

T.C
TRAKYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BİYOBOZUNUR MALZEMELERİN ÜÇ BOYUTLU YAZICILARDA
KULLANIMI

ERNUR MARANGOZ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Tez Danışmanı: Tahir ALTINBALIK

EDİRNE-2021

ERNUR MARANGOZ'un hazırladığı **BİYOBOZUNUR MALZEMELERİN ÜÇ BOYUTLU YAZICILARDA KULLANIMI** başlıklı bu tez tarafımızca okunmuş olup, kapsam ve niteliği açısından **Makine Mühendisliği Anabilim Dalında** bir **Yüksek Lisans tezi** olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmza

Prof. Dr. Tahir ALTINBALIK

Prof. Dr. Yılmaz ÇAN

Doç. Dr. Ümit HÜNER

Tez Savunma Tarihi: 30/12/2021

Bu tezin Yüksek Lisans/Doktora tezi olarak gerekli şartları sağladığını onaylarım.

İmza

Prof. Dr. Tahir ALTINBALIK
Tez Danışmanı

Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü onayı

Prof. Dr. Hüseyin Rıza Ferhat KARABULUT

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

T.Ü. FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI YÜKSEK LİSANS PROGRAMI
DOĞRULUK BEYANI

Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmasında, tüm verilerin bilimsel ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini, kullanılan verilerde tahrifat yapılmadığını, tezin akademik ve etik kurallara uygun olarak yazıldığını, kullanılan tüm literatür bilgilerinin bilimsel normlara uygun bir şekilde kaynak gösterilerek ilgili tezde yer aldığını ve bu tezin tamamı ya da herhangi bir bölümünün daha önceden Trakya Üniversitesi ya da farklı bir üniversitede tez çalışması olarak sunulmadığını beyan ederim.

30 / 12 / 2021

Ernur MARANGOZ

İmza

Yüksek Lisans Tezi
Biyobozunur Malzemelerin Üç Boyutlu Yazıcılarda Kullanımı
Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

ÖZET

Çağımızın büyük sorunlarından biri haline gelen çevre kirliliğinin yavaşlatılması ve önlenmesi amacıyla doğaya zarar vermeyen çevre dostu malzemelerin kullanımı gereklilik haline gelmiştir.

Bu tez çalışmasında, biyobozunur malzemelerden olan nişasta matrisli biyopolimerlere grafit, cam elyafı, ince kum, karbon elyafı takviye malzemelerinin eklenmesi ve pekleştirici özellikteki gliserolün karışımdan çıkarılmasıyla oluşturulan polimerin mekanik özelliklerindeki değişimler ve elektriksel iletim özelliği analiz edilmiştir ve bu polimer karışımının “core –xy” tipi olan ve vidalı hazneli ekstruder’a sahip üç boyutlu yazıcıda kullanımı denemeleri uygulamalı olarak yapılmıştır.

Yıl : 2021

Sayfa Sayısı : 63

Anahtar Kelimeler : mısır nişastası, biyobozunur malzemeler, biyoplastik, nanokompozit, grafit, karbon fiber, cam elyafı, üç boyutlu yazıcı

Master's Thesis

Usage of Biodegradable Materials in Three Dimensional Printers

Trakya University Institute of Natural and Applied Sciences

Department of Mechanical Engineering

ABSTRACT

In order to slow down and prevent environmental pollution, which has become one of the major problems of our age, the use of environmentally friendly materials that do not harm nature has become a necessity.

In this thesis, the changes in the mechanical properties and electrical conduction properties of the polymer formed by adding graphite, glass fiber, fine sand, carbon fiber reinforcement materials to starch matrix biopolymers and removing the glycerol with hardening properties from the mixture were analyzed. The production trials of polymer mixture in three- dimensional printer which is “core-xy” type and have screw chamber extruder, were carried out practically

Year : 2021

Number of Pages : 63

Keywords : corn starch, biodegradable materials, bioplastic, nanocomposite, graphite, carbon fiber, fiber glass, 3D Printer

TEŞEKKÜR

Bu tez çalıőmasının baőından sonuna kadar emeği geçen, teknik bilgi ve tecrubesini benden esirgemeyen ve bana yol gosteren saygıdeğer hocam ve danıőmanım Sayın Dr. Ertuęrul Selçuk ERDOęAN'a tım katkılarından dolayı teşekkür ederim.

Dr. Selçuk Erdoęan hocamın emekli olması nedeniyle danıőmanlıęı ve sorumluluğumu üstlenen ve desteğini esirgemeyen Prof. Dr. Tahir ALTINBALIK'a ve desteğinden ötürü Doç. Dr. Ümit HÜNERE teşekkür ederim.

Bunun yanında yoğun zamanlarımda anlayıőlı davranan tım iő arkadaşlarıma ve aileme teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	x
BÖLÜM 1	1
GİRİŞ	1
1.1 . Malzeme Grupları.....	2
1.1.1. Metaller	2
1.1.2. Seramikler	3
1.1.3. Kompozit Malzemeler	4
1.1.4.1.Biyoplastikler.....	6
BÖLÜM 2	8
ÜÇ BOYUTLU YAZICI	8
2.1.Üç Boyutlu Yazıcı Teknolojisi.....	8
2.1.1. Çalışma Prensibi	8
2.1.2. Biyoplastiklerin ve Kompozitlerin Üç Boyutlu Yazıcılarda Kullanımı	9
BÖLÜM 3	12
KAYNAK ARAŞTIRMASI	12
BÖLÜM 4	16
MATERYAL VE METHOD	16
4.1.İzlenecek Yol.....	16
4.2.Üç Boyutlu Yazıcının İmalatı.....	16
4.3.Numunenin Hazırlanması.....	20
4.3.1. Nişasta Matrisli, %11,7 Grafit Tozu Takviyeli Bitoplastik	21

4.3.2. Nişasta Matrisli, %15 Grafit ve %10 İnce Kum Takviyeli Biyoplastik	22
4.3.3. Nişasta Matrisli, %15 Grafit ve %10 Cam Elyaf Takviyeli Biyoplastik	23
4.3.4. Nişasta Matrisli, %15 Grafit ve %10 Karbon Elyaf Takviyeli Biyoplastik...	23
4.3.5. Nişasta Matrisli, %25 Grafit Takviyeli Biyoplastik	24
4.4. Biyoplastiklere Uygulanan Testler	24
4.4.1. Mikroskopik İnceleme	24
4.4.2. Elektriksel İletim Ölçümleri	25
4.4.3. Çekme Dayanımlarının Ölçülmesi.....	25
BÖLÜM 5	27
SONUÇLAR VE TARTIŞMA	27
5.1. Plastiklerin Mikroskop Altındaki Morfolojik Görüntüleri.....	28
5.2. Plastiklerin Elektriksel İletim Sonuçları.....	29
5.2.1. %11,7 Grafit Tozu Takviyeli Biyoplastiğin İletkenlik Testi Sonuçları.....	29
5.2.2. %10 İnce Kum ve %15 Grafit Tozu Takviyeli Biyoplastiğin İletkenlik Testi Sonuçları	32
5.2.3. %10 Cam Elyaf ve %15 Grafit Tozu Takviyeli Biyoplastiğin İletkenlik Testi Sonuçları	34
5.2.4. %25 Grafit Tozu Takviyeli Biyoplastiğin İletkenlik Testi Sonuçları.....	37
5.2.5. PLA Biyoplastiğin İletkenlik Testi Sonuçları.....	40
5.3. Takviyesiz Biyoplastiğin Çekme Testi Sonuçları	42
5.3.1. Takviyesiz Biyoplastiğin Çekme Testinin Yorumlanması	43
5.4. Takviyeli Biyoplastiklerin Çekme Testi Sonuçları	44
5.4.1. Takviyeli Biyoplastiklerin Çekme Testlerinin Yorumlanması	44
5.5. Biyoplastiklerin Üç Boyutlu Yazıcıdaki Çıktıları	46
5.5.1. %11,7 Grafit Tozu Takviyeli Biyoplastiğin Çıktısı	46
5.5.2. %10 İnce Kum ve %15 Grafit Tozu Takviyeli Biyoplastiğin Çıktısı.....	46
5.6. Genel Değerlendirme	47
EKLER	49
KAYNAKLAR	50
ÖZGEÇMİŞ	52

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

A	Amper
°C	Celsius
F	Kuvvet
°F	Fahrenheit
I	Akım
kN	Kilo Newton
MPa	Mega Pascal
R	Direnç
TiO ₂	Titanyum Oksit
V	Volt (Gerilim)
Ω	Ohm
Ph	Potansiyel hidrojen
P	Rho
σç	Çekme Dayanımı

Kısaltmalar

DC	Doğru Akım
FDM	Fused Deposition Modeling (ergiyik yığıma modelleme)
LED	Işık Yayan Diyot
PLA	polilaktik asit
PVOH	Poly Vinil Alkol
AESO	Akrilatlanmış epoksitlenmiş soya fasulyesi yağı

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2. 1	1995-1996 yıllarında MIT de 3d baskısı alınan bir Ayasofya modeli.....	10
Şekil 2. 2.	Karbon fiber takviyeli bir kompozit malzemenin kesiti ve dilimleyici yazılımdaki görüntüsü (Lockwood, 2017)	10
Şekil 2. 3.	Hazneli ve vidalı transfer sistemi kullanan 3Boyutlu yazıcı.....	11
Şekil 4. 1.	Yazının katı modelleme programındaki z eksenini için tasarlanmış parçalar. .	17
Şekil 4. 2.	Yazının katı modelleme programındaki motor yataklarının iskelet tasarımları.....	18
Şekil 4. 3.	Arduino mega kontrol kartı	18
Şekil 4. 4.	MGNN12 lineer kızak, araba ve nema17 step motorlar.	19
Şekil 4. 5.	Üç boyutlu yazıcının montajlanmış hali	19
Şekil 4. 6.	Yazılım için kullanılan program ve Marlin kütüphanesi (Arduino 1.0.5).....	20
Şekil 4. 7.	Kullanılan malzeme ve ekipmanların bazıları (mısır nişastası, grafit tozu, mezür, beher, piknik tüpü, hassas terazi).	21
Şekil 4. 8.	Grafit takviyeli numune ve baskı (grafit oranı %11,7).....	22
Şekil 4. 9.	Grafit takviyeli numune ve baskı (grafit oranı %15, ince kum oranı %10). .	22
Şekil 4. 10.	Grafit takviyeli numune ve baskı (grafit oranı %15, cam elyaf oranı %10).	23
Şekil 4. 11.	Grafit takviyeli numune ve baskı (grafit oranı %15, karbon fiber oranı %10).	23
Şekil 4. 12.	Grafit takviyeli numune ve baskı (grafit oranı %25).....	24
Şekil 4. 13.	Görüntüleme aşamasında kullanılan mikroskoplar (Nikon MA-100, ADL Olympos).....	24
Şekil 4. 14.	İletkenlik ölçümünde kullanılan ölçüm cihazı.....	25
Şekil 4. 15.	Çekme testi cihazı zwick Z010 ProLine 10 kN.....	26
Şekil 5. 1.	Grafit takviyeli Biyoplastiğin Mikroskopa altında sırasıyla (a) 50X, (b) 100X, (c) 200X ve (d) 500X yakınlaştırmalı görüntüsü.	28

Şekil 5. 2. %11,7gr grafit Takviyeli biyoplastik elektriksel ölçümleri (a) 1Volt, (b) 5Volt, (c) 12Volt, (d) 24Volt.	29
Şekil 5. 3. % 11,7gr Grafit eklentili biyoplastik	30
Şekil 5. 4. % 11,7 grafit tozu takviyeli biyoplastiğin elektriksel iletkenlik deneyi	31
Şekil 5. 5. %10 İnce Kum ve %15 Grafit Tozu Takviyeli Biyoplastik Elektriksel Ölçümü, (a) 1 Volt, (b) 5 Volt, (c) 12 Volt, (d) 24 Volt	32
Şekil 5. 6. %10 İnce Kum ve %15 Grafit Takviyeli biyoplastiğin gerilimler altında elektriksel iletim grafiği	32
Şekil 5. 7. % 10 ince kum ve %15 grafit tozu takviyeli biyoplastiğin elektriksel iletkenlik deneyi	33
Şekil 5. 8. %10 Cam elyaf ve %15 Grafit Takviyeli Biyoplastik Elektriksel Ölçüm.....	34
Şekil 5. 9. %10 Cam Elyaf %15 Grafit ve Takviyeli biyoplastiğin gerilimler altında elektriksel iletim grafiği	35
Şekil 5. 10. % 10 cam elyaf ve % 15 grafit tozu takviyeli biyoplastiğin elektriksel iletkenlik deneyi	36
Şekil 5. 11. %25 Grafit Takviyeli Biyoplastik Elektriksel Ölçüm.	37
Şekil 5. 12. %25 Grafit Takviyeli Biyoplastiğin gerilimler altında elektiriksel iletim grafiği.	38
Şekil 5. 13. %25 grafit takviyeli biyoplastik elektriksel iletkenlik deneyi.	38
Şekil 5. 14. PLA biyoplastiğin elektriksel iletkenliği	40
Şekil 5. 15. PLA Biyoplastiğin Grafiklere göre Elektriksel iletim grafiği.	40
Şekil 5. 16. PLA biyoplastiğin elektriksel iletim deneyi.	41
Şekil 5. 17. Grafit takviyesiz plastiğin çekme dayanımı testi sonuçları.	42
Şekil 5. 18 Grafit takviyeli numunelerin çekme dayanımı testi sonuçları.	44
Şekil 5. 19. %11,7 Grafit tozu takviyeli biyoplastiğin üç oyutlu yazıcıdaki çıktısı.	46
Şekil 5. 20. %10 İnce kum ve %15 grafit tozu takviyeli biyoplastiğin yazıcıdaki çıktısı.	46

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Gündelik hayatımızda kullandığımız birçok malzeme farklı yapılar içermekle beraber, kendilerine özgü karakteristik, fiziksel, kimyasal ve mekanik özellikleri vardır. İçten yanmalı motorlu taşıtların motor bloklarında kullanılan Al alaşım ya da dökme demir, vazo ve testilerde kullanılan seramik, ayak kabı çekeklerinde kullanılan plastik gibi sürekli kullanma ihtiyacı duyulan her bir araç, içerisinde bir en az bir malzeme gurubu içermektedir.

Plastikler ise üretim kolaylığı ve ekonomik boyutundan dolayı en fazla üretimi yapılan malzeme guruplarından. Sentetik plastiklerin kullanımı çevre kirliliğine neden olmakla beraber sağlığa zararlı olarak da imal edilmektedir, verilen bu zarar biyoplastik malzeme kullanılarak oldukça azaltılabilir.

Son 20 yılı aşkın bir süredir plastik maddesini kullanarak imalat yapabilen üç Boyutlu yazıcı teknolojisinin kullanımı ve öneminin son yıllarda oldukça artmasıyla beraber üretim yapılacak malzemenin seçimi de aynı oranda artmıştır. Üretim yapılacak malzemenin seçimi, çıktının istenilen performans değerleri, alınan son ürünün kullanım koşulları, maliyet, malzemenin yazıcının üretim prosesine uygunluğu gibi birçok etkene bağlıdır. Günümüzde hali hazırda kullanılan malzeme türlerini geliştirmek ve istenilen özellikler eklemek adına sürekli olarak çalışmalar yapılmaktadır.

Polimer üretiminin ise daha yaygın ve ekonomik olmasından dolayı ambalaj, otomotiv, uzay ve havacılık, sağlık, beyaz eşya gibi birçok sektörde kullanılmaktadır. Biyoplastikler ise petrol kaynaklı plastiklerin doğaya verdiği zarardan ötürü biyoplastiklerin üretimi giderek yaygınlaşmaktadır.

1.1 . Malzeme Grupları

1.1.1. Metaller

Atomları arasında metalik bağlar bulunan ve kristal kafes formunda mikro iç yapılar oluşturan malzeme gurubudur. Genellikle son orbitallerinde 1,2,3 elektron bulundurduklarından ötürü periyodik cetvelde 1A,2A,3A guruplarında bulunurlar. Oda sıcaklıklarında genellikle katı halde bulunurlar, ısı ve elektrik iletkenlikleri oldukça yüksektir. Fe, Ni, Co gibi metallerin manyetik özellikleri de vardır. Mühendislik alanında kullanılan Metallerin kullanım alanları oldukça geniş olmakla beraber metal guruplarını demir esaslı ve demir esaslı olmayan alaşımlar olarak ayrılabilir.

Demir esaslı alaşımlara Dökme demir ve çelik alaşımları örnek verebilirken demir esaslı olmayan alaşımlara Al, Zn, Mg, Ti, Ni alaşımları örnek verilebilir. Katı faz durumlarında mekanik özellikleri yüksektir tel ve levha formlarını alabilirler

Çelikler içerisindeki karbon oranı yükseldikçe toklaşır ve sünekleşebilir. Düşük karbonlu çeliklerin sertlikleri ve gevreklikleri daha yüksektir. Çelikler içerdikleri elementlere göre adlandırılabilir ve farklı özellikler kazanırlar paslanmaz çeliklerin içerdiği krom oranı oldukça yüksektir. Bu sayede korozyon dayanımı oldukça fazladır

Alüminyum alaşımlarında ise düşük ağırlık ve yoğunluğa sahip alaşımlar olmalarına rağmen oranına iyi korozyon dayanımına sahiptirler. Bunun sonucu olarak havacılık sektöründe, transport sistemleri ve spor ekipmanları gibi sektörlerde yaygın olarak kullanılır. Alüminyumun yarı mamul olarak çeşitli dövme ve döküm yöntemlerinde imalatı da mevcuttur

Bakır elementinin ısı ve elektriksel iletiminin yüksek olmasının yanı sıra sünek bir yapısının olmasından dolayı, genellikle elektriksel uygulamalarda ve elektrik tesisatlarında yaygın kullanılır. Farklı alaşım elementleri ile elde edilen bakır alaşımlarının çok farklı özellikleri mevcuttur.

