

**BİKOMPONENT VE KARIŞIM HDPE / LDPE
LİFLERİNİN ERİYİKTEN ÇEKİM YÖNTEMİ İLE
ÜRETİMİ VE 3D YAZICILARDA KULLANIMI**

Oğuzhan USLU



T.C.
BURSA ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**BİKOMPONENT VE KARIŞIM HDPE / LDPE LİFLERİNİN ERİYİKTEN
ÇEKİM YÖNTEMİ İLE ÜRETİMİ VE 3D YAZICILARDA KULLANIMI**

Oğuzhan USLU

ORCID ID: 0000-0001-9132-0664

Doç. Dr. Yakup AYKUT

ORCID ID: 0000-0002-5263-1985
(Danışman)

YÜKSEK LİSANS TEZİ
TEKSTİL MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

BURSA – 2019

TEZ ONAYI

Oğuzhan USLU tarafından hazırlanan “BİKOMPONENT VE KARIŞIM HDPE / LDPE LİFLERİNİN ERİYİKTEN ÇEKİM YÖNTEMİ İLE ÜRETİMİ VE 3D YAZICILARDA KULLANIMI” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Bursa Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tekstil Mühendisliği Anabilim Dalı’nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Danışman. : Doç. Dr. Yakup AYKUT

Başkan: Doç. Dr. Yakup AYKUT İmza

ORCID ID: 0000-0002-5263-1985

Bursa Uludağ Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi,
Tekstil Mühendisliği Anabilim Dalı

Üye : Prof. Dr. Recep EREN İmza

ORCID ID: 0000-0001-9389-0281

Bursa Uludağ Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi,
Tekstil Mühendisliği Anabilim Dalı

Üye : Prof. Dr. Kenan YILDIRIM İmza

ORCID ID: 0000-0002-4471-3964

Bursa Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa
Bilimleri Fakültesi,
Lif ve Polimer Mühendisliği Anabilim Dalı

Yukarıdaki sonucu onaylarım

Prof. Dr. Hüseyin Aksel EREN

Enstitü Müdürü

27 / 08 / 2019

BİLİMSEL ETİK BİLDİRİM SAYFASI

U.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

beyan ederim.

26 / 08 / 2019

İmza

Oğuzhan USLU

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

BİKOMPONENT VE KARIŞIM HDPE / LDPE LİFLERİNİN ERİYİKTEN ÇEKİM YÖNTEMİ İLE ÜRETİMİ VE 3D YAZICILARDA KULLANIMI

Oğuzhan USLU

Bursa Uludağ Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Tekstil Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Yakup AYKUT

Termoplastik polimerlerin eritilerek yeniden şekillendirilebilmesi ve bünyesinde meydana gelebilecek deformasyonların ısı ilemlerle giderilebilmesinden dolayı üç boyutlu (3D) yazıcılarda üretilip kullanımı son yıllarda yaygınlaşmıştır. Termoplastik polimerik yapılar önce eriyikten çekim yöntemi ile istenen özelliklerde lif formuna getirilip daha sonra bu liflerin 3D yazıcılarda kullanılması ile 3D yapılar elde edilmektedir. Bu kapsamda, termoplastik özellikte olan düşük yoğunluklu polietilen (LDPE) ve yüksek yoğunluklu polietilen (HDPE)'den farklı kontrüksiyonlarda saf, karışım ve bikomponent lifler eriyikten çekim yöntemi ile üretilmiştir. Üretilen liflerin kimyasal, kristal mikroyapı analizleri, termal stabiliteleri ve mekanik özellikleri incelenmiştir. Liflerin 3D yazıcılarda kullanılabilirliğini gözlemek için 3D yazıcıda numuneler üretilmiştir. Üretilen liflerden bikomponent yapıda olan LDPE / HDPE lifinin kullanılan 3D yazıcı için en uygun lif olduğu tespit edilmiştir. Bu liften 3D balpeteği yapı üretilip bu yapının bası mukavemeti PLA lifinden üretilen balpeteği yapı ile kıyaslanması suretiyle incelenmiştir. LDPE / HDPE bikomponent liften üretilen balpeteği yapının bası mukavemeti özellikleri piyasada yaygın kullanılan PLA'nın değerlerine yakın olduğu gözlemlenmiştir ve PLA gibi termoplastik karakterde olan bu lif yapısının PLA'ya alternatif olarak 3D yazıcılarda kullanılabileceği sonucuna varılmıştır.

Anahtar Kelimeler: 3D yazıcı, bikomponent lif, polietilen, termoplastik, 3D balpeteği

2019, ix + 52 sayfa

ABSTRACT

MSc Thesis

PREPRATION OF BICOMPONENT AND BLENDED HDPE / LDPE FIBERS VIA MELT SPINNING METHOD AND THEIR USAGE IN 3D PRINTERS

Oguzhan USLU

Bursa Uludağ University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Textile Engineering

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Yakup Aykut

Thermoplastic polymer have been broadly used at 3D printers in recent years since they can be reformed and healed the deformations on them easily by heat treatments. First, thermplastic polymers are spun into fiber structure via melt spinning method and then 3D objects are produced from these fibers via 3D printing process. In this regards, low density polyethylene (LDPE) and high density polyethylene (HDPE) as thermoplastic polmers were melt spun into fiber with various construction including neat, blend and bicomponent fiber structures. Chemical, crystalline microstructural analysis, thermal stabilities, and mechanical properties of the produced fibers were investigated. In order to observe their 3D printable properties, 3D samples were produced from the prepared fibers. Bicomponent LDPE / HDPE fibers were the most suitable fiber to produced 3D sample at the lab scale 3D printer in this study. 3D honeycomb structure was produced from this fiber and its compression strength property was investigated by comparing as prepared PLA honeycomb structure. Compression strength test results of the honeycomb sample produced from LDPE / HDPE bicomponent fibers were close to the PLA sample. It was concluded that LDPE / HDPE bicomponent fibers can be used as the thermoplastic material at the 3D printer as an alternative to PLA which is extensively used at 3D printers.

Keywords: 3D printing, bicomponent fiber, polyethylene, thermoplastic, 3D honeycomb

2019, ix + 52 pages

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimim boyunca bilgi ve tecrübeleriyle yolumu aydınlatan, yardımlarını esirgemeyen, bilimi her zaman etik ilkeler içerisinde yapmamızı aşılayan, her anlamda örnek aldığım değerli danışman hocam Bursa Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Tekstil Mühendisliği Bölümü öğretim üyesi Doç. Dr. Yakup AYKUT'a,

Yüksek lisans eğitimimde üzerimde büyük emekleri bulunan Bursa Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Tekstil Mühendisliği Bölümündeki bütün hocalarıma,

Bursa Uludağ Üniversitesi (BUU) Tekstil Mühendisliği Bölümü Laboratuvarlarında bulunan ve BUU Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi BAP M. 2011/27 proje numarası alınmış olan ve liflerin üretiminde kullandığımız Bikomponent Lif Üretim Ünitesi için BUU BAP birimine, ve bu ünitenin bölüme kazandırılmasından dolayı proje yürütücüsü sayın Prof. Dr. Yusuf ULCAY'a,

Mamüllerimin üç boyutlu üretiminde 3D Yazıcı, Bilgisayar Destekli Tasarım (CAD) odaklı SolidWorks Programını kullanımına sunan destek ve yardımlarından dolayı Bursalı Tekstil San. ve Tic. A.Ş.'ye,

Liflerin DSC ve ATR-FTIR Spektroskopisi testlerinde İstanbul Teknik Üniversitesi (İTÜ) Tekstil ve Konfeksiyon Kalite Kontrol ve Araştırma Laboratuvarında yardımları bulunan Doç. Dr. Umut Kıvanç ŞAHİN ve Araş. Gör. Elçin EMEKDAR'a,

Üretilen balpeteği yapılarının Bası Testleri için Bursa Uludağ Üniversitesi Makine Mühendisliği laboratuvarında yardımları bulunan Araş. Gör. Oğuz TUNCEL'e,

Aynı laboratuvarı paylaştığım Aykut Araştırma Gurubu ekip üyelerine,

Eğitim hayatım boyunca ilgi, yardım, destek ve sabırları için melek yüzlü annem Ayşe USLU, sevgili babam Cengiz USLU ve ailenin başarılı çocuğu ablam Pakize USLU'ya,

Tüm sıkıntılarımı kolaylaştıran, beni sabır ve sevgiyle destekleyen eşim Merve USLU'ya sonsuz teşekkürler.

Oğuzhan USLU
26 / 08 / 2019

İÇİNDEKİLER

| | Sayfa |
|---|-------|
| ÖZET | i |
| ABSTRACT | ii |
| TEŞEKKÜR | iii |
| İÇİNDEKİLER | iv |
| SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ | v |
| ŞEKİLLER DİZİNİ | vii |
| ÇİZELGELER DİZİNİ | ix |
| 1. GİRİŞ | 1 |
| 2. KURAMSAL TEMELLER ve KAYNAK ARAŞTIRMASI | 3 |
| 2.1. Üç Boyutlu (3D) Yazıcı Teknolojileri | 3 |
| 2.1.1. 3D yazıcı teknolojilerinin uygulama alanları | 7 |
| 2.1.2. Farklı türdeki malzemelerden 3D teknolojisi ile nesnelerin üretimi | 8 |
| 2.2. Eriyikten Çekim Yöntemi ile Polimerlerden Lif Üretimi | 10 |
| 2.2.1. Bikomponent lif üretimi | 12 |
| 2.2.2. Bikomponent polietilen lif üretimleri | 13 |
| 2.3. Termoplastik Polimerlerin 3D Yazıcılarda Kullanılması | 14 |
| 2.4. Yüksek ve Düşük Yoğunluklu Polietilen ve Özellikleri | 15 |
| 2.5. 3D Teknolojisi ile Bal Peteği Yapıların Üretimi | 16 |
| 2.6. Yüksek ve Düşük Yoğunluklu Polietilen 3D Yazıcılarda Kullanımı | 18 |
| 3. MATERYAL VE YÖNTEM | 19 |
| 3.1 Materyal | 19 |
| 3.1.1. Yüksek yoğunluklu polietilen (HDPE) | 19 |
| 3.1.2. Düşük yoğunluklu polietilen (LDPE) | 20 |
| 3.2. Yöntem | 21 |
| 3.2.1. HDPE / LDPE bikomponent ve karışım liflerinin eriyik çekim yöntemi ile üretimi | 21 |
| 3.2.2. Üç boyutlu yazıcı | 26 |
| 3.2.3. Üretilen liflerin ve 3D balpeteği yapıların karakterizasyon yöntemleri | 29 |
| 4. BULGULAR VE TARTIŞMA | 34 |
| 5. SONUÇ | 48 |
| KAYNAKLAR | 49 |
| ÖZGEÇMİŞ | 52 |

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

| Simgeler | Açıklama |
|------------------|-------------------------|
| Ø | Çap |
| °C | Santigrad |
| C | Karbon |
| CH ₂ | Metilen |
| CH ₃ | Metil Grup |
| dk | Dakika |
| ft | Fit |
| g | Gram |
| H | Hidrojen |
| Hz | Hertz - Frekans |
| j | Joule |
| Kg | Kilogram |
| kN | Kilonewton |
| m | Metre |
| mm | Milimetre |
| MnO ₂ | Magnezyum Oksit |
| Mpa | Megapascal |
| N | Newton |
| RPM | Dakikadaki Devir Sayısı |
| SiC | Silisyum Karbür |

| Kısaltmalar | Açıklama |
|--------------------|--|
| 3D | Üç Boyut |
| ABS | Akrilonitril Bütadien Stiren |
| AFO | Ayak Bileği Ortezi |
| ASTM | Uluslararası Amerikan Test ve Materyalleri Topluluğu |
| ATR | Zayıflatılmış Toplam Yansıtma |
| BAP | Bilimsel Araştırma Projeleri |
| CAD | Bilgisayar Destekli Tasarım |
| DSC | Diferansiyel Taramalı Kalorimetre |
| EBM | Elektron Işınli Ergitme |
| EN | Avrupa Birliği |
| FDM | Eriyik Biriktirme Modelleme |
| FFS | Form Doldurma Contası |
| FT-IR | Fourier dönüşümlü kızılötesi Spektrometresi |
| HDPE | Yüksek Yoğunluklu Polietilen |
| ISO | Uluslararası standart Organizasyonu |
| LDPE | Düşük Yoğunluklu Polietilen |
| LLDPE | Lineer Düşük Yoğunluklu Polietilen |
| LOM | Tabakalı Yapıştırılmalı Parça İmalatı |
| MFR | Erime Akış Hızı |

| | |
|-----|------------------------------|
| PE | Polietilen |
| PET | Polietilen Tereftalat |
| PLA | Polilaktik Asit |
| PP | Polipropilen |
| SEM | Taramalı Elektron Mikroskobu |
| SLA | Stereolitografi |
| SLS | Seçici Lazer Sinterleme |
| TGA | Termogravimetrik Analiz |
| TS | Türk Standartları Enstitüsü |

ŞEKİLLER DİZİNİ

| | Sayfa |
|---|-------|
| Şekil 2.1. SLA sisteminin çalışma prensibi | 4 |
| Şekil 2.2. PolyJet sisteminin çalışma prensibi | 4 |
| Şekil 2.3. FDM sisteminin çalışma prensibi | 5 |
| Şekil 2.4. SLS sisteminin çalışma prensibi | 6 |
| Şekil 2.5. EBM sisteminin çalışma prensibi | 6 |
| Şekil 2.6. LOM sisteminin çalışma prensibi | 7 |
| Şekil 2.7. 3D yazıcıların medikal alanda kullanım örneği; kişiye özel ayak ortezi | 8 |
| Şekil 2.8. 3D baskılı uçak motoru braketi | 9 |
| Şekil 2.9. Bal peteği, dairesel ve şerit yapıda doluluğa sahip 3D örnek yapılar | 10 |
| Şekil 2.10. Eriyikten çekim porsesinin şematik gösterimi | 11 |
| Şekil 2.11. Bikomponent düze (iç içe) | 12 |
| Şekil 2.12. İç içe bikomponent üretim şeması | 13 |
| Şekil 2.13. (A) PE / PP bikomponent lif kesitinin, (b) PE / PP bikomponent lif, (c) MnO ₂ -5% / PE / PP, (d) MnO ₂ -8% / PE / PP ve (e) MnO ₂ -11% / PE / PP, FE-SEM görüntüleri | 14 |
| Şekil 2.14. Dairesel, altıgen ve petek yapıların birim hücre tasarımı | 15 |
| Şekil 2.15. HDPE ve LDPE kimyasal formülü zincir yapısı ve görüntüleri | 16 |
| Şekil 2.16. Üretilen doğrusal, üçgen ve bal peteği dolgulu yapılar | 16 |
| Şekil 2.17. Seçilen dairesel bal peteği örneklerinin deformasyon görüntüleri (a) yük uygulanmadan önce, (b) yük kaldırıldıktan hemen sonra, (c) yük kaldırıldıktan 5 dakika sonra, (d) yük kaldırıldıktan 1 saat sonra, (e) yük kaldırıldıktan 1 gün sonra, ve (f) ikinci kez yük uygulandıktan 1 gün sonra | 17 |
| Şekil 3.1. Eriyikten çekim pilot üretim makinesinin ekstrüderler, çekim motoru, sarım motoru, düze paketi, kontrol paneli, soğutma ünitesi ve cips yükleme silolarıyla birlikte genel görünümü | 21 |
| Şekil 3.2. Eriyikten çekimde üretilen numunelerin iç-dış bileşenlerinin şematik gösterimi: (a) N-a, (b) N-b, (c) N-c, (d) N-d, (e) N-e, (f) N-f, ve (g) N-g | 26 |
| Şekil 3.3. LDPE / HDPE liflerin kullanıldığı 3D yazıcı | 27 |
| Şekil 3.4. 3D yazıcı ile üretilen balpeteği yapıların en ve boylarının şematik gösterimi | 28 |
| Şekil 3.5. SolidWorks Premium programıyla tasarlanmış 3D balpeteği yapılar | 28 |
| Şekil 3.6. Ölçümlerin yapıldığı Perkin Elmer DSC4000 cihazı | 29 |
| Şekil 3.7. Ölçümlerin yapıldığı Perkin Elmer Spectrum Two FTIR cihazı | 29 |
| Şekil 3.8. Ölçümlerin yapıldığı TA SDTQ 600 cihazı | 30 |
| Şekil 3.9. Ölçümlerin yapıldığı Shimadzu AG-X HS cihazı | 31 |
| Şekil 3.10. Ölçümlerin yapıldığı Electronic Digital Caliper marka dijital sürmeli kumpas | 31 |
| Şekil 3.11. Liflerin enine kesitlerinin incelendiği ZEISS Axioscope cihazı | 32 |
| Şekil 3.12. Bası mukavemetleri testi esnasında numunenin konumlandırılması | 33 |
| Şekil 4.1. Eriyikten çekim yöntemi ile üretilen farklı kombinasyonlardaki LDPE/HDPE liflerin boyuna yönde fotoğraf resimleri: (a) N-a, (b) N-b, (c) N-c, (d) N-d, (e) N-e, (f) N-f, ve (g) N-g | 34 |
| Şekil 4.2. Eriyikten çekim yöntemi ile üretilen farklı kombinasyonlardaki LDPE/HDPE liflerin enine kesitlerinin mikroskop görüntüleri: (A) N-a, (B) N-b, (C) N-c, (D) N-d, (E) N-e, (F) N-f, ve (G) N-g | 35 |

| | |
|--|----|
| Şekil 4.3. Eriyikten çekim yöntemi ile üretilen LDPE / HDPE (S: LDPE, C:LDPE(%60)+HDPE(%40)) lifin enine kesitinin mikroskop görüntüleri (N-d numunesi)..... | 36 |
| Şekil 4.4. Eriyikten çekimde üretilen LDPE / HDPE liflerin ATR-FTIR spektraları: (a) N-a, (b) N-b, (c) N-c, (d) N-d, (e) N-e, (f) N-f, ve (g) N-g..... | 37 |
| Şekil 4.5. Eriyikten çekimde üretilen LDPE/HDPE liflerin DSC grafikleri: (a) N-a, (b) N-b, (c) N-c, (d) N-d, (e) N-e, (f) N-f, ve (g) N-g..... | 38 |
| Şekil 4.6. Eriyikten çekimde üretilen LDPE / HDPE liflerin TGA grafikleri: (a) N-a, (b) N-b, (c) N-c, (d) N-d, (e) N-e, (f) N-f, ve (g) N-g..... | 40 |
| Şekil 4.7. Eriyikten çekimde üretilen LDPE / HDPE liflerin kuvvet-uzama grafikleri: (A) N-a, (B) N-b, (C) N-c, (D) N-d, (E) N-e, (F) N-f, ve (G) N-g. (H) PLA lifinin kuvvet-uzama grafikleri | 42 |
| Şekil 4.8. 3D yazıcı ile balpeteği üretim denemelerinin fotoğraf resimleri: (a) N-e, BH=10, NS=237, YS=82; (b) N-e, BH=10, NS=237, YS=70; (c) N-d, BH=10, NS=237, YS=74; ve (d) N-d, BH=50, NS=230, YS=80 | 43 |
| Şekil 4.9. N-d (LDPE / HDPE) ve PLA lifleri kullanılarak 3D yazıcı ile üretilen balpeteği yapı. Beyaz olan numune: N-d (LDPE / HDPE), ve siyah olan numune: PLA | 44 |
| Şekil 4.10. N-d (LDPE / HDPE) ve PLA liflerden üretilen 3D balpeteklerinin büyütülmüş yüzey görüntüleri. | 44 |
| Şekil 4.11. N-d (LDPE / HDPE) ve PLA liflerden üretilen 3D balpeteği yapıların bası mukavemeti test grafikleri ve pik noktalarındaki görselleri. | 45 |
| Şekil 4.12. (A) N-d (LDPE / HDPE) ve (B) PLA liflerden üretilen 3D balpeteği yapıların bası mukavemeti test sonrası resimleri | 46 |

ÇİZELGELER DİZİNİ

| | Sayfa |
|--|--------------|
| Çizelge 3.1. S 0464 Yüksek yoğunluklu polietilen ürün özellikleri..... | 19 |
| Çizelge 3.2. G08-21T Düşük yoğunluklu polietilen ürün özellikleri..... | 20 |
| Çizelge 3.3. Numune A'nın lif üretim parametreleri..... | 22 |
| Çizelge 3.4. Numune B'nin lif üretim parametreleri..... | 22 |
| Çizelge 3.5. Numune C'nin lif üretim parametreleri..... | 23 |
| Çizelge 3.6. Numune D'nin lif üretim parametreleri..... | 23 |
| Çizelge 3.7. Numune E'nin lif üretim parametreleri..... | 24 |
| Çizelge 3.8. Numune F'nin lif üretim parametreleri..... | 24 |
| Çizelge 3.9. Numune G'nin lif üretim parametreleri..... | 25 |
| Çizelge 4.1. LDPE/HDPE liflerin DSC ölçümlerinde gözlemlenen erime ve kristalizasyon sıcaklıkları..... | 40 |
| Çizelge 4.2. Eriyikten çekimle üretilen LDPE / HDPE liflerinin çap ölçümleri..... | 41 |

1. GİRİŞ

Üç boyutlu (3D) yazıcı teknolojisi polimer, seramik, metal, kompozit malzemeler ve bu malzemelerin çeşitli kombinasyonları olmak üzere farklı türdeki malzemelerin üç boyutlu tasarlanan yapıların üretilebildiği yeni bir teknolojidir. 3D yazıcı teknolojisi başta biyomedikal olmak üzere ulaşım, enerji, inşaat ve mücevhercilik gibi çok geniş bir uygulama alanına sahiptir. Örneğin; araştırmacılar vücut organları ile aynı boyut ve fonksiyonellikte olan 3D yapıları canlı dokular kullanılarak 3D yazıcı teknolojisi ile üretmeyi amaçlamaktadırlar (Zhang ve ark. 2017). Otomobil, hava ve uzay aracı parçaları gibi detaylı yapısal tasarım gerektiren spesifik parçaların üretimi bu teknoloji ile üretilebilir (Bak 2003, Murr 2016). Mühendislik tasarımı gerektiren enerji üretim ve depolama da kullanılan malzemelerin üretimi 3D yazıcı teknolojisi ile üretilmiştir (Sun ve ark. 2013, Vak ve ark. 2015). Compton ve Lewis üç boyutlu yazı yöntemi ile dörtgen, altıgen ve üçgensel gözenekli üç boyutlu balpeteği yapıları silisyum karbür (SiC) teller ve karbon lifleri ile doldurulmuş epoksi kullanarak üretmişlerdir (Compton ve Lewis 2014). Çalışmada karbon liflerin yazıcının üretim yönü doğrultusunda yüksek derecede oryante olduğu ve üretilen 3D kompozit yapıya favkalade mekanik özellik kazandırdığını belirtmişlerdir.

