



T.C.

ALANYA ALAADDİN KEYKUBAT ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MALZEME BİLİMİ VE MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

**YALIN ÜRETİM TEKNİKLERİYLE İMAL EDİLEN MALZEMELERİN
ARTIKLARI İLE ÜRETİLEN GRANÜLLERDEN ELDE EDİLEN YENİ PLA
FİLAMENTİNİN ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

Yüksek Lisans Tezi

Murat ÇÖMEZ

**ANTALYA
ARALIK 2019**

T.C.
ALANYA ALAADDİN KEYKUBAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**YALIN ÜRETİM TEKNİKLERİYLE İMAL EDİLEN MALZEMELERİN
ARTIKLARI İLE ÜRETİLEN GRANÜLLERDEN ELDE EDİLEN YENİ PLA
FİLAMENTİNİN ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

Yüksek Lisans Tezi

Murat ÇÖMEZ

Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Ana Bilim Dalı
Malzeme Bilimi ve Mühendisliği

Danışman

Dr. Öğr. Üyesi İsmail TOPCU

(ARALIK, 2019)

JÜRİ VE ENSTİTÜ ONAYI

Murat ÇÖMEZ'in "Yalın Üretim Teknikleriyle İmal Edilen Malzemelerin Artıkları İle Üretilen Granüllerden Elde Edilen Yeni Pla Filamentinin Özelliklerinin İncelenmesi" başlıklı tezi 11/12/2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından değerlendirilerek "Alanya Alaaddin Keykubat Üniversitesi Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliği"nin ilgili maddeleri uyarınca, Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Ana Bilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak oy birliği/oy çokluğu ile kabul edilmiştir.

	Ünvanı-Adı Soyadı	İmza
Üye (Tez Danışmanı)	: Dr. Öğr. Üyesi İsmail TOPCU	
Üye	: Dr. Öğr. Üyesi Fatma AYDIN ÜNAL	
Üye	: Doç. Dr. İbrahim ATMACA	

Dr. Öğr. Üyesi Sinan UZUNLU
Enstitü Müdürü

ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ

Bu tezin bana ait, özgün bir çalışma olduğunu; çalışmamın hazırlık, veri toplama, analiz ve bilgilerin sunumu olmak üzere tüm aşamalarında bilimsel etik ilke ve kurallara uygun davrandığımı; bu çalışma kapsamında elde edilemeyen tüm veri ve bilgiler için kaynak gösterdiğimi ve bu kaynaklara kaynakçada yer verdiğimi; bu çalışmamın Alanya Alaaddin Keykubat Üniversitesi tarafından kullanılan “bilimsel intihal tespit programıyla tarandığını ve “intihal içermediğini” beyan ederim. Herhangi bir zamanda, çalışmamla ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun saptanması durumunda, ortaya çıkacak tüm ahlaki ve hukuki sonuçlara razı olduğumu bildiririm.

Murat ÇÖMEZ

TEŞEKKÜR

Başta tezimin konusunu belirlemede bana yon gosteren, gece gunduz demeden ilgi ve alakasini en ust düzeyde hissettiğim danisĐman hocam Dr. Oğr. Üyesi İsmail TOPCU hocama, yüksek lisansa baŐladıđım günden itibaren desteklerini esirgemeyen bölüm hocalarıma ve benim her daim arkamda olan aileme teŐekkürü bir borç bilirim.



ÖZET

YALIN ÜRETİM TEKNİKLERİYLE İMAL EDİLEN MALZEMELERİN ARTIKLARI İLE ÜRETİLEN GRANÜLLERDEN ELDE EDİLEN YENİ PLA FİLAMENTİNİN ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

Murat ÇÖMEZ

Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Ana Bilim Dalı

Alanya Alaaddin Keykubat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü,

Aralık, 2019 (57 Sayfa)

Bu çalışmada sanayileşmenin artması ile paralel olarak artan ham madde ihtiyacının artışı, buna nazaran artık malzemelerden çeşitli yöntemler ile elde edilen yeni ham maddenin kullanımını ele alınmıştır. Bu yeni hammadde kullanımının malzemenin mekanik özelliklerine etkisi incelenecektir.

Yapılan araştırma ve incelemelerin sonucunda ülkelerin gelişmişlik seviyesi ile artan sanayileşmede hammadde kullanımının hızla artması, yeni hammadde bulmada yaşanan zorluklar, artışla birlikte tükenmeye başlayan hammaddelerin maddi ve manevi sorunları ele alınmış, daha öncesi çeşitli işlemlere maruz kalmış hammaddelerin tekrar üretime kazandırılması yöntemi ile aynı maddelerin üretilmesi ve malzemenin özelliklerindeki değişimi konusu ele alınmıştır. Özellikle PLA malzeme granüllerinin ele alındığı bu tez çalışmasında hammadde temini ve malzemelerin özellikleri hakkında detaylı bir inceleme yapılmıştır.

Anahtar Sözcükler: 3D Yazıcı, PLA, Filament, Üretim, Süreç

ABSTRACT

INVESTIGATION OF THE PROPERTIES OF THE NEW PLA FILAMENT OBTAINED FROM THE WASTE MATERIALS PRODUCED BY THE LEAN MANUFACTURING TECHNIQUES

Murat ÇÖMEZ

Department of Material Science and Engineering

Alanya Alaaddin Keykubat University, Graduate School of Science,

December, 2019

In this study, in parallel with the increase of industrialization in creased the need to in creaseraw materials, the reare several methods of materials now than that obtained with the use of new raw materials. This new use of the properties of the material effect of raw materials will be examined.

As a result of the research and development level of countries with in creasing industrialization of raw material in creased rapidly, the use of new raw materials began turn out of challenges in finding, with the increase of the raw materials, madi and spiritual issues have been addressed, before he was exposed to various processes for production of raw materials, production of the same it emby the method of acquiring and exchanging the material's properties are discussed in question. Especially the PLA material granule taken of this thesis study, raw material supply and properties of materials as a detaile dreview.

Keywords: 3D Printer, PLA, Filament, Production, Process

İÇİNDEKİLER

JÜRİ VE ENSTİTÜ ONAYI	ii
ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
ÖZET	iv
ABSTRACT	v
İÇİNDEKİLER	vi
TABLolar LİSTESİ.....	viii
ŞEKİLLER LİSTESİ	ix
SEMBOLLER VE KISALTMALAR LİSTESİ	x
1. GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR	6
2.1. Üretim ve Artık Madde Sorunsalı	6
2.2. Yalın Üretim Hakkında	6
2.3. Yalın Üretim Tekniğinin Diğer Üretim Sistemleri ile Farkı.....	14
2.4. Yalın Üretim Yöntemlerinde Çeşitli İstifleme ve Düzen İlkesi	17
2.5. Parça Akışı	18
2.6. Makinalar Arası Senkronizasyon	19
2.7. U-Hatları, İş Rotasyonu ve İş Tanımları	21
2.8. Sıfır Hata İmalatına Doğru: Poka-Yoke ve Deney Tasarımı	22
2.9. Toplam Üretken Bakım	23
2.10. Bir Dakikada Kalıp Değiştirme.....	24
2.11. 3D Yazıcıların Çalışma Özellikleri	26
2.12. ABS Filamenti Tanımı	29
2.12.1. ABS filamentinin temel özellikleri.....	29
2.12.2. ABS filamentinin kullanım alanları.....	30
2.13. PLA Filamenti Tanımı	30
2.13.1. PLA filamentinin temel özellikleri.....	31
2.13.2. PLA filamentinin kullanım alanları.....	32
2.14. ABS ve PLA Malzemenin Detaylı Şekilde Karşılaştırılması.....	33
2.14.1. Isıl özellikler	33
2.14.2. Mekanik ve fiziksel özellikler	34
2.14.3. 3D Yazıcı basımındaki kolaylık olarak ABS ve PLA karşılaştırması	35
2.14.4. Gaz ve koku.....	36

2.14.5. Doğada çözünme ve dayanıklılık	37
2.15. Filamentlerin Bozulmaması İçin Yapılması Gerekenler	37
2.16. 3D Yazıcı Teknolojisi	39
3. YÖNTEM	42
3.1. Çalışmada Kullanılan 3D Yazıcı.....	42
3.2. Çalışmada Kullanılan Yazılım ve Programlar	43
3.3. Çalışmada Kullanılan Standart Deney Çubuğu ve Filament Özellikleri.....	44
3.4. Çekme Testi ve Sonuçları	49
4. BULGULAR.....	52
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	54
6. KAYNAKLAR	56
ÖZGEÇMİŞ	57

TABLULAR LİSTESİ

Tablo 2.1 Değişen seneler içerisinde çeşitli sistemlerin incelenmesi (Okur, 1997)	14
Tablo 2.2 Çeşitli üretim sistemlerinin karşılaştırılması (Aydemir, 1995)	16
Tablo 2.3 ABS ve PLA ısıl özellikleri tablosu.....	34
Tablo 2.4 ABS, ABS PLUS, PLA, PLA PLUS mekanik özellikleri karşılaştırılması...	35
Tablo 3.1 Test çubukları deney sonuçları	50



ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1 Hatalı üretim eyfel kulesi	3
Şekil 1.2 Hatalı üretim hediyelik eşya	4
Şekil 2.1 Yalın üretim bandı kurulumu	8
Şekil 2.2 Yalın üretimin başarı faktörleri(Aydemir,1995)	10
Şekil 2.3 Ender 3 marka tez aşamasında kullanılan 3D yazıcı	27
Şekil 2.4 Kullandığımız 3D yazıcı ile numune köpeği basımı	28
Şekil 2.5 Piyasada satılan çeşitli renkteki ABS filamentler	29
Şekil 2.6 ABS filamentten üretilmiş bir örnek hediyelik	30
Şekil 2.7 Sıkça kullanılan beyaz renk PLA filament	31
Şekil 2.8 PLA'dan üretilen motor yağı koyma hunisi	33
Şekil 2.9 İlk katmanlarda sıkça oluşan eğilme kalkma sorunu.....	36
Şekil 2.10 Örnek filament saklama yöntemi	38
Şekil 2.11 Kutusunda bozulması güç olan filament örneği	38
Şekil 2.12 SLM 125HL makinesi	39
Şekil 2.13 SLM 125HL üretim ekranı	40
Şekil 3.1 Çalışmamızda kullanılan yazıcı.....	42
Şekil 3.2 Cura dilimleyi programı arayüzü	43
Şekil 3.3 Deney çubuğu.....	44
Şekil 3.4 Makinemizde kendi ürettiğimiz filamentlerimiz	45
Şekil 3.5 Filament üretim makinesi	46
Şekil 3.6 Doz burgular	47
Şekil 3.7 Huni içerisinde zamana ayarlı dönen doz burgu	48
Şekil 3.8 Üretilen filamentlerin sarımı	49
Şekil 3.9 Zwick/Roell test görüntüsü	50

SEMBOLLER VE KISALTMALAR LİSTESİ

Semboller

M	:Metre
Cm	:Santimetre
Mm	:Milimetre

Kısaltmalar

WHO	:World Health Organization
M.Ö.	: Milattan Önce
M.S.	: Milattan Sonra
ABS	: Akrilonitrin Butadin Stiren
PLA	: Polilaktik Asit
TKK	: Toplam Kalite Kontrol
TKY	: Toplam Kalite Yönetimi

1. GİRİŞ

Dünya üzerinde var olan canlılar ki özellikle biz insanlar, gelişen teknoloji ile birlikte sanayileşmenin getirmiş olduğu kolaylıklar ile birlikte artan ihtiyaçlara karşılık temin edilmesi gereken hammadde ihtiyacına yönelik bazı sıkıntılar yaşamaya başladık.

İnsanoğlu belirli bir evreye geldikten sonra ihtiyaçlarını daha hızlı ve kolay şekilde karşılayabilmek adına insan gücünden daha üstün bir güç elde etmek istemiştir. Bu da sanayileşmenin temelini atmıştır. Çeşitli malzemelerin ise artık ihtiyaca karşılık verememesi üstüne ise malzemelerin özelliklerinde değişiklik yapma ihtiyacı gütmiştir. Bu ihtiyaç çerçevesinde ise çeşitli madenleri hammadde olarak kullanmış ve ellerindeki malzemelerin çeşitli özelliklerini ön plana çıkararak ihtiyaca karşılık gelen ürünü üretmeyi planlamışlardır.

Lakin üzerinde yaşadığımız evrenin bize vermiş olduğu imkanlar kısıtlıdır ve ham maddeler gittikçe tükenmektedir. Bu tükeniş son zamanlarda geri dönülmesi zor birçok olayı da beraberinde getirmektedir. İnsanoğlu bu durum karşısında ise zamanında israf ettiği malzemeleri gözüne kestirmiş ve çöp olarak nitelendirdiği üretim artıklarını değerlendirme gibi bir durumu ele almaya başlamıştır.

Bu tezin yazılmasındaki genel amaç ise işin içerisinde olan birisi olarak yazılan ve yapılan araştırmaları kendi bilgi ve tecrübelerimizle harmanlayıp gelecek nesil ve okuyan arkadaşlarımıza bir nebze de olsa ilim ışığını gösterebilmek ve en can alan sektörde belki de dünya hayatını nasıl da ufak dokunuşlarla kurtarabileceklerini düşüncelerini sağlayacak bir bilgiyi vermiş olmanın mutluluğunu ve haklı gururunu yaşayabilmektir, bize bu bilincin yerleşmesinde faydası dokunan başta danışmanım sayın Dr. Öğr. Üyesi İsmail TOPCU ve unutulmaz hocalarımızın da katkısı ile gelecek nesli aydınlatacak bir eser bırakabilmektir.

Bilim ve teknolojinin artık ülkelerin gelişmişliğinde ön önemli unsur olduğu her ülke tarafından bilinmektedir. Değişen dünya yapısında bu teknolojik gelişmelere ayak uyduramayan ülkeler dünya düzenine de ayak uyduramamakta ve iflasın eşiğine gelmektedir. Aynı durum birçok dünya devi firmalar için de farklı değildir. Zamanında birçok alanda zirvede olan firmalar kısa süre içerisinde gelişen teknolojiye ayak uyduramadığı için yok olup gitmiş yahut tarihin tozlu sayfalarında kendine yer beğenmek üzeredir. Bu alanda en çok örnek bulabileceğimiz sektör bilişim sektörüdür. Örneğin on beş yıl öncesinde dünya telefon piyasasının yarısından çoğunu elinde

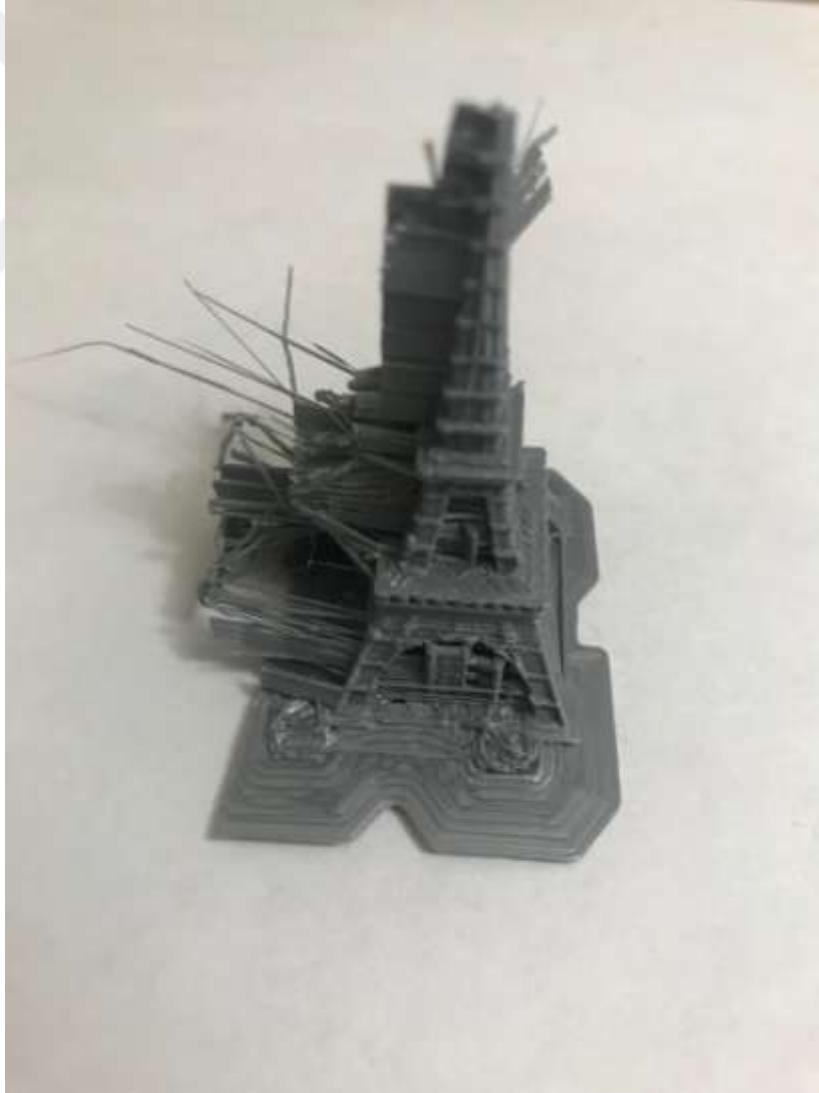
bulunduran Nokia markası Şu an bu liderliğini farklı markalara kaptırmıŐ ve artık sektörde silinme noktasına gelmiştir. Şu an dũnya da endũstri 4.0'ın etkileri gŕrũlmekte buna rağmen birÇok ũlke ise endũstri 5.0'ın neler getireceği yŕnũnde aktif AR-GE ŐalıŐması yapmaktadır.

