarak karşımızda durmaktadır. Basınçlı borulu sulama sistemleri; Yağmurlama, mini sprink, bublers ve damla sulama yöntemleri olarak dört ana başlıkta toplanmıştır. Günümüzde en verimli ve ekonomik sulama sistemi damla sulama yöntemidir.

Damla sulama yönteminde temel ilke, bitkide nem eksikliğinden kaynaklanan bir gerilim yaratmadan, her defasında az miktarda sulama suyunu sık aralıklarla yalnızca bitki köklerinin geliştiği ortama vermektir. Bir damla sulama sistemi sırasıyla pompa birimi,

kontrol birimi, ana boru hattı, manifold boru hatları, lateral boru hatları ve damlatıcılardan oluşmaktadır.

Doktora çalışmamızın konusu olan yassı damla sulama boruları lateral boru hatları olarak adlandırılmıştır. Bu hatlar üzerinde damlatıcıların yerleştirildiği borulardan oluşmaktadırlar.

Damla sulama yönteminde, lateral olarak kullanılan damla sulama boruları, üretim yöntemi ve damlatıcı işlevine göre sınıflandırılmaktadır.

Lateral boru hatları günümüzde polietilen malzeme kullanılarak üretilmektedir. Petrolden elde edilen sentetik polimerlerden olan PE, plastik atık olarak doğaya terk edildiklerinde, toprakta uzun süre parçalanamadığından çevre kirliliğine ve toksik madde birikimine neden olmaktadır. Yakılarak imha edildikleri zaman ise çevreye ve havaya toksik maddelerin salınımına yol açmaktadırlar. Ayrıca tarımsal arazilerde kullanıldıkları için çevreye verdikleri zararın boyutu daha da artmaktadır.

Doğa ile teknoloji arasında devam eden çatışma doğanın aleyhine hızlı bir şekilde ilerlemektedir. Katı atık yönetimi kavramının gündemin üst sıralarına tırmandığı günümüzde tarımsal ve sanayi katı atıklarının ortak bir noktada bulunduğu plastik boru atıkları çalışma konumuzu oluşturmuştur.

Günümüzde, Biyoplastik-PHB (Poli-Beta-Hidroksibütirat) gibi biyoparçalanabilir, yenilenebilir, biyouyumlu ve doğayla dost plastiklerin bakterilerde sentezi ve polimer kimyasındaki uygulamaları ile ilgili olumlu sonuçlar alınmaktadır.

Yenilenebilen kaynaklardan imal edilmiş biyo-polimerler, biyo-parçalanabilir ve toprağa karışabilir (kompostlanabilir) nitelikte olduklarından, verim artırıcı ve toprağı düzenleyici bir rol oynamaktadırlar.

Biyoplastik malzemeler, kullanım açısından geleneksel plastiklerle aynı başarıyı (performansı) vererek, biyolojik bir çevrim içerisinde geri dönüşebilmektedirler.

Bu çalışmada, tarımsal sulamada kullanılan sistemlerden en verimli olan damla sulama yönteminde yer alan yassı damla sulama borularının üretiminde kullanılan polietilen hammadde yerine çevre dostu olan mısır nişastasından elde edilen biyoplastik hammaddenin kullanım olanakları araştırılmıştır.

Araştırma kapsamında polietilen hammadde olarak alçak yoğunluklu polietilen G03-5, F2-12 ve biyoplastik-PHB hammadde olarak BOR-M-501F, BOR-M-502F, BOR-Z-503FM ve BOR-Z-703J kullanılmıştır.

Polietilen ve biyoplastik hammaddeler arasında uygun karışım oranları belirlenerek ekstrüzyon makinası kullanılarak, plastik film tabakası şeklinde numune üretimleri gerçekleştirilmiştir.

Üretilen numuneler üzerinde mekanik testler, çekme deneyleri, termal analizler (Diferansiyel Tarama Kalorimetresi (DSC) analizleri ve termal kamera çekimleri), aerobik havuz ve tarla deneyleri yapılmıştır. Ortaya çıkan sonuçlar, piyasada mevcut kullanılan damla sulama borularının sonuçları ile istatistiksel yöntemler kullanılarak karşılaştırılmıştır.

Çalışma sonunda polietilen ile biyoplastik hammaddeler arasındaki en uygun karışım oranları belirlenmiştir. Yassı damla sulama borusu üretiminde kullanılacak biyoplastik hammadde çeşidi belirlenmiştir.

Ayrıca elde edilen başarılı numuneler üzerinde yapılacak analizler ışığı altında, damla sulama borusu üretimi dışında kullanılacak tarım sektörleri ortaya çıkarılmıştır.

2. KAYNAK ÖZETLERİ

2.1. Tarımsal Sulama Sistemleri

Türkiye son yıllarda küresel ısınma, yanlış sulama uygulamaları sebebiyle mevcut su kaynaklarının büyük bir kısmını kaybetmiş ve gelecek yıllar için ciddi bir su sıkıntısına girmiştir.

Günümüzde bir ülkenin su zengini sayılabilmesi için yılda ortalama kişi başına 10.000 m³'ün üzerinde su potansiyeline sahip olması gerektiği ön görülmektedir. Oysa Türkiye 3690 m³ kişi başına düşen su potansiyeli ile bu değerin oldukça gerisindedir. Bu rakamlar göstermektedir ki, ülkemiz de sınırlı miktarda su varlığına sahiptir. Doğal kaynakların artan nüfus ihtiyaçlarını karşılaması, çevre kirliliği göz önüne alındığında mümkün görülmemektedir. Bazı tahminler, 2025 yılından itibaren 3 milyardan fazla insanın su kıtlığı ile yüz yüze geleceğini göstermektedir. Bunun nedeni, dünyadaki su kaynakları miktarının yetersiz olması değil, yönetiminin iyi planlanamamasıdır. Küresel ölçekte herkese yetecek kadar kaynak bulunmasına rağmen, iyi ve sürdürülebilir bir yönetim politikası benimsenmediği için, geleceğe ilişkin tehditler ciddi boyutlara ulaşmıştır (**Sivri ve ark. 2005**).

Yıldırım (1996)'a göre sulama, bitkinin ihtiyaç duyduğu ve yağışlarla karşılanamayan suyun toprakta bitkinin kök bölgesine gereken yer ve zamanda verilmesidir. Sulamada esas ilke tarla başına kadar getirilmiş suyun, en az kayıpla bütün tarlaya üniform bir şekilde yayılmasıdır. Sulama konusunda pek çok sistem vardır. İki ana grup sulama yöntemi vardır bunlar; 1-Geleneksel sulama yöntemleri/salma sulama, vahşi sulama, tava sulama ve karık sulama yöntemleri. 2-Kapalı borulu sulama sistemleri/basınçlı sulama sistemleri, yağmurlama sulama, mini sprinkler, bublers sulama ve damla sulama sistemleridir (**Akıncı 2003**).

Ülkemizde toplam sulanabilir alan 25.75 milyon ha'dır. Sulamaya açılmış ve mevcut kullanılabilir su potansiyelin tamamının kullanılması ile 2030 yılında 8.5 milyon ha alanın sulamaya açılması planlanmaktadır.

Çiftlik randımanı yüzeysel sulamada % 57.5 civarında iken, yağmurlama sulamada % 80'e, damla sulamada % 100'e varabilmektedir. Yüzeysel sulama yöntemlerine göre yağmurlama sulama yöntemi ile % 28, damla sulama yöntemi ile % 42 oranında su tasarrufu sağlanabilmektedir (**Coşkun 2008**).

Önder ve ark. (2008)'na göre ülkemizde sulama yöntemlerinin kullanımı incelendiğinde, alan bazında % 80 yüzey sulama, % 18 yağmurlama ve % 2 damla sulama

sistemi kullanılmaktadır. Buradan da anlaşıldığı gibi tüketilen su kaynaklarımızın çok büyük bir kısmı etkin kullanılamamaktadır.

2.2. Damla Sulama Sistemi

Demir ve Yürdem (2000)'e göre damla sulama sistemleri, uygun bir şekilde dizayn edildiğinde su, eş bir dağılımla verilebilmekte, böylece diğer sulama yöntemlerine göre önemli avantajlar sağlamaktadır. İdeal bir damla sulama sistemi ise, bütün damlatıcılardan eşit miktarda su çıkışının sağlanması ile oluşmaktadır. Eş su dağılımının sağlanamamasında etkili olan faktörler; damlatıcı ve hidrolik sistem faktörleri olmak üzere iki grup altında toplanabilir. Damlatıcı faktörleri, damlatıcılar arasında debinin değişmesine neden olan faktörlerdir. Bunlar; basınç ve su sıcaklığı, damlatıcı yapısının tek düze olmaması, damlatıcı yapısı ve montajdaki değişim, damlatıcıların kısmen veya tamamen tıkanması ile kurulan tesiste yer alan damlatıcı sayısıdır. Debi değişimi ve damlatıcı yapısının tek düze olması, eş su dağılımı üzerinde oldukça etkili olmaktadır. Damla sulama sistemi sabit sistem biçimindedir. Sistem unsurları, sulama mevsimi boyunca aynı konumda kalmaktadır.

Anonim-a (2009)'ya göre damla sulama sisteminin faydaları aşağıda belirtilmiştir. Her çeşit alanda rahatlıkla sulama sağlar. Toprağın en üst 10 cm'lik katmanı en verimli kısımdır. Salma (karık) sulama ile bu en verimli kısım erozyona uğramaktadır. Damla sulama toprağın çoraklaşmasını engellemektedir. Damla sulama ile sulanan bitkiler daha büyük ve daha sağlıklı yetişmektedir. Bitki sulama sezonu boyunca bir kuru bir yaş toprakta kalıp sulama stresine girmemektedir. Bitkinin kök bölgesini sürekli nemli tutarak köklerin toprak içinde çok rahat hareket edebilmesi sağlanmaktadır. Üründe verim artışı yöreye, iklime göre değişmekle birlikte % 80'lere kadar çıkabilmektedir. Sadece mahsuldeki verim ve kalite artışıyla dahi ilk sezonla birlikte yatırım masrafları geri alınabilmekte ve hatta üzerine gelir elde edilebilmektedir. Damla sulama borularının kullanımı ile su kaybı en aza indirilmektedir.

Boru içine belli aralıklarla yerleştirilen labirentler suyun istenilen miktarlarda bitki köküne verilmesini sağlar. Bitki sıra aralarının sulanmaması ve kuru kalması nedeniyle yabancı ot gelişimi azalmaktadır. Rüzgarlı havalarda sulama imkanı sağlamaktadır. İşçilik gübre ve mücadele ilaçlarından tasarruf sağlamaktadır. İstenildiği zaman tarla içine girilip tarımsal faaliyetler yapılabilir.

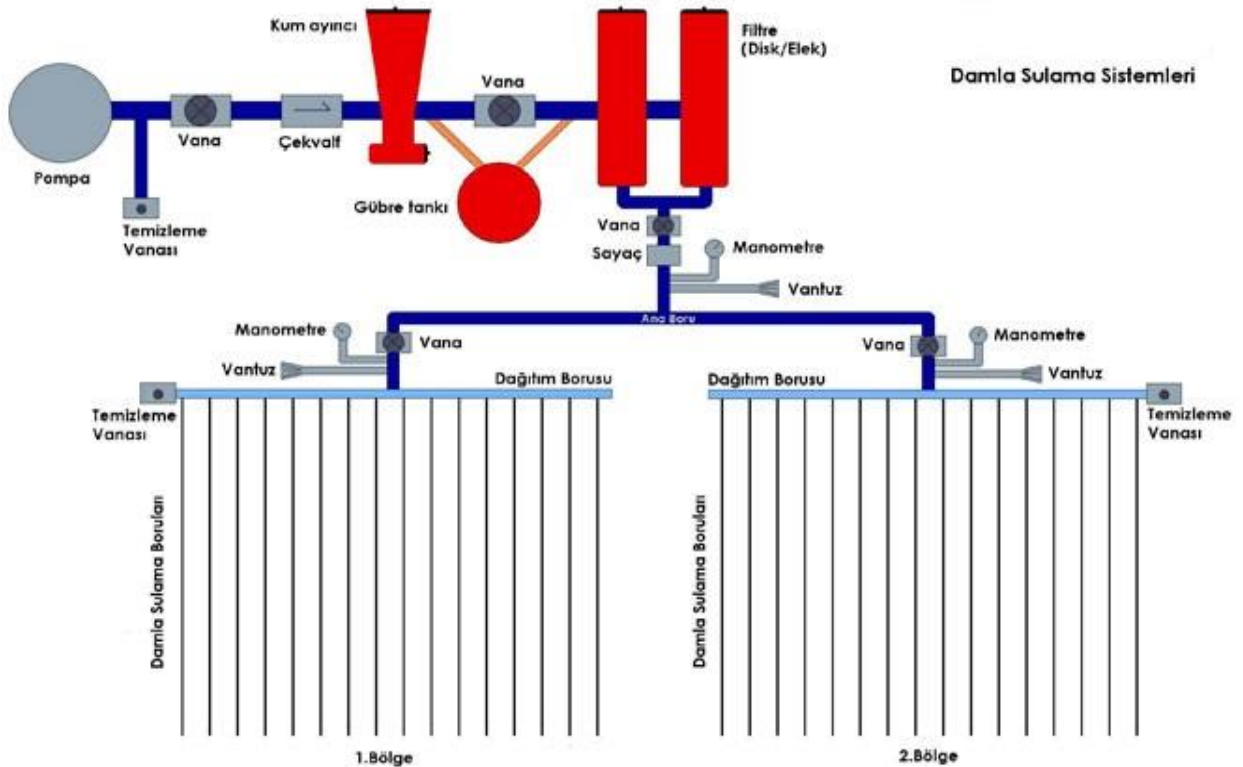
Yıldırım ve Korukçu (1999)'ya göre damla sulama sisteminin elemanları, su kaynağı, pompa ünitesi, kontrol ünitesi, kum ayırıcı (hidrosiklon), kum filtresi (gravel filtre), gübre tankı, filtre (disk/elek), ana boru hattı, alt ana boru hattı, dağıtım boru hattı (manifold), damla sulama boruları (lateral) ve damlatıcılarıdır.

Manifold boru hatları suyu ana boru hattından laterallere iletmektedir. Belirli sayıdaki lateral boru hattı manifold boru hattına bağlanmakta ve manifoldun ana boru hattıyla bağlantısı bir vana ile sağlanmaktadır. Manifold boru hattına bağlı laterallerin tümü bir işletme birimini oluşturmaktadır. Ana boru hatlarında olduğu gibi, manifold boru hatları da genellikle gömülüdür ve sert PVC borulardan oluşturulmaktadır (Demir ve Uz 1995).

Lateraller, bitki sıraları boyunca döşenen ve üzerinde damlatıcılar bulunan boru hatlarıdır. Çoğunlukla toprak yüzeyine serilmektedirler. Lateral boru hatları, genellikle, 4 atm işletme basınçlı, güneşin ultraviyole ışınlarına dayanıklı esnek (yumuşak) PE borulardan oluşturulmaktadır (Yıldırım ve Korukçu 1999).

Lateral boru hatlarında kullanılmak üzere üretilen borular çoğunlukla 16 mm ve 20 mm dış çapa sahip borulardır. Boruya içten geçik (in-line) damlatıcılar ve boruya üsten geçik (on-line) damlatıcılar olmak üzere 2 çeşit damlatıcı vardır. İn-line damlatıcılar, son yıllarda en yaygın biçimde kullanılan damlatıcı çeşididir (Karaca 2008).

Şekil 2.1’de damla sulama sistem elemanları gösterilmiştir (Anonim-a 2011).



Şekil 2.1. Damla sulama sistemi

2.3. Yassı Damla Sulama Borusu Üretimi

Laterall borular, damla sulama boruları olarak adlandırılır ve **Anonim-b (2009)**'ye göre Çizelge 2.1.'deki gibi sınıflandırılmaktadır.

Çizelge 2.1. Damla sulama borularının sınıflandırılması

Üretim Yöntemine Göre	Damlaticı İşlevine Göre
- Boru içine geçmiş damlaticılı borular (in-line)	- Standart damlaticılı borular
- Yuvarlak damlaticılı borular	- Basınç ayarlı damlaticılı borular
- Yassı damlaticı borular	- Ayarlanabilir debili damlaticılı borular
- Boru üzerine takılan damlaticılı borular (on-line)	

Üretim yöntemine göre, boru içine geçmiş damlaticılı borularda, damlaticılar boru içine üretim sırasında belli aralıklarla yerleştirilmektedir. Bu damlaticılar yuvarlak veya yassı damlaticı şeklinde olabilmektedir. Damla sulama sisteminde tüm boru ve damlaticıların siyah renkte olmaları istenmektedir. Böylece güneş ışığının alg üremesine olan olumlu etkisi önlenerek su akış yollarında yosun oluşumu engellenmektedir.

Boruların kullanıldığı zamanlarda, kuş, karga gibi hayvanlar damlaticıların bulunduğu yerleri zedelemektedirler. Sezon bitiminde boruların tarladan kaldırılırken mekanik zararlar oluşmaması için çok ufak çaplı makaralara sarılmamalarına dikkat edilmektedir. Toplanan makaralar kaldırıldıkları depolarda, fare gibi kemirgen hayvanların zarar vermelerine karşı da korunmaktadır (**Çamoğlu ve Yavuz 2004**).

Ayrıca kullanılacak ana boru, toprak yüzeyinde kalacaksa mutlaka UV ışınlarından etkilenmeyecek malzemelerden yapılmış olmalıdır (**Anonim-a 2010**).

Anonim-b (2010)'ye göre yassı damla sulama boruları, 16 mm çapında, kullanım yerine göre 8-10-12-16-18 mil et kalınlıklarında, 0.8-1.6-1.9 l damlatma debili ve damlaticı mesafeleri 20-30-40 cm olarak tasarlanmıştır. Kullanım ömürleri 1-3-5 yıllık ve daha uzun olarak üretilmektedir.

Önalın (2005) tarafından açıklanan damla sulama sistemleri, sulama boruları, dirsek, nipel, manşon, kör tapa vb. gibi yardımcı elemanlardan oluşmaktadır.

Polietilen esaslı damla sulama boruları üretimi, damlaticı üretimi ve boru üretimi olarak iki ayrı hatta gerçekleştirilebileceği gibi, damlaticılar piyasadan temin edilerek doğrudan boru üretimi şeklinde de gerçekleştirilebilmektedir.

Damlaticı ve yardımcı elemanlar üretimi, esas olarak, hammadde hazırlama, karıştırma, enjeksiyonla kalıplama ve soğutma aşamalarından oluşmaktadır. Boru üretimi ise, esas olarak esas olarak hammadde hazırlama, karıştırma, ekstrüzyonla boru imalatı, damlaticı yerleştirme, soğutma ve ambalajlama aşamalarından oluşmaktadır.

Hammadde olarak, damlatıcı ve yardımcı eleman üretiminde alçak yoğunluklu polietilen, damla sulama borusu üretiminde ise doğrusal alçak yoğunluklu polietilen ve boyar madde, katkı ve dolgu maddelerinden oluşan polietilen esaslı konsantre (masterbatch) kullanılmaktadır.

Piyasada en çok kullanılan 16 mm anma çaplı yassı damla sulama borusunun üretim çeşitleri Çizelge 2.2.'de verilmiştir (**Anonim-a 2012**).

Çizelge 2.2. Yassı damla sulama borusu (16 mm) çeşitleri

Anma Çapı (mm)	Et Kalınlığı		İç Çap (mm)	Dış Çap (mm)	Azami Çalışma Basıncı (atm)	Azami Yıkama Basıncı (atm)	Asgari Filtrasyon (mikron)
	(mil)	(mm)					
16	6	0.15	15.9	16.2	0.8	1.2	130
16	8	0.20	15.9	16.3	1.1	1.7	130
16	10	0.25	15.9	16.4	1.4	2.1	130
16	12	0.30	15.9	16.5	1.6	2.4	130
16	15	0.38	15.9	16.7	2.0	3.0	130
16	18	0.45	15.9	16.7	2.0	3.0	130
16	20	0.50	15.9	16.9	2.7	4.1	130
16	25	0.63	15.9	17.2	3.4	5.1	130

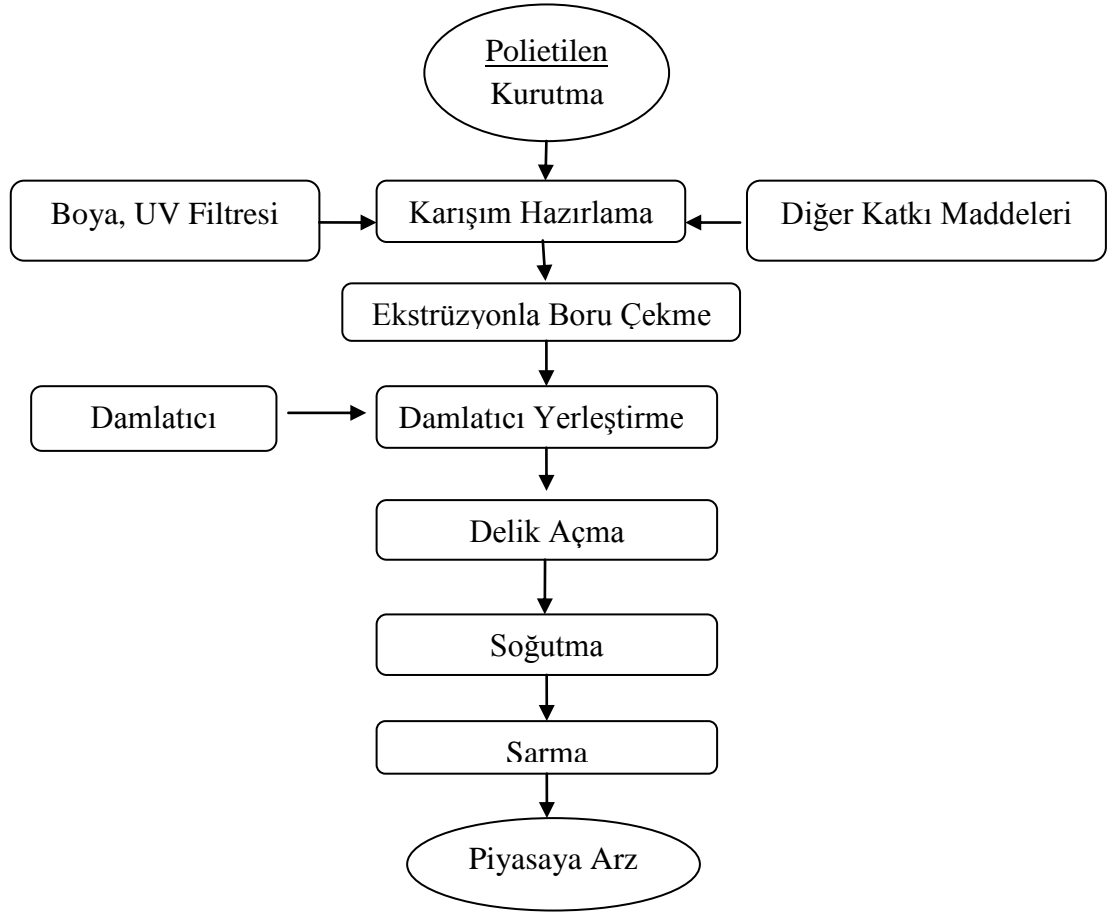
Anonim-b (2012)'ye göre plastik dünyasındaki teknolojik gelişmelere bağıntılı olarak ekstrüzyon yöntemi ile şekillendirilen plastikler, tarım, kağıt, kimya, mobilya, sağlık, otomotiv, tekstil, elektronik vb. sektörlerde kullanılmaktadır.

Ekstrüzyon, granül plastiğin koyulduğu bir besleme hunisi, üzerinde elektrikli ısıtma düzeni bulunan helezon haznesi, hatvesi ve dış yüksekliği değişen bir helezon bazen birden fazla uç kısma bağlı bir kalıp ile kontrol sistemi ve diğer yardımcı kısımlardan ibarettir. Ekstrüzyon ile üretim çeşitleri; boru üretimi, film ve levha üretimi, tel kaplama ve şişirme yöntemleridir.

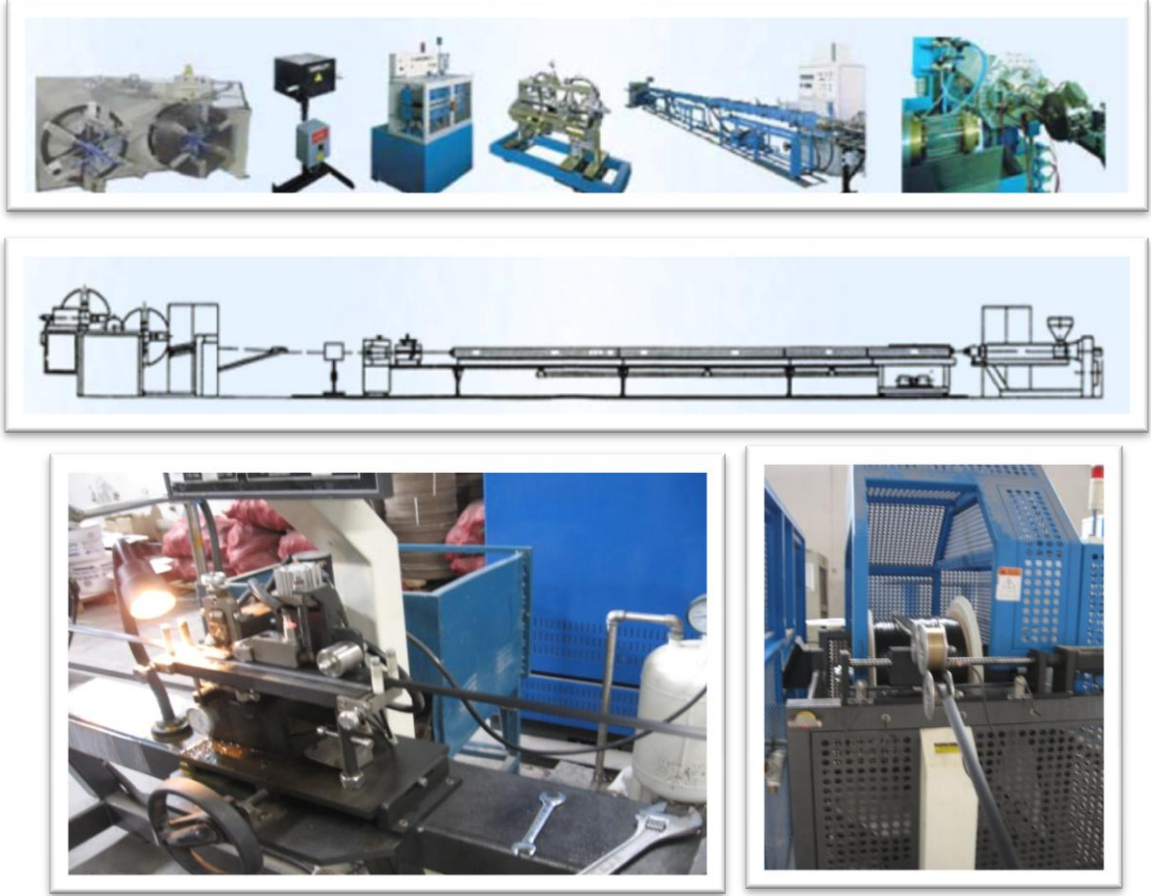
Önalın (2005)'a göre damla sulama boruları, doğrusal alçak yoğunluklu polietilenden ekstrüzyonla kalıptan boru çekilmesi sırasında boru içerisine belirli aralıklarla damlalık ilâvesiyle üretilmektedir. Damla sulama borusu üretimi sırasında öncelikle uygun miktarlardaki granül halindeki doğrusal alçak yoğunluklu polietilen ve konsantre vb. yardımcı maddeler karıştırıcıda homojen bir karışım haline getirilmektedir.

Granül halindeki hammaddelerin makinada işlenmesinden önce, eser miktarlarda da olsa, bünyelerindeki nemi uzaklaştırmak amacıyla mutlaka kurutulmaları gereklidir. Zira hammadde bünyesinde bulunan nem, kabarcıklanmaya sebep olarak, elde edilecek olan

damlatıcı veya yardımcı elemanların kalitesini olumsuz yönde etkileyebilmektedir. Ürün kalitesini olumsuz etkilememek amacıyla nemli granüller, 2 cm'yi geçmeyen bir kalınlıkta serilerek kurutma cihazında, 110 °C ile 120 °C'ta, birkaç saat süreyle kurutulmalıdır. Karıştırıcıdan gelen hammadde ve yardımcı maddeler karışımı, besleme hunisi vasıtasıyla belirli hızlarla ekstrudere beslenir. Uygun besleme hammadde ve yardımcı maddeler karışımı, ekstrüdere beslenerek ısıyla hamur haline getirilir, sonsuz vida ile kalıba doğru itilerek boru haline getirilir. Ekstrüder çıkışında yer alan halka şeklindeki kalıp, üretilecek damla sulama borusunun çapını ve et kalınlığını belirler. Damlatıcı besleme makinası vasıtasıyla enjeksiyonla elde edilen damlatıcılar ekstrüder girişine beslenerek, 20, 30 veya 50 cm aralıklarda ekstrüzyonla elde edilen boruya dizilir. Borular damlatıcıların damlatma kısımlarından delinerek çekiciyle sarım ünitesine alınır, sarılarak kangal haline getirilir, ambalajlanır ve piyasaya sevk edilmek üzere depolanır. Şekil 2.2.'de damla sulama borusu üretim akış şeması verilmiştir. Şekil 2.3.'te ise yassı damla sulama borusu üretimi gösterilmiştir.



Şekil 2.2. Damla sulama borusu üretim akış şeması



Şekil 2.3. Yassı damla sulama borusu üretimi

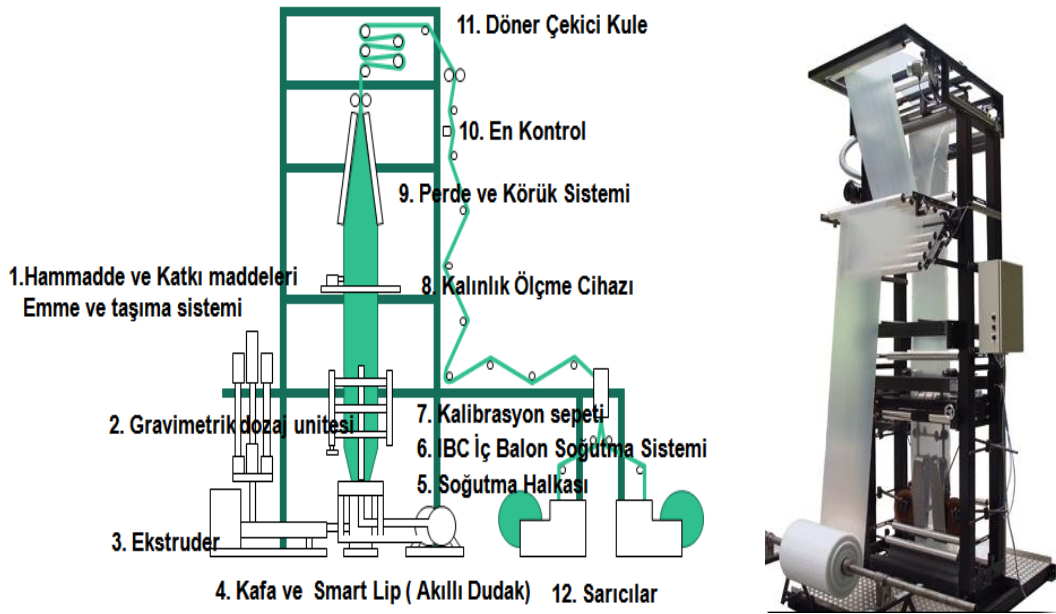
Ekstrüzyon ile üretim dendiğinde, ortak bir takım üretim özelliklerine sahip olmakla beraber birçok farklı özellik gösteren ürünlerin (boru, profil, kablo, film, levha vb) üretimi karşımıza çıkmaktadır. Ürünlerin bu farklı özellikleri üretim sistemlerine de yansımakta ve dolayısı ile ekstrüzyon yöntemi ile işlenen ürünler farklı özelliklerine uygun olarak değişik üretim hatlarında üretilmektedir. Ekstrüzyon yöntemi ile film üretimi plastik teknolojisinde geniş bir uygulama alanına sahiptir. Günlük hayatımızda kullandığımız poşet, torba, çeşitli bisküvi ve çikolata gibi ürünlerin ambalaj malzemeleri ve daha birçok ürün plastik film ekstrüzyonu ile üretilmektedir (**Anonim a 2006**).

