



## DIKEY EKSTRÜZYON (FİLAMENT) SİSTEMİ TASARIM VE PROTOTİP İMALATI

Mustafa AYDIN<sup>1</sup>, Burak GÜLER<sup>2</sup> ve Kerim ÇETİNKAYA<sup>2</sup>,

<sup>1</sup>Karabük Üniversitesi Teknoloji Fakültesi, Mekatronik Mühendisliği Bölümü, Karabük, Türkiye,

<sup>2</sup>Karabük Üniversitesi Teknoloji Fakültesi, Endüstriyel Tasarım Mühendisliği Bölümü, Karabük, Türkiye,

### ÖZET

Bu çalışmanın amacı günümüzde oldukça yaygın olarak kullanılan masa üstü üç boyutlu yazıcılar için granül plastik hammaddeden filament üretebilen dikey tip bir ekstruder tasarımı ve prototip üretimidir. Ekstruder sisteminde granül hammadde gövde içerisine vidalı mil ile iletilmektedir. Granül hammadde sistemin ucundaki rezistans ısıtmalı 1.75 mm nozül çıkışında eriyerek filament şeklini almaktadır. Filament çıkış anında fan yardımı ile soğutulur. Sistem dikey bir gövdeye sahip olduğundan eriyen granül malzemenin herhangi bir zorlama kuvvetine gerek olmadan doğal bir şekilde yerçekimi kuvveti ile akması sağlanmıştır. Filament sarma makarası arduino kontrol kartı, adım motoru ve filament uzunluğunu algılayan bir sensör yardımıyla kontrol edilmiştir. Tasarlanan ekstruder ile üretilen PLA (Polilaktik asit) filament ve piyasadan temin edilen ticari filamentler kullanılarak çekme testi deneyi numuneleri basılmış ve çekme testi deneyleri gerçekleştirilmiştir. Ayrıca sistemin saatteki tükettiği toplam elektrik enerjisi, hammadde işleme kapasitesi ve malzeme başına tükettiği enerji ölçülmüştür.

**Anahtar Kelimeler:** Granül, PLA filament, Ekstruder.

## VERTICAL EXTRUSION (FILAMENT) SYSTEM DESIGN AND PROTOTYPING

Mustafa AYDIN<sup>1</sup>, Burak GÜLER<sup>2</sup> ve Kerim ÇETİNKAYA<sup>2</sup>,

<sup>1</sup>Karabuk University Technology Faculty, Mecathronics Engineering Department, Karabuk, Turkey

<sup>2</sup>Karabuk University Technology Faculty, Industrial Design Engineering Department, Karabuk, Turkey

### ABSTRACT

The aim of this study is to design a desktop and small scale extruder which works on vertical axis and produces filaments using thermoplastic granules. Thermoplastic materials were moved into nozzle by screwed shaft in designed extruder. After granules were melted at the outlet of the nozzle by heating band, 1.75mm diameter filaments were produced and cooled by fan. Flowing of the melted plastic materials was achieved without any external force due to the natural gravity when the extruder placed on vertical axis. Arduino control card, stepped motor and sensors that measures the length of the filaments were used to control and trigger the reel holder of the filaments. Produced PLA (polylactic acid) filaments by this extruder and commercial PLA filaments were used to print tensile test specimens and tensile experiments were performed with these specimens. Consumed electrical power per hour, produced amount of the filaments and consumed energy per raw material were measured.

**Keywords:** Granules, PLA filament,, Extruder.

## 1. GİRİŞ

Endüstriyel alanda oldukça yaygın olarak kullanılan üç boyutlu yazıcılar gelişen teknolojiyle birlikte fiyat ve boyut olarak küçülerek ev tipi ve bireysel kullanıma açılmış ve bu alana gösterilen ilgi giderek artmıştır. Günümüzde hemen herkesin kolaylıkla alabildiği ve ya yapabildiği üç boyutlu yazıcılar ile hayal edilen ya da ihtiyaç duyulan bir malzemenin kısa bir sürede üretilmesi mümkün olmaktadır. Üç boyutlu yazıcılarda üretim yaparken hammadde olarak Polilaktik asit (PLA), Akrlonitril Butadin Stiren (ABS), Nylon ve Reçine gibi birçok malzeme kullanılabilen ancak bu malzemelerden çoğunlukla PLA ve ABS filament tercih edilmektedir. Bu malzemelerin geri dönüşüm kabiliyetlerinin yüksek olması ve kolayca temin edilebilmesi bu ürünlerin popülerliğinin artmasına neden olmuştur.

Üç boyutlu yazıcı filament malzemesi plastik ekstrüzyon makineleri ile üretilmektedir. Ekstrüzyon sistemleri bir huni içerisine konulan plastik granül parçacıklarından vidalı mil yardımı ile huni ucundaki ısıtıcı nozül tarafına taşınması burada ısı işleminden geçerek eritilmesi mantığı ile çalışmaktadırlar. Burada eritilerek akışkanlık özelliği kazandırılan hammadde istenilen çapta (genellikle 1.7mm ya da 3mm) çıkartılarak üç boyutlu yazıcıda kullanıma hazır bir film şerit haline getirilmektedir.