Ŭretimın nemi konusunda ileri gŕrũŐlũ birÇok dũnya liderinin pek çok zlı sŕzũ mevcuttur. Ŭretim ve sanayileşmenin beraberinde getirdiği sıkıntuların baŐında ise hammadde kısıtı vardır. Bilindiği ũzere her ne kadar teknoloji alanında geliŐim yaŐansa da bu gelişimi devam ettirmek hammaddenin devamlılığı yahut daha uygun bir hammadde bulunması ile sağlanacaktır. Bũyũk lŐekli ũretim yapan firmalar hem hammadde ihtiyaŐını azaltmak hem de işin maddi boyutunu dũŐũrmek amaÇlı çeşitli arayışlar iÇerisine girmiştir. Bu araŐtırmalar neticesinde çeşitli kalite yŕntemleri geliştirilmiş ve bu yŕntemlerin ũretimdeki baŐarisını dũnya ile paylaŐarak para ile elde edemeyecekleri reklamlarını kendi isimleri ile yapmıŐtır. Son zamanların en bũyũk sorunu olan artık hammaddelerin dŕnũŐtũrũlmesi ve yeniden kullanılması & artık hammadde azaltılma yoluna gidilmesi gibi fikirler ise yalın ũretimın temellerini oluŐturmuŐtur.

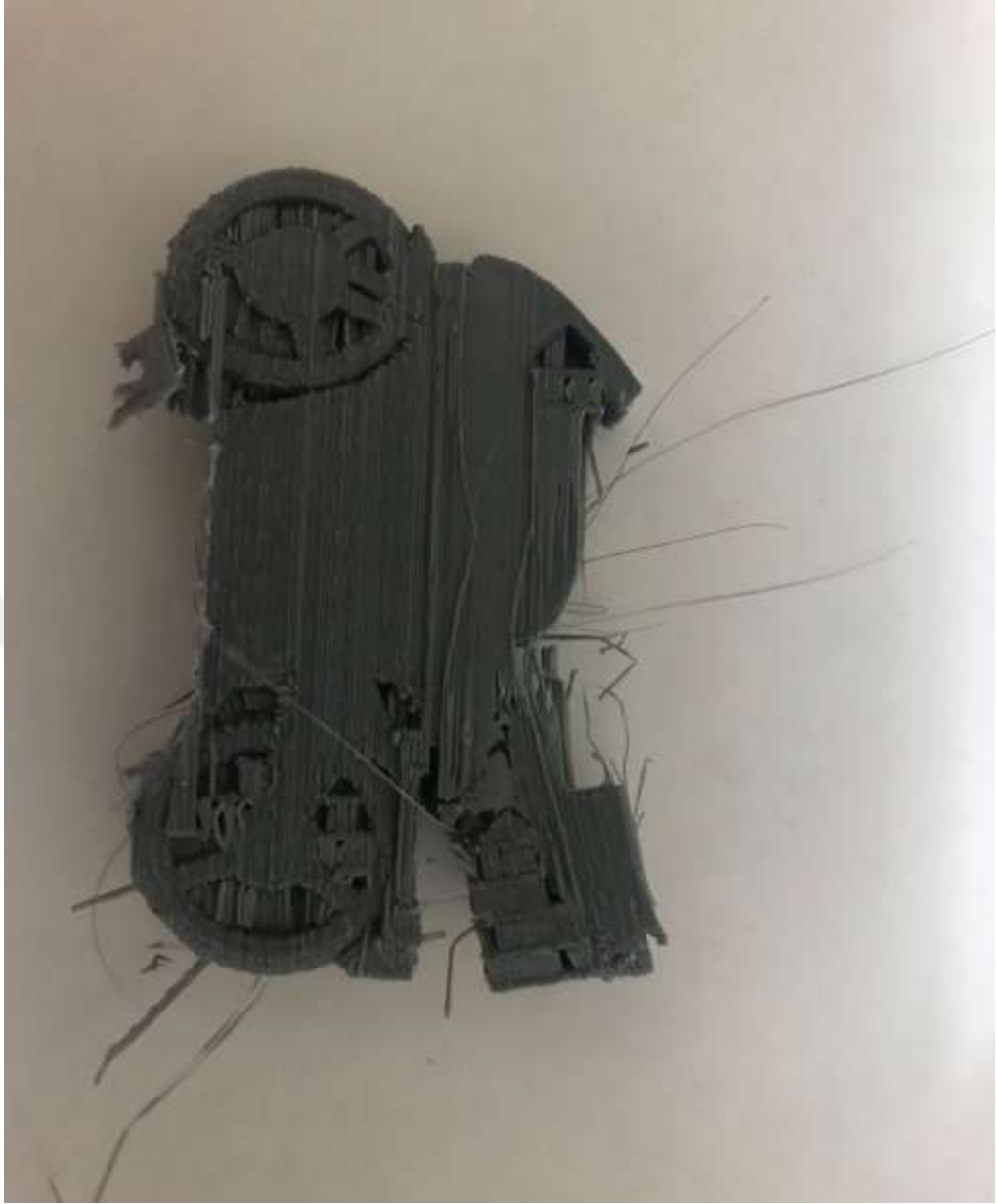
Son zamanlarda ise 3D yazıcılar herkesin ilgisini çekmeye baŐlamıŐ ve uygun sayılabilecek fiyatlarından tũrũ son zamanlarda birÇok ğrenci evine kadar girmiştir. Özel olarak ũretilmesi gereken bazı parÇaların bulunması zorluğu ve pahalı fiyatı insanları tedirgin ederken çok dũŐũk maliyetlerle 3D yazıcılarda bu parÇaların ũretilebileceđi durumu herkeste bir merak uyandırmıŐtır. Çeşitli filamentlerle amaca uygun baskılar alınabilmekte ve bu baskılar birÇok ũrũnde sorunsuzca kullanılabilir. Bu filamentler direk ũretilbildiđi gibi geri dŕnũŐũm malzemelerinden de granũllerin eritilmesi yolu ile ũretilmektedir. Tezimde ise geri dŕnũŐũm granũllerinden ũretilen filamentlerin özellikleri incelenecektir.

Bizim tarzımızda ũretim yapılan geri dŕnũŐũm granũllerde filamentin ũretilbilmesi işin granũller gŕvde tarafına vidalı miller ile gŕnderilmektedir. Burada kullanılan hammadde ise ũretilmek istenen çapa uygun nozũlũn sistemin ucuna takılması ile ũretilmektedir. Buradaki granũlũn Şekil alabilmesi işin sistemin uŐ tarafına takılan nozũl ise rezistans tarafından ısıtılmaktadır. Isınan nozũlũn iŐerisinden geÇen granũl de eriyip filament Şeklini almaktadır. Biz genel amaca uyması ve kullanım yoğunluğundan tũrũ 1.75mm ebadındaki nozũlũ kullandık ve mũmkũn olduğunca da +- 0.03mm hassasiyeti yakalamaya çalıŐtık. Bu hassasiyeti yakalamayı istememizin

temel sebebi ise filamentte oluşacak ufak bir çap değişiminin dahi 0.2 mm ve daha düşük hassasiyette üretim yapılması gereken büyük boyutlu malzemelerde katman farklarından ve hassasiyetten dolayı boşluk kalmamasını istememizdir. Oluşacak bir boşluk neticesinde üretilen malzeme hatalı olacak ve küçük bir hassasiyet eksikliğinden ötürü belki de bir veya iki kilogram filamentten üretilen malzeme ve bu üretim sırasında kullanılan emek ve elektrik boşa gidecektir. Bu üretim sırasında ise yüzlerce kez hareket eden makinemiz de boşa çalışmış olacak ve yıpranacaktır. Bu hatanın bir çok kez gerçekleşebilme ihtimalini göz önüne aldığımızda ise 0.03 mm hassasiyeti artı eksil tutturabilmenin ne kadar önemli olduğu göz önüne alınmalı ona göre hassas üretim yapılabilmelidir. Bu yüzden yaptığımız işte ne kadar hassas olmamız gerektiği aşikardır. Şekil 1.1 ve Şekil 1.2'de ise hatalı filament yüzünden üretimin ayarının kayması sebebiyle oluşan bozuk şekil görülmektedir.



Şekil 1.1 Hatalı üretim eyfel kulesi



Şekil 1.2 Hatalı üretim hediyeelik eşya

Şekillerde de görüldüğü üzere filamentlerin çapındaki sapmalardan kaynaklı yazıcı ayarlarında ve dolgularda hatalar meydana gelebilmektedir ve bu hatalar üretimin tamamını mahvedebilmektedir. Bu hata ilk katmanlarda da ortaya çıkabileceği gibi diğer katmanlarda da ortaya çıkabilmektedir. Eşit miktarda gitmeyen filament yüzünden nozül zaman zaman fazla akış karşısında tıkanabilmektedir.

Sistemden çıkan filament çıkış anında fan ile soğutulmak zorundadır. Yatay prototipli filament üretim sistemlerinde de, yatay tipli filament üretim sistemlerinde de bu soğutma zorunludur. Çıkış hızı belirlenen makineden çıkan filament aynı hızla ayarlanmış sarım kasmağıyla sarılır. Gerekirse kontrol kartı, adım motoru ve çeşitli

sensörler eklenerek sistem biraz daha profesyonelleştirilebilir. Üretim bandında sorun olup olmadığını incelemek amacı ile sistemi kontrol eden bir veya daha fazla adet kamera da sisteme eklenebilir. Tasarlanan makine ile geri dönüşüm granüllerinden filament elde edip ticari filamentler ile karşılaştırılması yapılacaktır.



2. LİTERATÜR

2.1. Üretim ve Artık Madde Sorunsalı

Genel anlamda üretimin var olduğu her alanda ham maddesel bir tüketimde mevcuttur. Bu tüketimler maddi ve manevi anlamda her alanda herkesi etkileyen bir durumdur. Dünya üzerinde var olan hammadde ihtiyacı müthiş bir artışla devam etmekte, yaşanan bu tüketim hammadde için savaflara dahi neden olabilmektedir.

Varoluşundan beri sürekli ilerlemeyi kendine hedef almış insanlık camiası ihtiyaçlarına karşılık sürekli bir üretim politikası içerisine girmiştir. Bu alanda çağ açıp çağ kapatan insanoğlu sanayi alanında müthiş mücadele vermeyi devam ettirmektedir. Devletler kurmuş olan insanlar artan ihtiyaçlarını karşılayacak hammaddeler bulmak için bir diğer devletlerle de çeşitli anlaşma yoluna gitmiş ve çeşitli ticari örgütlenmeler de oluşmuştur. Bunun yanı sıra dünya üzerindeki birçok savaşın da ana nedeni artan hammadde ihtiyacını karşılayabilmek üzerine kuruludur. Yaşanan bu hammadde savafları savaş alanını değil, bazen dünya genelini de etkileyebilmektedir.

Sanayi devi birçok ülke ve markalar artık daha ucuz üretim ve hammadde bağımlılığını azaltma amaçlı çeşitli kalite yöntemlerini denemiş, olumlu olan sonuçlar üzerinde yoğunlaşmışlardır. Hatta bazı markaların AR-GE tabanına aktarmış olduğu maddi kaynak, bazı ülkelerin ekonomisini bile geçebilmektedir. Bu da ülkelerin ve firmaların sanayileşme alanında ne gerekiyorsa taviz vermeyeceğinin büyük ölçüde kanıtını oluşturmaktadır.

Artan atıkların fazlalaşması, imhalarının güç ve maddi anlamda zor olması ise firma ve ülkelerin çeşitli arayışlar içerisine girmesine sebep olmuştur. Bu alanda atıkların imhası yerine nasıl geri dönüşüme kazandırırım gibi fikirler ortaya çıkmış, çok büyük ödüller verilen yarışmalar düzenlenmiştir. Ülkemizde ve dünya da birçok geri dönüşüm tesisi ise aktiftir ve atık olarak görülen çeşitli malzemelerin dönüşümü ile farklı amaca hizmet eden üretimler gerçekleştirilmektedir. Kağıt ve ambalaj atıkları ile olan geri dönüşümlerin olduğu gibi çöpten elektrik üreten ülkeler de mevcuttur.

2.2. Yalın Üretim Hakkında

Yalın üretimde asıl olan hedef ticari işletme ve firmalarda yapılan üretimin zahmeti ve bu üretim sırasında geçen hizmet süresini kısaltmak, kısalan hizmet süresine müteakip elde edilen ekstra kazançtan dolayı maliyetleri düşürmek, bu iyileştirmelerin

sürekli olarak devamlılığın sağlanması ve buna nazaran da hızlı üretim neticesinde tedarik hızla sağlanması ve müşteri memnuniyetlerinin artmasıdır. Yalın tekniklerin kullanılması ile birlikte bir çok yöntemle hem arızaların azalması, hem gereksiz işlemlerin atılması, hem makinesel verimliliğin artması, gereksiz üretim bantlarının üretimden çıkarılması gibi durumlar söz konusudur. Kısaca işverenler tarafından hedeflenen her türlü hedef esasında yalın üretiminde hedefidir.