Anonim-c (2012)'ye göre ekstrüzyon şişirme prosesinin temel basamakları aşağıda sıralandığı gibidir;

1. Termoplastik hammaddenin bir ekstrüderde plastikleştirilmesi ve hazırlanması,
2. Dikey bir akış ile erimiş plastiğin yönlendirilmesi,
3. Erimiş hammaddenin parison denilen akışkan hortum haline getirilip kafadan dışarı akıtılması,
4. Kafadan akan parisonun bir kalıbın arasında mengene yardımı ile kısıtılması,

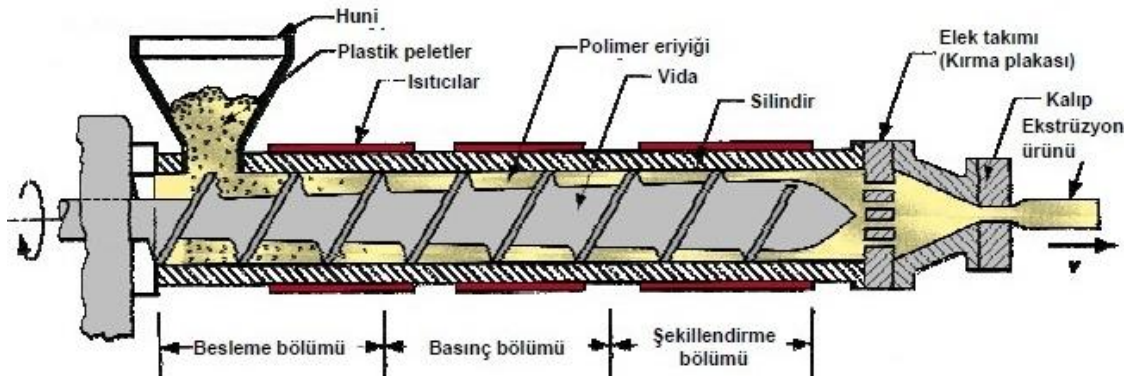
5. Şişirme pinleri ya da şişirme iğnelerinin kapalı olan kalıbın içine girmesi,
6. Soğutma suyuyulan soğutulmuş kalıp duvarlarının arasındaki parisonun şişirme pinleri aracılığı ile basınçlı hava ile şişirilmesi,
7. Kalıbın açılarak şişirilmiş ürünün şişirme pininde asılı kalması,
8. Şişirilmiş ürünün kenar bölgelerindeki çapaklarından arındırılması.

Anonim-d (2012)'ye göre şişirme film ekstrüzyon makinasının elemanları Şekil 2.4'te gösterilmiştir.



Şekil 2.4. Film ekstrüzyon makinası

Anonim-e (2012)'ye göre ekstrüzyon kapalı bir bölmede bulunan malzemeye basınç uygulanarak bir kalıp açıklığından akışa zorlanır; bu sırada malzeme kalıp boşluğunun belirlediği biçimde, sabit kesitli bir sürekli ürün oluşur. Şekil 2.5.'te tek vidalı bir ekstrüder makinasının elemanları gösterilmiştir.



Şekil 2.5. Tek vidalı bir ekstrüzyon makinasının elemanları

Anonim-f (2012), AYPE'nin film ekstrüzyon şartlarındaki büzülme (shrink) özelliklerinin belirlenmesi için yaptığı çalışmada, AYPE G03-5 (Erime Akış Hızı (190°C, 2160g) = 0.27 g/10dk, Yoğunluk (23°C) = 0.920 g/cm³, Şişme Oranı=1.40) hammaddesini kullanmıştır. Çalışma sonucunda; film çekme hızları; 3 m/dk, 5 m/dk ve 8 m/dk, şişirme oranları; 1:1, 2:1, 3:1 ve 4:1 şartlarında, 50 µm, 100 µm ve 150 µm film kalınlıklarında, katkısız, şeffaf filmler AMUT EA/30 ekstrüderinde (L/D=24) üretilmiştir. Ekstrüderin bölge sıcaklıkları sırasıyla 160°C, 200°C, 210°C, kafa sıcaklığı ise 210°C olarak belirlenmiştir. Sıcaklık seçiminin yapılmasında kullanılan film hammaddesinin erime noktası göz önünde bulundurulması gerektiğinden AYPE G03-5 ürününün erime noktası olan 110°C shrink test sıcaklığı olarak seçilmiştir. AYPE G03-5 filminin shrink özelliğinin shrink sıcaklığına bağlı olarak 110°C -120°C arasında, yani kristal fazın erimesiyle, hızlı bir artış içinde olduğu, daha sonraki sıcaklık artışlarının ise shrink özelliğini pek fazla etkilemediği görülmektedir. Ekstrüzyon şartlarının aynı olduğu durumlarda filmin shrink özelliği film kalınlığı ile ters orantılıdır. Film kalınlığının artması ile filmin her iki yönde de shrink özelliği azalmaktadır.

2.4. Yassı Damla Sulama Borusu Üretiminde Kullanılan Hammaddeler

Damla sulama boruları tabiat şartlarına özellikle de güneşe (ultraviyole ışınlarına) karşı korunmuş olmalıdır. Aksi halde boruda dağılmalar oluşabilmektedir. Damlaticı ile PE boru uygun şekilde birleşmiş olmalıdır. PE boruların et kalınlığı homojen, iç ve dış yüzeyleri pürüzsüz ve parlak olmalıdır. Damla sulama boruları imalatçısı tarafından ömür (yaşlandırma) testleri yapıldıktan sonra piyasaya verilmelidir. Bunun için uygun PE hammaddesi, uygun karışımla kullanılmalıdır (**Anonim-c 2010**).

Lateral olarak genellikle yumuşak Polibütilen (PB) veya Polietilen (PE) plastikten, 8 mm'den 26 mm'ye kadar değişen çaplarda imal edilen borular kullanılmaktadır (**Demir ve Uz 1992**).

Damla sulama boruları yaygın olarak 16 mm dış çaplı olarak piyasaya sunulmakta ve bu şekilde anılmaktadır. Ancak imalatçı firmaların ekonomik koşullar ve rekabet ortamı nedeniyle malzemedeki tasarruf yapma gerekçesiyle başvurduğu yöntemlerden en önde geleni, boru çapı ve/veya et kalınlığını değiştirmektir. Damla sulama boruları ve damlaticıları kapsayan yerli bir standardın olmaması, günümüz rekabet ortamında bunu kolayca uygulanabilir hale getirmektedir. Bu durum zamanla piyasada 16 mm dış çaplı olarak anılan fakat gerçekte çok daha küçük dış ve iç çapa sahip boruların yaygınlaşmasına neden olmaktadır (**Demir ve Yürdem 2002**).

Anonim-d (2010)'ye göre yassı damla sulama borularının teknik özellikleri; sezonluk veya çok yıllık uygulamalar için ekonomik çözüm, sebze ve her türlü tarla bitkileri uygulamalarında daha uzun hat çekme mesafesi, tıkanmaya dayanıklı, yüksek performanslı damlatıcı, çok düşük imalat değişim katsayısı sayesinde hat boyunca eşit debi, UV katkılı, %100 orijinal hammadde, 16 mm dış çap, 0.20 mm (8 mil), 0.25 mm (10 mil), 0.30 mm (12 mil) et kalınlıkları, 1.3 l/sa ve 2.6 l/sa debi, 1.0 atm uygulama basıncı olarak açıklanmıştır. Alçak yoğunluklu polietilen ve lineer alçak yoğunluklu polietilen hammadde kullanılarak yassı damla sulama borusu üretimi yapılmaktadır. Şekil 2.6.'da yassı damla sulama borusu ve damlatıcısı gösterilmiştir.



Şekil 2.6. Yassı damla sulama borusu ve damlatıcısı

Demirci B (2011)'ye göre, plastik boruların kullanım alanları giderek artmaktadır. Bu gün itibariyle plastik boruların en çok kullanıldığı alanlar şunlardır;

Şebeke Sistemleri: Doğalgaz taşıma sistemleri, temiz ve atık su taşıma sistemleri, sıcak su ve jeotermal su taşıma sistemleri.

Tarımsal Sulama: Basınçlı sulama sistemleri, yağmurlama sulama sistemleri, damla sulama sistemleri, yarı açık su iletim sistemleri, derin kuyu boruları, sondaj boruları, drenaj boruları, sera ısıtma boruları.

Isıtma Sistemleri: Folyolu plastik borular, kalorifer tesisat sistemleri, yerden ısıtma sistemleridir.

Tekin (2008)'e göre plastik, ilk olarak 1860 yılında Aleksander PARKES tarafından keşfedilmiştir ve bugün geniş bir alanda kullanılmaktadır. Plastik ürünleri dünyada yılda 80 milyon ton kullanılmaktadır. Plastiklerin kaynağı, ham petrol, gaz ve kömürdür. Plastiklerin genelde ana kaynağı petrol rafinerisinden arta kalan bakiye maddelerdir. Plastikler, karbonun hidrojen, oksijen, azot ve diğer organik ve inorganik elementli elementlerle oluşturduğu monomerler diye adlandırılan en küçük ve basit moleküllü gruptaki çift bağın koparılmasıyla

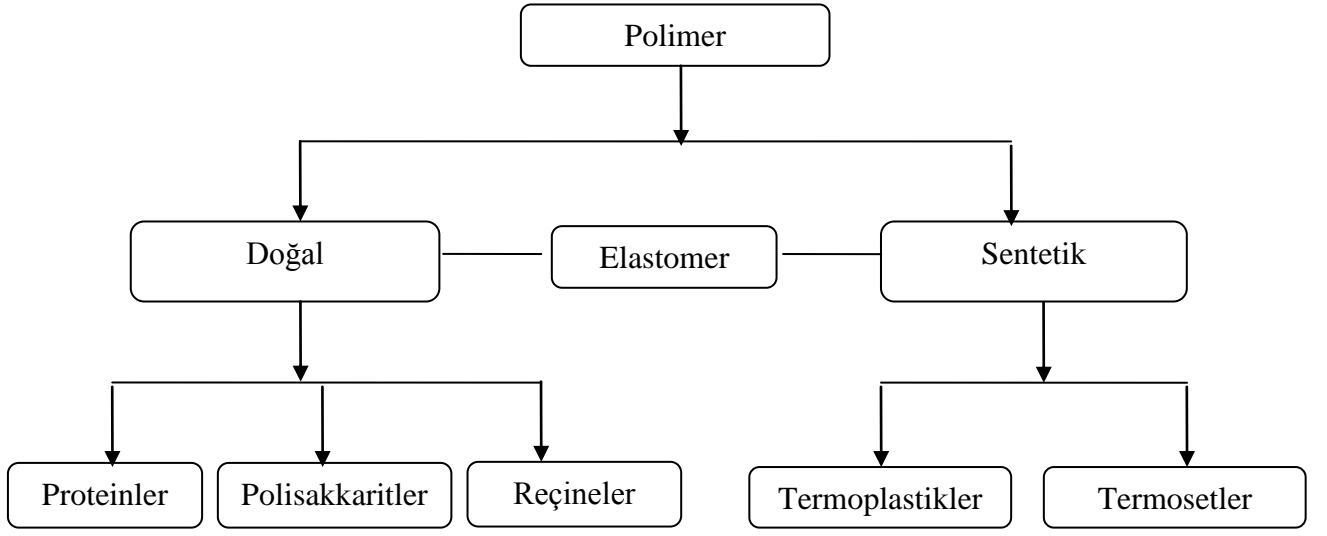
polimerler diye adlandırılan uzun zincirli yapıya dönüştürülmesi ile elde edilen maddelerdir. Polimerler, belli bir sıcaklık ve basınç altında ve belli katalizörler kullanılarak bir reaktörde monomerleri reaksiyona sokularak elde edilmektedir.

Polimerlerin, hem son ürün haline getirilmeleri için işlenirken hem de kullanım sırasında istenen özelliklerini korumaları beklenir. Bu amaçla, ilgili formülasyonlara degradasyonlarını önleyecek antioksidantlar, UV-stabilizörler, vb. katkı maddeleri ilave edilmektedir (**Pişkin ve Yavuz 1999**).

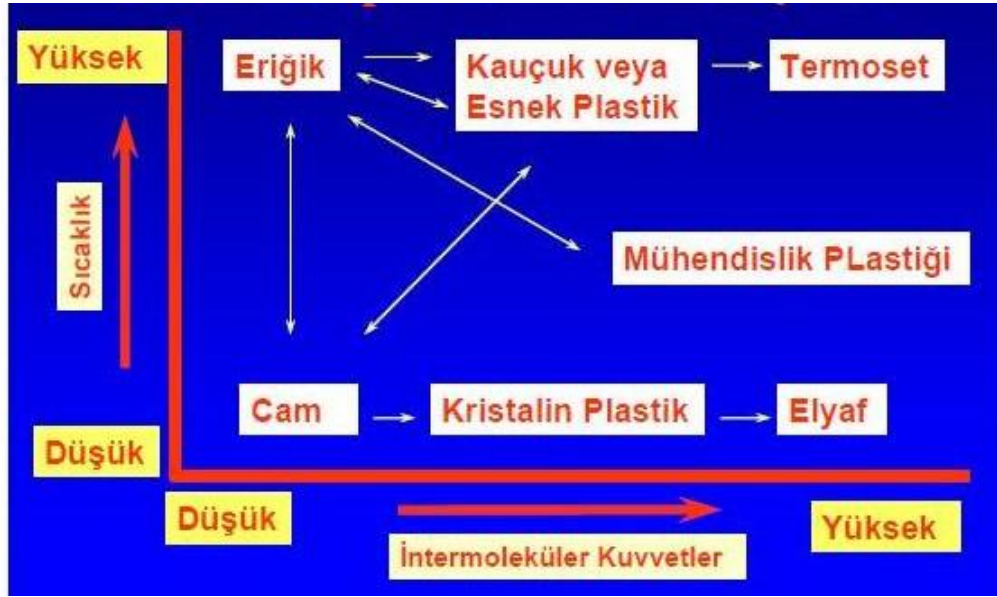
Anonim-a (2001)'ya göre maddenin en küçük yapı taşı olan atomların bir zincirin halkaları gibi birbirine bağlanarak oluşturduğu büyük molekül yapıları sentetik maddelere plastik adı verilmektedir. Plastik en küçük yapı taşını oluşturan bu tür büyük moleküllere makromolekül adı verilmektedir. Her atom birleşme değeri ile yanındaki atoma bağlanmaktadır. Plastikler, polimerizasyon, polikondenzasyon, poliadisyon türü kimyasal reaksiyonlarla veya tabii oluşumların modifikasyonları ile elde edilmektedir. Plastik terimi genelde sanayide kullanılan bir terimdir, bilimsel olarak polimer ile aynı anlama gelmektedir. Plastik yerine zaman zaman reçine terimi de kullanılmaktadır. Reçine genellikle plastik karışımları ve komponentleri söz konusu olduğunda kullanılan bir terimdir. Bir çok plastik esas yapıyı oluşturan "reçine" ile belirtilmektedir. Bunlar saf polimerlerdir. Reçineler doğrudan son ürün üretiminde kullanılabildiği gibi, son üründe istenen bazı özelliklere bağlı olarak bünyesine birçok katkı maddeleri katılarak da işlenebilmektedir. Plastikler, temel olarak üç gruba ayrılmaktadır. Bunlar, termoplastikler, termosetler ve polimer alaşımlarıdır.

Demirci-b (2010)'ye göre plastikler, hayatımızın vazgeçilmez unsurları haline gelmişlerdir. 21. yüzyılın malzemesi olarak nitelendirilen plastikler, kullanım kolaylığı, hafiflik, esneklik, kolay işlenebilirlik gibi sundukları pek çok avantaj nedeniyle her yerde kullanılmaktadır. Plastik ürünlerinin üretildiği birkaç metot var. Bunlar, akıtma ile dökme (kalıba dökme) ekstrüzyonlu kalıba dökme, üfleli kalıba dökme, sıkıştırılmalı dökme ve vakum termo şekil vermedir. Bugün yaklaşık 40 farklı polimer kullanılmaktadır. Her bir polimer farklı kimyasal kompozisyona sahiptir. Plastikler; termosetler ve elastomerler, termoplastikler (amorftermoplastik, yarı kristal termoplastik, sıvı kristalli termoplastik) termoplastik elastomerler olarak üç kategoride sınıflandırılmaktadır (**Tekin 2008**).

Öner (2009)'e göre polimerlerin sınıflandırılması Şekil 2.7. ve polimer yapılar arasındaki ilişkiler Şekil 2.8.'de verilmiştir.



Şekil 2.7. Polimerlerin sınıflandırılması



Şekil 2.8. Polimer yapıları arasındaki ilişkiler

Pehlivan (1995)'a göre yaygın olarak kullanılan plastik türleri aşağıda belirtilmiştir.

- Polietilen (PE): Geniş bir kullanım alanı vardır. Maliyeti düşüktür.
- Polipropilen (PP): Yaygın kullanılan plastiklerdendir. Otomobil yan sanayinde, bahçe mobilyalarında vb. yerlerde kullanılır.
- Polistiren (PS): Paketleme, elektronik ve beyaz eşyaların plastik kısımlarında vb. kullanım alanları vardır.
- Polietilen tereftalat (PETE): Pet şişe vb. üretimlerde kullanılır.

- Poliamid (PA)(Nylon): Fiber, diş fırçası kılları, misina vb. kullanım alanları vardır.
- Poliester :Tekstilde kullanımı yaygındır.
- Polivinil klorid (PVC):Boru, profil vb. imalatında kullanılır.
- Polikarbonat (PC): CD, gözlük vb. imalatında kullanılır.
- Akrlonitril bütadien stiren: Bilgisayar monitörleri, yazıcılar, klavyeler gibi elektronik aletlerin plastik aksamında yaygın olarak kullanılır.
- Poliviniliden klorid: Yiyecek paketlenmede kullanılır (**Tekin 2008**).

Anonim-b (2001)'ye göre termoplastikler genel olarak sanayide çok kullanım alanı bulunan bir plastik grubudur. Başlıca termoplastik çeşitleri ve tipik özellikleri Çizelge 2.3.'te verilmiştir.

Çizelge 2.3. Termoplastiklerin Tipik Özellikleri

	ADI	KİMYASAL FORMÜLÜ	T _{erime} °C	T _g °C
1	Alçak Yoğunluklu Polietilen	(-CH ₂ -CH ₂ -) _n	110	-100
2	Yüksek Yoğunluklu Polietilen	(-CH ₂ -CH ₂ -) _n	126-132	-100
3	Lineer Alçak Yoğunluklu Polietilen	(-CH ₂ -CH ₂ -) _n	120-130	-100
4	Orta Yoğunluklu Polietilen	(-CH ₂ -CH ₂ -) _n	110-130	-100
5	Polivinil Klorür	(-CH ₂ -CHCl-) _n	75-95	
6	Polistren	(-CH ₂ -CH ₆ H ₅ -) _n	70-115	
7	Polipropilen	(-CH ₂ -CHCH ₃ -) _n	160-170	-5

Anonim-g (2012)'ye başlıca termoplastikler ve onların camsı geçiş ve erime sıcaklıkları Çizelge 2.4.'te verilmiştir.

Çizelge 2.4. Başlıca termoplastiklerin camsı geçiş ve ergime sıcaklıkları

Polimer	Camsı Geçiş Sıcaklığı (°C)	Ergime Sıcaklığı (°C)
Polietilen	-70 - -60	105 - 130
Polipropilen	-20 - +5	160
Poli(metil metakrilat)	85 - 110	130 - 140
Polistiren	70 - 100	240
Poli(eter eter ketone)	145	340
Poli (laktik asit)	50 - 80	170 - 180
Poli(vinil klorür)	75 - 105	100 - 260

Ergün (2012)'e göre 2011 yılında plastik hammadde üretim miktarı 870 bin ton olarak gerçekleşmiş olup, 2012 yılı ikinci çeyrek verilerine göre 2012 yılı sonunda hammadde üretim miktarının aynı düzeyde kalması beklenmektedir. Üretilen plastik hammaddeler içinde; % 21 AYPE, % 18 S-PVC, % 17 PET, % 15 PP, % 14 AYPE-T, % 10 YYPE ve % 5 PS yer almaktadır.

Anonim-a (2001)'ya göre polietilen, yüksek ve alçak basınç prosesleri olmak üzere belli başlı iki temel yöntemle üretilir. Yüksek basınç prosesi ile alçak yoğunluklu polietilen ve kopolimerleri, düşük basınç prosesiyle ise yüksek yoğunluklu polietilen ve yeni geliştirilmiş olan lineer AYPE türü üretilir. Polietilenler sanayide; AYPE: Alçak yoğunluklu polietilen, YYPE: Yüksek yoğunluklu polietilen, OYPE: Orta yoğunluklu polietilen ve LAYPE: Lineer alçak yoğunluklu polietilen olarak adlandırılır. Polietilenler plastik işleme sektöründe en yaygın işleme sahası olan malzemelerdir. Film Ekstrüzyonu, ekstrüzyonla kağıt, metal kaplama, şişirme ile kalıplama, rotasyonel kalıplama, enjeksiyonla kalıplama, toz kaplamalar, tel ve kablo imali, boru hortum imalatı, köpük film imalatı, masterbatch imalatında kullanılırlar. Filmlerin uygulama alanları ise yiyecek paketleme, inşaat örtüsü, ziraat örtüleri, çöp gübre torbaları ve büzme ile sarma alanlarıdır.

Anonim-h (2012)'ye göre AYPE özellikle tarım alanında kullanılmaktadır. Türkiye'de 1970 yılından itibaren üretilmeye başlanmıştır. Alçak yoğunluklu polietilenden mamul ürünler dayanıklılık, ucuzluk, kimyasal maddelere ve dış etkenlere karşı dayanıklı olmak, yüksek yalıtkanlık, kolay işlenebilirlik gibi önemli özelliklerinden dolayı cam, kağıt, karton, deri, kösele, teneke, yün, pamuk, keten, kendir gibi geleneksel malzemelerden imal edilmiş eşyaların yerini almıştır. Turfanda sebzeçiliğin önem kazanması, tarımda sulama ve gübrelemenin gelişimine paralel olarak hububat üretiminin artması ile alçak yoğunluklu polietilen filmler seralarda ve hububat muhafazasında yaygın bir şekilde kullanılmaktadır.

Anonim-e (2010)'ye göre, AYPE grubundan olan G03-5 ve F2-12 kodlu hammaddeler, piyasada en çok kullanılan ürünlerdendirler. G03-5, geniş bir ekstrüzyon koşulları aralığında çok yüksek kalitede film üretimi yapılabilir. Yüksek mekanik dayanımı elde edilmesi için gerekli olan düşük eriyik akış hızına sahip olan G03-5'in işlenmesi sırasında nispeten yüksek ekstrüzyon sıcaklığına ihtiyaç duyulmaktadır. Optimum dengeli özellikleri elde etmek için eriyik sıcaklığının 190°C–220°C aralığında olması tavsiye edilmektedir. Yüksek verimde çalışıldığında, ekstruder vidasının sıkıştırma oranının 2.75:1 olması uygun bulunmuştur. G03-5 ürünü hiçbir katkı içermemektedir. Baskı öncesi mürekkebin yüzey yapışmasını arttırmak için filmler korona işlemine tabi tutulur. G03-5 filmleri piyasada mevcut torba üretim makinelerinde, standart yapışma koşullarında rahatlıkla ısı ile yapıştırabilir. G03-5 halojen içermeyen kimyasal yapıya sahiptir. F2-12, sahip olduğu üstün optik ve mekanik özelliklerinin kombinasyonu sayesinde genel amaçlı film uygulamaları için mükemmeldir. Yüksek parlaklığı ve düşük pusluluğu nedeniyle teşhir amaçlı (tekstil ve yumuşak eşyalar dahil) ambalaj üretiminde tercih edilmektedir. Filmlerinin

darbeye ve yırtılmaya karşı dayanımlarının iyi olması, ürün paketlemelerinde ve diğer orta ve ağır hizmet torbaları uygulamalarında da kullanılmasını sağlamaktadır.

Anonim-c (2009)'ye göre petrolden elde edilen sentetik polimerler (polietilenterefitalat (PET), PVC, PE, PP, PS ve PA) plastik atık olarak doğaya terk edildiklerinde, toprakta uzun süre parçalanamadığından çevre kirliliğine ve toksik madde birikimine neden olmaktadır. Yakılarak imha edildikleri zaman ise çevreye ve havaya toksik maddelerin salınımına neden olmaktadır. Plastikler çöpe atıldığı zaman çürümeden, paslanmadan, çözünmeden ve biyolojik olarak bozulmadan doğada uzun yıllar kalmaktadır. Bazı plastikler, doğada 700 yıl bozulmadan kalabilmektedir. Suyun ve toprağın kirlenmesine, sulardaki canlılara zarar görmesine ve hatta ölümlerine neden olmaktadır.

Günümüzde polimerler çok değişik alanlarda çok farklı uygulamalarda yaygın olarak kullanılmaktadır, özellikle gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerde kullanım hızlı bir şekilde artmaktadır, önümüzdeki yıllarda dünyada toplam yıllık polimer üretiminin 350-400 milyon ton boyutlarına ulaşacağı tahmin edilmektedir. Bu yüksek miktarda üretim ve buna bağlı olarak tüketim polimer atık sorununu beraberinde getirmiştir. Polimer atık sorununa, çöp merkezlerinde uygun depolama, geri kazanım, yakma, vb. gibi yöntemlerle çözüm aranmaktadır. Özellikle son yıllarda önem kazanan yaklaşımlardan birisi de doğada parçalanmayan polimerlerin kullanımınıdır (**Pişkin ve Yavuz 1999**).

2.5. Biyoplastik Hammaddeler ve Çevre

Doğada parçalanma süresi çok uzun olan yani doğada parçalanamayan plastikler olarak adlandırılan plastiklerin petrole bağımlı olması, atık problemi oluşturmaları ve geri dönüşümünde ayrıştırmanın zor olması gibi nedenler normal plastiklerin problem taşıyan yanlarıdır. Plastik atıkların çevrede uzun yıllar parçalanmaması, doğada bulunan canlıların yaşamını tehdit etmesi, şehirlerin ve ormanların estetik kaliteleri üzerine olumsuz etkilerinin bulunması, yok etme yöntemlerinden biri olan yakarak uzaklaştırma yönteminin soluduğumuz havaya zararlı gazların salınımı açısından insan sağlığını tehdit edici unsurlar taşıması nedeniyle alternatif bir uygulama olan biyoplastik üretimini bir çözüm önerisi olarak karşımıza çıkarmaktadır. Biyoplastik hem doğada tamamen parçalanabilme özelliği nedeniyle hem de petrole gereksinimi ortadan kaldırarak yenilenebilir enerji kaynakları kullanımı ile üretilmesi, sentetik plastiklerin fiziksel ve kimyasal özelliklerine sahip olması nedeniyle plastik sektöründe çok değerli bir maddedir (**Tekin 2008**).

Khanna ve Srivastava (2005)'ya göre parçalanmayan plastik atıkların yarattığı çevre kirliliği problemlerine karşı birkaç çözüm yolu bulunmaktadır. Bunlar yakarak yok etme, geri dönüşüm uygulama ya da biyolojik olarak parçalanabilen plastikleri üretip kullanmaktır.

Petrol kökenli plastikleri yakarak yok etme iyi bir çözüm gibi görünse de çevre ve insan sağlığını riske atan bir yöntemdir. Çünkü; plastik atıklar yakılırken hidroklorik asit ve hidrojen siyanid gibi zararlı gazlar ortaya çıkmaktadır. Geri dönüşüm uygulama da uygun bir çözüm gibi görünmekle birlikte bazı dezavantajları bulunmaktadır. Birincisi pahalı bir yöntemdir, ikincisi plastik atık materyallerin ayıklanması çok zaman alıcı bir işlemdir **(Dinigüzel 2005)**.

Tüm dünya plastiğe sarılmış gibidir. Plastikler günlük hayatımızın vazgeçilmezleri arasında olup, ev aletleri, arabalar, spor aletleri, ofis ve bilgi teknolojileri ve ambalajlarda kullanılmaktadır. Plastiklerde bugün geri dönüşüm, çevreci yok etme ve çevre dostu olma özellikleri çok önem kazanmıştır. Geleneksel plastiklerin ana çevre problemi çok uzun süre doğada bozunmamaları ve yenilenemeyen doğal kaynak olan petrol, kömür veya doğal gazdan üretilmeleridir. Petrokimyasal maddelerden üretilen sentetik polimerik makromoleküllü plastik malzemeler; eğer, enzimler moleküler zincir yapılarını parçalarsa ve oluşan küçük parçalar mikroorganizmalar tarafından besin olarak kullanılırsa tamamen biyolojik bozuşabilirler. Doğal çevredeki bazı yenilenebilir bitkiler en büyük makromolekül üreticileridir. Bunlar nişasta ve selüloz gibi bitkisel orijinli biyolojik polimerlerdir. Biyolojik bozuşma malzemenin küçük parçalara yaşayan organizmalar tarafından parçalanması ve doğada yok olmasıdır **(Anonim-ı 2012)**.

Biyoplastik malzemeler kullanım açısından geleneksel plastiklerle aynı başarıyı vererek, biyolojik bir çevrim içerisinde geri dönüştürülebilmektedir. Bugünlerde biyoplastikler ve özellikle nişasta bazlı plastikler (polilaktik asit gibi), biyobozunurluğun gerekli olduğu hızlı servis ürünleri, ambalajlama, tarım ve hijyen ürünlerinin paketlenmesi gibi alanlarda kullanım olanağı bulmaktadır **(Tütüncü ve Deniz 2008)**.

Demirci (2008)'ye göre biyoplastikler, hemen hemen tüm dünya plastik mamul üreticileri için giderek artan ölçüde önem kazanmaktadır. “Biyoplastikler” genellikle ahşap (selüloz), bitkisel yağlar, şeker veya nişasta gibi doğal kaynaklardan türetilmiş bir plastik şekli olarak kabul edilmektedir. Birçok kişi “biyoplastik” terimini aynı anda iki farklı kavramın tanımlanması için kullanmakta ve bu da genellikle karışıklığa yol açmaktadır. Bu iki kavram şunlardır: 1- İşlevsellik, yani biyobozunabilen/ kompostlaştırılabilen plastikler, 2- Malzeme kaynağı, yani yenilenebilir kaynak-bazlı veya biyo-kütle-bazlı plastikler. Şu anda, biyokütle-bazlı plastik üretiminde kullanılan en yaygın hammaddeler mısır, nişasta ve patatestir. Biyoplastikler tarım sanayi için yeni potansiyeller sunmaktadır. Tarımsal hammaddeler (yenilenebilir kaynaklar) biyoplastik üretiminde önemli bir rol oynamaktadır. Biyoplastik ürünleri tarımda anlamlı uygulama alanları bulmaktadır. Ayrıca, tarım ürünleri

için tamamen yeni ve gıda-dışı bir pazar bulmuş olmaktadır. Bitki tipine ve biyoplastik tipine bağlı olarak, yaklaşık 2 ton biyoplastik için gerekli biyokütlenin ihtiyaç duyduğu alan 1 ha'dır. Gıda mahsullerinin biyoplastikleri de içeren gıda dışı uygulamalara dönüştürülmesi konusunda kamuda endişeler mevcuttur. Bu yüzden tarım ve polimer sanayilerinin, tarımsal arazileri iyi yönetmesi ve dengeli kullanması önemlidir.