PLA filamentlerinin üretiminde filament çapının stabil olması, kırılmaya karşı dayanıklı olması ve mekanik özelliklerinin bozulmaması istenir. Yapılan çalışmalarda ekstruder tasarımın iyileştirilmesi ve PLA malzemesine ilave edilen katkı maddeleri ile filament kalitesi arttırılmaya çalışılmaktadır. Bu çalışmalarda genel olarak üretilen filamentin çapının stabil olması ve filament malzeme ile üretilen deney numunelerinin mekanik özellikleri araştırılmaktadır.

Karakuş vd. [1] 2010 yılında plastik ekstrüzyon yöntemi ile farklı dolgu maddeleri kullanılarak üretilen polimer kompozitlerin bazı mekanik özellikleri üzerine etkisi incelemiştir. Çalışmalarında, yerfıstığı ve ceviz kabuklarının atık polipropilen yoğurt kapları içerisinde dolgu maddesi olarak kullanılması ile polimer kompozit üretiminde değerlendirilebileceğini belirtmişlerdir. Plastik içerisine katılan dolgu maddelerinin genel olarak elastikiyet modüllerini arttırdığını ancak çekme, eğilme ve darbe direnci değerlerini azalttığını ifade etmişlerdir.

Tuna ve Özkoç [2] yaptıkları çalışmada, geri kazanım esnasında PLA'nın özelliklerinin iyileştirilmesi için zincir uzatıcılarını kullanmışlardır. Reaktif ekstrüzyon tekniği ile izosiyanat, anhidrit ve epoksi esaslı zincir uzatıcılar PLA ile reaksiyona sokularak geri kazanılan PLA'nın özelliklerinin iyileştirilmesi için bir model çalışma yürütmüşlerdir. Zincir uzatıcı türü, yükleme oranı ve süreç değişkenlerinin elde edilen ürünlerin mekanik, termal ve reolojik özellikleri üzerindeki etkilerini incelemiştir.

2010 yılında yapılmış diğer çalışmada ise Gören vd. [3] ekstrüzyon ile plastik boru üretimi amacıyla spiral kanallı ekstrüzyon kalıbı sistematik tasarımı yapmışlardır. Spiral kanallı kalıbın geometrik parametrelerini, basınç kaybının düşük olması ve kalıp çıkışında düzenli hız dağılımının sağlanabilmesi amacıyla elektrik şebekesi yöntemini kullanılarak optimize etmişlerdir.

Koyun ve Akdoğan [4] plastik ekstrüzyon sistemlerinde kullanılan vidalı millerde mekanik aşınma ve yorulma hatalarının nedenleri ve çözüm önerileri üzerine yaptıkları çalışmalarında; uygun mil tasarımı ve montaj işlemleri sırasında uygun yağlayıcılar ile yağlama tekniklerinin seçilmesiyle ekstruder millerinin yorulma hata davranışları azaltılarak kullanım ömürlerinin arttırılabileceğini belirtmişlerdir.

Ulutan vd. [5] tarafından yapılan çalışmada ekstrüzyon yöntemi ile yüksek yoğunluklu polietilenden geri dönüşüm sonrası üretilen boruların mekanik ve yapısal özellikleri incelenmiştir. Daha önce kullanılmayan polietilen malzeme tekrar tekrar ekstrüzyon işlemine tabi tutularak uygulanan ısı ve mekanik işlemlerin ve süreç koşullarının polietilende neden olduğu yapısal değişimler araştırılmıştır. Yeniden işleme sırasındaki ısı ve mekanik etkilerin polietilenin yapısında oksitlenmeye bağlı bozunmalara yol açtığını, kristal oranını arttırdığını, tekrarlanan ekstrüzyon işlemleri sonunda elde edilen verimin orijinal malzeme kullanımına göre daha düşük olduğunu ifade etmişlerdir [5].

Oktay [6] yaptığı yüksek lisans çalışmasında tek filament süren ekstruder ile yapılan üretimde, ekstruder tek filament sürebildiği için hem ana yapının hem de destek yapının aynı filament malzemesi ile üretilmesi zorunluluğuna dikkat çekmiştir. Ana yapının ve destek yapının aynı malzemeden yapılmasının, parçanın temizlenmesi esnasında ayrılacak destek kısmının anlaşılmasını zorlaştırdığını belirtmişlerdir. Ayrıca iki yapının da dayanımının aynı olmasından dolayı destek yapının temizlenmesi esnasında ana yapının da zarar görebileceğinden bahsetmiştir. Bu problemleri ortadan kaldırmak için çift filament süren bir ekstruder tasarımı gerçekleştirmiştir.

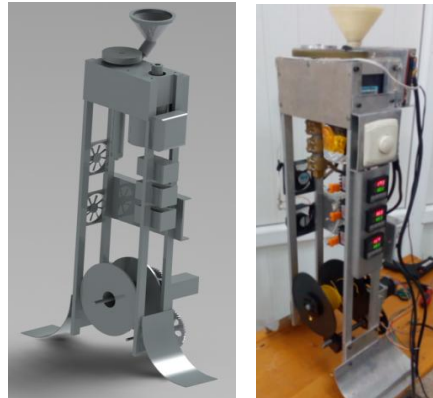
Sayer ve Özkan [7] tarafından yapılan çalışmada seramik ve polimer malzeme üretimi için ekstrüzyon yöntemi kullanılmış ve bu iki malzemenin birleştirilmesi ile elde edilen seramik-polimer kompozit malzemenin avantajları ve dezavantajları araştırılmıştır. Elektriksel yalıtıklık ve yüksek korozyon dayanımları bu iki malzeme grubunun önemli avantajları ve ortak özellikleri olduğunu ancak mekanik özellikler bakımından bu iki malzeme grubunun çok büyük farklılıklar gösterdiğini belirtmişlerdir. Seramiklerin sert olmalarına karşın kolay kırılmaları, polimerlerin ise esnek olmaları ancak sertliklerinin düşük olmasının bu iki malzeme grubunun başlıca avantajları ve dezavantajları olduğunu ifade etmişlerdir.