Yalın üretim bantlarının kurulumu ve aktif edilme aşamasında gerekli alan ve ekipman seçimi çok önemlidir. Aşağıda Şekil 2.1’de bir yalın üretim bandının fabrika içerisindeki ilk kurulum aşaması görülmektedir. Yerinde yaptığım bu incelemede sistemin ilk işlemden son işleme kadar olan süreçte verimliliği ve zamanı nasıl daha iyi kullanacağımıza ait düzen açıkça görülmektedir. Örneğimiz bir güneş enerjisi paneli üretim tesisi ziyaretimizden çekilmiştir. Bu tesisten örnek vermek gerekirse gereksiz bütün işlem bantları önceki tecrübelerinden faydalanarak bu tesise kurulmamış ve uzayan hatlar kısalmıştır. Kısa bantlarda daha hızlı süreç tamamlanmakta ve zamandan olduğu kadar elektrikten de tasarruf edilmektedir. Ayrıca binanın daha işlevsel ve ferah olmasının önü açılmış, gereksiz teçhizat kalabalıklarından kurtulunmuştur. Bantlara lüzensuz para vermenin önüne geçilmiş olup maddi manevi ilerleme kaydedilmiştir



Şekil 2.1 Yalın üretim bandı kurulumu

Sanayi devriminin Avrupa'yı değiştiren ve güç dengelerini tamamen alt üst eden bir değişim olduğunu fark eden Avrupa devletleri 19.yüz yıldan itibaren sanayi gelişimlerinin üstüne düşmüş ve çeşitli endüstri formlarını yayımlamışlardır. En son Almanya'da 2011 yılında 4.0 endüstri kavramı ortaya çıkmıştır. Ortaya atılan bu endüstri sürümünde nesnelerin birbirleri ile koordineli olarak çalışması istenmiştir.

Birbirleri ile entegre çalışan bu akıllı sanayi ürünü kısa sürede dünya genelinde ün yapmış ve bir çok dünya ülkesi endüstri 4.0 geçişini hızlandırmıştır. Akıllı sanayi denilen bu sistem kısa sürede benimsenmiş olup az gelişmiş ülkelerinde ilgisini çekmiştir. Almanların akım olarak başlattığı bu serüven özellikle işverenlerin olduğu kadar müşterilerinde tedarik süreci kısalttığı için ilgisini çekmiş ve üretimde istenen büyüme hedefleri artırılmıştır.

Yalın üretimin esas amacı, bu üretimi esas kılmış firmaların ve işletmelerin üretim ve hizmet üretim sürecini israflardan ve çeşitli atıklardan arındırarak üretim maliyetlerin olabilecek en düşük seviyeye çekilmesi, malzeme tedariği isteyen

müşterilerin memnuniyet düzeyi ve oranının artırılması ve iyileştirmenin sürekli kılınmasıdır.

Bu sebeple çok çeşitli yalın üretim teknikleri ortaya çıkmış olup uygulanmasına başlanmıştır. Üretim süreçlerini yakından takip eden firmaların endüstri devrimine ayak uydurması kısa süre almış olup bu süreç içerisinde bir çok değişime ayak uydurmuşlardır, dijital endüstri işlemleri ile bağlamlar kurup fiziki yeterliliklerini bu sisteme entegre etmişlerdir.

Endüstri 4.0 sadece iş süreç ve üretim parametrelerinde değişimi elde etme ile kalmayıp, akıllı ürün ve bağlantılı ürün tanımlamalarını ortaya çıkarıp gelir elde edici hizmeti hedeflediğinden yeni pazarlara yelken alınmasını sağlayacaktır.

Endüstri 4.0 teknolojisi yalın üretim teknikleriyle harman edildiğinde müşteri talep ve arzlarının daha iyi kavranmasını, ortaya çıkan olumsuzlukların, maddesel sistem arızaları gibi halledilmesi yerine olumsuzlukların kaynağına inilmesini ve bu olumsuzlukları yok edecek çalışmaların hayata geçirilmesini sağlamaktadır.

Bu tez çalışmasında, öncelikle üretim sürecinde doğabilecek israflar ve artıklar belirtilerek bazı üretim teknikleri ve bunlarla alakalı geri dönüşüm malzemeleri hakkında da bilgi verilmiştir.

Endüstri inkılabı ile başlayan değişimlerin ve entegre edilen çeşitli sistemlerin, artan malzemelerinden alınan numunelerin granül hammaddesi olarak dönüştürülüp tekrar kullanılması neticesinde malzemenin özelliklerinde ne gibi bir değişim yaşandığı açıklanmıştır. Birinci üretim malzeme ile geri dönüşümden elde edilen malzeme granüllerinin farkı da mukayese edilmiştir.

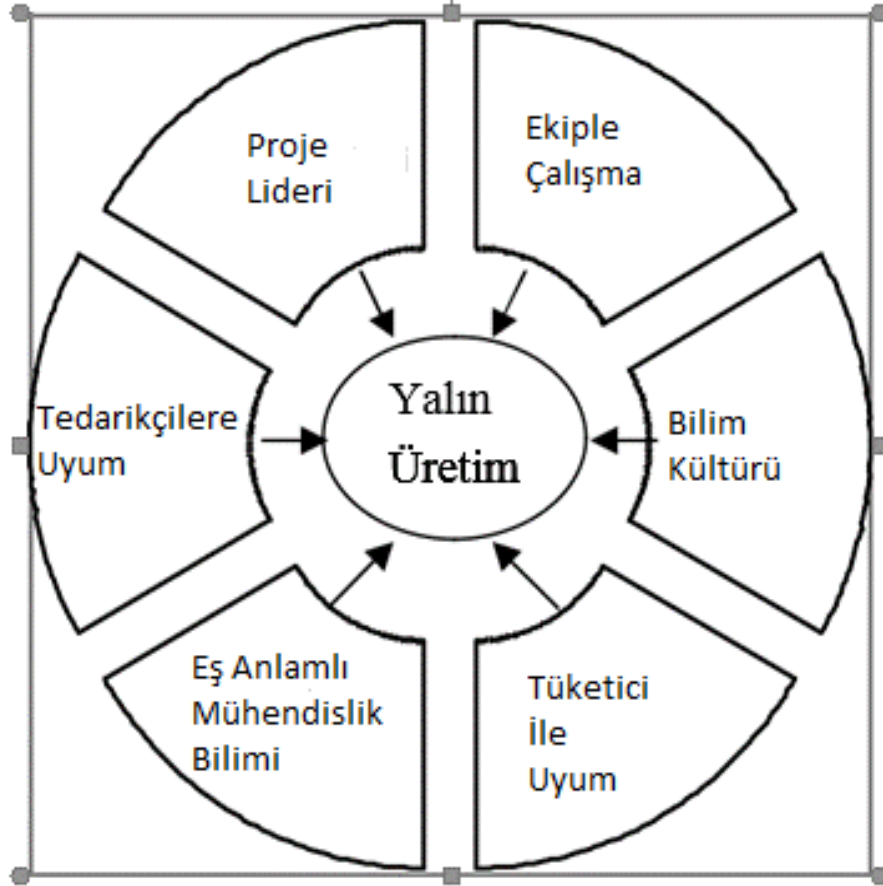
Sonuca bakıldığında, yalın üretim amacının endüstri4.0 oluşumu ile süreçlere daha basit entegre olabileceği ve bu sayede firmalarda rekabet imkanlarının her anlamda, etkin olma ve verimlilik düzeyinin yukarı doğru bir grafik izlemesi ortaya konmuştur.

Günümüzde üretimde kullanılan hammaddelerin sebep olduğu maddi ve manevi sorunlar ciddi boyutlara ulaşmıştır. Bu nedenle yalın üretim kavramı zaman içinde hayatımızda önemli bir yer edinmeye başlamıştır.

Yalın üretim içeriğinde gereği olmayan madde, mali giderler, işgücü, üretim süresi, üretim alanı, atık malzeme (fire), alıcının memnuniyet yetersizliği tarzı olayların, minimuma indirildiği üretme şekli olarak tanımlanmaktadır.

Yalın üretimi diğer üretim faktörlerinden ayrı tutan ve üstün kılan altı farklı başarı etmeni vardır. Bunlar; proje yönetici ve yürütücüsü, ekip çalışmaları, bilgi faktörü, tedarikçilerle entegre olabilme, aynı zamanlı teknoloji üretimi ve tüketici uyumudur.

Bunlardan ekiple çalışma, proje lideri ve tüketici ile uyum gibi bazı kavramlar yalın üretimi diğer üretimlerden ayıran ve en net öne çıkaran belirleyici özellikleridir ve bu özellikler yalın üretimi başarılı kılar. Şekil 2.2'de bu başarı faktörleri gösterilmiştir.



Şekil 2.2 Yalın üretimin başarı faktörleri(Aydemir, 1995)

Üstteki ana etmenleri entegre ve olumlu bir tarzda çalıştırmayı hedefleyen bu tarzın tabanında, kalite meali ve sistemi değiştiren toplam kalite sistemi mevcuttur. Hizmet ve mal eldesini kademe kademe elde edildiğini özümseyen bu organizma, yalın üretimin ana artellerinden biridir. Çünkü yalın üretimde amaç; kalitesi yüksek ürünler elde etmek suretiyle her işlemi ve adımı her zaman doğru yapabilmektir.

Bu üretim tarzının kalite öngörüsü; alıcının hizmet veya malı elde etmeyi hedeflerken bu hizmet veya malda var olduğunu umut ettiği ve kullanım sırasında ihtiyaç hissedeceği tüm isteklerini tam karşılamaıdır. Kısaca bu üretim şekli, bir çok duyum ve tabire yeni anlamlar getirmiştir.

Bu üretim tarzının, talepten gelebilme ihtimali olan istekleri hemen cevaplayabilmek maksadı ile üst mevkiiden işçiye ve diğer üreticiye kadar topluca çalışılmayı bir vücut olarak birleştirir. İmalatın bütün evresinde çok amaçlı eğitimli işçi grupları çalıştırılır ve üst düzey yetkinliklere sahip makine ve teçhizatlar kullanılır. Öteki taraftan sorumluluk bilinci, firmanın en üstünden en astındaki herkese kadar benimsetilerek maksadına ulaşılır. Aşılan bu bilinç çalışanların kendi kendini denemesine ve denetleme sorumluluğu kazanmasına sebep olur ki özgür iradesi ile herkes kendisini ve davranışlarını otokontrol yöntemi ile kontrol eder.

Bu üretim şekli; yüksek standartlara sahip otomobil üretme de uygulanabilecek en iyi entegre sistemdir. Bu sistemde işlem adımları kısalarak üretim bantları entegre olarak çalışır ve gereksiz üretim bantları kurulmaz. Bekleme olayı minimumda kalacağından ötürü sistem parça beklemeyeceğinden bu alanda üretim hızlanmış olacaktır. Uzak doğuda öncelikle çekik gözlü Japon kardeşlerimizin benimsemiş olduğu bu üretim tarzı; insanları işlerine iyice aşılır ve bu sayede insanlar bu üretim şeklinin olumlu taraflarını görerek çalışır. Boşa gitmeyen emek ve boşa gitmeyen sanatlarını gören işçiler kendi kendini kontrol ederek hatayı minimuma indirirler ve bu sayede önceden oluşan olumsuzluklardan ötürü artan maliyette oldukça düşer. Olumsuz sonuçların azalması sayesinde işveren kesimi de daha yeni yatırımlara olumlu bakacağından ülkenin kalkınması daha da kolaylaşır ve maliyet azaldığından fazla sermaye belki de yeni iş kolları ve fabrikaların açılmasına sebep olacak, ek istihdam sağlanması da gerçekleşecektir. Bu üretim çeşidinde çok daha çeşitli ve farklı tarzda ürünler elde edebilmek için çok yönlü işçi ve teçhizatlar kullanılır. Kısaca bir çok farklı alanda işlem yapabilen her çeşit personel ve makine harmanlandığında ortaya çok farklı ürünler de konabilmektedir. Bu sayede eldeki minimum imkanlardan maksimum verim elde etmek hiç zor olmamaktadır.

Özetle; yalın üretim, “minimum kaynak ve hammadde ile, en kısa zaman diliminde, en ucuz ve hatasız üretimi, tüketici arzına da direk uyabilen/yanıt verebilen tarzda, en az atıkla (kısaca atıksız), ve her türlü üretim etmenlerini en esnek tarzda kullanıp, bütün potansiyellerden yararlanarak nasıl gerçekleştirebiliriz?” diye sorulan ama bir türlü tam bir cevabı olmayan sorunun asıl doğru şıkkıdır. Aranılan ve yapılmak istenen her şey karşılıklı olarak bu üretim sisteminin içerisinde yer almaktadır. Her kesim tarafından alt makamdan üste, amirinden memuruna kadar bu sistem benimsendiğinde ve uygulandığında bütün sorular çözülebilmektedir. Bu üretim şekli

diğer üretim şekillerinden farklı olarak, her kesimin isteklerinin tamamına cevap verebilme ve mutlu edebilme ilkesine dayanır ve eski tarihlerden beri belirli bir kesimin hor görülüp sadece bedensel bir köle olarak görülmesi anlayışını alt üst eder. Kendilerine kölelikten tek farkı bir miktar para ödenmesi olan eski zaman işçilerinden, bu tarz otokontrol sahibi işçilik sınıfına geçen işçiler ve işçilerin memnurluğundan daha fazla kazanabilen işverenler eski sisteme tam zıt olan yalın üretimden çok daha memnun olmaktadır. Bu üretim şekli tamamen alışılmıştan farklı şekli yaklaşım prensibi bir zihniyete sahip ve her şeye değer vererek kendini sürdürebilen bir sistemdir.

Yalın üretim diye nitelendirilen üretim sistemi literatür incelendiğinde birden fazla isimle yad edilmektedir. Yalın üretim deyimini en yaygın kullanılış ismi olduğundan mütevellit kaynaklarda da hep bu isimle kendisinden söz ettirmektedir. Literatür araştırmalarında ve internette de son zamanlarda en çok bahsi geçen üretim sistemidir. Bu üretim tarzını benimseyen firmaların yükseliş grafiği gözle görülür şekilde yükselmektedir. Rakip firmalarında ilgisini çektiği için herkes bu konuyla meraklı şekilde ilgilenmekte ve gün geçtikçe üretim bantlarını ona göre düzenlemektedirler. Bahsi geçen farklı betimlemeler bu üretim tarzını anlatmada yetersiz kaldıkları için çokta yaygın olarak kullanılmamaktadır.

Benimsenen bu üretim biçimi, Toyota başlangıçlı doğmuş olsa da çok çeşitli dünya ülkelerinin de günümüze kadar olan katkılarıyla çeşitli eklentiler eklenerek gelişimi hep sürmüştür. Bu sebeple bu üretim şekli evrensel olarak günümüze kadar gelmiştir ve artık tek bir firmanın adıyla anılması da doğru olmamaktadır. Evrensellik ilkesi ile çatışma yaşamaması da ayrıca bu üretim şeklinin benimsenmesinde etkili olmuştur. Bütün insanlığın benimseyebileceği evrensellikte bir düşüncenin yayılması ve uygulamaya dökülmesi inanılmaz kolaydır. Domino taşı etkisiyle birer birer bu doğru üretim şeklini kullanan firmalar hızla daha kaliteli yükselişi yaşamışlardır. Çok yönlü olması sebebiyle de her kesimin takdirini toplamıştır. Günümüzde endüstri 4.0 da da olduğu gibi kısa sürede teknoloji yayılıp evrenselliği yakaladığı sürece daha kolay bir yükseliş mümkündür. İnsanoğlunun paylaştığı ve dünyaya sunabildiği her eklenti kendisinden sonrakilere bırakabileceği en büyük mirastır. Stokun mümkün olduğunca minimumda olduğu ve zamanında üretimi tamamen hedefleyen bu üretim tarzı değersiz bütün işlem basamaklarını atladığı gibi artık malzeme olayını da olabildiğince yok etmeye çalışmaktadır. Bu sayede artan parçalar azalmakta ve çöp diye tabir edilen gereksiz kayıplar minimuma çekilmektedir. Artan bazı malzemelerin dönüşümü olsa da

bazı malzemeler dönüşümde istenilen performansı veremediği için kullanılmamaktadır ve dünyamıza ait bir parça işlevsiz hale gelmektedir. Geri dönüştürülemediği için de dünyaya zararlı bir atık haline gelebilmektedir. Stokun az tutulması esasında benimsenmesi olayı her çeşit malzeme olayı için geçerlidir. Yedek parça için dahi gerekli olan stok azaltılabilir. Mutlak parçalar için bile olsa sadece talep üstüne, yedek parçaların üretimi sağlanabilir (Chua, Leong and Lim, 2003).