Anonim-b (2008)'ye göre çevreci plastikler yenilenebilir hammaddeler olan mısır ve patates nişastası veya belli karışımlarından yapılır. Bu doğal bitki polimer plastikleri kompostlama esnasında doğal polimerler gibi mikroplar tarafından kolaylıkla saldırılıp bozuşturulur ve artık bırakmadan biyolojik yok olurlar. Termo-plastik nişastayla biyolojik bozuşan sentetik polimer (nişasta karışımı) birleştirilerek kullanılır veya esnek filmler yapılabilir. Biyolojik bozuşan plastikler hem yenilenemeyen doğal kaynakları (petrol, kömür, doğalgaz) hem de çevreyi korur. Örneğin tarımsal plastik ve torbalar işleri bittiğinde toprakla birlikte sürüldüğünde organik içeriğinden dolayı sebzelere (marul, salata, çilek vs) gübre görevi görür. Üretim maliyetleri açısından PLA ve PHA biyolojik bozuşan plastikleri geleneksel plastiklerden 2-10 kat daha pahalıdır. Ancak çevrecilere göre geleneksel plastiklerin kullanım sonrası toplama ve yok etme maliyetleride dikkate alınırsa nihai maliyet biyolojik bozuşan plastiklerle daha iyi mukayese edilebileceğini ifade etmektedirler

Anonim-d (2009)'ye göre yenilenebilir biyoplastikler üzerine yapılan araştırmaların son yıllarda hızlanmasıyla ve petrol fiyatlarının her geçen gün daha da artmasıyla birlikte, biyoplastiklerin laboratuvar ortamından çıkıp ticari boyutlarda üretilmesi kaçınılmaz olmuştur. Biyoplastik endüstrisinin en kritik limitlerinden birisi nişasta bazlı hammaddelere bağlı olmasıdır. Nişasta, besin zincirinin önemli bir parçası olduğu için fiyatı çok dalgalanmakta ve ayrıca nişastayı polimer hammaddesi olarak kullanmak besin zincirini ciddi ölçüde etkileyebilmektedir.

Anonim-i (2012)'ye göre kullanılan hammaddeler, üretim şekli, ticari gübreleme tesisleri, sıcaklık vs. gibi faktörlere dayalı olarak dünya genelinde değişik gübrenme süresine sahip biyoplastikler üretilmektedir. Mevcut uluslararası standartlar, temel kriterlerin yanı sıra 180 gün içinde % 60 oranında gübrenmesini ve biyolojik olarak çözülmesini öngörmektedir.

Gübrelenebilir plastik; görsel olarak normal plastikten çokça ayırt edilebilecek özellikte olmamasına rağmen, karbondioksit, su, bakteriyel etkiler ve inorganik etkilerle gübrelenebilir olabilen bir plastik türüdür. Gübrenmesi esnasında veya sonrasında herhangi bir toksit atık bırakmayan bir biyokütledir.

Amerikan ASTM normlarına göre bir plastiğin gübrelenebilir olabilmesi için üç temel kriteri karşılaması gerekmektedir: 1.Biyoyarışabilirlik: Selülöz (kağıt) ile aynı oranda karbon dioksit ve su gibi biyokütleyle ayrışması. 2. Parçalanabilirlik: Gübrelenme sonrası izlenebilir değildir. Yani kompost içerisinde gözle fark edilemez ve elenmesi gerekmez. 3. Eko-toksisit: Biyolojik olarak ayrışma ve gübrelenme sonrasında herhangi bir toksik atık üretmemesi gerekmektedir.

Biyobozunur plastik, bakteriler, mantarlar, vs. gibi doğada mevcut bulunan mikroorganizmaların zaman içindeki eylemlerinden dolayı çürüyecektir. “Zehirli artık bırakmama” şartı haricinde bozunmanın ne kadar zamanda gerçekleşeceği ile ilgili bir sınırlama yoktur.

Parçalanabilir/Oksobozunur plastik: Belirli çevre koşullarında kimyasal değişikliğe uğrayan bir plastik türüdür. Genellikle, kimyasal olarak değiştirilen plastik veya parçalanma için içeriğinde çeşitli metallerin katalizör olarak kullanılmasıyla ayrışmanın tetiklenmesi prensibine dayanmaktadır. Parçalanabilir plastik, yukarıda tanımlandığı gibi, toksit kontrolü olmayan sadece parçalanabilen ve zaten karbon (petrol) içerikli moleküllerin genetik olarak değiştirilmesi sonucunda elde edilmesi sebebiyle bir çözüm değildir. Çünkü parçalanabiliyor olması, çevre kirliliğini önlemeye katkıda bulunduğu anlamına gelmemektedir. Bir plastiğin, parçalanabilir olması, o plastiğin biyoçözünür plastik olduğu anlamına gelmemektedir. Çünkü ikisi arasındaki en önemli fark, parçalanmanın mikroplar tarafından başlatılması koşulu, gübrelenme ve toksit kalıntı bırakmama özellikleriyle ortaya çıkmaktadır. Genellikle bu durum yanlış anlaşılmakta ve/veya yanlış takdim edilmektedir.

“Oksobiyobozunur” plastiklerin parçalanması biyobozunmadan ziyade bir kimyasal reaksiyonun sonucudur. Ortaya çıkan parçacıklarsa doğada kalacaktır. Parçalanma atık sorununa bir çözüm değil, daha çok gözle görülür kirleticilerin (plastik atık) gözle görülmez kirleticilere (parçacıklar) dönüştürülmesidir. Bu, genel olarak, plastik atık sorunu için uygun bir çözüm sayılmaz, çünkü atıkların çevreye atılması sonucu kirlilik şeklinde ortaya çıkan davranışsal sorun bu tür ürünlerle tetiklenebilir.

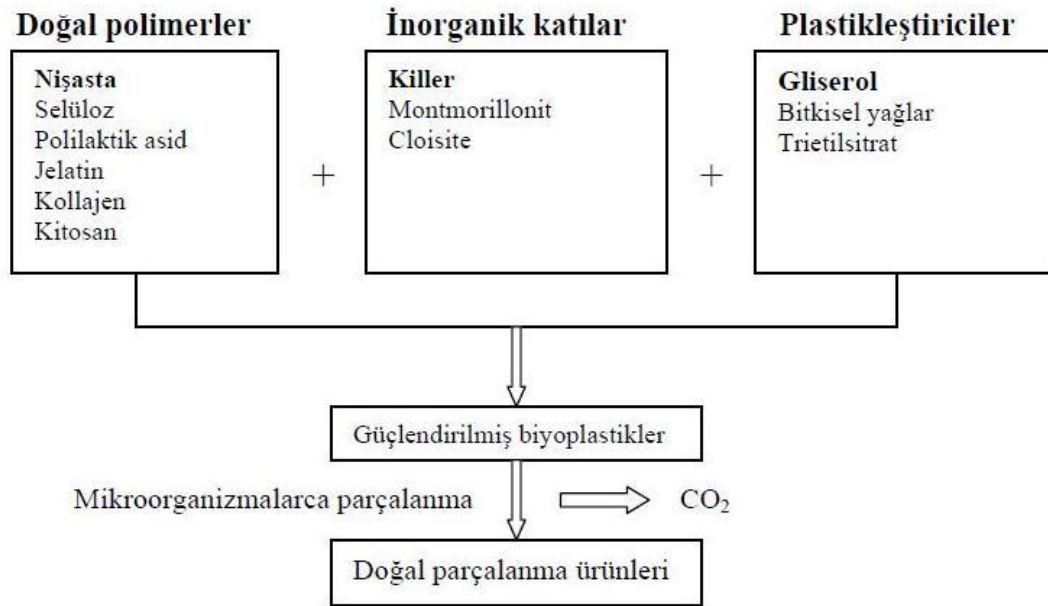
Yukarıda ayrıntılı olarak anlatılan biyobozunur ve oksobozunur plastikler arasındaki farkların ışığı altında, doktora çalışmasında biyobozunur plastik hammaddeleri kullanılmıştır.

Anonim-j (2012)'ye göre hızla artan tüketim ve işlenmesi sonucu açığa çıkan sera gazlarının küresel ısınmaya katkısı dolayısıyla biyoplastikler ve biyobozunur plastikler, petrokimya kökenli konvansiyonel plastiklere alternatif olarak son yıllarda gündeme gelmişlerdir. Ar-Ge çalışmalarının yeni ve pahalı olması biyoplastiklerin üretim maliyetlerini yükseltmektedir. Henüz plastik endüstrisindeki yerleri oldukça küçüktür. En yaygın

biyoplastikler; 1-Niřastadan üretilen termoplastikler, 2-Selüloz kökenli selüloz asetat, 3-PBS (Polibütirat Süksinat), 4-PHBV (Polihidroksibutirat Valerat), 5-PLA (Polilaktik Asit), 6-PHA (Poli-Beta-Hidroksialkanat) ve PHB (Poli-Beta-Hidroksibütirat)'dir.

PHB, şeker ya da nişastanın fermentasyonu ile elde edilir. *Bacillus sp.*, *Pseudomonas sp.*, *Azotobacter sp.* doğal üreticileridir, hücre içi depo granülü şeklinde sentezlenmekte ve biriktirmektedir. 3 ton substrattan 1 ton PHB elde edildiğinden maliyeti oldukça fazladır ancak řu an Güney Amerika'daki şeker endüstrisi 5 Euro/kg'dan üretimi yapabilmeyi hedeflemektedir. Biyobozunur olan PHB, aerobik ortamda CO₂ ve suya, anaerobik ortamda CH₄'e dönüşmekte ve 1 aydan birkaç yıla kadar sürede parçalanabilmektedir.

Anonim-k (2012)'ye göre biyobozunur yani doğada bozunan plastikler; nişasta, selüloz, protein gibi doğal polimerlerden üretilmektedir. Doğada bozunabildikleri için çevreyi daha az kirletmekte, atık sorununu azalttığı için tercih edilmektedirler. Plastik'in biyobozunurluğu biyopolimer matriksi içerisine kil gibi inorganik partiküllerin ilavesiyle geliştirilebilir ve tabakalı silikatların modifikasyonunda kullanılan sürfektanlar ile de kontrol edilebilir. Şekil 2.9.'da biyoplastiklerin katkı maddeleri gösterilmiştir.

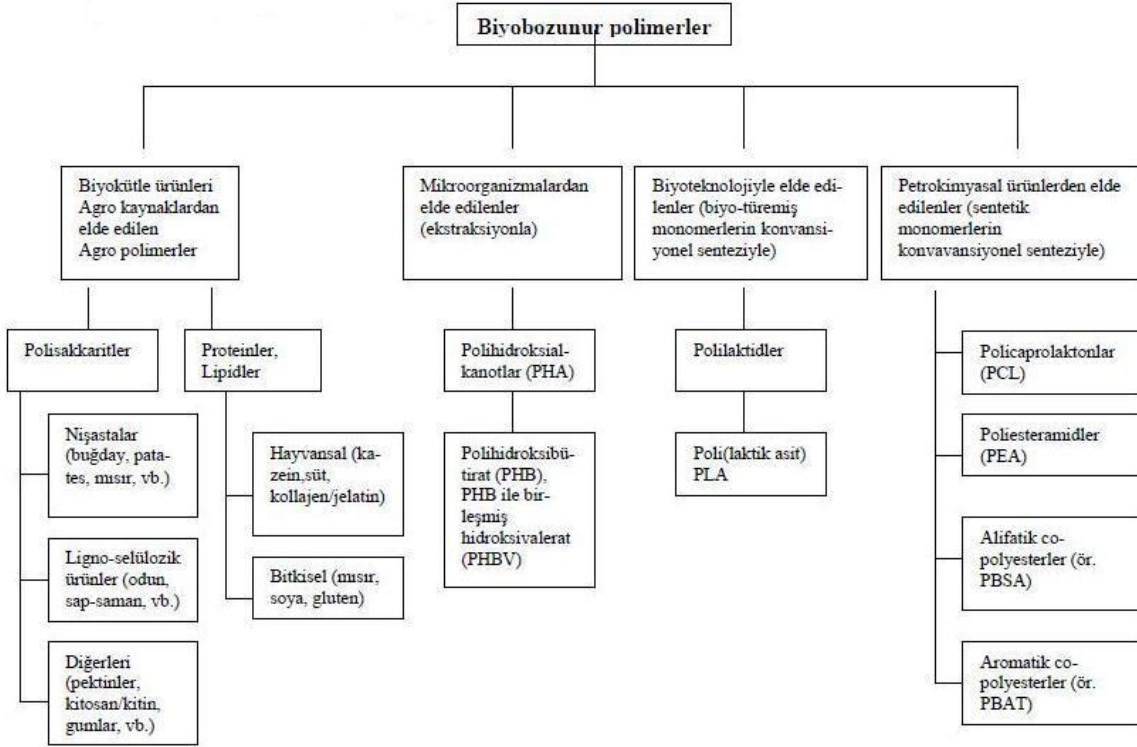


Şekil 2.9. Biyobozunur polimerlerin katkı maddeleri

Biyobozunur polimerlerin (biyopolimer) büyük miktarı bütün organizmaların büyüme döngüleri sırasında kimyasal veya biyolojik olarak sentezlenmektedir.

Şekil 2.10.'da biyobozunur polimerlerin sentezlerine bağlı olarak, dört farklı kategorili bir sınıflandırması gösterilmektedir:

- Tarımsal kaynaklardaki agro-polimerler gibi biyokütlelerden elde edilen polimerler, ör. nişasta, selüloz,
- Mikrobiyal üretimden elde edilen polimerler, ör. polihidroksilalkanotlar,
- Tarımsal kaynaklardan elde edilen monomerler kullanılarak kimyasal olarak sentezlenen polimerler, ör. PLA,
- Hem monomerleri hem de polimerleri fosil kaynakların kimyasal sentezinden elde edilen polimerler.



Şekil 2.10. Biyobozunur polimerlerin sınıflandırılması

Janssen ve Moscicki (2006) yaptıkları çalışmada, ambalaj üretiminde kullanılan sentetik plastiklerin yerine kısmen termoplastik nişastaların geçebileceğini belirtmişlerdir. İlk olarak nişasta ve polioldan oluşturulan karışım pişirme-ekstrüzyon işleminden geçirilerek bir yarı mamül elde etmişlerdir. Elde edilen malzeme diğer polimer malzemeler gibi ekstrüzyon üfleme, film ve enjeksiyon kalıplama işlemlerde kullanılabilir. Eğer hammaddenin jelatinizasyonu iyi ve nem içeriği sabit ise 200 µm kalınlığa sahip filmler elde

edilebilmektedir. Termoplastik nişasta filmlerin üretimi için klasik bir tek vidalı şişirme film makinası kullanılmaktadır. İyi bir jelleşme ve karıştırma işlemi, filmlerde kabarcık oluşmasını engellemiş ve daha ince kalınlıklarda film üretimine olanak sağlamıştır. İnce et kalınlıklarındaki filmlerin üretimi sırasında nem değerinin dengeli olması gereklidir.

Birçok ülkede rahatlıkla yetişebilen bir bitki olan mısırdan elde edilen doğal mısır nişastasının ortalama granül büyüklüğü 15 µm olsa da, granül çapları 3 ile 26 µm arasında değişmektedir. Mısır nişastasında amiloz oranı % 25-28 arasında, amilopektin oranı ise % 72-75 arasında değişmektedir. Jelleşme derecesi ise, 62-72°C arasındadır. Mısır nişastasının diğer nişastalardan en önemli farkı, hem dünya çapında, hem de ülkemizde üretiminin diğer nişastalara oranla çok daha fazla olması ve bu nedenle sağladığı fiyat avantajıdır (**Anonim-f 2010**).

Mısırın çok sayıda kullanım alanı olup, bitkisinin her parçası ayrı bir ekonomik değere sahiptir. Günümüzde mısırın doğrudan veya dolaylı olarak üretimine katıldığı 4.000 civarında farklı ürün mevcuttur. Mısırın başlıca kullanım alanları; taze olarak tüketim (haşlama ve kızılama), konserve, mısır unu, nişasta, cips, çerez, daneleri ve yeşil aksamı hayvan yemi olarak, yağ, tatlandırıcı, şekerleme, çiklet, çikolata ürünleri, bebek mamaları, salata sosları, alkol, yüksek früktozlu mısır şurubu, diş macunu, etanol (benzine katkı maddesi olarak) üretiminde ve otomotiv sanayi, temizlik malzemeleri, tekstil ve kozmetik sanayi olarak sayılabilir. Tahmini olarak dünya mısır üretiminin % 60'ı hayvan yemi, % 20'si insan gıdası (doğrudan tüketim), % 10'u işlenmiş gıda ve % 10'u diğer tüketimler ile tohumluk olarak kullanılmaktadır. Gelişmekte olan ülkelerde mısır, insan gıdası olarak ön plana çıkarken, gelişmiş ülkelerde hayvan yemi ve sanayi hammaddesi olarak kullanımı daha yüksektir (**Özcan 2009**).

Nisasta ve nisasta bazlı şekerler (NBS) sanayii ana ürünleri, doğal ve modifiye nişastalar ile glikoz ve fruktoz şuruplarından oluşmaktadır. Sektör genel olarak ilgili sanayi kollarına "sanayi ara hammaddesi" üreterek hizmet vermektedir. Bu sanayi kolları nişastalar için; oluklu mukavva, kağıt, tekstil ve gıdadır. NBS için ise; şekerleme, unlu ürünler, baklava, helva, dondurma, reçel ve içeceklerdir (**Artık 2008**).

Anonim-a (2008)'ya göre nişasta doğal polimerdir. Beyaz ve granüler bitkilerin fotosentezi esnasında üretilen karbon hidrattır. Bitkilerin enerji deposudur. Nişasta direk olarak biyoplastiğe dönüştürülebilse de suda çözünürlüğünün fazla olmasından dolayı, yapılan ürünlerde şişme ve deformasyon gözlemlendiğinden kullanımı sınırlıdır. İlk olarak nişasta; mısır, tahıl veya patatesten elde edilir, sonra mikroorganizmalarla monomer olan laktik asite

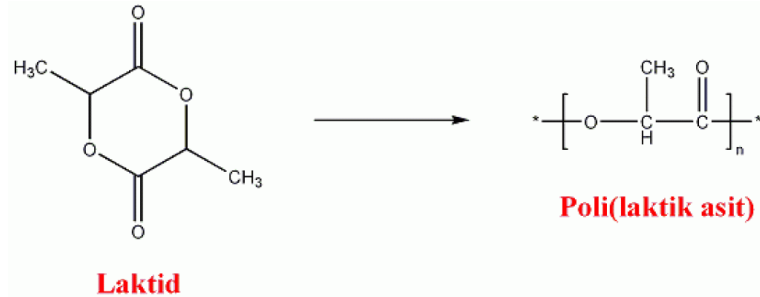
dönüştürülmektedir. Bazı biyolojik yok olan plastiklerin kullanım uygulamaları malç filmleri ve bitki saksı/kaplarıdır.

Tekin (2008)'e göre biyoplastik dendiğinde biyolojik olarak yenilenebilir enerji kaynaklarıyla canlı hücreler tarafından üretilen termoplastik özelliğe sahip polimer yapıları akla gelmektedir. İki şekilde kullanılmaktadırlar ya direkt petrol kökenli plastiklerin yerine kullanılmaktadırlar ya da petrol kökenli plastiklerle karışımları hazırlanarak kullanılmaktadır.

Biyoplastikler; nişasta kökenli plastikler, polilaktik asit plastikler, poli-3-hidroksibütirat kökenli plastikler, poliamid kökenli plastikler ve biyolojik etanol kökenli polietilenler şeklindedir. Bu biyoplastikler içinde, ışık aracılığıyla parçalanabilen biyoplastikler, bakteriler tarafından parçalanan biyoplastikler, depolama alanlarında gün ışığı ve oksijenin eksik olması nedeniyle parçalanamayan biyoplastikler, zayıf plastik özelliğindeki biyoplastikler olmak üzere hasara uğrayan biyoplastikler vardır. Ancak poliester kökenli biyoplastikler yani polihidroksialkanoat olarak yukarıda saydığımız diğer biyoplastiklere göre nemden, oksijenden, UV'den etkilenmemeleri nedeniyle ve ancak toprakta uygun koşulları bulunduğu parçalanmaları nedeniyle oldukça avantajlıdır.

Anonim-g (2012)'ye göre yinelenen birimleri laktik asit'ten oluşan PLA, alifatik poliesterler grubuna giren bir polimerdir. En önemli özelliklerinden biri, mısır, şeker kamışı, ve buğday gibi nişasta zengini bitkisel kaynaklardan üretilen biyo-çözünür ve gübrelenebilir bir termoplastik polimer olmasıdır. Biyolojik olarak emilebilen bir polimer olduğu için kullanımını uzun süre sadece biyo-medikal alanıyla kısıtlı kalmıştır. Ancak, son 10 yıl içinde insanların çevreye karşı duyarlılığının artmasıyla ve PLA'nın yeni özelliklerinin bulunmasıyla, poli(laktik asit)'in kullanım alanları genişlemeye başlamış, paketleme endüstrisinden genel tüketici ürünlerine kadar geniş bir alana yayılmaya başlamıştır.

Şekil 2.11.'de PLA'nın yapısı gösterilmiştir.



Şekil 2.11. PLA'nın kimyasal yapısı

Petrolden elde edilen sentetik polimerler, plastik atık olarak doğaya terk edildiklerinde, toprakta uzun süre parçalanamadığından çevre kirliliğine ve toksik madde birikimine neden olmaktadır. Bu nedenle, biyolojik olarak parçalanabilen polimerlerin

üretimi önem kazanmış ve petrol kökenli polimerlerin yerini almalarına yönelik çalışmalar artmıştır. Günümüzde, PHB gibi biyoparçalanabilir, yenilenebilir, biyoyumlu ve doğayla dost plastiklerin bakterilerde sentezi ve polimer kimyasındaki uygulamaları ile ilgili alınan olumlu sonuçlarla biyoplastiklere olan ilgi her geçen gün artmaktadır (**Yılmaz ve Beyatlı 2003**).

Gaspar ve ark. (2005)'a göre biyobozunur polimerlerin çoğu kimyasal veya mikroorganizmalar ve bitkiler tarafından oluşturulmaktadır. Biyobozunur polimerlerin farklı kökenleri vardır; tarımsal kaynaklardan elde edilen, nişasta veya selüloz gibi agro-polimerler. Mikrobiyal üretim ile elde polimerler (ör. Polihidroksialkanoatların). Tarımsal kaynaklı monomerlerden kimyasal olarak üretilen polimerler (örneğin poli (laktik asit)). Geleneksel olarak monomerlerden kimyasal sentez yolu ile elde edilen polimerlerdir (**Dinigüzel 2005**).

Khanna ve Srivastava (2005)'ya göre biyoparçalanır plastikler 3 kategoriye ayrılabilirler:

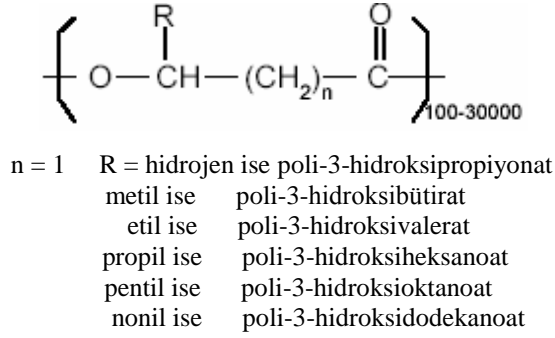
1) Kimyasal olarak sentezlenen plastikler: Poliglikolik asit, polilaktik asit, poli(ϵ -caprolactone), polivinil alkol, poli(etilen oksit) bu kategoriye girmektedir. Bunlar enzimatik veya mikrobiyal etkiye duyarlıdır. Plastiklerin bütün özelliklerini taşımadıklarından dolayı ticari açıdan plastiklerin yerini alacak derecede uygun değildirler.

2) Nişasta bazlı biyoparçalanır plastikler: Bu tipte, dolgu maddesi olarak nişasta eklenmekte ve çapraz bağlarla nişasta-plastik karışımı oluşturulmaktadır (örneğin; nişasta-polietilen). Toprak mikroorganizmaları nişastayı kolayca parçalayabildiğinden polimer matriks de parçalanabilmektedir. Bu yüzden parçalanma süresinde önemli bir azalma meydana gelmektedir. Fakat bazı plastikler kısmen parçalanabilmektedir. Nişasta parçalandıktan sonra açığa çıkan plastikler dayanıklı olup çevrede oldukça uzun bir süre kalmaktadırlar.

3) PHA'lar: Sadece bu grup %100 biyoparçalanır polimerlerdir. Bunlar çok çeşitli mikroorganizmalar tarafından, azot ve fosfor gibi temel besinlerin sınırlı konsantrasyonlarında ve karbon kaynağının fazlalığında enerji depo materyali olarak sentezlenen çeşitli hidroksialkanoat polimerleridir. PHA polipropilen gibi çeşitli termoplastiklere benzer özelliklere sahip olduklarından polipropilenin yerine kullanılabilirler. PHA toprak, deniz, göl suları ve atık sulardaki mikroorganizmalar tarafından aerobik şartlarda karbondioksit ve suya kadar anaerobik koşullar altında metana kadar tamamen parçalanabilmektedirler (**Dinigüzel 2005**).

Findlay ve White (1983), Lafferty ve ark. (1988), Anderson ve Dawes (1990), Slater ve ark.(1992), Madison ve Huisman (1999) ve Poirier (2002)'e göre PHA olarak

adlandırılan polimer, doğrusal, kısa zincirli β -hidroksi yağ asiti monomerleri içeren, zarla çevrili hücre içi depo materyali olup tekrarlanan hidrofobik birimlerden meydana gelmiş uzun bir polimerdir. **Steinbüchel (1991)** ve **Lee (1996)**'ye göre hidroksialkanoatların poliesteri olan PHA'nın genel formülü Şekil 2.12.'de gösterilmiştir (**Dinigüzel 2005**).



Şekil 2.12. PHA'nın kimyasal yapısı

Anonim-g (2012)'ye göre şu ana kadar yapılan araştırmalar, 150'den fazla *hidroksialkanoik asit* tabanlı bileşiğin farklı PHA polimeri oluşturabileceğini göstermiştir. Bu kadar farklı PHA monomeri olması da PHA polimerlerinin fiziksel özelliklerinin istenilen uygulamaya göre özel olarak ayarlanabileceğinin ve değişik malzeme özellikleri elde edilebileceğinin göstergesidir. Sentezlenen homopolimere ya da kopolimere bağlı olarak PHA'lar termoplastik ya da elastomer polimerlerdir ve birçok uygulama alanında kullanılacak potansiyele sahiplerdir. Birçok farklı tipte PHA sentezlenmesine rağmen hem endüstride hem de akademik çalışmaların çoğunda en yaygın görülen PHA türü PHB ve *hidroksivalerian asit* (HV) içeren PHB kopolimerleridir. Oldukça aktif bir bileşik olan hidroksibütirik asitten oluşan PHB polimerinin zincirinde metil yan-grubu bulunmaktadır. Yinelenen biriminde bulunan asimetric karbon atomundan dolayı PHB polimeri tamamen stereospesifiktir ve çok yüksek kristalliğe sahiptir. PHB, polipropilene yakın malzeme özellikleri gösterir, neme ve hava geçirgenliğine karşı direnci yüksektir. Neme dirençli olması, suda çözünmemesi ve optik saflık gibi özelliklere sahip PHB, diğer biyo-plastiklerden bu alanda farklılık gösterir. Ayrıca PHB oksijene karşı da oldukça dayanıklıdır. Bakteri bazlı PHB'nin petrol-bazlı polietilen ve polipropilene eşdeğer hatta bazen daha üstün özelliklere sahip, biyo-çözünür ve biyo-uyumlu bir malzeme olması bu biyoplastik grubunun endüstriyel öneminin her gün artmasına sebebiyet verir. Çizelge 2.5.'te PHA'ların özellikleri belirtilmiştir.

Çizelge 2.5. PHA'nın özellikleri

PHA (Poli hidroksi alkanoat)		
Yapı	Amorf / Kristal	
Yoğunluk	1,4	g/cm ³
Erime Sıcaklığı	171 - 182	°C
Kristalleşme Yüzdesi	65 - 80	%
Camsılaşma Sıcaklığı	5 - 10	°C
Doğrusal Genleşme Katsayısı (CTE)	-	µm/m-°C
Yük Altında Eğilme Sıcaklığı (HDT)	-	°C @ 0.46 MPa
Azami Servis Sıcaklığı (Hava)	60	°C
Elektrik İletkenliği	1,72 E-21	% IACS
Elektrik Direnci	1,0 E+24	nOhm*m
Saydamlık	Saydam / Opak	
Biyo-çözünürlük	İyi	
Mekanik Özellikleri		
Gerilme Mukavemeti	23	MPa
Basma Mukavemeti	26	MPa
Bükülme (Fleks) Modülü	3,5 - 4	GPa
Kopma Esnemesi	4	%
Poisson's Oranı	0,4	
Darbe Dayanımı (Çentiksiz Izod)	-	J/cm
Güç / Ağırlık Oranı	15	kN*m/kg
Sertlik	-	Shore Ölçeği

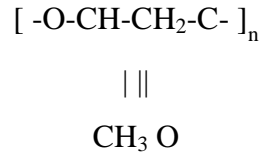
Zinn ve ark. (2007) tarafından yapılan çalışmaya göre, petrokimyasal kaynaklı plastiklerin doğada uzun sürede parçalanmadan kalmalarıyla meydana gelen çevre kirliliğinin önlenmesi amacıyla yapılan araştırmalarda mikroorganizmaların karbon ve enerji kaynağı olarak kullanılmak üzere stres koşullarında depoladıkları lipid granüllerinin plastik özellikte olması ve bu plastik materyalin doğada mikroorganizmalar tarafından parçalanması mikroorganizmalar kullanılarak plastik madde üretimini kapsayan bir sektörün gelişmesine neden olmuştur. PHA biyolojik olarak parçalanabilmesi açısından dikkat çeken bir polimer olmuştur. Bunlar arasında en yaygın olanı ve en iyi bilineni PHB'dir (**Ediz ve Beyatlı 2005**).

Doğal polimerlerin son yıllarda üzerinde durulanlarının başında, ticari üretim aşamasına gelmiş PHA gelmektedir. Birçok mikroorganizma (*Alcaligenes entrophus*, *Rhodospirillum rubrum*, *Pseudomonas oleovorans*, ve genetik olarak modifiye bakteri) fermentasyon ortamında uygun koşullar sağlandığında poli(3-hidroksi alkonatları) (özellikle PHB) ve bunun valerat ile kopolimerini (PHBV) sentezleyip hücre içinde biriktirmektedir. Rezerv karbon kaynağı olarak depolanan bu polimerlerin hücre içi konsantrasyonları, özellikle genetik olarak modifiye edilmiş olanlarda %90'ların üzerine çıkmaktadır. PHB ve PHO'nun (polihidroksioktonatın) özellikleri Çizelge 2.6.'da PP ile karşılaştırmalı olarak verilmiştir (**Akdoğan Eker 2009**).