Termoplastik malzemelerden öncelikle lif elde edilmesi ve bu liflerin yazıcıdaki sıcak düzeye sürekli beslenmesi suretiyle 3D şekilli yapılar üretilebilmektedir. Nanoparçacıklar ve ilaçlar gibi çeşitli fonksiyonel materyaller lif üretimi esnasında ekstrüder'e beslenmesi ve bu liflerin 3D yazıcılarda kullanılması suretiyle istenilen fonksiyonel özellikler 3D yapılara aktarılabilirler. Polimer esaslı 3D balpeteği yapılar Yeong ve arkadaşları tarafından üretilip bu yapıların şekillerini tekrar geri kazanma özellikleri uygulanan bası kuvveti ve bu kuvvetin kaldırılması ile incelenmiştir (Yap ve Yeong 2015b). PLA ve ABS 3D yazıcı teknolojilerinde kullanılan yaygın termoplastik malzemelerdirler (Hamod 2014).

Literatürde polietilen esaslı 3D yapılar üzerine yapılan çalışmalar mevcuttur. Geri dönüşümden elde edilmiş HDPE'den eriyikten çekim yöntemi ile 3D yazıcılarda kullanılmak üzere lif üretilmiştir (Hamod 2014). Çalışmada üretilen liflerin mekanik özellikleri 3D yapılarda yaygın kullanılan diğer termoplastik malzemeler olan ABS ve

PLA ile kıyaslamıştır ve HDPE lifler için elde edilen sonuçların PLA sonuçları ile uyumlu olduğu için HDPE'in 3D yazıcılarda kullanılabileceği sonucuna varmışlardır.

Bu tez çalışmasında, farklı yapılarda saf, karışım ve bikomponent LDPE ve HDPE lifler eriyikten çekim yöntemi ile üretilmiştir. Üretilen liflerin kimyasal analizleri ATR-FTIR spektroskopi ile, kristal ve mikro yapı analizleri DSC metodu ile, termal stabiliteleri TGA ile, mekanik özellikleri ise kuvvet-uzama grafikleri ile incelenmiştir. Liflerin enine kesitleri optik mikroskop ile analiz edilmiştir. Üretilen liflerin 3D yazıcılarda kullanılabilirliği incelenmiştir. Uygun lif tespit edilerek bu lif ile (LDPE / HDPE) 3D balpeteği üretilip yapısını bası mukavemeti PLA balpeteği yapısı ile kıyaslanmak suretiyle incelenmiştir.

2. KURAMSAL TEMELLER ve KAYNAK ARAŞTIRMASI

2.1. Üç Boyutlu (3D) Yazıcı Teknolojileri

Üç boyutlu (3D) yazıcı teknolojisi ilk olarak tasarım mühendisliğinin prototip ihtiyacını hızlı bir şekilde karşılamak için 1980'lerin başında icat edilmiştir (Liu ve ark. 2019). Özellikle parça imalatı ve mimarlık uygulamalarındaki hızlı prototipleme odaklı 1990'lı yıllarda ivme kazanmıştır. Günümüzde termoplastik polimerlerden metaller kadar geniş hammadde seçimi kullanılarak, mühendislik ve tasarım ihtiyacı nesnelere üretilen çok çeşitli 3D yazıcı teknolojileri mevcuttur (Liu ve ark. 2019).

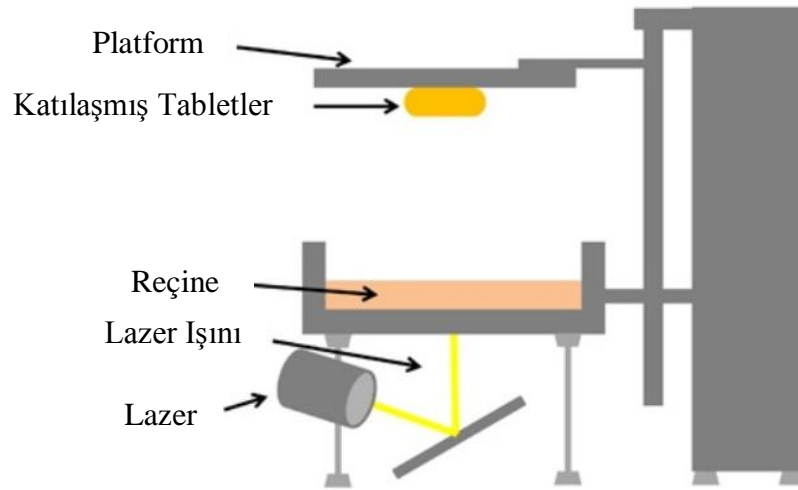
Bilgisayar destekli tasarım (CAD) ile üç boyutlu nesnelere katı formda somut nesnelere dönüştüren sistemler 3D yazıcı olarak tanımlanır. Katı modelleme kullanılarak malzemeyi doğru bir şekilde biriktirerek ihtiyaç duyulan aparat veya prototip çıktı alınabilir. Üretim maliyetlerinin düşük olması ve üretim hızı düşünüldüğünde endüstriyel anlamda uygulamalar yoğun bir şekilde yaygınlaşmıştır (Yan ve ark. 2018).

3D yazıcılar metal, seramik, polimer ve kompozit gibi farklı malzemelerle tekstil, sağlık, tıp, medikal, havacılık, uzay, otomotiv, inşaat ve mimarlık uygulamaları gibi dünya çapında devrim yaratan, artan ve ilgi çeken ürünlerin imalatında büyüyen bir teknolojidir (Liu ve ark. 2019).

Katmanlı imalat tekniği ile çalışan 3D yazıcılar katmanlaştırma ve baskı tekniklerine göre çeşitlilik göstermektedir.

Taramalı ışıkla kürleme, stereolitografi (SLA) teknolojisi

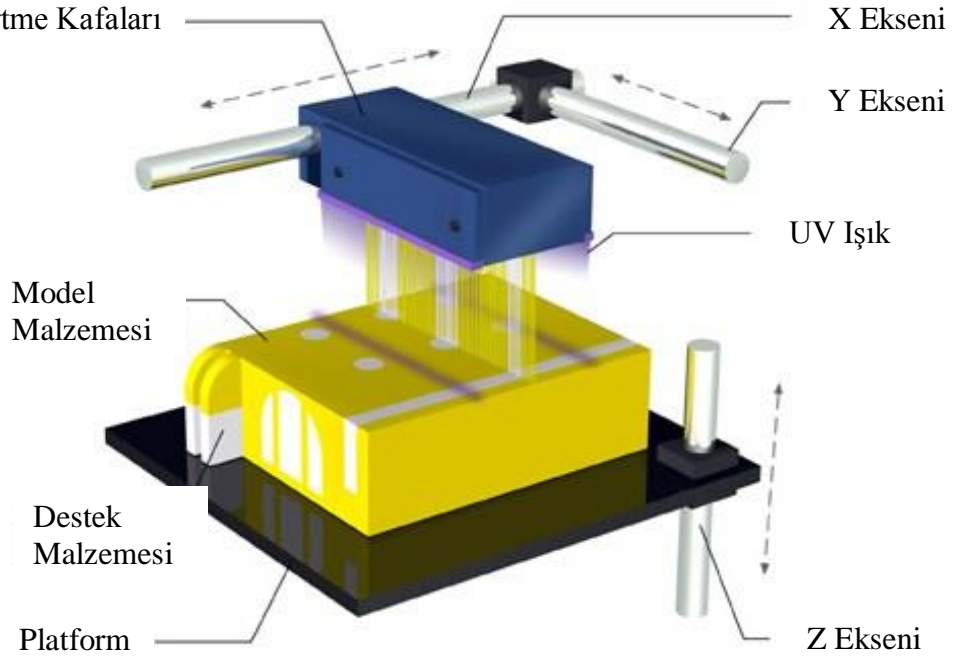
Taramalı ışıkla kürleme, stereolitografi teknolojisiyle üç boyutlu yazıcılarda akışkan foto polimer hammaddeler kullanılarak katı form oluşturulup baskı elde edilmektedir. Şekil 2.1'de gösterildiği gibi foto polimer yarı akışkan forma getirilip eritildikten sonra katman oluşturulmaktadır. Oluşturulan katmanlar bilgisayar kontrollü ultraviyole ışınlar ile somut bir yapıya dönüştürülmektedir. Bütün katman için bu işlem tekrar ediliyor ve baskının sonunda 3D katı bir model ortaya çıkmaktadır (Wang ve ark. 2016).



Şekil 2.1. SLA sisteminin çalışma prensibi (Wang ve ark. 2016)

PolyJet teknolojisi

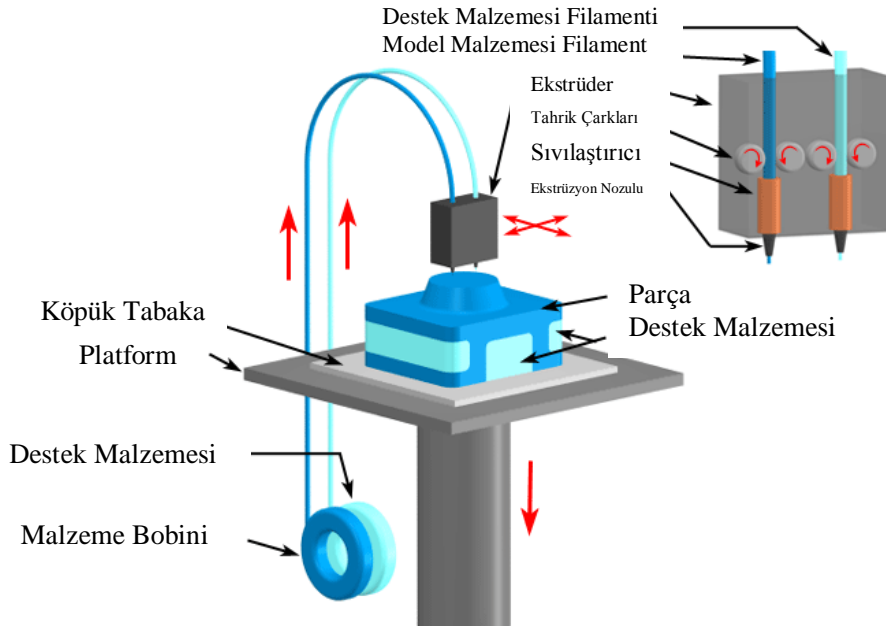
PolyJet tekniği de stereolitografi gibi baskılar, akışkan polimerler ile gerçekleşir ve baskıyı oluştururken ışıktan faydalanırlar. PolyJet tekniğinde Şekil 2.2’de gösterildiği gibi ışık özel bir projeksiyon ile sağlanarak temiz ve detaylı baskılar elde edilmektedir (Dvorak ve Kracik 2018).



Şekil 2.2. PolyJet sisteminin çalışma prensibi (Dvorak ve Kracik 2018)

Eriyik biriktirme modelleme (FDM) teknolojisi

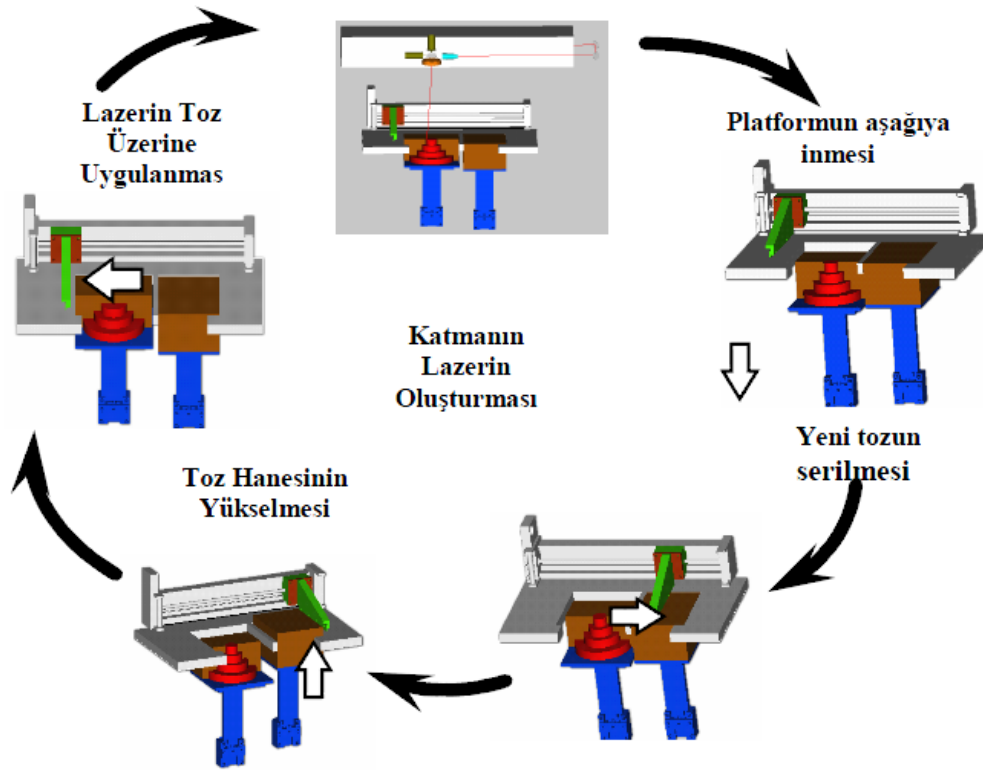
Eriyik biriktirme ile modelleme tekniği en yaygın kullanılan tekniktir. Şekil 2.3’de gösterildiği gibi yazdırma işlemine başlamadan önce yazıcıya bir 3D model verisi girilir. Termoplastik malzeme yazıcının lif eritme bölgesinde ısıtılarak erimiş plastik olarak x ve y koordinatlarında baskı gerçekleştirilir. İlk katmandan başlayarak z koordinatı boyunca katmanlar birleştirilerek serilir ve katı formda bir model elde edilir (Gür 2017).



Şekil 2.3. FDM sisteminin çalışma prensibi (Maden ve Kamber 2018)

Seçici lazer sinterleme (SLS) teknolojisi

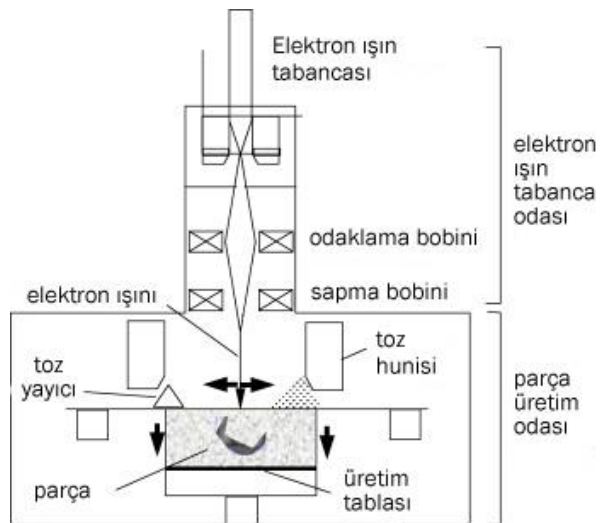
Seçici lazer sinterleme tekniğinde de Şekil 2.4’de gösterildiği gibi baskı bir lazer ile yapılır ve diğer tekniklerden farklı olarak hammadde olarak akışkan yerine toz malzeme kullanır. Endüstride ürün geliştirmek için yaygın olarak kullanılan bu teknikte kullanılan malzemelere naylon, cam, seramik ve alüminyum gibi örnekler verilebilir (Kaleli ve Saraç 2014, Özgüven 2015).



Şekil 2.4. SLS sisteminin çalışma prensibi (Özgüven 2015)

Elektron ışınli ergitme (EBM) teknolojisi

Elektron ışınli ergitme tekniğinde hammadde olarak metal kullanılan teknolojiye güç kaynağı olarak bir vakumun içindeki elektron ışınları kullanılarak çok yüksek sıcaklıklarda 3D baskı işlemi sağlanır (Şekil 2.5) (Çelik ve ark. 2013).



Şekil 2.5. EBM sisteminin çalışma prensibi (Çelik ve ark. 2013)

kendinden sürdürülebilir elektronik tekstillerin üretimi incelenmiştir (Zhang ve ark. 2019).

Aydın ve Küçük tarafından yapılan bir çalışmada, İnsanların yürümesi için son derece önemli olan Şekil 2.7’de ayak bileği ortezleri deformasyonları önlemek ve bilek hareketini kontrol etmek için üç boyutlu yazıcı kullanarak ayak bileği ortezi (ankle foot orthosis, AFO) üretilmesi incelenmiştir (Aydın ve Küçük 2017).



Şekil 2.7. 3D yazıcıların medikal alanda kullanım örneği; kişiye özel ayak ortezi (Aydın ve Küçük 2017)

2.1.2. Farklı türdeki malzemelerden 3D teknolojisi ile nesnelerin üretimi

Metal malzemelerin 3D teknolojisi ile üretimi

3D Yazıcı katı modelleme üretiminde, katman oluşturma yaklaşımıyla Bilgisayar Destekli Tasarım (CAD) ile parça üretiminin yeni yöntemidir. Bu yöntemle yüksek çözünürlük, düşük maliyetli ve hızlı bir şekilde karmaşık, yoğun metalik parçalar üretilmektedir ve Şekil 2.8’de 3D baskılı uçak motoru braketi ile örneklendirilmiştir. 3D yazıcı uygulamalarına genel bir bakış sunan bu teknolojiyle yoğun metalik parçaların üretimindeki dezavantajların, zorlukların ve ekonomisine getirilen çözümlerle endüstride kullanımı yaygınlaşmıştır (Duda ve Raghavan 2016).



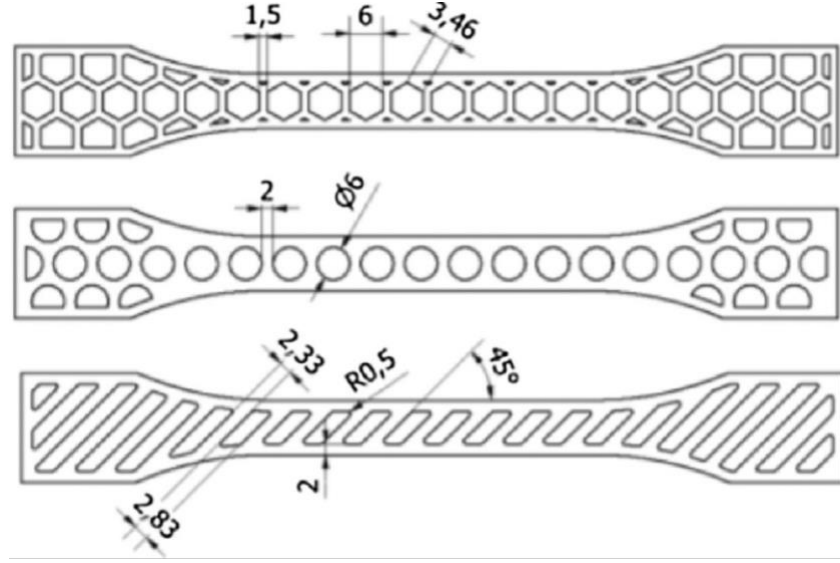
Şekil 2.8. 3D baskılı uçak motoru braketi (Duda ve Raghavan 2016)

Seramik malzemelerin 3D teknolojisi ile üretimi

Park ve arkadaşları tarafından yapılan bir çalışmada hassas kalıplamada seramik göbekler oyuk döküm parçaların üretiminde kullanılmaktadır (Park ve ark. 2019). Bu yapılar yüksek sıcaklıkta erimiş metallerle temasa dayanacak şekilde yüksek bir dayanıma sahip olmalıdır. Bu kalıplar maliyetlidir ve sürdürülebilir değildir veya ekolojik değildir. Enjeksiyon kalıplama işleminin yerine, son zamanlarda kalıp kullanmadan karmaşık geometrilere sahip ürünlerin üretimini mümkün kılmak üzere üç boyutlu (3D) yazıcı teknolojisi kullanılmaktadır. 3D Yazıcı Teknolojisi ile kalıplama malzemelerini kıyasladığımızda fiyat ve uzun üretim süresinin yanı sıra verimlilik ve enerji tasarrufu göz önünde bulundurulduğunda 3D yazıcı teknolojisine geçilmesi kaçınılmaz olmaktadır (Park ve ark. 2019).