Yang et al. [8] yaptıkları çalışmada odun talaşı içeriğinin PLA malzemenin termal ve mekanik özelliklerine etkisini incelemek amacıyla bir mikroextruder tasarımı yapmışlardır. Namiki et al. [9] yaptıkları çalışmada PLA filamentinin mekanik özelliklerini iyileştirmek için takviye materyali olarak karbon fiber termoplastik malzeme kullanmışlardır. Isıtıcı nozül ucuna kadar ayrı olarak beslemesi yapılan iki malzeme ısıtıcıda birleştirilerek filament üretimini gerçekleştirmişlerdir. PLA üretiminde takviye materyali olarak karbon fiber termoplastik malzeme kullanımının gerilme sertliği ve direncini artırdığını ifade etmişlerdir.

Jonoobi et al. [10] çift vidalı ekstrüzyon sisteminde selüloz nanofiber takviyeli PLA malzemenin mekanik özelliklerini incelemişlerdir. Çalışmalarında nanofiber takviyesinin PLA malzemenin gerilme direncini ve elastikiyetini iyileştirdiğini belirtmişlerdir. Bu çalışmada granül hammaddeden 3B yazıcılarda üretim malzemesi olarak kullanılan filament üretebilen masaüstü bir dikey ekstrüzyon sistemi tasarımı ve prototip üretimi gerçekleştirilmiştir. Ekstrüzyon sistemi ile granül hammaddeleri bulunan değişik türdeki filamentler üretilmektedir.

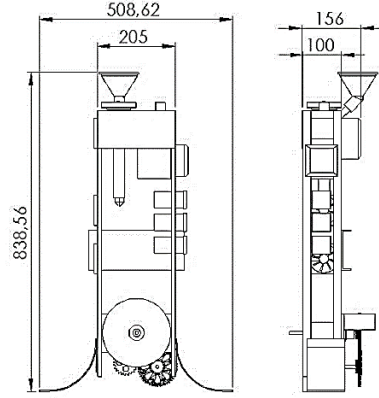
## 2. TASARIM VE PROTOTİP

Çalışmada dikey tip bir filament üretim sistemi tasarımı yapılmış ve prototip üretimi gerçekleştirilmiştir. Şekil 1’ de filament üretim sistemi model tasarımı ve prototipi görülmektedir.



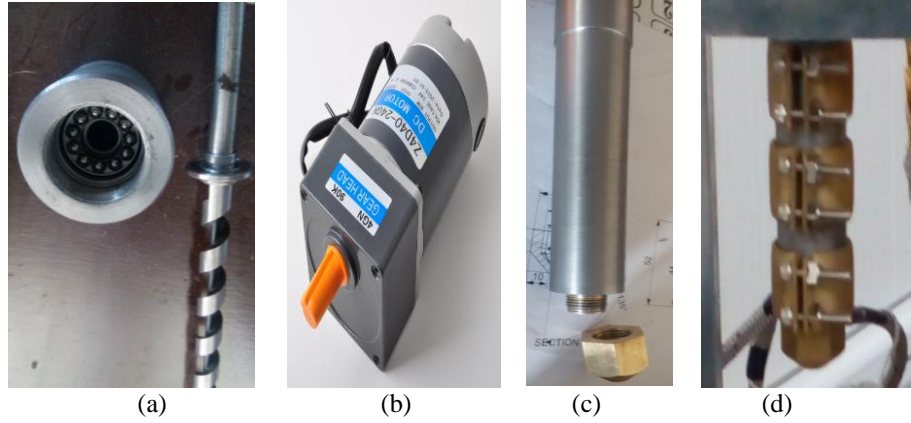
Şekil 1: Dikey filament üretim sistemi tasarım ve prototipi

Ekstruder filament üretim sistemi şasesi alüminyum malzemeden yapılmıştır. Sistem ölçüleri Şekil 2’ de verilmiştir.