Bakır-çinko alaşımından pirinç (sarı) denilen bir malzeme elde edilir ve saf bakıra göre yüksek dayanımlara sahiptir. Bir başka bakır alaşımı olan Bronz ise Bakır-Kalay alaşımıdır.

Nikel alaşımları ise süper alaşımlar olarak adlandırılır, Süper-alaşımlar üst düzey bir termal dayanım ve çok yüksek sıcak mekanik özelliklerine sahip metallerdir. Süper Nikel alaşımları havacılık sektöründe jet motorlarındaki türbin kanatlarında kullanılır yük altında 1000°C'deki işletme sıcaklıklarında çalışabilmektedirler. Günümüzde havacılık

sektöründe alaşımlar, bol miktarda nikel yanında kayda değer oranlarda krom ve kobalt da içermektedir. Titanyum metali diğer metal türlerine göre hafif, korozyona karşı dirençli ve mukavemetli bir metaldir

Titanyum metali Alüminyum, demir, vanadyum gibi elementler ile alaşım yapabilir, bu alaşımlar savunma sanayinde, sağlık sektöründe, otomotiv sektöründe uzay ve havacılık sektörü gibi üstün mekanik özellik gerektiren parçalarda kullanılmaktadır.

1.1.2. Seramikler

Seramik Gurubu ise İnorganik ve metalik olmayan genellikle kristal oksit karbür ve nitrür malzemelerdir. Silikon ya da karbon esaslıdır ve gevrek ve kırılğan bir yapısı vardır. Sıkıştırılma oranları, basma ve çekme dayanımları düşüktür. Kimyasal korozyona karşı dirençlidirler. 1,000 °C–1,600 °C (1,800 °F–3,000 °F) gibi yüksek sıcaklıklara dayanabilirler. Cam amorf yapısı sebebiyle düşük sıcaklıklarda seramik yüksek sıcaklıklarda metal gibi davranabilir bu nedenle tam olarak seramik kabul edilmezler

Seramikler malzemeler içerisinde kovalent ve iyonik bağlar birlikte bulundurmaktadırlar. Bu bağ yapısında valans elektronları kovalent bağ ile komşu atomlar tarafından paylaşılabilir ya da iyonik bağ ile bir atomdan komşu atoma aktarılır. Bu sebeple yapı içerisinde serbest bir elektron hareketi olmaz

Bu durum Seramik malzemelerin elektrik ve ısı iletkenliğini düşük olmasına neden olmuştur. Diğer bir yönden ise bu kuvvetli bağlar seramik malzemelerin rijit yapıda olmasını neden olmuştur. Seramik malzemelerin erime noktaları yüksektir, elastikiyet modülleri düşüktür. Elastik özellikleri kötü olduğundan seramik malzemeler deformasyon altındaki ve dinamik uygulamalarda kullanılmaya uygun değildirler.

Günümüz ileri teknolojisi ile üretilen Seramikler basma zorlanmaları altındaki uygulamalarda tercih edilmektedir. Mühendislik seramiklerinden olan Alüminyum oksit'in termal ve elektriksel iletkenliği düşüktür, sert ve gevrek (Kumlutaş & Tavman, 2003). Bujilerde ısı yalıtım ve oksidasyonu engelleme amacı ile kullanılır. Aynı zamanda tıp sektöründe kompozit hale getirildiğinde ortopedik cerrahide de oldukça tercih edilmektedir (Aladağ & Kul, 2016).

Silikon Nitrür tokluğu yüksek bir seramiktir, termal iletkenliği yüksektir. Kırılma dayanımı fazla olduğundan bazı eklemlerin protez yapımında da kullanılır (Aladağ & Kul, 2016). Kesme takımlarında ve türbin kanatlarında kullanılmaktadır. Karbon elyaf ise

düşük ağırlığına karşın çok yüksek bir çekme dayanımına sahiptir, genişleme katsayısı oldukça düşüktür, genellikle Kompozit Malzemelerin dayanımını arttırmak amacı ile takviye malzemesi olarak kullanılır.

1.1.3. Kompozit Malzemeler

Kompozit malzemeler en temelde matris ve takviye malzemesi olarak 2 ana kısımdan oluşur farklı özelliklerdeki matris ve farklı özelliklere sahip ek madde birleştirilerek yeni özelliklerde bir malzeme oluşur. Genel olarak matris destek ve taşıyıcı görev üstlenirken ek madde ise dayanım kazandırma ya da yeni özellikler kazandırma görevi üstlenir (Kaya, 2016).

Son zamanlarda yaygın olarak kullanımı olan kompozit malzeme çeşidi modern kompozitlerdir polimer matrisin organik ve inorganik destek elyafların katkısı ile oluşturulur. Kullanılan ek maddeler karbon fiber, cam elyafı polipropilen, aramid gibi maddeler olabilir. Cam elyaf formundaki destek ek maddeleri ile oluşturulan kompozit malzemeler sıcaklığa karşı dayanıklı, korozyona karşı dirençli polyester reçine şeklinde üretilenlerin ışık iletim özelliği olan, mekanik dayanımı yüksek malzemeler olabilirler (Çavuşoğlu, 1978)

Kompozit Paneller en az 2 ya da daha fazla malzemenin farklı varyasyonlarda eklenerek üretilen çok özellikli malzemelerdir. Bu malzemeler birbiri ile uyumlu yüksek mekanik ve teknik özelliklere sahiptirler. Bu malzemelerden biri taşıyıcı bir diğeri de koruyucu diye nitelendirilebilir. Beton kompozit malzemelere örnek verilebilir, beton yapısının üretilmesi süreci öncelikle çimento karışımının hazırlanması, takviye olarak kum eklenmesi ve daha sonra da hazırlanan bu karışımın içerisine çelik çubuklar eklenmesi şeklinde gerçekleşir. En nihayetinde kuruma sürecinden sonra elde edilen beton üçlü malzeme karışımı olmakla beraber bir malzeme bütünlüğü sağladığından kompozit malzemedir. Günümüzde teknolojinin gelişmesiyle beraber toz metalürjisi kullanımı yaygınlaşmıştır matris malzemenin içerisine metal, grafit tozları gibi takviye malzemeleri eklenebilmekte ve nanokompozit adı verilen malzeme yapılarını oluşturulabilmesini mümkün kılmaktadır. Kompozit malzemeler istenilen kullanım alanlarına göre çok farklı fonksiyonlarda ve özelliklerde, çok farklı ebatlarda, çok farklı şekiller ve görünümünde üretilebilir

1.1.4. Plastikler (Polimerler)

Karbon, Hidrojen, Oksijen ve Azot gibi organik ya da inorganik elementlerin oluşturduğu monomer adlı basit yapılı moleküllerin birleşerek zincirli bir yapıya dönüşmesiyle polimerler oluşur (Ekşi, 2007). Polimerleri meydana getiren monomerler ile polimerin kendisinin fiziksel ve kimyasal özellikleri farklıdır.

Kovalent bağlar ile bileşik oluşturur. Sentetik monomere Etilen Gazı ($H_2C=CH_2$), PVC oluşturabilen Vinil klorür ($H_2C=CHCl$), Teflon yapımında kullanılan tetrafloroetilen ($F_2C=CF_2$) gibi örnekler verilebilir.

Polimerlerin çeşitli ilmlerle işlendikten sonra malzeme olarak kullanılabilirler. Genellikle tek başlarına işleme tabi tutulmazlar polimerler işlenirken yanlarında pekleştiriciler, bağ yapıcılar, koruyucular, plastikleştiriciler gibi benzeri ajanlarla bir karışım hazırlanır. Karışıma Kompound adı verilir. Farklı üretim yöntemleri ile yarı mamuller üretilir. Mamulün son şeklini almış haline de plastik adı verilir (Ekşi, 2007).

Polimerlerin metallere göre bazı üstün özellikleri vardır, polimerler metallere göre daha hafiftir, üretim maliyeti daha ucuzdur, daha az kuvvetle plastik şekil değiştirebilirler ve polimerlere kolay form verilebilir, şekillendirildiklerinde plastik olarak adlandırılırlar. Plastiklerin üretim yöntemleri metallere göre daha çeşitlidir. Enjeksiyon, ekstrüzyon, kalıba döküm gibi seri üretim yöntemlerine uygundur. Kolay form alabildikleri için zor geometrilerde üretimleri mümkündür. Kimyasal olarak inertlerdir ve çevresiyle reaksiyona girmezler ve aynı zamanda anti korozyon özelliğe sahiplerdir. Plastikler bu özellikleri sayesinde son yılların popüler malzemelerindedir. Bu sebepten ötürü birçok disiplinde çalışma konusu haline gelmiştir.

Termoset plastikler, Elastomerler, Termoplastikler ve Biyoplastikler olarak gruplandırılabilirler. Karakteristik olarak termoplastiklerin zincir yapıları üç boyutlu çapraz kovalent bağlardan oluşur. Bu üç boyutlu bağ yapısı termosetlerin diğer plastik türlerine göre daha rijit olmasına sebep olur. Termoset plastikler yalnızca polimer oluştururken form alırlar Gevrektiler, gevrek olmaları kırılma tokluklarının göreceli olarak düşük olmasının bir sebebidir. Isı dirençleri yüksektir, belirli sıcaklıklara kadar mekanik özelliklerini korurlar ve viskoz davranış göstermezler. Fakat Isı tesiri altında çapraz bağları zayıflayan termoset plastik kalıcı deformasyonlara uğrayabilir ve tutuşma sıcaklığına geldiğinde ise yanabilir ve tekrar kullanımı mümkün olmaz.

Elastomerler içyapısında bazı bölgelerinde doymamış C içeren zincir yapıları vardır bu nedenle yüksek oranda birim şekil değiştirme özelliğine sahiptirler. Elastomerler kuvvet etkisi altında tamamen karışık halde bulunan çapraz zincir yapısı açılmaya başlar ve malzeme de kuvvet yönünde uzama meydana gelir, birim hacimlerinin 10 katına kadar uzama kapasitesine sahiptirler.

Termoplastik malzemelere ısı tesiri uygulandığında içlerindeki uzun ve doğrusal polimer zincirleri arasındaki van der Waals bağları zayıflar ve yumuşayarak sıvılaşmaya deforme olmaya başlar, sıcaklığın gerilme ve birim değiştirme üzerinde etkisi önemlidir. Soğuktan sonra ise tekrar katılaştır. Bu durum termoplastiklerin yeniden dönüştürülebilmesine, enjeksiyon ve kalıplama gibi mekanik proseslerle üretilmesine olanak verir.

1.1.4.1.Biyoplastikler

Biyoplastikler (Biyobozunur plastikler), yağ, nişasta, bitkisel yapılar ve yiyecek atıkları gibi yenilenebilir biyolojik kaynaklardan üretilen polimerlerdir. Biyobozunur polimerler, bulunduğu ortamın sıcaklık ve Ph değerleri gibi çevresel ve biyolojik ayrıştırıcıların etkisinden dolayı (bakteri, mantar gibi) iç yapısı bozulur ve bozunarak diğer plastik türlerine kıyasla çok daha kısa bir sürede doğadaki çevrime katılır. Bu bozunumlar esnasında ortaya CO₂, N₂ gibi gaz bileşikler, su ve organik tuzlar ortaya çıkabilmektedir. 2018 Yılı Türk Plastik Sanayicileri Araştırma, Geliştirme ve Eğitim Vakfı (PAGEV) verilerine göre günümüzde gıda ambalajları plastik tüketiminin %56'sını oluşturmaktadır (Ayhan, Karakuş, 2019). Dünya çapında fosil kaynaklı plastik 325 milyon üretilmektedir. Biyoplastikler bu üretimin yaklaşık 5 milyon tonluk bir kısmını oluşturmaktadır (Ardalı, Er, Köksal, Sağlam, 2019). İstenilen mekanik özelliklerin karşılanması amacıyla biyoplastiklerin çeşitli takviye malzemeleri ve ajanlarla kombinasyonlarının üretilmiştir. Bu sayede biyoplastiklere çok çeşitli özellikler eklenebilmektedir.

Karbon bazlı ya da biyolojik kökenli polimerlerden üretilen biyoplastikler, bitki, hayvan, mantar, alg veya bakteriler gibi canlı organizmalar tarafından üretilen biyolojik malzemelerdir. Bilindiği üzere biyomateryaller, konvansiyonel sentetik plastiklere kıyasla pek çok canlı organizma tarafından kolaylıkla ayrıştırılabilir ve biyo-uyumlu olduklarından mevcut organizmada zehirleyici etkiye neden olmazlar.

Biyoplastiklerin geleneksel plastiklerden üstün kılan özellikleri ise bozunma kolaylığı, doğaya zehirli etki yaratmamaları, geri dönüştürülebilme kolaylığı, daha az enerji ile üretilebilirliği, yenilenebilir ve ekolojik özellikte olmaları şeklinde sıralanabilir. 2013 yılında yapılan Pazar araştırmalarında geleneksel plastik üretiminin büyüme oranı %30 iken biyoplastik üretiminin yıllık büyüme oranı %5 olarak hesaplanmıştır (Erkmen, Özdemir, 2013).

Geri Dönüşüm Tesisleri, biyoplastiklerin geri dönüşümü için doğru geri dönüşüm için araçları olduğu takdirde, tercih edilen yöntem de bağlı olarak ürünün 18-36 ay içerisinde tamamen bozunmasını neden olmaktadır.

Bazı biyoplastiklerin kullanılabilmesi için yeni bir biyoplastik üretilmesine gerek yoktur. Kullanılmakta olan biyoplastiklere yenileri eklenebilmektedir. Doğal malzemelerden polimerler elde edildiğinde, bu polimerler yağ moleküllerinin etkisiyle hali hazırda üretilmiş biyoplastiklerle birlikte çalışabilmektedir.

Biyoplastiklerin Dezavantajlarına gelinecek olursa, her çeşidini seri üretimde üretmek mümkün olmayabilir çünkü bazıları nanokompozit malzemelerdir. Genel itibarı ile çok yüksek mukavemet değerleri yoktur. Bitki bazlı biyoplastikler bitki artığı olmadan önceki dönemlerinde hala bitkiyen maruz kaldıkları zehirli maddeleri beraberinde getirebilirler. Bozunma süreçlerinde dolayı çok uzun süreli tasarımlara ve kullanımlara uygun değildir.

BÖLÜM 2

ÜÇ BOYUTLU YAZICI

2.1.Üç Boyutlu Yazıcı Teknolojisi

Üç Boyutlu yazıcı teknolojisinin temeli 1980’li yılların başında Japon Dr. Kodoma’nın geliştirmiş olduğu bir prototipleme sistemiyle başladı. Fakat çalışır vaziyette ilk olarak 1984 yılında reçine firmasında çalışan Charles Hull foto polimerleri UV ışınları ile katman katman sertleştirmeyi başardı ve böylece “3D Printer” teknolojinin temelini atmış oldu. 1988 yılında ise en yaygın 3boyutlu yazıcı yöntemi olan FDM sistemi kazara bulundu. Scatt Crump kızına oyuncak yapabilmek için silikon tabancasına polietilen bir plastik yerleştirdi ve katman katman yığarak denemesinde başarılı oldu. Daha kontrollü bir sistem geliştirerek FDM teknolojisinin patentini aldı. Günümüzde 3d Yazıcı teknolojisinde birçok Polimerler, reçineler, bazı seramik gurupları, kompozit malzemeler, çikolata, toz metalürjisi ve hatta biyolojik dokular dahi işlenebilmektedir.

2.1.1. Çalışma Prensibi

3 boyutlu yazıcılar temelde yazıcı başlıklarını uzayda hareket ettirebilen ya da baskı hammaddesini 3 boyutlu geometrilerde ergitebilen robotlardır. Yazıcılar SLA, SLS, FDM gibi farklı yöntemler kullanmaktadır.

FDM teknolojisi katman kartezyen düzlemlerde lineer hareket yapabilen delta kombinasyonları ile hareket edebilen Uzayda x,y ve z eksenlerinde lineer bir hareket yapabildiğinden bu hareketlerin kombinasyonları katı modellerin geometrik şekillerinin 3 boyutta üretilmesini mümkün kılmıştır. Boyutlu Yazıcıların çalışma prensibinden basitçe bahsetmek gerekirse, dört temel gereklilikten söz edilebilir, 3 boyutlu Uzayda hareket, CAD data, İşleyici ve işlenecek hammadde. Standart tip yazıcılar için uzayda hareket lineer olarak yataklama ve motor tahrik sistemlerinden oluşur. Fakat 6 ve 8

mafsallı endüstriyel robotlar da bu işlemi gerçekleştirebilmektedir. Günümüz teknolojilerinde sinterleme gibi daha çok metal alaşımlarının işlendiği yazıcılardaki 3 boyutlu hareketi yüksek güçteki lazer ışınlarını x ve y düzleminde yansıtan aynalara bağlı servo motorlar ve işlem düzlemini z ekseninde hareket ettiren bir motor bulunur. CAD veriler, bir bakıma üretilen modelin geometrik çizimidir. Çıktısı alınacak modelin Solid Works AutoDesk gibi bilgisayar destekli dijital katı modelleme programlarında modellenip bir derleyici yazılım yardımı ile modeli dilimlenerek bu koordinatların STL (Stereolithography) uzantısına ya da makine dilinde kullanılabilecek G kodlarına dönüştürülmesidir.