Polimer malzemelerin 3D teknolojisi ile üretimi

Polimer malzemelerin mekanik karakterizasyonuna odaklanmış Dizon ve arkadaşları tarafından yapılan bir çalışmada mukavemet dayanımları esas alındığında plastiklerin metallerden daha düşük olduğu incelenmiştir (Dizon ve ark. 2018). Buna karşın plastik malzemelerin yüksek gerilimleri ve düşük yoğunlukları gözlemlenmiştir. Çalışmada Şekil 2.9'de gösterilen tasarımların endüstriyel ortama taşınmasında üretim zorluğu ve maliyet odaklı avantajlı olmaktadır. Dolayısıyla son yıllarda 3D yazıcılarda polimerik malzemeler yoğun bir şekilde kullanılmaktadır (Dizon ve ark. 2018).



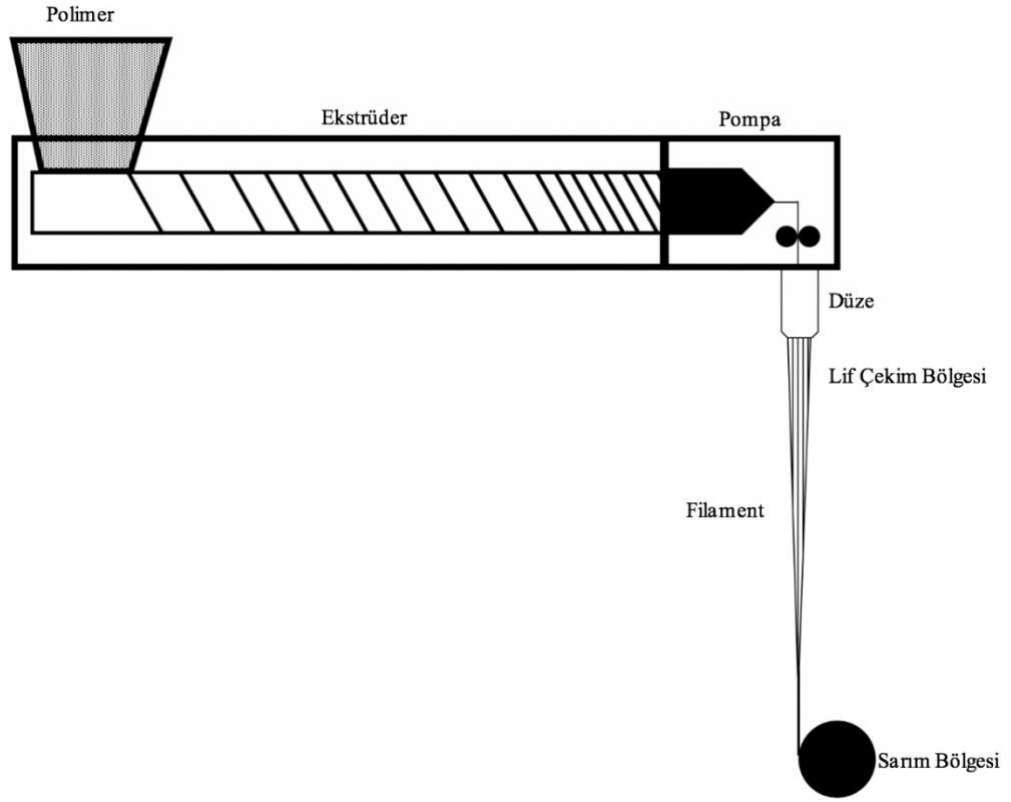
Şekil 2.9. Bal peteği, dairesel ve şerit yapıda doluluğa sahip 3D örnek yapılar (Dizon ve ark. 2018)

Kompozit malzemelerin 3D teknolojisi ile üretimi

Devrim niteliğindeki 3D Yazıcı teknolojisiyle birlikte kullanılan hammaddeler mekanik, elektriksel ve termal özellikleriyle final ürünlere aktarılmaktadır. Guo ve arkadaşları tarafından yapılan bir çalışmada çeşitli üretim yöntemleri kullanılarak 3D yazıcı teknikleriyle imalat süreci, yapısal özellikler ve grafen bazlı kompozitler için uygulamalar incelenmiştir (Guo ve ark. 2019).

2.2. Eriyikten Çekim Yöntemi ile Polimerlerden Lif Üretimi

Kimyasal sentezlenme yolu ile polimeri oluşturulmaktadır ve bu polimerle üretilen liflere sentetik lifler denmektedir (Gün ve ark. 2011). Termoplastik polimerlerden eriyikten çekim yöntemi ile lifler üretilmektedir. Şekil 2.10'de eriyikten çekim prosesi şematik olarak gösterilmektedir.



Şekil 2.10. Eriyikten çekim prosesinin şematik gösterimi

Örnek bir termoplastik olarak polietilen'den eriyikten çekim işlemi ile lif üretim aşamaları;

- Polietilen Cips: Polietilen ipliğin ham maddesidir, tanecik şeklinde kullanılır. Kimyasal ismi Polietilen'dir.
- Polietilen Melt: Eriyik haldeki polimer polietilen liflerin hammaddesini oluşturmaktadır.
- Düze: Polietilen eriğinin (polimerin) basınç altında şekil verilmek için geçirildiği düzenektir.
- Soğutma Alanı: Düzeden çıkan eriğin soğutularak kalıcı şekil verilmesini sağlamak için $20 \pm 2^{\circ}\text{C}$ 'de iplik üzerine verilen havadır.
- Bobinaj Kafası – Bobin Sarım Ünitesi: İpliğin belirli bir formda rolükler üzerine sarılmasını sağlayan makinedir (MEGEP 2011).

Polimer cipsleri eriyik hale getirildikten sonra basınç yardımıyla düzelerden filament blokları halinde çekilmektedir. Filamentler yüksek basınç ve sıcaklıkta düze paketinden çıkmasıyla soğuk hava ile katılaştır ve lif formunu alır. Katılaştıktan sonra lif formunu

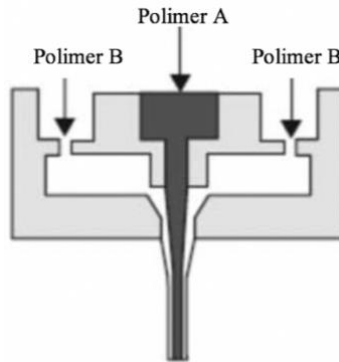
alan iplikler bobinlere sarılır. Lif demetlerindeki filament sayıları düzelerin delik sayısına ve deliklerinin çap genişliklerine göre değişiklik göstermektedir (MEGEP 2011).

Filamentlerin katılması ve lif formunu alması az bir zamanda ve hızlı bir şekilde meydana geldiğinden amorf bölgelerin oranında bir azalma olmaz. Bu sebeple liflerde oryantasyon sağlıklı olmadığından mukavemetlerde artış gözlemlenmez. İstenilen fiziksel özellikler makro-moleküllerin germe-çekme işlemine tabi tutulması ile elde edilir (MEGEP 2011).

2.2.1. Bikomponent lif üretimi

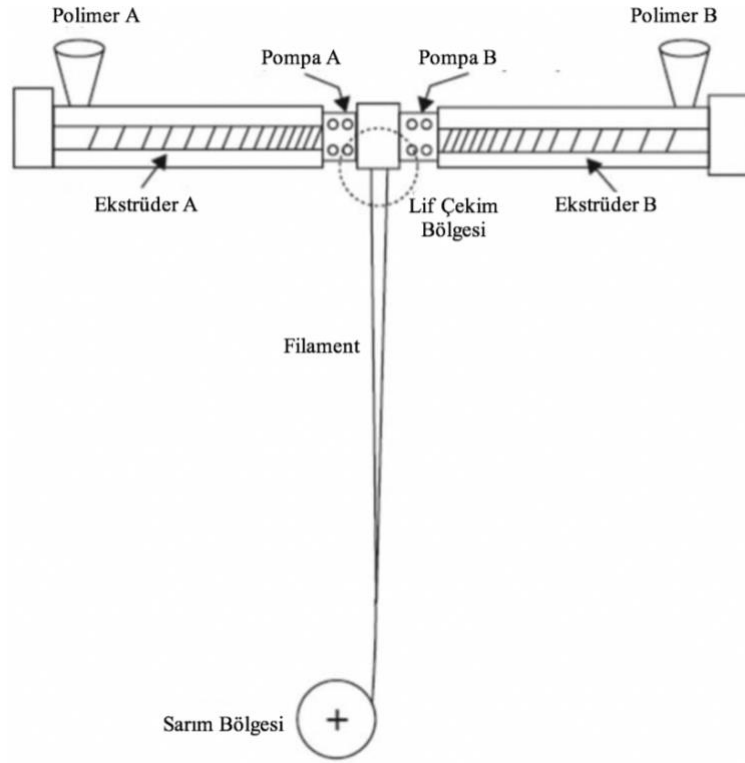
İlk ticari bikomponent lifi, 1960 yılların ortasında Dupont firması tarafından yan yana iki poliamid polimerinden üretilmiş triko ipliği olarak kullanılan yüksek kıvrımlı “Cantrece” lifidir (Anonim, 2019).

Farklı kimyasal ve/veya fiziksel özellikteki birden fazla polimerin aynı düze paketinden, bütün polimerlerin aynı lif içinde bulunacak şekilde çekilmesi ile oluşan life bikomponent lif denmektedir (Çelen ve Ulçay 2019). Bikomponent lif üretiminde amaç farklı polimerlerin veya aynı polimerin çeşitlerinin her bir polimere ait karakteristik avantajlarını tek bir lifte birleştirmek ve istenen özelliklerden mümkün olduğunca yararlanmaktır. Farklı polimerlerin iç içe bikomponent yapılarında düzeye beslenme biçimi Şekil 2.11’de gösterilmiştir.



Şekil 2.11. Bikomponent düze (iç içe) (Naeimirad ve ark. 2018)

Bikomponent çekim yöntemi denizde ada, ayırma ve çok katmanlı olmak üzere üç şekilde gerçekleştirilmektedir. Çok katmanlı lif yapılarından bikomponenti üretim odaklı incelersek Şekil 2.11’de gösterildiği gibi farklı Polimer A ve Polimer B ‘nin beslendiği Ekstrüder A ve Ekstrüder B olarak iki ayrı besleme ünitesi mevcuttur. Pompa A ve Pompa B yardımıyla polimer düzeye Şekil 2.12’da olduğu gibi beslenmekte ve lif çekim bölgesinde sarım ünitesinin çekimiyle filament oluşumu sağlanmaktadır (Çelen ve Ulcay 2019).



Şekil 2.12. İç içe bikomponent üretim şeması (Naeimirad ve ark. 2018)

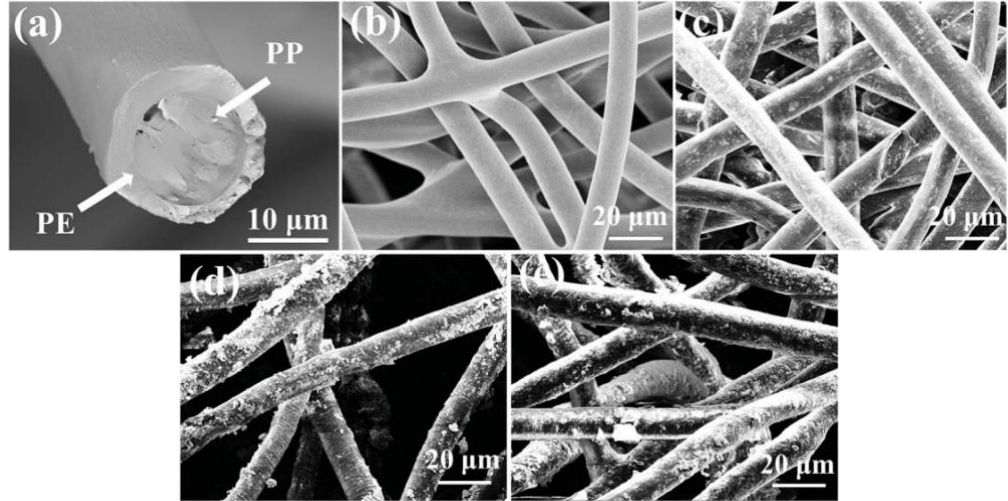
2.2.2. Bikomponent polietilen lif üretimleri

Yüksek yoğunluklu (HDPE), doğrusal düşük yoğunluklu polietilen (LLDPE) ve poli (etilen tereftalat) (PET) polimerleri kullanılarak bikomponent yapıda merkez ve çeper yapılarında kombinasyonlu bir şekilde (HDPE / PET ve LLDPE / PET) erime akış hızı göz önünde bulundurularak incelenmiştir (Cho ve ark. 2000).

Kim ve arkadaşları tarafından yapılan bir çalışmada polietilen (PE) ve poli (etilen tereftalat) (PET) ve farklı çaplardaki bikomponent lifler yüksek lif çekimiyle birlikte merkez ve çeperlerin bağ yapma davranışları incelenmiştir (Kim ve ark. 1997). Üretilen

Polietilen (PE) ve poli (etilen tereftalat) (PET) bikomponent liflerin üretim sıcaklığına çıktığında lif çaplarının düştüğü gözlemlenmiştir. Polimerlerin birbirleri arasında bağ yapması için geçen zamanda liflerin çaplarının oluşumu ile orantılı olduğu gözlemlenmiştir.

MnO₂ katkılı bikomponent PE/PP lifleriyle kombine edilmiş kompozit, multi fonksiyonel, adsorpsiyon ve katalitik özelliklere sahip filtre tasarlanmıştır. MnO₂/PE/PP filtrelerin yüksek filtrasyon özelliklerinde üretilebileceği gözlemlenmiştir. Çalışmada hazırlanan (a) PE / PP bikomponent lif kesitinin, (b) PE / PP bikomponent lifinin, (c) MnO₂-5% / PE / PP kombinasyonunun, (d) MnO₂-8% / PE / PP ve (e) MnO₂-11% / PE / PP, yapılarının FE-SEM görüntüleri Şekil 2.13’de gösterilmiştir (Dai ve ark. 2018).

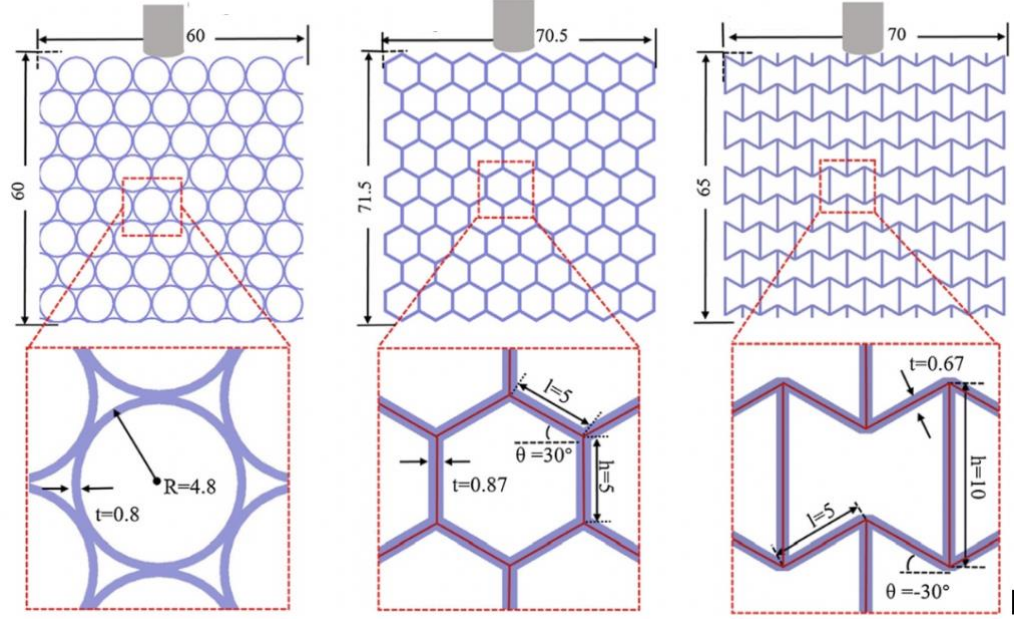


Şekil 2.13. (A) PE / PP bikomponent lif kesitinin, (b) PE / PP bikomponent lif, (c) MnO₂-5% / PE / PP, (d) MnO₂-8% / PE / PP ve (e) MnO₂-11% / PE / PP, FE-SEM görüntüleri (Dai ve ark. 2018)

2.3. Termoplastik Polimerlerin 3D Yazıcılarda Kullanılması

Kullanılan termoplastik malzemelerin mekanik performans özellikleri, standart kullanılan mühendislik malzemelerine kıyasla daha azdır. Blok ve arkadaşları tarafından yapılan bir çalışmada 3D yazıcılar için kompozit hammaddeler araştırılmıştır (Blok ve ark. 2018). Çalışmada mukavemet ve sertlik arttırılmak için karbon fiberler termoplastik matrisin içine dahil edilmiştir. 3D yazıcı kullanılarak kompozit malzemelerle mekanik performans özellikleri güçlendirilmiş termoplastikler kıyaslandığında, termoplastiklerde önemli artışlar sağlandığı gözlemlenmiştir (Blok ve ark. 2018).

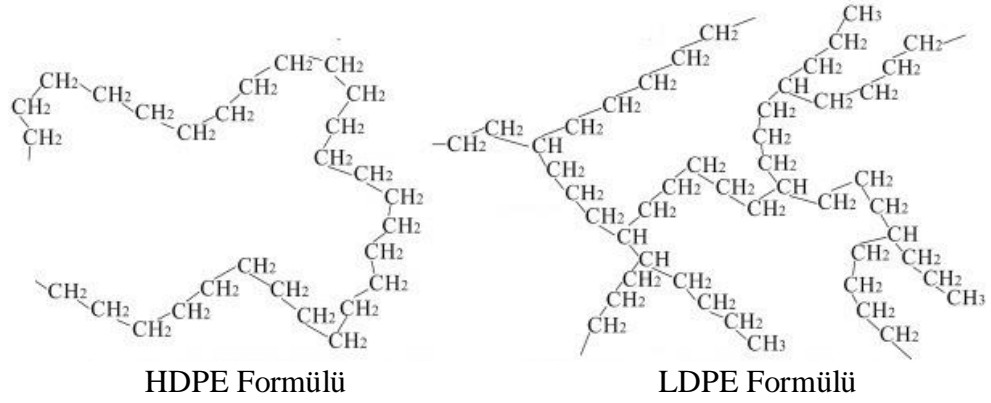
Sang ve arkadaşları tarafından yapılan bir çalışmada polilaktik asit, poli-kaprolakton ve bazalt elyaflarından oluşan farklı hücresel formlarda 3D kompozit yapıları incelenmişlerdir (Sang ve ark. 2019). 3D yazıcı ile üretilmiş örneklerin mekanik, termal ve viskoelastik özelliklerini incelenmiştir. Çalışmada hücresel forma bağlı olarak 3D yapının enerji absorblama karakteristiklerine farklılaştığı belirtilmiştir. Bu yapıların birim hücre tasarımı dairesel, altıgen ve petek yapılar olarak Şekil 2.14’de verilmiştir.



Şekil 2.14. Dairesel, altıgen ve petek yapıların birim hücre tasarımı (Sang ve ark. 2019)

2.4. Yüksek ve Düşük Yoğunluklu Polietilen ve Özellikleri

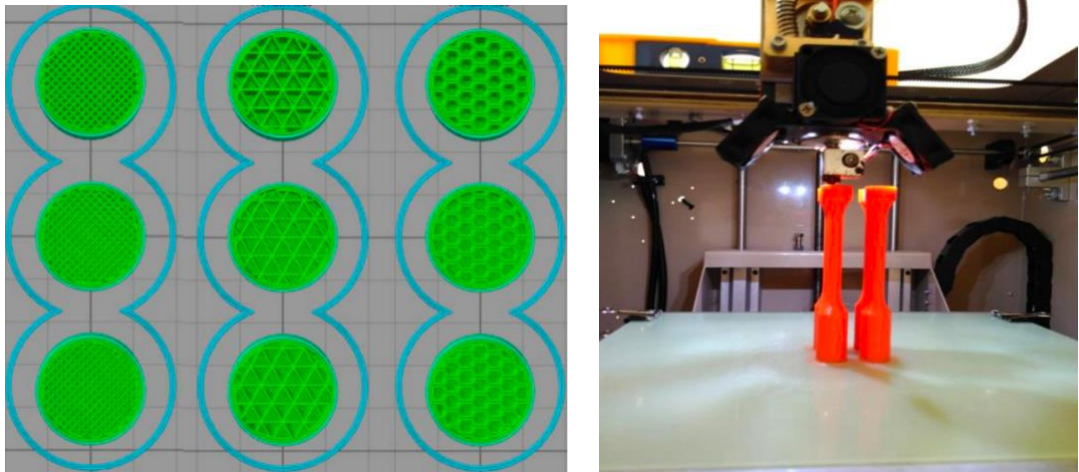
Termoplastik bir polimer olan yüksek yoğunluklu polietilen (HDPE) karbon ve hidrojen atomlarından bir araya gelerek oluşturduğu malzemedir, polimer üzerinde kısa ve uzun moleküllerin bulunduğu yapı metan gazının etilene dönüştürüldüğü daha sonra sıcaklık ve basınç altında işlem görmesiyle oluşmaktadır (Gabriel 2015). Diğer taraftan düşük yoğunluklu polietileni (LDPE) ise HDPE’ye kıyasla dallı yapıya sahiptir (Gabriel 2015). HDPE ve LDPE yapılarının uzun molekülü yapıları Şekil 2.15’de şematik olarak gösterilmiştir. 1933 yılında Imperial Chemical Industries, LDPE’yi ilk kez sentezledi ve bunu genel olarak polietilenin doğuşu olarak belirlenmiştir (Gabriel 2015).