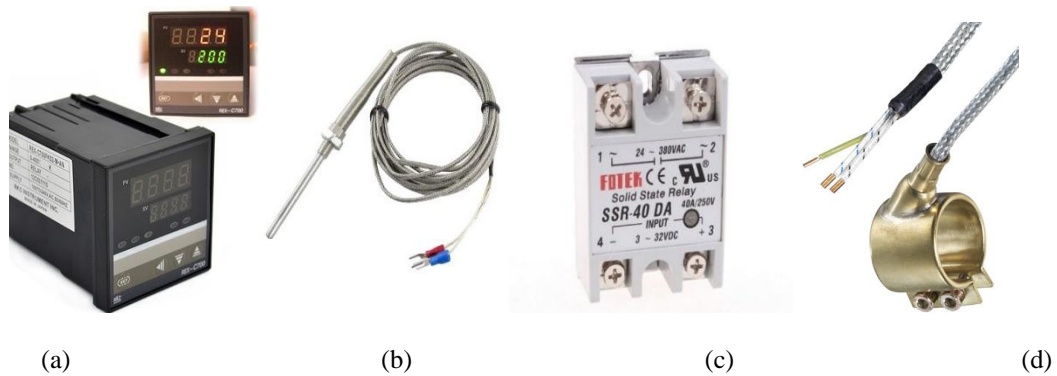
**Şekil 2:** Extruder filament üretim sistemi ölçüleri

Filament üretim sisteminde; plastik malzemenin ısıtılarak transferini sağlayan bölüm olan ekstrüzyon gövdesi, vidalı mil, elektrik motoru ve rezistanslar Şekil 3'te görülmektedir. Ekstrüzyon vidası olarak 12mm çapında bir vida kullanılmıştır. Ekstrüzyon vidasına tahrik veren eleman ise direkt olarak 220V ile çalışan 26 d/d özelliğine sahip bir redüktörlü motordur. Isıtıcı boru etrafına yerleştirilen rezistanslar boru içinde hareket eden granül malzemenin eriyik haline getirilmesi işlemini gerçekleştirmektedir.



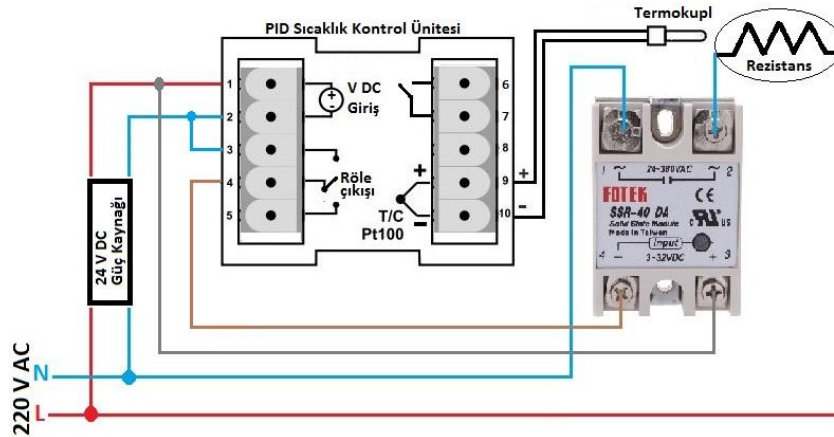
**Şekil 3:** Ekstrüzyon sistemi elemanları a) Vidalı mil b) Redüktörlü motor b) Extrüzyon gövdesi c) Rezistanslar

Ekstrüzyon gövdesi ve ekstrüzyon vidası ısıtma işlemi için 3 adet meme rezistans kullanılmıştır. Bu rezistansları kontrol etmek amacıyla PID sıcaklık kontrol ünitesi ve 220V SSR röle kullanılmıştır. Şekil 4'te sistemde kullanılan PID sıcaklık kontrol ünitesi, termokupl, sıcaklık kontrol rölesi ve ısıtıcı rezistans, görülmektedir.



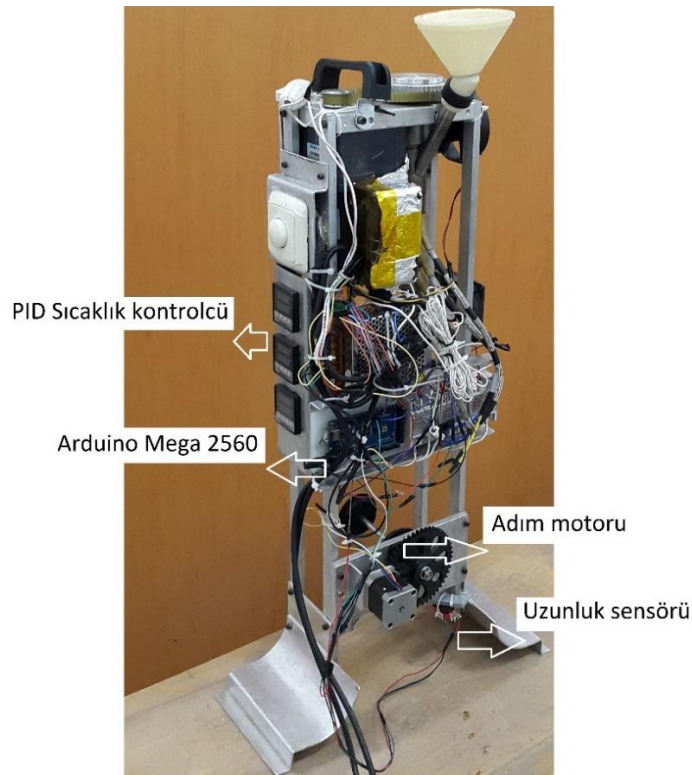
**Şekil 4:** (a) PID sıcaklık kontrol ünitesi (b) Termokupl c) Sıcaklık kontrol rölesi (d) Rezistans

Sistemde PID sıcaklık kontrol ünitesi, sıcaklık kontrol röleleri ve ısıtıcı rezistansları arasındaki bağlantı şeması Şekil 5’ te verilmiştir. Sistem bağlantı şeması ile doğrudan 220V ile beslenmiştir.