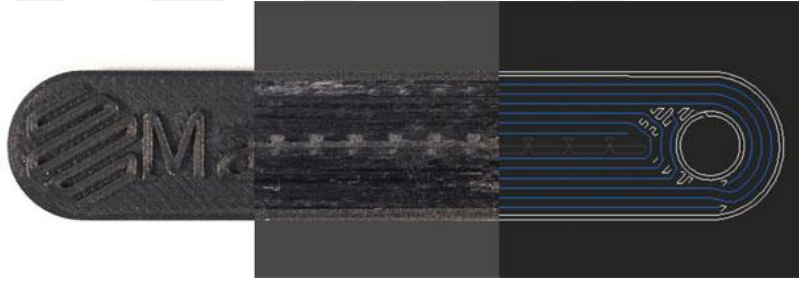
İşleyici kısım, üretilen ham maddeye bağlı olmakla beraber temel prensibi işlenen hammadenin moleküllerini ve katmanlarını modellemeye uygun olarak birleştirmektir. Bu işleyici bir PLA (polilaktik asit), ABS (akrilonitril bütadienstren), TPU (termoplastik poliüretan), PVA (polivinil alkol), PETG (polietilen tereftarat) gibi plastic filamentler için bir ekstrüzyon noozle, Ti, Ni, Al tozlarını veya paslanmaz çelik partiküllerini ergitmek için 700W-1600W gücünde bir lazer ya da çimento gibi kil bulamaç ve kil kıvamındaki karışımları işleyebilmek amacıyla hazneli bir yapı olabilir. Ham madde şekil alabilmesi ve işlenebilmesi gerekmektedir. Geniş bir çalışma hammadde çeşitliliği vardır. Polimer filamentlerin düşük sıcaklıklarda çalışabilmesi ve dayanımlarının istenilen özellikleri karşılaması ve ekonomik olarak uygun olması sebebiyle yaygın olarak kullanılan çeşittir. Bununla birlikte ağır sanayi endüstrisi, kalıplama, uzay ve havacılık endüstrilerinde de toz metalürjisini ve metal alaşım tozlarını (powder) kullanan SLS teknolojisi kullanılmaktadır.

2.1.2. Biyoplastiklerin ve Kompozitlerin Üç Boyutlu Yazıcılarda Kullanımı

FDM Teknolojisi gibi eklemeli üretim teknolojisini kullanan 3 boyutlu yazıcılarda yaygın olarak kullanım plastik çeşidi polimer filamentlerdir. Bu filamentlerden biyoplastik malzemeler ve kompozit malzemeler üretilmektedir (Şekil 2.2). Bu filamentler baskı noozle çapına uygun ölçülerde çeşitli çaplarda ve istenen özelliklere göre farklı karışımlar da olabilir (Kaya, Çetinkaya,2019).



Şekil 2. 1 1995-1996 yıllarında MIT de 3d baskısı alınan bir Ayasofya modeli.



Şekil 2.2. Karbon fiber takviyeli bir kompozit malzemenin kesiti ve dilimleyici yazılımdaki görüntüsü (Lockwood, 2017).

Bunun yanı sıra itici vidalı bir extruder içerisinde hazırlanmış polimer karışımları, hazırlanmış bulamaç seramikler, çikolata gibi viskoz gıdalar ve kompozit karışımlar kullanılabilir (Aydın, Kılıç & Tekin, 2019) (Şekil 2.3). Vidalı transfer sistemi kullanan 3 boyutlu yazıcıların operasyonu 2 adımda incelenebilir.

- 1) Karışımın Hazırlanma Evresi
- 2) Extrüzyon Evresi Karışımın hazırlanması

Planlanan üç boyutlu üretim için gerekli karışımın hazırlanma evresinde önce karışım için gerekli hammaddeler hazırlanır karışım oranları için ham maddelerden belirli ölçümler ve oranlar alındıktan sonra karışım tarifine hazırlanmaya başlanır. Hazırlanan karışım baskı süreci için yazıcının haznesine doldurulur, eğer sürekli bir baskı işlemi

olacak ise yazıcının haznesine sürekli bir bağlantı sistemi ile (pompa, tank, vida, hortum vb.) montajlanır ve sızdırmazlık kontrolleri yapılır.



Şekil 2. 3. Hazneli ve vidalı transfer sistemi kullanan 3Boyutlu yazıcı.

Baskı evresinde ise karışım hazırlandıktan ve hazneye doldurulduktan sonra sistemin sızdırmazlığı gibi gerekli kontroller yapılır ve numune baskılar alınır. Karışımın extruderden çıkışı akışın sürekliliği katmanların kayıklığı ve kaçıklığı olup olmadığı kontrol edilir.

BÖLÜM 3

KAYNAK ARAŞTIRMASI

Son 20 yıla kadar sentetik plastikler geniş kullanım alanlarına sahip olmuştur. Fakat bu küresel kullanım gezegenimize oldukça zarar vermektedir. Petrokimyasal plastiklerin bu denli kullanımı önemli ölçüde sağlık problemlerine yol açmıştır. Bilim insanları bu durumun önüne geçebilmek adına farklı çalışmalar yaparak doğada bozunabilen ve sağlığa zarar vermeyen biyoplastikleri üretmeyi başarmışlardır.

Mısır nişastasından elde edilen nişasta bazlı basit biyoplastiklerin yapısında içerisinde gliserin gibi bir polimer bağlayıcı bulunduğundan esnek ve mukavemetsizdir. Bu türden biyoplastiklerin dayanımını arttırmak ve sürekli olarak üretebilmek oldukça önemlidir.

Bu çalışma hazırlanırken yararlanılan kaynaklar, yayımlandıkları tarih sırasına göre aşağıda bahsedilmiştir.

Kuz (2017) Nişasta bazlı biyopolimer karbon fiber ve TiO₂ (Titanyum Oksit) eklentileri yapılarak elde edilen biyopolimer ve kompozit malzemelerin bazı karakteristik özellikleri incelenmiştir. Çalışmada elde edilen numunelerin basınç ve kırılma kuvvetlerinde düşüş gözlenmiştir.

Aydın, Kılıç, Tekin, (2019)'in yaptıkları çalışmada geleneksel Türk tatlılarının üç boyutlu yazıcılarda basımı için uygun ekstrüzyon mekanizması tasarlanmıştır. Çalışmalarında katmanlı yığın modelleme yöntemi de incelenmiştir. İtici ve döner mekanizmaya sahip ekstruder mekanizmasına sahip üç boyutlu yazıcıların viskoz gıdaların üretiminde kullanışlı olduğuna kanaat getirilmiştir.

Koutný vd. (2019) çalışmalarında kimyasal olarak modifiye edilmiş ve plastikleştirilmiş biyobozunur termoplastik nişastanın hazırlanışına ve karakterizasyonuna odaklanmışlardır. Numuneleri bulamaç karışım şeklinde kurumaya

bırakarak eriyik karıştırma yöntemleri ile üretilmişlerdir. Etanol, sodyum hidroksit çözeltisi eklentisi ve asetilasyon gibi kimyasal müdahalelerle birlikte karışımlara yeşil bitki artıkları gibi organik eklentiler de yapılmıştır. Yapılan bu kontrollü müdahaleler ve değişen parametreler elde edilen plastiğin morfolojik yapısını ve karakteristik özellikleri üzerinde önemli ölçüde etkisi olduğunu göstermiştir.

García, Regalado & Loredó (2021) çalışmalarında mısır nişastası ve yengeç kabuklarından elde edilen Chitosan (CTS) polimerlerinin ayrı ayrı ve birlikte elde edilen karışımlarına belirli oranlarda copolymer pluronic F127'nin eklenmesiyle ve dereceli olarak artırılmasıyla elde edilen paketleme filmlerinin morfolojik, termal ve mekanik özelliklerindeki değişimleri incelenmiş olup yapılan testler neticesinde de yüzey homojenizasyonda artış, suda çözünme oranında artış, buhar kapasitesinde artış ve sertlik derecelerinde artış tespit edilmiş olup, çekme numuneleri ile yapılan testlerin sonucunda ise biyopolimerlerin çekme dayanımında düşüş tespit edilmiştir.

Duan, Jiang, Liu, Yu & Zhu (2020) Araştırmalarında Nişasta bazlı biyobozunur plastiklerin düşük mekanik özelliği ve nem duyarlılığı gibi özelliklerini iyileştirmeyi amaçlamışlardır. Bu nedenle çalışmada biyoplastiklere takviye ve ajan maddeler olarak lifler, nişasta veya selüloz kristaller ve laker gibi çeşitli doğal dolgu maddeleri kullanılmıştır. Nişasta bazlı malzemelerin en büyük zayıflıklarından biri neme duyarlılıktır. Bu özelliğini azaltmak amacıyla Duan vd (2020). Akrilatlanmış epoksitlenmiş soya fasulyesi yağı (AESO) maddesini kaplama tekniğinde kullanmışlardır. Nişasta ve AESO'nun arasındaki bağlantıyı iyileştirmek amacıyla da Polietilen kullanmışlardır. Bu çalışmalar sonunda elde edilen plastiklerde %16 ile %18 arası kritik su içeriği noktası bulunmuşlardır.

Brozio & Masek (2020)'in çalışmalarında biyobozunur paketleme plastiklerinde indikatör görevi üstlenen doğal renklendiriciler kullanılarak akıllı plastiklerin üretilmiştir. Bu akıllı biyoplastiklerin içerisindeki doğal renklendirici maddeler çevreden gelen ışığın etkisiyle renk değişimine uğrayarak plastiğin ömrü hakkında bilgi vermiştir. Kullanılan boyaların birkaç avantajı olduğunun sonucuna varılmıştır, bu avantajlardan biri boyaların biyoplastik matrisini minimum oranda etkilemesidir. Diğer bir avantaj ise kullanılan boyanın bir çeşit kaplama vazifesi görerek biyoplastiğin oksidasyon direncini

arttırmasıdır. Masek & Brozio (2020) çalışmalarında gıda sektöründe kullanılan zararsız boyalardan kullanmışlardır.

Bakary, vd. (2020) araştırmalarında nişasta bazlı biyoplastiklere cassava nişastası eklenerek ve ayrı ayrı olmak üzere yeni plastikler elde edilmiştir. Gömme matrisinin yanı sıra sıcaklık nem ve zenginleştirilmiş mikro organizmalar gibi değişkenlerin biyoplastiklerinin bozunma süreçlerine etkisi çalışılmıştır. Çevredeki biyotik ve abiyotik faktörlerin etkisiyle ve matrisin zenginleşmesi gibi bazı etkenlerin kontrol edilebilmesiyle biyobozunurluğun büyük oranda iyileştirilebileceği gözlemlenmiştir. Bunun yanısıra çalışmalarında, bu çevresel etkilerin biyobozunurluğu belirli bir yoğunluk sınırının üzerinde azaltabileceğini gösterilmiştir.

Cheng, vd. (2021) çalışmalarında nişasta bazlı biyoplastiklerin üretim yöntemlerinden gıda endüstrisindeki kullanımından ve bu plastiklerin işlevselliğini arttırmak için kullanılan gliserol, chitosan, citric asit gibi katkı maddelerin biyoplastiğe olan etkisinden söz edilmiştir. Biyoplastiklerin kullanımın sınırlandıran faktörlerin başında zayıf mekanik özelliklerin olduğunu gözlemlemişlerdir. Extrüzyon, döküm gibi geleneksel üretim yöntemleri ve 3boyutlu baskı yöntemi gibi modern biyoplastik üretim yöntemleri de incelenmiştir.

Ali, Alnemr, Alqahtan (2021)'in çalışmalarında, kolay bulunabilen düşük maliyetli ham maddelerden belirli karışım oranlarında döküm yöntemiyle plastik film üretimi incelenmiştir. Yapılan çalışmada mısır nişastası ve hurma yaprağı dalı ve çekirdeği tozları kullanılmıştır, karışım nişasta hurma çekirdeği oranları sırasıyla 100:0, 90:10, 80:20, 70:30, 60:40 olarak değiştirilerek numuneler üretilmiştir. Hurma tozlarının oranlarının artırılması plastiğin çekme mukavemetini Young's modüllerini arttırmış fakat suda çözünme özelliğini ve buhar geçirgenliği seviyesini düşürmüştür.

Ashothaman, Sudha & Senthilkumar (2021) çalışmalarında yaygın olarak kullanılan Poli Laktik Asit (PLA) plastiğine karbon fiber, cam elyafı, pamuk ve bambu elyafları gibi sentetik ve doğal elyafli eklemeleri yapılarak biyokompozitler hazırlanmıştır. Bu çalışma ile hazırlanan bu kompozitlerin daha popüler olan sentetik plastiklerin yerine alternatif olarak kullanılması amaçlanmıştır. Sertlik, tokluk, elastikiyet modülü gibi özellikleri incelenmiştir ve yapılan eklemelerin ve ek maddelerin oranlarının artırılmasıyla mekanik özelliklerde iyileşme gözlenmiştir.

Damian, Dimonie, Rapa & Trusca (2019) yaptıkları çalışmada Poly Vinil Alkol (PVOH) bileşenin mısır nişastasının benzer bir şekilde erimelerini sağlayan eriyik modifikasyonu adı verilen bir yöntemle termoplastikler elde edilebileceği bulunmuştur. Elde edilen bu termoplastiklerden oldukça iyi kalitedeki 3D baskı filamentleri elde edilebileceği bulundu.

Günay, Gündüz, Kaçar, Yaşar, & Yılmaz, (2020) çalışmalarında, eriyik yığma modelleme (FDM) adı verilen 3D imalat teknolojisi ile üretilen PLA+ numunelerin mekanik özelliklerine yazıcının prosesindeki bazı değişken parametrelerin etkisi araştırılmıştır. Bu değişkenler, tarama açısının doluluk oranı ve ekstrüzyon hızıdır. Bu doğrultuda, çekme numuneleri hazırlanıp gerekli testler yapılmıştır. Sonuçlarda çekme dayanımına en fazla etki yapan parametrenin doluluk oranı olduğu kanısına varılmıştır. üzerinde en etkin parametre doluluk oranı

BÖLÜM 4

MATERYAL VE METHOD

4.1.İzlenecek Yol

Petrol bazlı polimerlerin doğaya ve insan sağlığına yönelik oluşturduğu tehdit giderek artmaktadır. Bu nedenle biyobozunur plastik ve kompozitler tercih edilmektedir. Nişasta bazlı biyoplastiklerin paketlenme endüstrisinde kullanımı mevcuttur. Fakat kullanılan bu plastikler istenilen mekanik değerlerde olmayabilir.

Nişasta bazlı basit biyoplastiğin ve kompozitlerin mekanik değerlerini arttırmak, grafit ek maddesi takviyesi ile elektrik iletkenliği kazandırmak ve 3 Boyutlu yazıcı imalatına uygun hale getirilmesi çalışmanın amacı olarak belirlenmiştir.