Bu üretim tarzı, alıcı kesiminin ve verilecek malzemenin arz talep dengesine en hızlı şekilde cevap verecek tarzda şekillenmek üzere tasarlanmıştır. Ünlü bilge Shigeo Shingo'ya göre, bu üretim şeklinin devamlı olarak iyileşmesi gerekmektedir ve kendisini geliştirmesi şarttır. Kaizen anlayışının da rastlandığı bu üretim şekli çeşitli felsefi yaklaşımlara da yakın hareketler göstermektedir. Bu üretim şeklini diğer üretim şekline ayıran en belirgin özelliklerden birisi de bilgiye göre, bu üretimin mümkün olduğunca stok olmadan isteğe cevap verecek kadar üretim yapması ve fazla sarfiyatı sıfıra indirmesi prensibidir. Onun deyişiyle bakacak olursak elde bekletilen ve depolanan stok bütün kötüleşmenin temel sebebidir diyebiliriz (Arslan, 2008).

Stoksuz çalışmanın bir işletmeye etkileyen zararları kısaca şöyle sıralanabilir:

- Depolanan malzeme ister istemez kullanılmadığında üretilen malzemeye fiyat olarak eklenmek zorunda kalınır ve bu da üretilen malzemenin fiyatına katılmak zorunda olur. Haliyle birim ürünün maddi açıdan değeri yüksek çıkacağından bu üretime ve satış rakamlarına da olumsuz yansıtacaktır.
- Üretim esnasında sıkça boşa beklemeler oluşur ve nakliye işlemleri vs. gözle görülür şekilde artar.
- Depolanan fazladan malzeme üretim sistemindeki esas sıkıntıları gizler ve çözüm için çalışma yapılmasını zor hale getirerek olumsuzluklara sebep olabilir.
- İstenilen mutlak kaliteye erişimi zorlar.
- Üretim sisteminde çok saçma ve alakasız işlemler ortaya çıkar.
- Çalışan personeller ve makineler mesailerini boşa harcarlar ve bu da iş gücü kaybı oluşmasına sebep olur.
- Müşteriler tarafından istenen ihtiyaç değişikliklerini hızla cevaplayabilmek zorlaşır.

2.3. Yalın Üretim Tekniğinin Diğer Üretim Sistemleri ile Farkı

Önceki devirler ile şimdiki devirler arasındaki koşulları göz önüne aldığımızda alan satan arasında gelişen temaslar çokça değişime uğramıştır, bu değişimde en fazla göze çarpan olay ise her iki tarafın da karşılıklı doyumunun gözetilmesidir. Müşterilerin ihtiyaçlarını cevaplamak nihayetinde üreticilerin daha fazla tüketiciye ulaşma isteği yüzünden aradaki rekabet çokça artmıştır. Bu oran eski tarihlerden çok daha fazladır. Koşullara ayak uydurabilmek sebebiyle artık yeni gelişen düzene ayak uydurmak kaçınılmaz ve zorunlu bir durumdur. Bunu bilen firmalar da müşteri elde etmek ve hazır müşteriyi elinde tutmak için mümkün mertebe en iyi teknik ile çalışmak durumunda kalmaktadır.

Bu değişime ayak uydurabilmek adına kıyasıya rekabet ortamı oluşmuştur. Bu rekabet içerisinde AR-GE çalışmalarının da üzerinde durmaya çalıştığı yeni yöntem ve bu yönteme ait alt yöntemler ortaya çıkmaya başlamıştır. Tablo 2.1’de Yeniden yapılanma aşamasında kabul çok çeşitli karşılaştırmalara yer verilmiştir. Bu karşılaştırmalarda zamana göre üretimdeki farklılıklar göz önüne alınarak bakıldığında aradaki farklar daha bariz görülecektir.

Tablo 2.1 Değişen seneler içerisinde çeşitli sistemlerin incelenmesi (Okur, 1997)

Üretim	BİN DOKUZ YÜZLER	BİN DOKUZ YÜZ YİRMİLER	BİN DOKUZ YÜZ ALTMİŞLAR	SEKSEN SONRASI
İş Standardizasyonu	Az	Çok, yönetim tarafından	Çok, yönetim tarafından	Çok, ekip tarafından
Kontrol sahası	Büyük	Az	Az	Orta
Stoklar	Çok	Orta	Çok	Az
Üretim yapısındaki Gereksiz unsurlar	Çok	Çok	Çok	Az
Onarım alanları	Az	Az	Çok	Çok Az
Ekip çalışması	Orta	Az	Az	Çok

Bu üretim şekli çok daha değişik ve farklı yeteneklerin harmanlanıp daha iyi bir atmosferde yaratıcı şekilde kullanılmasını öngörmektedir. Bunun neticesinde de yalnız üretimde herkes bilgi ve becerilerini ortada paylaşmak ve diğer çalışanlar ile ekip halinde işleme koyarak hareket etmek zorundadır. Bu tarz yöntem ve etkileşimleri barındırmayı isteyen yeni nesil bu sistem diğer üretim tekniklerinden çok daha farklı bir atmosferi sunduğundan çokta ayrıcalıklı bir havaya sahiptir.

Elde edilen üretim şeklinde son zamanlarda en fazla öne çıkan durum gereksiz işlem basamaklarının komple sistemden elenmesi ve bu gereksiz işleme ayrılacak olan vakti yapılması gereken diğer önemli işlerde kullanmasıdır. İsraf olan zamanında minimuma indirgenmesi ile ürün başına harcanan vakit azalacak ve aynı fiyatla çıkacak üründe daha fazla kar oranı bırakacaktır.

Rekabetin kol gezdiği bu dünyada silinmez olarak görülen bir gider kaleminin silinmesi bazı alanlarda firmayı bir adım öne geçirecektir. Rekabet sırasında işçilerin de senkronize çalışmasını engelleyecek işlem kalabalıklarının ortadan kalkmış olması komple sistemi olumlu etkileyecek ve gerekli adımlar hızlıca atılarak esas işe daha da çok yoğunlaşılacaktır.

Üretim bantlarının dizaynından tut, fabrika içerisindeki yerleşime kadar her alanda etkili uygulanması durumunda sizi öne geçirebilecek bu sistem çok çeşitli unsurların da koordineli olmasından beslenir.

Birlikte çalışarak birçok olaya yön veren personellerin de arada bir araya gelerek karşılıklı görüş alışverişini yapması gerekliliğini belirten bu sistem, karşılıklı dayanışma ve hoş görü ilkesini de benimser. Çok yönlü fikir alışverişleri her daim kişileri farklı düşünmeye sevk eder. İyisi ve kötüsü araştırılarak karşılıklı konuşulan bu tarz işler kendileri arasında fikir alışverişinden doğacak olumlu gelişmeleri de beraberinde getirir.

Nitekim sorun olarak görülen bir çok olay bu kaynaşma ve fikir alışverişisi sırasında görüşülerek çözüme kavuşturulmaktadır. Bu sebeptendir ki bu üretim şeklini benimsemiş bir çok firma çalışanlarının karşılıklı daha iyi kaynaşabilmesi için çeşitli organizasyonlar düzenler, hatta çalışanlarını çeşitli aktivitelere ücretsiz yollarlar. Buradaki asıl olan amaç çalışanların hem stres atması, hem firmaya olan bağlılığın artması, hem de etkinlik sırasında yapılan sohbetlerde bazı sorunların daha rahat aşılabileceğinin bilinmesidir. Tablo 2.2'de çeşitli üretim sistemleri karşılaştırılmıştır.

Tablo 2.2 Çeşitli üretim sistemlerinin karşılaştırılması (Aydemir, 1995)

	KİTLE ÜRETİM SİSTEMİ	YALIN ÜRETİM SİSTEMİ
Alıcı Taraf Doygunluğu	Mümkün olan en çok sayıda üretim. İşi görebilsin yeterli anlayışı.	Mümkün olan en az hata ile alıcı tarafın istediği sayıda üretim.
Liderlik	İşveren emrinde olan baskıcı politikaya sahip görüş.	Geniş vizyon ve sürekli mutlu bir birliktelikle oluşturulan birliktelik.
Organize	Üst düzey acımasız hiyerarşi	Takım ruhlu birliktelik
Dış İlişkiler	Ücret ve fiyat ilişkisine dayalı	Devamlı sürekliliğe dayalı.
Bilgi Yönetimi	Zayıf ve gerçeklere dayanmayan tarzda	Karşılıklı bilgi alışverişine dayalı
Kültür	Padişahlık sistemi; yabancılaşma ve çalışanların çekişmesinin yaşandığı bir alt kültür.	İnsanların birbirine bağlı olduğu uzun vadeli çalışmaların olduğu tarzda kültür.
Üretim	Farklı yapıda teçhizatlar, insan yeteneğinin kıt olduğu, uzun üretim yöntemlerinin oluşturduğu faydasız bir üretim.	İnsan ölçekli makineler, sıfır envanter ve hücre tipi çıktı, insan yeteneği ile harmanlanmış üretim yöntemi.
Bakım	Bakımcılar tarafından yapılan kaba bakım şekli.	Üretim, bakım ve mühendislik alanında gerekli ekipmanlarla yapılan ince bakımlar.
Mühendislik	Üretim gerçeklerine tam uymayan, müşteri tedarikçi birlikteliğinin az olduğu üretim şekli.	Takım bazlı model, müşteri ile üreticinin uyum içerisinde paralel üretimi, isteği tam karşılamaya yönelik mühendislik.

2.4. Yalın Üretim Yöntemlerinde Çeşitli İstifleme ve Düzen İlkesi

Uzak doğulu çekik gözlü üreticiler, özellikle içerisinde Türkiye'nin de bulunduğu birçok ülkede, dünyadaki birçok otomobil ve makine teçizat üreticisi, aynı işlem sırasında çeşitli yükleme, yani birbirinden farklı parçaları birbiri ardına montajlama usul ve sistemini kullanmaktadırlar. Karışık yüklemenin öncelikli ve en ehemmiyetli fonksiyonu, imalatın istek ve talep değişimlerine, beklenmeyen tamamlanmış ya da tamamlanmak üzere olan ara mamül stoğuyla karşılaşılmaksızın kolayca uyarlanabilmesini sağlamaktır. Karışık yüklemenin bir öteki fonksiyonu da, mamüllerin bayilere, müşterilere, tüketicilere arzulan sipariş oluşumuna ulaşılmasının hemen ardından nakliye edilebilmelerine olanak sağlayarak, üreticileri gerekli olmayan stok sahası bulundurma zorunluluğundan korumaktır.

Lakin, karışık yükleme yönteminde dikkat edilmesi gerekli püf nokta bulunmaktadır. Kanbanlar yöntemiyle yan sanayinin ya da tesis içi atölyelerin TZÜ üretime “çekilmeleri” söz konusu ise, yükleme belirli standartlara uygun şekilde yapılmak zorundadır. Aksi durumda, daha önceki imalat terminalleri ve yan sanayiler yedek ara ürün depolaması yapmak mecburiyetinde olacaklar, neticede stoksuz çalışma maddesi ile ters düşülmüş bir durum ortaya çıkacaktır. Misalen, bitimdeki imalat hattı daha önceki terminallerden D, E, ve F tarzı mamüllere ait parçaları, olması gerekenden daha farklı şekilde çekiyorsa, nihayetinde imalatta bu sayı ve sıralamada gerçekleşmiş olacaktır. Şayet sıradaki devirde “çekme”, aniden 5'er palate yükseltilmiş olursa, evvelki terminallerde ekstradan 3'er palet bulunmamış olacağına göre, üretim ve imalat derhal aksayacak ve geri kalacaktır. Üretimin geri kalmaması için oluşturulabilecek yegane çözüm, önceki terminaller ve yansanayilerin ekstradan ara mamül deposu bulundurmalarıdır.

Yalın imalatta bu tür ihtimallere rastlamamak için, son monteleme kanalında çeşitli biriktirmenin daima adam akıllı bir tertip içerisinde oluşturulması ve üretilen bu ürünlerin hattan olabildiğince minimum partilerde çıkartılması prensibi baz alınarak çalışılır. Çeşitli biriktirme konseptini belirleyen edense, alıcının istediği rakamdır.

Üretim ve imalatta tertiplilik prensibinin birincil olumlu yönü, imalatın istek sapmalarına depo muhatarasına uğramaksızın uyumlu olmasını sağlamaktır. Bu nokta üst derece mühim bir durumdur, çünkü birçok firma ve şirketler ani talep sapmaları karşısında planlama ve üretim planlamasını belirlemede zorluk yaşar. Üretimde düzenli olmak bu durumda olabilme ihtimali olan birçok firmaya fayda sağlayacaktır.

En nihayetinde; yalın üretim sisteminde yan sanayiyle çoğunlukla kanban kartlarıyla çalışılma yapılmasına nazaran, bir takım büyük taneleri imal eden ikinci sınıf üreticiler kanban değil, o zamanki çapraşık tahmil ve üretim sisteminde düzenlilik yönteminin, ikinci sınıf işletmelerine dijital ağ yöntemiyle yollanması uygulamasına da başvurmaktadır. Lakin kanbanın üstün oluşunu bir kere daha tekrar belirtmek gereklidir. Kanban, ucuz olmayan ve isteğe uyma esnekliği kuşku yaratan bir bilgisayar uygulamasındansa, onlarca imalat birimi arasında amaçlanan dakikliği ve eşleşmeyi sağlayan, imalattaki bütün olası değişimleri, kendi imalat istasyonları kadar, ikinci derece işletmelerine de direkt yansıtan, yan sanayi işletmelerini kısa zaman zarfında esas imalatına optimize olabilecek seviyeye eriştirebilen ve de pahalı olmayan, basit uygulanabilme durumundaki tek teknik yöntemdir (Satır, 1992).

2.5. Parça Akışı

Hangi gün olduğu fark etmeksizin rastgele bir günde hattan çıkan mamüllerin tüm eklerinin de hedef olarak o gün içindeki zamanda imal edilmesi, bütün imalat departmanlarının kanban ve imalatta tertiplilik prensibine binaen olası en düşük seferlerde çalışılabilmeleri, düşünülebileceği gibi birkaç şarta da bağlıdır. Hepsinden evvel, üretimin maksimum, imalat süresinin minimum olması, imalat süreci içerisinde gerek işçilerin, ya da sonlanmış ve üretilmekte olan mamüllerin “bekleme ile” ilgili hiçbir şekilde zaman harcamamaları gerekir. İşlenmesi devam etmekte olan mamüllerin “beklemesi” denmesi, bir ürün parçasının bir işleme etabından ötekine hemen geçmemesi demek olur, stoklu ve depolamalı çalışma şeklinde işin durumu mecburiyetten olan tarzda yürümektedir. Yalın imalatın vakit ziyanına alternatif bulunduğu hallerden biri de, rastgele işyeri üretim alanı içerisinde bir ürün parçasının son durumunu alması için gerekli tüm ekipmanlar ve teçhizatların, ürün tanelerinin işleme şeması durumuna nazaran ardışık koyulmaları, ve mamül parçacığının evvelki işlem süreci için gerekli teçhizattan bir sonraki proste kullanılacak teçhizata zaman kaybetmeden geçmesi tarzındadır. Makinaların ve gerekli ekipman, teçhizatların bu tarzda yerleştirilmesi işlemine “süreç bazlı yerleşim” yahut “süreç-bazlı hat” ve mamül parçalarının prosesler arasında beklenilmeden birer birer transferlerine de “tek-parça akışı” diye isim verilmiştir. Parça akışını, prosesler arası transfer bütününün tek taneye düşürülmesiyle yani bir diğer deyimle depolamanın stoğun “sıfırlanması” olarak da tanımlamasını yapabiliriz.