Şekil 5: Filament üretim sistemi sıcaklık kontrolcüsü, sıcaklık kontrol rölesi ve rezistans bağlantı şeması

Ekstruder sisteminde filament makarası ve filament sarma sistemi yer aldığı alt bölümde ise şerit haline dönüştürülen PLA filament malzeme makaraya sarılmaktadır. Sistemde üç boyutlu yazıcıda üretilmiş dişli çarklar ile bir adet adım motoru filament makarasını döndürmek için kullanılmıştır. Isıtıcı nozül ucundan çıkan filament uzunluğu sensör yardımıyla algılanmakta, yeterli uzunluğa ulaştığı esnada Arduino Mega 2560 kartı tarafından kontrol edilen bir adım motoru vasıtası ile makaraya sarılmaktadır. Arduino kart filamentin doğal akışını zorlamayacak şekilde adım motorunu kontrol etmekte, belirlenen uzunlukta sarma işlemi tamamlandığında adım motorunu durdurmaktadır. Şekil 6’ da ekstruder filament üretim sisteminde kullanılan elemanlar ve yerleşimleri görülmektedir.



Şekil 6: Ekstruder filament üretim sistemi adım motor dişli çarklar ve makara

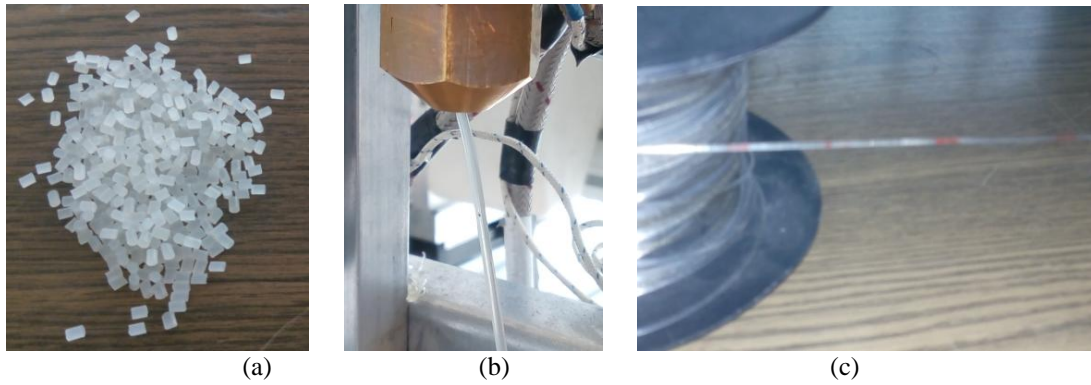
Filament üretim sistemi teknik özellikleri ve sistemin maliyeti Tablo 1’de verilmiştir. Oluşturulan sistem masaüstü ve bireysel kullanıma uygun boyutlarda olup ekonomik bir bütçe ile yapılabilmektedir.

**Tablo 1:** Filament üretim sistemi teknik özellikleri ve maliyeti

Sistem Ölçüleri	838 x 508 x 156 mm
Nozül Çapı	1,7 mm
Ekstrüzyon Vidası Çapı	12 mm
Motor Özellikleri	220V - 40w – 26d/dk
Isıtıcıların Özellikleri	220V – 125w
Sistemin Maliyeti	1600 TL

### 3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Filament üretimi için PLA granül malzeme kullanılmıştır. Şekil 7’de granül malzeme ve eritilmiş granülün filament şeklini alarak makaraya sarılmış hali görülmektedir. Üretim anında ve sonrasında filament özellikleri ve sistemin çalışmasını incelemek için çeşitli testler yapılmıştır.



**Şekil 7:** PLA filament üretim adımları a) Granül hammadde, b) Eritilerek oluşturulan filament c) Filamentin makaraya sarılması

#### 3.1. PLA Filament Üretimi Hız Testleri

Filament üretim sisteminde granüllerden filament üretilmesi işlemi aşama aşama ölçülmüştür. Bu ölçüm sürekli devam eden filament üretimi sırasında çıkan ürün üzerine 10 saniyelik aralıklar ile kırmızı işaret konularak yapılmıştır. Üretilen filament üzerine koyulan işaretler 10 dakikalık bir süre boyunca sürekli işaretlenmiştir. Bu süre sonunda filament üzerinde işaretlenen noktalar arası uzunluk kumpas yardımıyla ölçülmüştür. Şekil 8’de filament üretimi sırasında işaretleme ve ölçüm işlemleri görülmektedir.



**Şekil 8:** Filament üretim hızı ölçümü a) İşaretleme b) Ölçüm

Filament üretim sisteminde üretim aşamasında yapılan ölçümler sonunda hesaplanan üretim hızları Tablo 2’de verilmiştir. 10’ar saniye ve 1’er dakikalık aralıklar ile 6 adet ölçüm sonucuna ait üretim hızları hesaplanmıştır.