Çizelge 2.6. PHB, PHO ve PP'nin karşılaştırmalı özellikleri

Özellik	PP	PHB	PHO
Erime Sıcaklığı (°C)	176	175	61
Camsı Geçiş Sıcaklığı (°C)	-10	5-10	-35
Kristalinite	70	80	30
Molekül Ağırlığı (x1 O ⁵)	2	5	5
Yoğunluk (g/cm ³)	0.905	1.25	1.0
Çekme Gerilimi (MPa)	38	40	6-10
Kopmada Uzama (%)	400	6	300-450

Anderson ve Dawes (1990)'e göre petrolden elde edilen sentetik polimerlerin (plastik) çoğu kullanımdan sonra fonksiyonunu kaybetmekte ve “plastik atık” olarak terkedilmekte ve toprakta uzun süre parçalanmadığından çevre kirlenmesine neden olmaktadır. Bu nedenle, biyolojik parçalanabilen polimerlerin (mikrobiyal termoplastik) üretimi önem kazanmıştır. Mikrobiyal plastiğin hammaddesini PHB oluşturmaktadır. Yan zincirinde bir metil grubu bulunan, optikçe aktif D(-)-3-hidroksi bütirik asidin makromoleküler bir polimeri olan PHB'nin genel formülü (C₄H₆O₂)_n şeklindedir (Şekil 2.13). (n) sayısı 35 000 gibi yüksek bir sayıya ulaşabildiği gösterilmiştir (**Ediz ve Beyathı 2005**).



Şekil 2.13. PHB'nin kimyasal yapısı

Annon (1994) tarafından termobiyoplastik maddenin toprakta mikroorganizma ile su ve karbondioksitde parçalandığı bildirilmiştir. Parçalanma süresinin iki aya veya iki yıla kadar bazı katkı maddeleri ile kontrol edilebilir (**Ediz ve Beyathı 2005**).

Anonim-c (2011), termoplastik nişasta malzemeleri üzerine yaptığı çalışmada yaklaşık %15-25 ağırlık oranında su ihtiva eden nişastanın diferansiyel taramalı kalorimetri (DSC) analizine göre jelleşme pik noktasının 60-70 °C olduğunu ifade etmiştir. Nişastaya hidrofilik polimer karıştırılmış ve tek plastikleştirici olarak su ilave edilmiştir. Gliserol, ya da başka bir alkol eklenmesi olmaksızın, nişastanın jelleşmesi ve plastikliği sadece su içeriğine bağlıdır. Su içerik dengesi malzemenin esnekliğini, çekme dayanımını ve uzamasını etkilemektedir.

Gaspar ve ark. (2005) yaptıkları çalışmada, nişasta bazlı polimer karışımını, farklı katkı maddeleri ile incelemiştir. TPS, 70 g mısır nişastası ve 30 g gliserol karışımı ile yapılmıştır. Selüloz, hemiselüloz, polikaprolakton (PCL) ve zein (protein) bu karışıma ayrı ayrı 10 g ilave edilerek karışımlar elde edilmiştir.

İlavesiz TPS (S70: G30), PCL ilaveli TPS (S70: G30: P10), selüloz ilaveli TPS (S70: G30: C10), zein (protein) ilaveli TPS (S70: G30: Z10) ve hemiselüloz ilaveli TPS (S70: G30: H10) karışım malzemelerinin, çekme dayanımı, su emmesi ve enzimatik yıkımları ölçülmüştür. Deneyler sonucunda; PCL ilaveliye göre, ilavesiz ve biyopolimer dolu TPS numunelerinin çekme dayanımları anlamlı derecede yüksek bulunmuştur. Hemiselüloz ve zein (protein) ilaveli TPS'ler iyi çekme dayanımına (10.4 MPa ve 11.5 MPa) ve elastisite modülüne sahip oldukları ortaya çıkmıştır. PCL, hemiselüloz ve zein ilaveli TPS'lerin su alımları hafif farklılıklar göstermiştir ancak ilavesiz ve selüloz ilaveli TPS'ler daha fazla nemi emmişlerdir. Mekanik test sonuçları göstermiştir ki selüloz katkı maddeli TPS'nin su direnci ve enzimatik hidroliz değerleri, ilavesiz TPS'den daha iyi olmamıştır. Katkı maddesi olarak hemiselüloz ve zein uygulanan TPS'lerin çekme dayanımlarında artış olmuş ve ürün ömrü de uzamıştır.

Ratto ve ark. (2012) yaptıkları çalışmada, biyobozunur termoplastik alifatik polyester karışımı olan, polibütilen suksinat adipat (PBSA)'nın granül haldeki mısır nişastası ile işlenebilirliği ile mekanik ve termal özellikleri ve biyobozunurluluğu incelenmiştir. PBSA /nişasta filmleri, ağırlık bazında % 5, % 10, % 15, % 20, % 25 ve % 30 oranında nişasta içeriği ile hazırlanmış ve üfleme film ekstrüzyon ile işleme tabi tutulmuştur. İşlenmeden önce tüm PBSA ve PBSA / nişasta örnekleri 55 °C ile 70 °C'de bir kaç saat kurutulmuştur. Karışımlar, dört ısıtma bölgesi ve üfleme film kalıplı Brabender marka tek vidalı ekstrüder kullanılarak işlenmişlerdir. Ekstrüderin vida çapı 22 mm, blown film kalıbı 2.54 cm ve 0.05 cm boşluk boyutu bir iç çapı vardır. Vida hızı 40 rpm olmuştur. 4 Isıtma bölgesinin işlem sıcaklıkları sırasıyla 160° C, 165 °C, 175 °C ve 180 C' dir. Her çalışma sırasında, şişmiş film yarıçapı yaklaşık 80-100 mm arasında değişmektedir. Sonuç olarak, film kalınlığı 7 - 18 mm arasında değişmiştir. 1: 4 ve 1: 3 şişme oranlarında işlemler yapılmıştır. Üretilen filmlerin mekanik, termal, ve biyodegradasyonu test edilmiştir.

Test sonuçlarına göre; Nişasta içeriği ağırlık olarak % 30'a kadar olan PBSA ve granül mısır nişastası karışımı, şişirme film ekstrüzyonu ile film halinde işlenebilmektedir.

PBSA sistemine nişasta eklenmesi çekme dayanımında bir azalmaya neden olmuştur. Nişasta içeriği % 5'ten % 30'a yükseltirken çekme dayanımında önemli ölçüde değişim olmamıştır. Nişasta içeriği artırılması elastisite modülünde artışa yol açmıştır. Çekme

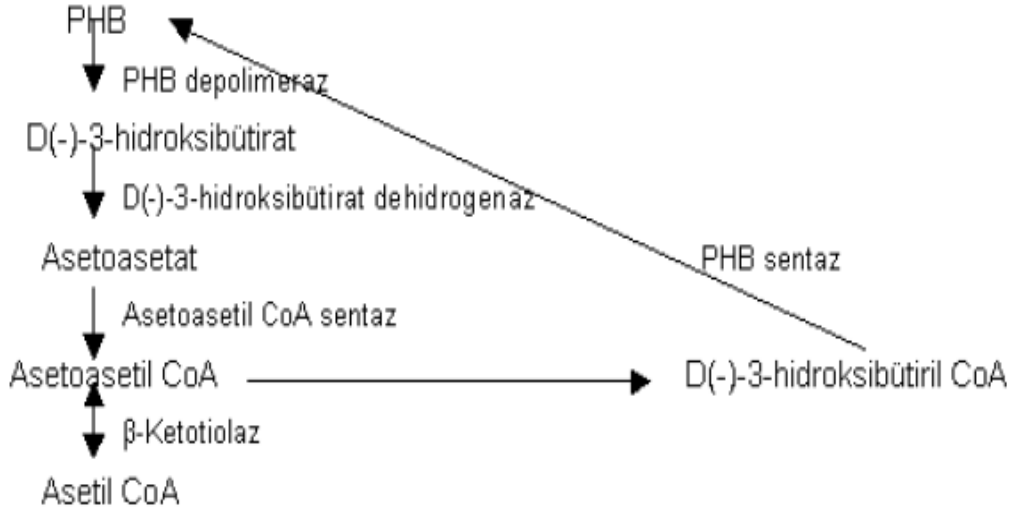
dayanımı, uzama miktarı ve sertlikte azalmaya yol açmıştır. Elastisite modülü % 25 -% 30 nişasta içeriklerinde maksimum değere (380 MPa) yükselmiştir. Nişasta içeriği % 20'den daha az olan karışımların elastisite modülü esasen saf PBSA ile aynı olmuştur. Nişasta içeriği % 20'ye yükseltildiğinde topraktaki solunum ile ölçülen biyobozunma oranı önemli ölçüde artmıştır. Elde edilen sonuçlar, biyolojik olarak parçalanabilir PBSA/nişasta sisteminin şişirilmiş film uygulamaları için yararlı mekanik özelliklere sahip olduğunu göstermiştir. Çöp torbası, çanta, fide torbası üretimleri için uygundur.

Martins ve ark. (2009), TPS malzemesine bakteriyel selüloz takviye ederek malzemenin özelliklerini belirlemeye çalışmışlardır. Karışıma % 1 ve % 5 ağırlıklarında *Acetobacter Xylinum* tarafından üretilen bakteri selülozu ve plastikleştirici olarak gliserol ilave edilerek 2 farklı karışım elde edilmiştir. Ayrıca bitkisel selüloz da karşılaştırma amacıyla yine % 1 ve % 5 ağırlıklarında TPS'ye ilave edilerek 2 ayrı karışım daha oluşturulmuştur. Sonuçta saf TPS, % 1 bakteri selülozlu TPS, % 5 bakteri selülozlu TPS, % 1 bitkisel selülozlu TPS ve % 5 bitkisel selülozlu TPS olmak üzere 5 farklı malzeme oluşturulmuştur. Bu malzemeler, TGA, XRD, DMA, çekme testi, SEM ve su emilimi analizleri ile karakterize edilmiştir. Bakteriyel selüloz ile hazırlanan karışımların, bitkisel selüloz karışımlarına oranla daha iyi mekanik özellikler sahip oldukları belirlenmiştir. Kopmadaki uzama değerleri saf TPS için % 144 olurken, % 5 bakteri ve % 5 bitkisel selüloz için sırasıyla, % 24 ve % 48 olmuştur. Çekme dayanımı, saf TPS için 0.5 MPa'ken %5 bakteri ve % 5 bitkisel selüloz için sırasıyla 3.2 MPa ve 2.5 MPa olmuştur. Elastisite modülü değeri ise, saf TPS için 0.8 MPa'ken % 5 bakteri ve % 5 bitkisel selüloz için sırasıyla 30 ve 17 kat artmıştır.

Hajikhani (2003)'ye göre en çok bilinen ve en yaygın kullanım alanına sahip olan PHB'nin fiziksel özellikleri petrol kökenli polipropilen ile karşılaştırıldığında; PHB'nin daha kristal bir yapıya sahip olduğu, özgül ağırlığının daha yüksek olduğu, UV direncinin daha yüksek olduğu görülmüştür. Öne çıkan bu gibi özelliklerden dolayı PHB propilenin yetersiz kaldığı birçok uygulama için iyi bir seçenek olarak bildirilmiştir (**İlhan Baysak 2008**).

Madison ve Huisman (1999)'a göre PHB'nin parçalanma süresi bir kaç aydan (anaerobik), bir kaç yıla (denizsuyu) kadar, katkı maddesi ile ayarlanabilir. Parçalanmada nitrojen oksidi oluşmaması, çevre korunmasında önemlidir. Parçalanmış biyoplastik bitkilerin gelişmesini olumlu yönde etkilemektedir. Polimerin parçalanmasında, bakteri, mantar ve yüksek organizmalar biyolojik faktörler olarak; hidroliz ve oksidasyon kimyasal faktörler olarak; güneş ışığı, ıslanma ve mekanik aşınma ise fiziksel faktörler olarak etki etmektedir.

Lee (1996) tarafından PHB'nin parçalanması ve yeniden sentezi Şekil 2.14.'te gösterilmiştir (İlhan Baysak 2008).



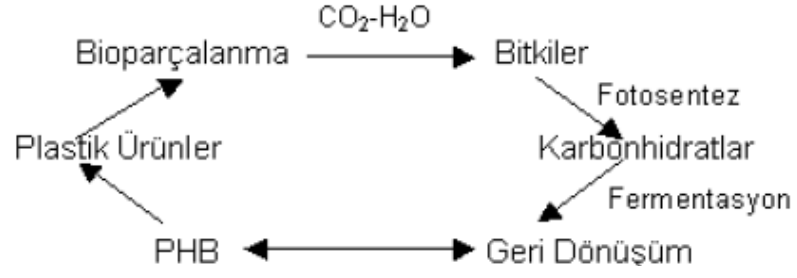
Şekil 2.14. PHB'nin parçalanması ve yeniden sentezi

Page (1992), Lee (1996), Braunegg ve ark. (1998)'nin yaptıkları araştırmalara göre, PHB'nin en önemli özelliklerinden biri, toprak ve insan vücudu vb. yerlerde, toksik ürünler meydana getirmeksizin tamamen parçalanabiliyor olmasıdır. PHB'nin aerobik ortamdaki parçalanma ürünleri karbondioksit ve su; anaerobik ortamda parçalanma ürünü ise metandır (Yılmaz ve Beyatlı 2003).

Hajikhani (2003)'a göre PHB'nin biyolojik karakterleri ve biyolojik olarak parçalanabilir olması kadar önemli olan bir başka özellik de onun üretim kaynaklarının yenilenebilir olmasına sahip olmasıdır. PHB'nin fermantasyon yoldan üretiminde, şekerler ve yağ asitleri gibi tarım ürünleri karbon ve enerji kaynağı olarak kullanılmaktadır. Bu tarım ürünleri, karbondioksit ve sudan ortaya çıkmış ve biyolojik olarak parçalanabilen PHB'ye dönüştükten sonra da yine CO₂ ve suya parçalanabilmektedir (İlhan Baysak 2008).

Ediz ve Beyatlı (2005)'ya göre PHB ve kopolimerleri bakteriler, funguslar ve algler gibi mikroorganizmalar tarafından belirli çevre şartlarında, kısa bir periyot içerisinde tamamen CO₂ ve enerjiye dönüştürülerek parçalanabilmektedir. Tamamen parçalanma için gereken zaman ve biyoparçalanma oranının, kalınlık, yüzey özellikleri, ısı ve çevredeki mikrobiyal popülasyon gibi etkenlere bağlı olarak değişmektedir.

Lee (1996)'ye göre PHB'nin karbon döngüsü Şekil 2.15'te verilmiştir (İlhan Baysak 2008).



Şekil 2.15. PHB'nin karbon döngüsü

PHB, özellikle toprakta biyoparçalanma gerektiren uygulamalar için çok uygundur. Örneğin, film şeklinde kaplamada alüminyum folyo gibi kullanılmıştır. Benzer bir uygulama olarak ekin sulaması için PHA'lardan yapılacak oluklar kullanılabilir. Bu durumda hasat mevsiminin sonunda bunların tarladan toplanması gerekmeyecektir (Yılmaz ve Beyatlı 2003).

Page ve ark. (1995) ve Lee (1996)'ye göre, PHB'nin doğaya bırakıldığında tamamen parçalanabilmesi, çevre kirliliği yaratmaması gibi özelliklerinden dolayı ve endüstriyel uygulamalar açısından önemi her geçen gün artmaktadır. Lafferty ve ark. (1988), Dave ve ark. (1996), Madison ve Huisman (1999)'a göre katı - kırılgen PHB kopolimerlerinin erime sıcaklığı 157-188 °C arasında değişir ve bu sıcaklık polimerin termal olarak ayrıştığı sıcaklığa yakındır. Barham ve ark.(1984), Beyatlı (1996), Bluhm ve ark. (1998)'na göre endüstriyel olarak üretilen biyoplastikler polietilene oranla dört kat daha fazla serttir (20 kg/m). PHB'ın petrol kökenli polipropilene göre daha kristal yapıda olması, özgül ağırlığının daha yüksek oluşu, UV'ye dirençliliği gibi bazı özelliklerinden dolayı üretiminin daha iyi bir seçenek olduğu bildirilmiştir (Dinigüzel 2005).

PHB oldukça kristalsi yapıdadır. Erime sıcaklığı 175 °C'dir. Parçalanma sıcaklığı ise 185 °C'dir. Erime sıcaklığı parçalanma sıcaklığına çok yakın bir değerdedir. Bu durum enjeksiyonla işleme sırasında polimerin kalıplaşmasını zorlaştırmaktadır. PHB' nin pek çok yararlı özelliği vardır. Bunlardan bazıları neme dirençliliği, suda çözünmemesi ve optik olarak saf olması, oksijene geçirimsiz olması gibi özellikleridir. Bu özellikler günümüzde kullanılan diğer biyolojik olarak parçalanabilen plastiklerden ayrılan özelliklerdir çünkü onlar neme duyarlıdır veya suda çözünmemektedir (Tekin 2008).

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Materyal

Bu çalışmada iki grup hammadde kullanılmıştır. Bunlar; alçak yoğunluklu polietilen hammadde grubu AYPE (G03-5 ve F2-12) ve biyobozunur-PHB hammadde grubu BIOPLAST (BOR-M-501F, BOR-M-502F, BOR-Z-503FM ve BOR-Z-703J)'dir. Değişik karışım oranlarında numune üretimi işlemleri, plastik film tabakası üretimi için özel tasarlanmış ekstrüzyon cihazı ve ekstrüzyon şişirme makinasında yapılmıştır. Test ve analizler için DSC cihazı, hassas tartı, yoğunluk kiti, sertlik ölçme aleti, termal kamera ve çekme cihazından yararlanılmıştır.

3.1.1. Numune üretiminde kullanılan hammaddeler

3.1.1.1. Alçak yoğunluklu polietilen

Geleneksel olarak, polietilenin, alçak ve yüksek yoğunluklu olmak üzere iki tipi vardır. Alçak yoğunluklu polietilen özellikle tarım alanında kullanılır. Türkiye'de 1970 yılından itibaren üretilmeye başlanmıştır. Alçak yoğunluklu polietilenden mamul ürünler dayanıklılık, ucuzluk, kimyasal maddelere ve dış etkenlere karşı dayanıklı olmak, yüksek yalıtkanlık, kolay işlenebilirlik gibi önemli özelliklerinden dolayı cam, kağıt, karton, deri, kösele, teneke, yün, pamuk, keten, kendir gibi geleneksel malzemelerden imal edilmiş eşyaların yerini almıştır.

Test numunesi üretimi aşamasında kullanılan AYPE hammaddelerinin (PETKİM kaynaklı olarak granül halde G03-5 ve F2-12) fotoğrafları Şekil 3.1'de ve teknik özellikleri Çizelge 3.1.'de verilmiştir (**Anonim-e 2010**).



Şekil 3.1. AYPE/G03-5 ve AYPE/F2-12 hammaddesi

Çizelge 3.1. AYPE/G03-5 ve AYPE/F2-12 hammaddelerinin özellikleri

ALÇAK YOĞUNLUK POLİETİLEN G03-5

BAŞLICA KULLANIM ALANI: Ağır hizmet torbası, boru, tel ve kablo ekstrüzyonu, şişirme ile kalıplama için genel maksatlı polietilendir.

ÖZELLİKLERİ:

GARANTİ DEĞERLER	BİRİM	DEĞER	TEST METODU
Erimе Akış Hızı (2160g,190°C)	g/10dk	0.20-0.40	ASTM D-1238
Yoğunluk,23°C	g/cm ³	0.919-0.923	ASTM D-1505
Film Kalitesi	-	T	ALKT-36
TİPİK DEĞERLER			
Pusluluk	%	9.3	ASTM D-1003
Parlaklık	-	57	ASTM D-2457
Şişme Oranı	-	1.41	ALKT-7
Erimе Noktası (DSC)	°C	110	ASTM E-794
Vicat Yumuşama Noktası	°C	98*	ASTM D-1525
Akmada Gerilme Dayanımı	kg/cm ²	95	ASTM D-638
Kopmada Gerilme Dayanımı	kg/cm ²	190	ASTM D-638
Kopmada Uzama	%	640	ASTM D-638
Çevresel Baskıyla Kırılma Dayanımı (F50)	saat	>1000	ASTM D-1693
Sertlik (Shore D)	-	47	ASTM D-1706
Parlama Sıcaklığı	°C	340*	ASTM E-136
Kırılmalık Sıcaklığı	°C	<-118**	ASTM D-746
Termal Genleşme Katsayısı	K ⁻¹	10 x 10 ^{-5**}	ASTM D-696
Molekül Ağırlığı Dağılımı	-	Geniş	Lisansör
Bozunma Sıcaklığı	°C	> 350	Lisansör
Dielektrik Sabiti (1 kHz)	-	2.3**	ASTM D-150
Güç Faktörü (1 kHz)	-	<0.0001**	ASTM D-150
Hacimsel Elektrik Direnci	Ω.cm	>10 ^{16**}	ASTM D-257
Isı İletkenliği	Wm ⁻¹ K ⁻¹	0.34	Lisansör
Eriyik Yoğunluğu	g/cm ³	0.7636	Zoller, Paul, J.Appl.Pol.Sci. Vol.23, p.1051(1979)
Kristallik Oranı	%	50 / 53**	B.Wunderlich, M.Dole, J.Polymer Sci.24, 201 (1957)
Camsı Geçiş Sıcaklığı	°C	-80 / -90**	R.F.Boyer, Rubber Chem.Tech. 36, 5 (1963)

Not: Tipik değerler, Petkim Laboratuvarında yapılan analizlerin ortalama değerleridir.

* : Lisansör Firmanın verdiği değerdir.

** : Handbook değeridir (AYPE-Genel).

ALÇAK YOĞUNLUK POLİETİLEN F2-12

BAŞLICA KULLANIM ALANI: Genel maksatlı ve teşhir amaçlı ambalaj için tübüler film imalatında.

ÖZELLİKLERİ:

GARANTİ DEĞERLER	BİRİM	DEĞER	TEST METODU
Erimе Akış Hızı (2160g,190°C)	g/10dk	2.0-3.5	ASTM D-1238
Yoğunluk,23°C	g/cm ³	0.918-0.922	ASTM D-1505
Film Kalitesi	-	A	ALKT-36
TİPİK DEĞERLER			
Pusluluk	%	6.7	ASTM D-1003
Parlaklık	-	70	ASTM D-2457
Kül Oranı	%wt	0.16	ALKT-509
Erimе Noktası (DSC)	°C	110	ASTM E-794
Vicat Yumuşama Noktası	°C	92*	ASTM D-1525
Akmada Gerilme Dayanımı	kg/cm ²	85	ASTM D-638
Kopmada Gerilme Dayanımı	kg/cm ²	140	ASTM D-638
Kopmada Uzama	%	600	ASTM D-638
Sertlik (Shore D)	-	44	ASTM D-1706
Parlama Sıcaklığı	°C	340*	ASTM E-136
Termal Genleşme Katsayısı	K ⁻¹	10 x 10 ^{-5**}	ASTM D-696
Kırılmalık Sıcaklığı	°C	<-118**	ASTM D-746
Molekül Ağırlığı Dağılımı	-	Orta	Lisansör
Bozunma Sıcaklığı	°C	> 350	Lisansör
Isı İletkenliği	Wm ⁻¹ K ⁻¹	0.34	Lisansör
Eriyik Yoğunluğu	g/cm ³	0.7636	Zoller, Paul, J.Appl.Pol.Sci. Vol.23, p.1051(1979)
Kristallik Oranı	%	50 / 53**	B.Wunderlich, M.Dole, J.Polymer Sci.24, 201 (1957)
Camsı Geçiş Sıcaklığı	°C	-80 / -90**	R.F.Boyer, Rubber Chem.Tech. 36, 5 (1963)

Not: Tipik değerler, Petkim Laboratuvarında yapılan analizlerin ortalama değerleridir.

* : Lisansör Firmanın verdiği değerdir.

** : Handbook değeridir (AYPE-Genel).

3.1.1.2. Biyobozunur masterbatch ve reçineler

A firması üretimi, ana bileşeni mısır nişastası olan granül haldeki BIOPLAST (BOR-M-501F (Masterbatch), BOR-M-502F (Masterbatch), BOR-Z-503FM (Reçine) ve BOR-Z-703J (Reçine)) hammaddeleri, test numunesi üretiminde kullanılmıştır (Anonim-d 2011). Biyobozunur hammaddelerin teknik özellikleri karşılaştırmalı olarak Çizelge 3.2.'de verilmiştir.

Çizelge 3.2. BIOPLAST/ BOR-M-501F, BOR-M-502F, BOR-Z-503FM ve BOR-Z-703J hammaddelerinin özellikleri

BİYOBOZUNUR HAMMADDE TEKNİK ÖZELLİKLERİ			BOR-M-501F Masterbatch	BOR-M-502F Masterbatch	BOR-Z-503FM Reçine	BOR-Z-703J Reçine
Test Edilen Öge	Standart	Ünite	Sonuç	Sonuç	Sonuç	Sonuç
Görünüm	Q/320113SSD001 - 2002		Açık Sarı	Açık Sarı	Açık Sarı	Açık Sarı
Yoğunluk	GB 1033	g/ cm ³	1.05-1.15	1.05-1.15	0.98-1.10	0.98-1.10
Nem İçeriği	Q/320113SSD001- 2002	%	0.5-1.2	0.5-1.2	0.5-1.2	0.3-1.2
Eriyik Akış Hızı	GB3682	g/10 min	0-2	0-2	2-5	2-5
Gerilme Dayanımı	GB 1040	MPa	≥15	≥15	≥ 20	≥20
Kopma Uzaması	GB 1040	%	≥300	≥300	≥ 50	≥50
Biyomadde İçeriği	Q/320113SSD001-2002	%	≥70	≥70	≥ 70	≥70
n-hekzane Ekstresi	GB/T5009.58	%	≤4.0	≤4.0	≤ 4.0	≤4.0
Rockwell Sertliği	GB9342	R Standart	R gauge	R gauge	-	50
Yumuşama Noktası	GB/1633	°C	>65	>65	> 85	>85
100 gün içinde bozunma hızı	ISO14855:2000 OK-BIOBASED	%	*	*	*	> 46

* = 100 Gün içindeki bozunma hızı karışım oranına bağlıdır.
Gerilme dayanımı ve kopma uzaması verileri bitmiş ürünlere ait verilerdir.

3.1.1.2.1. BOR-M-501F (Nişasta bazlı biyobozunur masterbatch)

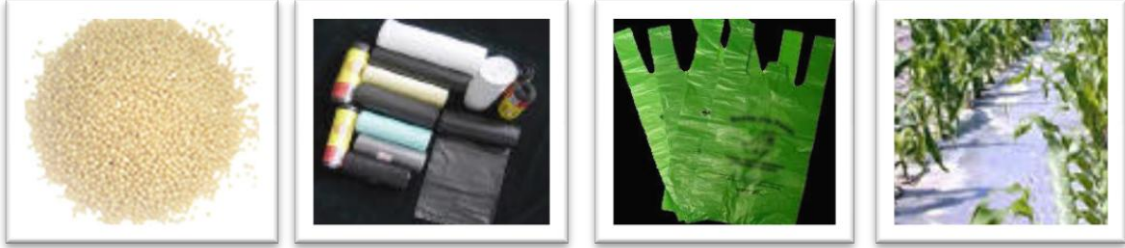
Granüller açık sarı renkli, hafif kokulu, silindirik ya da yuvarlak şekillidir. Nemi kolayca emer mikroplar tarafından kolayca ayrıştırılırlar. Antistatiktirler. İşleme sıcaklıkları geleneksel plastikten düşüktür. Kolayca renklendirilirler. Bu reçine nihai ürünün işlenmesi için PE, PP, PS, PVC vb. poliolefin maddeleriyle harmanlanması gereken bir tür katkı maddesidir. Şekil 3.2.'de uygulama örnekleri gösterilmiştir.



Şekil 3.2. BOR-M-501F (Nişasta bazlı biyobozunur masterbatch) uygulama fotoğrafları

3.1.1.2.2. BOR-M-502F (Nişasta bazlı biyobozunur masterbatch)

Granüller açık sarı renkli, hafif kokulu, silindirik ya da yuvarlak şekillidir. Nemi kolayca emer mikroplar tarafından kolayca ayrıştırılırlar. Antistatiktirler. İşleme sıcaklıkları geleneksel plastiğinkinden düşüktür. Kolayca renklendirilirler. Bu reçine nihai ürünün işlenmesi için PE, PP, PS, PVC vb. poliolefin maddeleriyle harmanlanması gereken bir tür katkı maddesidir. 2-2.5 yıl içinde tamamiyle biyolojik olarak parçalanır. Şekil 3.3.'te uygulama örnekleri gösterilmiştir.



Şekil 3.3. BOR-M-502F (Nişasta bazlı biyobozunur masterbatch) uygulama fotoğrafları

3.1.1.2.3. BOR-Z-503FM (Nişasta bazlı biyobozunur reçine)

Granüller açık sarı renkli, hafif kokulu, silindirik ya da yuvarlak şekillidir. Nemi kolayca emer mikroplar tarafından kolayca ayrıştırılırlar. Antistatiktirler. İşleme sıcaklıkları geleneksel plastiğinkinden düşüktür. Kolayca renklendirilirler. Bu reçine nihai ürünün işlenmesi için hazır bir malzemedir. Şekil 3.4.'te uygulama örnekleri gösterilmiştir.



Şekil 3.4. BOR-Z-503FM (Nişasta bazlı biyobozunur reçine) uygulama fotoğrafları

3.1.1.2.4. BOR-Z-703J (Nişasta bazlı biyobozunur reçine)

Granüller açık sarı renkli, hafif kokulu, silindirik ya da yuvarlak şekillidir. Nemi kolayca emer mikroplar tarafından kolayca ayrıştırılırlar. Antistatiktirler. İşleme sıcaklıkları geleneksel plastiğinkinden düşüktür. Kolayca renklendirilirler. Bu reçine PE, PP, PVA, EVA, vs. gibi başka poliolefin malzemeleri katmadan tek başına bitmiş ürün halinde işlenebilir. Şekil 3.5.'te uygulama örnekleri gösterilmiştir.



Şekil 3.5. BOR-Z-703J (Nişasta bazlı biyobozunur reçine) uygulama fotoğrafları

3.1.2 Yassı damla sulama borusu

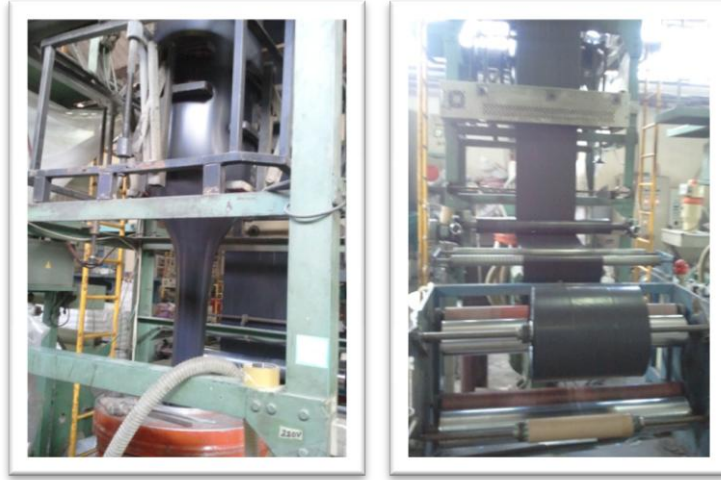
İki farklı firmanın ürünü kullanılmıştır. Tez içerisinde bu firmalar B ve C olarak adlandırılmıştır. B ve C firmaları tarafından üretilmiş olan, 0.15 mm et kalınlığındaki yassı damla sulama boruları test ve analizlerde kullanılmıştır.

3.1.3 Numune üretiminde kullanılan makineler

Numunelerinin film tabakası şeklinde üretim işlemi iki ayrı firmada yapılmıştır. Bu firmalar D ve E olarak belirtilmiştir. D firmasındaki yüksek kapasiteli ekstrüzyon şişirme makinasının ve E firmasında bulunan laboratuvar kontrol amacı olan küçük kapasiteli ekstrüzyon makinasının teknik özellikleri Çizelge 3.3.'te verilmiştir. Numune üretiminde kullanılan ekstrüzyon makineleri Şekil 3.6. ve Şekil 3.7.'de gösterilmiştir.