2.6. Makinalar Arası Senkronizasyon

Sürecin tahakkuk ettiği süreç şu ki deponun bitmiş olması ya da elden geldiğince minimum ve ufak adette olması için geliştirilmiş en iyi yöntemlerden biridir. Lakin, nasıl ki kanbanın limitlilikleri oluyorsa, bunların oluşturulması da bir başına yeterli gelmemektedir. Süreç-bazlı hatların esasen faal olabilmesi için, aynı hattı teşkil eden makine ve teçhizatların işleme hızları ya da üretim kapasitesinin, yani bir prosesi gerçekleştirebilmeleri için ihtiyaç olan zamanın da emsal olmaları lazımdır. Misalen, hattaki bir evvelki makinanın parça veya numuneyi hazırlama müddeti bir dakika, öteki işlemin müddeti ise dört dakikaysa, öteki işleyeceğinin bir tek parçayı hazırlama müddetinde, daha evvelki dört parça birden hazırlanacak, şayet makinalar sürekli prosesi devam ettirirse, müteakip makinanın yanında evvelden katılan parça yahut mamüller sürekli çoğalan miktarlar ve adetlerde yığılmaya ve toplanmaya başlayacaklardır. Bu vaziyette “beklemesiz” proses olan tek-parça akışı gerçekleşmemiş olacaktır.

Yalın imalat prosesinde bahsettiğimiz problem, üretim bandındaki makinaları birbirine uyarlayıp senkronize olarak çalıştırarak, yani bütün makinaların aynı zaman dilimi içinde aynı adette parça hazırlamaları sağlanarak çözüme kavuşturulmuştur. Kapasitesi maksimum olan, yani rastgele bir parçayı hazırlama periyodu ötekilerden az olan makinalara, belirli bir adet mamülü hazırladıktan sonra kendi kendini otomatik olarak frenleyen limit anahtarları monte edilmiştir. Farz edelim hattaki bir öteki makine, bu maksimum üretim kapasiteli makinadan ürünleri çektikçe, ve sonunda ürünler tamamıyla çekilince, maksimum kapasiteli makinedeki limit anahtarı makineyi tekrardan otomatikman çalışmaya başlatmakta, haliyle makina mesai süresince çalışmadurma etabı içinde çalışarak, kapasitesi minimum makinalara senkronize olmaktadır. Maksimum kapasiteli makinaların, minimum kapasiteli makinalara bu tarzda adapte olmalarına, yalın üretimde “toplam-iş denetimi” adı verilmiştir.

Toplam-iş olgusunda, fark edildiği gibi kimi makinalar tam kapasiteyle işlem yapmaktadır. Lakin, mühendislerin ve yetkili kişilerin de arz ettiği gibi, mamüllerin hat yahut makina yanı depolamada süre kaybetmemelerinden elde edilecek olumlu kazanç, esasen makinaların tam kapasite üretim çalışmalarından sağlanacak kazançtan daha fazladır. Yalın üretim prosesinde parça ve numunelerin beklemesi, yani depolamalı çalışma, oluşabilecek en büyük savurganlıktır ve sistem hemen hemen tamamıyla bu savurganlık ve israfın önlenmesi ilkesine oluşturulmuştur. Hemen hemen, çoğu

işletmede, yalın üretimde karşılaştığımız oluşumun tam zıttı bir kavrayış ve düzenin oluşturulduğunu, haliyle toplam-iş denetimi sürecinin başlarda ilk olarak zıt gelebileceğini belirtmek gerekmektedir. Hakikaten de birçok defa, makinalar arası birikmelerin önüne geçebilmek için, hatta kapasitesi maksimum bir makine var ise, bu makineden bir sonraki işlem sürecini oluşturacak olan makinaların sayısını fazlalaştırma yöntemine gidilmektedir. Halbuki, yalın üretimde sisteminde prosese hakim olan düşünce şekli o şekilde değildir. Şöyleki, şayet kapasitesi minimumda olan makinaların üretim verimliliği, bahsi geçen gün içinde imal edilmesi gerekli ürün adetlerinin yakalanmasına yetiştirebiliyorsa, bu durumda, gereksiz ürün imal edilmesinden, maksimum kapasiteli üretim yapabilen makinaları toplam-iş denetimi tekniğiyle minimum kapasitede üretim yapan makinalara adapte etmek daha doğru olacaktır.

Yalın üretim prosesinde toplam-iş denetiminden ayrıca, makinalardan üst düzey kapasite verim elde etmek için geliştirmelerle de uğraşmaktadır. Bu uğraşılardan ilki, minimum kapasiteli makinelerin iş sahalarını artırıcı değişimlere giderek üretime uyarlamak şeklindedir. Bir diğer ve en önemli metot ise, işlem yapan makinaların ana sanayi/yan sanayi üretimlerinin kendi işletmelerinde işe uygun tasarlanıp yapılması, haliyle makina maliyetlerinin minimuma indirgenmesidir. Misalen Toyota ve yan sanayilerinde işlem yapan birçok makina başka yerlerden alınma değil, kendi işletmelerinde oluşturulan makinalardır. Böylece, bir yandan üretim kapasiteleri birbirine benzer makinalar üretilebilmekte, haliyle adaptasyonda toplam-iş denetimi gerekliliği minimuma inmekte; diğer taraftan da toplam-iş denetimi tatbik edildiğinde, makine maliyetleri en aza indirildiğinden “verim” endişesi de önemini büyük ölçüde kaybetmektedir.

Ayriyeten yalın üretimde, tek parça akışı düşüncesi atölyelerle sınırlı olmayıp atölyeler arası akışa da adapte edilmişse, adaptasyon da yalnızca tek bir atölye içerisindeki süreç-bazlı hatlarda olmayıp, atölyeler arasında da tatbik edilmektedir. Sözü kısası, çeşitli atölyelerin sığıları yukarıdaki müsamahaya göre birbirlerine yakınlaştırılmakta, “aynı müddet süresi içerisinde aynı adette üretme” prensibi atölyeler arasında da uygulamaya geçirilmektedir. Haliyle, misalen otomobil imalatından örnek verecek olursak, pres bandı, kaynak bandı hattı ve boya bandı hattı da birbirlerine adapteli şekilde çalışmaktadırlar.

2.7. U-Hatları, İş Rotasyonu ve İş Tanımları

Yalın imalat felsefesine göre, bir fabrika/imalathanenin üretim sürecinde oluşabilecek en büyük ziyan ya da vakit kayıplarından birisi de, çalışan personelin yer değiştirme, makinelerin işleyişini denetleme, ya da makine yanında, makinenin işleyişinin tamamlanmasını gözleme gibi imal edilen malzemeye hiçbir kazanç koymayan pasif işlerin ortaya çıkardığı vakit ziyanlarıdır. Üretmeyi son derece minimize edici rol alan bu vakit israfları, birçok çok fabrika/imalathane düzeninde üstüne pek düşülmeyen bir olay olmasına rağmen, Taiichi Ohno gene de daha 1950’lerde pasif davranışların önüne geçilmesiyle personellerden çok daha fazla randıman sağlanabileceğinin farkına varmış, ve bir sürü mevzuda görüldüğü gibi, bu düşünceye yönelik de etkin alternatifler geliştirmiştir.

Taiichi Ohno sisteminin ana felsefesi, makinelerin olması gerektiği gibi çalışıp çalışmadığının denetimi, makineye taneleri koyma, işlenmiş taneleri alma gibi durumları mekanikleştirerek ve otomatikleştirerek, elde edilen ekstra vakti her personelin birden çok makineyi çalıştırması tarzında değerlendirmektir. Bu şekilde bir taraftan aynı işi daha minimum adette personelle yapabilmek mümkün olabilmekte, öbür taraftan da talep yükselme/düşme gibi olaylarında yalnızca personel adedi ile değişime gidilerek üretim verimini istekteki esnekliği adapte edebilme olanağı gerçekleştirilebilmektedir.

Taiichi Ohno’nun bir personelin birden çok makineden sorumlu olması prensibi, daha önce ele aldığımız tek-parça akışı ve de süreç-bazlı hat prensibiyle de harmanlanınca ortaya beliren yerleşim sistemi “U-hatları” olmuştur.

Bunda, taneyi makinelere otomatikman koyan, işlem süreci tamamlanınca gene otomatikman makineden alarak kızaklara aktaran donanım olmamış olsa da sistem içerisinde muhakkak makinelerin doğru düzgün çalışıp çalışmadığını denetleyici donanımın olması şarttır. Böylece bir makine işlem yaparken, personel o makinayı denetlemek ve rapor etmek mecburiyetinde kalmadan bir diğer aşamadaki makinaya ürünü koyup yahut çıkarıp makineyi çalıştırabilir.

Profesyoneller birçok işletmede personel performansını maksimize etmek için öncelikle yapılan işleyişlerden biri olan makine tazeleme aksiyonunun U-hatları yardımıyla birçok durumda gerekmeyen hale dönüşeceğini çünkü U-hatlarıyla birebir aynı amaca daha az giderle erişilebileceğini vurgulamaktadırlar. Yalın üretim prosesine başlayan birçok işletmede U-hatları yöntemine öncelikli yer verilmesi de bu sebeptir. Misalen, henüz 1950’lerde Japon Toyota işletmesinde talaşlı üretim atölyesinde

kullanılmakta olan makinelerin birçoğunun konvansiyonel evrensel tezgahlar olmalarına rağmen, bir personel aynı süreçte beş ila on makinenin işlemesinden sorumlu kişi idi. Toyota'da U-hatları çalışması 1950'lerle sınırlı olmamış, işletmenin ele aldığı temel uygulamalardan biri olma pozisyonunu her daim muhafaza etmiştir. Haliyle 1983'lere varıldığında Amerikan General Motors tesislerinde senede toplam 5,000,000 binek aracın yapılmasında toplam 463,000 personel bulunurken (görüldüğü gibi çalışan personel başına düşen binek araç sayısı 11'e denk gelirken), Toyota'da aynı sene toplam 3,400,000 binek aracın imalatında toplam olarak yalnızca 59,000 personelin çalışmasına (kısaca iş yapan personel başına denk gelen binek araç adedinin 58'e denk gelmesine) pek de hayret etmemek gerekir. Toyota'da yapılacak işlemlerin daha minimum personelle halledilmesinde, U-hatları işleminin devrede olmasının payı vardır.

2.8. Sıfır Hata İmalatına Doğru: Poka-Yoke ve Deney Tasarımı

Bu üretim şeklini ilke edinmiş işletmeler ile farklı üretim çeşidini ilke edinmiş işletmeler arasında büyük farklar oluşmaktadır. Farklı tarz imalatı benimseyen işletmelerde %3-5 normal bulunurken yalın üretimde bu facia demektir. Binde birler seviyesi ile yüzde üçler beşler karşılaştırılmaz. Amaçlar ve işletme yönünden büyük uçurumsal farklar bulunmaktadır. Nihai hedefler arasındaki farklar iki farklı yerin gelişmişliği ve çağa ayak uydurabilirliği hakkında bize bilgi vermektedir.

Niçin minimal hedefler bu denli önem arz etmektedir? Bütün bu olanlardan önce, yalın üretim prensibinde, üretim prosesinde kalitesizliğin ek maliyeti, kısaca, "maliyetleri" bulunmaktadır. İlki, eğer bir tesis ürettiği mamüllerin tamamının arzu edilen kalitede imal edildiğine dair garanti veremiyorsa, daima kalite kontrol süreci içerisinde olmak mecburiyetinde olur, halbuki "kalite kontrol" esasında imal edilen parçalara hiçbir değer eklemeyen, aksine birçok personelin kıymetli vaktini işgal ederek işgücü maliyetini yukarı yöne çeken bir faktördür. İkincisi, kalitesiz üretim ve imalat, bazı üretilen malzemelerin hatalı olmaları sebebiyle yeniden elden ve gözden geçirilmelerini yani yenilenmelerini gerektirir. Oysa ki onarım ve gözen geçirme, işgücü ve amortisman giderlerini gereksiz yere yükselten bir diğer etkidir. Üçüncüsü, kalitesiz üretim ve imalat, üretilen bir çok mamülün tamamen ıskarta edilmesini gerektirir. Kısaca, o ürünlerin/parçaların/mamüllerin imal edilmeleri ile tamamen zarar ziyan işgücü ve makina vakti harcanmış olmaktadır ki bu olayın maliyet denetlenmesini tekrar hatırlamaya dahi gerek olmamaktadır. Ve dördüncüsü, durumundan ve kalitesinden %100 emin olunamayan imalat ürünlerinin müşteriye ve tüketiciye

gönderilmesi halinde, kullanım esnasında oluşması olasılığı yüksek arızalanmalar, yeniden gereksiz bir sürü masraf üstlenilmesi demek olacaktır. Bu durumda, bütün bu maliyetleri kabullenmek yerine, %100 hatasız ürün imal edebilecek duruma gelmek çok daha mantık çerçevesinde olacaktır.

Lakin, yalın üretim sisteminde kalitenin en az hedeflenmiş minimal hedefler seviyesine yükseltilmesinin, kalitesizlik maliyetinin engel olmak kadar ehemmiyetli başka bir boyutu daha olup, birçok kez gözden kaçabilmektedir. O boyut ise, asgari planlanan hedeflerin stoksuz üretime erişebilmenin de “olmazsa olmaz” ön şartı olduğudur.

Görüldüğü gibi depolama olmadan TZÜ üretim sisteminde ideal, imal edilmekte olan ürün depolamasının işletmenin bütün üretim zaman sürecinde sıfırlanması, tamamlanmış ürün depolanmasının ise, yalnız birkaç saat geçtikten sonra oluşacak lojistik aktarmayı karşılayacak seviyede tutulmasıdır. U-hatları, kanban, ve sonrasında dikkatle inceleyeceğimiz SMED ve toplam üretken bakımı sistemi (TÜB-TPM) gibi tüm TZÜ uygulamalarının ana hedefi stoksuz üretim oluşturmaktır. Bu şekilde bir TZÜ üretim modeline geçiş yapılacaksa, ilk dikkat edilmesi gereken, kalite seviyesini radikal olarak artırmaktır. Çünkü ıskarta seviyesi fazlaysa, ve üretim stoksuzluk prensibine uygun yapılmak isteniyorsa, hemen her proseste oluşabilecek ıskarta, imalatın tamamen işleyememesi anlamına gelmektedir. Yerine yenisini eklemek için yedek depolama olmamaktadır. İşte yalın üretimde asgari amaçlar, ve giderek, sıfır-hata seviyesinde kalite tutturma mecburiyetinin bazı zaman gözle görülememesine karşın ana sebeplerden biri de budur (Shingo, 1988).

2.9. Toplam Üretken Bakım

TÜB en sade şekilde belirtilmek istenirse, bir işletme yahut atölyede kullanılan takım ve ekipmanın rantabilitesini ya da etkinliğini fazlalaştırmak ve ihtimal dahilinde olan makine üretim kusurlarının sebep olacağı ıskartaları önleyebilmek hedefiyle gerçekleştirilen bütün çalışmaları içine alan bir olgu ve terimdir. TÜB’ün, yaygın manada, poka-yoke’ye destek olan yardımcı bir kalite yöntemi olduğu da belirtilebilir.