**Tablo 2:** Filament üretim sistemi 10'ar saniyelik filament uzunluk ölçüleri

Sıra	Ölçümler (s)	Filament Uzunluğu(mm)	Ölçümler (dk.)	Filament Uzunluğu(mm)
1	10	39,5	1	256,1
2	20	41,7	2	258,4
3	30	42,3	3	260,1
4	40	44,2	4	262,7
5	50	44,6	5	265,2
6	60	43,8	6	265,8

Filament üretim hızının değişik sürelerde ölçülmesi sonucu filament üretim sistemi genel kapasitesi belirlenmiştir. 10 saniyede üretilen ortalama filament uzunluğu 42,6 mm, 1 dakikada üretilen ortalama filament uzunluğu ise 261,3 mm olarak hesaplanmıştır. Bu veriye göre sistemin saatteki üretim kapasitesi 15,67 m olarak hesaplanmıştır.

### 3.2. PLA Filament Üretimi Çap Testleri

Filament üretim sistemi ile filament üretimi sırasında 10'ar saniyelik ve 1'er dakikalık zaman periyotlarında belirli bir süre boyunca filament çapı ölçülmüştür. Ölçülen çap değerleri ve çap değişimleri Tablo 3'te görülmektedir.

**Tablo 3:** Filament üretim sistemi 10'ar saniyelik filament çap ölçüleri

Sıra	Ölçümler	Filament Çapı(mm)	Ölçümler	Filament Çapı(mm)
1	10 sn	1,76	1 dk	1,71
2	10 sn	1,72	1 dk	1,48
3	10 sn	1,69	1 dk	1,73
4	10 sn	1,62	1 dk	1,75
5	10 sn	1,58	1 dk	1,84
6	10 sn	1,55	1 dk	1,9

Yapılan ölçümler sonucunda test aşamasında 1'er dakikalık periyotlarda ortalama filament çapı 1,73 mm elde edilmiştir. 10'ar saniyelik periyotlarda ise ortalama 1,65 mm çap değeri elde edilmiştir.

### 3.3. PLA Filament Üretim Malzeme Sıcaklık Değerleri

Filament üretimi için çalışmada PLA granül malzeme kullanılmıştır. Sıcaklık değerleri için standart erime sıcaklığı değerleri baz alınmıştır. Filament üretimi için gerekli olan sıcaklıkları sağlamak için sistemde üç adet rezistans kullanılmıştır. Bu rezistanslardan iki tanesi granül malzemenin erimesi için gerekli olan sıcaklığı sağlamak için ekstrüzyon gövdesini ısıtmaktadırlar. En alt kısımda yer alan rezistans ise eriyen granül malzemenin filament olarak çıkmasını sağlayan nozül elemanı ısıtmakla görevlidir ve çıkış sıcaklığını ayarlamaktadır. Filament üretim sistemi PLA üretim aşamasında kullanılan sıcaklık değerleri Tablo 4'te görülmektedir.

**Tablo 4:** PLA erime sıcaklıkları karşılaştırması tablosu

PLA standart erime sıcaklığı	Sistemde PLA filament üretim sıcaklığı
210 – 220 °C	190 – 200 °C

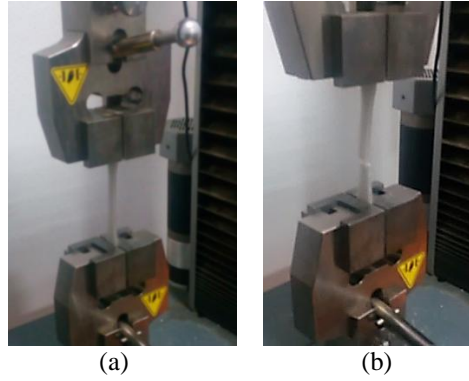
### 3.4. Çekme Deneyi Testleri

Çalışmada filament üretim sistemi ile üretilmiş PLA filament ve ticari PLA filament kullanılarak 3B yazıcıda çekme testi deneyi numuneleri basılmıştır. Deney numunelerine ait çekme testi deneyi ile ilgili veriler bu kısımda yer almaktadır. Çalışmada ekstruder filament üretim sistemi ile üretilen PLA filament ve piyasadan temin edilen ticari PLA filament malzeme kullanılarak 3B yazıcıdan baskı alınmış çekme testi numuneleri Şekil 9'da görülmektedir.



**Şekil 9:** 3B Yazıcıdan baskı alınan üretilmiş ve ticari PLA malzeme çekme numuneleri

Çekme numuneleri sırası ile 1,2,3 nolu numuneler filament üretim sistemi tarafından üretilen PLA filament ile basılmış numunelerdir. 4,5,6 nolu numuneler ise hazır olarak satın alınan ticari PLA filament ile basılmış numunelerdir. Bu numuneler Karabük Üniversitesi Teknoloji Fakültesi laboratuvarında bulunan (Zwick/Roell z050) çekme testi ünitesi ile çekme testlerine tabi tutulmuştur. Numuneler sırası ile cihaza bağlanarak çekme testi deneyi gerçekleştirilmiştir. Çekme işlemleri sonucunda PLA malzeme gevrek kopmaya uğrayarak kopmuş ve test sonuçlanmıştır. Bu işlem her bir numune için tekrarlanmış ve 6 adet çekme deneyi yapılmıştır. Şekil 10' da çekme test başlangıç ve bitiş aşaması görülmektedir.



**Şekil 10:** Çekme testi başlangıç ve bitiş numune görünüşleri (a) numune bağlı başlangıç pozisyonu (b) Numune kopmuş bitiş pozisyonu

Çekme testi sonucu elde edilen değerler kullanılarak ticari PLA filament ile üretilen PLA filament mekanik özellikleri arasında karşılaştırma yapılmıştır. Numunelere ait çekme testi deneyi sonucu elde edilen değerler Tablo 5'te verilmiştir.