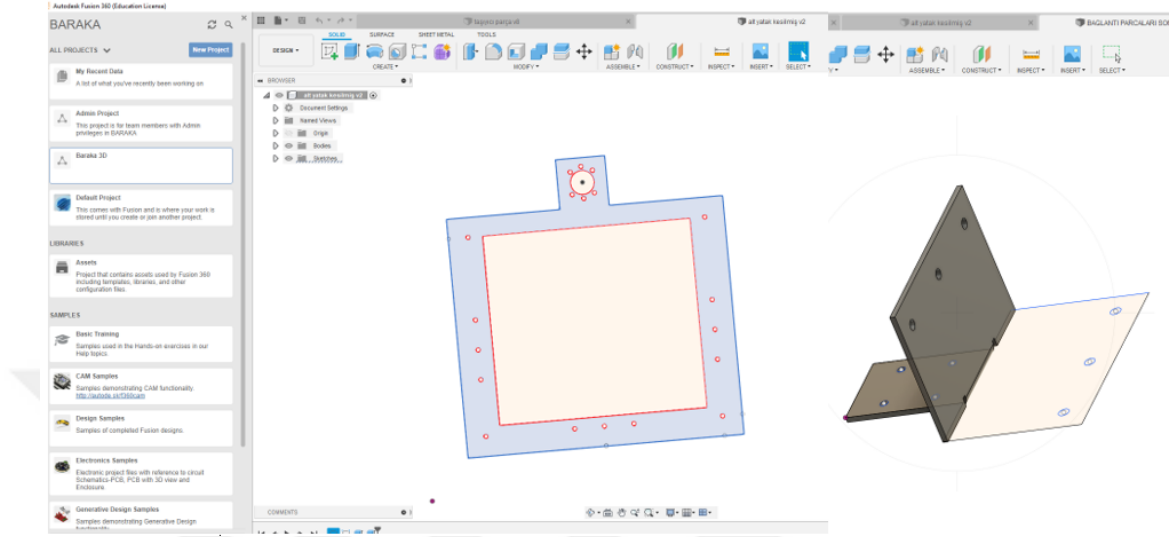
Bu bağlamda;

- İstenilen durumların elde edilebilmesi amacıyla ek maddeler eklenerek nişasta bazlı bioplastik kompozit numunelerin üretimi gerçekleştirilecek
- Elde edilen numunelerin 3 Boyutlu yazıcıda basılabilmesi için 3 boyutlu yazıcı tasarımı ve imalatı yapılacaktır.
- Elde edilen sonuçlar incelenerek ve gerekli testlere tabi tutulacaklardır.
- Elektrik iletkenliği test edilecektir

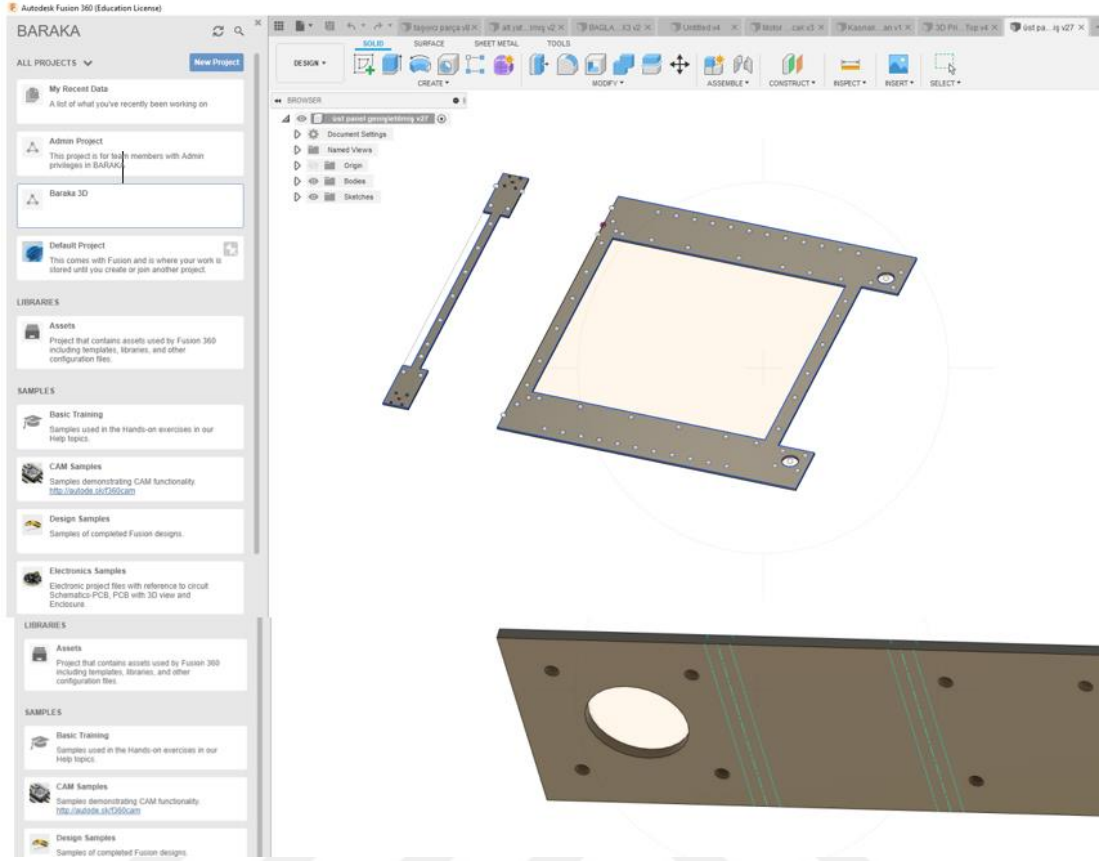
4.2.Üç Boyutlu Yazıcının İmalatı

Biyoplastik numunelerin imalatı için Vidalı hazneli bir 3 boyutlu yazıcı tasarlandı. Yazıcının iskelet tasarımı için “AutoCAD Fusion360” Katı modelleme Programından faydalanılmıştır. İmalat sırasında St 37 siyah çelik 20x20 Al sigma profil tercih edilmiştir, saclar CNC tezgahlarda kesilmiştir. Yataklama için MGN12 lineer kızak ve araba kullanılmıştır. Tahrik için GT2 kayış, T8 Vidalı Mil ve Nema 17 Step motorlar

kullanılmıştır, Kontrol için Atmega 2560 mikro işlemcili Arduino kontrol kartı kullanılmıştır. Hazneli extruder imal edilmiştir.



Şekil 4. 1. Yazının katı modelleme programındaki z ekseni için tasarlanmış parçalar.



Şekil 4. 2 Yazının katı modelleme programındaki motor yataklarının iskelet tasarımları.



Şekil 4. 3 Arduino mega kontrol kartı

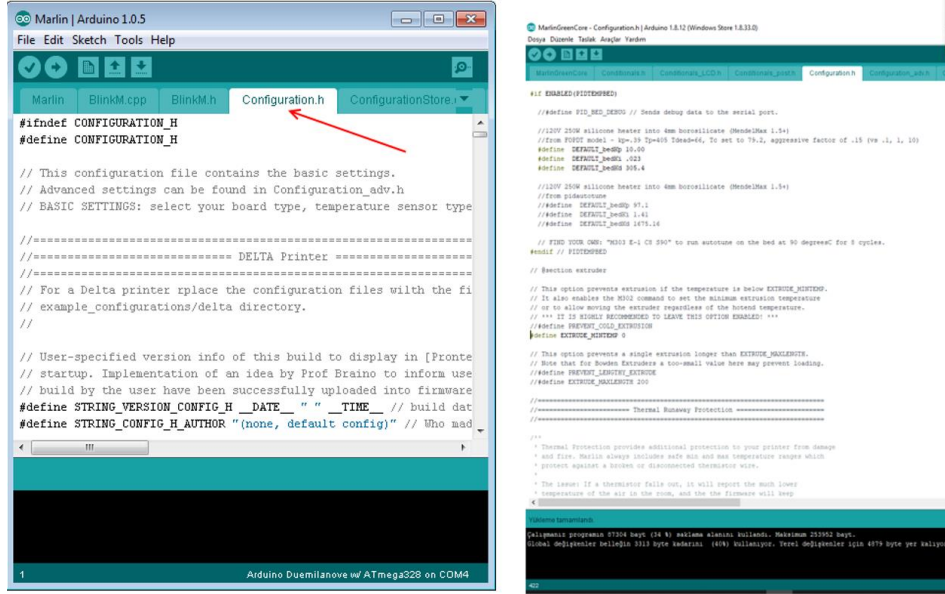


Şekil 4. 4. MGNN12 lineer kızak, araba ve nema17 step motorlar.

Montaj ve elektrik bağlantısı yapıldıktan sonra gerekli sensör kontrolleri yapılmıştır. Yazıcının çalışma tipi Core XY tipi bir sistem olup gerekli yazılım için Marlin kütüphanesinden faydalanılmıştır.



Şekil 4. 5. Üç boyutlu yazıcının montajlanmış hali



Şekil 4. 6. Yazılım için kullanılan program ve Marlin kütüphanesi (Arduino 1.0.5).

4.3. Numunenin Hazırlanması

Üç boyutlu yazıcıda kullanabileceğimiz Yüksek mukavemetli nişasta bazlı gliserin içermeyen %100 biyobozunur plastiğin hazırlanması için gerekli olan malzemelerin oranları hesaplanmıştır. Gerekli materyaller şu şekildedir.

- Mısır Nişastası (KETON marka)
- Su (H₂O) (Erikli marka)
- Grafit (toz formda %85 saflıkta)
- Asetik Asit (CH₃CH₂OH + O₂ → CH₃COOH + H₂O, elma sirkesi kullanıldı)
(Besler marka 750 ml)

Elastikiyet modülünü azaltmak ve sertliği arttırmak amacıyla gliserin maddesi çıkarılmıştır. Grafit ekli nişasta bazlı basit plastiğin hazırlanma işlemleri hassas tartı (KN Master marka) ve mezürler kullanılarak sırası şu şekilde gerçekleştirilmiştir (Şekil 4.7).

- 60gr (60ml) saf su beherin içerisine eklenmiştir.
- Isıtıcı tüpü ateşlendi
- 10gr Mısır Nişastası eklenerek karışım cam bagetle sürekli olarak karıştırıldı

- 5,12 gr asetik asit (elma sirkesi 1.013-1.024 g/cm³) polimer yapıcı eklendi.
- 15gr Grafite tozu (yoğunluğu 2,23 g/cm³) karışımın üzerine eklendi ve karışımın viskozitesi jelimsi bir kıvama gelinceye kadar karıştırma işlemi devam etmiştir. Ve daha sonra kurumaya bırakılmıştır.

Biyoplastik numunelerin reçetesi yukardaki gibi olmakla beraber değişkenler sadece eklenen takviye maddeler olmuştur.



Şekil 4. 7. Kullanılan malzeme ve ekipmanların bazıları (mısır nişastası, grafit tozu, mezür, beher, piknik tüpü, hassas terazi).

4.3.1. Nişasta Matrisli, %11,7 Grafite Tozu Takviyeli Bitoplastik

75gr nişasta matrisli biyoplastik karışımına sadece 10gr grafit tozu takviye maddesi eklenmiş olup başka bir ek madde eklenmemiştir. Döküm yöntemiyle karışım, Polistiren köpük kalıplara dökülmüştür ve yazıcının haznesine eklenerek baskı örnekleri de alınmıştır (Şekil 4.8).



Şekil 4. 8. Grafit takviyeli numune ve baskı (grafit oranı %11,7).

4.3.2. Nişasta Matrisli, %15 Grafit ve %10 İnce Kum Takviyeli Biyoplastik

75gr nişasta matrisli biyoplastik karışımına sadece 15gr grafit tozu ve 1,9-2,6gr/cm³ yoğunluğuna sahip 10gr ince kum eklenmiştir. Karışım homojen olarak karıştırılmıştır. Döküm yöntemiyle karışım, Polistiren köpük kalıplara dökülmüştür ve yazıcının haznesine eklenerek baskı örnekleri de alınmıştır (Şekil 4.9).



Şekil 4. 9. Grafit takviyeli numune ve baskı (grafit oranı %15, ince kum oranı %10).

4.3.3. Nişasta Matrisli, %15 Grafit ve %10 Cam Elyaf Takviyeli Biyoplastik

75gr nişasta matrisli biyoplastik karışımına sadece 15gr grafit tozu ve 2,13gr-2,56gr/cm³ yoğunluğuna sahip 10gr cam elyaf kırıkları eklenmiştir. Karışımın içerisine boyu 3 mm olan kırıklar homojen olarak karıştırılmıştır. Döküm yöntemiyle karışım, Polistiren köpük kalıplara dökülmüştür (Şekil 4.10).



Şekil 4. 10. Grafit takviyeli numune ve baskı (grafit oranı %15, cam elyaf oranı %10).

4.3.4. Nişasta Matrisli, %15 Grafit ve %10 Karbon Elyaf Takviyeli Biyoplastik

75gr nişasta matrisli biyopolimer karışımına sadece 15gr grafit tozu ve 2,27gr/cm³ yoğunluğuna sahip 10gr karbon elyaf kırıkları eklenmiştir. Karışımın içerisine kırıklar homojen olarak karıştırılmıştır. Döküm yöntemiyle karışım, Polistiren köpük kalıplara dökülmüştür (Şekil 4.11).



Şekil 4. 11. Grafit takviyeli numune ve baskı (grafit oranı %15, karbon fiber oranı %10).

4.3.5. Nişasta Matrisli, %25 Grafit Takviyeli Biyoplastik

75gr nişasta matrisli biyoplastik karışımına sadece 25gr grafit tozu takviye maddesi eklemiş olup başka bir ek madde eklenmemiştir. Döküm yöntemiyle karışım, polisitren köpük kalıplara dökülmüştür (Şekil 4.11).



Şekil 4. 12. Grafit takviyeli numune ve baskı (grafit oranı %25).

4.4. Biyoplastiklere Uygulanan Testler

4.4.1. Mikroskopik İnceleme

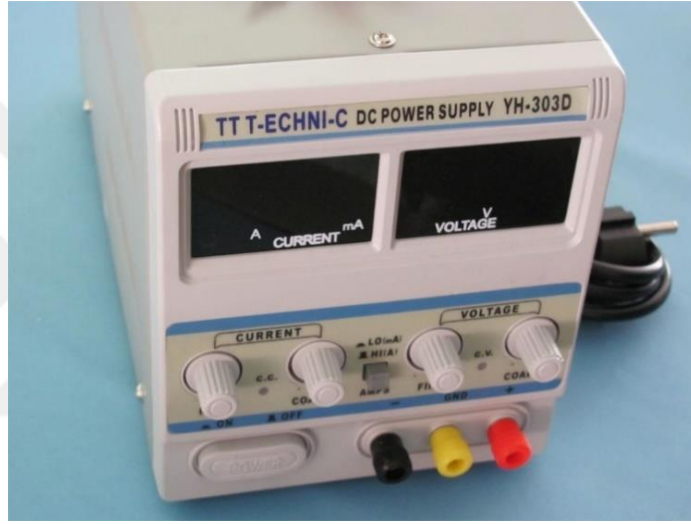
Grafit eklentili biyoplastikler üretildikten sonra Nikon marka ışık mikroskopları altında morfolojik yapıları görüntülenmiştir. Görüntüleme aşamasında NIS Elements Br yazılımıyla birlikte Nikon MA-100 ters tip endüstriyel metalürji mikroskobu ve ADL Olympus mikroskop kullanılmıştır (Şekil 4.13). Sırasıyla 0x, 100x, 200x, 500x yaklaşırtımlarda mikro iç yapılarına bakılmıştır.



Şekil 4. 13. Görüntüleme aşamasında kullanılan mikroskoplar (Nikon MA-100, ADL Olympus).

4.4.2. Elektriksel İletim Ölçümleri

Biyoplastikler elde edildikten sonra elektrik iletkenliğini ölçülebilmesi amacı ile RXN-303D 0-30V DC 0-3A tek çıkış ayarlı laboratuvar tipi güç kaynağı kullanılmıştır. (Şekil 4.14) Plastiklerin iki ucu o derece ince zımpara kağıtları ile yaklaşık 0.5mm katman inecek şekilde zımparalandıktan sonra zımparalanan yüzeylere osiloskop timsah probrları bağlanılmıştır ve sırası ile 1V, 5V, 12V, 24V gerilimler uygulanarak plastiklerin iç dirençleri ve üzerlerinden geçen amper değerleri ölçüldü, elde edilen değerler grafiklere aktarılmıştır.



Şekil 4. 14. İletkenlik ölçümünde kullanılan ölçüm cihazı.

4.4.3. Çekme Dayanımlarının Ölçülmesi

Hazırlanan Biyoplastiklerin çekme testleri Zwick Z010 ProLine 10kN cihazında yapılmıştır. (Şekil 4.14) Grafit ekli plastiğin grafitsiz biyoplastikten farkını görmek için bir adet grafitsiz biyoplastik numune de çekme testine tabi tutulmuştur ve yalnızca grafitin çekme mukavemetine olan etkisi de gözlenmiştir. Testler dikey hareket ekseninde numunelerin 2 farklı uçlarından çekme çenelerine sıkıştırılması suretiyle 5N'luk ön yükleme kuvveti ile ve 100mm/dk hızıyla uygulanmıştır.



Şekil 4.15. Çekme testi cihazı zwick Z010 ProLine 10 kN.

BÖLÜM 5

SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Bu çalışma matris maddesi nişasta olan biyoplastiklere takviye malzemesi olarak grafit ve bazı fiber malzemeler eklenerek elde edilen biyoplastiklerin çekme dayanımı, elektrik iletkenliği, elastikiyet modülü ve morfolojik yapısı gibi mekanik ve fiziksel davranışlarının incelenmesini ayrıca üretilen biyoplastiklerin üç boyutlu yazıcılardaki kullanımını konu almaktadır. Nişasta matrisli ve grafit takviyeli plastik numunelerin hazırlanmasından sonra numunelerin morfolojik ve iç yapısını incelemek amacıyla mikroskop altında bakılmıştır.

Takviye malzemeler biyolimerlerin mekanik özelliklerinin değişiminde gözle görülür değişimlere neden olmuştur. Takviye malzemelerin tam olarak ne kadar ve nasıl etki yaptığını öğrenebilmek amacıyla numuneler farklı testlere tabi tutulmuştur.