Şekil 2.15. HDPE ve LDPE kimyasal formülü zincir yapısı ve görüntüleri (Sogancioglu ve ark. 2017)

2.5. 3D Teknolojisi ile Bal Peteği Yapıların Üretimi

Menderes ve arkadaşları tarafından yapılan bir çalışmada 3B Yazıcıda farklı doluluk oranlarının ve şekillerinin PET-G polimerinden üretilen ürünlerin mekanik özelliklerine ve yüzey pürüzlülüğüne etkilerini incelenmiştir (Menderes ve ark. 2017). Üretilen ürünlerin yapılarının doğrusal, üçgen ve bal peteği üretim yapılarıyla mamüllerin mekanik özelliklerinin malzemenin yapısı kadar üretim şekli ve koşullarının etkisinin önemi incelenmiştir. Çalışmada üretilen doğrusal, üçgen ve bal peteği dolgulu yapılar ve üretim örneği Şekil 2.16’da gösterilmiştir.

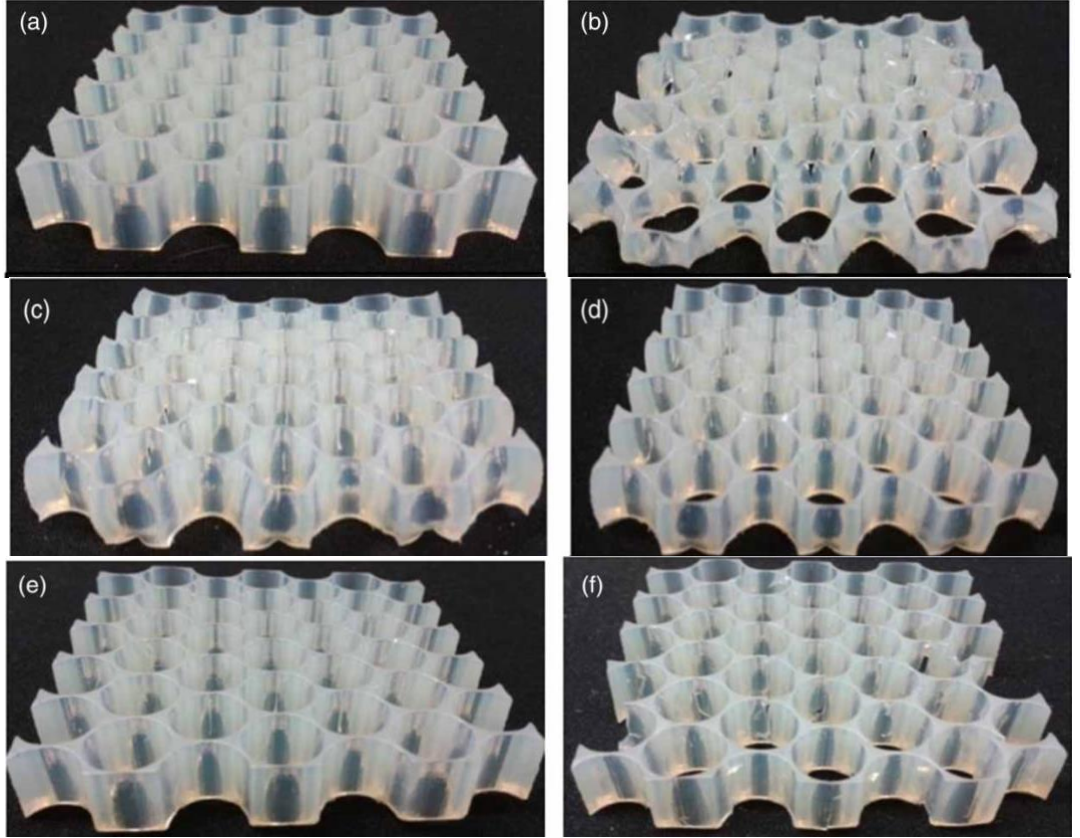


Şekil 2.16. Üretilen doğrusal, üçgen ve bal peteği dolgulu yapılar (Menderes ve ark. 2017)

Aslan ve arkadaşları tarafından yapılan bir başka çalışmada 3D yazıcılar, taşıyıcı elemanların mukavemet dayanımlarını yükseltmek ve ağırlığını azaltarak otomotiv

sektöründe kullanılabilirliği araştırmak için çekirdek malzemelerin üretiminde bal peteği yapılar kullanılmıştır (Aslan ve ark. 2018).

Polimerik malzemelerden üretilmiş olan petek yapıların hafifliği, sertlik davranışa karşın ağırlılığının düşük olması ve iyi enerji sönümlenme davranışları mühendislik uygulamalarında yoğun olarak kullanılmaktadır. Yap ve yeong tarafından yapılan bir çalışmada, 3D yazıcı ile üretilen petek yapıların şekillerini tekrar geri kazanma davranışları Yap ve Yeong tarafından incelenmiştir (Yap ve Yeong 2015a). Bal peteği yapılarının uygulanan yük uygulandıktan ve yük kaldırıldıktan sonra görüntüleri şekil 2.17'da gösterildiği gibi incelenmiştir. Bal peteğinin tasarımı, uygulanan yük ve hızı gibi faktörlerle değerlendirilmiştir.



şekil 2.17. Seçilen dairesel bal peteği örneklerinin deformasyon görüntüleri (a) yük uygulanmadan önce, (b) yük kaldırıldıktan hemen sonra, (c) yük kaldırıldıktan 5 dakika sonra, (d) yük kaldırıldıktan 1 saat sonra, (e) yük kaldırıldıktan 1 gün sonra, ve (f) ikinci kez yük uygulandıktan 1 gün sonra (Yap ve Yeong 2015a)

2.6. Yüksek ve Düşük Yoğunluklu Polietilen 3D Yazıcılarda Kullanımı

Kreiger ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada 3D Yazıcılar için yüksek yoğunluklu polietilenlerin lif formuna dönüştürülmesi ve üretilen ürünün yaşam döngüsü analizi yapılmıştır (Kreiger ve ark. 2014). Çalışmada ürünler geri dönüşümlü olarak seçilerek katma değerli ürünler incelenmiştir.

Peng ve arkadaşları içeriğinde LDPE veya HDPE’inde bulunduğu bikomponent (core-shell) lifler üreterek 3D yazıcılarda kullanmışlardır (Peng ve ark. 2019). HDPE'e kıyasla LDPE'nin düşük kristalleşmesi üretilen mamülün boyutsal stabilitesinin artışı gözlemlenmiştir. Üretilen mamüllerin darbe dayanımının arttırılması yanı sıra LDPE ve HDPE'nin düşük maliyeti göz önünde bulundurulduğunda kompozit yapılarda uygulanabilirliği yüksek olduğu belirtilmiştir.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1 Materyal

Çalışmada Petkim Petrokimya Holding A.Ş. tarafından üretilen S 0464 Yüksek Yoğunluklu Polietilen ve G 08-21T Düşük yoğunluklu polietilen Kullanılmıştır.

3.1.1. Yüksek yoğunluklu polietilen (HDPE)

Çalışmada Petkim Petrokimya Holding A.Ş. tarafından üretilen S 0464 Yüksek Yoğunluklu Polietilen (Çizelge 3.1) kullanılmıştır.

Çizelge 3.1. S 0464 Yüksek yoğunluklu polietilen ürün özellikleri (Anonim 2016a)

| Kullanılan “S 0464 Yüksek Yoğunluklu Polietilen” Ürün Özellikleri | | | |
|--|--|---------------|---------------|
| Ticari İsmi | : Petilen YY S 0464 | | |
| Deney Adı | Birimi | Değeri | Metodu |
| Erime Akış Oranı (MFR) (2160g, 190°C) | g/10d | 0.25 – 0.40 | ASTM D1238 |
| Yoğunluk (23°C) 1) | g/cm ³ | 0.959 – 0.963 | ASTM D1505 |
| Tipik Değerler | : | | |
| Gerilme Dayanımı | | | |
| -Akmada Ger. Dayanımı | Mpa | 28 | ASTM D638 |
| -Kopmada Ger. Dayanımı | Mpa | 31 | ASTM D638 |
| -Kopmada Uzama | % | 1115 | ASTM D638 |
| Bükülme Dayanı | Mpa | 1000 | TS ISO 178 |
| İzod Darbe Dayanımı | J/m | 590 | ASTM D256 |
| Çev.Bas.Kır.Day.(F50) | saat | 16 | ASTM D1693 |
| 1)Numune ASTM D2839'e Göre Hazırlanmıştır. | | | |
| Ürün Şekli | : Pellet | | |
| Ambalaj Şekli | : 25 Kg'lık FFS (Form Fill Seal) beyaz renkli PE torbalarda veya 1400 Kg'lık big-bag'lerde. | | |
| Depolama Şartı | : Sıcaklığı 50°C altında olan, güneş görmeyen kapalı ve kuru yerlerde | | |
| Kullanım Sahaları | : Şişirme ile kalıplama (Kimyasal maddeler için büyük hacimli kaplar, gaz yağı bidonları, büyük boy oyuncaklar v.s.) | | |
| Güvenlik Bilgi Formu No | : UR.15-BF-00002 | | |

3.1.2. Düşük yoğunluklu polietilen (LDPE)

Çalışmada Petkim Petrokimya Holding A.Ş. tarafından üretilen G 08-21T Düşük yoğunluklu polietilen (Çizelge 3.2) kullanılmıştır.

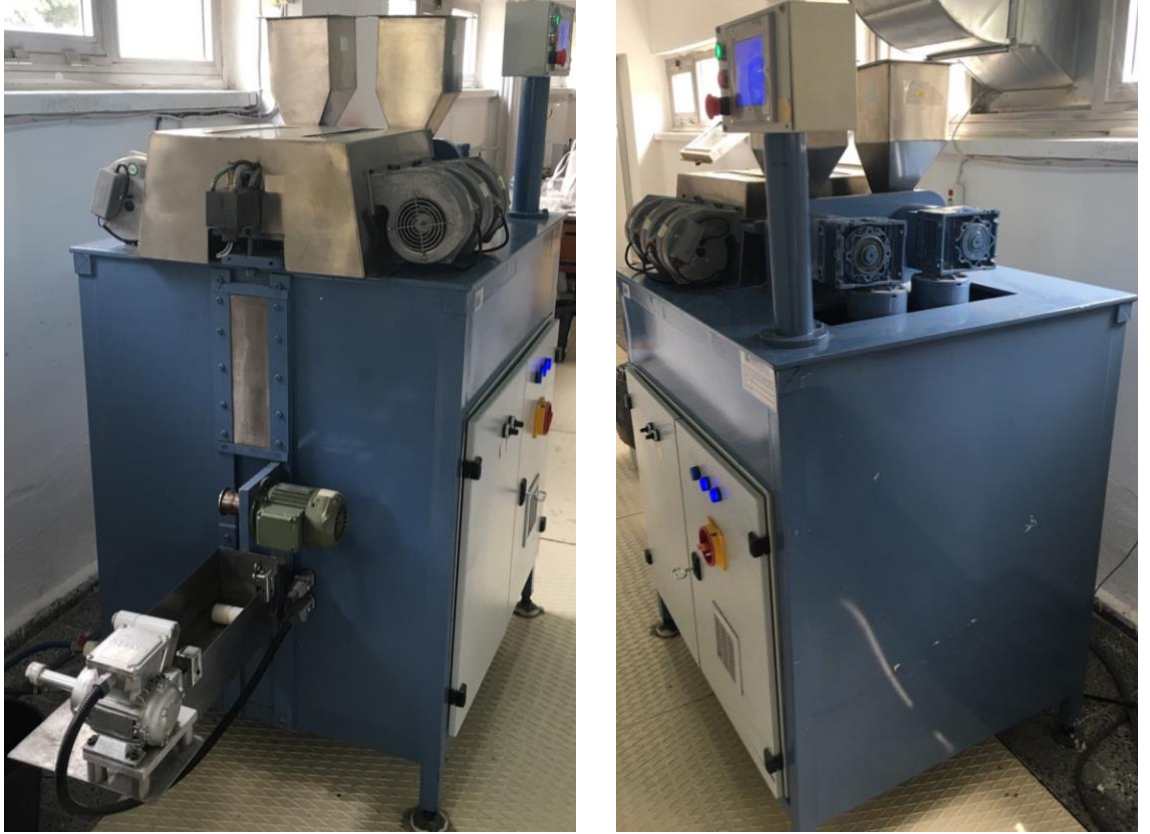
Çizelge 3.2. G08-21T Düşük yoğunluklu polietilen ürün özellikleri (Anonim 2016b.)

| Kullanılan “G08-21T Düşük Yoğunluklu Polietilen” Ürün Özellikleri | | | |
|--|--|----------------------|----------------------|
| Ticari İsmi | : Petilen G08-21T | | |
| Deney Adı | <u>Birimi</u> | <u>Değeri</u> | <u>Metodu</u> |
| Erime Akış Oranı (MFR) (2160g, 190°C) | g/10d | 0.75 – 1.0 | ASTM D1238 |
| Yoğunluk (23°C) | g/cm ³ | 0.919 – 0.923 | ASTM D1505 |
| Film Kalitesi | - | T | ALKATH.-36 |
| Tipik Değerler | : | | |
| Pusluluk | % | 8.8 | ASTM D1003 |
| Parlaklık | - | 58 | ASTM D2457 |
| Şişme Oranı | - | 1.44 | ALKATHAN.7 |
| Ürün Şekli | : Pellet | | |
| Ambalaj Şekli | : 25 Kg’lık FFS (Form Fill Seal) beyaz renkli PE torbalarda veya 1400 Kg’lık big-bag’lerde. Silobus veya konteyner’e (20 ft. veya 40 ft.) dökme olarak | | |
| Depolama Şartı | : Güneş görmeyen kapalı ve kuru yerlerde | | |
| Kullanım Sahaları | : Şişe, ince büzülebilen (shrink) film, sanayi tipi poşet | | |
| Güvenlik Bilgi Formu No | : UR.13-BF-00007 | | |

3.2. Yöntem

3.2.1. HDPE / LDPE bikomponent ve karışım liflerinin eriyik çekim yöntemi ile üretimi

Eriyik çekimden lif eldesi Şekil 3.1'deki, Bursa Uludağ Üniversitesi (BUU) Tekstil Mühendisliği Bölümü Laboratuvarlarında bulunan eriyikten çekim pilot üretim makinesinde (Menşei; Türkiye) gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.1. Eriyikten çekim pilot üretim makinesinin ekstrüderler, çekim motoru, sarım motoru, düze paketi, kontrol paneli, soğutma ünitesi ve cips yükleme silolarıyla birlikte genel görünümü

Eriyikten çekim esnasında uygulanan ekstrüder sıcaklıkları ve yapıdaki polimer oranları Çizelge 3.3, Çizelge 3.4, Çizelge 3.5, Çizelge 3.6, Çizelge 3.7, Çizelge 3.8 ve Çizelge 3.9’da verilmiştir. Polimerler düzeden çıktıktan sonra monofilament formunda 3D yazıcılarda kullanılmak üzere direk soğutularak bobine sarılmıştır.

Çizelge 3.3. Numune A’nın lif üretim parametreleri

| Numune A | | | | | |
|--|-------------|----------|----------------|---|---------------------------------------|
| Sarım Motoru Hızı | | 3 | | Ekstruder Isıtıcı Sıcaklıkları | |
| Çekim Motoru Hızı | | - | | 1. Ekstruder (Dış Düzeye Giden) | 2. Ekstruder (İç Düzeye Giden) |
| Ekstruder Debileri/Hızları | | | | | |
| 1. Ekstrüder (Dış Düzeye Giden) | 30 | Hz | Isı Ana Değeri | | Isı Ana Değeri |
| | 75 | RPM | 130 | | 130 |
| 2. Ekstürüder (İç Düzeye Giden) | 2,75 | Hz | Soğuma Aralığı | | Soğuma Aralığı |
| | 0 | RPM | - | | 1 |
| Dış Düzede Kullanılan Hammadde | | | | 1. Bölge | 185 |
| %100 LDPE | | | | 2. Bölge | 190 |
| | | | | 3. Bölge | 195 |
| | | | | 1. Bölge | - |
| İç Düzede Kullanılan Hammadde | | | | Mamül Çıkışı/Düze Isıtıcı Sıcaklıkları | |
| İç Düze Boş Bırakıldı | | | | 4. Bölge | 205 |
| | | | | 5. Bölge | 205 |

Çizelge 3.4. Numune B’nin lif üretim parametreleri

| Numune B | | | | | |
|--|-------------|----------|----------------|---|---------------------------------------|
| Sarım Motoru Hızı | | 3 | | Ekstruder Isıtıcı Sıcaklıkları | |
| Çekim Motoru Hızı | | - | | 1. Ekstruder (Dış Düzeye Giden) | 2. Ekstruder (İç Düzeye Giden) |
| Ekstruder Debileri/Hızları | | | | | |
| 1. Ekstrüder (Dış Düzeye Giden) | 30 | Hz | Isı Ana Değeri | | Isı Ana Değeri |
| | 75 | RPM | 130 | | 130 |
| 2. Ekstürüder (İç Düzeye Giden) | 2,75 | Hz | Soğuma Aralığı | | Soğuma Aralığı |
| | 0 | RPM | - | | 1 |
| Dış Düzede Kullanılan Hammadde | | | | 1. Bölge | 200 |
| %100 LDPE | | | | 2. Bölge | 200 |
| | | | | 3. Bölge | 200 |
| | | | | 1. Bölge | - |
| İç Düzede Kullanılan Hammadde | | | | Mamül Çıkışı/Düze Isıtıcı Sıcaklıkları | |
| İç Düze Boş Bırakıldı | | | | 4. Bölge | 215 |
| | | | | 5. Bölge | 215 |

Çizelge 3.5. Numune C'nin lif üretim parametreleri

| Numune C | | | | | |
|--|-----------|------------|--|---------------------------------------|---------------------|
| Sarım Motoru Hızı | 3 | | Ekstruder Isıtıcı Sıcaklıkları | | |
| Çekim Motoru Hızı | - | | 1. Ekstruder (Dış Düzeye Giden) | 2. Ekstruder (İç Düzeye Giden) | |
| Ekstruder Debileri/Hızları | | | | | |
| 1. Ekstrüder (Dış Düzeye Giden) | 25 | Hz | Isı Ana Değeri | Isı Ana Değeri | |
| | 62 | RPM | 130 | 130 | |
| 2. Ekstürüder (İç Düzeye Giden) | 25 | Hz | Soğuma Aralığı | Soğuma Aralığı | |
| | 62 | RPM | - | 1 | |
| Dış Düzede Kullanılan Hammadde | | | 1. Bölge | 190 | 1. Bölge 190 |
| %100 LDPE | | | 2. Bölge | 195 | 2. Bölge 195 |
| | | | 3. Bölge | 205 | 3. Bölge 205 |
| | | | İç Düzede Kullanılan Hammadde | | |
| %100 LDPE | | | 4. Bölge | 210 | 5. Bölge 210 |

Çizelge 3.6. Numune D'nin lif üretim parametreleri

| Numune D | | | | | |
|--|-----------|------------|--|---------------------------------------|---------------------|
| Sarım Motoru Hızı | 3 | | Ekstruder Isıtıcı Sıcaklıkları | | |
| Çekim Motoru Hızı | - | | 1. Ekstruder (Dış Düzeye Giden) | 2. Ekstruder (İç Düzeye Giden) | |
| Ekstruder Debileri/Hızları | | | | | |
| 1. Ekstrüder (Dış Düzeye Giden) | 25 | Hz | Isı Ana Değeri | Isı Ana Değeri | |
| | 62 | RPM | 130 | 130 | |
| 2. Ekstürüder (İç Düzeye Giden) | 25 | Hz | Soğuma Aralığı | Soğuma Aralığı | |
| | 62 | RPM | - | 1 | |
| Dış Düzede Kullanılan Hammadde | | | 1. Bölge | 190 | 1. Bölge 190 |
| %100 LDPE | | | 2. Bölge | 195 | 2. Bölge 195 |
| | | | 3. Bölge | 205 | 3. Bölge 205 |
| | | | İç Düzede Kullanılan Hammadde | | |
| %60 LDPE, %40 HDPE | | | 4. Bölge | 210 | 5. Bölge 210 |

Çizelge 3.7. Numune E'nin lif üretim parametreleri

| Numune E | | | | | |
|--|-----------|------------|---|---------------------------------------|---------------------|
| Sarım Motoru Hızı | 3 | | Ekstruder Isıtıcı Sıcaklıkları | | |
| Çekim Motoru Hızı | - | | 1. Ekstruder (Dış Düzeye Giden) | 2. Ekstruder (İç Düzeye Giden) | |
| Ekstruder Debileri/Hızları | | | | | |
| 1. Ekstrüder (Dış Düzeye Giden) | 25 | Hz | Isı Ana Değeri | | Isı Ana Değeri |
| | 62 | RPM | 130 | | 130 |
| 2. Ekstürüder (İç Düzeye Giden) | 25 | Hz | Soğuma Aralığı | | Soğuma Aralığı |
| | 62 | RPM | - | | 1 |
| Dış Düzede Kullanılan Hammadde | | | 1. Bölge | 190 | 1. Bölge 190 |
| %60 LDPE %40 HDPE | | | 2. Bölge | 195 | 2. Bölge 195 |
| | | | 3. Bölge | 205 | 3. Bölge 205 |
| İç Düzede Kullanılan Hammadde | | | Mamül Çıkışı/Düze Isıtıcı Sıcaklıkları | | |
| %60 LDPE, %40 HDPE | | | 4. Bölge | 210 | 5. Bölge 210 |