**Tablo 5:** Üretilen ve hazır alınan PLA malzemelere ait çekme testi sonuçları

		a0	b0	L0	Fmax	F{lo Break}	{epsilon}Break	{epsilon}-F max
	Nr	mm	mm	mm	N/mm <sup>2</sup>	N/mm <sup>2</sup>	%	%
Üretilen PLA	1	3,8	13,2	220,36	8,87	8,78	1,42	1,38
	2	3,8	13,2	220,04	32,64	31,2	1,35	1,34
	3	3,8	13,2	220,09	38,41	38,38	1,65	1,65
Ticari Hazır PLA	4	3,8	13,2	220,08	37,1	36,4	2,11	1,8
	5	3,8	13,2	220,05	46,8	46,77	1,91	1,9
	6	3,8	13,2	220,11	33,7	32,95	2,13	1,8

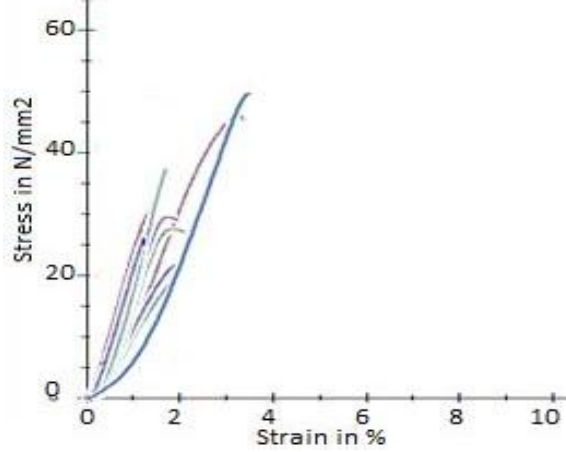
İlk üç numune üretimi yapılan test numunesidir. Bu değerler sonucunda en yüksek kuvvet değeri ticari PLA ile basılmış olan 5. numuneden gelmiştir.  $F_{max}$  46,8 N/mm<sup>2</sup> Aynı şekilde en yüksek kopma kuvvet değeri 46,77 N/mm<sup>2</sup> olmuştur. En yüksek uzama değeri ve en yüksek kopma uzama değeri yine 5 numaralı numune den gelmiştir.

Test sonuçlarına göre filament üretim sistemi ile üretilen PLA malzemelerin ortalama kopma dayanım kuvvetleri ile ticari PLA malzemenin kopma değerleri ortalamaları karşılaştırılmıştır. Bu sonuçlara göre ticari PLA malzeme daha yüksek ortalama değer göstermiştir. Ortalama  $F_{max}$  kopma değeri 39,2 N/mm<sup>2</sup>



elde edilmiştir. Üretilen PLA filament ile alınan baskılar sonucunda elde edilen ortalama  $F_{max}$  ise 26,12 N/mm<sup>2</sup> olarak ölçülmüştür. İlk test numunesi hatalı olması ile ortalamadan çıkarıldığında üretilen PLA filament kopma  $F_{max}$  değeri 35,525 N/mm<sup>2</sup> olarak ölçülmüştür.

Uzama değerlerine bakıldığında yine ticari hazır PLA filament malzeme daha fazla uzama göstermiştir.  $F_{max}$  % uzama değerleri değerlendirildiğinde, ortalama uzama değeri üretilen PLA malzeme için % 1,45 ortalama uzama değeri elde edilmiştir. Ticari hazır PLA malzeme % uzama değerleri ise % 1,83 olarak elde edilmiştir. Şekil 11’de çekme testi sonucu elde edilen grafik görülmektedir.



Şekil 11: Çekme testi grafiği

### 3.5. Filament Üretim Sistemi Elektrik Tüketim Testleri

Filament üretim sistemi üzerinde bulunan elektrik motoru ve üç adet ısıtıcı rezistanslar ile birlikte elektrik tüketim değeri yüksek olabilecek elemanlar içermektedir. Çalışmada filament üretimi sırasında sistemin tükettiği elektrik enerjisi değeri ölçülmüştür. Sistemin elektrik beslemesi üzerine doğrudan bağlanan bir elektrik sayacı kullanılarak sistemin tükettiği toplam elektrik enerjisi ölçülmüştür. Ölçümler kapalı kabin halinde sistemin 200°C sıcaklıkta üç rezistansın da çalıştığı durumda PLA filament üretimi esnasında yapılmıştır. Sistemin 1 saat boyunca çalıştırılması sonucu okunan sayaç değerleri Tablo 6’da görülmektedir.