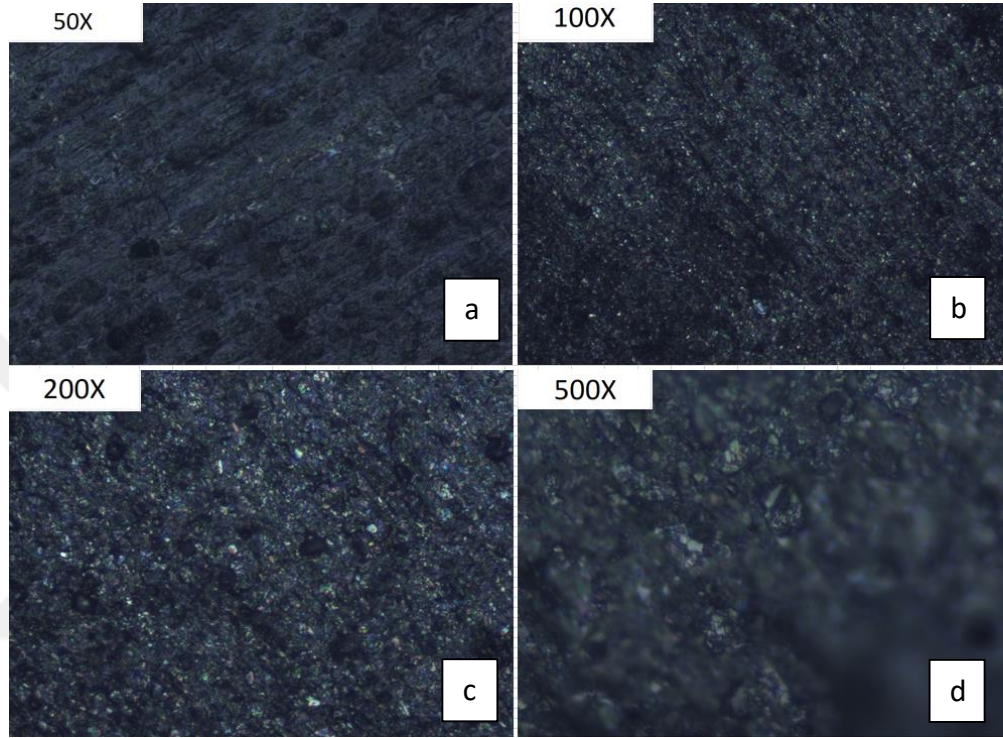
Elde edilen biyoplastiklerin üç boyutlu yazıcılardaki FDM teknolojisinde kullanımı konusunda vizskozite ve extruzyon işlemi açısından bir sorun görülmemiştir.

Numunelerin çekme dayanım değerlerinin test edilebilmesi amacıyla Karbon ilavesinin elde edilen değerler nasıl etkisi olduğu merak edilmiştir. Test sonuçları göstermiştir ki Grafit takviyesi biyoplastiklerin çekme dayanımında pozitif etkisi olmuştur, Grafit takviyeli plastiklerin dayanımlarına bakıldığında, takviyesiz nişasta bazlı ve PLA plastiklerinin dayanımlarından oldukça fazla olduğu gözlemlenmiştir.

Elektriksel iletim özelliklerinde de iyileşme gözlemlenmiştir. %11,7 Grafit takviyeli biyoplastiğin iç gerilimi, %10 ince kum ve grafit ilaveli biyoplastik ve %25 Grafit takviyeli plastiklere göre daha düşük olmasına nazaran %11,7 Grafit takviyeli biyobozunur plastik ile 24V ve altındaki tüm gerilimlerde sorunsuz çalışılabileceği sonucu çıkarılmıştır.

5.1. Plastiklerin Mikroskop Altındaki Morfolojik Görüntüleri

Şekil 5.1, 5.2, 5.3 ve 5.4'te Nişasta bazlı %11,7 oranında Grafit tozu takviyeli biyoplastik numunenin Işık mikroskobu altında Nikon NIS Elements programında sırasıyla 50x, 100x, 200x, 500x mikro iç yapıları görülmektedir.



Şekil 5. 1. Grafit takviyeli Biyoplastiğin Mikroskopa altında sırasıyla (a) 50X, (b) 100X, (c) 200X ve (d) 500X yakınlaştırmalı görüntüsü.

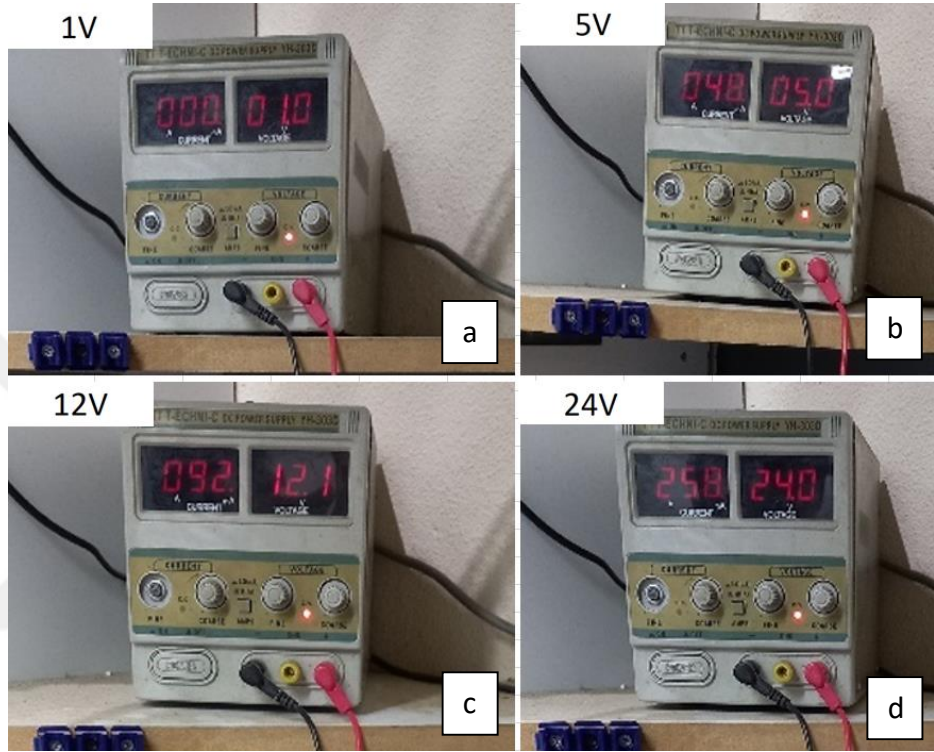
Mikroskop altında görüntülenen biyoplastiğin yapısına bakılacak olursa grafitin karbon elementinin allotropu olmasından dolayı, elmas gibi grafit de kristal yapıdadır. Grafitin ve nişasta moleküllerinin iç içe geçerek oluşturduğu levhalı yapı görselde görülebilmektedir (Şekil 5.1).

(c) 200X ve (d) 500X odaklanma altındaki görsellerde görülebildiği gibi grafit moleküllerinin oluşturduğu kafes yapıları ışık altında yansıma oluşturarak parlamaktadır (Şekil 5.1).

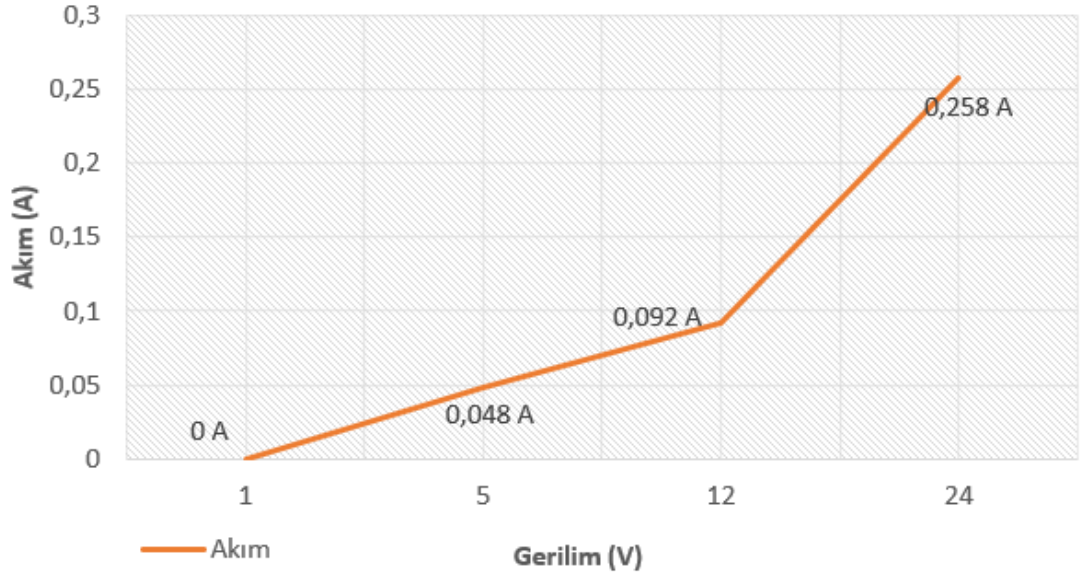
5.2. Plastiklerin Elektriksel İletim Sonuçları

Üretilen Biyopolimerlerin ve PLA plastiğin 1V, 5V, 12, 24, gerilimler altındaki akım değerleri test edilmiştir

5.2.1. %11,7 Grafite Tozu Takviyeli Biyoplastiğin İletkenlik Testi Sonuçları



Şekil 5. 2. %11,7gr grafit Takviyeli biyoplastik elektriksel ölçümleri (a) 1Volt, (b) 5Volt, (c) 12Volt, (d) 24Volt.

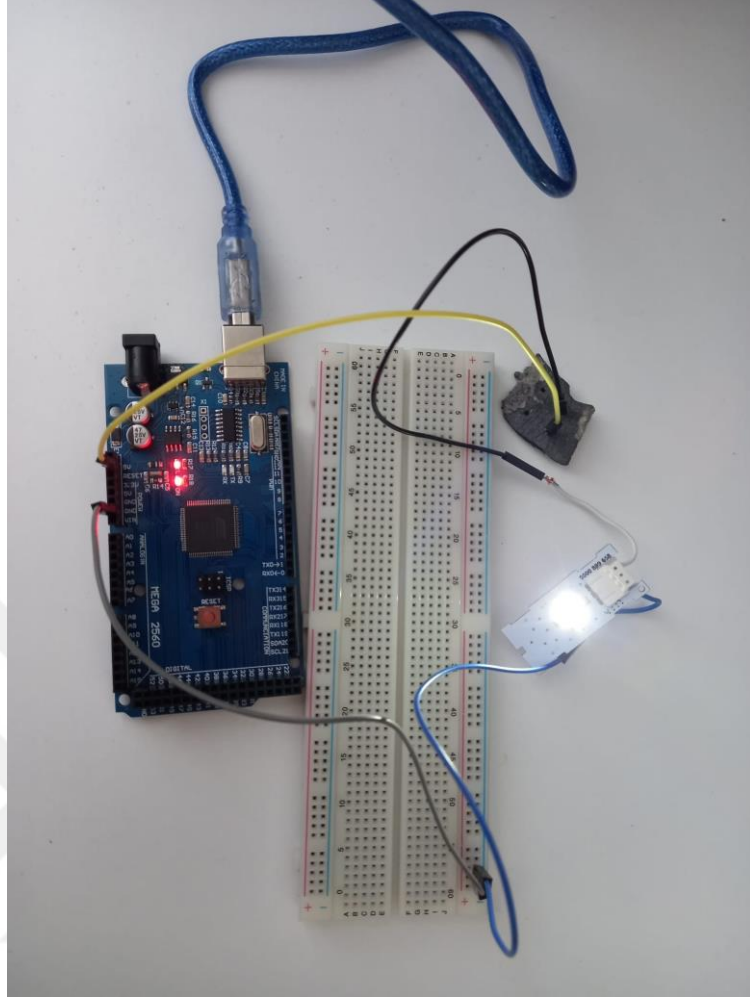


Şekil 5. 3. %11,7gr Grafit eklentili biyoplastik.

İlk olarak %11,7 oranında grafit takviyeli biyoplastikler belirli elektriksel gerilimlere tabi tutulmuşlardır. (Şekil 5.2) Bu gerilimler altında bir gerilim-akım grafiği oluşturulmuştur. (Şekil 5.3) Sadece %11,7 grafit takviyeli biyoplastiğe uygulanan 1V gerilim altında kendi içi direncinden dolayı herhangi bir elektrik akımı oluşmamıştır. Gerilim 5V olarak uygulandığında ise yaklaşık 0,05Amper’lik bir elektrik akımı biyoplastiğin üzerinden ilerlemiştir. Daha sonra ise 12Volt’luk bir gerilim uygulanmıştır ve bu da biyoplastiğin üzerinden yaklaşık 0,1Amper’lik bir akım geçmesine neden olmuştur. 24Volt’luk bir gerilim uygulandığında ise 0,258Amperlik akım biyoplastik üzerinden ilerleyebilmiştir (Şekil 5.3).

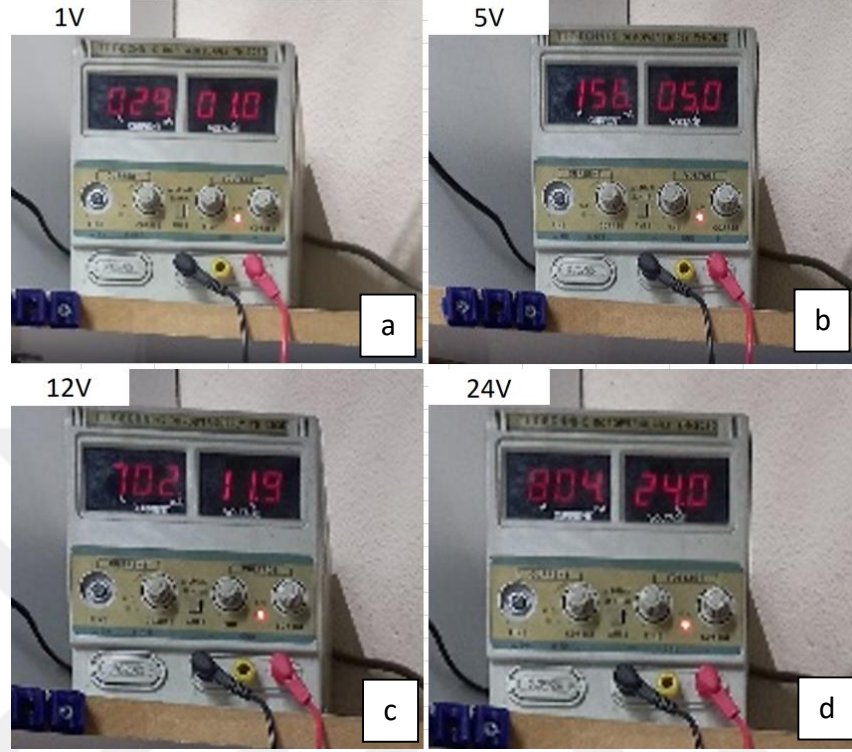
Verilen gerilimler yaklaşık 2 dakika boyunca uygulanmış olup, test süresince ısınmadan kaynaklı herhangi bir sorun gözlemlenmemiştir, numunede herhangi bir deformasyon meydana gelmemiştir

%11,7 grafit tozu takviyeli biyoplastiğin elektrik iletkenliğini test edebilmek amacıyla 5Volt gerilim veren bir Arduino Mega kartı üzerinden basit bir devre oluşturularak DC akım ile çalışan bir LED ampulün çalışması durumu gözlemlenerek biyoplastiğin elektriksel iletim özelliği kazanıp kazanmadığı basit bir devre ile test edilmiştir (Şekil 5.4.)

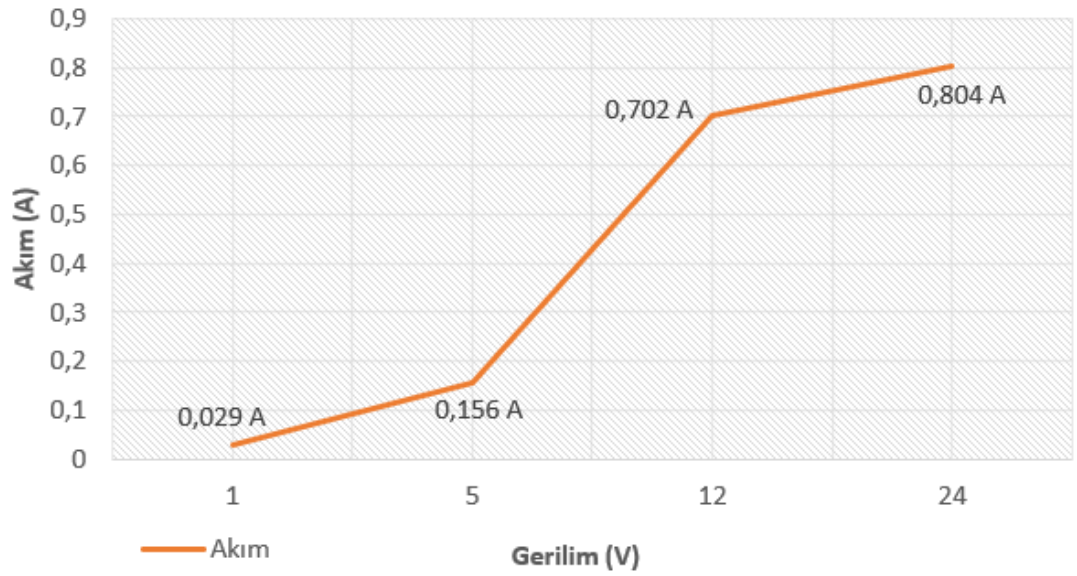


Şekil 5. 4. %11,7 grafit tozu takviyeli biyoplastiğin elektriksel iletkenlik deneyi.