Çizelge 3.8. Numune F'nin lif üretim parametreleri

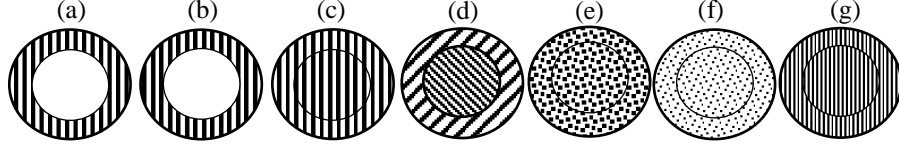
| Numune F | | | | | |
|--|-----------|------------|---|---------------------------------------|---------------------|
| Sarım Motoru Hızı | 3 | | Ekstruder Isıtıcı Sıcaklıkları | | |
| Çekim Motoru Hızı | - | | 1. Ekstruder (Dış Düzeye Giden) | 2. Ekstruder (İç Düzeye Giden) | |
| Ekstruder Debileri/Hızları | | | | | |
| 1. Ekstrüder (Dış Düzeye Giden) | 25 | Hz | Isı Ana Değeri | | Isı Ana Değeri |
| | 62 | RPM | 130 | | 130 |
| 2. Ekstürüder (İç Düzeye Giden) | 25 | Hz | Soğuma Aralığı | | Soğuma Aralığı |
| | 62 | RPM | - | | 1 |
| Dış Düzede Kullanılan Hammadde | | | 1. Bölge | 190 | 1. Bölge 190 |
| %40 LDPE %60 HDPE | | | 2. Bölge | 195 | 2. Bölge 195 |
| | | | 3. Bölge | 205 | 3. Bölge 205 |
| İç Düzede Kullanılan Hammadde | | | Mamül Çıkışı/Düze Isıtıcı Sıcaklıkları | | |
| %40 LDPE, %60 HDPE | | | 4. Bölge | 210 | 5. Bölge 210 |

Çizelge 3.9. Numune G'nin lif üretim parametreleri

| Numune G | | | | | | |
|--|------------|------------|---|---|----------|------------|
| Sarım Motoru Hızı | 3,2 | | Ekstruder Isıtıcı Sıcaklıkları | | | |
| Çekim Motoru Hızı | - | | 1. Ekstruder (Dış Düzeye Giden) | 2. Ekstruder (İç Düzeye Giden) | | |
| Ekstruder Debileri/Hızları | | | | | | |
| 1.Ekstrüder (Dış Düzeye Giden) | 25 | Hz | Isı Ana Değeri | Isı Ana Değeri | | |
| | 62 | RPM | 130 | 130 | | |
| 2. Ekstürüder (İç Düzeye Giden) | 25 | Hz | Soğuma Aralığı | Soğuma Aralığı | | |
| | 62 | RPM | - | 1 | | |
| Dış Düzede Kullanılan Hammadde | | | 1. Bölge | 200 | 1. Bölge | 200 |
| %100 HDPE | | | 2. Bölge | 205 | 2. Bölge | 205 |
| | | | 3. Bölge | 210 | 3. Bölge | 210 |
| İç Düzede Kullanılan Hammadde | | | Mamül Çıkışı/Düze Isıtıcı Sıcaklıkları | | | |
| %100 HDPE | | | 4. Bölge | 215 | 5. Bölge | 215 |

Farklı kontrüksiyonlarda ve oranlarda üretilen LDPE, HDPE ve LDPE / HDPE liflerin enine kesitlerinin şematik gösterimi Şekil 3.2'de sunulmuştur. İki ekstrüderli beslemenin yapıldığı eriyikten çekim ünitesinde Şekil 3.2a'daki numune için (N-a) lifin dış kısmına besleme yapan ekstrüder den LDPE beslenirken lifin iç kısmına besleme yapan ekstrüderden polimer beslemesi yapılmamış, bu numunenin üretim parametreleri Çizelge 3.3'te verilmiştir. Şekil 3.2b'deki numune için (N-b) de aynı şekilde dış kısma LDPE beslenirken içe polimer beslemesi yapılmamış olup bu numunenin üretim parametreleri Çizelge 3.4'de verilmiştir. Şekil 3.2c'deki numune için (N-c) lifin hem iç hem dışına besleme yapan ekstrüderlerden LDPE beslenmiş olup bu numunenin üretim parametreleri Çizelge 3.5'de verilmiştir. Şekil 3.2d'deki numune için (N-d) lifin dış kısmına besleme yapan ekstrüder den LDPE, lifin iç kısmına besleme yapan ekstrüderden 3/2 oranında LDPE / HDPE beslemesi yapılmıştır ve bu numunenin üretim parametreleri Çizelge 3.6'da verilmiştir. Polimer karışımı granül formunda ayarlanarak ekstrüdere besleme yapılmıştır. Şekil 3.2e'deki numune için (N-e) lifin dış ve iç kısmına besleme yapan ekstrüderlerin her ikisinde 3/2 oranında LDPE / HDPE beslemesi yapılmış ve bu numunenin üretim parametreleri Çizelge 3.7'de verilmiştir. Şekil 3.2f'deki numune için (N-f) lifin dış ve iç kısmına besleme yapan ekstrüderlerin her ikisinde 2/3 oranında LDPE / HDPE beslemesi yapılmış olup bu numunenin üretim parametreleri Çizelge 3.8'de verilmiştir. Şekil 3.2g'deki numune için (N-g) lifin hem iç

hem dışına besleme yapan ekstrüderlerden HDPE beslemesi yapılmıştır. Bu numunenin üretim parametreleri ise Çizelge 3.9’da verilmiştir.



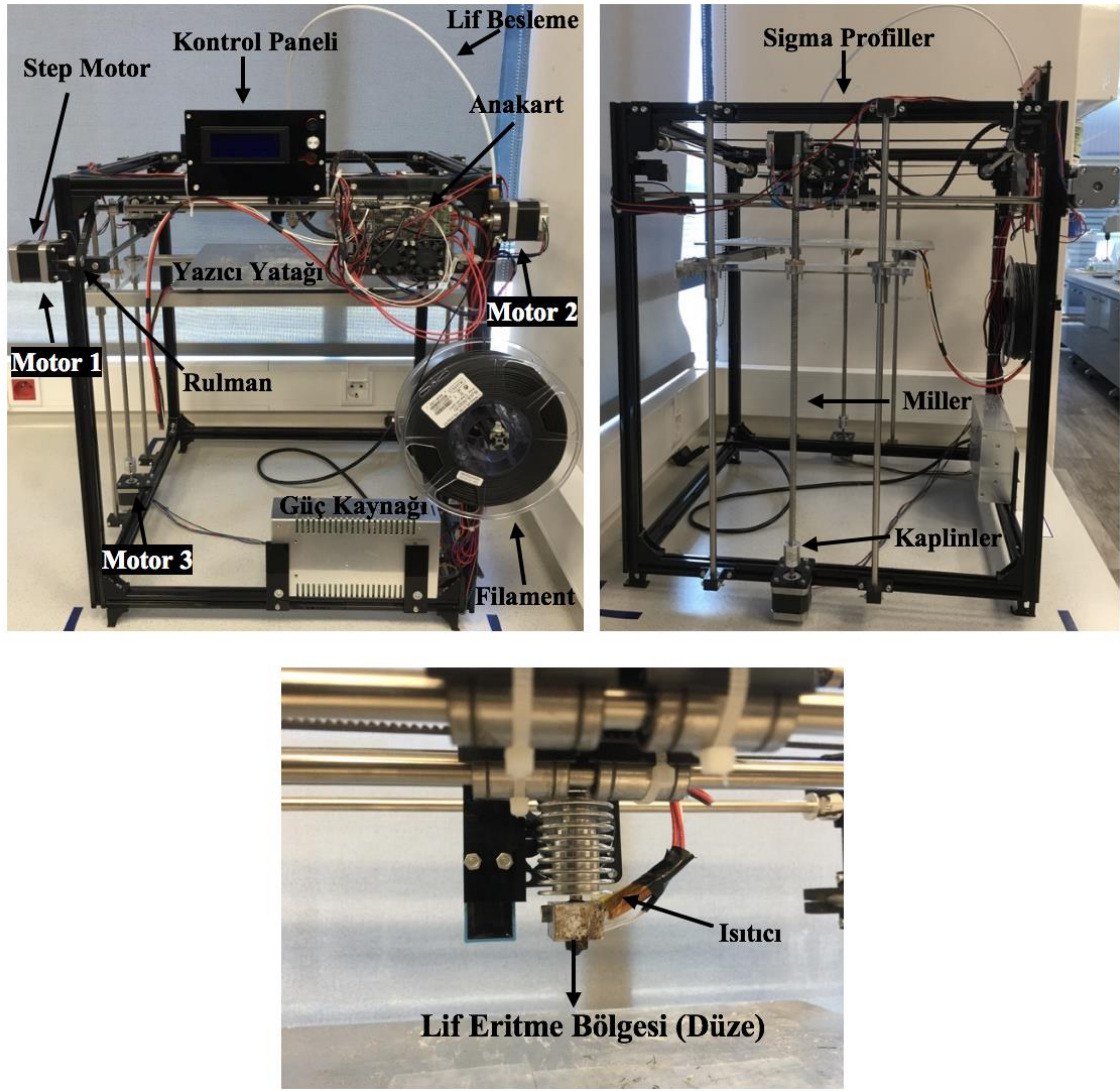
Şekil 3.2. Eriyikten çekimde üretilen numunelerin iç-dış bileşenlerinin şematik gösterimi: (a) N-a, (b) N-b, (c) N-c, (d) N-d, (e) N-e, (f) N-f, ve (g) N-g

3.2.2. Üç boyutlu yazıcı

Üretilen lifler kullanılarak üç boyutlu parça üretimi Şekil 3.3’te fotoğrafları bulunan Bursalı Tekstil San. ve Tic. A.Ş. – Ar-Ge Merkezi Laboratuvarlarındaki (Menşei; Çin) özel üretim olan üç boyutlu yazıcıda üretilmiştir.

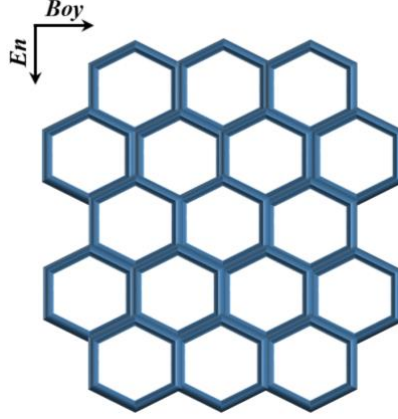
3D yazıcının parça ve malzemelerini incelediğimizde sigma profiller yazıcıların iskeletini oluşturmaktadır. Yazıcı üzerinde bulunan step motorlar ve motorların kafalarındaki rulmanların yardımıyla düze, yazıcı yatağı ve filament hareketi sağlanmaktadır. Yazıcı yatağının aşağı ve yukarı yönde hareketini sağlayan kafasında kaplinlerin bulunduğu step motorlar mevcuttur. Düzenin x ve y düzleminde hareketi için step motorlara bağlı kayış ve kasnaklar mevcuttur.

3D yazıcıda filament lif eritme bölgesine (düze) beslenerek bu bölgede eritilip yazıcı yatağı üzerinde katılma sağlanarak 3D üretim yapılmaktadır. Yazıcıda beş adet motor bulunmaktadır. Motor 1 ve yardımcı diğer motor ile birlikte ileri geri hareket yaparak lif eritme bölgesini yatağın üzerinde konumlandırmaktadır. Motor 2 ise lif eritme bölgesine lif beslemesi yapmaktadır. Motor 3 yatay olarak tam karşısında diğer bir motor ile birlikte, birlikte aynı anda çalışarak yatağın aşağı yukarı hareketini gerçekleştirip 3D parçaların üretimi sağlanır.



Şekil 3.3. LDPE / HDPE liflerin kullanıldığı 3D yazıcı

Üretilmesi planlanan 3D balpeteği yapı

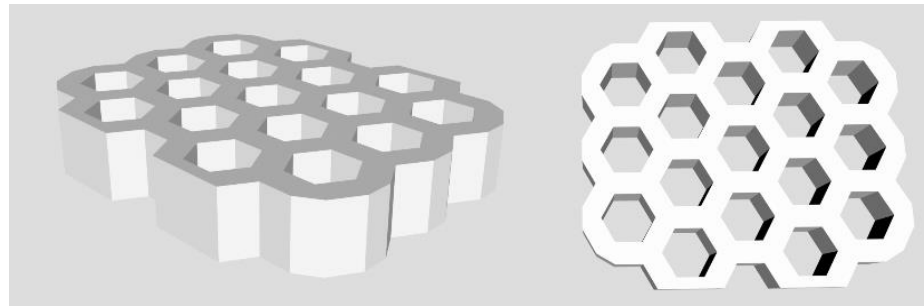


Şekil 3.4. 3D yazıcı ile üretilen balpeteği yapıların en ve boylarının şematik gösterimi

17 hücreden oluşan ve üretilmesi planlanan balpeteği yapının enini ve boyunu belirten şematik gösterimi Şekil 3.4’de verilmiştir. Çalışmada LDPE / HDPE bikomponent lif olan N-d numunesinden (dış:LDPE, iç: 3/2 LDPE/HDPE) balpeteği parça üretilmiştir. Üretimde 3D yazıcıda besleme hızı 50 mm/dk, düze sıcaklığı 230 °C ve yatak sıcaklığı 80 °C olarak ayarlanmıştır.

Bilgisayar destekli tasarım

Üç boyutlu yazıcıda üretilen cisimlerin katı modellemeleri ve tasarımları Bursalı Tekstil San. ve Tic. A.Ş. – Ar-Ge Merkezi Laboratuvarlarındaki SolidWorks Premium Programıyla (Menşei; Amerika Birleşik Devletleri) tasarlanmıştır. Şekil 3.5’te tasarımı yapılan 3D balpeteği yapı görülmektedir. SolidWorks programında katı modelleme ve tasarımı yapılan parçalar Repetier programı ile nesnelere dilimlenmesi ve gcode’a dönüştürülmesi için kullanılmıştır.

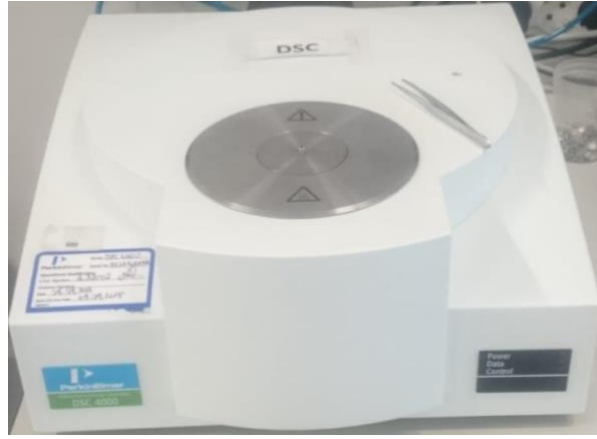


Şekil 3.5. SolidWorks Premium programıyla tasarlanmış 3D balpeteği yapılar

3.2.3. Üretilen liflerin ve 3D balpeteği yapıların karakterizasyon yöntemleri

Diferansiyel taramalı kalorimetre (DSC)

Diferansiyel Taramalı Kalorimetre (DSC) testleri 20-200°C aralığında 10°C/dk hız ile Şekil 3.6'da gösterilen İstanbul Teknik Üniversitesi (İTÜ) Tekstil ve Konfeksiyon Kalite Kontrol ve Araştırma Laboratuvarında bulunan Perkin Elmer DSC4000 (Menşei; Almanya) cihazında çalışılmıştır.



Şekil 3.6. Ölçümlerin yapıldığı Perkin Elmer DSC4000 cihazı

ATR-FT-IR spektroskopisi

Liflerin kimyasal analizleri ATR-FT-IR Spektroskopisi ile 450-4 000 cm^{-1} aralığında Şekil 3.7'de gösterilen İstanbul Teknik Üniversitesi (İTÜ) Tekstil ve Konfeksiyon Kalite Kontrol ve Araştırma Laboratuvarında bulunan Perkin Elmer Spectrum Two FTIR (Menşei; Almanya) cihazında yapılmıştır.



Şekil 3.7. Ölçümlerin yapıldığı Perkin Elmer Spectrum Two FTIR cihazı

Termogravimetrik analizi (TGA)

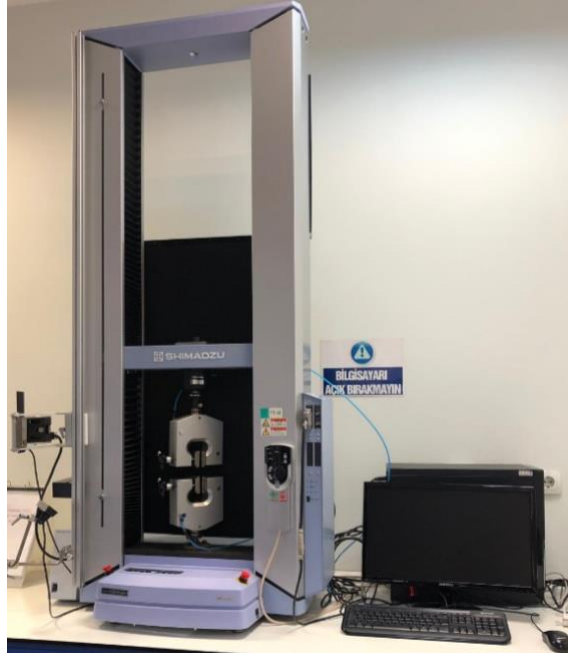
Liflerin Termogravimetrik Analizleri (TGA) Bursa Teknoloji Koordinasyon ve Ar-Ge Merkezi (BUTEKOM) Laboratuvarlarında 600°C 'ye kadar azot gazı sonrasında oksijenle 25-700°C sıcaklıkta Şekil 3.8'de gösterilen TA SDTQ 600 (Menşei; Amerika Birleşik Devletleri) cihazında yapılmıştır.



Şekil 3.8. Ölçümlerin yapıldığı TA SDTQ 600 cihazı

Kopma – uzama testleri

Liflerin kopma-uzama testleri 20 ± 2 sıcaklıkta, $\% 65 \pm 4$ bağıl nem (TS EN ISO 139 Standartına uygun) kondisyon şartlarında, çeneler arası mesafe 50 mm ve 1 000 mm/dk hızda (ISO 2062 Standartındaki hıza ve çeneler arası mesafeyi değiştirerek) 5 000 N yük hücresiyle Şekil 3.9’da gösterilen Bursa Uludağ Üniversitesi (BUU) Tekstil Mühendisliği Bölümü Laboratuvarlarında bulunan Shimadzu AG-X HS (Menşei; Japonya) model cihazında çalışıldı.



Şekil 3.9. Ölçümlerin yapıldığı Shimadzu AG-X HS cihazı

Liflerin çapları

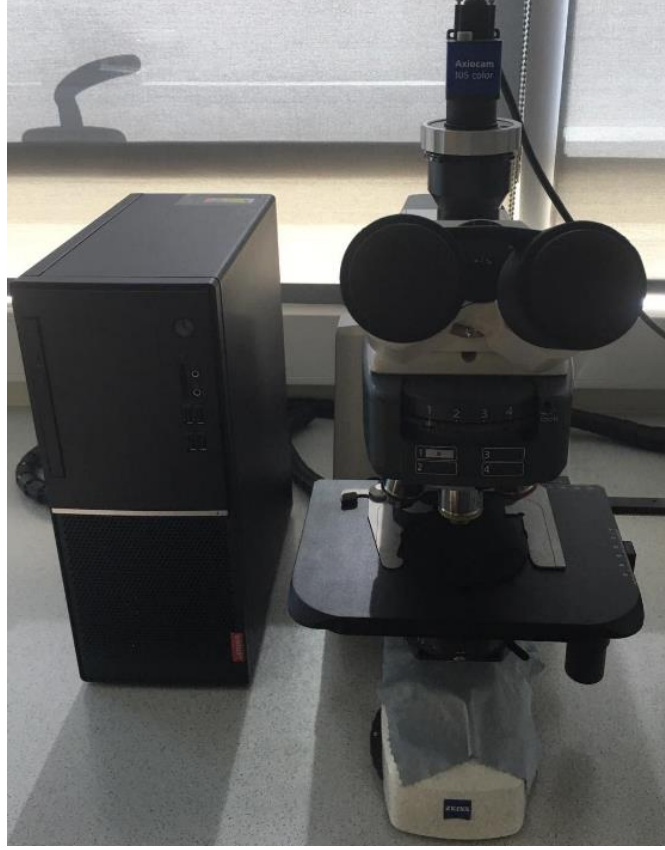
Üretilen liflerin çapları Şekil 3.10’da gösterilen Electronic Digital Caliper marka dijital sürmeli kumpas ile mm bazında ölçülmüştür.