Çizelge 3.3. D ve E firmalarındaki ekstrüzyon şişirme makinelerinin teknik özellikleri

	D Firması	E Firması
Makina Markası	AKABE-LDPE-LLDPE	FİLM ÇEPNİ 2006
Kafa Çapı (mm)	70-120	50-100
Kapasite (kg/saat)	20-50	3-8
Ana Motor (Kw)	15	2,2
Rezistans Kapasitesi (Kw)	15	8
Vida Dönüş (d/d)	40-120	10-100
Kule Yüksekliği (mm)	3500	2225
Film Genişliği (mm)	250-900	100-150
Film Kalınlığı (µ-micron)	10-200	10-200
Sarma Motoru (Kw)	1	0,18
Çekme Motoru (Kw)	0,75	0,18
Toplam Güç (Kw)	33	10,38
Isıtma Bölgesi	4	4
Ağırlık (kg)	2500	300
Boyutlar (m)	4x2,5x7,5	1,7x0,60x2,25



Şekil 3.6. D firması ekstrüzyon film şişirme makinası (AKABE)



Şekil 3.7. E firması ekstrüzyon film şişirme makinası (ÇEPNİ)

3.1.4 Test ve analizlerde kullanılan cihazlar

Doktora çalışması kapsamında üretilen numuneler üzerinde yapılan test ve analizlerde kullanılan cihaz ve donanımlar aşağıda belirtilmiştir.

Test numunesi çıkarma işlemleri, ATAMAK Zimba Cihazı ile yapılmıştır. Şekil 3.8.'de cihaz gösterilmiştir.



Şekil 3.8. Zimba cihazı (ATAMAK)

Test numunelerinin et kalınlığı ölçümleri, MITUTOYO Kalınlık Ölçer (0,01 mm hassasiyetinde) ile ağırlık ölçümleri ise METTLER TOLEDO Hassas Terazi (0,1 mg hassasiyetinde) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Şekil 3.9.'da kalınlık ölçer ve hassas terazi gösterilmiştir.



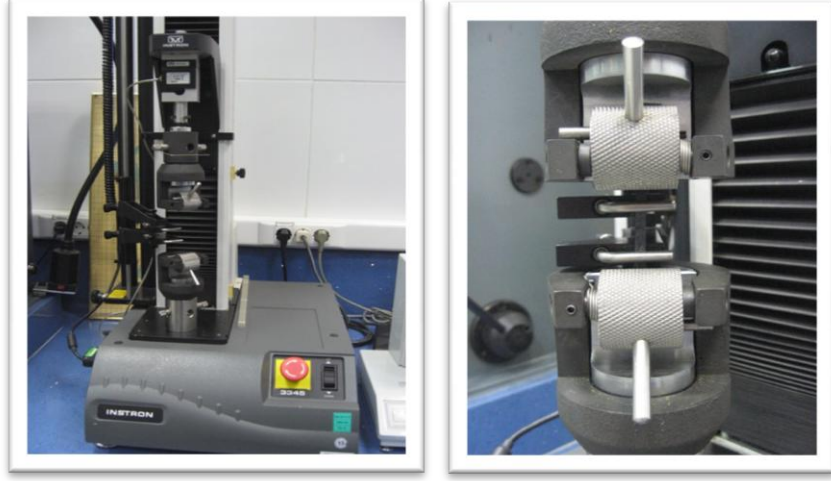
Şekil 3.9. Kalınlık ölçer (MITUTOYO) ve hassas terazi (METTLER TOLEDO)

Test numunelerinin yoğunluk ölçümleri, YOĞUNLUK KİTİ ve METTLER TOLEDO Hassas Terazi kullanılarak yapılmıştır. Sertlik değerleri ise ZWICK SHORE D Sertlik Ölçme Cihazı (1Sh D hassasiyetinde) ile ölçülmüştür. Şekil 3.10.'da yoğunluk ve sertlik ölçme cihazı gösterilmiştir.



Şekil 3.10. Yoğunluk kiti ve sertlik ölçme cihazı (ZWICK SHORE D)

Test numunelerinin çekme deneyleri, INSTRON Çekme Cihazı (0.1 N/0.01 mm hassasiyetinde) ile yapılmıştır. Şekil 3.11.'de cihaz gösterilmiştir.



Şekil 3.11. Çekme cihazı (INSTRON)

Termal analiz ölçümlerinde, DSC ölçüm cihazı olarak PERKIN ELMER PYRIS 6 model cihaz kullanılmıştır. Şekil 3.12.'de analiz cihazı gösterilmiştir.



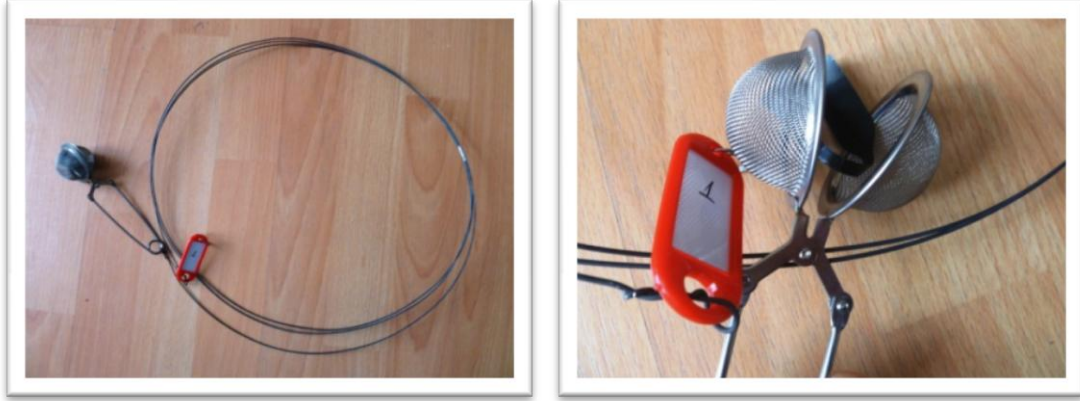
Şekil 3.12. DSC cihazı (PERKIN ELMER PYRIS 6)

Test numunelerinin termal kamera görüntüleri FLIR P640 Serisi Profesyonel Termal Kamera ile elde edilmiştir. Şekil 3.13.'de termal kamera gösterilmiştir.



Şekil 3.13. Termal kamera (FLIR P640)

Test numunelerinin aerobik havuz denemeleri, Bursa Batı Atıksu Arıtma Tesisleri'nde özel olarak imal edilmiş 3 m uzunluğundaki maşalı süzgeç aparat ile yapılmıştır. Şekil 3.14.'de aparat fotoğrafları gösterilmiştir.



Şekil 3. 14. Maşalı süzgeç aparatı

3.2. Yöntem

3.2.1. Numune üretiminde kullanılan hammaddelerin karışım oranlarının saptanması

Günümüzde kullanılan yassı damla sulama boruları, alçak yoğunluklu polietilen olan G03-5 ve F2-12 PETKİM kodlu hammaddelerden üretilmektedir. UV ve sertleştirme katkıları ile değişik et kalınlıklarında (0.15 mm ile 0.63 mm arasında) piyasaya sürülmektedir.

Test numunesi üretiminde, deney ve analizlerin malzeme üzerinde yoğunlaşması amacı ile UV ve sertleştirme katkıları kullanılmamıştır.

Çalışmanın hedefi olan biyobozunur özellikli yassı damla sulama boru malzemesine ulaşmak için öncelikle karşılaştırma yapılmasını sağlayacak; mevcut piyasada kullanılan yassı damla sulama borularının hammaddesi olan G03-5 ve F2-12 ile katkı maddesiz test numunesi üretilmesi amaçlanmıştır.

Daha sonra G03-5 ve F2-12 hammaddelerine farklı oranlarda Biyobozunur Masterbatch, Reçine ve Siyah Masterbatch karıştırılarak test numuneleri üretilme çalışmaları yapılmıştır. Numune üretimleri, ekstrüzyon makinası ile film tabakası oluşturularak gerçekleştirilmiştir.

Bu işlemler için gerekli hammadde seçimi ve teorik karışım oranları, A firmasının merkezinin bulunduğu Hong Kong'ta yapılan ön çalışmalar aracılığı ile belirlenmiştir. Ayrıca, deneysel olarak biyobozunur hammaddelerin AYPE içindeki maksimum karışım oranını bulabilmek için % 25, % 30, % 35 ve % 40 olarak oranlar değiştirilerek karışımlar elde edilmeye çalışılmıştır.

3.2.2. Numune üretim yöntemi

D firmasında bulunan ekstrüzyon film çekme makinası ve E firmasında bulunan laboratuvar kontrol amacı olan küçük kapasiteli ekstrüzyon makinası kullanılarak Çizelge 3.4'te belirtilen değişik karışım oranlarında film tabakaları üretilmeye çalışılmıştır.

Biyobozunur hammaddeler, yüksek mısır nişastası içeriği nedeniyle nemi kolayca emerler ve işlenmesi sırasında su kayıpları oluşur. Bu durumun önlenmesi için hammaddeler kuru bir ortamda depolanmış ve film tabakası üretiminden önce 24 saat boyunca kürlenmeye bırakılmıştır. Film üretim işlemi, L/D oranı 28:1 olan vidalı bir film ekstrüderiyle yapılmış ve maksimum üretim veriminin ve en iyi film kalitesi için şişirme oranının 1:3'ten fazla olmasına dikkat edilmiştir. Başarılı olarak üretilen film tabakaları test numunelerine dönüştürülerek test ve analiz çalışmaları yapılmıştır.

Tüm bu çalışmalar sonucunda elde edilen karışımlar Çizelge 3.4.'te verilmiştir.

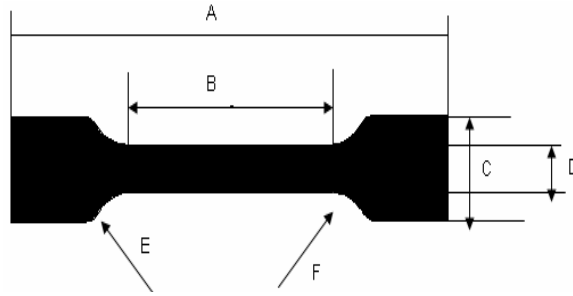
Çizelge 3.4. Test numuneleri hammadde karışım oranları

	ALÇAK YOĞUNLUKLU POLİETİLEN		SİYAH MASTERBATCH	BİYOBOZUNUR PLASTİK		
1	95%	F2-12	5%			
2	70%	F2-12	5%	25%	MASTERBATCH BOR-M-501F	
3	65%	F2-12	5%	30%		
4	60%	F2-12	5%	35%		
5	70%	F2-12	5%	25%		
6	65%	F2-12	5%	30%	MASTERBATCH BOR-M-502F	
7	60%	F2-12	5%	35%		
8	65%	F2-12	5%	30%		
9	60%	F2-12	5%	35%	REÇİNE BOR-Z-503FM	
10	55%	F2-12	5%	40%		
11	65%	F2-12	5%	30%		
12	60%	F2-12	5%	35%		
13	55%	F2-12	5%	40%	REÇİNE BOR-Z-703J	
14	95%	G03-5	5%			
15	70%	G03-5	5%	25%		MASTERBATCH BOR-M-501F
16	65%	G03-5	5%	30%		
17	60%	G03-5	5%	35%		
18	70%	G03-5	5%	25%		
19	65%	G03-5	5%	30%	MASTERBATCH BOR-M-502F	
20	60%	G03-5	5%	35%		
21	65%	G03-5	5%	30%		
22	60%	G03-5	5%	35%	REÇİNE BOR-Z-503FM	
23	55%	G03-5	5%	40%		
24	65%	G03-5	5%	30%		
25	60%	G03-5	5%	35%		
26	55%	G03-5	5%	40%	REÇİNE BOR-Z-703J	
27			5%	95%		REÇİNE BOR-Z-503FM
28			5%	95%		REÇİNE BOR-Z-703J

3.2.3. Numunelerin üzerinde uygulanan test ve analizler

Değişik karışım oranları altında başarılı olarak üretilen 6 adet malzeme ve piyasada bulunan 2 adet farklı marka yassı damla sulama borusu malzemesi üzerinde test ve analizlerin yapılmasına başlanmadan önce standart test numunesi hazırlanması işlemi gerçekleştirilmiştir.

Test numunesi çıkarma işlemleri, ATAMAK Zımba Cihazı ile ISO 37 TİP 2'ye (Şekil 3.15.) uygun olarak yapılmıştır. 8 adet farklı malzemedan test numuneleri hazırlanmıştır.



A: Toplam uzunluk	75 mm
B: Dar kısmın uzunluğu	25 mm
C : Uçların genişliği	12,5 mm
D: Dar kısmın genişliği	4 mm
E : Kavis yarıçapı (dış)	8 mm
F : Kavis yarıçapı (iç)	12,5 mm

Şekil 3.15. Standart test numunesi

Test numuneleri üzerinde yapılan tüm testler istatistiksel analizlerin anlamlı olabilmesi için en az 3 tekrarlı olarak gerçekleştirilmiştir (**Düzgüneş 1963**).

3.2.3.1. Mekanik testler

ISO 37 TİP 2'ye göre hazırlanan test numuneleri üzerinde uygulanan mekanik testler, Sıcaklık Değeri: 23 °C ± 2 °C ve Nem Değeri: 50 Rh ± 5 Rh olan laboratuvar ortamında gerçekleştirilmiştir.

Test numunelerinin et kalınlık ölçümleri, 0.01 mm hassasiyetinde olan MITUTOYO Kalınlık Ölçer ile yapılmıştır. Test numunesinin değişik noktalarından 3 farklı ölçüm yapılarak ortalaması alınmıştır.

Test numunelerinin ağırlık ölçümleri, 0.1 mg hassasiyetine sahip METTLER TOLEDO Hassas Terazi ile yapılmıştır.

Yoğunluk ölçümleri, YOĞUNLUK KİTİ ve METTLER TOLEDO Hassas Terazi kullanılarak ISO 2781'e uygun olarak gerçekleştirilmiştir.

Sertlik ölçümleri, 1 Sh D hassasiyet değerine sahip ZWICK SHORE D Sertlik Cihazı ISO 868'e uygun olarak yapılmıştır. Test numuneleri ince olduğu için birbirine katlanarak üst üste gelecek şekilde konduktan sonra ölçümler yapılmıştır.

Test Numunelerinin çekme ve uzama ölçümleri, 0.1 N/0.01 mm hassasiyetinde, 500 mm/dak hızında ve 5.00 kN yükünde INSTRON Çekme Cihazı ile ISO 37'ye uygun olarak yapılmıştır.

3.2.3.2. Termal analizler

Anonim-g (2010)'ye göre termal analiz, polimer veya plastik malzemelerin sıcaklık ve zaman değişimlerini ölçerek polimer veya plastik özelliklerini hakkında bilgiler vermektedir. Termal analiz test sonuçları ile kullanıcılar malzemenin polimerik formülasyonları, proses geçmişi ve son ürünün fiziksel özelliklerinin belirlenmesinde yardımcı olmaktadır. Termal analiz, sıcaklık değişimlerinin etkileşimleriyle bağlantılı olarak numune özelliklerinde ki değişimin analiz edilmesi amacı ile kullanılmaktadır. Numune özellikleri olarak; termodinamik (ısı, sıcaklık, entalpi, kütle, hacim vb.), malzeme özellikleri (sertlik, elastisite modülü, hassasiyet), kimyasal bileşimi ya da yapısı ifade edilmektedir.

Termal analiz yöntemleri, numunenin fiziksel özelliğindeki bazı değişikliklerin sıcaklığın fonksiyonu olarak ölçüldüğü tekniklerdir. Bu fiziksel işlemlerden bazıları, erime noktası, kaynama noktası, dehidrasyon noktası ve izomer geçiş noktasıdır. Değişken parametreler, ısıtma hızı ve belli bir sıcaklıkta tutma süresidir. Isıtma hızı, farklı sıcaklık bölgelerinde farklı olabilir Tarama sıcaklığı çoğu cihazlarda 20 - 1200 °C arasındadır. Termal tepkiler hücredeki atmosferlere göre farklılık gösterir.

Termal yöntemler arasında DSC ve TGA en çok kullanılan tekniklerdir. Termal analiz yöntemleri Şekil 3.16.'da gösterilmiştir. Bu çalışmada DSC termal analiz yöntemini kullanılmıştır.



Şekil 3.16. Termal analiz yöntemleri

Anonim-e (2009)'ye göre DSC termal analizde kullanılan termoanalitik bir yöntemdir. Numune ve referansın sıcaklığını arttırmak için verilmesi gereken ısı miktarı sıcaklığın bir fonksiyonu olarak ölçülmektedir. Numune ve referans deney süresince aynı sıcaklıkta tutulmaktadır. DSC analizi için sıcaklık programı genellikle numune tutucunun

sıcaklığının zamana karşı lineer bir şekilde artacak şekilde dizayn edilmektedir. Referans malzemesinin ısı kapasitesinin taranan sıcaklık aralığı üzerinde iyi bir şekilde tanımlanmış olması gereklidir. DSC'nin temel uygulama alanları egzotermik ayrışma, erime gibi faz değişimleri üzerindeki çalışmalardır. Bu geçişler enerji değişimi veya ısı kapasitesi değişimleri içerir ve DSC tarafından büyük bir hassasiyetle ölçülebilmektedir.

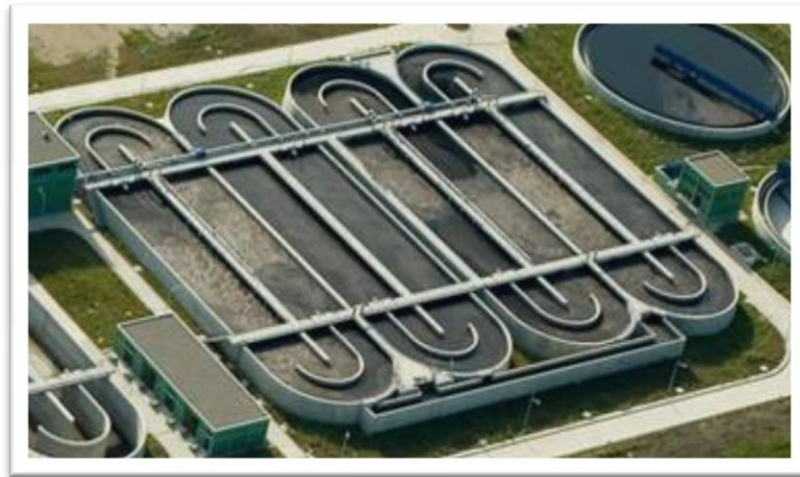
4.7 mg ile 5.5 mg arasında değişen ağırlıklarda hazırlanan numuneler üzerinde DSC cihazı ile 50 °C ile 230 °C arasında ve 10 °C/dk değişim hızında ısıl özellik incelemeleri yapılmıştır. Numunelerin endotermik ve ekzotermik özellikleri incelenerek ergime sıcaklıkları, kristalleşme sıcaklıkları, reaksiyon başlangıç ve bitiş noktaları, alan ve delta H değerleri belirlenmiştir.

3.2.3.3. Termal kamera çekimleri

Test numunelerinin termal kamera görüntüleri FLIR P640 Serisi profesyonel termal kamera ile elde edilmiştir. Numunelerin malzeme yüzeyindeki sıcaklık depolama yeteneklerini belirlemek için malzeme yüzeyindeki sıcaklık değişimleri ölçülmüştür. Ölçümler, numunesinin atmosfer sıcaklığındaki termal görüntüleri çekilerek yapılmıştır.

3.2.3.4. Aerobik havuz deneyi

Doktora tezi kapsamında üretilen test numuneleri ve mevcut yassı damla sulama borusu numunelerinin biyolojik olarak parçalanabilirlik özelliklerinin araştırılması çalışmaları, standart biyoparçalanabilirlik deneylerinden farklı olarak halen işletilmekte olan tasarım debisi 240000 m³/gün olan Bursa Batı Atıksu Arıtma Tesislerinin aerobik havuzlarında yapılmış ve Şekil 3.17.'de tesis gösterilmiştir.



Şekil 3.17. Aerobik havuz genel görünüşü

Ağırlık değerleri belirlenmiş test numuneleri, aerobik havuza, özel yapılmış 3 m uzunluğundaki maşalı süzgeç deneme aparatları yardımı ile daldırılmıştır. Her bir test

numunesinden 3 adet olmak üzere toplam 24 adet test numunesi 1000 saat süre ile havuz içerisinde bekletilmiştir. Daha sonra havuzdan çıkarılan numuneler çok iyi derecede temizlenip kurutulduktan sonra ağırlıkları ölçülmüştür. Başlangıç ve son ağırlıklar arasındaki değişim ve fiziksel kayıplar belirlenmiştir.

Tesiste bulunan farklı mikroorganizma özelliklerine, mikroorganizma alıkonma süresine, hidrolik alıkonma süresine, mikroorganizma konsantrasyonuna ve çözünmüş oksijen konsantrasyonuna sahip arıtma üniteleri test numunelerinin biyoparçalanabilirliğinin denenmesi amacıyla kullanılmıştır. Test numunelerinin 1000 saat bekletildiği aerobik havuza ait teknik özellikler Çizelge 3.5'te verilmiştir.

Çizelge 3.5. Aerobik havuz (1000 saatlik bekleme süresi için) teknik özellikleri

	TKM mg/l	F/M gün ⁻¹	ÇO mg/l	ÇY gün
Ortalama Değerler	3,298	0,062	1,8	12

Çizelge 3.5.'te ifade edilen özellikler **Debik ve ark. (2008)**'na göre, TKM (mg/l): Toplam katı madde miktarıdır. F/M (gün⁻¹): Bir günde kilogram MLSS başına düşen kilogram KOİ (Kimyasal Oksijen İhtiyacı) ya da BOİ (Biyokimyasal Oksijen İhtiyacı) olarak ifade edilen F/M oranı havalandırma tankına her gün beslenen substrat miktarına karşı havalandırma tankındaki askıda katı madde miktarını temsil etmektedir. ÇO (mg/l): Havalandırma tankı içerisinde var olan çözünmüş oksijen konsantrasyonunu göstermektedir. Bu değer ortamın aerobik şartlarda olup olmadığını belirtmektedir. ÇY (gün): Çamur yaşıdır. Biyokütlenin proste alıkonma süresini ifade etmektedir.

Anonim-1 (2012)'ye göre bütün aerobik arıtma proseslerinde organik atıklar, sentez ve oksidasyon yolu ile yok olmaktadır. Diğer bir deyimle organik maddelerin bir kısmı yeni hücrelere dönüşürken (sentez) geri kalan kısım gerekli enerjiyi üretmek amacı ile oksidasyona tabi tutulmaktadır. Organik maddeler yok olmaya başlayınca biyolojik hücrelerin bir kısmı gerekli enerjiyi sağlamak amacı ile kendi kendini oksitlemektedirler (içsel solunum). Farklı özelliklerdeki biyoparçalama kapasitelerine sahip ve bir kentin atıksularındaki farklı safsızlıkların arıtımı için tasarlanan ve işletilen biyolojik arıtma ünitelerinde mikroorganizmaların plastik ürünün organik kısmını tüketmeleri amaçlanmaktadır. Böylece lastik ürünün içerisindeki organik madde miktarına bağlı olarak parçalanma miktarı ve hızı ortaya konulacak ayrıca plastik ürünün mikroorganizmalar tarafından parçalandığı gösterilerek toksik özellikler taşımadığına dair sonuçlar elde edilmektedir. Şekil 3.18.'de numunelerin bekletildiği havuz gösterilmiştir.



Şekil 3.18. Test numunelerinin aerobik havuz deneyi

3.2.3.5. Tarla deneyi

Test Numuneleri, alüvyal toprak grubunda, killi-tınlı bünyeye sahip, hafif tuzlu, az kireçli, organik madde miktarı az ve $pH=7$ özelliklerindeki toprağa sahip bir tarlada bekletilmişlerdir. Bekletilme süresindeki iklim şartları, en yüksek hava sıcaklığı ortalaması $32^{\circ}C$ ve en düşük hava sıcaklığı ortalaması $16^{\circ}C$ olarak gerçekleşmiştir (Anonim- m 2012). 8 adet test numunesinden 3'er adet olarak toplam 24 numune tarla koşullarında bekletilmiştir (Şekil 3.22). Test numunelerinin, sezonluk kullanılan yassı damla sulama borusu ile karşılaştırılabilmesi için bekletilme süresi 1000 saat seçilmiştir. Test numunelerinde meydana gelen fiziksel değişimler gözlemlenerek başlangıç ve son ağırlık değişimleri belirlenmiştir.



Şekil 3.19. Test numunelerinin tarla deneyi

4. ARAŞTIRMA BULGULARI

4.1. Numune Üretimi

4.1.1. D firmasında gerçekleştirilen numune üretimi

D firmasında, Çizelge 3.4.'te verilen, 28 adet farklı hammadde karışımından sadece 1, 2 ve 14 No'lu karışımlardan başarılı bir şekilde film tabakası üretilebilmiştir. Diğer 25 adet karışımdan film tabakası üretilememiştir. Başarısız film tabakası üretiminin başlıca nedenleri; G03-5, F2-12 ve biyobozunur hammaddelerin kimyasal özellikleri, ısı karşısında gösterdikleri davranış farklılıkları ve ekstrüzyon şişirme makinasının teknik özellikleridir.

4.1.2. E firmasında gerçekleştirilen numune üretimi

E firmasının araştırma laboratuvarında, özel yapım laboratuvar kontrol amacı olan küçük kapasiteli ekstrüzyon makinası ile Çizelge 3.4.'te gösterilen 28 farklı karışımdan 1, 2, 5, 8, 11 ve 14 no'lu karışımlardan başarılı film üretimleri yapılmıştır. Diğer 22 karışımdan başarılı film tabakası üretimi yapılamamıştır.

4.1.3. Başarısız numune üretimi

Çizelge 3.1.'de belirtilen 28 adet farklı karışımdan film tabakası üretilme çalışmaları sonucunda 22 adet karışımda başarılı olunamamıştır. Şekil 4.1.'de başarısız filmlerden örnekler verilmiştir.



Şekil 4.1. Başarısız numune üretim örnekleri

4.1.4. Üretimi başarı ile gerçekleştirilen numuneler

D firmasında bulunan ekstrüzyon film çekme makinası ile maksimum 0.10 mm et kalınlığında ve minimum 700 mm genişliğinde film tabakaları üretilebilmiştir. Ayrıca üretim için hammadde gereksinimi minimum 50 kg'dır. Makine çalışma sıcaklığı 180°C ile 185°C arasında değişim göstermiştir.

E firması laboratuvarında, kontrol amacı olan küçük kapasiteli ekstrüzyon makinası ile maksimum 0.43 mm et kalınlığında ve minimum 45 mm genişliğinde film tabakaları üretilmiştir. Ayrıca üretim için hammadde gereksinimi minimum 5 kg'dır. Bu durum çok sayıda deneme yapılmasına imkan sağlamıştır. Makine çalışma sıcaklığı 165°C ile 180°C arasındadır.

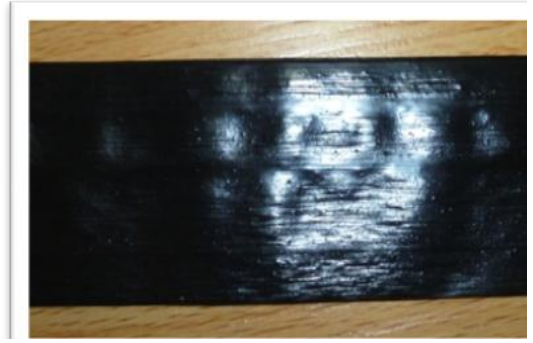
Çizelge 4.1.'de üretim aşaması başarı ile tamamlanan numunelerin oluşturulmuş kodlara bağlı olarak hammadde karışım oranları belirtilmiş ayrıca Şekil 4.2., Şekil 4.3., Şekil 4.4. ve Şekil 4.5.'te film tabakaları gösterilmiştir.

Çizelge 4.1. Başarılı üretilen numunelerin hammadde karışım oranları

NUMUNELER HAMMADDE KARIŞIM TABLOSU										
	alus01	alus02	alus03	alus04	alus05	alus06	alus07	alus08		
ALÇAK YOĞUNLUKLU POLİETİLEN	70%	70%	65%	65%	95%	95%	B FİRMASI YASSIDAMLA SULAMA BORUSU	C FİRMASI YASSIDAMLA SULAMA BORUSU		
	F2-12	F2-12	F2-12	F2-12	G03-5	F2-12				
MASTERBATCH	5%	5%	5%	5%	5%	5%				
	SİYAH	SİYAH	SİYAH	SİYAH	SİYAH	SİYAH				
BİYOBOZUNUR PLASTİK	25%	25%	30%	30%						
	MASTERBATCH BOR-M-501F	MASTERBATCH BOR-M-502F	REÇİNE BOR-Z-503FM	REÇİNE BOR-Z-703J						



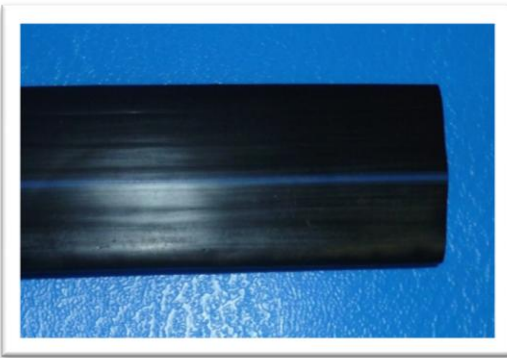
Şekil 4.2. alus01 ve alus02 Numune örnekleri



Şekil 4.3. alus03 ve alus04 Numune örnekleri



Şekil 4.4. alus05 ve alus06 Numune örnekleri



Şekil 4.5. alus07 ve alus08 Numune örnekleri

Elde edilen bu numuneler deney ve analizlerde kullanılmak üzere ISO 37 TİP 2'ye göre kesilerek standart test numunesi haline getirilmiştir. Şekil 4.6.'da test numuneleri gösterilmiştir.



alus01



alus02



alus03



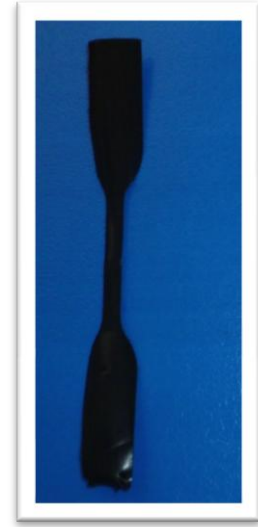
alus04



alus05



alus06



alus07



alus08

Şekil 4.6. Test numuneleri

4.2. Test, Analiz ve Deney Sonuçları

4.2.1. Mekanik testler ve çekme deneyi sonuçları

Test numuneleri üzerinde yapılan et kalınlığı, ağırlık, yoğunluk ve sertlik ölçümleri 3 tekrarlı olarak gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar Çizelge 4.2.'de ayrıntılı olarak verilmiştir.