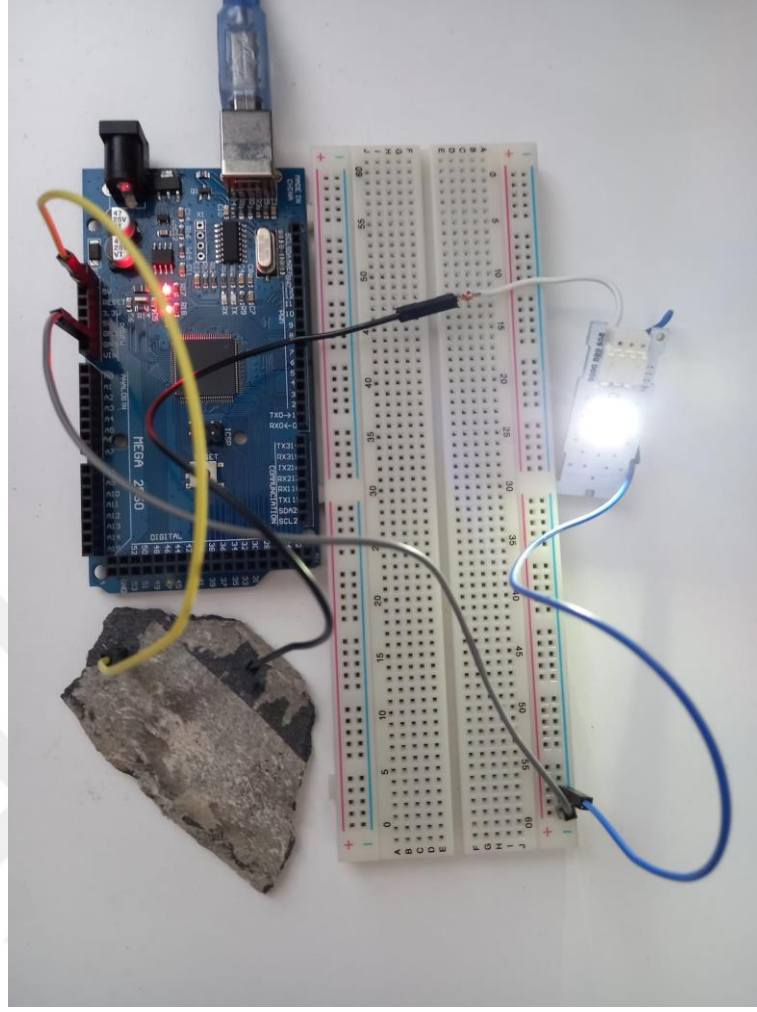
5.2.2. %10 İnce Kum ve %15 Grafit Tozu Takviyeli Biyoplastiğin İletkenlik Testi Sonuçları



Şekil 5. 5. %10 İnce Kum ve %15 Grafit Tozu Takviyeli Biyoplastik Elektriksel Ölçümü, (a) 1 Volt, (b) 5 Volt, (c) 12 Volt, (d) 24 Volt



Şekil 5. 6. %10 İnce Kum ve %15 Grafit Takviyeli biyoplastiğin gerilimler altında elektriksel iletim grafiği



Şekil 5. 7. %10 ince kum ve %15 grafit tozu takviyeli biyoplastiğin elektriksel iletkenlik deneyi.

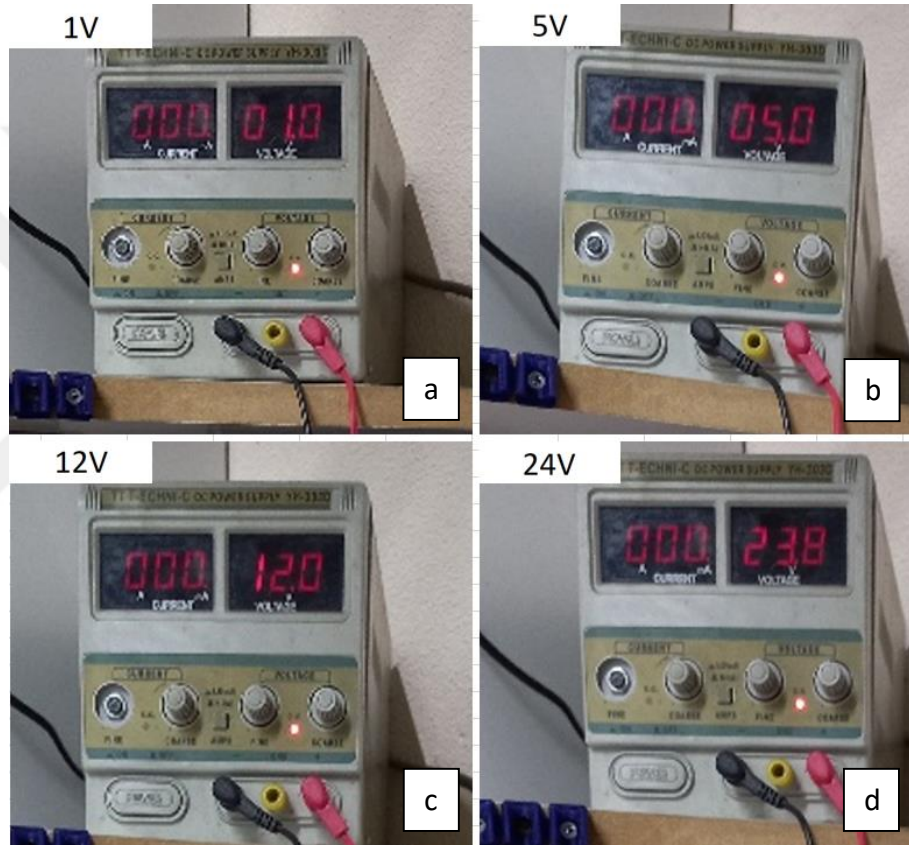
%10 oranında İnce kum ve %15 Grafit Tozu takviyeli biyoplastikten bir parça test numunesi alındıktan sonra sırası ile 1V, 5V, 12V, 24V gerilimler uygulanmıştır. (Şekil 5.5) 1V gerilim altında plastik üzerinden 0,029A akım ilerlemiştir, gerilim 5 Volt'a yükselttiğinde biyoplastik üzerinden geçen akım 0,156 Amper'e yükselmiştir. 12 Volt gerilim verildiğinde 0,702A ve 24Volt gerilim verildiğinde ise içerisindeki akım 0,8Amper'e kadar yükselmiştir (Şekil 5.6).

Bunun nedeni olarak, plastiğin içerisindeki kuvars şeklindeki Silisyum dioksit (SiO_2) normal koşullarda elektrik iletkenliğine sahip olmamasına rağmen biyoplastiğin içerisindeki grafit tozu ile yarı iletken olan Si elektrik iletkenliğini daha da arttırmış çıkarımı yapılabilir. Fakat numunenin elektrik iletkenliği yüksek olduğundan akım

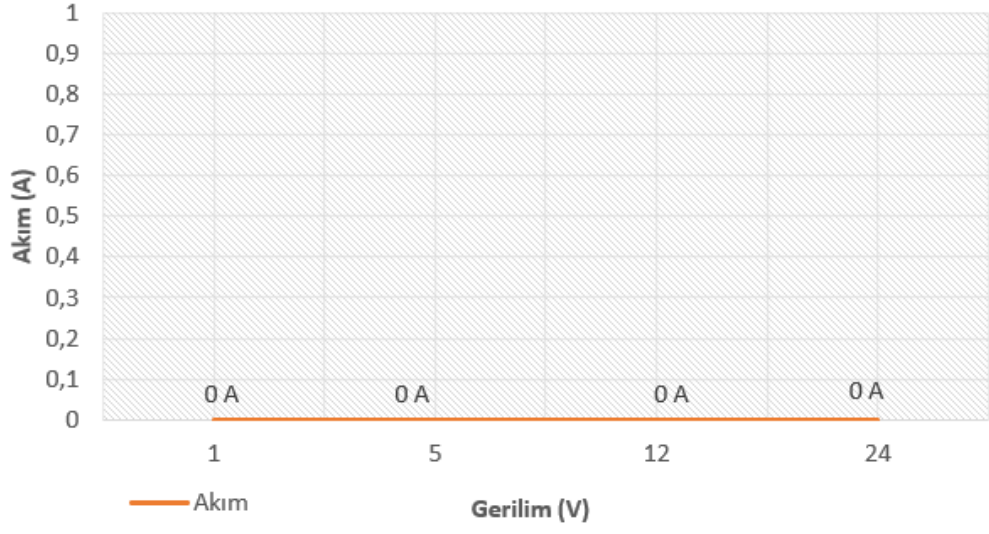
giderek yükselmiş ısınma sürekli artmış ve numuneden kısa bir süre sonra duman çıkışı gözlemlenmiştir. (Şekil 5.5)

%10 ince kum ve %15 grafit tozu takviyeli biyoplastiğin elektrik iletkenliğini test edebilmek amacıyla 5Volt çıkış gerilimi veren aynı sistem kurulmuştur. Biyoplastiğin elektriksel iletim potansiyeli bu sistem ile gözlemlenmiştir (Şekil 5.7).

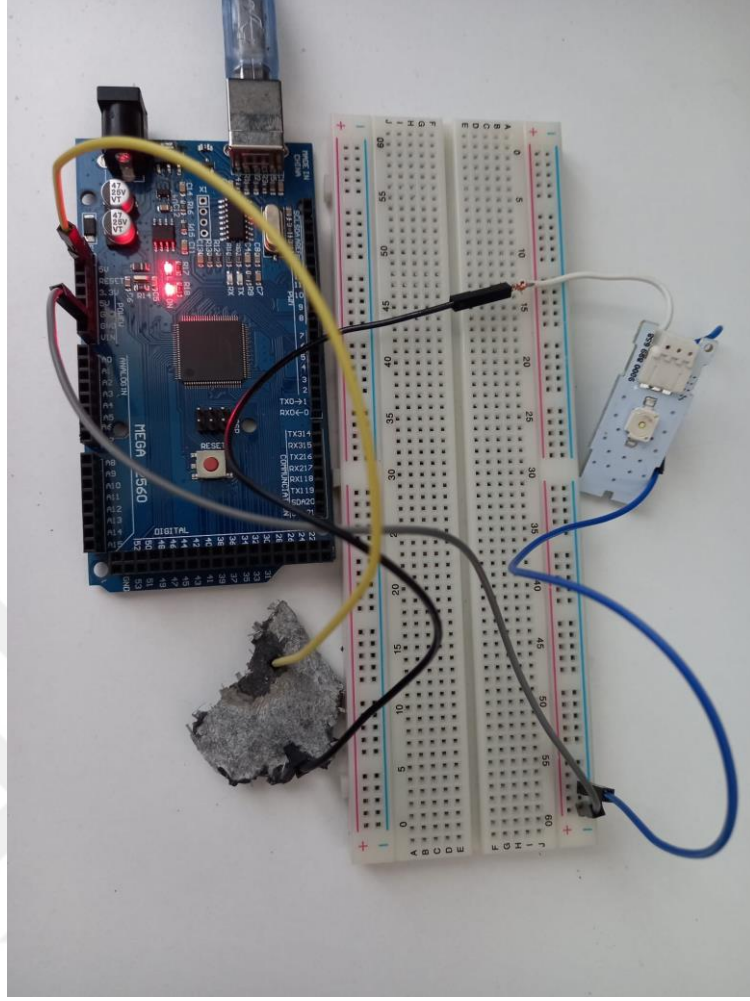
5.2.3. %10 Cam Elyaf ve %15 Grafit Tozu Takviyeli Biyoplastiğin İletkenlik Testi Sonuçları



Şekil 5. 8. %10 Cam elyaf ve %15 Grafit Takviyeli Biyoplastik Elektriksel Ölçüm



Şekil 5. 9. %10 Cam Elyaf %15 Grafit ve Takviyeli biyoplastiğin gerilimler altında elektriksel iletim grafiği



Şekil 5. 10. %10 cam elyaf ve %15 grafit tozu takviyeli biyoplastiğin elektriksel iletkenlik deneyi

%10 Cam elyaf ve %15 Grafit tozu takviyeli biyoplastiğe sırasıyla 1V, 5V, 12V, 24V gerilimler uygulanmıştır. (Şekil 5.8) Gerilimler uygulandığında ise numune üzerinden herhangi bir elektrik akımı iletimi gerçekleşmemiştir (Şekil 5.9).

Bu durumun sebebi olarak numune içerisindeki cam elyaf kırıklarının biyoplastik içerisinde homojen bir biçimde dağılımından dolayı plastiğin öz direncini daha da arttırmıştır ve moleküller arasında elektrik akımının iletimi için gerekli dağılım sağlanmadığından öz direnç yükselmiştir.

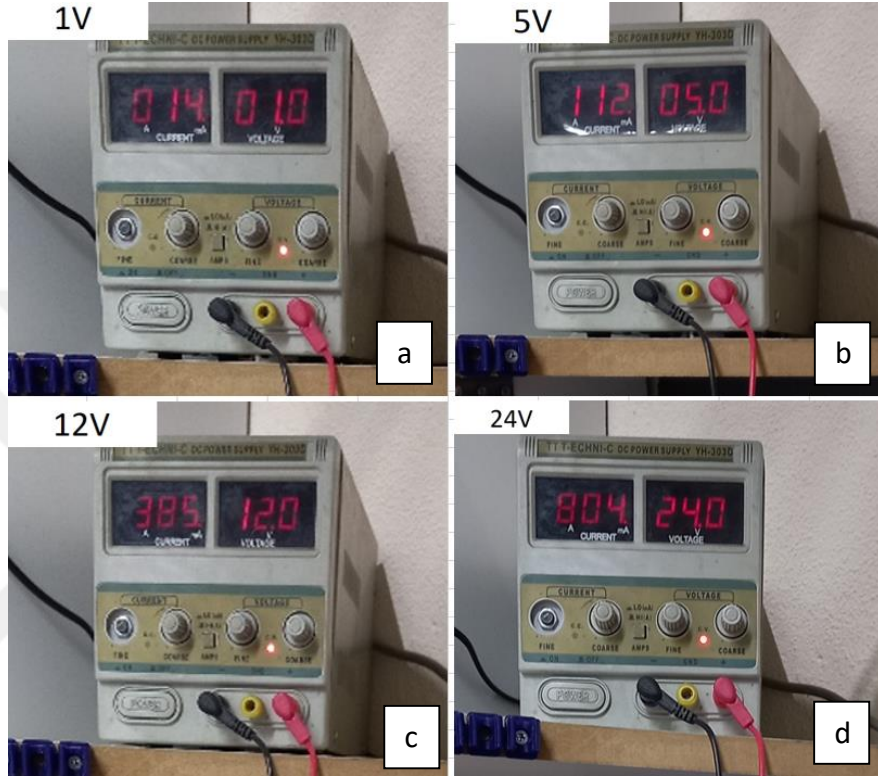
Özdirenç denklemi;

$$\rho = R\left(\frac{A}{l}\right)$$

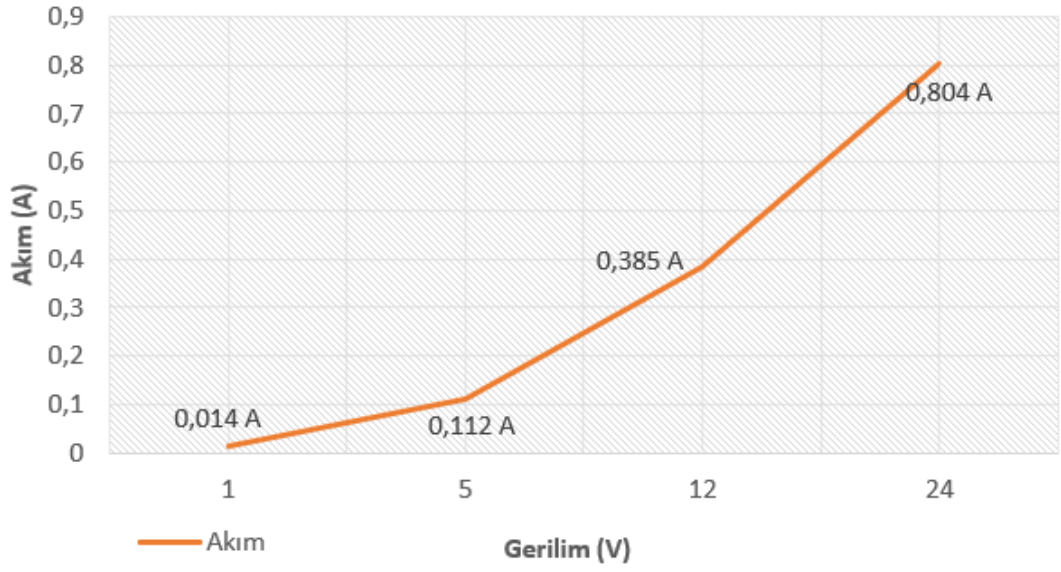
%10 cam elyaf kırık ve %15 grafit tozu takviyeli biyoplastiğin elektrik iletkenliğini test edilmiş olup cam elyaf ve grafit tozu takviyeli plastik devrenin

tamamlanmasına izin vermemiştir. Biyoplastiğin öz direncinin yüksek olması nedeniyle LED ampulün yanması için gerekli minimum akım değeri plastiğin üzerinden ilerleyememiştir ve devre tamamlanmamıştır (Şekil 5.10).