Şekil 3.10. Ölçümlerin yapıldığı Electronic Digital Caliper marka dijital sürmeli kumpas

Mikroskop incelemesi

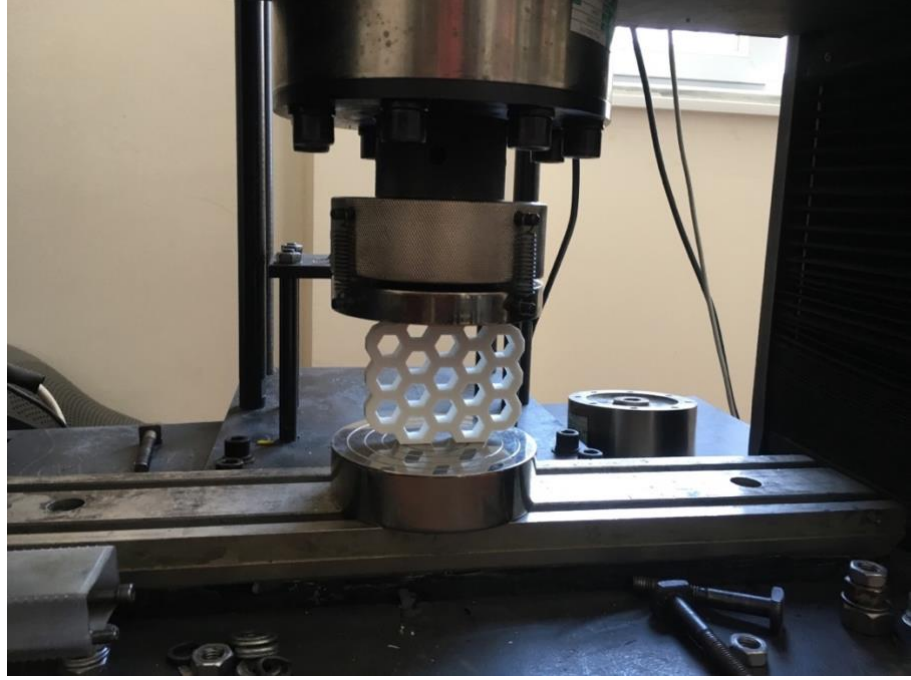
Üretilen liflerin Şekil 3.11'deki Bursalı Tekstil San. ve Tic. A.Ş. – Ar-Ge Merkezi Laboratuvarlarındaki mikroskop altında enine kesitleri ZEISS Axioscope (Menşei; Almanya) mikroskobunda 500 zoom'da incelenmiştir.



Şekil 3.11. Liflerin enine kesitlerinin incelendiği ZEISS Axioscope cihazı

Bası testleri

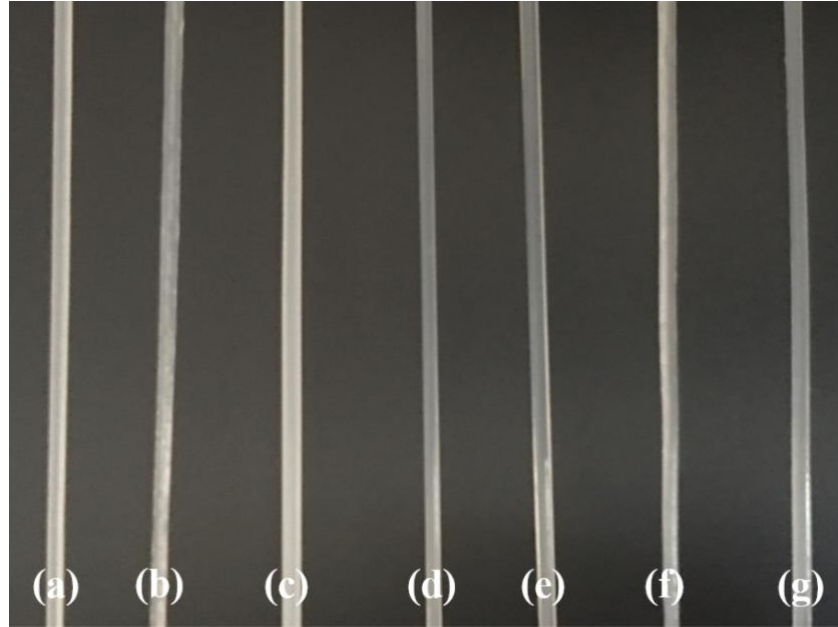
Üretilen bal peteği yapılar boyuna yönde alt düzlem sabit, yük hücresi bağlı olan üst düzlemi hareketli olan iki yüzey arasına yerleştirilerek bası testleri yapılmıştır. Bası testleri 2,99 mm/dk test hızıyla 25 000 N yük hücresiyle Bursa Uludağ Üniversitesi (BUU) Makine Mühendisliği Bölümü Laboratuvarlarında bulunan UTEST Marka (0-250 kN toleranslı) (Menşei; Türkiye) cihazında çalışılmıştır. Bası testlerinin yapıldığı esnadan alınan fotoğraf resmi Şekil 3.12’de sunulmuştur.



Şekil 3.12. Bası mukavemetleri testi esnasında numunenin konumlandırılması

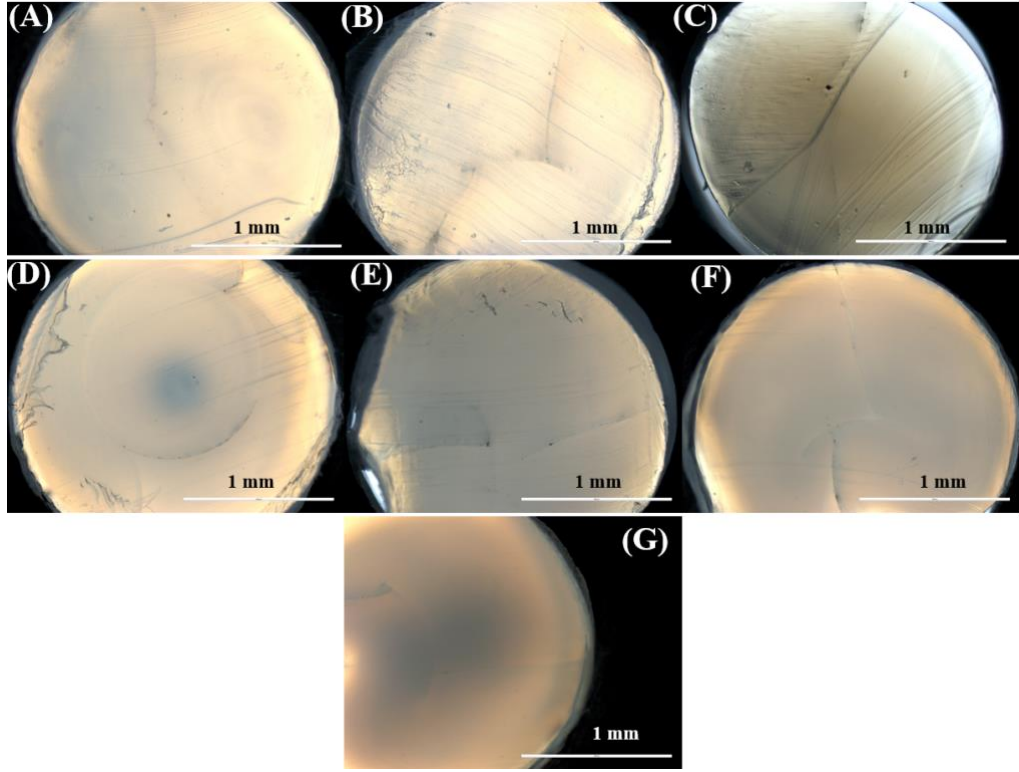
4. BULGULAR VE TARTIŞMA

LDPE ve HDPE polimerleri kullanılarak eriyikten çekim pilot üretim makinesinde farklı karışımı oranlarında ve konstrüksiyonlarda monofilament lifler olarak üretilmiştir. Üniform bir şekilde üretilen liflerin fotoğraf resimleri Şekil 4.1’de verilmiştir. Polimer eriyiği düzeden çıktıktan sonra soğutulup bobinlere sarılmasında standart bir hız uygulanmadığı için üretilen liflerin çap dağılımı çok geniştir. Üretilen liflerin ölçülen çapları 1,1-2,5 mm arasında değişmektedir. Liflerin 3D yazıcılarda kullanılmak üzere üretildiği ve germe-çekme işlemine tabi tutulmadığı için tekstil yapılarında kullanılan liflerle kıyaslandığında lif çapları oldukça yüksektir.



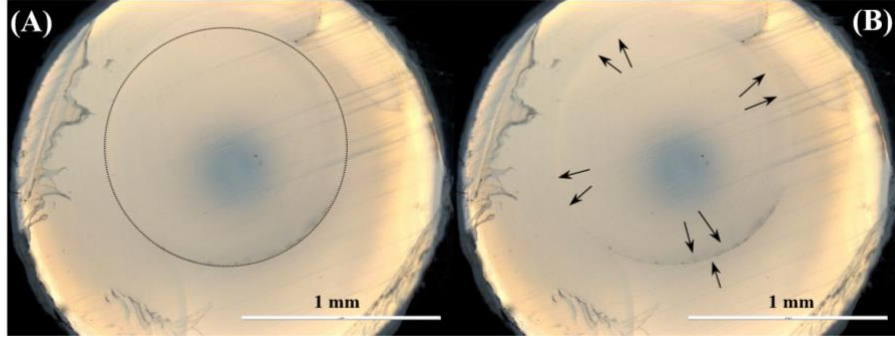
Şekil 4.1. Eriyikten çekim yöntemi ile üretilen farklı kombinasyonlardaki LDPE/HDPE liflerin boyuna yönde fotoğraf resimleri: (a) N-a, (b) N-b, (c) N-c, (d) N-d, (e) N-e, (f) N-f, ve (g) N-g

Üretilen her numune grubundaki liflerden çapları birbirine yakın olan lifler seçilip liflerin enine kesit görüntüleri optik mikroskopta alınarak Şekil 4.2’de sunulmuştur. Şekil 4.2 A, B’de lifler üretimleri esnasında lifler içi boşluk olacak şekilde tasarlanıp lifin içine besleme yapan ekstrüdere polimer beslenmemesine rağmen dış ekstrüderden beslenen LDPE eriyiği lifin merkezine doğru hareket etmiş ve içi boşluklu lif yapısının oluşumunu engellemiştir.



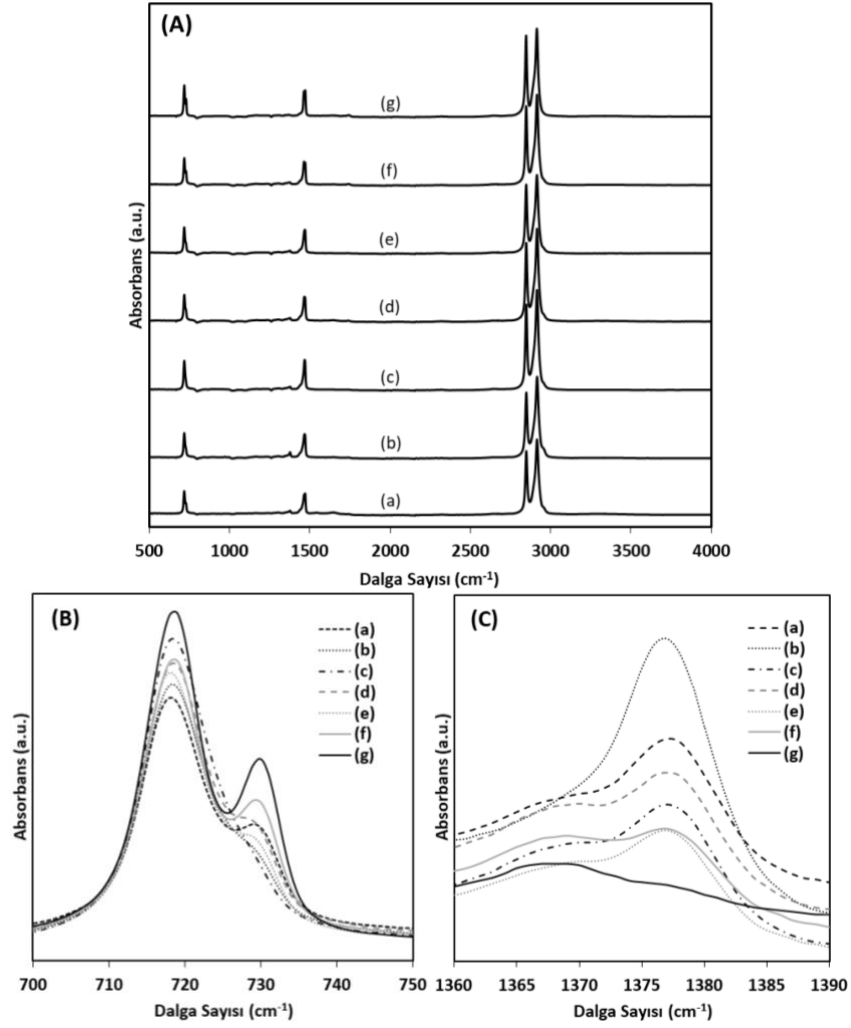
Şekil 4.2. Eriyikten çekim yöntemi ile üretilen farklı kombinasyonlardaki LDPE/HDPE liflerin enine kesitlerinin mikroskop görüntüleri: (A) N-a, (B) N-b, (C) N-c, (D) N-d, (E) N-e, (F) N-f, ve (G) N-g

Şekil 4.2C’de lifler üretimleri esnasında hem dış hemde iç ekstrülden LDPE beslendiği için lifin enine kesitinde herhangi bir farklılık gözlemlenmemiştir. Diğer taraftan Şekil 4.2D’de lifin dış kısmına besleme yapan ekstrüderden sadece LDPE beslenirken iç kısmına besleme yapan ekstrüderden 3/2 oranında LDPE / HDPE beslenmiştir ve elde edilen lifin bikomponent yapısı mikroskop resminde açık bir şekilde görülmektedir. Şekil 4.2E’de dış ve iç kısmına besleme yapan ekstrüderden 3/2 oranında LDPE / HDPE beslenirken Şekil 4.2F’deki numunede dış ve iç kısmına besleme yapan ekstrüderden 2/3 oranında LDPE / HDPE beslenmiştir. Her iki durumda da elde edilen liflerde içi ve dış kısımdaki polimerler karışım ve aynı tip yapı olup bikomponent lif yapısının oluşumu gözlemlenmemiştir. Şekil 4.2G’de ise lifin dış ve iç kısmına besleme yapan ekstrüderden sadece HDPE beslemesi yapıldığı lifin enine kesit görüntüsünde homojen bir yapının oluştuğu görülmektedir.



Şekil 4.3. Eriyikten çekim yöntemi ile üretilen LDPE / HDPE (S: LDPE, C:LDPE(%60)+HDPE(%40)) lifin enine kesitinin mikroskop görüntüleri (N-d numunesi)

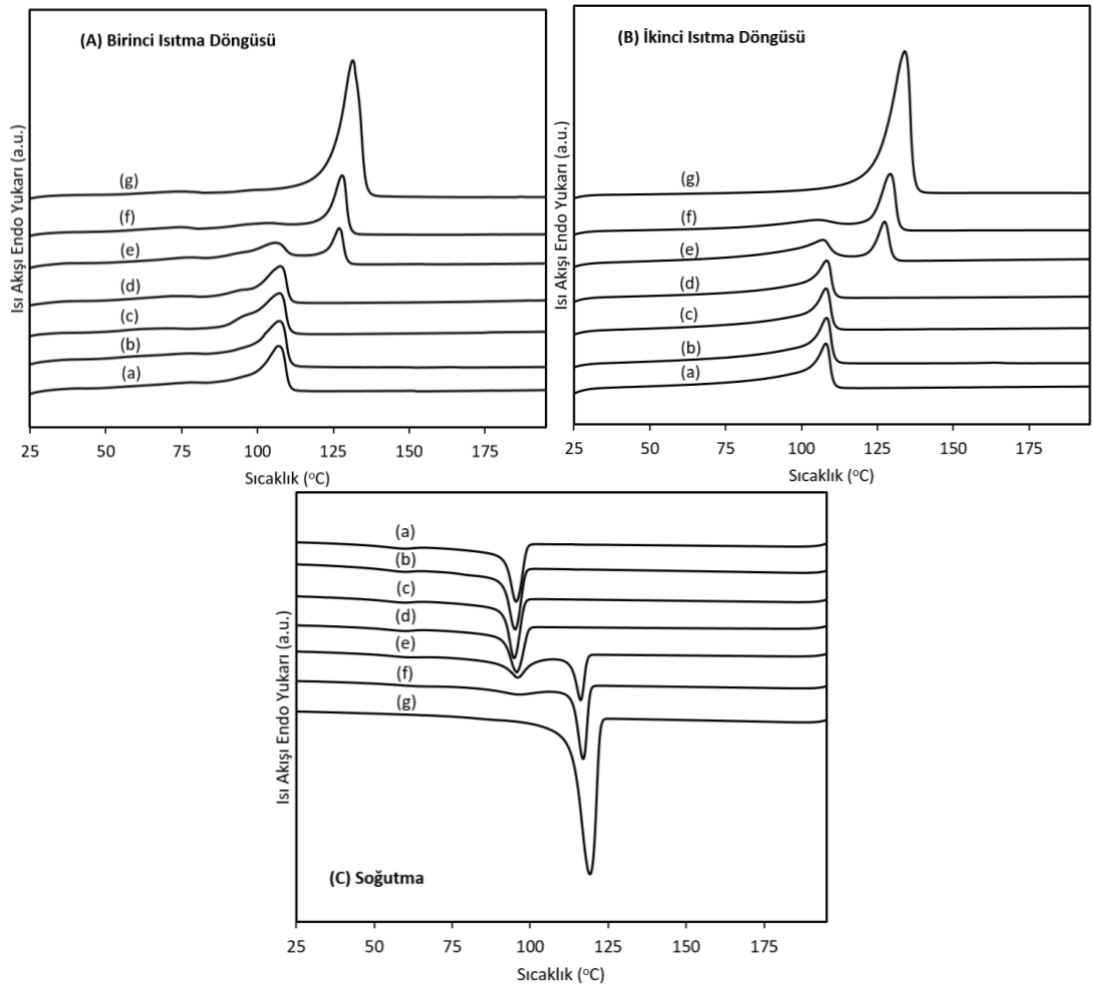
Yapılan çalışmada lifin dış kısmına sadece LDPE iç kısmına ise 3/2 oranında LDPE / HDPE beslendiğinde elde edilen bikomponent lif yapısının büyütülmüş mikroskopik yapısı Şekil 4.3'te verilmiştir. Bikomponent yapıdaki ara yüzey siyah çember (Şekil 4.3A) ve ok işaretleri (Şekil 4.3B) ile belirtildiği gibi açık bir şekilde görülmektedir.



Şekil 4.4. Eriyikten çekimde üretilen LDPE / HDPE liflerin ATR-FTIR spektraları: (a) N-a, (b) N-b, (c) N-c, (d) N-d, (e) N-e, (f) N-f, ve (g) N-g

Üretilen farklı konstrüksiyonlardaki LDPE / HDPE liflerin ATR-FTIR spektraları Şekil 4.4’de verilmiştir. İlk önce 500-2000 cm^{-1} aralığındaki geniş olarak spektral grafikler Şekil 4.4A’da, belirli dalga sayılarına odaklanılmış grafikler ise 700-750 cm^{-1} aralığı Şekil 4.4B ve 1 360-1 390 cm^{-1} aralığı Şekil 4.4C’de verilmiştir. 2850 cm^{-1} ve 2920 cm^{-1} daki güçlü absorpsiyon bantları LDPE ve HDPE’deki CH_2 ünitelerinde simetrik ve asimetrik gerilmelere tekabül etmektedir (da Silva ve Wiebeck 2018). Yıldırım ve arkadaşları polietilen yapılarında $-\text{CH}_3$ gruplarına tekabül eden pik’in yaklaşık 1378 cm^{-1} ’de olması gerektiğini belirtmişlerdir (Yıldırım ve ark. 2009). Dallanmış yapıdaki LDPE zincirlerinin $-\text{CH}_3$ gruplarındaki simetrik deformasyonlar yaklaşık olarak 1 377 cm^{-1} de görülmektedir (Gulmine ve ark. 2002), Şekil 4.4C’de görüldüğü gibi LDPE in lif yapısında varlığında bu pikin şiddeti dramatik bir şekilde artmaktadır. Amorf fazlar

içerisindeki $-CH_2-$ gruplarının sallanma (rocking) hareketleri 719 cm^{-1} de ve kristalin fazlardaki $-CH_2-$ gruplarının sallanma (rocking) hareketleri ise 729 cm^{-1} de görülmektedir (da Silva ve Wiebeck 2018). 729 cm^{-1} deki pikin şiddeti LDPE lifleri olan “a, b, ve c” numunelerinde HDPE numunesi olan “g” ye kıyasla dramatik bir şekilde azalmaktadır. Ayrıca, pik şiddetlerindeki $729/719$ oranı LDPE numunelerinde HDPE numunesine kıyasla daha düşüktür. 1465 ve 1471 cm^{-1} deki pikler amorf ve kristalin fazlardaki C-H eğilme (bending) titreşimlerine tekabül etmektedir (da Silva ve Wiebeck 2018).



Şekil 4.5. Eriyikten çekimde üretilen LDPE/HDPE liflerin DSC grafikleri: (a) N-a, (b) N-b, (c) N-c, (d) N-d, (e) N-e, (f) N-f, ve (g) N-g

Üretilen HDPE ve LDPE karışım polimer liflerin erime sıcaklıkları DSC yöntemi ile bir defa eritilip (Şekil 4.5A) soğutulduktan sonra ikinci defa da eritmek (Şekil 4.5B) suretiyle incelenmiştir. Polimerlerin kristalizasyon sıcaklıkları eritilen liflerin

soğutulması ile DSC yöntemi ile incelenmiştir (Şekil 4.5C). Tüm numunelerin DSC analiz sonuçları erime ve kristallizasyon sıcaklıkları Çizelge 4.1’de verilmiştir. HDPE den üretilen liflerde erime ve soğutma eğrilerinde tek erime ve kristallizasyon pikleri gözlemlenmesi (Şekil 4.5 “g”) liflerde tek tip kristallerin mevcudiyetini göstermektedir.