Çizelge 4.2. Test numuneleri mekanik test sonuçları listesi

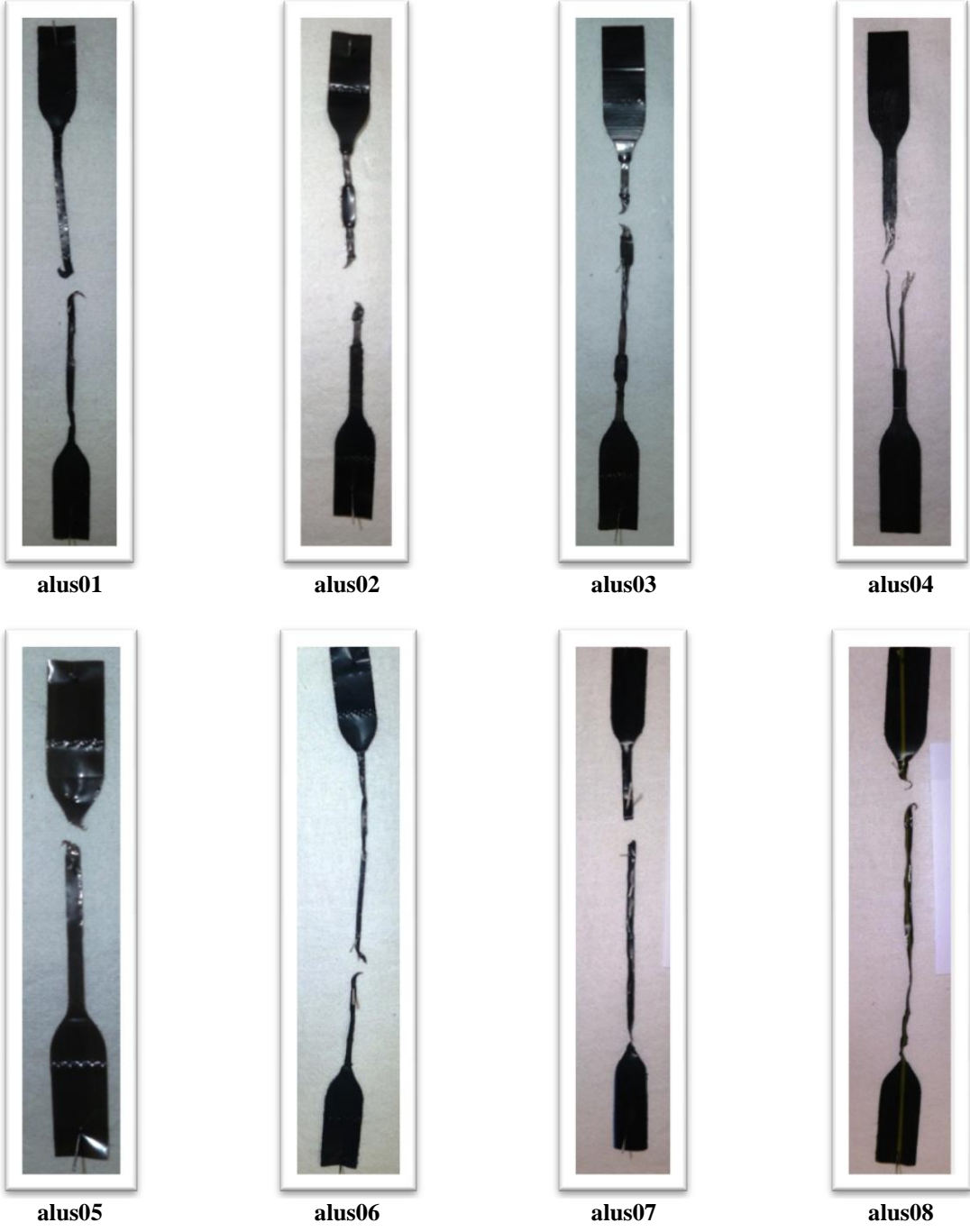
Test Numune Kodu	Test Numunesi	Et Kalınlığı (mm)	Ağırlık (g)	Yoğunluk (g/cm ³)	Sertlik (Shore D)
alus01	1	0,09	0,0764	0,969	30
	2	0,10	0,0822	0,956	30
	3	0,09	0,0790	0,983	30
Ortalama	alus01	0,09	0,0792	0,969	30
alus02	1	0,05	0,0589	0,987	25
	2	0,08	0,0676	0,988	25
	3	0,08	0,0681	0,987	25
Ortalama	alus02	0,07	0,0649	0,987	25
alus03	1	0,12	0,1050	0,957	23
	2	0,15	0,1283	0,968	23
	3	0,15	0,1284	0,976	23
Ortalama	alus03	0,14	0,1206	0,967	23
alus04	1	0,43	0,1676	0,911	22
	2	0,39	0,1547	0,909	22
	3	0,40	0,1592	0,921	22
Ortalama	alus04	0,41	0,1605	0,914	22
alus05	1	0,05	0,0489	0,928	25
	2	0,04	0,0430	0,918	25
	3	0,05	0,0448	0,927	25
Ortalama	alus05	0,05	0,0456	0,924	25
alus06	1	0,06	0,0647	0,967	30
	2	0,08	0,0693	0,964	30
	3	0,08	0,0689	0,994	30
Ortalama	alus06	0,07	0,0676	0,975	30
alus07	1	0,16	0,1302	0,930	25
	2	0,18	0,1576	0,944	25
	3	0,17	0,1458	0,935	25
Ortalama	alus07	0,17	0,1445	0,936	25
alus08	1	0,18	0,1435	0,934	25
	2	0,17	0,1403	0,951	25
	3	0,17	0,1408	0,929	25
Ortalama	alus08	0,17	0,1415	0,938	25

Test numuneleri üzerinde yapılan çekme deneylerinden elde edilen sonuçlar Çizelge 4.3.'te ayrıntılı olarak gösterilmiştir.

Çizelge 4.3. Test numuneleri çekme deneyleri sonuç listesi

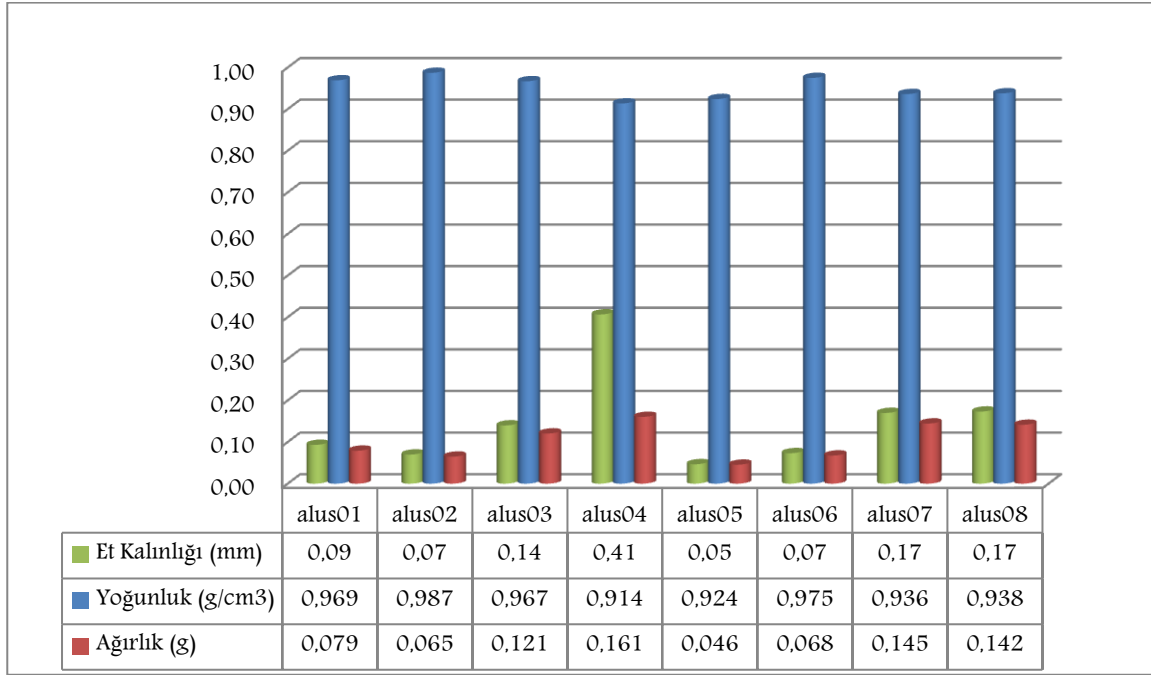
Test Numuneleri		Et Kalınlığı (mm)	Kopma Noktası. Yerdeğişim (mm)	Çekme Uzaması (%)	Kopma Noktası. Yük (kN)	Çekme Dayanımı (MPa)	Kopmadaki Yer Değişirme (mm)	Kopmadaki Yüzde Uzama (%)	Kopma Yüğü (kN)	Kopma Dayanımı (Mpa)	%0.2 Ofset Akma Sınırı. Yer Değişim (mm)	% 0.2 Ofset Akma Sınırı. Uzama (%)	% 0.2 Ofset Akma Sınırı. Yük (kN)	% 0.2 Ofset Akma Dayanımı (Mpa)	Elastisite Modülü (Mpa)	Elastik Şekil Değişirme Enerjisi (J)	Kopmadaki Toplam Enerji (J)
	1	0,08	67,742	135,484	0,005	13,807	70,576	141,151	0,004	10,406	1,575	3,150	0,002	5,127	151,025	0,001	0,320
alus01	2	0,10	75,086	175,416	0,004	13,988	77,667	122,867	0,003	10,808	1,235	2,078	0,001	3,509	191,899	0,001	0,310
	3	0,09	71,413	155,450	0,004	10,087	74,322	104,582	0,001	10,607	1,405	2,612	0,002	6,606	140,150	0,002	0,315
Ortalama		0,09	71,414	155,450	0,004	12,627	74,188	122,867	0,003	10,607	1,405	2,613	0,002	5,081	161,025	0,001	0,315
	1	0,07	7,917	39,586	0,003	9,675	30,333	151,667	0,002	4,839	4,250	17,083	0,001	4,437	113,140	0,001	0,087
alus02	2	0,08	9,836	49,165	0,003	10,111	37,333	186,667	0,002	4,590	3,333	16,667	0,002	6,509	138,059	0,002	0,107
	3	0,08	8,875	44,376	0,003	11,859	48,250	211,251	0,003	4,715	5,167	16,875	0,001	4,962	90,054	0,002	0,135
Ortalama		0,08	8,876	44,376	0,003	10,548	38,639	183,195	0,002	4,715	4,250	16,875	0,001	5,303	113,751	0,002	0,110
	1	0,14	6,667	33,333	0,005	8,585	94,500	472,500	0,003	4,545	1,750	14,793	0,003	4,841	116,495	0,002	0,464
alus03	2	0,15	7,417	37,083	0,005	10,297	88,709	443,542	0,002	4,781	3,334	16,668	0,002	5,200	130,537	0,002	0,433
	3	0,14	5,916	29,582	0,005	9,920	82,917	414,584	0,003	6,171	2,583	12,917	0,003	5,100	128,887	0,002	0,401
Ortalama		0,14	6,667	33,333	0,005	9,601	88,709	443,542	0,003	5,166	2,556	14,793	0,003	5,047	125,306	0,002	0,649
	1	0,39	3,083	15,417	0,008	7,602	22,167	110,835	0,005	4,475	2,167	10,835	0,006	5,294	140,262	0,003	0,138
alus04	2	0,40	3,833	19,165	0,009	8,997	26,000	130,000	0,005	5,357	1,417	13,335	0,005	4,520	140,816	0,002	0,194
	3	0,43	5,166	25,831	0,009	8,794	35,500	177,500	0,004	4,201	3,167	15,834	0,005	5,101	125,290	0,003	0,254
Ortalama		0,41	4,027	20,138	0,009	8,464	27,889	139,445	0,005	4,678	2,250	13,335	0,005	4,972	135,456	0,003	0,195
	1	0,05	51,125	255,626	0,004	23,190	20,736	274,793	0,003	17,746	2,689	13,550	0,001	8,030	119,270	0,002	0,162
alus05	2	0,06	60,417	302,084	0,004	24,061	64,000	320,000	0,003	18,371	2,750	13,751	0,001	8,931	124,220	0,002	0,196
	3	0,04	41,833	239,167	0,004	22,319	45,917	229,585	0,003	17,120	2,750	13,749	0,001	7,128	114,319	0,001	0,128
Ortalama		0,05	51,125	265,626	0,004	23,190	43,551	274,793	0,003	17,746	2,730	13,683	0,001	8,030	119,270	0,002	0,243
	1	0,06	45,213	222,084	0,005	19,041	23,834	119,168	0,002	8,763	2,000	10,000	0,003	10,831	353,664	0,001	0,278
alus06	2	0,07	47,333	236,666	0,005	17,155	59,333	196,665	0,002	6,103	1,833	9,167	0,002	8,326	241,584	0,001	0,269
	3	0,06	45,874	229,375	0,006	22,136	41,584	167,917	0,002	7,433	1,167	5,835	0,003	11,166	301,334	0,002	0,287
Ortalama		0,06	46,140	229,375	0,005	19,444	41,584	161,250	0,002	7,433	1,667	8,334	0,003	10,108	298,861	0,001	0,278
	1	0,16	80,084	430,418	0,019	30,542	79,917	447,907	0,010	17,031	5,917	29,583	0,007	11,467	190,560	0,007	1,503
alus07	2	0,17	86,584	447,918	0,022	33,912	88,917	464,584	0,013	20,416	6,917	34,565	0,008	12,311	257,660	0,006	1,317
	3	0,18	92,917	464,584	0,024	32,466	95,167	475,834	0,022	30,478	7,917	39,587	0,008	11,437	176,546	0,009	1,689
Ortalama		0,17	86,528	447,640	0,022	32,307	88,000	462,775	0,015	22,642	6,917	34,578	0,008	11,738	208,255	0,007	1,503
	1	0,17	94,333	471,667	0,023	34,311	99,083	495,415	0,018	27,019	3,917	19,583	0,008	12,429	208,219	0,007	1,752
alus08	2	0,17	96,250	481,250	0,017	34,987	100,083	500,417	0,018	26,984	3,834	19,168	0,008	12,411	215,938	0,007	1,788
	3	0,16	95,292	476,459	0,020	25,719	97,324	497,916	0,018	27,002	2,417	19,376	0,007	10,850	238,460	0,007	1,770
Ortalama		0,17	95,292	476,459	0,020	31,672	98,830	497,916	0,018	27,002	3,389	19,376	0,008	11,897	220,872	0,011	1,770

Çekme deneyi yapılan test numunelerinin uygulama sonrası fiziksel durumları Şekil 4.7.'de gösterilmiştir.

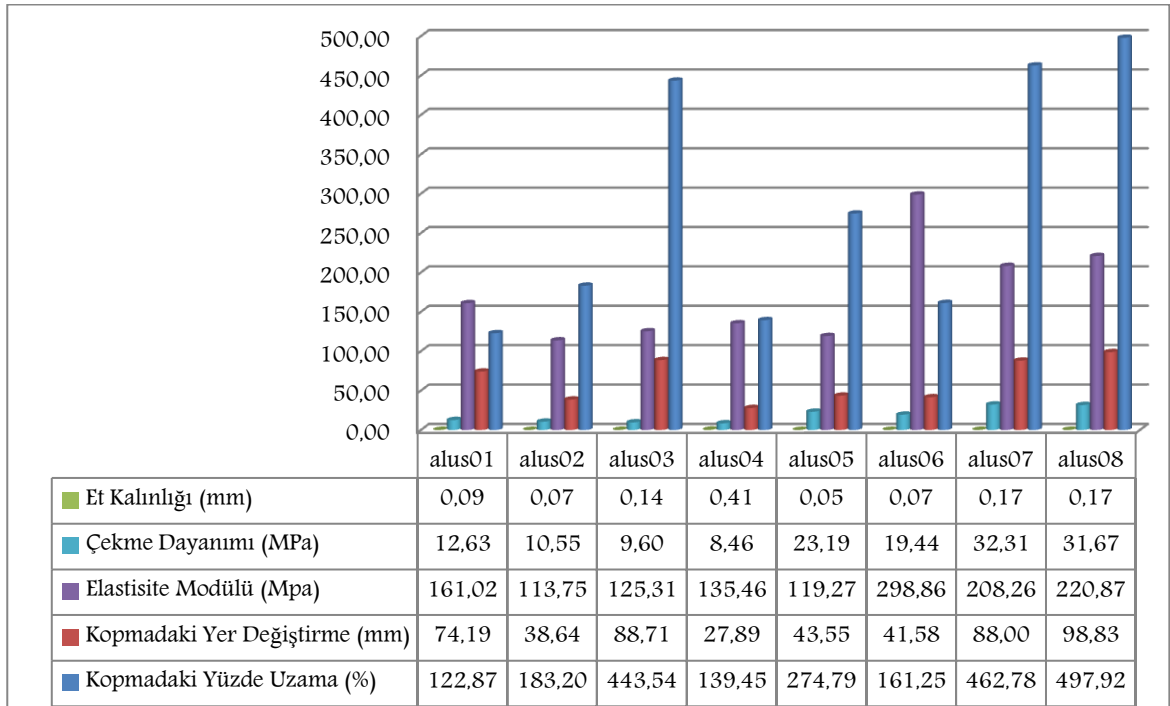


Şekil 4.7. Çekme Deneyi Uygulanmış Test Numuneleri

Test numuneleri üzerinde yapılan deney sonuçları karşılaştırmalı grafikler halinde Şekil 4.8. ve Şekil 4.9.'da verilmiştir.



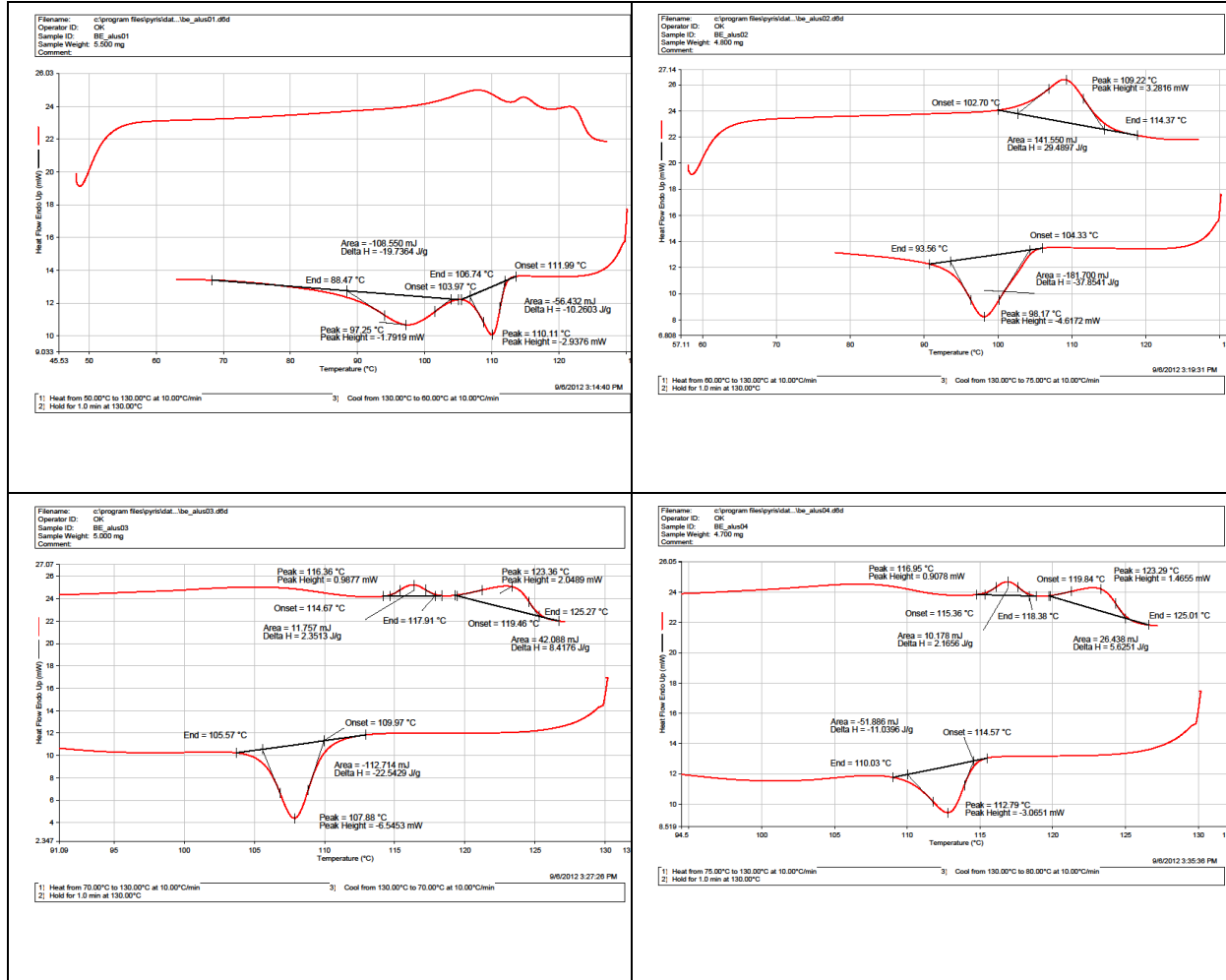
Şekil 4.8. Test numunelerinin et kalınlığı, yoğunluk ve ağırlık değerlerinin karşılaştırma grafikleri



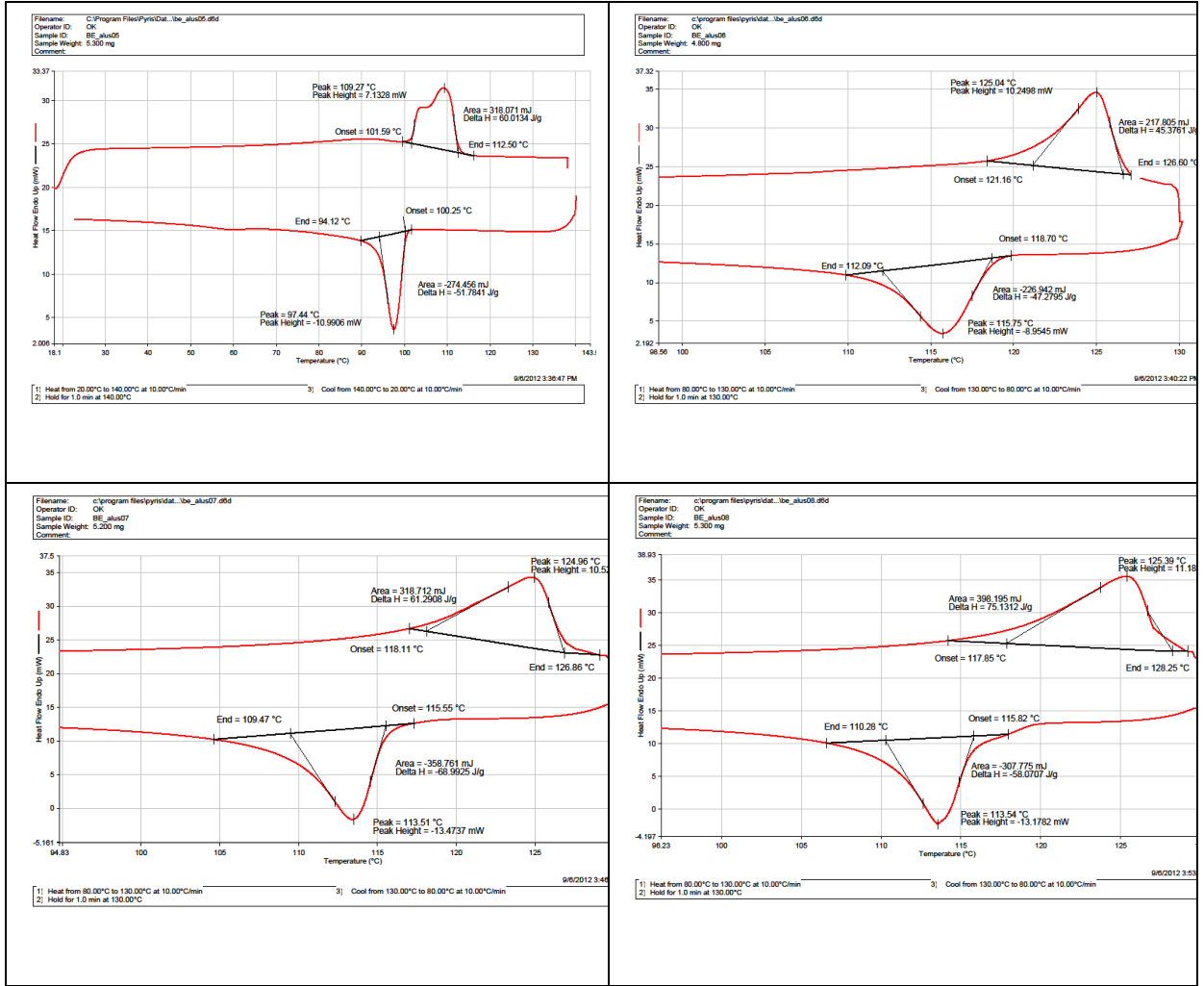
Şekil 4.9. Test numunelerinin çekme deneyi sonuçlarının karşılaştırma grafikleri

4.2.2. Termal analiz sonuçları

4.7 mg ile 5.5 mg arasında değişen ağırlıklarda hazırlanan numuneler üzerinde DSC cihazı ile 50 °C ile 230 °C arasında ve 10 °C/dk değişim hızında gerçekleştirilen ısıl özellik incelemeleri sonuçları grafikler halinde Şekil 4.10. ve Şekil 4.11.'de verilmiştir.



Şekil 4.10. alus01, alus02, alus03 ve alus04 Numunelerinin DSC ile elde edilen termal özellik grafikleri



Şekil 4.11. alus05, alus06, alus07 ve alus08 Numunelerinin DSC ile elde edilen termal özellik grafikleri

DSC cihazı ile yapılan endotermik inceleme sonucundaki ergime sıcaklıkları ve diğer değerler Çizelge 4.4.'te verilmiştir.

Çizelge 4.4. Test numunelerinin DSC ile elde edilen endotermik özellikleri

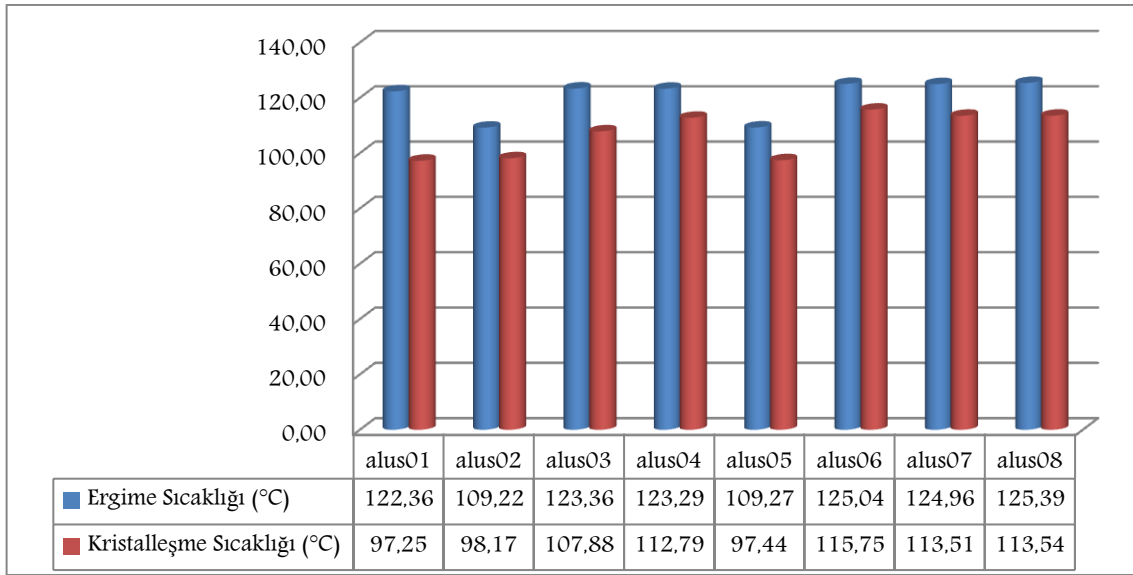
Test Numunesi	Ergime Sıcaklığı (°C) (Pik Nokta)	Reaksiyon Başlangıç Noktası (°C)	Reaksiyon Bitiş Noktası (°C)	Alan (mJ)	Delta H (J/g)
alus01	122.36	119.55	124.19	15.321	2.7856
alus02	109.22	102.70	114.37	141.550	29.4897
alus03	123.36	119.46	125.27	42.088	8.4176
alus04	123.29	119.84	125.01	26.438	5.6251
alus05	109.27	101.59	112.50	318.071	60.0134
alus06	125.04	121.16	126.60	217.805	45.3761
alus07	124.96	118.11	126.86	318.712	61.2908
alus08	125.39	117.85	128.25	398.195	75.1312

DSC cihazı ile yapılan ekzotermik inceleme sonucundaki kristalleşme sıcaklıkları ve diğer değerler Çizelge 4.5.'te gösterilmiştir.

Çizelge 4.5. Test numunelerinin DSC ile elde edilen ekzotermik özellikleri

Test Numunesi	Kristalleşme Sıcaklığı (°C) (Pik Nokta)	Reaksiyon Başlangıç Noktası (°C)	Reaksiyon Bitiş Noktası (°C)	Alan (mJ)	Delta H (J/g)
alus01	97.25	103.97	88.47	-108.550	-19.7364
alus02	98.17	104.33	93.56	-181.700	-37.8541
alus03	107.88	109.97	105.57	-112.714	-22.5429
alus04	112.79	114.57	110.03	-51.886	-11.0396
alus05	97.44	100.25	94.12	-274.456	-51.7841
alus06	115.75	118.70	112.09	-226.942	-47.2795
alus07	113.51	115.55	109.47	-358.761	-68.9925
alus08	113.54	115.82	110.28	-307.775	-58.0707

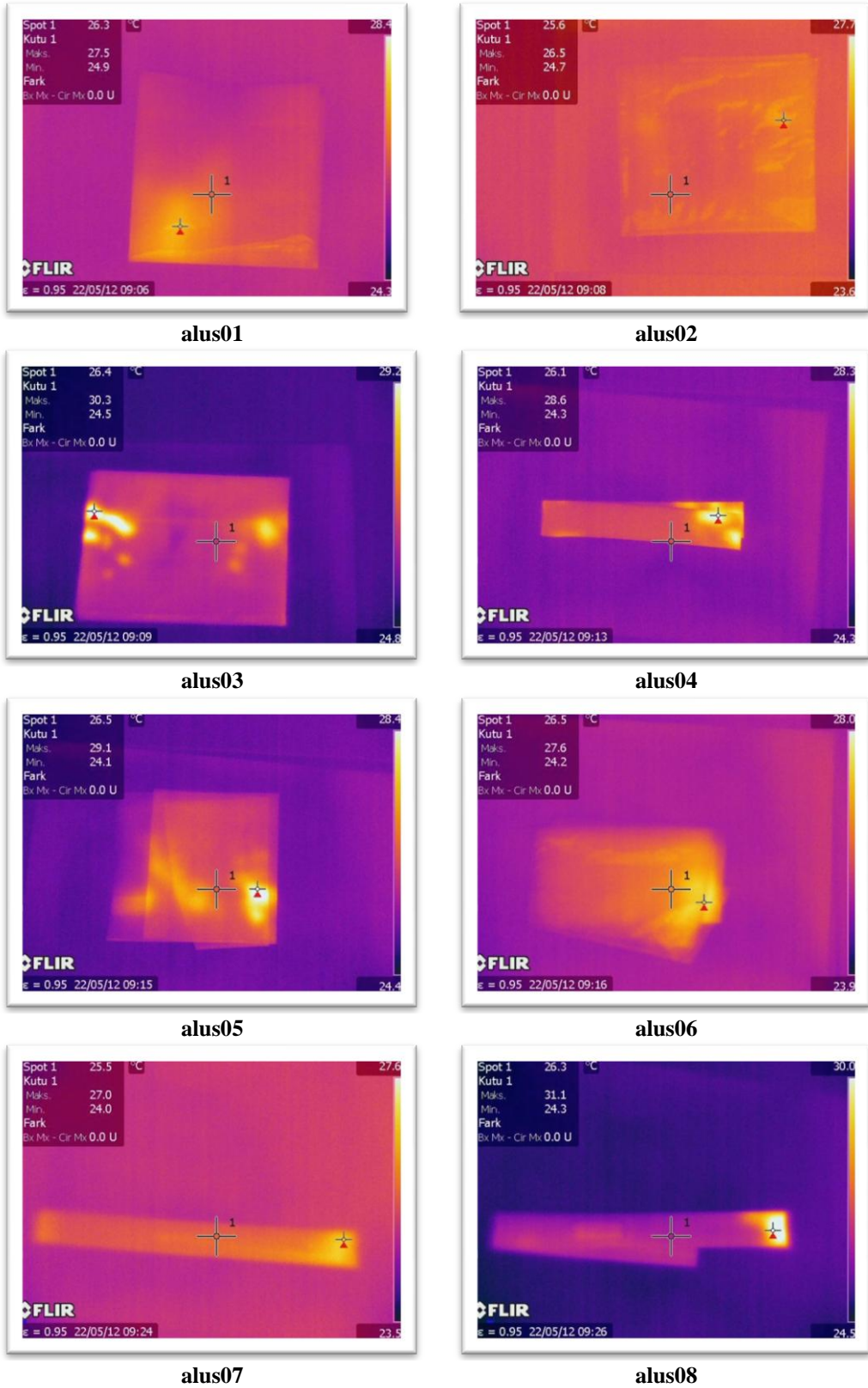
Test Numunelerinin DSC analizi ile belirlenen ergime ve kristalleşme sıcaklık değerleri karşılaştırmalı olarak grafik formatında Şekil 4.12'de verilmiştir.