Tablo 6: Filament üretim sistemi elektrik tüketim değerleri

Sadece Isıtıcılar Çalışırken	Geçen Süre (t)	Sayaçta okunan değerler (kw/h)	Elektrik Tüketimi ( watt/saat)
	1. Saat	30,912 – 30,972	60
Motor ve Isıtıcılar Çalışırken	Geçen Süre (t)	Sayaçta okunan değerler (kw/h)	Elektrik Tüketimi ( watt/saat)
	1. Saat	31,080 - 31,270	190

## 4. BULGULAR ve TARTIŞMA

Çalışmada dikey çalışan ekstrüzyon vidası ve bu vida ve sıcaklık yardımı ile nozül uçtan çıkan iplik filament ürün alınmasıyla devam etmiştir. Filament üretimi aşamasında ve sonrasında testler yapılmıştır. Bu testler içerisinden çekme testi deneyi sonuçlarına göre filament üretim sistemi ile üretilen filament hazır satın alınan ticari filamentlere göre daha gevrek olmuştur. Daha düşük kopma kuvveti ve daha düşük uzama miktarı gevrek olduğunu gösteren değerlerdir.

Diğer yapılan testlerde ise filament üretim hızı ölçülmüştür. Filament malzemenin nozül uçtan çıkış hızı takip edilmiştir. Bu sonuçlara göre oluşan değişimler ve çap küçülmeleri Filament üretimi aşamasında sürekli manuel olarak besleme yapılmıştır ve bunun sonucunda hız değişimi olabilmektedir. Filament üretim sisteminin dikey olan yapısı ve ekstrüzyon vidasının ve nozülün dikey yapısı sonucu çıkan

filament çıktığı andan itibaren aşağıya doğru uzama eğilimi göstermiştir. Bu aşağıya uzama ve çekme sonucu çap küçülmesi ya da kopma sorunu yaşanmıştır. Ayrıca sistemi besleme kısmında da oluşan farklar direkt olarak filament çapını ve miktarını etkileyebileceği görülmüştür.

## 5. SONUÇLAR

Yapılan çalışmada dikey filament üretim sistemi tasarımı ve prototipi üretilmiş ve sonrasında sistemin çalışması gözlenmiştir. Filament üretimi sonrasında çeşitli testler ile prototipin ürün ve çalışma sistemi yorumlanmıştır. Yapılan deneysel çalışmalar ve ölçümler dikey olan yapının üretilebilir ve çalışabilir olduğunu göstermiştir. Üretilen prototip küçük boyutları, makara sarma sistemi ve dikey olan yapısı ile benzer sistemlerden ayrılmaktadır.

## TEŞEKKÜR

Yazarlar; Karabük Üniversitesi Rektörlüğü Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğünün KBÜ-BAP-15/1-YL-009 proje numarası ile verdiği destekten dolayı teşekkür ederler.

## 6. KAYNAKLAR

- [1] Karakuş K, Güleç T, Kaymakçı A, Aksu T, Kirit A, Özder ME, Mengeloğlu F. Ekstrüzyon Yöntemi İle Farklı Dolgu Maddeleri Kullanılarak Üretilen Polimer Kompozitlerin Bazı Mekanik Özellikleri Üzerine Etkisi. 3. Ulusal Polimer Bilim ve Teknolojisi Kongresi ve Sergisi. 2010; 75
- [2] Tuna B, Özkoç G. Geri Kazanılmış PLA'nın Özelliklerinin Reaktif Ekstrüzyon Yöntemi ile İyileştirilmesi: "Model Çalışma". IV.Ulusal Polimer Bilim ve Teknoloji Kongresi. 2012; 1
- [3] Gören G, Balaban M, Yılmaz O, Kırkköprü K, Doğu M. Plastik Boru Üretimi İçin Spiral Kanallı Ekstrüzyon Kalıbının Sistemik Tasarımı. 3. Ulusal Polimer Bilim ve Teknolojisi Kongresi ve Sergisi. 2010; 76
- [4] Koyun A, Akdoğan AN. Plastik Ekstrüzyon Vidalarında Aşınma ve Yorulma Davranışlarının Nedenleri Ve Çözüm Önerileri. Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi. 2006; (3) 65-71
- [5] Ulutan S, İzmirli GB, Göktepe E. Yüksek Yoğunluklu Polietilenden Geri Dönüşüm Sonrası Üretilen Boruların Mekanik ve Yapısal Özellikleri. 6. Ulusal Kimya Mühendisliği Kongresi. 2004;
- [6] Oktay K. Ergitmeli Yığılma Yöntemiyle Üretim Yapan 3D Yazıcılarda Çift Filament Süren Ekstruder Tasarımı (Master's Thesis). [Double filament extruder design in 3D printers that produce with Fused Deposition Method] [Thesis in Turkish] İstanbul. 2015
- [7] Sayer S, Özkan E. Seramiklerin ve Polimerlerin Üretimindeki Benzerlikler ve Kombinasyonları. Bilim – Teknoloji Dergisi. 2007; 22
- [8] Yang W, Fortunati E, Dominici F, Kenny JM, Puglia D. (2015). Effect of processing conditions and lignin content on thermal, mechanical and degradative behavior of lignin nanoparticles/poly(lactic acid) bionanocomposites prepared by melt extrusion and solvent casting. European Polymer Journal. 2015; 71, 126-139.
- [9] Namiki M, Ueda M, Todoroki A, Hirano Y, Matsuzaki R. 3D Printing of Continuous Fiber Reinforced Plastic. Proceedings of the Society of the Advancement of Material and Process Engineering. 2014
- [10] Jonoobi M, Harun J, Mathew AP, Oksman K. Mechanical properties of cellulose nanofiber (CNF) reinforced poly(lactic acid) (PLA) prepared by twin screw extrusion. Composites Science and Technology. 2010; 70 (12), 1742-1747.