Şekil 4.5 e, f’de görüldüğü üzere, LDPE ve HDPE ekstrüder de granüller formda rasgele karıştırılmış olduğundan, molekül zincirleri moleküler boyuta homojen olarak karışmamış, LDPE ve HDPE polimerlerinin geçiş sıcaklıkları ayrı ayrı DSC grafiğinde gözlemlenmiştir. Hangi polimerin karışımdaki miktarı arttırılmışsa o polimerin erime ve kristallenme sıcaklığına tekabül eden pikin şiddetinde artış görülmektedir (Şekil 4.5 e, f).

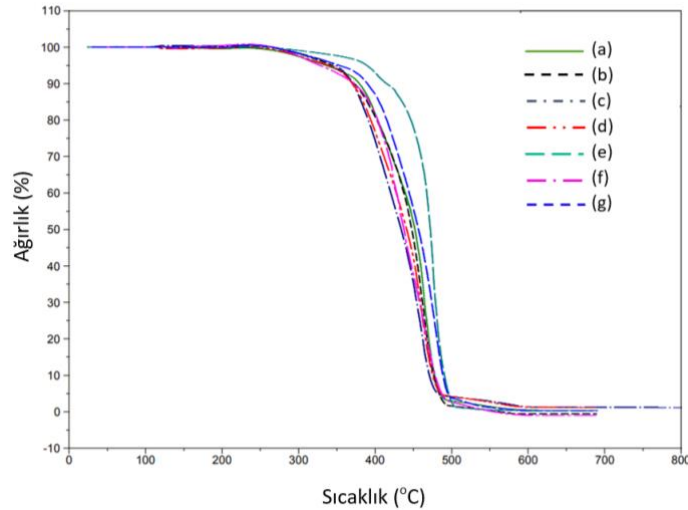
İçeriğinde sadece LDPE ve HDPE bulunan liflerin erime sıcaklıkları 107 ve 131°C civarında gözlemlenmiştir. DSC ölçümleri ile tespit edilen geçiş sıcaklık değerleri literatürde LDPE ve HDPE için rapor edilen erime ve kristalizasyon sıcaklıkları sonuçlarla örtüşmektedir (Munaro ve Akcelrud 2008, Shahi ve ark. 2017). 190 ve 200 °C’lerde çekime uğramış saf LDPE liflerinde erime sıcaklığı yaklaşık 107 °C’de tespit edilmiştir (Şekil 4.5A a, b). İkinci ısıtma döngüsünde erime sıcaklığının yaklaşık 1°C artmıştır. HDPE ve LDPE karışım olduğu yapılarda (Şekil 4.5A ve 4.5B e, f numuneleri) LDPE dallı yapısının HDPE in düzgün bir şekilde kristallenmesine engel olduğu için HDPE in erime sıcaklığı ve bu pikin şiddeti azalmıştır (Munaro ve Akcelrud 2008). HDPE liflerin erime sıcaklığı 131,54 °C de tespit edilmiştir (Şekil 4.5A g). HDPE in erime sıcaklığı LDPE / HDPE karışım liflerde azalması DSC ölçümlerinde hem ilk ısıtmada (Şekil 4.5A e, f) hem de ikinci ısıtmada (Şekil 4.5B e,f) görülmektedir.

Şekil 4.5C’de çalışmada üretilen tüm liflerin kristalizasyon sıcaklıklarını göstermek üzere 200 °C ye kadar ısıtılmış liflerin 25 °C ye kadar olan soğutulma DSC eğrileri gösterilmektedir. LDPE’in molekül yapısı dallanmış olduğundan dolayı HDPE’in kristallenmesi LDPE’e göre daha kolaydır (Lin ve ark. 2005). Bu bağlamda çekim sıcaklığına bağlı olarak tespit edilen kristalizasyon sıcaklıkları HDPE için 119,08 °C ve LDPE için 94,81-96,47 °C civarındadır. Ekstrüderde moleküller zincirleri arasında homojen bir karışım sağlanamadığı için yapıda iki çeşit polimerde kaynaklanan fazda ayrı ayrı mevcut olup DSC eğrilerinde her bir polimerin erime ve kristallenme

sıcaklıkları ayrı ayrı tespit edilebilmiştir. LDPE ve HDPE in karışım yapılması HDPE in kristalizasyon sıcaklığına LDPE den daha fazla etki etmiştir. HDPE in kristalizasyon sıcaklıkları “e” ve “f” numuneleri için 116,10 ve 117,01 °C’de tespit edilmiştir. Şekil 4.5’de “d” numunesinde lifin dış kısmı LDPE’den oluşurken lifin iç kısmında %40 oranında HDPE olmasında rağmen HDPE’in karakteristik erime ve kristallenme pikleri gözlemlenmemiştir.

Çizelge 4.1. LDPE / HDPE liflerin DSC ölçümlerinde gözlemlenen erime ve kristalizasyon sıcaklıkları

| Numune | Lifin dış kısmına beslenen polimer | Lifin iç kısmına beslenen polimer | İlk Isıtma - Erime sıcaklığı (°C) | İkinci Isıtma - Erime sıcaklığı (°C) | Soğutma-Kristalizasyon Sıcaklığı (°C) |
|--------|------------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|--------------------------------------|---------------------------------------|
| (a) | LDPE | Hollow | 107.47 | 107.95 | 96.47 |
| (b) | LDPE | Hollow | 107.47 | 108.30 | 95.30 |
| (c) | LDPE | LDPE | 107.61 | 108.13 | 94.81 |
| (d) | LDPE | LDPE(%60) HDPE(%40) | 107.75 | 108.31 | 95.59 |
| (e) | LDPE(%60) HDPE(%40) | LDPE(%60) HDPE(%40) | 106.27 127.06 | 107.18 127.31 | 96.03 116.10 |
| (f) | LDPE(%40) HDPE(%60) | LDPE(%40) HDPE(%60) | 102.71 122.87 | 105.71 129.27 | 95.83 117.01 |
| (g) | HDPE | HDPE | 131.54 | 134.06 | 119.08 |

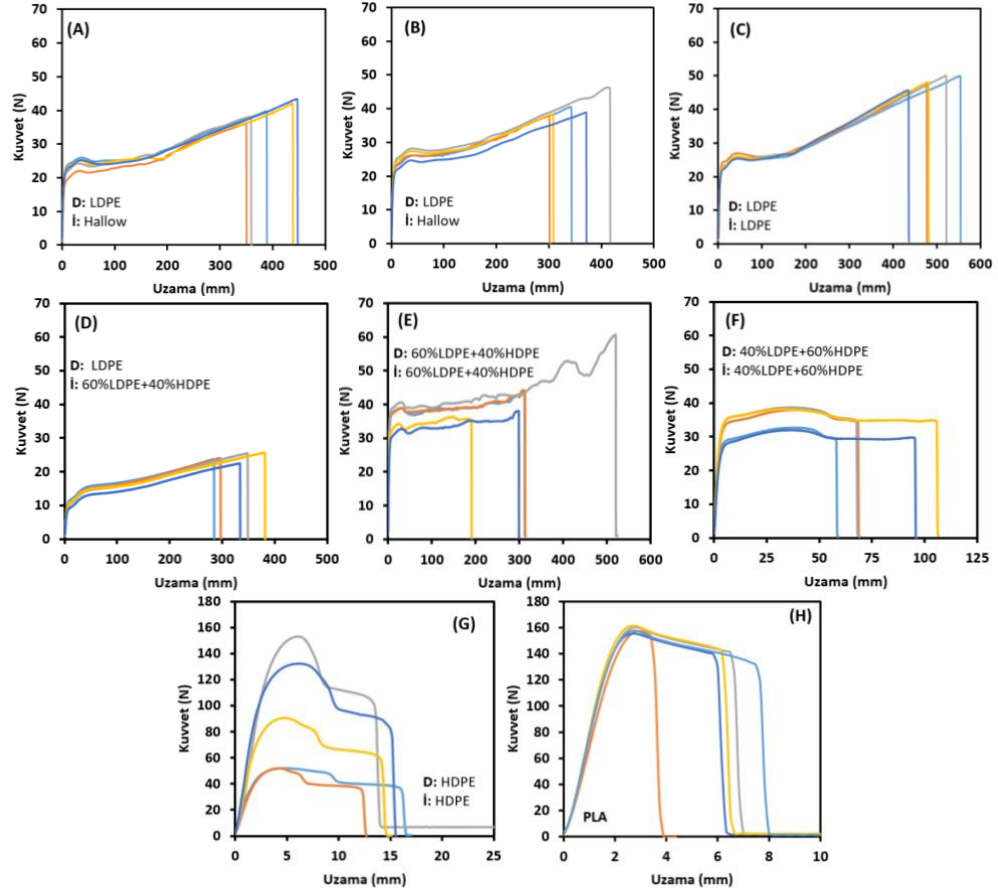


Şekil 4.6. Eriyikten çekimde üretilen LDPE / HDPE liflerin TGA grafikleri: (a) N-a, (b) N-b, (c) N-c, (d) N-d, (e) N-e, (f) N-f, ve (g) N-g

Saf HDPE, LDPE ve karışım LDEP / HDPE liflerin termogravimetrik analizleri 25 ile 700 °C sıcaklık aralığında azot gazı atmosferinde (600 °C den sonra ortama hava gazıda katılmıştır) yapılmış, elde edilen grafikler Şekil 4.6’da sunulmuştur. Dekompozizasyon genel olarak 300-500 °C aralığında gerçekleşmiştir, bu polimerlerin sıcaklığa bağlı olarak bozunmasından dolayı açığa çıkardıkları uçucu gazların uzaklaştırılmasından kaynaklanmaktadır. Termal bozunma sıcaklığı HDPE’in yapıda bulunması ile birlikte daha yüksek sıcaklık değerlerine kaymıştır. Test sonrasında hemen hemen bütün numuneler yanarak sistemden uzaklaşmıştır ve herhangi bir numune kalıntısına rastlanmamıştır.

Çizelge 4.2. Eriyikten çekimle üretilen LDPE / HDPE liflerinin çap ölçümleri

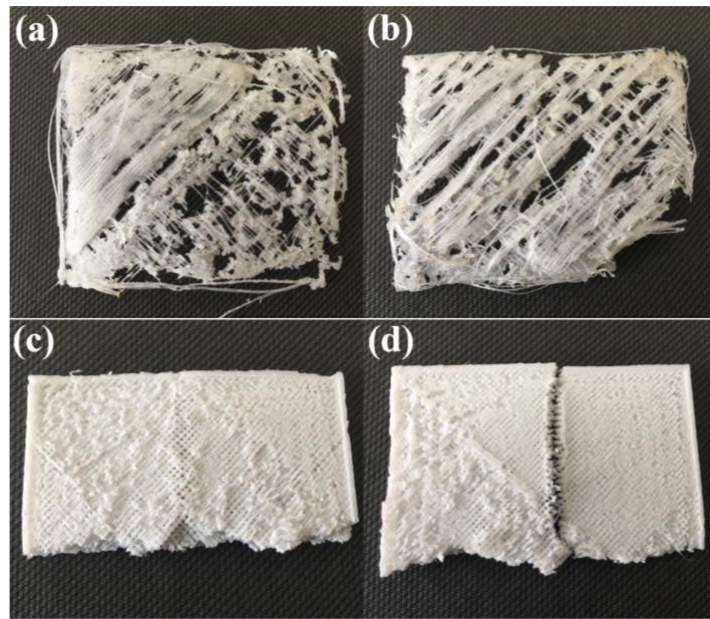
| Numune Adı | Numune A | Numune B | Numune C | Numune D | Numune E | Numune F | Numune G |
|------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| 1. Ölçüm | 1,60 mm | 1,50 mm | 1,00 mm | 1,20 mm | 1,00 mm | 1,90 mm | 2,50 mm |
| 2. Ölçüm | 1,50 mm | 1,80 mm | 0,80 mm | 1,80 mm | 1,10 mm | 1,30 mm | 1,90 mm |
| 3. Ölçüm | 1,10 mm | 1,90 mm | 1,30 mm | 1,90 mm | 1,00 mm | 2,00 mm | 1,30 mm |
| 4. Ölçüm | 1,20 mm | 2,00 mm | 2,00 mm | 2,10 mm | 1,20 mm | 2,00 mm | 1,50 mm |
| 5. Ölçüm | 1,30 mm | 2,20 mm | 1,50 mm | 1,30 mm | 1,60 mm | 1,60 mm | 1,70 mm |
| 6. Ölçüm | 1,30 mm | 1,70 mm | 1,50 mm | 1,80 mm | 1,70 mm | 1,50 mm | 2,00 mm |
| 7. Ölçüm | 1,50 mm | 1,10 mm | 1,70 mm | 1,60 mm | 2,40 mm | 1,30 mm | 1,90 mm |
| 8. Ölçüm | 2,20 mm | 1,70 mm | 2,20 mm | 1,40 mm | 1,90 mm | 1,40 mm | 0,90 mm |
| 9. Ölçüm | 1,10 mm | 1,70 mm | 1,40 mm | 1,50 mm | 1,30 mm | 1,10 mm | 1,90 mm |
| 10. Ölçüm | 1,90 mm | 1,70 mm | 1,70 mm | 1,70 mm | 1,80 mm | 2,50 mm | 2,50 mm |
| Ortalama | 1,47 mm | 1,73 mm | 1,51 mm | 1,63 mm | 1,50 mm | 1,66 mm | 1,81 mm |



Şekil 4.7. Eriyikten çekimde üretilen LDPE / HDPE liflerin kuvvet-uzama grafikleri: (A) N-a, (B) N-b, (C) N-c, (D) N-d, (E) N-e, (F) N-f, ve (G) N-g. (H) PLA lifinin kuvvet-uzama grafikleri

Her lif grubu numunesi için beşer tane kuvvet-uzama testi yapılmıştır ve grafikler Şekil 4.7’de sunulmuştur. Her numune grubu için kopma anındaki kuvvetler beş numunenin ortalaması alınmak suretiyle belirlenmiştir. Kopma mukavemetleri “a”, “b”, “c”, “d”, “e”, “f” ve “g” numuneler beş testin ortalaması olan 39.4, 40.4, 48.2, 23.6, 43.8, 32 ve 63.4 N olarak hesaplanmıştır. “f” ve “g” numunelerinden elde edilen grafiklerde bu değerler kopma mukavemeti değilde en yüksek kuvvet değerine tekabül eden akma noktası değerleri alınmıştır. Buda lif yapısındaki HDPE’in mekanik testteki baskın etkisinden kaynaklanmaktadır. Grafiklerden görüldüğü üzere her grubun kendi içerisinde kuvvet-uzama eğrileri şekil olarak beş numune içinde birbirine benzemesine rağmen eğrilerin maksimum ve minimum değerleri arasındaki farklar fazladır, bunun nedeni test edilen lif numunelerinin çaplarının farklılığından kaynaklanmaktadır. Çizelge 4.2’de her bir lif numunesinin on farklı bölgesinden alınan çap ölçümleri verilmektedir. PLA lifi daha lineer bir yapıya sahip olup ölçülen lif çapı yaklaşık 1,74 mm civarındadır. HDPE miktarının fazla olduğu veya lifin sadece HDPE olduğu

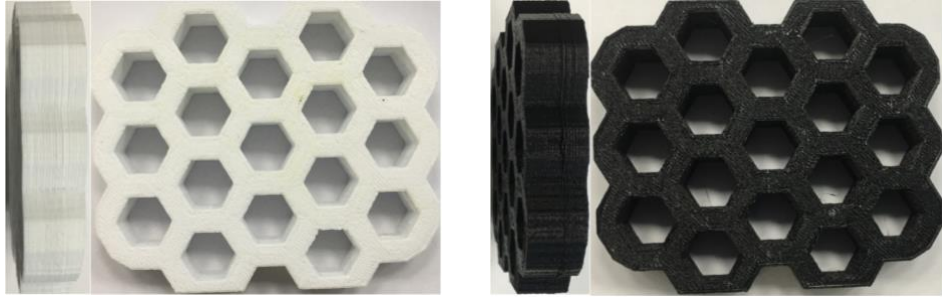
numunelerde maksimum kuvvet değeri LDPE baskın numunelere kıyasla daha büyüktür. Ayrıca kıyaslama amacı ile endüstriyel ve 3D parça yapımına uygun bir PLA lifi kullanılarak ta 3D yazıcı ile balpeteği yapı üretilecek ve kendi ürettiğimiz LDPE / HDPE liflerden üretilecek olan balpeteği yapı ile kıyaslanacaktır. Bu kapsamda kullanılacak olan PLA lifine ait kuvvet-uzama test grafikleri Şekil 4.7H’da sunulmuştur. Yapılan beş ölçümün ortalaması olarak PLA lifinin kopma mukavemetleri ortalaması 158,38 N olarak bulunmuştur. PLA liflerinin kopma anındaki uzaması üretilen LDPE, HDPE ve LDPE / HDPE liflere kıyasla oldukça düşük olduğu görülmektedir.



Şekil 4.8. 3D yazıcı ile balpeteği üretim denemelerinin fotoğraf resimleri: (a) N-e, BH=10, NS=237, YS=82; (b) N-e, BH=10, NS=237, YS=70; (c) N-d, BH=10, NS=237, YS=74; ve (d) N-d, BH=50, NS=230, YS=80

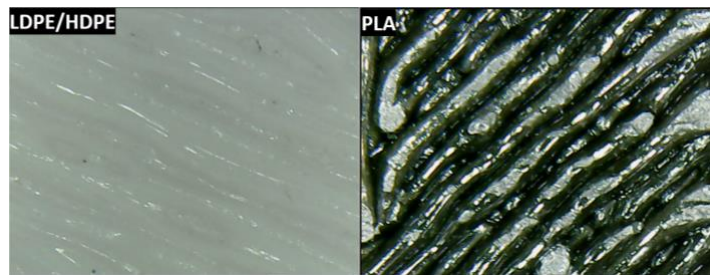
Üretilen her lif numune grubu ile 3D parçaların üretimi üzerine ön çalışma yapılmıştır. Sadece LDPE içeren N-a, N-b ve N-c lif numuneleri kullanılarak 3D yazıcı ile parçaların üretimi denenmiş fakat yapıların oluşturulması başarısız olmuştur. LDPE 3D yazıcının lifin beslenip eritildiği düzenin tıkanmasına neden olduğu ve eriyiği şekil oluşum yatağına temas ettikten sonra yüzeyde kalmayıp hareketli olan düzenin etkisi ile sakız gibi uzadığı için 3D yapıların üretimi gerçekleştirilememiştir. Diğer taraftan N-f de HDPE miktarının fazla olması, N-g ise tamamen HDPE den oluşuyor olması sebebi ile bu çalışmada kullanılan 3D yazıcıdaki düze çıkışında eriyik sağlanamamıştır ve bu numunelerden 3D parçalar üretilenmemiştir. Diğer taraftan literatürde HDPE liflerden 3D

yazıcılarla parça üretimi üzerine yapılan çalışmalar mevcuttur (Schirmeister ve ark. 2019), fakat bu çalışmada kullanılan 3D yazıya bağlı olarak kendi ürettiğimiz HDPE liflerden 3D parçalar üretilmemiştir. Yapısında 3/2 oranında LDPE / HDPE olan N-e numunesinden kısmi olarak parça üretilmiştir, fakat Şekil 4.8 a, b'de görüldüğü gibi düzgün bir 3D yapı üretilmemiştir. Diğer taraftan bikomponent lif yapısına sahip olan N-d numunesinden düzgün 3D yapı elde edilebilmiştir (Şekil 4.8 c, d). Bu yüzden üretilmesi planlanan balpeteği yapı N-d lif numunesi kullanılarak üretilmiştir.