Şekil 4.12. Test numunelerinin DSC ile elde edilen ergime ve kristalleşme sıcaklıkları karşılaştırma grafikleri

4.2.3. Termal kamera görüntü sonuçları

Test numuneleri üzerinde gerçekleştiren termal kamera çekim görüntüleri 4.13.'de verilmiştir.



Şekil 4.13. Test numunelerinin termal kamera görüntüleri

Test numunelerinin malzeme yüzeyindeki sıcaklık depolama değerlerini ifade eden Spot1, Max. ve Min. renk değiştirme sıcaklık noktaları Çizelge 4.6.'da verilmiştir.

Çizelge 4.6. Test numunelerinin renk değiştirme sıcaklıkları

	Spot1 (°C)	Max. (°C)	Min. (°C)
alus01	26.3	27.5	24.9
alus02	25.6	26.5	24.7
alus03	26.4	30.3	24.5
alus04	26.1	28.6	24.3
alus05	26.5	29.1	24.1
alus06	26.5	27.6	24.2
alus07	25.5	27.0	24.0
alus08	26.3	31.1	24.3

4.2.4. Aerobik havuz deneyi sonuçları

Aerobik havuzda 1000 saat bekletilen test numunelerinde meydana gelen ağırlık değişim sonuçları Çizelge 4.7.'de verilmiştir.

Çizelge 4.7. Test numuneleri aerobik havuz ağırlık değişim sonuçları

		BAŞLANGIÇ İlk değer	HAVUZ 1000 saat bekletilmiş	DEĞİŞİM
Kod	Test Numuneleri	Ağırlık (g)	Ağırlık (g)	% Ağırlık
alus01	1	0,0768	0,0744	-0,00240%
	2	0,0781	0,0751	-0,00300%
	3	0,0738	0,0721	-0,00170%
Ortalama	alus01	0,0762	0,0739	-0,00237%
alus02	1	0,0511	0,0499	-0,00120%
	2	0,0515	0,0501	-0,00140%
	3	0,0508	0,0497	-0,00110%
Ortalama	alus02	0,0511	0,0499	-0,00123%
alus03	1	0,1199	0,1187	-0,00120%
	2	0,1045	0,1034	-0,00110%
	3	0,1291	0,1279	-0,00120%
Ortalama	alus03	0,1178	0,1167	-0,00117%
alus04	1	0,2269	0,2258	-0,00110%
	2	0,2729	0,2719	-0,00100%
	3	0,1647	0,1634	-0,00130%
Ortalama	alus04	0,2215	0,2204	-0,00113%
alus05	1	0,0733	0,0733	0%
	2	0,0635	0,0635	0%
	3	0,0766	0,0766	0%
Ortalama	alus05	0,0711	0,0711	0%
alus06	1	0,0630	0,0630	0%
	2	0,0624	0,0624	0%
	3	0,0630	0,0630	0%
Ortalama	alus06	0,0628	0,0628	0%
alus07	1	0,1299	0,1299	0%
	2	0,1336	0,1336	0%
	3	0,1510	0,1510	0%
Ortalama	alus07	0,1382	0,1382	0%
alus08	1	0,1514	0,1514	0%
	2	0,1431	0,1431	0%
	3	0,1435	0,1435	0%
Ortalama	alus08	0,1460	0,1460	0%

4.2.5. Tarla deneyi sonuçları

Tarla ortamında 1000 saat bekletilen test numunelerinde meydana gelen ağırlık değişim sonuçları Çizelge 4.8. ve 4.9'da verilmiştir.

Çizelge 4.8. Test numuneleri tarla ortamında ağırlık değişim sonuçları

Kod	Test Numuneleri	BASLANGIÇ	TARLA	DEĞİŞİM
		Ağırlık (g)	1000 saat bekletilmiş Ağırlık (g)	% Ağırlık Değişim
alus01	1	0,0734	0,0725	-0,00090%
	2	0,0734	0,0726	-0,00080%
	3	0,0761	0,0749	-0,00120%
Ortalama	alus01	0,0743	0,0733	-0,00097%
alus02	1	0,0518	0,0512	-0,00060%
	2	0,0512	0,0488	-0,00240%
	3	0,0513	0,0502	-0,00110%
Ortalama	alus02	0,0514	0,0501	-0,00137%
alus03	1	0,1072	0,1068	-0,00040%
	2	0,1210	0,1204	-0,00060%
	3	0,1299	0,1224	-0,00750%
Ortalama	alus03	0,1194	0,1165	-0,00283%
alus04	1	0,2650	0,2639	-0,00110%
	2	0,2724	0,2714	-0,00100%
	3	0,1615	0,1604	-0,00110%
Ortalama	alus04	0,2330	0,2319	-0,00107%
alus05	1	0,0519	0,0519	0%
	2	0,0576	0,0576	0%
	3	0,0727	0,0727	0%
Ortalama	alus05	0,0607	0,0607	0%
alus06	1	0,0626	0,0626	0%
	2	0,0627	0,0627	0%
	3	0,0626	0,0626	0%
Ortalama	alus06	0,0626	0,0626	0%
alus07	1	0,1387	0,1387	0%
	2	0,1332	0,1332	0%
	3	0,1272	0,1272	0%
Ortalama	alus07	0,1330	0,1330	0%
alus08	1	0,1474	0,1474	0%
	2	0,1412	0,1412	0%
	3	0,1374	0,1374	0%
Ortalama	alus08	0,1420	0,1420	0%

Çizelge 4.9. Test numunelerinin aerobik havuz ve tarla deneyleri % ağırlık değişim ortalama sonuçları

Test Numuneleri	% Ağırlık Değişimi (1000 Saat Bekleme)	
	Aerobik Havuz	Tarla
alus01	-0,00237%	-0,00097%
alus02	-0,00123%	-0,00137%
alus03	-0,00117%	-0,00283%
alus04	-0,00113%	-0,00107%
alus05	0%	0%
alus06	0%	0%
alus07	0%	0%
alus08	0%	0%

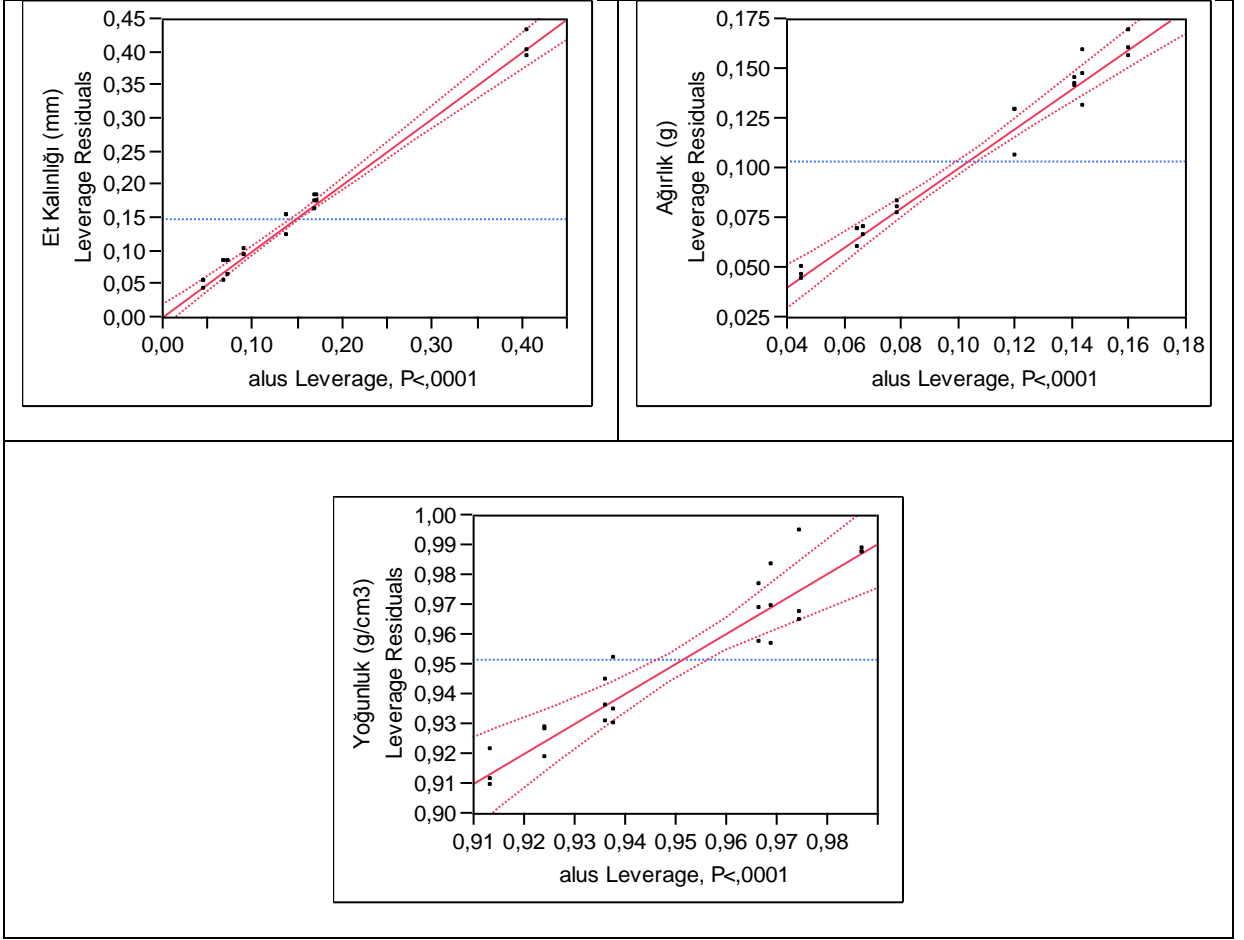
4.3. İstatistiksel Analizler

Değişik karışım oranlarında olarak üretilen 6 adet malzeme ve piyasada bulunan 2 adet farklı marka yassı damla sulama borusu malzemesi üzerinde 3 tekrarlı olarak test ve analizler yapılmıştır. Test numunelerinin test ve deney sonuçları üzerinde istatistiksel analizler yapılmıştır.

İstatistiksel analizlerde JMP7 Programı kullanılarak, “LSMeans Differences Tukey” testi uygulanmıştır. Numunelerin et kalınlığı, ağırlık, yoğunluk ve sertlik test sonuçlarının istatistiksel analiz verileri Çizelge 4.10.’da ve grafikleri Şekil 4.14.’te gösterilmiştir.

Çizelge 4.10. Et kalınlığı, ağırlık, yoğunluk ve sertliğe göre istatistiksel analiz verileri

Et Kalınlığı (mm)		Varyans Analizi				
Kareler Toplamı	0,990298	Kaynak	DF	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F Değeri
Düzenlenmiş Kareler Toplamı	0,986054	Model	7	0,27900000	0,039857	233,3101
Ortalama Kareli Hataların Karekökü	0,01307	Hata	16	0,00273333	0,000171	Prob > F
Ortalama	0,146667	Toplam	23	0,28173333		<,0001
Gözlem Sayısı	24					
Ağırlık (g)		Varyans Analizi				
Kareler Toplamı	0,97727	Kaynak	DF	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F Değeri
Düzenlenmiş Kareler Toplamı	0,967326	Model	7	0,04018390	0,005741	98,2741
Ortalama Kareli Hataların Karekökü	0,007643	Hata	16	0,00093462	0,000058	Prob > F
Ortalama	0,10305	Toplam	23	0,04111852		<,0001
Gözlem Sayısı	24					
Yoğunluk (g/cm³)		Varyans Analizi				
Kareler Toplamı	0,903014	Kaynak	DF	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F Değeri
Düzenlenmiş Kareler Toplamı	0,860583	Model	7	0,01492829	0,002133	21,2818
Ortalama Kareli Hataların Karekökü	0,01001	Hata	16	0,00160333	0,000100	Prob > F
Ortalama	0,951375	Toplam	23	0,01653163		<,0001
Gözlem Sayısı	24					
Sertlik (Sh D)		Varyans Analizi				
Kareler Toplamı	1	Kaynak	DF	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F Değeri
Düzenlenmiş Kareler Toplamı	1	Model	7	179,62500	25,6607	5e+16
Ortalama Kareli Hataların Karekökü	2,266e-8	Hata	16	8,2157e-15	5,13e-16	Prob > F
Ortalama	25,625	Toplam	23	179,62500		<,0001
Gözlem Sayısı	24					

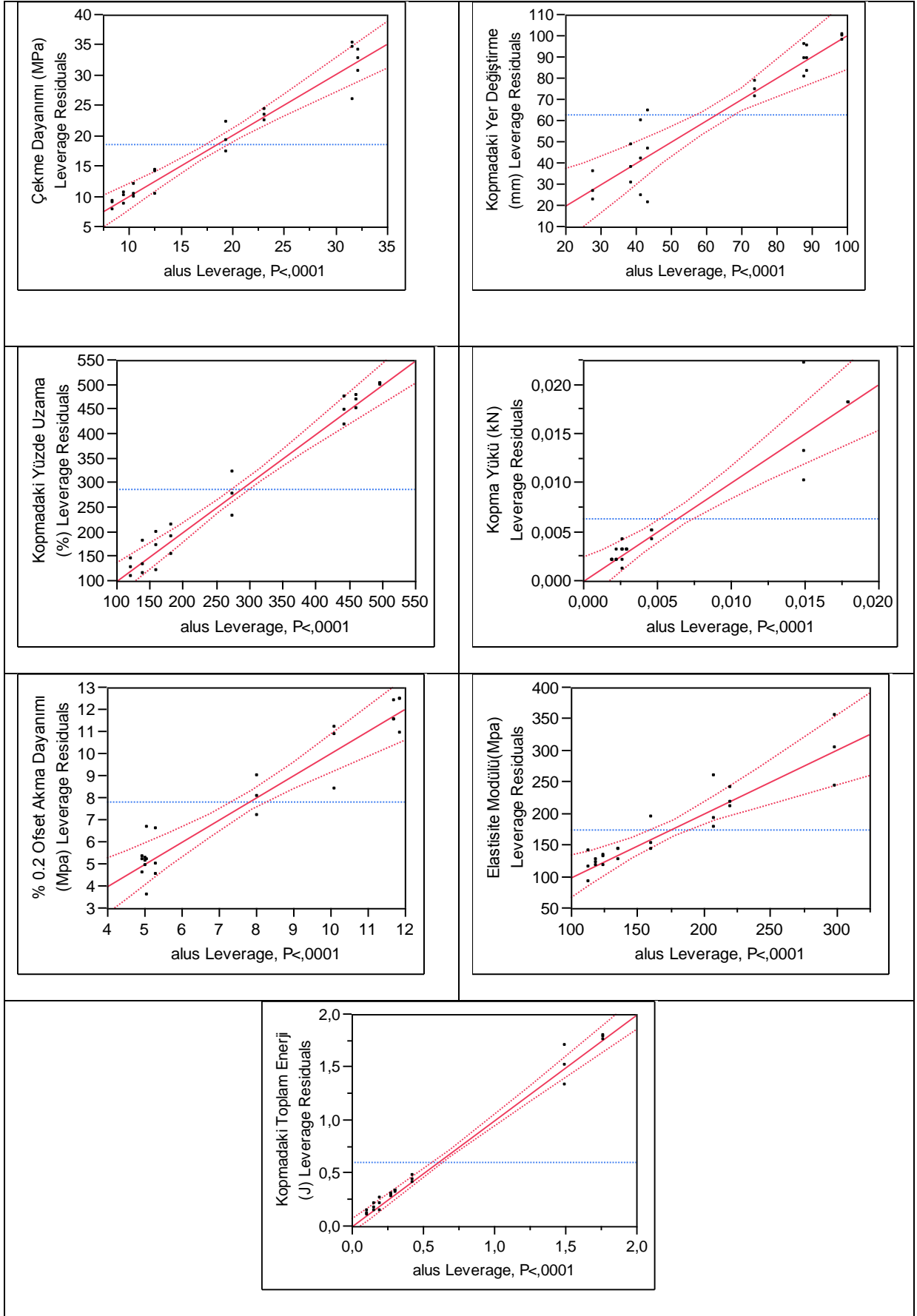


Şekil 4.14. Et kalınlığı, ağırlık ve yoğunluğa göre istatistiksel analiz grafikleri

Test Numunelerinin çekme deneyi sonuçlarından, Çekme Dayanımı, Kopmadaki Yer Değiştirme, Kopmadaki % Uzama, Kopma Yüğü, % 0.2 Ofset Akma Dayanımı, Elastisite Modülü ve Kopmadaki Toplam Enerji değerlerinin istatistiksel analiz verileri Çizelge 4.11.'de ve grafikleri Şekil 4.15.'te gösterilmiştir.

Çizelge 4.11. Çekme deneyi sonuçlarına göre istatistiksel analiz verileri

<p>Çekme Dayanımı (MPa)</p> <table border="1"> <tr><td>Kareler Toplamı</td><td>0,957549</td></tr> <tr><td>Düzenlenmiş Kareler Toplamı</td><td>0,938977</td></tr> <tr><td>Ortalama Kareli Hataların Karekökü</td><td>2,350492</td></tr> <tr><td>Ortalama</td><td>18,48171</td></tr> <tr><td>Gözlem Sayısı</td><td>24</td></tr> </table>	Kareler Toplamı	0,957549	Düzenlenmiş Kareler Toplamı	0,938977	Ortalama Kareli Hataların Karekökü	2,350492	Ortalama	18,48171	Gözlem Sayısı	24	<p>Varyans Analizi</p> <table border="1"> <thead> <tr><th>Kaynak</th><th>DF</th><th>Kareler Toplamı</th><th>Kareler Ortalaması</th><th>F Değeri</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>Model</td><td>7</td><td>1993,9468</td><td>284,850</td><td>51,5582</td></tr> <tr><td>Hata</td><td>16</td><td>88,3970</td><td>5,525</td><td>Prob > F</td></tr> <tr><td>Toplam</td><td>23</td><td>2082,3437</td><td></td><td><,0001</td></tr> </tbody> </table>	Kaynak	DF	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F Değeri	Model	7	1993,9468	284,850	51,5582	Hata	16	88,3970	5,525	Prob > F	Toplam	23	2082,3437		<,0001
Kareler Toplamı	0,957549																														
Düzenlenmiş Kareler Toplamı	0,938977																														
Ortalama Kareli Hataların Karekökü	2,350492																														
Ortalama	18,48171																														
Gözlem Sayısı	24																														
Kaynak	DF	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F Değeri																											
Model	7	1993,9468	284,850	51,5582																											
Hata	16	88,3970	5,525	Prob > F																											
Toplam	23	2082,3437		<,0001																											
<p>Kopmadaki Yer Değiştirme (mm)</p> <table border="1"> <tr><td>Kareler Toplamı</td><td>0,887103</td></tr> <tr><td>Düzenlenmiş Kareler Toplamı</td><td>0,83771</td></tr> <tr><td>Ortalama Kareli Hataların Karekökü</td><td>11,30645</td></tr> <tr><td>Ortalama</td><td>62,67371</td></tr> <tr><td>Gözlem Sayısı</td><td>24</td></tr> </table>	Kareler Toplamı	0,887103	Düzenlenmiş Kareler Toplamı	0,83771	Ortalama Kareli Hataların Karekökü	11,30645	Ortalama	62,67371	Gözlem Sayısı	24	<p>Varyans Analizi</p> <table border="1"> <thead> <tr><th>Kaynak</th><th>DF</th><th>Kareler Toplamı</th><th>Kareler Ortalaması</th><th>F Değeri</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>Model</td><td>7</td><td>16071,744</td><td>2295,96</td><td>17,9603</td></tr> <tr><td>Hata</td><td>16</td><td>2045,371</td><td>127,84</td><td>Prob > F</td></tr> <tr><td>Toplam</td><td>23</td><td>18117,115</td><td></td><td><,0001</td></tr> </tbody> </table>	Kaynak	DF	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F Değeri	Model	7	16071,744	2295,96	17,9603	Hata	16	2045,371	127,84	Prob > F	Toplam	23	18117,115		<,0001
Kareler Toplamı	0,887103																														
Düzenlenmiş Kareler Toplamı	0,83771																														
Ortalama Kareli Hataların Karekökü	11,30645																														
Ortalama	62,67371																														
Gözlem Sayısı	24																														
Kaynak	DF	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F Değeri																											
Model	7	16071,744	2295,96	17,9603																											
Hata	16	2045,371	127,84	Prob > F																											
Toplam	23	18117,115		<,0001																											
<p>Kopmadaki Yüzde Uzama (%)</p> <table border="1"> <tr><td>Kareler Toplamı</td><td>0,973966</td></tr> <tr><td>Düzenlenmiş Kareler Toplamı</td><td>0,962576</td></tr> <tr><td>Ortalama Kareli Hataların Karekökü</td><td>29,64297</td></tr> <tr><td>Ortalama</td><td>285,7228</td></tr> <tr><td>Gözlem Sayısı</td><td>24</td></tr> </table>	Kareler Toplamı	0,973966	Düzenlenmiş Kareler Toplamı	0,962576	Ortalama Kareli Hataların Karekökü	29,64297	Ortalama	285,7228	Gözlem Sayısı	24	<p>Varyans Analizi</p> <table border="1"> <thead> <tr><th>Kaynak</th><th>DF</th><th>Kareler Toplamı</th><th>Kareler Ortalaması</th><th>F Değeri</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>Model</td><td>7</td><td>525973,64</td><td>75139,1</td><td>85,5111</td></tr> <tr><td>Hata</td><td>16</td><td>14059,29</td><td>878,7</td><td>Prob > F</td></tr> <tr><td>Toplam</td><td>23</td><td>540032,93</td><td></td><td><,0001</td></tr> </tbody> </table>	Kaynak	DF	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F Değeri	Model	7	525973,64	75139,1	85,5111	Hata	16	14059,29	878,7	Prob > F	Toplam	23	540032,93		<,0001
Kareler Toplamı	0,973966																														
Düzenlenmiş Kareler Toplamı	0,962576																														
Ortalama Kareli Hataların Karekökü	29,64297																														
Ortalama	285,7228																														
Gözlem Sayısı	24																														
Kaynak	DF	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F Değeri																											
Model	7	525973,64	75139,1	85,5111																											
Hata	16	14059,29	878,7	Prob > F																											
Toplam	23	540032,93		<,0001																											
<p>Kopma Yüğü (kN)</p> <table border="1"> <tr><td>Kareler Toplamı</td><td>0,910402</td></tr> <tr><td>Düzenlenmiş Kareler Toplamı</td><td>0,871202</td></tr> <tr><td>Ortalama Kareli Hataların Karekökü</td><td>0,0023</td></tr> <tr><td>Ortalama</td><td>0,006292</td></tr> <tr><td>Gözlem Sayısı</td><td>24</td></tr> </table>	Kareler Toplamı	0,910402	Düzenlenmiş Kareler Toplamı	0,871202	Ortalama Kareli Hataların Karekökü	0,0023	Ortalama	0,006292	Gözlem Sayısı	24	<p>Varyans Analizi</p> <table border="1"> <thead> <tr><th>Kaynak</th><th>DF</th><th>Kareler Toplamı</th><th>Kareler Ortalaması</th><th>F Değeri</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>Model</td><td>7</td><td>0,00086029</td><td>0,000123</td><td>23,2250</td></tr> <tr><td>Hata</td><td>16</td><td>0,00008467</td><td>5,292e-6</td><td>Prob > F</td></tr> <tr><td>Toplam</td><td>23</td><td>0,00094496</td><td></td><td><,0001</td></tr> </tbody> </table>	Kaynak	DF	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F Değeri	Model	7	0,00086029	0,000123	23,2250	Hata	16	0,00008467	5,292e-6	Prob > F	Toplam	23	0,00094496		<,0001
Kareler Toplamı	0,910402																														
Düzenlenmiş Kareler Toplamı	0,871202																														
Ortalama Kareli Hataların Karekökü	0,0023																														
Ortalama	0,006292																														
Gözlem Sayısı	24																														
Kaynak	DF	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F Değeri																											
Model	7	0,00086029	0,000123	23,2250																											
Hata	16	0,00008467	5,292e-6	Prob > F																											
Toplam	23	0,00094496		<,0001																											
<p>% 0.2 Ofset Akma Dayanımı (Mpa)</p> <table border="1"> <tr><td>Kareler Toplamı</td><td>0,925748</td></tr> <tr><td>Düzenlenmiş Kareler Toplamı</td><td>0,893262</td></tr> <tr><td>Ortalama Kareli Hataların Karekökü</td><td>1,002862</td></tr> <tr><td>Ortalama</td><td>7,771792</td></tr> <tr><td>Gözlem Sayısı</td><td>24</td></tr> </table>	Kareler Toplamı	0,925748	Düzenlenmiş Kareler Toplamı	0,893262	Ortalama Kareli Hataların Karekökü	1,002862	Ortalama	7,771792	Gözlem Sayısı	24	<p>Varyans Analizi</p> <table border="1"> <thead> <tr><th>Kaynak</th><th>DF</th><th>Kareler Toplamı</th><th>Kareler Ortalaması</th><th>F Değeri</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>Model</td><td>7</td><td>200,62434</td><td>28,6606</td><td>28,4973</td></tr> <tr><td>Hata</td><td>16</td><td>16,09170</td><td>1,0057</td><td>Prob > F</td></tr> <tr><td>Toplam</td><td>23</td><td>216,71604</td><td></td><td><,0001</td></tr> </tbody> </table>	Kaynak	DF	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F Değeri	Model	7	200,62434	28,6606	28,4973	Hata	16	16,09170	1,0057	Prob > F	Toplam	23	216,71604		<,0001
Kareler Toplamı	0,925748																														
Düzenlenmiş Kareler Toplamı	0,893262																														
Ortalama Kareli Hataların Karekökü	1,002862																														
Ortalama	7,771792																														
Gözlem Sayısı	24																														
Kaynak	DF	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F Değeri																											
Model	7	200,62434	28,6606	28,4973																											
Hata	16	16,09170	1,0057	Prob > F																											
Toplam	23	216,71604		<,0001																											
<p>Elastisite Modülü (Mpa)</p> <table border="1"> <tr><td>Kareler Toplamı</td><td>0,867977</td></tr> <tr><td>Düzenlenmiş Kareler Toplamı</td><td>0,810216</td></tr> <tr><td>Ortalama Kareli Hataların Karekökü</td><td>29,05504</td></tr> <tr><td>Ortalama</td><td>172,8495</td></tr> <tr><td>Gözlem Sayısı</td><td>24</td></tr> </table>	Kareler Toplamı	0,867977	Düzenlenmiş Kareler Toplamı	0,810216	Ortalama Kareli Hataların Karekökü	29,05504	Ortalama	172,8495	Gözlem Sayısı	24	<p>Varyans Analizi</p> <table border="1"> <thead> <tr><th>Kaynak</th><th>DF</th><th>Kareler Toplamı</th><th>Kareler Ortalaması</th><th>F Değeri</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>Model</td><td>7</td><td>88801,39</td><td>12685,9</td><td>15,0272</td></tr> <tr><td>Hata</td><td>16</td><td>13507,13</td><td>844,2</td><td>Prob > F</td></tr> <tr><td>Toplam</td><td>23</td><td>102308,52</td><td></td><td><,0001</td></tr> </tbody> </table>	Kaynak	DF	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F Değeri	Model	7	88801,39	12685,9	15,0272	Hata	16	13507,13	844,2	Prob > F	Toplam	23	102308,52		<,0001
Kareler Toplamı	0,867977																														
Düzenlenmiş Kareler Toplamı	0,810216																														
Ortalama Kareli Hataların Karekökü	29,05504																														
Ortalama	172,8495																														
Gözlem Sayısı	24																														
Kaynak	DF	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F Değeri																											
Model	7	88801,39	12685,9	15,0272																											
Hata	16	13507,13	844,2	Prob > F																											
Toplam	23	102308,52		<,0001																											
<p>Kopmadaki Toplam Enerji (J)</p> <table border="1"> <tr><td>Kareler Toplamı</td><td>0,990924</td></tr> <tr><td>Düzenlenmiş Kareler Toplamı</td><td>0,986953</td></tr> <tr><td>Ortalama Kareli Hataların Karekökü</td><td>0,071695</td></tr> <tr><td>Ortalama</td><td>0,595708</td></tr> <tr><td>Gözlem Sayısı</td><td>24</td></tr> </table>	Kareler Toplamı	0,990924	Düzenlenmiş Kareler Toplamı	0,986953	Ortalama Kareli Hataların Karekökü	0,071695	Ortalama	0,595708	Gözlem Sayısı	24	<p>Varyans Analizi</p> <table border="1"> <thead> <tr><th>Kaynak</th><th>DF</th><th>Kareler Toplamı</th><th>Kareler Ortalaması</th><th>F Değeri</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>Model</td><td>7</td><td>8,9792910</td><td>1,28276</td><td>249,5573</td></tr> <tr><td>Hata</td><td>16</td><td>0,0822420</td><td>0,00514</td><td>Prob > F</td></tr> <tr><td>Toplam</td><td>23</td><td>9,0615330</td><td></td><td><,0001</td></tr> </tbody> </table>	Kaynak	DF	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F Değeri	Model	7	8,9792910	1,28276	249,5573	Hata	16	0,0822420	0,00514	Prob > F	Toplam	23	9,0615330		<,0001
Kareler Toplamı	0,990924																														
Düzenlenmiş Kareler Toplamı	0,986953																														
Ortalama Kareli Hataların Karekökü	0,071695																														
Ortalama	0,595708																														
Gözlem Sayısı	24																														
Kaynak	DF	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F Değeri																											
Model	7	8,9792910	1,28276	249,5573																											
Hata	16	0,0822420	0,00514	Prob > F																											
Toplam	23	9,0615330		<,0001																											



Şekil 4.15. Çekme deneyi sonuçlarına göre istatistiksel analiz grafikleri

Test Numunelerinin, Et Kalınlığı, Ağırlık, Yoğunluk ve Sertlik verilerinin LSMeans Differences Tukey HSD istatistik analiz yöntemine göre elde edilen gruplandırma sonuçları Çizelge 4.12.'de gösterilmiştir.

Çizelge 4.12. Et kalınlığı, ağırlık, yoğunluk ve sertlik sonuçları LSMeans Differences Tukey HSD verileri

Test Numuneleri	Et Kalınlığı (mm)		Ağırlık (g)		Yoğunluk (g/cm ³)		Sertlik (Shore D)	
alus01	0,0933	C	0,0792	C	0,9693	A	30,0000	A
alus02	0,0700	CD	0,0649	CD	0,9873	A	25,0000	B
alus03	0,1400	B	0,1206	B	0,9670	A	23,0000	C
alus04	0,4067	A	0,1605	A	0,9137	B	22,0000	D
alus05	0,0467	D	0,0456	D	0,9243	B	25,0000	B
alus06	0,0733	CD	0,0676	C	0,9750	A	30,0000	A
alus07	0,1700	B	0,1445	A	0,9363	B	25,0000	B
alus08	0,1733	B	0,1415	AB	0,9380	B	25,0000	B

Test Numunelerinin çekme deneyi sonuçlarından, Çekme Dayanımı, Kopmadaki Yer Değiştirme, Kopmadaki % Uzama, Kopma Yüğü, % 0.2 Ofset Akma Dayanımı, Elastisite Modülü ve Kopmadaki Toplam Enerji verilerinin LSMeans Differences Tukey HSD istatistik analiz yöntemine göre elde edilen gruplandırma sonuçları Çizelge 4.13.'te gösterilmiştir.