TÜB’ün öncelikle elli yıl önce, çekik gözlü uzak doğulu ekibinin bir işletmesi olan dünyadaki en bilinen otomobil elektrik ağı imalatçılarından Japon Nippondenso firmasınınca geliştirildiğini biliyoruz.

TÜB’de “toplam”ın üç manası bulunmaktadır:

- Kullanılan takımın verimliliğini/etkinliğini yükseltici çalışmaların, takımın “tüm” ya da “toplam” hayatı süresince işleyebilmesi ki bu zaman takımın ilk elde edilişinden, ıskartaya gönderilişine dek geçen tüm zamanı kapsar,
- Takımın çalışmadan oyalanmasına sebep olan, yine “tüm” faktörlerin kontrol edilmesi. Bu faktörler şöyle sıralanabilir:
 - a) takımın arızalanarak durması,
 - b) kalıp tebdil zamanları
 - c) diğer sebeplerle takımı kısa zamanlarla stop ettirmek mecburiyetinde kalınması,
 - d) takımın hızının azalması,
 - e) takımın kalite ve kondisyonunun, hatalı parça sebebiyle azalması,
- Takımın verimini fazlalaştırma çalışmalarına, işletmedeki “tüm” çalışanların katılması

Her kişide bir taraftan “akla gelmeme” ve “tınlamama” eğilimi, öbür taraftan da, başarılarının “takdirle karşılanması” ihtiyacı bulunmaktadır. İşte, yalın üretimde rastladığımız “görsellik”, her iki olaya da hitap eder. Yalın üretimin ana felsefesi, hiçbir hatayı aklından çıkarmama, tüm hataları tınlayıp, çözüme kavuşturma; ve ardından da başarıları ön plana alıp, ödüllendirme ve takdir etmedir. İşte, TÜB’de de sözü edilen “görsellik”, öteki taraftan “hatırlatma”, ve de “uyarma”, öbür yandan da başarıların “tanınması” fonksiyonlarının hayata geçirilmesi için elde edilmiş en işlevli çözümlerden biridir.

2.10. Bir Dakikada Kalıp Değişirme

Kurulum zamanını minimuma indirmek için hazırlanan ve İngilizce baş harflerinin kısaltması olan SMED diye nitelendirilen bu tarz, hangi makine olursa olsun inşaa edilebilen zamanını altmış saniyeye kadar indirmeyi başarabilen bir metotttur. Öncelikli olarak;

SMED prensibini oluşturan, aplikasyonuna yön veren temel prensip, yalın üretimin öbür tekniklerinde de rastladığımız, “lüzumsuz vakit kayıplarından kurtulmaktır”. Tüm SMED ele alımlarında, SMED’in alt prensiplerinde bu anlayışın öncelikli olduğunu düşünebiliriz. Bunlar;

Öncelikle, bir kalıptan öteki başka kalıba transfer zamanında, makine stop ettiği vakit yapılan işlerle makine işlerken yapılan işleri belirleyip, el verdiğince çok işi

makine işlerken gerçekleştirmeye çabalamaktır. Bu tarzla işlem vaktinden %25-55 civarlarında kazanç elde edilebilmektedir. Şöyle ki:

Öncelikli olarak hazırda olan aplikasyonda ne gibi işlerin makine stop ettiğinde, hangi işlerin de makine çalışırken yapıldığı belirlenmelidir.

Bunlar içinde bazı işlemler kolaylıkla ve kayda değer bir farklılığa başvurulmadan makine işlerken de yapılabilir olmalarına rağmen, halihazırda makine stop ettiği vakit yapılıyorlarsa, bu büyük bir vakit israfıdır. Bu tarz işlemler muhakkak makine işlerken yapılmalıdır.

Öncelikle yapılan bu kolay değişimlerle de yetinmemek lazımdır. İtinayla çok daha fazla işlemin makine işliyorken yapılabilmesinin önü açılmalıdır. Bu sebeple kalıplar ve kullanılan teçhizatlar dahil donanımda ne gibi düzenlemeler yapılabilir incelenmeli ve çözümler düşünülerek uygulamaya konmalıdır.

Kalıp değiştirmede hem kendinden önce kullanılan kalıbın alındıktan sonra üzerine vakit kaybetmeden yerleştirilecek, hem de aynı vakitte bir diğer sıradaki kalıbı taşıyan ve yerine monte edilmesini basitleştiren rulmanlı mekanizmalar ya da taşıyıcılar tercih edilmelidir. Bu tarz “mekanizasyon” bir kalıptan diğerine geçiş vaktini azaltacaktır.

Kalıp takma esnasında makineyi ayarlama gerekliliğinin de önüne geçmek vakitten tasarruf sağlanmasına vesile olacaktır. Bunun için takma esnasında kullanılan kalıp ve makine kısımlarında standartlaşma yoluna başvurulması önem arz etmektedir. Misal, kalıpların makineye bağlantı bölgeleri standart duruma getirilirse kalıplar montajlanırken aynı bağlayıcılar ve takımlar işe yarayabilir. Bu şekilde normalleşen kalıp değiştirme olayı daha kısa zamanda hallolacaktır.

Mengene ve bağlayıcıları çeşitli vida somun civata vb. gerektirmeyecek tarzda tasarlamak da vakitten kar elde etmeyi sağlar. Bu şekilde personeller çok daha az zamanda sıkıştırma ve gevşetme olayını tamamlayabileceklerdir. Misal, bağlamada vida değil de “armut” görünümündeki oyuklara oturma stilini tercih etmek daha doğrudur.

Kalıp tebdil zamanınının %50 civarı, bir kalıbın montelenmesi akabinde yapılan ayarlama ve sınaama çalışmalarıyla yok olur. Halbuki bu vakit ziyanı, kalıbın ilk durumda tam olması gereken tarzda yerine oturmasına imkan sağlanırsa, kendiliğinden hallolmuş olacaktır. Burada uygulanabilecek metotlar arasında kalıbın bir işlemle yerine geçebileceği “kaset” tertibatları, ya da makinaya müdahil olabilecek limit anahtarları göz önüne alınabilir. Bu şekilde kalıp takılmaya müteakip ayarlama uygulamasına ihtiyaç duyulmaz.

Kalıpları, makinalardan çok uzaklarda depolamak, getir götür ile zaman kaybına sebep olur. Bunun devası sürekli sökülüp takılan kalıpları işlem yerinden çokta uzakta bulundurmamaktır.

SMED mucizevi sonuçlar elde edilmesine sebep olmuştur. Misalen, 1990'ların başlarında ülkemizde otomotiv ana sanayinde yer alan devasa pres makinelerinde kurulum zamanı takribi 45 dakika olurken, 1971'de Toyota'da bu süreç 3 dakikada halledilebilmiştir. Dünyanın farklı yerlerinde de aynı başarıyı, farklı sanayi türlerinde elde etmiştir.

2.11. 3D Yazıcıların Çalışma Özellikleri

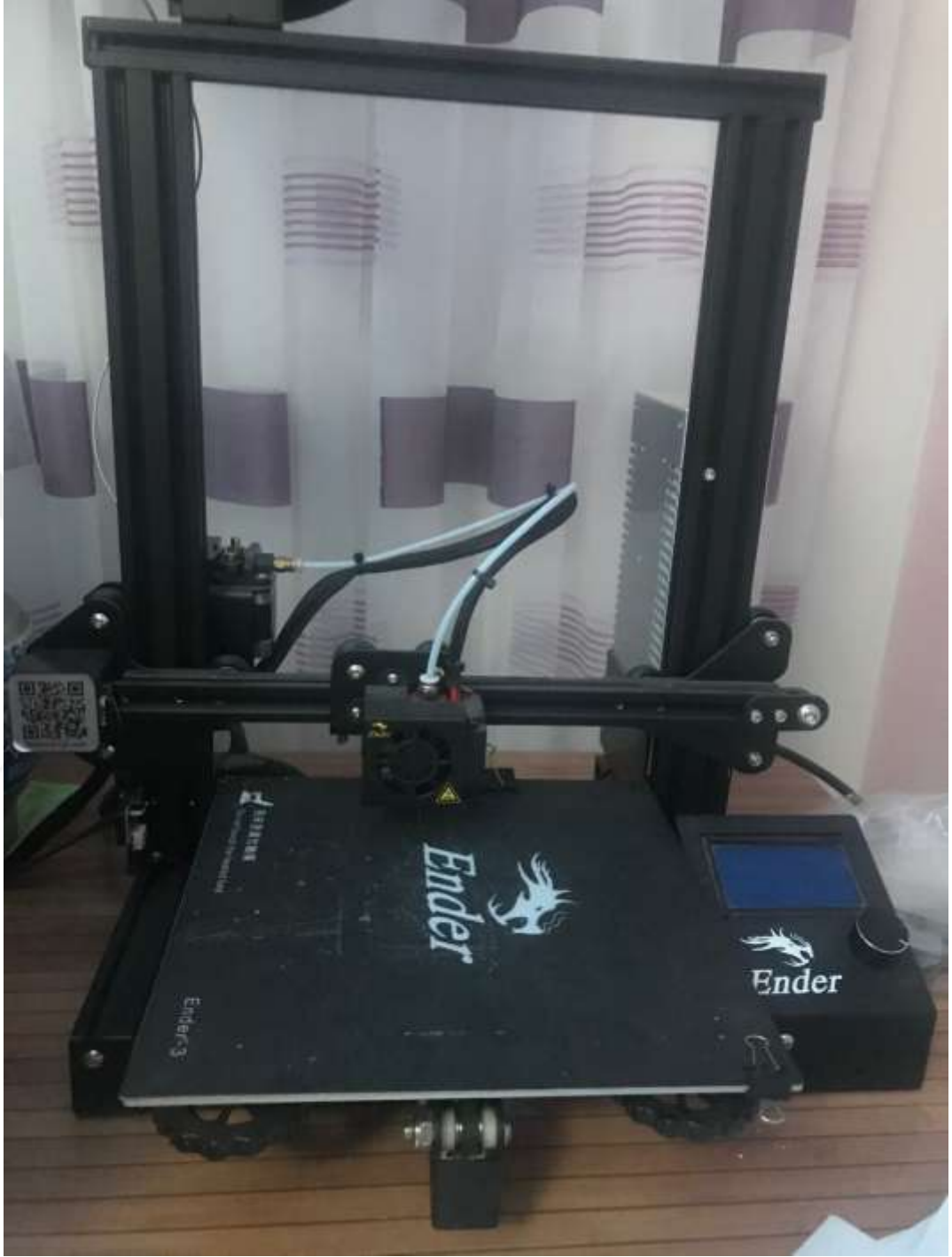
3D yazıcılar, imalat endüstrisi tarafından yapıcı gelişme adıyla nitelendirilmiştir. Böyle nitelendirilmesinin sebebi ise kişilerin ihtiyaç hissettikleri malzemeleri bir üretici ya da firmadan tedarik etmektense yerine daha düşük bütçe ayırarak evinde, okul laboratuvarında, iş yerinde üretebiliyor olmasıdır (Kolitsky, 2014).

Çalışma mantığı özetle eritilen hammaddenin fan yardımı ile soğutularak katmanlı bir şekilde önceden belirlenen hassasiyetle basılması olayıdır. (Chua, Leong and Lim, 1999).

Eklemeli İmalat (Additive Manufacturing) olarak tanımlanan üretim yöntemi, üretilmesi planlanan parçanın CAD (Bilgisayar Destekli Tasarım) modelinin programa tanımlatılması ile malzemelerin birleştirilmesi yahut katman katman eklenmesi ile oluşturulur. Katmanlı üretimden bahsedildiğinde aklımıza RP (Rapid Prototyping - Hızlı Prototipleme) ile birlikte RM (Rapid Manufacturing - Hızlı Üretim) gelir. Bu üretim çeşitlerinde hedeflenen hızlı bir stilde teslim edilmesi hedeflenen parça ve tanelerin imalatı ve geometrisine dair bilgi sahibi olabileceğimiz bir prototip hazırlamaktır. Bu sayede eklemeli üretim sistemlerinde üretim gücüyle karşılaşılacak parça türlerinin RP ve RM metotlarıyla imalatını gerçekleştirmektedir. Günümüzde otomotiv, mühendislik, asansör, inşaat, mimarlık, sanayi ve moda gibi birçok farklı sektörde kullanıldığı gibi hobi olarak ve çeşitli hediyelik eşya tasarımlarında da kullanımı yaygınlaşmıştır. Şekil 2.3 ve Şekil 2.4'te tez için kullandığımız Ender 3 marka yazıcımız görülmektedir. 3d yazıcı da tasarım ve üretim düşük bütçeli basit parça üreten küçük esnaf ve firmalar için de uygundur (Er, 2002).

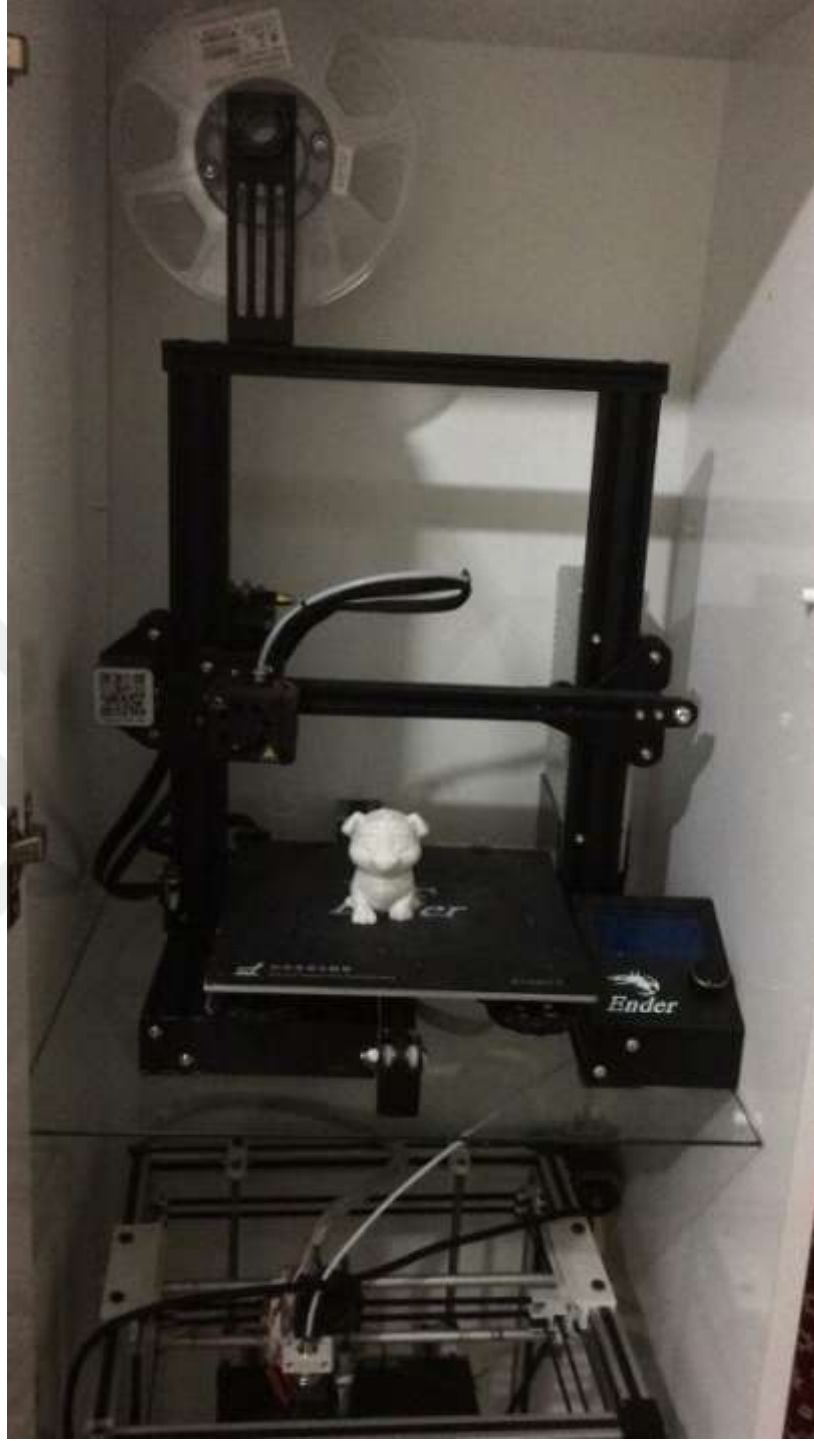
Üç boyutlu yazıcılar ince detay verebilme (0.2mm-0.4mm) ve farklı mukavemet özelliklerine sahip tasarımlara ait parçalar imal edebilmektedir. Tasarımcılar

üretecekleri çeşitli ürün hakkında bu sayede daha özgüvenli ve emin olabilirler.
(Stratasys, 2015)



Şekil 2.3 Ender 3 marka tez aşamasında kullanılan 3D yazıcı

Belirli bir modeli yahut kafamızdan rastgele tasarlayacağımız bir modeli 3D yazıcıda üretmek için doğru türde filament seçmek en önemli adımı oluşturmaktadır ve bu seçimde izlenecek adımları belirlemek giderek zorlaşmaktadır, çünkü 3D yazıcılarla üretim yapılabilecek çeşitli malzemeler gün geçtikçe artmaktadır (Gür, 2017).