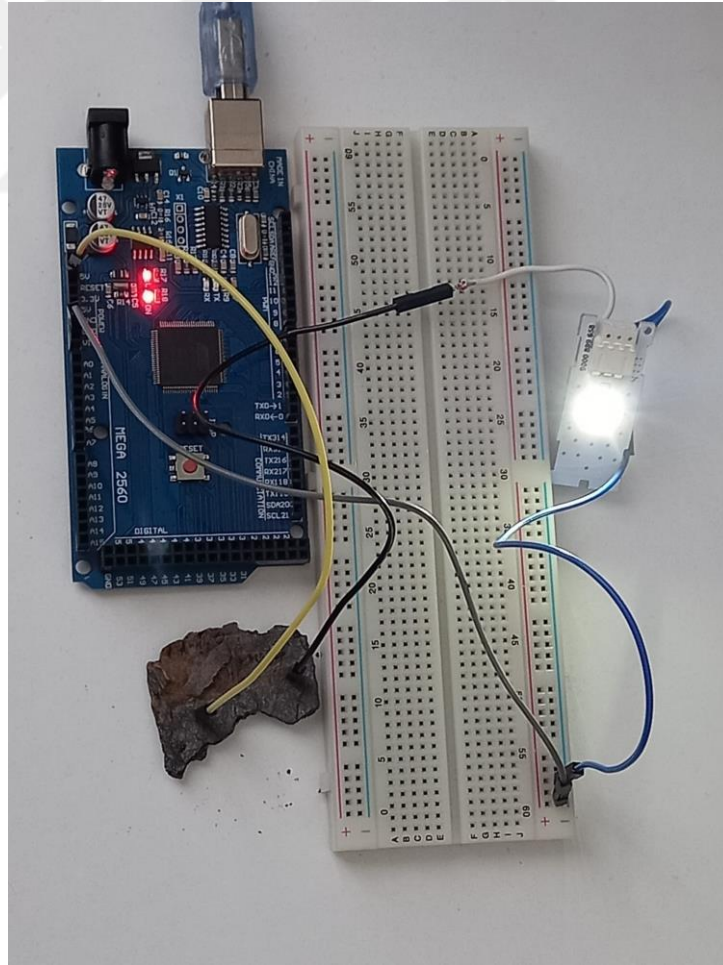
5.2.4. %25 Grafit Tozu Takviyeli Biyoplastiğin İletkenlik Testi Sonuçları



Şekil 5. 11. %25 grafit takviyeli biyoplastik elektriksel ölçüm.



Şekil 5. 12. %25 grafit takviyeli biyoplastiğin gerilimler altında elektriksel iletim grafiği.



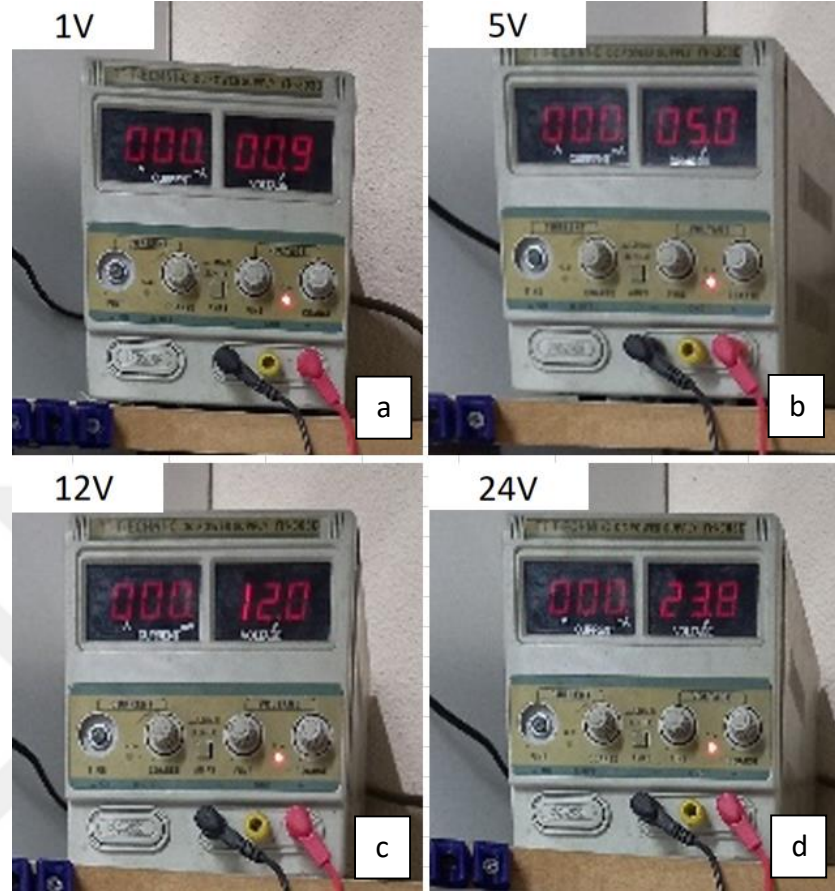
Şekil 5. 13. %25 grafit takviyeli biyoplastik elektriksel iletkenlik deneyi.

%25 oranında Grafit Tozu takviyeli biyoplastiğin elektriksel iletimini ölçmek için aldığımız numuneye 1V, 5V, 12V, 24V gerilimler uygulanmıştır (Şekil 5.11). Alınan çıktılarda sırasıyla 0,014A, 0,112A, 0,384A, 0,802A olarak ölçülmüştür. Bu durum %25 grafit tozu takviyeli biyoplastiğin elektrik iletkenliğinin oldukça yüksek olduğunu göstermektedir (Şekil 5.12). Fakat yapılan ölçümler esnasında numuneden geçen akımın yükselmesiyle birlikte aşırı bir ısınma ve duman çıkışı daha yoğun olarak gözlemlenmiştir, numune tutuşma sıcaklığına çok yaklaşmıştır.

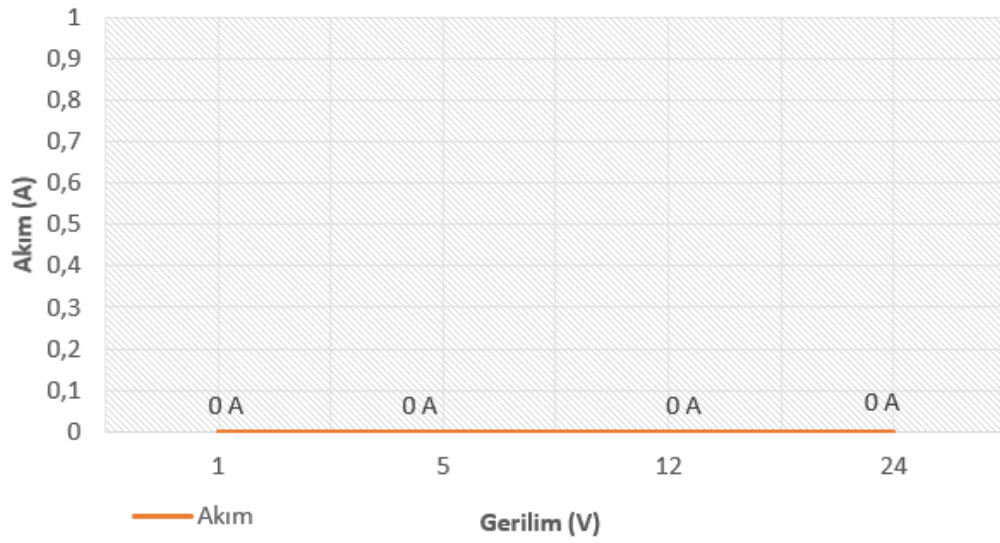
%25 grafit tozu takviyeli biyoplastiğin elektrik iletkenliğini test edildiğinde ise biyoplastiğin elektriksel iletim özellik kazanımının olduğu fakat ısınma probleminin olabileceği sonucu çıkarılmıştır (Şekil 5.13).



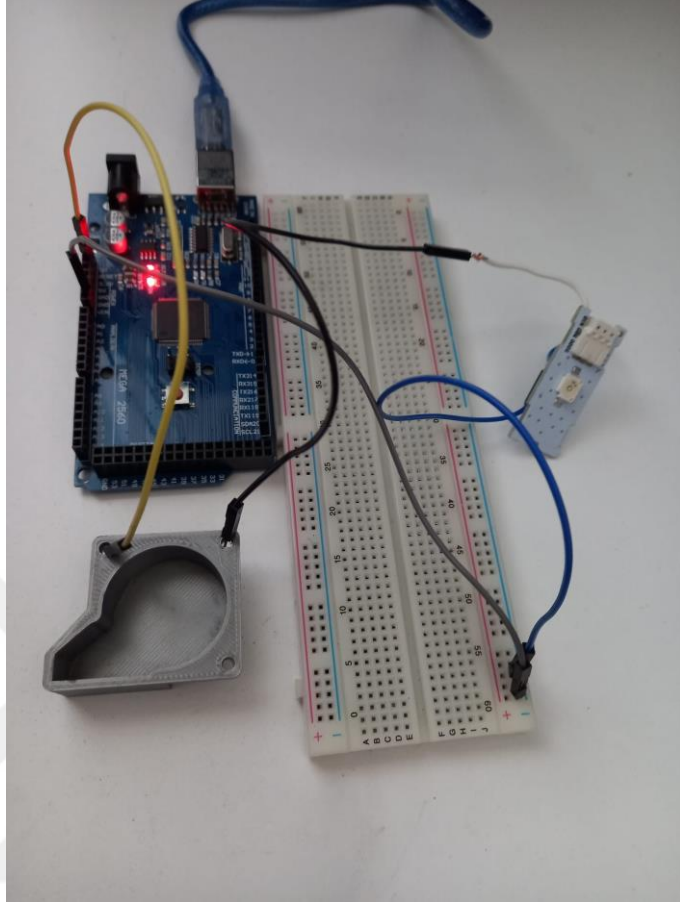
5.2.5. PLA Biyoplastiğin İletkenlik Testi Sonuçları



Şekil 5. 14. PLA biyoplastiğin elektriksel iletkenliği.



Şekil 5. 15. PLA biyoplastiğin grafiklere göre elektriksel iletim grafiği.

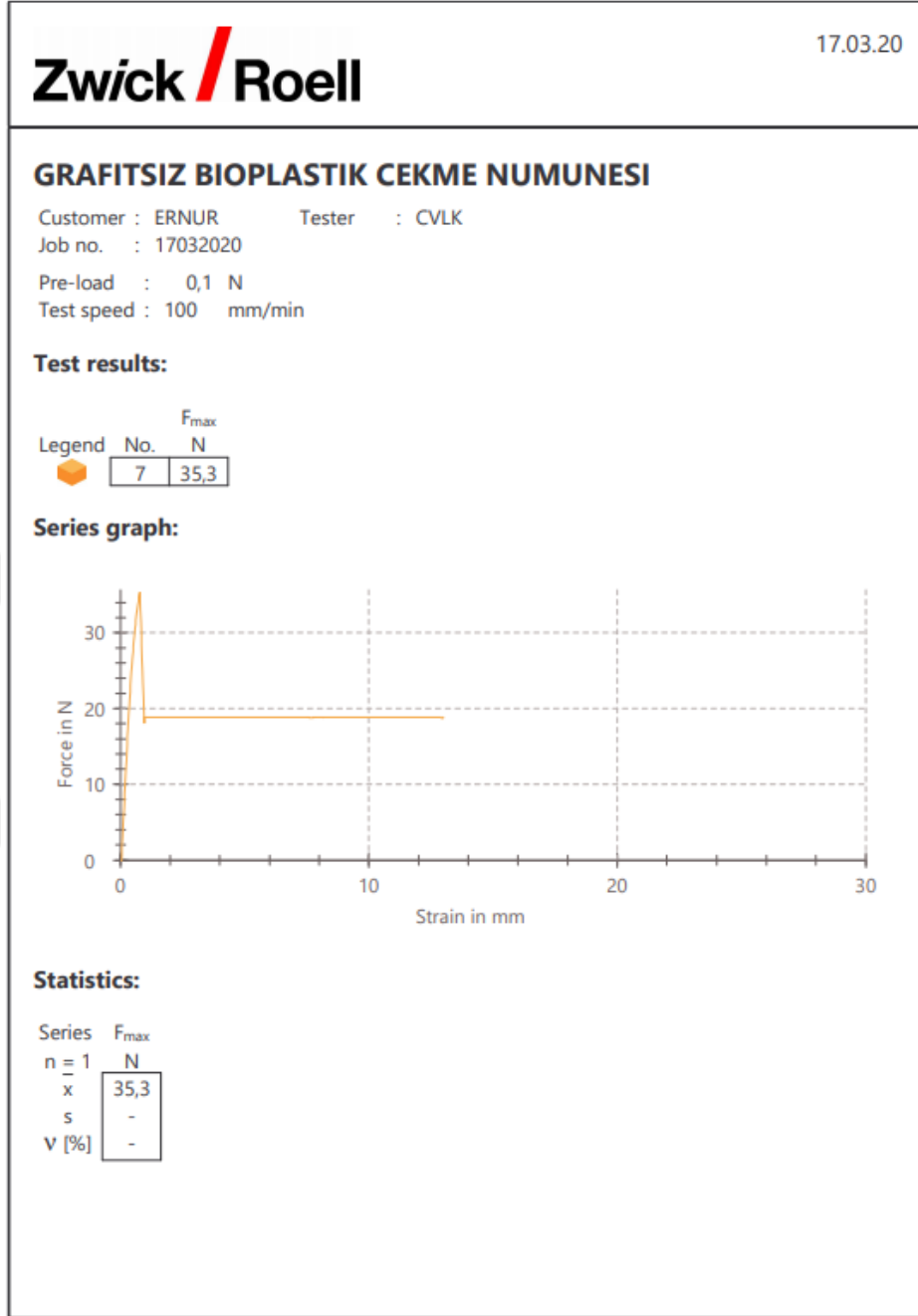


Şekil 5. 16. PLA biyoplastiğin elektriksel iletim deneyi.

Son olarak da PLA plastiğin 1V, 5V, 12V ve 24V gerilimleri altındaki elektrik iletkenliği ölçülmüştür (Şekil 5.14). Cam elyaf takviyeli numunede olduğu gibi herhangi bir elektriksel iletim oluşmadığı gözlemlenmiştir (Şekil 5.15).

PLA biyoplastiğin LED ampul devresine bağlanarak test edildiğinde ise bilindiği üzere elektriksel iletkenlik özelliği olmayan plastik devrenin tamamlanmamasına ve ampulün yanmamasına neden olmuştur. (Şekil 5.16).

5.3. Takviyesiz Biyoplastiğin Çekme Testi Sonuçları



Şekil 5. 17. Grafit takviyesiz plastiğin çekme dayanımı testi sonuçları.

5.3.1. Takviyesiz Biyoplastiğin Çekme Testinin Yorumlanması

Yukarıdaki çekme Denklemini göz önünde bulunduracak olursak takviyesiz nişasta matrisli biyoplastiğin 0,1N ön yüklemeli 100mm/dk hızındaki çekme testi sonucunda maksimum çekme kuvveti F_{max} 'ın 35,3N olduğu görülmektedir (Şekil 5.12). Numunenin kesit alanını $40\text{mm} \times 5\text{mm}=200\text{mm}^2$ alacak olursak;

$$\sigma_{\text{ç}} = F/A$$

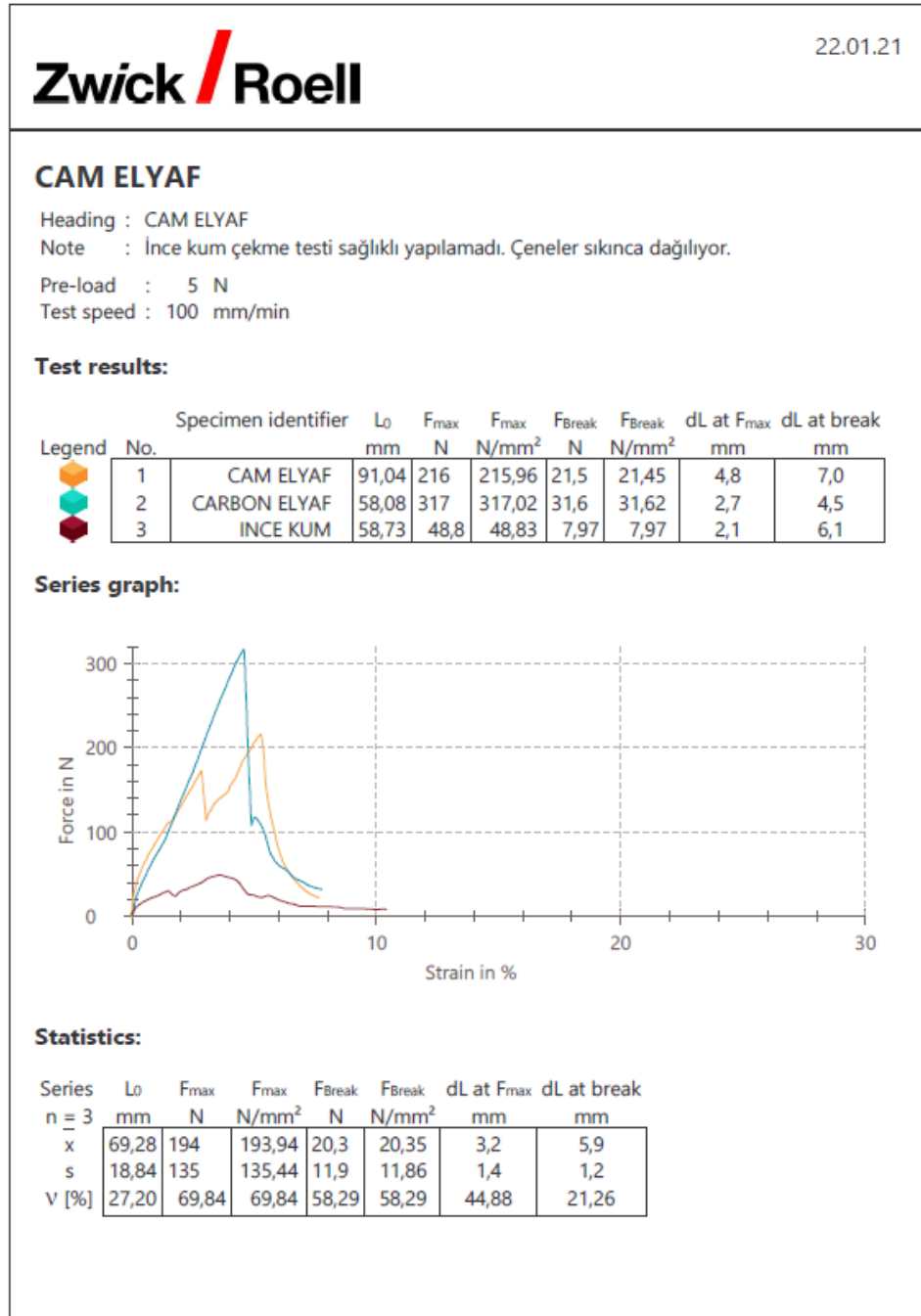
$$\sigma_{\text{ç}} : \text{Çeki Gerilmesi} \left(\frac{N}{\text{mm}^2} \right)$$

Denklemden ilerlenecek olursa;

$$\sigma_{\text{ç}} = \frac{35.3N}{200\text{mm}^2}$$

=0,1765 MPa olarak bulunmuştur.