Çizelge 4.13. Çekme deneyi sonuçları LSMeans Differences Tukey HSD verileri

Test Numuneleri	Çekme Dayanımı (MPa)		Kopmadaki Yer Değiştirme (mm)		Kopmadaki Yüzde Uzama (%)		Kopma Yüğü (kN)		% 0.2 Ofset Akma Dayanımı (Mpa)		Elastisite Modülü (Mpa)		Kopmadaki Toplam Enerji (J)	
alus01	12,6273	C	74,1883	AB	122,8667	C	0,0027	B	5,0807	D	161,0247	BCD	0,3150	CD
alus02	10,5483	C	38,6387	C	183,1950	C	0,0023	B	5,3027	D	113,7510	D	0,1097	E
alus03	9,6007	C	88,7087	A	443,5420	A	0,0027	B	5,0470	D	125,3063	D	0,4327	C
alus04	8,4643	C	27,8890	C	139,4450	C	0,0047	B	4,9717	D	135,4560	CD	0,1953	DE
alus05	23,1900	B	43,5510	BC	274,7927	B	0,0030	B	8,0297	BC	119,2697	D	0,1620	DE
alus06	19,4440	B	41,5837	C	161,2500	C	0,0020	B	10,1077	AB	298,8607	A	0,2780	CDE
alus07	32,3067	A	88,0003	A	462,7750	A	0,0150	A	11,7383	A	208,2553	BC	1,5030	B
alus08	31,6723	A	98,8300	A	497,9160	A	0,0180	A	11,8967	A	220,8723	AB	1,7700	A

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Bu çalışmada iki grup hammadde kullanılmıştır. Bunlar; alçak yoğunluklu polietilen hammadde grubu PETKİM-AYPE (G03-5 ve F2-12) ve ana bileşeni mısır nişastası olan biyobozunur PHB hammadde grubu BIOPLAST (Masterbatch: BOR-M-501F, BOR-M-502F, Reçine: BOR-Z-503FM ve BOR-Z-703J)'tir.

AYPE G03-5 hammaddesine % 25, % 30, % 35 ve % 40 oranlarında 4 çeşit BIOPLAST hammadde ve %5 siyah masterbatch ayrı ayrı granül halinde karıştırılmıştır. Elde edilen karışımlarla ile ekstrüzyon makinasında film üretimi yapılamamıştır. Bunun sebepleri olarak G03-5 ile BIOPLAST hammaddelerin erime sıcaklıkları, eriyik akış hızları ve yoğunluk değerlerinin ekstrüzyon makinasında üflelemeli film çekimi sırasında uyum göstermemiş olmasıdır. Film ekstrüzyonu sırasında başarısız olan film tabakalarında, balık gözü, erimeyen tanecikler, balon kararsızlığı ve işleme esnasında bloklaşma durumları ortaya çıkmıştır.

AYPE F2-12 hammaddesine % 25, % 30, % 35 ve % 40 oranlarında 4 çeşit BIOPLAST hammadde ve % 5 siyah masterbatch ayrı ayrı granül halinde karıştırılarak 12 adet karışım elde edilmiştir. Bu oranlar kullanılarak max. düzeyde BIOPLAST hammadde ekleme oranı bulunmuştur.

Granül haldeki AYPE-F212/BIOPLAST karışımlarında; masterbatch biyoplastik içerikleri ağırlık olarak % 25'e kadar olan karışımlar ve reçine biyoplastik içerikleri ağırlık olarak % 30'a kadar olan karışımlar, şişirme film ekstrüzyonu yöntemi ile başarılı olarak işlenebilmektedir.

BOR-M-501F ile BOR-M-502F hammaddelerinin % 25 oranından fazla olan karışımlarında ve BOR-Z-503FM ile BOR-Z-703J hammaddelerinde ise % 30 oranından fazla olan karışımlarında başarılı film üretimi yapılamamıştır. Ekstrüzyonu işlemi sırasında ve işlem sonucunda film tabakalarında, bloklaşmalar, balık gözü, erimeyen tanecikler ve balon kararsızlıkları oluşmuştur.

Elde edilen karışımlardan üflelemeli film ekstrüzyon makinasında üretimi başarı ile gerçekleştirilen numunelerin hammadde karışım oranları ve numune kodları sırası ile

alus01= %70 F2-12 + %25 BOR-M-501F + %5 Siyah Masterbatch,

alus02= %70 F2-12 + %25 BOR-M-502F + %5 Siyah Masterbatch,

alus03= %65 F2-12 + %30 BOR-Z-503FM + %5 Siyah Masterbatch ve

alus04= %65 F2-12 + %30 BOR-Z-703J + %5 Siyah Masterbatch karışımlarıdır.

BIOPLAST hammadde katılmamış saf halde bulunan AYPE G03-5 ve AYPE F2-12'den test ve analizlerde biyoplastik karışım ürünleri ile kıyaslamak için sırası ile alus05 ve alus06 film tabakaları üretilmiştir. Ayrıca yine kıyaslama yapmak için şu an piyasada kullanılan, 2 adet firmaya ait yassı damla sulama borusu malzemesi numune haline getirilerek alus07 ve alus08 kodları ile çalışmada kullanılmıştır.

Biyobozunur hammaddeler, yüksek mısır nişastası içeriği nedeniyle nemi kolayca emerler ve işlenmesi sırasında su kayıpları oluşur. Bu durumun önlenmesi için hammaddeler kuru bir ortamda depolanmış ve film tabakası üretiminden önce 24 saat boyunca kürlenmeye bırakılmıştır.

Ekstrüzyon makinası kullanarak film üretim işlemi sırasında, vidalı ekstrüder L/D oranı 28:1 ve maksimum üretim veriminin ve en iyi film kalitesi için şişirme oranının en az 1:3 olmasına dikkat edilmiştir. Makinanın bölgesel işlem sıcaklıkları sırasıyla 165° C, 170 °C, 175 °C ve 180 C' gerçekleşmiştir.

Başarılı olarak üretilen biyoplastik karışımlı numunelerin ortalama et kalınlıkları sırası ile alus01= 0.09 mm, alus02=0.07 mm, alus03=0.14 mm ve alus04=0.41 mm olarak gerçekleşmiştir. Bu durum, reçine olan BOR-Z-503FM ve BOR-Z-703J'lü karışımların daha fazla et kalınlığı değerine ulaşabildiğini bize göstermiştir. Piyasada kullanılan yassı damla sulama borularından elde edilen numunelerin et kalınlıkları alus07= 0.17 mm ve alus08= 0.17 mm olarak bulunmuştur. Bu değerler, **Demir ve Yürdem (2002)**'in belirttiği firmaların teknik katalog değerlerindeki (et kalınlığı= 0.15 mm) uyumsuzluğa örnek olarak gösterilebilir.

Sadece alus03 numunesi piyasada mevcut kullanılan yassı damla sulama borularının et kalınlığı değerine ulaşabilmiştir.

Biyoplastik karışımlı numunelerin ortalama yoğunlukları sırası ile alus01= 0.969 g/cm³, alus02=0.987 g/cm³, alus03=0.967 g/cm³ ve alus04=0.914 g/cm³ olarak gerçekleşmiştir. Bu değerler, AYPE hammaddesinin ortalama yoğunluğu olan 0.921 g/cm³ (**Anonim-e 2010**), BIOPLAST masterbatch hammaddelerinin ortalama yoğunluk değeri 1.10 g/cm³ ve BIOPLAST reçine hammaddelerinin ortalama yoğunluk değeri olan 1.04 g/cm³ (**Anonim-d 2011**) ile kıyaslandığında alus01, alus02 ve alus03 numunelerinin biyoplastik hammadde oranına bağlı olarak yoğunluklarının AYPE'ye göre arttığı gözlemlenmiştir. alus04'teki yoğunluk değerinin AYPE yoğunluğunun altında olması bu numunenin kimyasal yapısında sorunlar bulunduğunu ve başarılı bir üretim olmadığını bize göstermiştir.

Biyoplastik karışımlı numunelerden alus01'in sertliği 30 Shore D ile en yüksek değer olarak karşımıza çıkmıştır. Biyoplastik masterbatch katkısı biyoplastik reçine katkısına göre karışımın sertliğini daha fazla arttırdığı tespit edilmiştir.

Numuneler üzerinde gerçekleştirilen çekme deneyleri sonucunda, BIOPLAST katkılı numunelerin çekme dayanımları (alus01=12.63 MPa, alus02=10.55 MPa, alus03=9.60 MPa ve alus04=8.46 MPa) katkısız AYPE'den üretilen numunelere göre yarı yarıya azalma göstermiştir. Biyoplastik katkıların çekme dayanımını üzerinde olumsuz bir etki oluşturduğu ortaya çıkmıştır.

Biyoplastik numuneler içerisinde sadece alus03'ün kopmadaki % uzama miktarının 443.54 çıkarak piyasada mevcut kullanılan yassı damla sulama borularının değerine (alus07=462.78 ve alus08=497.92) ulaşmıştır.

BIOPLAST katkılı numunelerin elastisite modülleri katkısız AYPE'den ve piyasada kullanılan yassı damla sulama borusu malzemelerinden daha az çıkmıştır. Biyoplastik katkıları elastisite modülü üzerinde azaltıcı bir etkisi olmuştur.

BIOPLAST katkılı numunelerin DSC analizlerine göre ergime pik noktası sıcaklığı en yüksek 123.36 °C ile alus03 numunesinde ortaya çıkmıştır. Polietilenlerin ergime sıcaklık sınırları olan 105°C ile 130 °C ile uyum göstermektedir (**Anonim-g 2012**). Ayrıca piyasada kullanılan yassı damla sulama borularının malzemelerine ait alus07 (124.96 °C) ve alus08 (125.39 °C) ile de büyük ölçüde benzerlik göstermektedir. Kristalleşme pik noktası sıcaklığı ise alus03'te 107.88 °C çıkarak, alus07 (113.51 °C) ve alus08 (113.54 °C) değerlerine yakın sonuçlanmıştır.

Numunelerin malzeme yüzeyindeki sıcaklık depolama yetenekleri belirlenmiştir. Bulunan değerler birbirlerine yakındır. Biyoplastik katkıları herhangi bir değişime yol açmamıştır. alus03 numunesinin değeri 26.4 °C, alus07 (25.5 °C) ve alus08 (26.3 °C)'e ait sonuçlarla uyumludur.

Biyoparçalanabilirlik özelliklerini ölçmek için aerobik havuzda 1000 saat bekletilen numunelerden biyoplastik masterbatch katkılı alus01 ve alus02'de gerçekleşen ağırlık kayıpları sırası ile % 0.00237 ve % 0.00123 olarak kendini göstermiştir. Biyoplastik reçine katkılı alus03'te % 0.00117 ve alus04'te ise % 0.00113 oranında ağırlık kayıpları ortaya çıkmıştır. Ayrıca numunelerde renk ve yumuşaklık değişimi gözlemlenmiştir. Biyoplastik reçinelerin, biyoplastik masterbatchlere göre daha uzun süre bozunmadan kalabildikleri sonucu ortaya çıkmıştır. AYPE'den üretilen diğer numunelerde teorik olarak biyoparçalanma beklenmemektedir. Bu durum deney sonuçları ile de ispatlanmıştır.

Yassı damla sulama borularının kullanım yeri olan toprak yüzeyinde yapılan 1000 saatlik bekleme deneyi sonucunda biyoplastik katkılı tüm numunelerde ağırlık kaybı yaşanmıştır. Kayıplar yaşanırken numunelerde bir parçalanma gözlenmemiştir. Bu ağırlık kayıpları sırası ile alus01= % 0.00097, alus02= % 0.00137, alus03= % 0.00283 ve

alus04= % 0.00107 olarak gerçekleşmiştir. En büyük yüzde ağırlık kaybı alus03 kodlu karışımda ortaya çıkmıştır. AYPE'den üretilen numunelerde bir kayıp oluşmamıştır.

Numuneler üzerinde gerçekleştirilen test ve deney sonuçları, JMP7 Programı kullanılarak yapılan "LSMeans Differences Tukey" istatistiksel analiz yöntemi ile incelenmiştir. Numuneler arasındaki ilişkiler ortaya çıkarılarak gruplandırmalar yapılmıştır. Tüm numuneler arasındaki değerlendirme sonucunda piyasada mevcut kullanılan yassı damla sulama boruları olan alus07 ve alus08'in özelliklerine en yakın olarak, alus03 kodlu biyoplastik reçine katkılı numune kendini göstermiştir.

Test, analiz ve istatistiksel yorumlara göre biyoplastik karışımların en iyisi olarak ortaya çıkan içeriğinde % 65 F2-12, % 30 BOR-Z-503FM ve % 5 Siyah Masterbatch hammaddeleri olan alus03 ürünü tezin amacı olan yassı damla sulama borusu üretiminde alternatif hammadde olarak kendini ortaya çıkarmıştır. alus03 hammaddesi ile prototip yassı damla sulama borusu üretimine başlanması için gerekli olan ilk verilere bu çalışma ile ulaşılmıştır.

Güncel hammadde maliyetleri karşılaştırıldığında, PHB: 7000 \$/Ton ve AYPE: 1885 \$/Ton olarak karşımıza çıkmaktadır (**Anonim-n 2012**). Biyoplastik hammaddeler petrol türevli plastiklere göre günümüzde yaklaşık 4 kat daha pahalıdır. Ancak geleneksel plastiklerin kullanım sonrası toplama ve yok etme maliyetleri fazladır. Ayrıca insan sağlığı ile tarımsal alanlar ve doğal kaynaklar üzerindeki olumsuz etkilerinin telafisi için yapılan harcamalar göz önüne alındığında biyoplastikler avantajlı duruma geçmektedir. Biyoplastik kullanımının yaygınlaşması üretim maliyetlerini de düşürmeye başlayacaktır.

Tez çalışması sonucunda ortaya çıkarılan biyoplastik katkılı ürünler, tarım ve sanayi sektöründe yer alan uygulamalarda alternatif bir malzeme olarak kullanılmaya uygundur. Tarım alanında malç filmi ve fide torbası imalatında, ayrıca ambalaj, poşet ve çöp torbası üretimlerinde kullanılabilirler.

6. KAYNAKLAR

- Akdoğan Eker A (2009). Türkiye’de Plastik Hammadde Üretimi ve İthalatı. <http://www.yildiz.edu.tr/~akdogan/lessons/plastikmalzeme/Belgeler/Biyoplastikler.pdf> (erişim tarihi, 25.12.2009).
- Akıncı M (2003). Sulama Sistemleri. Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü-Ankara. <http://www.khgm.gov.tr/kutuphane/MAKALE/makale002.htm> (erişim tarihi, 28.01.2010).
- Akkurt S (2007). Plastik Malzeme Bilimi Teknolojisi ve Kalıp Tasarımı. Birsen Yayınevi Ltd. Şti. İstanbul, 552.
- Aksu H (2008). Küresel Isınma Ve Düşünceye Etkileri <http://www.genbilim.com/content/view/4845/39/> (erişim tarihi, 14.02.2010).
- Anonim-a (2001). Sekizinci Beş Yıllık Kalkınma Planı Plastik Ürünler Sanayii Özel İhtisas Komisyonu Raporu Ankara, DPT: 2547 – ÖİK: 563, 5-10.
- Anonim-b (2001). Sekizinci Beş Yıllık Kalkınma Planı Gıda Sanayii Özel İhtisas Komisyonu Raporu Nişasta ve Nişasta Bazlı Şekerler Alt Komisyonu Ankara, DPT: 2641-ÖİK:649, 1,13.
- Anonim-a (2006). Plastik Teknolojisi- Ekstrüzyon Makinelerinde Üretim 3. Milli Eğitim Bakanlığı, Ankara, 3.
- Anonim-a (2008). <http://www.chatcity.cc/forum/topic.asp?id=29445&p=1> (erişim tarihi, 20.02.2008).
- Anonim-a (2009). Damla Sulama Sistemleri. http://www.ozgoren.com/tr/Damla_Sulama.aspx (erişim tarihi, 16.08.2009).
- Anonim-b (2009). Damla Sulama Çeşitleri. <http://www.sulama.tc/damla-sulama-cesitleri.html> (erişim tarihi, 22.09.2009).
- Anonim-c (2009). <http://fooandfood.blogspot.com/2009/12/gida-ambalajlama-icin-bioparcalanabilen.html> (erişim tarihi, 23.10.2009).
- Anonim-d (2009). Ticari Biyoplastiklere Bir Yenisi Daha Ekleniyor. <http://www.polimernedir.com/2009/10/ticari-biyoplastiklere-bir-yenisi-daha-ekleniyor/> (erişim tarihi, 17.12.2009).
- Anonim-e (2009). Termal Analiz Uygulamaları. <http://www.turksan.com/termal-analiz.html> (erişim tarihi, 21.12.2009).
- Anonim-a (2010). Damla Sulama Sistemleri. http://www.oncutarim.com/damla_sulama_sistemlerinin_avantajlari.html (erişim tarihi, 16.04.2010).
- Anonim-b (2010). <http://www.konyaseker.com.tr/?sayfa=icerik&pgid=203&text=203> (erişim tarihi, 29.04.2010).

- Anonim-c (2010). <http://www.karcelikdamlasulama.com/index.asp> (erişim tarihi, 03.05.2010).
- Anonim-d (2010). http://www.agplastik.com/default.asp?L=TR&mid=176&cat_id=168 (erişim tarihi, 25.05.2010).
- Anonim-e (2010). Petkim Petrokimya Holding A.Ş. Petilen Alçak Yoğunluk Polietilen Ürün Özellikleri Ve İşleme Aype Film Ekstrüzyonunda Karşılaşılan Sorunlar, Nedenleri. http://www.petkim.com.tr/uretim/kaliteKontrolVeTeknikServis/kalite_kontrol/aype.pdf (erişim tarihi, 08.07.2010).
- Anonim-f (2010). http://www.hammaddeler.com/index.php?option=com_content&view=article&id=166&Itemid=165 (erişim tarihi, 18.07.2010).
- Anonim-g (2010). Termal Analiz Yöntemleri. <http://www.authorstream.com/Presentation/saban43-203852-termal-analiz-ntemleri-dta-dsc-tga-education-ppt-powerpoint/> (erişim tarihi, 20.11.2010).
- Anonim-a (2011). Damla Sulama Sisteminin Elemanları. <http://www.agplastik.com/Default.asp?L=TR&mid=206> (erişim tarihi, 27.04.2011).
- Anonim-b (2011). Karbonhidratlar. <http://lisanskimya.balikesir.edu.tr/~f10940/karbonhidratlar.html> (erişim tarihi: 13.06.2011).
- Anonim-c (2011). Thermoplastic Starch. http://cdn.intechopen.com/pdfs/34063/InTech-Thermoplastic_starch.pdf (erişim tarihi: 19.08.2011).
- Anonim-d (2011). Biyobozunur (Biodegradable) Plastik Hammaddesi (BOR-M-502F (Masterbatch), BOR-Z-503FM (Reçine) ve BOR-Z-703J (Reçine)) Özellikleri. <http://www.bioplasttr.com/index.htm> (erişim tarihi, 26.08.2011).
- Anonim-a (2012). Jain Damla Sulama Borusu Özellikleri. http://www.jains.com.tr/jain-turbo-slim_11_urun (erişim tarihi, 13.02.2012).
- Anonim-b (2012). Ekstrüzyon Üretimi. <http://bilimplast.com/Extruder.asp> (erişim tarihi, 15.04.2012).
- Anonim-c (2012). Ekstrüzyon Şişirme Prosesinin Temel Basamakları. <http://www.hastek.com.tr/teknik.php?id=10> (erişim tarihi, 19.04.2012).
- Anonim-d (2012). Şişirme Film Ekstrüzyon Makinasının Elemanları. <http://www.mensad.com/index.php?Git=Kuhne&Sayfa=SisirmeFilm> (erişim tarihi, 16.06.2012).
- Anonim-e (2012). Plastik Şekillendirme Yöntemleri. <http://web.itu.edu.tr/~vuralmu/ch13.pdf> (erişim tarihi, 17.07.2012).

- Anonim-f (2012). Aype'nin Büzülme (Shrink) Özelliğinin Film Ekstrüzyon Şartları İle İlişkinin İncelenmesi. <http://www.petkim.com.tr/Userfiles/File/uretim/kalitekontrol-teknikservis/Shrink.pdf> (erişim tarihi, 29.07.2012).
- Anonim-g (2012). Termoplastik Polimerler. <http://www.belgeler.com/blg/2i6l/termoplastik-polimerler> (erişim tarihi, 10.08.2012).
- Anonim-h (2012). Polietilen (Polyethylene) Kullanım Alanları. http://www.ozgunplastik.gen.tr/alcak_yogunluklu_polietilen.html (erişim tarihi, 17.08.2012).
- Anonim-ı (2012). Çevreci Plastikler. <http://www.ogu.edu.tr/bduyuru.aspx?KID=1&DID=873> (erişim tarihi, 19.08.2012).
- Anonim-i (2012). Biodegradable Kavramı Etrafında Ortaya Atılan İddialar ve Biyoplastikler. <http://www.bioplasttr.com/KAVRAMLAR,%20UYGULAMALAR,%20ZARARLAR.pdf> (erişim tarihi, 17.09.2012).
- Anonim-j (2012). Biyoekonomi-Biyorafineri- Çevre Biyoteknolojisi. <http://www.binotek.org/tr/images/stories/diger/binogalerisunums/biotech2011sunum/Sunum16.pdf> (erişim tarihi, 20.09.2012).
- Anonim-k (2012). Doğal biyopolimer bazlı (biyobozunur) Nanokompozit filmler ve su ürünlerindeki Uygulamaları. <http://www.fisheriessciences.com/tur/Journal/vol4/issue1/jfscm2010006.pdf> (erişim tarihi, 21.09.2012).
- Anonim- l (2012). Biyolojik Arıtma. <http://www.erimsever.com/MakMuh/MMO/AritmaKongre/10093.pdf> (erişim tarihi, 25.09.2012).
- Anonim- m (2012). Bursa-Türkiye, Temmuz 2012-Ağustos 2012 Meteorolojik Verileri. <http://www.accuweather.com/tr/bursa/317350?monyr=8/1/2012> (erişim tarihi, 28.09.2012).
- Anonim- n (2012). Biyoplastik PHB Hammaddesi Fiyatı. http://ticiz.com/search?search_scope=product&search_term=phb&search=Ara (erişim tarihi, 12.12.2012).
- Artık N (2008). Nişasta ve Nişasta Bazlı Endüstri İnceleme Raporu. Ankara Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Gıda Mühendisliği Bölümü Yayını, 1-24.
- Coşkun Z (2008). Basınçlı Sulama Yöntemleri Ve Su Tasarrufu.T.C. Çevre Ve Orman Bakanlığı Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü DSİ VI. Bölge Müdürlüğü 5. Dünya Su Forumu Bölgesel Hazırlık Süreci DSİ Yurtiçi Bölgesel Su Toplantıları 10 – 11 Nisan 2008. Sulama – Drenaj Konferansı Bildiri Kitabı, 310 s, Adana.
- Çamoğlu G, Yavuz MY (2004). Yerli ve Yabancı Yapım Damlatıcılarının Sulama Performansları Yönünden Karşılaştırılması.Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi 18(1): 181-191.

- Debik E, Manav N, Coşkun T (2008). Biyolojik Temel İşlemler Ders Notları. İstanbul, http://www.cem.yildiz.edu.tr/3-menu_icerikleri/3-egitim-ogretim/ogretim_kademeleri/lisans/ders_notlari/ders_notlari_1.htm (erişim tarihi, 25.09.2012)
- Demir V, Uz E (1992). Damla Sulama Sistemi Ve Damlatıcı Tiplerindeki Gelişmeler. Tarımsal Mekanizasyon 14.Ulusal Kongresi, Bildiriler Kitabı, s.540-552, Samsun.
- Demir V, Uz E (1995). Damla Sulama Sistemlerinde Optimum Lateral Uzunluklarının Belirlenmesinde Kullanılan Sürtünme Kayıp Eşitliklerinin Karşılaştırılması. Tarımsal Mekanizasyon 16. Ulusal Kongresi, 5 - 7 Eylül 1995, Bursa.
- Demir V, Yürdem H (2002). Aynı Damlatıcıya Sahip Damla Sulama Borularında Boru Çapının En Uygun Boru Uzunluğuna Etkisi. Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 39 (3), 120-127.
- Demirci B (2008). Biyoplastikler. <http://www.subconturkey.com/2008/ Temmuz/koseyazisi-Biyoplastikler-ve-Biyobozunabilirlik.html> (erişim tarihi: 16.04.2010).
- Demirci B (2011). Türkiye Plastik Boru Sektörü Raporu Mevcut Durum Analizi Ve İleriye Dönük Beklentiler. [http://www.pagev.org.tr/admin/PICS/file/PAGEV Plastik Boru Sektör Raporu - 2010_28022011_092642.pdf](http://www.pagev.org.tr/admin/PICS/file/PAGEV_Plastik_Boru_Sektor_Raporu_-_2010_28022011_092642.pdf) (erişim tarihi, 06.08.2011).
- Dinigüzel Ö (2007). Türkiye'den Phb Üreticisi Halofilik Bakterilerin İzolasyonu. Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Biyoloji Anabilim Dalı, Ankara.
- Düzgüneş O (1963). Bilimsel Araştırmalarda İstatistik Prensipleri ve Metotları. Ege Üniversitesi, İzmir.
- Ediz N, Beyatlı Y (2005). Bacillus Cinsi Bakteriler Tarafından Biyoplastik Üretimi Oran On-Line Mikrobiyoloji Dergisi Yıl: 2005 Cilt: 03 Sayı: 05, 1-14. www.mikrobiyoloji.org/pdf/702050501.pdf (erişim tarihi, 14.03.2010).
- Ergün N (2012)Türkiye Plastik Hammadde Ve Mamul Sektör Raporu (2012 Yılı 6 Aylık Kesin Ve 2012 Yılı Tahmini Değerlendirmesi). PAGEV Yayınları, 1-11.
- Gaspar M, Benko Zs, Dogossy G, Reczey K, Czigany T (2005). Reducing water absorption in compostable starch-based plastics. Polymer Degradation and Stability,90, 563-569.
- İlhan Baysak İ (2008). Bazı Rhizobium Türlerinin Polihidroksibütirat (PHB) Verimleri Üzerine Farklı Ortam Şartlarının Etkileri. Y.Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Biyoloji Anabilim Dalı, 2-13, Elazığ.
- Janssen L, Moscicki L (2006). Thermoplastic Starch As Packaging Material. Technica Agraria 5(1), 19-25.
- Karaca Y (2008). Damla Sulamada Dairesel Kesitli Boruların Farklı Damlatıcı Aralığına Göre Uzatma Mesafelerinin Belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, T.C. Namık Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekirdağ.

- Martins I M G, Magina S P, Oliveira L, Freire C S R, Silvestre A J D, Neto C P, Gandini A (2009). New Biocomposites Based On Thermoplastic Starch And Bacterial Cellulose. *Composites Science and Technology*,69 (13), 2163-2168.
- Önalın F (2005). Damlama Sulama Boruları Üretimi Sanayi Profili. T.C. Sanayi Ve Ticaret Bakanlığı Sanayi Araştırma Ve Geliştirme Genel Müdürlüğü, 5-10, Ankara.
- Önder S, Kanber R, Ünlü M, Önder D (2008). Klasik Ve Modern Sulama Yöntemlerinin Su Kullanma Randımanlarının İncelenmesi. T.C. Çevre Ve Orman Bakanlığı Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü DSİ VI. Bölge Müdürlüğü 5. Dünya Su Forumu Bölgesel Hazırlık Süreci DSİ Yurtiçi Bölgesel Su Toplantıları. Sulama – Drenaj Konferansı Bildiri Kitabı, Adana.
- Öner E (2009). Enstürmantal Yöntemler – II.
http://www.uzaktanegitimplatformu.com/UEP/uep_ylisans/ey2/ey2_download/Enstrumantal_Yontemler_II_Yansilar.pdf (erişim tarihi, 29.12.2009).
- Özcan S (2009). Modern Dünyanın Vazgeçilmez Bitkisi Mısır: Genetiği Değiştirilmiş (Transgenik) Mısırın Tarımsal Üretime Katkısı Türk Bilimsel Derlemeler Dergisi 2(2), 01-34.
- Pişkin E, Yavuz H (1999). Doğada Parçalanabilen Polimerler Plastik Malzemeler Ve Teknolojileri Konferansı 4-5 Aralık 1999, Bildiriler Kitabı, Mmo Yayın No: 241, 67-72, İstanbul.
- Ratto J A, Stenhouse P J, Auerbach M, Mitchell J, Farrell R (1999). Processing, performance and biodegradability of a thermoplastic aliphatic polyester/starch system. *Polymer*,40, 6777-6788.
- Sivri N, Hourishi H, Çelik S Ö (2005). Su Havzalarının Yönetimi Ve Planlaması Direktiflerinin Karşılaştırılması Türkiye Ve İran Örnekleri. Ulusal Su Günleri 28-30 Eylül 2005, Türk Sucul Yaşam Dergisi. 4, 206-211, Trabzon.
- Tekin E (2008). İzmir Çamaltı Tuzlası'ndan Polibetahidroksibütirat (Phb) Üreticisi Halofilik Mikroorganizmaların İzolasyonu, Fenotipik Karakterizasyonu Ve Phb Üretim Verimliliğinin Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Temel Ve Endüstriyel Mikrobiyoloji Anabilim Dalı, İzmir.
- Tütüncü K ve Deniz V (2008). Hangisi Daha Yeşil, Hangisi Daha Çevre Dostu? *Geri Dönüşüm Dergisi*. Mart-Nisan 2008, 20-23
- Yıldırım O ve Korukçu A (1999). Damla Sulama Sistemlerinin Projelenmesi. Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarımsal Yapılar ve Sulama Bölümü, Ders Notları, 272 s.
- Yılmaz M ve Beyatlı Y (2003). Biyoplastik: Poli-β-Hidroksibütirat (PHB). *Orlab On-Line Mikrobiyoloji Dergisi*. Cilt: 01 Sayı: 09: s.1-33
www.mikrobiyoloji.org/pdf/702030901.pdf (erişim tarihi, 17.04.2010).

ÖZGEÇMİŞ

1973 yılında Erüh'ta doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini Bursa'da 1990 yılında tamamladı. Uludağ Üniversitesi Bursa MYO İklimlendirme-Soğutma Bölümü'nde 1993 yılında Ön Lisans, Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarım Makinaları Bölümü'nde 1997 yılında birincilik derecesi ile Lisans ve Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tarım Makinaları Anabilim Dalı'nda 2001 yılında Yüksek Lisans eğitimini tamamladı.

TMMOB Ziraat Mühendisleri Odası Bursa Şubesi 7. Dönem (2003-2005) ve Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Mezunları Derneği 1. ve 2. Dönemlerinde (2007-2011) Yönetim Kurulu Üyesi olarak görev yaptı.

1990-1994 yılları arasında özel sektörde çalıştı. 1996 yılında mühendislik stajını Almanya-Bonn Üniversitesi'nde yaptı. 1998'den 2002'ye kadar Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesinde Araştırma Görevlisi olarak çalıştı. 2002-2005 yılları arasında T.C. Başbakanlık KHGM Köy Hizmetleri Bursa İl Müdürlüğü'nde Ziraat Yüksek Mühendisi ünvanı ile görev yaptı. 2005 yılından bu yana T.C. Bursa İl Özel İdaresi'nde çalışmaktadır. Halen, Çevre Koruma ve Kontrol Müdürü olarak görev yapmaktadır.