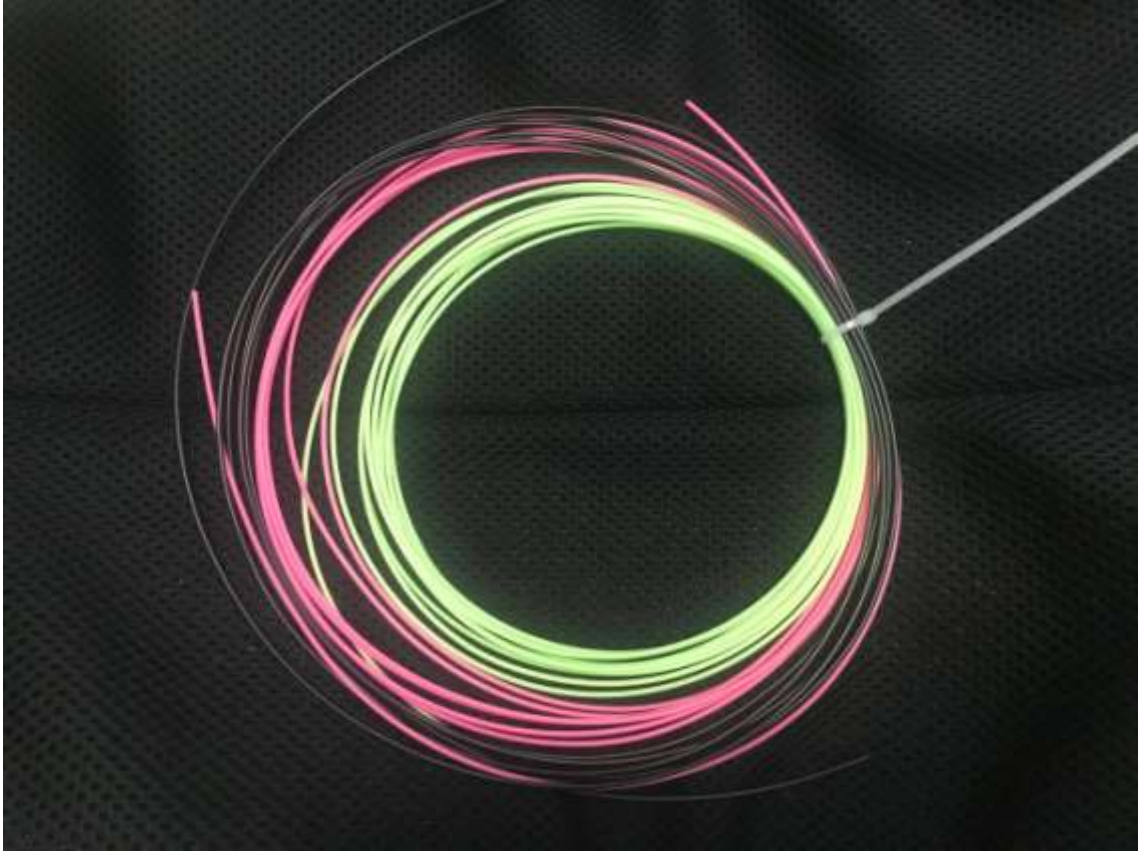
Şekil 2.4 Kullandığımız 3D yazıcı ile numune köpeği basımı

3D yazıcılarda PLA ve ABS eskiden beri sıkça kullanılan iki temel polimerdir, lakin sektördeki hâkimiyetlerine hız kesmeden devam etselerde öteki polimerlerin 3D yazıcıların gelişiminde kilit rol alacağı da kuvvetle muhtemel bir olasılıktır. Günümüz sürecinde saf polimerler ve kompozitler gibi yeni ortaya çıkan filamentlerin daha popülerite kazandığını farkediyoruz. Bu tezimizde de bugün piyasada hala revaçta olabilen ABS ve PLA yı ele alacağız. Geri dönüşüm granüllerinden elde edilen yeni

ABS ve PLAların direk üretime ABS ve PLA larından farkını inceleyeceğiz. En çok kullanılan filament türleri: PLA, ABS, PETG, PC, TPU (Esnek) ve Naylon.

2.12. ABS Filamenti Tanımı

ABS (AcrylonitrileButadieneStyrene) malzeme, mukavemeti ve dayanıklılığı PLA malzemeye göre göre çok yüksek ve petrol bazlı bir termoplastiktir. Gerekli ayarlanabilen tabla ısıtıcısına sahip olan bir 3D yazıcısından ABS baskı yapılabilir. Tamamen çepeçevre kapalı yapıya sahip 3D yazıcılarla problemsiz ve yüksek kaliteli baskılar alabilirsiniz. Ayriyetten, LEGO parçaları, bazı asansör parçaları, bazı araba parçaları gibi çok yüksek çekme ve basma dayanımı gerektirmeyen yerlerde tercih edilen filament türü ABS'dir. Şekil 2.5'te farklı renklerde ABS filamentler görülmektedir.



Şekil 2.5 Piyasada satılan çeşitli renkteki ABS filamentler

2.12.1. ABS filamentinin temel özellikleri

Yüksek sertlik, PLA ya nazaran daha çok dayanıklılık ve darbelere karşı mukavemet,

Düşük esneklik payı ile daha kararlı duruş,

Yüzey işlemesi kolaylığı ve asetonla çözümlenebilme,

Plastik yapısından ötürü yiyecek ve içeceklerle etkileşimi önerilmez, Basım sıcaklığı genellikle 230°C – 250°C arasında olup PLaya nazaran yüksektir.

Soğuma ve işlem esnasında kalkma,çatlama ve kötü koku problemlerine rastlamamak için kapalı sistemi olan 3D yazıcı ile işlem yapılması önerilir.

Yatak sıcaklığı PLA'dan yüksektir, 80°C–120°C arasında olması önerilmektedir.

Çıktıların düzgün olabilmesi için sıcaklık ve kalibrasyon ayarlarının dikkatli ve hassas bir tarzda yapılması gerekmektedir.Genelde tabla ile yazıcı nozzle ucu arasına ince kağıt sıkıştırılarak yatak üzerinde çeşitli noktalardan ölçümler alınır ve yatak altı vidalardan sabitleme yapılır,

PLA'ya nazaran basımı oldukça güç ve zahmet gerektirir,

2.12.2. ABS filamentinin kullanım alanları

ABS,PLA ve bazı elastik filamentlere nazaran yüksek mukavemetli bir malzeme olduğundan ötürü işlevsel 3D modellerin mukavemetli, yüke karşı daha dirençli ve sağlam olabilmesi için tercih edilmektedir. Misalen; mühendislik ve sanayi alanında prototip amaçlı 3D modeller, asansör parçaları, arabalar, elektrik ve bazı küçük destek elemanları ve spor malzeme ekipmanları ve tedarigi güç malzemelerin imalatı gibi. Ancak ABS yapısı gereği, sıcak yiyecekler ve yüksek ısıya sahip içecekler ile temas halinde sağlık gereği kesinlikle olmamalıdır. Aşağıda Şekil 2.6'da da görüldüğü gibi hediyelik eşya, anahtarlık vb. üretiminde ABS filamentler oldukça sık kullanılmaktadır.



Şekil 2.6 ABS filamentten üretilmiş bir örnek hediyelik

2.13. PLA Filamenti Tanımı

PLA (Polylactic Acid), şeker kamışından ve mısır nişastasından elde edilen organik bir yapıdır. Üretim özellikleri göz önüne alındığında ise biyopolimer ve

termoplastik olduğu gözlemlenmektedir. Bu sebeple, canlılarla temasının sıkıntılı olmadığı gözlemlenmiştir. PLA ile çeşitli malzemeler karıştırılıp özel malzemeler üretilmektedir. Bu farklı malzemelerin PLA ile karıştırılma skalası ortalama %25-35 arasında olmaktadır (Turner, Strong and Gold, 2014). ABS ile kıyas edildiğinde daha parlak bir görünüşü bulunmaktadır. FDM teknolojisini kullanabilen bir 3D yazıcı rahatlıkla PLA baskı yapabilir. 3D yazıcı haricinde; bazı paketleme sistemleri, streç filmler, plastik ve çeşitli saklama kapları ve de plastik su şişelerinde de PLA yapı içeren malzeme bulunmaktadır. Şekil 2.7’de piyasada sıklıkla görülen ve akrilik boya ile boyanması en basit olan beyaz renk PLA filament örneği bulunmaktadır.



Şekil 2.7 Sıkça kullanılan beyaz renk PLA filament

2.13.1. PLA filamentinin temel özellikleri

ABS'ye nazaran basımı oldukça basittir.

Sert bir yapısı vardır. Dayanıklı ve darbelere karşı ABS kadar olmasada mukavemetlidir.

Hafif esnek yapısı vardır, ancak kırılındır.

Aseton ile çözülmesi güçtür.

Basım sıcaklığı genellikle 190°C – 220°C arasındadır. ABS'den daha düşük sıcaklıkta basılabilmektedir.

Soğuma esnasında ABS'deki gibi kalkma ve çatlama problemleri ile karşılaşılmaz.

Yatak sıcaklığı genellikle 50°C – 70°C arasında yeterli olmaktadır. ABS den daha düşük tabla sıcaklığı ile işlem yapılabilir.

Düzenli bir şekilde ayarlanmış basım sıcaklığı, yatak tablası sıcaklığı ve kalibrasyonu ve de üretim hızı ile problemsiz basım yapılabilir.

2.13.2. PLA filamentinin kullanım alanları

PLA daha parlak ve gösterişli bir görüntüye sahip olduğundan ötürü görselliğe hitap eden alanlarda ve sağlığa zararlı bir durumu olmadığından insan teni ile temas halinde olabilen yerlerde kullanılırken tercih sebebidir. Misalen; çocuklar için üretilen oyuncaklar ve bunların tamiri ve de tedariği güç birçok parçaları, mimari ölçek modeller, mutfak araç ve gereçleri, çeşitli şekillerdeki kurabiye kalıpları, çeşitli boyutlardaki saklama kapları gibi. Bunun haricinde güneş ışığı ve ısısına daima maruz kalabilme ihtimali olan modeller için PLA kullanılması pek önerilmez. Ayrıca, PLA ve ABS'nin detaylı karşılaştırılması kısmındaki tabloda da gözlemleyeceğimiz gibi, PLA'dan üretilmiş olan ürünleri 60°C'den daha yüksek sıcaklıklara yıkarken vs. maruz bırakılmasını önermemeliyiz. Şekil 2.8'de ise ısıya maruz kalmadan kullanılan, motosiklet motorlarına yağ koymak için kullanılan PLA üretimi huni görülmektedir.



Şekil 2.8 PLA'dan üretilen motor yağı koyma hunisi

2.14. ABS ve PLA Malzemenin Detaylı Şekilde Karşılaştırılması

ABS ve PLA'nın 3D yazıcılarda en çok kullanılan malzemeler olduğunu biliyoruz. Bu malzemelerin önemli özelliklerini karşılaştıralım.

2.14.1. Isıl özellikler

Erime Akış İndeksinin Karşılaştırılması (Melt Flow Index - MVI): Erimiş polimerlerin akış kolaylığını belirten değeridir. Malzemenin belirli bir uzunluk ve çaptaki ince hortum veya borudan on dakika içerisinde geçmesi ile ölçüm alınmıştır.

Kırılma Sıcaklığı Değeri (Glass Transition Temperature): Sertlik ve camı kırılma noktasındaki sıcaklığı belirten sayısal değerdir. Bu değer, modelimizi içecekler veya sıcak suyla kullanmak istediğimiz vakit büyük önem arz etmektedir. Misalen PLA'dan üretilerek bir kahve kupası elde ettiğimizde, kahvenin oluşan sıcaklığı 60°C'den daha fazla ise kupanın tabanı deformasyona uğrayıp bükülür veya çöker. ABS ile takribi 105°C civarına kadar dayanmaktadır, lakin sıcak sıvı veya içeceklerle yahut yiyeceklerle teması olması durumunda ortama kimyasal atık bırakabilme olasılığı çok yüksektir.

Gevşeme Sıcaklığı Değeri (Slumping Temperature): Bu değer, üstünde 3D modellerde çeşitli bozulma ve deformasyonlar oluşur. Eğer 3D yazıcı kullanırken basım

alanınız (diğer bir deyişle yatak) ısıtılmalıysa, yatağın olması gereken sıcaklığı bu değerin biraz altına ayarlı olmalıdır.

Erime Sıcaklığı (Melting Temperature): Bu sıcaklıkta malzeme artık erimeye başlar.

Basım Sıcaklığı (Printing Temperature): Bu değer basılması istenen malzeme dökümü için en ideal değeri ifade eder. Örneğın 200°C vb.

Yatak Sıcaklığı (Printbed Temperature): Basım sırasındaki basım alanı (diğer bir deyişle yatak) sıcaklık değerini ifade eder. ABS ile imal edilecek büyük ve çok köşeli taslaklar ve modellerde kalkma, tutmama ve çatlama problemleriyle sıkça karşılaşıldığı için, yatak ısıtıcı özellikli 3D yazıcı tercih edilmelidir.

Tablo 2.3'te ABS ve PLA ısı özellikleri verilmiştir.

Tablo 2.3 ABS ve PLA ısı özellikleri tablosu

Isıl Özellikler	PLA	PLA Plus	ABS	ABS Plus
Erime Akış İndeksi	10.3cm ³ /10dk	3.4 cm ³ /10dk	9.7cm ³ /10dk	15.9cm ³ /10dk
Kırılganlık Sıcaklığı	60-65°C	60-65°C	105°C	109°C
Gevşeme Sıcaklığı	70-80°C	70-80°C	110-125°C	110-125°C
Erime Sıcaklığı	160-190°C	160-190°C	210-240°C	210-240°C
Basım Sıcaklığı	190-220°C	205-225°C	230-250°C	220-260°C
Yatak Sıcaklığı	50-70°C	60-80°C	80-120°C	80-120°C

2.14.2. Mekanik ve fiziksel özellikler

PLA daha basit kırılabilen, mukavemeti ABS'ye nazaran düşük ve yüzeyi daha sert bir malzemedir. Büküldüğünde, burulduğunda ve flambaj burulması gibi çeşitli zorlamalara maruz kaldığında kırılmaya daha yatkındır. PLA ile imal edilen 3D parçalar kesilebilir, taşlanabilir, törpülenebilir, genellikle akrilik boyalar ile istenilen renge boyanabilir ve çeşitli yapıştırıcılar ile yapıştırılabilir. Ama yüzeyini pürüzsüz bir hale getirmek için asetonla işlem maalesef yapılamaz.