Şekil 4.9. N-d (LDPE / HDPE) ve PLA lifleri kullanılarak 3D yazıcı ile üretilen balpeteği yapı. Beyaz olan numune: N-d (LDPE / HDPE), ve siyah olan numune: PLA

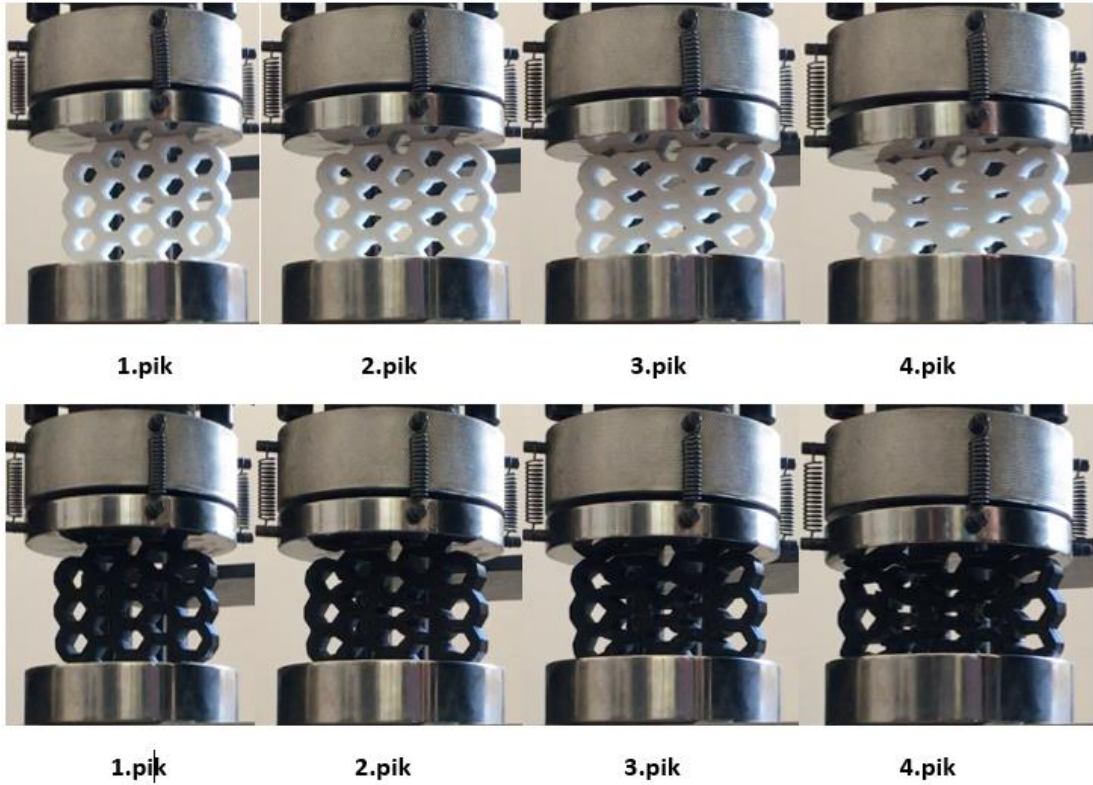
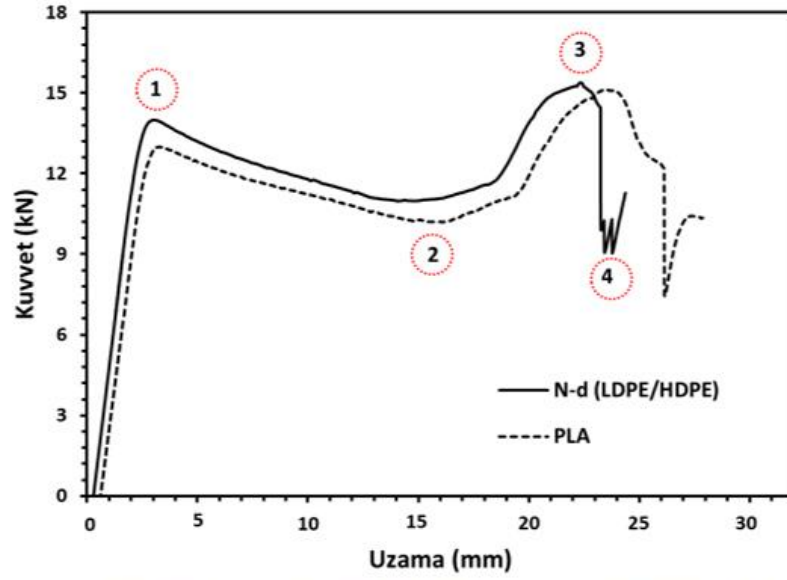
LDPE / HDPE bikomponent lif yapısından oluşan N-d numunesinden elde edilen balpeteği yapı ve bu yapı ile kıyaslamak için piyasada 3D yazıcılarda yaygın kullanılan PLA lifinden de aynı ölçülerde balpeteği yapı üretilmiştir (Şekil 4.9). Üretilen her iki balpeteği yapının enleri 91,6 mm, boyları 76,2 mm ve kalınlık ise 15 mm olarak ölçülmüştür. Altıgen yapıların iç taraftan ölçülen düz duvarları (kenarları) arası mesafe ise 12,5 mm olarak ölçülmüştür.



Şekil 4.10. N-d (LDPE / HDPE) ve PLA liflerden üretilen 3D balpeteklerinin büyütülmüş yüzey görüntüleri.

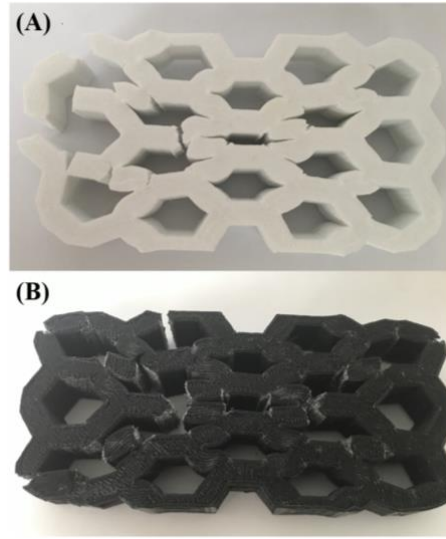
Şekil 4.10'da LDPE/HDPE bikomponent ve PLA liflerden üretilen 3D üretilen balpeteği yapılarının yüzeyleri yakınlştırılarak incelenmiştir. 3D yazıcıda üretim

esnasında lifi eriterek besleme yapan hareketli düze doğrulusunda yönlenmeye bağlı olarak pürüzlü bir yüzeyin oluştuğu her iki numunede de görülmektedir. Pürüzlü yüzeyin PLA'dan elde edilen numunede daha belirgin olduğu görülmektedir.



Şekil 4.11. N-d (LDPE / HDPE) ve PLA liflerden üretilen 3D balpeteği yapıların bası mukavemeti test grafikleri ve pik noktalarındaki görselleri.

LDPE / HDPE bikomponent (N-d) ve PLA liflerden üretilen 3D balpeteği yapıları uygulanan bası mukavemeti test grafikleri ve bu grafikteki pik noktalarına tekabül eden numunelerin görselleri Şekil 4.11’de verilmiştir. Bası mukavemeti testi esnasında testin başlangıcından itibaren yükleme devam ederken 1.pik noktasında LDPE / HDPE numunesinde 13,97 kN’da PLA numunesinde ise 12,99 kN’da ani burkulma ile deformasyon meydana gelmiştir. Burkulma sonucu deformasyon sonrası 2.pik noktaya kadar yükleme devam ederken kuvvet değeri düşmüş, bu noktadan sonra 3.pik noktasında LDPE / HDPE numunesinde 15,32 kN’da PLA numunesinde ise 15,10 kN’da maksimuma ulaşacak şekilde yükleme ile birlikte tekrar kuvvet değeri artmaya devam etmiştir. 3. bölgenin sonunda maksimum kuvvet değerine ulaşmış ve yapı tekrardan belirtilen bölgelerde burkulmaya maruz kalmış ve ikinci kez ani deformasyon gerçekleşmiştir. Buda kuvvet değerinin düşmesine neden olmuş 4.pik noktasında numunelerde kırılmalar meydana gelmiş ve deney sonlandırılmıştır.



Şekil 4.12. (A) N-d (LDPE / HDPE) ve (B) PLA liflerden üretilen 3D balpeteği yapıların bası mukavemeti test sonrası resimleri

Bası mukavemet testleri sonrasında balpeteği numunelerinin fotoğraf görüntüleri alınarak (Şekil 4.12) analiz edilmiştir. LDPE / HDPE balpeteği numunesine kıyasla PLA numunesinde kırılma bölgesi daha fazladır. Her iki numunede’de merkeze yakın bölgelerdeki balpeteklerinde gerçekleşen şekil değişikliği daha fazladır buda başlangıçta 1.pik pozisyonuna kadar olan yüklemde sol ve sağ taraftaki dikey sıralı balpetekleri basının sağlandığı düzlemlerle temas etmezken 2.pik pozisyonundan sonra dış

kısımdaki bal petekleride yüzeyle temas emesinden kaynaklanmaktadır. Bu yüzden Şekil 4.11’de her iki numune içinde 3.pik noktasında gerçekleşen burkulma anındaki kuvvet değerleri 1. Pik noktasındakilerden daha yüksektir.

5. SONUÇ

Bu tez çalışmasında granül formdaki LDPE ve HDPE'den eriyikten çekim yöntemi ile sade, karışım ve bikomponent formlarda lifler üretilmiştir. Liflerin optik mikroskopla kesit görüntü analizlerinin yanı sıra kimyasal, kristal ve mikroyapı, termal stabilite ve mekanik analizleri yapılmıştır. Üretilen liflerden 3D yazıcı ile üretim denemeleri yapılmış, bikomponent formdaki LDPE / HDPE lifinin mevcut 3D yazıcı için en uygun lif olduğu tespit edilmiştir. LDPE / HDPE lifinden balpeteği formda 3D parça üretilerek bası mukavemeti testine tabi tutulmuştur. 3D yazıcılarda yaygın olarak kullanılan PLA lifleri ile de aynı boyutlarda balpeteği yapı üretilip bası mukavemeti analizi yapılmıştır. LDPE / HDPE ve PLA numunelerinin bası mukavemeti davranışları benzer özellikler gösterdiği ve değerlerin birbirine yakın olduğu gözlemlenmiştir. Sonuç olarak LDPE / HDPE bikomponent lifleri PLA lifleri gibi termoplastik karakteristikte olması ve üretilen 3D balpeteği yapının bası mukavemet karakteristiklerinin benzer olması LDPE / HDPE bikomponent liflerin 3D yazıcılarda PLA liflerine alternatif olabileceği sonucuna varılmıştır.

KAYNAKLAR

- Aslan, M., Güler, O., Alver, Ü. 2018.** The Investigation of the Mechanical Properties of Sandwich Panel Composites with Different Surface and Core Materials. *Pamukkale University Journal of Engineering Sciences*, 24(6):, 1062–1068.
- Anonim, 2016a.** S 0464 Yüksek yoğunluklu polietilen ürün özellikleri: Petkim Petrokimya Holding A.Ş. Ürünleri (<http://www.petkim.com.tr/Sayfa/1/1333/URUN-OZELIKLERI.aspx>.) (erişim tarihi: 31.07.2019)
- Anonim, 2016b.** G08-21T Düşük yoğunluklu polietilen ürün özellikleri: Petkim Petrokimya Holding A.Ş. Ürünleri (<http://www.petkim.com.tr/Sayfa/1/1333/URUN-OZELIKLERI.aspx>.) (erişim tarihi: 31.07.2019)
- Anonim, 2019.** (<https://tmo.org.tr/teknik-bilgiler/>) (erişim tarihi: 31.07.2019)
- Aydın, L., Küçük, S. 2017.** Üç Boyutlu Yazıcı Ve Tarayıcı Ile Hastaya Özel Medikal Ortez Tasarımı Ve Geliştirilmesi. *Politeknik Dergisi*, 20(1):, 1–8. Retrieved from
- Bak, D. 2003.** Rapid prototyping or rapid production 3D printing processes move industry towards the latter. *Assembly Automation*.
- Balogun, H. A., Sulaiman, R., Marzouk, S. S., Giwa, A., Hasan, S. W. 2019.** 3D printing and surface imprinting technologies for water treatment: A review. *Journal of Water Process Engineering*, 31(October 2018):, 100786.
- Berman, B. 2012.** 3-D printing: The new industrial revolution. *Business Horizons*, 55(2):, 155–162.
- Blok, L. G., Longana, M. L., Yu, H., Woods, B. K. S. 2018.** An investigation into 3D printing of fibre reinforced thermoplastic composites. *Additive Manufacturing*, 22(November 2017):, 176–186.
- Çelik, İ., Karakoç, F., Çakır, M.C., Duysak, A., 2013.** Hızlı Prototipleme Teknolojileri ve Uygulama Alanları. *Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 53-70.
- Çelen, R., Ulcay, Y. 2019.** Bikomponent Lifler. *Tekstil ve Mühendis*, 26(114):, 177–187.
- Cho, H. H., Kim, K. H., Kang, Y. A., Ito, H., Kikutani, T. 2000.** Fine structure and physical properties of polyethylene/poly(ethylene terephthalate) bicomponent fibers in high-speed spinning. I. Polyethylene sheath/poly(ethylene terephthalate) core fibers. *Journal of Applied Polymer Science*, 77(10):, 2254–2266.
- Compton, B. G., Lewis, J. A. 2014.** 3D-printing of lightweight cellular composites. *Advanced Materials*, 26(34):, 5930–5935.
- da Silva, D. J., Wiebeck, H. 2018.** CARS-PLS regression and ATR-FTIR spectroscopy for eco-friendly and fast composition analyses of LDPE/HDPE blends. *Journal of Polymer Research*, 25(5):.
- Dai, Z., Su, J., Zhu, X., Xu, K., Zhu, J., Huang, C., Ke, Q. 2018.** Multifunctional polyethylene (PE)/polypropylene (PP) bicomponent fiber filter with anchored nanocrystalline MnO₂ for effective air purification. *Journal of Materials Chemistry A*, 6(30):, 14856–14866.
- Dizon, J. R. C., Espera, A. H., Chen, Q., Advincula, R. C. 2018.** Mechanical characterization of 3D-printed polymers. *Additive Manufacturing*, 20:, 44–67.
- Duda, T., Raghavan, L. V. 2016.** 3D Metal Printing Technology. *IFAC-PapersOnLine*, 49(29):, 103–110.
- Dvorak, V., Kracik, J., 2018.** Experimental investigation of centrifugal fans for personal protection equipment - effect of used 3D printing technologies. *The european*

physical journal conferences. 180

Gabriel, L. H. 2015. History and Physical Chemistry of HDPE. , pp1-4. https://plasticpipe.org/pdf/chapter1history_physical_chemistry_hdpe.pdf , (Erişim Tarihi: 31.07.2019)

Gulmine, J. V., Janissek, P. R., Heise, H. M., Akcelrud, L. 2002. Polyethylene characterization by FTIR. *Polymer Testing*, 21(5):, 557–563.

Gür, Y. 2017. 3 Boyutlu masaüstü yazıcı ile matematiksel bir modelden gerçek bir nesnenin dijital üretimi. *BAUN Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 19(2):, 2371-245

Gün, D., Demircan, B., Şevkan, A. 2011. Mikroliflerin Üretim Yöntemleri, Özellikleri Ve Kullanım Alanları. *Tekstil ve Mühendis*,(84):, 38-46

Guo, H., Lv, R., Bai, S. 2019. Recent advances on 3D printing graphene-based composites. *Nano Materials Science*, 1(2):, 101–115.

Hamod, H. 2014. Suitability of recycled HDPE for 3D printing filament. *Arcada University of Applied Science*.

Kaleli, N., Saraç D. 2014. Protetik diş tedavisinde lazer sinterleme sistemleri. *Ondokuz mayıs üniversitesi diş hekimliği fakültesi dergisi*, 15(3):, 27-33

Kim, H. S., Ito, H., Kikutani, T., Okui, N. 1997. The thermal-bonding behaviour of polyethylene/poly(ethylene terephthalate) bicomponent fibres. *Journal of the Textile Institute*, 88(3):, 37–51.

Kreiger, M. A., Mulder, M. L., Glover, A. G., Pearce, J. M. 2014. Life cycle analysis of distributed recycling of post-consumer high density polyethylene for 3-D printing filament. *Journal of Cleaner Production*, 70:, 90–96.

Lin, Y., Du, W., Tu, D., Zhong, W., Du, Q. 2005. Space charge distribution and crystalline structure in low density polyethylene (LDPE) blended with high density polyethylene (HDPE). *Polymer International*, 54(2):, 465–470.

Liu, J., Sun, L., Xu, W., Wang, Q., Yu, S., Sun, J. 2019. Current advances and future perspectives of 3D printing natural-derived biopolymers. *Carbohydrate Polymers*, 207(November 2018):, 297–316.

Maden, H., Kmaber, Ö. Ş., 2018. FDM teknoloji ile üretilen prototip parçalarının hataları ve hataların önlenmesi. *International journal of 3D technologies and gıgital industry*, 2(1):, 40-51

MEGEP. 2011. Tekstil Teknolojisi: Filament İplik Üretimi, Milli Eğitim Bakanlığı, Ankara.

Menderes, K. A. M., \IPEKÇ\I, A., Saruhan, H. 2017. Investigation of 3d printing filling structures effect on mechanical properties and surface roughness of PET-G material products. *Gaziosmanpaşa Bilimsel Araştırma Dergisi*, 6(Özel Sayı (ISMSIT2017)):, 114–121.

Munaro, M., Akcelrud, L. 2008. Correlations between composition and crystallinity of LDPE/HDPE blends. *Journal of Polymer Research*.

Murr, L. E. 2016. Frontiers of 3D Printing/Additive Manufacturing: from Human Organs to Aircraft Fabrication. *Journal of Materials Science and Technology*.

Naeimirad, M., Zadhoush, A., Kotek, R., Esmaeely Neisiany, R., Nouri Khorasani, S., Ramakrishna, S. 2018. Recent advances in core/shell bicomponent fibers and nanofibers: A review. *Journal of Applied Polymer Science*, 135(21):, 28–30.

Özgüven, S. 2015. *Seramik sanataında üç boyutlu yazıcıların yeni bir ifade biçimi olarak kullanılması*. *İdil* 4(18):, 167-183

Özsoy, K., Duman, B., 2017. Eklemeli imalat (3 boyutlu baskı) Teknolojilerinin eğitimde kullanılabilirliği. *International journal of 3D Printing Technologies and*

digital industry 1(1)., 26-48

Park, H.-Y., Kim, E.-H., Cho, G.-H., Jung, Y.-G., Zhang, J. 2019. Process Development of Fabricating Ceramic Core using 3D Printing Technique. *Materials Chemistry and Physics*.

Peng, F., Jiang, H., Woods, A., Joo, P., Amis, E. J., Zacharia, N. S., Vogt, B. D. 2019. 3D Printing with Core–Shell Filaments Containing High or Low Density Polyethylene Shells. *ACS Applied Polymer Materials*, 1(2):, 275–285, research-article.

Sang, L., Han, S., Peng, X., Jian, X., Wang, J. 2019. Development of 3D-printed basalt fiber reinforced thermoplastic honeycombs with enhanced compressive mechanical properties. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 125(July):, 105518.

Schirmeister, C. G., Hees, T., Licht, E. H., Mülhaupt, R. 2019. 3D printing of high density polyethylene by fused filament fabrication. *Additive Manufacturing*, 28(April):, 152–159.

Shahi, P., Behravesh, A. H., Haghtalab, A., Rizvi, G., Goharpei, F. 2017. An experimental study on foaming of linear low-density polyethylene/high-density polyethylene blends. *Journal of Cellular Plastics*, 53(1):, 83–105.

Sogancioglu, M., Yel, E., Ahmetli, G. 2017. Pyrolysis of waste high density polyethylene (HDPE) and low density polyethylene (LDPE) plastics and production of epoxy composites with their pyrolysis chars. *Journal of Cleaner Production*, 165:, 369–381.

Sun, K., Wei, T. S., Ahn, B. Y., Seo, J. Y., Dillon, S. J., Lewis, J. A. 2013. 3D printing of interdigitated Li-ion microbattery architectures. *Advanced Materials*.

Vak, D., Hwang, K., Faulks, A., Jung, Y. S., Clark, N., Kim, D. Y., Wilson, G. J., Watkins, S. E. 2015. 3D printer based slot-die coater as a lab-to-fab translation tool for solution-processed solar cells. *Advanced Energy Materials*.

Wang, J., Goyanes, A., Gaisford, S., Basit, A.W., 2016. Stereolithographic (SLA) 3D printing of oral modified-release dosage forms. *international journal of pharmaceutics*, 503(1-2):, 207-212.

Yan, Q., Dong, H., Su, J., Han, J., Song, B., Wei, Q., Shi, Y. 2018. A Review of 3D Printing Technology for Medical Applications. *Engineering*, 4(5):, 729–742.

Yap, Y. L., Yeong, W. Y. 2015a. Shape recovery effect of 3D printed polymeric honeycomb: This paper studies the elastic behaviour of different honeycomb structures produced by PolyJet technology. *Virtual and Physical Prototyping*, 10(2):, 91–99.

Yap, Y. L., Yeong, W. Y. 2015b. Shape recovery effect of 3D printed polymeric honeycomb. *Virtual and Physical Prototyping*.

Zhang, M., Zhao, M., Jian, M., Wang, C., Yu, A., Yin, Z., Liang, X., Wang, H., Xia, K., Liang, X., Zhai, J., Zhang, Y. 2019. Printable Smart Pattern for Multifunctional Energy-Management E-Textile. *Matter*, 1(1):, 168–179.

Zhang, Y. S., Yue, K., Aleman, J., Mollazadeh-Moghaddam, K., Bakht, S. M., Yang, J., Jia, W., Dell’Erba, V., Assawes, P., Shin, S. R., Dokmeci, M. R., Oklu, R., Khademhosseini, A. 2017. 3D Bioprinting for Tissue and Organ Fabrication. *Annals of Biomedical Engineering*.

Yıldırım, K., Özçağatay, U., Köstem, A.M., Güçer, Ş. 2009. Polietilen Tipinin Belirlenmesinde Analitik Metot. 12. Tekstil Teknolojisi ve Kimyasındaki Son Geliştirmeler Sempozyumu, 06 – 09 Mayıs 2009, KMO, Bursa.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Oğuzhan USLU
Doğum Yeri ve Tarihi : Çorum / 28.05.1993
Yabancı Dil : İngilizce

Eğitim Durumu

Lise : Çorum Atatürk Lisesi (2007-2011)
Lisans : Bursa Uludağ Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi,
Tekstil Mühendisliği Bölümü (2011-2016)
Yüksek Lisans : Bursa Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü,
Tekstil Mühendisliği Ana Bilim Dalı (2016-2019)

İletişim (e-posta) : usluoguzhan2@gmail.com