5.4. Takviyeli Biyoplastiklerin Çekme Testi Sonuçları



Şekil 5. 18 Grafit takviyeli numunelerin çekme dayanımı testi sonuçları.

5.4.1. Takviyeli Biyoplastiklerin Çekme Testlerinin Yorumlanması

Grafit tozu, cam elyaf, ince kum ve karbon elyaf takviyeli nişasta matriksli biyoplastiklerin çekme dayanımlarını yorumlamak gerekirse, 5N ön yüklemeli ve

100mm/dk hızındaki testler sırsıyla Grafit tozu ve cam elyaf takviyeli, grafit tozu ve karbon elyaf son olarak da grafit tozu ve ince kum takviyeli 200 mm² lik kesit alanına sahip numunelere uygulanmıştır.

Testlerin sonuçlarını yorumlamak gerekirse, eklenen takviye tozların ve malzemelerin, çekme dayanımına olumlu bir etkisi olduğunu görülmüştür. Takviye malzemesi eklenmemiş biyoplastik numunenin çekme dayanımı 0,1765 MPa olarak hesaplanmıştır.

Grafit tozu ve cam elyaf eklentili biyoplastiğin çekme dayanımı 1,080 MPa, olarak hesaplanmıştır. Cam elyaf ve grafit tozu takviyesi biyoplastiğin maksimum çekme kuvveti dayanımı 6,11 katına ulaşmıştır. Biyoplastiğin 2 adet te üzere cam elyaf malzemesinin etkisi çekme dayanımı testinde biyoplastiğin kuvvet- gerinme grafiğinde görüldüğü üzere 2 adet tepe noktası görülmektedir, bu durumda biyoplastiğin gerilme diyagramındaki davranışı seramik bir malzemenin mekanik davranışına şeklinde yorumlanabilir.

Grafit tozu ve cam elyaf takviyeli numunenin çekme dayanımı;

$$\sigma_{\zeta} = F/A$$

$$\sigma_{\zeta} = \frac{216N}{200mm^2} = 1,080 \text{ MPa,}$$

Grafit tozu ve karbon elyaf takviyeli biyoplastiğin çekme dayanımı 1,585 MPa olarak hesaplanmıştır. Kuvvet-Gerinme grafiğine bakılacak olursa numuneler arasında en gevrek ve çekme dayanımı en yüksek biyoplastik olduğunu söylemek mümkündür. Grafit tozunu ve Karbon elyaf eklentisinin sonucunda eklentisiz biyoplastiğin çekme dayanımı 8,98 katına çıkmıştır

Grafit tozu ve karbon elyaf takviyeli numunenin çekme dayanımı;

$$\sigma_{\zeta} = F/A$$

$$\sigma_{\zeta} = \frac{317N}{200mm^2} = 1,585 \text{ MPa,}$$

Grafit tozu ve ince kum takviyeli biyoplastiğin çekme dayanımı ise 0,2440 MPa olarak hesaplanmıştır. Yapılan takviye malzemenin çekme dayanımına büyük bir etkisi olmamıştır fakat oldukça gevrek bir yapıya sahip olan takviyesiz biyoplastiğin tokluk değerlerini oldukça arttırmıştır. Takviyeli biyoplastikler arasında tokluk değeri en fazla olan biyoplastik grafit tozu ve ince kum takviyeli biyoplastiktir.

Grafit tozu ve ince kum takviyeli numunenin çekme dayanımı;

$$\sigma_{\text{ç}} = F/A$$
$$\sigma_{\text{ç}} = \frac{48,8N}{200mm^2} = 0,244 \text{ MPa}$$

Olarak hesaplanmıştır.

5.5. Biyoplastiklerin Üç Boyutlu Yazıcıdaki Çıktıları

5.5.1. %11,7 Grafit Tozu Takviyeli Biyoplastiğin Çıktısı



Şekil 5. 19. %11,7 grafit tozu takviyeli biyoplastiğin üç boyutlu yazıcıdaki çıktısı.

%11,7 Grafit Tozu Takviyeli Biyoplastik karışımı hazırlandıktan sonra hazneye konulmuştur ve imalatı yapılan üç boyutlu yazıcıdan çıktısı alınmıştır (Şekil 5.19).

Çıktı, Katmanların ve baskı sürecinin incelenbilmesi amacıyla küçük bir çıktı alınmıştır. Çıktı incelendiğinde, elde edilen son ürünün formunda herhangi bir sorun gözlemlenmemiştir, katmanlar arasında ezilme ya da ölçüsel olarak bariz farklar gözlenememiştir. Bakı esnasında üç boyutlu yazıcının noozle çıkışında viskoziteden kaynaklı herhangi bir zorlanma tespit edilmemiştir.

5.5.2. %10 İnce Kum ve %15 Grafit Tozu Takviyeli Biyoplastiğin Çıktısı



Şekil 5. 20. %10 İnce kum ve %15 grafit tozu takviyeli biyoplastiğin yazıcıdaki çıktısı.

%10 İnce Kum ve %15 Grafit Tozu takviyeli biyoplastiğin üç boyutlu yazıcıdaki çıktısını incelediğimizde Katmanlar arası sorunlar görülmüştür (Şekil 5.20). Üç boyutlu yazıcının noozle çıkışında homojen bir çıkış olmadığı gözlemlenmiştir.

5.6. Genel Değerlendirme

Yaptığımız bu çalışmada Nişasta bazlı biyoplastiklerde elektriksel ve termal iletkenliğini arttırmak ve aynı zamanda bu biyoplastiğin mukavemet değerlerini de iyileştirmek amacıyla mühendislik anlamında son 10 yılın en ilgi çekici malzemelerinden biri olan ve birçok disiplinde araştırma konusu olan Grafit maddesi seçilmiştir. Grafit tozunun nişasta bazlı biyoplastiklerdeki etkisi üzerinde durulmuştur. Grafit tozunun elektrik iletkenliği ve yüksek sertlik dayanımlarının olduğunu düşünülürse Çalışmada Grafit tozunun yanı sıra, karbon elyaf, cam elyaf kırıkları, ince kum gibi kendine özgü karakteristik özellikleri olan başka malzemelerinde biyoplastiklere olan etkisini araştırmak amacıyla bu malzemelerle de biyoplastikler hazırlanmıştır.

Ürettiğimiz biyoplastiklere uyguladığımız testler neticesinde takviyesiz nişasta bazlı biyoplastiklere kıyasla mekanik anlamda daha yüksek dayanımlı yapılar içeren biyoplastikler elde edilmiştir. Bunun yanı sıra ürettiğimiz biyoplastiklerden bazıları elektriksel iletkenlik özelliği kazanmıştır. Elde edilen bu özellik ürettiğimiz tüm plastiklerin sorunsuz ve stabil olarak çalışması için elverişli değildir, %10 İnce Kum ve %15 Grafit Tozu takviyeli biyoplastik ile %25 grafit tozu takviyeli biyoplastik elektriksel iletkenli açısından diğer plastiklerden üstün olmasına karşın sağlıklı olarak çalışamayacaklarını göstermişlerdir. Öte yandan %11,7 oranında Grafit Tozu takviyeli biyoplastik numunenin ise yapılan testlerde istenilen bir performansla çalışabileceği kanısına varılmıştır. Bir LED lambası devresinde LED ampulü yakabilmek için gerekli olan akım değeri yaklaşık olarak 20mA ya da 0,02 Amperdir. %11,7 grafit oranına sahip plastiğimizin elektriksel iletim sonuçları göstermiştir ki 12V gerilim altında 0,092 Amper elektrik akımını sağlıklı bir şekilde ısınma ve herhangi bir deformasyon problemi yaşanmadan iletebilmiştir.

Gerilim denklemini kullanacak olursak,

$$V = I * R$$

Bu plastiğin 12 Volt gerilim altında uygun bir elektrik devresi sisteminde sorunsuz bir şekilde çalışabileceğini göstermiştir.

Üç Boyutlu yazıcı imalatındaki uygulugu için yapılan testlerde yalnızca %11,7 oranında grafit tozu takviyeli biyoplastik malzemenin uygun olduğu görülmüştür, %10 cam elyaf kırık ve %15 grafit tozu takviyeli biyoplastik malzemenin üç boyutlu yazıcıdaki baskı süreci için ise iyileştirmeler yapılması gerekmektedir. Diğer biyoplastik karışımlar, yazıcının noozle kısmındaki tahliye aşamasında sorun yaşamışlardır ve baskı yapılmasına elverişli değillerdir.

Çalışmamızdan çıkarılacağı üzere nişasta bazlı biyoplastik malzemelere elektriksel iletkenlik özelliği kazandırılmış olup üç boyutlu yazıcı teknolojisi ile imalatını mümkün kılmıştır. Aynı zamanda gliserol maddesinin nişasta bazlı biyoplastik malzemenin formülünden çıkarılarak ve grafit tozu eklenerek biyoplastiğin mekanik dayanımı arttırılmıştır.

Gelecek teknolojilerde özelleştirilmiş biyoplastikler, elektriksel iletimin gerekli olduğu ya da ısınma ihtiyacı için gereken tasarımlarda kullanılabilmesinin mümkün olduğu yorumu yapılabilir. Üzerinde çalıştığımız biyoplastik malzemeler iyileştirmeler neticesinde spesifik geometrilerde tasarlanıp üç boyutlu yazıcılarda FDM teknolojisi ile ara ürün ya da bitmiş ürün olarak imal edilebilirler.

EKLER

EK -1. Matrise eklenen bazı ek maddelerin mekanik özellikleri.

Tablo 1. Grafit tozu mekanik özellikleri

Özellik	Birim	Değerler
Kütle Yoğunluğu	(g/ cm ³)	1.6-2.3
Gözeneklilik	(%)	0.6-46
Elastisite Modülü	(Gpa)	7-19
Basma Gerilmesi	(MPa)	20-210
Termal iletkenlik	(W/m.k)	240

Tablo 2. 3mm cam elyaf kırıklarının mekanik özellikleri

Özellik	Birim	Değerler
Yoğunluk	Gr/ cm ³	2.56
Çekme Dayanımı	MPa	3.445
Elastisite Modülü	GPa	76
Uzama Gerilmesi	%	2.75
Elyaf Yarıçapı	µm	13
Kırık Boyu	mm	3

KAYNAKLAR

Aladağ, İ. & Kul, E. (2016). L. Polimetilmetakrilat protez kaide materyalinin fiziksel ve mekanik olarak güçlendirilmesi. *Atatürk Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Dergisi*, 26(15), 102-108.

Ali, S, Alnemr, T. & Alqahtani, N, (2021). Development of low-cost biodegradable films from corn starch and date palm pits (*Phoenix dactylifera*). *Food Bioscience*, 42. 101199.

Ardalı, Y., Er, B., Köksal, Ö. & Sağlam, M. (2019). Biyoplastiklerin Biyodegradasyonu. *Sinop Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 4(2), 151-167.

Ashothaman, A., Senthilkumar, J. & Sudha, N. (13 July 2021). A comprehensive review on biodegradable polylactic acid polymer matrix composite material reinforced with synthetic and natural fibers. *Materials Today: Proceedings*.

Aydın, H. Y, Kılıç, A. & Tekin, A. R. (2019). Geleneksel Türk Gıdalarının 3b Yazıcı İle Yazdırılması. *International Journal Of 3d Printing Technologies And Digital Industry*, 3(1), 1-10.

Ayhan E. & Karakuş, Z. (2019). Gıda Atıklarından Çevre Dostu Biyobozunur Ambalaj. *Gıda The Journal of Food*, 44(6), 1008-1019.

Latos-Brozio, M. Masek, A. (Ocak,2020). The application of natural food colorants as indicator substances in. *Food and Chemical Toxicology*, 135.

Chen, L., Cheng, H., Jin, Z., McClements, D., J., Miao, M., Ren, F., Tianyi, Y., Zhang, Z. (2021). Starch-based biodegradable packaging materials: A review of their preparation, characterization and diverse applications in the food industry. *Trends in Food Science & Technology*, 70-82.

Çavuşoğlu, A. Y. (1978). *Kompozit Malzemeler*.

Daiman, D., Dimonie, D., Rapa, M. & Trusca, R. (2019). Some aspects conditioning the achieving of filaments for 3D printing from physical modified corn starch. *Materiale Plastice*, 56(2), 351.

Duan, Q., Jiang, T., Liu, H., Yu, L., Zhu, J. (2020). Starch-based biodegradable materials: Challenges and opportunities. *Advanced Industrial and Engineering Polymer Research*, 3(1), 8-18.

Ekşi, O. (2007). *Plastik Esaslı Malzemelerin Isıl Şekil Verme Özelliklerinin İncelenmesi* (Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi). Trakya Üniversitesi/Fen Bilimleri Enstitüsü, Edirne.

Erkmen, J., Özdemir, N., (2013). Yenilenebilir Biyoplastik Üretiminde Alginin Kullanımı. *Karadeniz Fen Bilimleri Dergisi*, 3(8), 89-104.

Fonseca-García, A., Aguirre-Loredo, R. Y. & Jiménez-Regalado, E. J (2021). Preparation of a novel biodegradable packaging film based on corn starch-chitosan and poloxamers. *Carbohydrate Polymers*, 251, 117009.

Günay, M., Gündüz, S., Kaçar, R., Yaşar, N. & Yılmaz, H., (2020). PLA esaslı numunelerde çekme dayanımı için 3D baskı işlem parametrelerinin optimizasyonu. *Journal of Polytechnic*, (23) 73-79.

Kaya, A. İ. (2016). Kompozit Malzemeler ve Özellikleri. *Putech & Composite Poliüretan ve Kompozit Sanayi Dergisi*, 29, 38-45.

Kaya, G., Çetinkaya, K. (2019). Vidalı Transfer Sistemine Sahip Kartezyen Tipi 3B Yazıcılarda Gıda Malzemeleri Yazdırma Parametrelerinin incelenmesi, *Politeknik Dergisi*, 21(3), 663-667.

Krassenstein, B. (2014, Ağustos). *A 20-Year-Old 3D Printed Object Emerges From the Dust at MIT*. <https://3dprint.com>: <https://3dprint.com/12179/old-3d-prints-hagia-sophia/> adresinden alındı

Kumlutaş, D. & Tavman, İ. H., (2003). Alüminyum Oksit Tane Katkılı Polietilen Matriksli Kompozitlerin Isı İletim Katsayısı. *Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, 5(2), 19-25.

Kuz, P., (2017). *Nişasta Bazlı Biyoplastik Malzemeler*. (Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi). Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi/Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekirdağ.

Lockwood, A. (2017, Haziran 29). *Guide to Leveraging Continuous Fiber for Strong 3D Printing*. <http://old.digitaleng.news/>: <http://old.digitaleng.news/de/guide-leveraging-continuous-fiber-strong-3d-printing/> adresinden alındı

Bakary, C., Dobi-Brice, K.,K., Lynda, E., K., Tchirioua, E., & Yannick, D. D., Zoungran, Y., (2020). Influence of natural factors on the biodegradation of simple and composite bioplastics based on cassava starch and corn starch, *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 8(5), 104396.

ÖZGEÇMİŞ

İlköğretimini Tekirdağ'da tamamladı. 2013 yılında Trakya Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü'nde lisans eğitimine başladı. 2017 yılında Trakya Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü'nden mezun oldu. 2018 yılında Trakya Üniversitesi Makine Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans eğitimine başladı. 2018 B/S/H Elektrikli Ev Aletleri Firması'nda Geliştirme Mühendisi olarak sektörde çalışmaya başladı. 2021 yılında Çorlu Ahi Evran Mesleki ve Teknik Anadolu Lisesinde Öğretmenliğe başladı. Halen Öğretmenlik yapmaktadır.