Her iki malzemede de (PLA, ABS) basım aşamasında doluluk oranı arttıkça sertlik ve pürüzlülük değerlerinde iyileşme görülmektedir (Göztaş Z., 2016). Bu durum literatürde yapılan çalışmaları destekler niteliktedir.

PLA'nın ABS'ye kıyasla en çok gol yediği dezavantajı gerilme uzaması değerinin düşüklüğü, darbe direncinin düşüklüğü ve ısı dayanımının daha düşük olmasıdır. Çeşitli esnetici katkıları ile tokluğu değiştirilip arttırılmak istense de ABS

kadar dayanıklılığa ulaşamamaktadır. PLA biyobozunur ve çevreselliği ile dikkat çekmektedir (Park E.S., 2002).

PLA Plus, yakın zamanda geliştirilmiş bir çeşit organik biyopolimerdir. ABS'nin sahip olduğu mukavemete oldukça yakın ve PLA'ya nazaran kopma uzaması (Elongation at Break) değeri takribi dört kat daha fazla olan bu yeni malzeme mukavemet gerektiren 3D modeller için yeni bir seçenek olarak kullanılabilir.

ABS ile imal edilen 3D parçalar daha güçlü ve darbelere karşı daha mukavemettir. Bu sebeple, mekanik parçalarda ve devamlı değişen hava koşullarının olduğu yerde kullanılması tavsiye edilmektedir. ABS, PLA'ya nazaran daha fazla esnek olmasından ötürü basınç altında dayanma mukavemeti ve süresi daha fazladır. Ayriyetten, ABS'nin işlenmesi durumu daha basittir. İmal edilen üç boyutlu bu modeller törpülenip kesilebilir, taşlanabilir, çeşitli boylarla boyanabilir ve güçlü yapıştırıcılarla yapıştırılabilir. ABS ile üretilen malzemelerin yüzeylerini pürüzsüzleştirmek ve parlatmak için asetonla işlem yapılabilir.

ABS Plus, yakın zamanda geliştirilmiş bir termoplastik malzeme çeşididir. Laboratuvar test sonuçlarına göre ABS'ye nazaran daha mukavemettir ve yine ABS'den takribi dört kat daha fazla kopma uzaması özelliğine sahiptir.

Tablo 2.4'te çeşitli filamentlerin mekanik özellikleri karşılaştırılmıştır.

Tablo 2.4 ABS, ABS PLUS, PLA, PLA PLUS mekanik özellikleri karşılaştırılması

Mekanik Özellikler	PLA	PLA Plus	ABS	ABS Plus
Tensile Strength (MPa)	65	60	41	39.5
Elongation at Break (%)	7.5	29	8.2	30
Bending Strength (Mpa)	97	87	63	68
Bending Modulus (MPa)	3600	3672	2200	2443

2.14.3. 3D Yazıcı basımındaki kolaylık olarak ABS ve PLA karşılaştırması

3D yazıcı mevzusunda başlangıç seviyesinde olan kullanıcılar için PLA daha rahat ve basit uygulanabilir. 3D yazıcı için basım esnasında en çok karşılaşılan problemlerden biri eğilme/kalkmadır. Bunun sorunun sebebi, basım esnasında başlangıç katmanındaki malzemenin soğumasından ötürü malzemenin büzüşme yaparak tabladan ayrılması ve bu durumun öteki katmanları etkilemesidir. Başka bir problemse basılan modelin sonraki tepe katmanlarında çatlaklar oluşması durumudur. ABS kullanırken bu problemlerle karşılaşma olasılığı daha yüksektir. Bu sebeple, ABS ile kaliteli bir basım

yapabilmek için birkaç basım denemesine binaen 3D yazıcı için uygun detay ayarların yapılmış olması gerekmektedir. Şekil 2.9'da eğilme kalkma ile ilgili örnek sorun gösterilmiştir.



Şekil 2.9 İlk katmanlarda sıkça oluşan eğilme kalkma sorunu

PLA'nın hammadde olarak kullanıldığı üretimlerde ABS'lerde sıkça karşılaşılan gibi ilk katmanlarda yapışmama, kalkma ve sonraki aşamalarda çatlama gibi problemleriyle karşılaşmamaktadır. Ayriyetten, PLA ile imal edilen parçayı ABS'ye kıyasla tabladan daha rahat ayırabilirsiniz. ABS bir şeyler basabilmek için daha fazla sıcaklığa ihtiyaç duymaktadır. Bu problemleri bertaraf etmek için yatağa yapışma şekli olarak Raft seçeneğine gidilmelidir ve fanı kullanarak aşırı soğutma kesinlikle yapılmamalıdır. 3D yazıcı için tablaya yapıştırıcı önerisi olarak, PLA kullanılacaksa ilk katmanlar için saç spreyi ve uhu tarzı yapıştırıcılar iş görürken, ABS'de daha maliyetli olan kapton bant ve BuildTakTM, yahut daha basit temin edilen güçlü saç spreyi iş görebilmektedir. Lakin, kaptonbantın yapıştırması zordur ve zahmetli bir iştir.

2.14.4. Gaz ve koku

Polimer malzemelerin hammadde olduğu ürünlerde genellikle bir koku hissedilir. Bu koku, kullanılan basım malzemesine ve eritilen sıcaklığa göre değişir. Misalen; PLA'dabazı markalarda baharatımsı koku gelirken, bazı markalarda tatlımsı yahut waffle tarzı bir koku hissedebilirsiniz. ABS'deyse erimiş, yanık bir plastik kokusu hissedilebilmektedir. Bu kötü kokuya bir süre maruz kalındığında mide bulantısı, baş ağrısı, hatta kusma olayları ile karşılaşılabilir. Bu sebeple, mümkün olduğunca

biraz daha pahalı satış rakamları olsa da PLA ve PLA tabanlı filamentler kullanılması tavsiye edilmektedir. Eğer illaki ABS kullanmak isterseniz komple kapalı bir sistem içerisinde 3D yazıcı kullanmakta fayda vardır.

2.14.5. Doğada çözünme ve dayanıklılık

PLA organik biyopolimer yapıya sahip bir malzemedir ve bitkilerden imal edilmektedir. Pek rastlanmasa da gübre olarak kullanılıp doğada parçalanabilir. ABS biyopolimer tabanlı malzeme olmadığından doğada parçalanamaz, fakat kolayca geri dönüştürülebilir. Filament dönüşüm makineleri sayesinde atık PLA, ABS ve günlük hayattaki kullanılan pet şişe ve kapak gibi malzemeleri dönüştürüp filament elde edebilmekteyiz.

2.15. Filamentlerin Bozulmaması İçin Yapılması Gerekenler

Bilindiği üzere zamanın karşısında bozulmaya yüz tutmayan üretim malzemesi bulunmamaktadır. Dış ve iç faktörler sebebi ile malzemenin yapısında zamanla değişimler meydana gelebilmektedir.

Bu değişimleri azaltmak ve sifıra indirmek için birçok malzeme çeşitli yöntemlerle korozyonlardan korunmaktadır.

Bizim 3D yazıcılarda kullanmış olduğumuz filamentlerimizde zamanla özelliklerini kaybetmeye başlar. Filamentlerin en büyük düşmanı nemdir. Hava almayan poşet içerisinde saklanabilen filamentler baskı almaya başlamak için poşetten çıkarıldığı günden itibaren iyi saklanmaz ise nem almaya başlayacaktır. Aynı zamanda güneş vs gören yerlerde bırakılması da gevrekleşmesine ve kırılmasına sebebiyet verecektir. Bütün bu olumsuzlukları engellemek için dış etkenlerden mümkün olduğunca işimiz bittikten sonra izoleli bir şekilde korumanın faydası bulunmaktadır. Yoksa birkaç hafta içerisinde kalan filamentlerimiz kullanılamaz hale gelmektedir. İşin daha da kötüsü yapısı bozulmaya başlayan filamentler yazıcıda da çeşitli tıkanma ve baskı hatalarına sebebiyet verecektir. Şekil 2.10 ve Şekil 2.11'de örnek filament saklama yöntemi resimleri verilmiştir.



Şekil 2.10 Örnek filament saklama yöntemi

Yukarıdaki şekilde görüldüğü gibi vakumlu poşetler içerisinde duran filamentler nemden ve güneşten uzak şekilde daha uzun süreli kullanım ömrüne sahiptirler. Ticari firmalar ise alttaki şekilde görüldüğü gibi muhafazalı bir şekilde satış yapmaktadırlar.



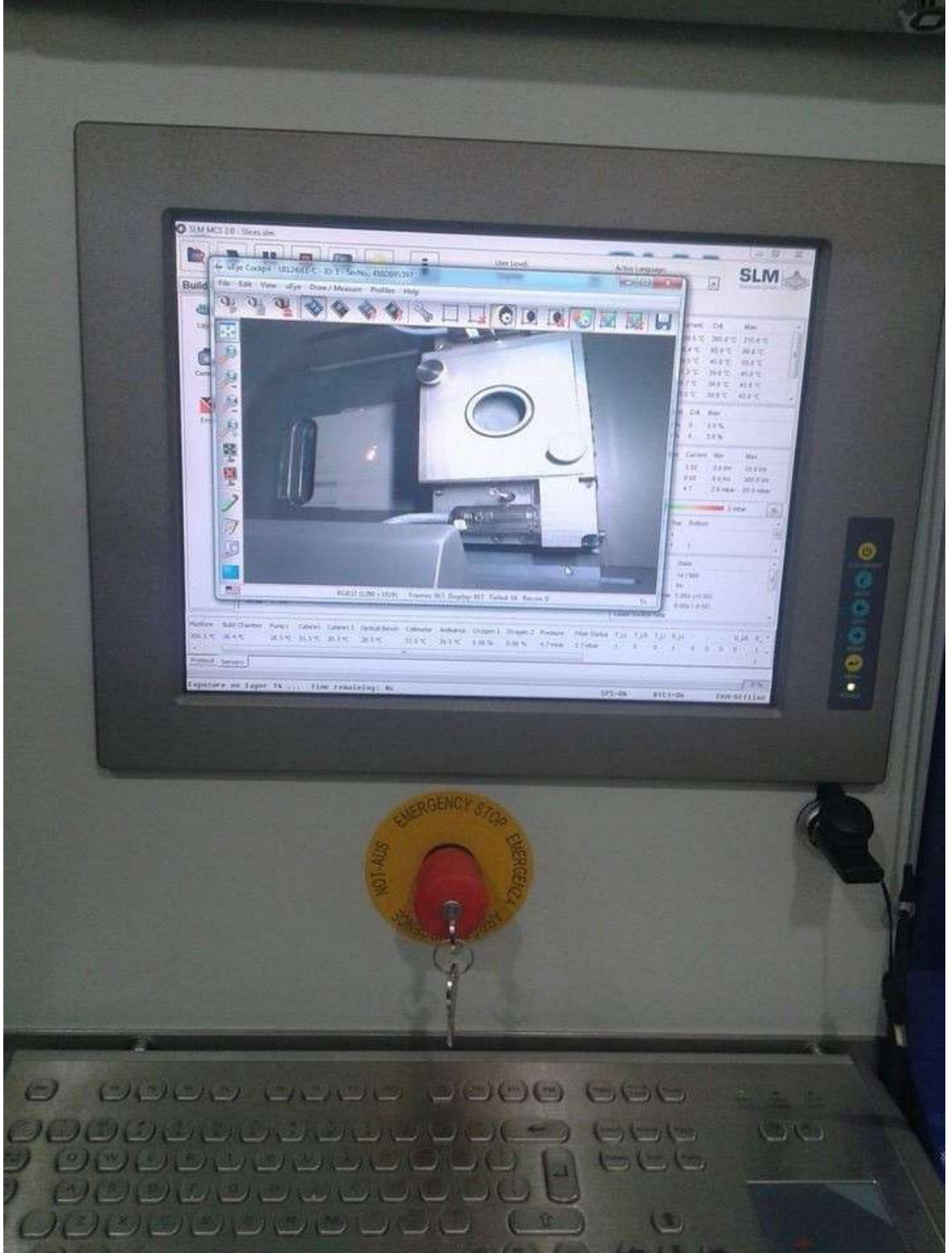
Şekil 2.11 Kutusunda bozulması güç olan filament örneği

2.16. 3D Yazıcı Teknolojisi

Teknolojinin gelişmesiyle birlikte insan oğlu artık farklı alanlarda da ilerleme yapmak istemektedir. Bu ilerleme de aynı zamanda sıkça karşılaşılan problemlerin üstesinden gelmek, hem de ticari olarak bir güç elde edebilmek amacı da güdebilmektedir. Bulunması zor olan her türlü parçayı evde kendimizin çizerek yapması kadar hoş bir şey daha yoktur. Öncesinde 3D yazıcılarla aynı mantıkta çalışan makinelerin üretimi yapılmıştı, mantık ve çalışma şekli hemen hemen aynı idi. Lakin fiyatları çok uçuk rakamlardı. Örneğin SLM makineleri ile toz metalden implant üretimleri yapılmakta idi. 250.000 euroyu bulan bu makineler toz haldeki metali kaynaklaya kaynaklaya ilerlemekte idi. Lazer sinterleme olarak adlandırılan bu cihaz bir çok alanda kullanılmaktadır. Şekil 2.12 ve Şekil 2.13'te SLM 125 HL makinesinin görünümüleri bulunmaktadır.



Şekil 2.12 SLM 125HL makinesi



Şekil 2.13 SLM 125HL üretim ekranı

Yalnız SLM tarzı makineler pahalı olmasının yanı sıra hem çok büyüktü hem de herkesin işine yarayabilmesi imkansızdı.

İnsanoğlu araştıra araştıra minimum fiyatlarla buna benzer üretim yapan cihazı nasıl bulurum tarzı sorularla uğraşırken piyasada kurtulması zor ve zahmetli olan plastikler aklına geldi ve plastik filamentin eritilerek katmanlı halde birleşmesi ile

yapılan bir sistem geliştirme merakına girdi ve şimdiki kullandığımız 3D yazıcılar her eve girmeye başladı. Bu yazıcılarla PLA, ABS başta olmak üzere bir çok filamentle çeşitli baskılar alınabilmektedir. 3D yazıcı okullara kadar da girmiş ve bir çok çocuğun hafızasında yer eden parçaları imal edebilme olanağı sağlanmıştır (Kuzu ve Demir, 2016).



3. YÖNTEM

3.1. Çalışmada Kullanılan 3D Yazıcı

Bu çalışmamız esnasında ENDER 3 markalı 3D yazıcı kullanılmıştır. 20cm*20cm*25cm yazdırma boyutlarına sahip olup tabla ısıtma özellikli bir yazıcıdır.

Isıtıcı tablaya sahip olduğu için birçok filament ile kullanıma elverişlidir. Çeşitli mutfak eşyaları, oyuncaklar ve hediyelik eşya üretiminde test edilmiş olup başarı oranı yüksek ve fiyat olarak uygun f/p oranına sahip bir 3D yazıcıdır.

Isıtıcı tablasının üzerinde mıknatıslı bir yüzey bulunmaktadır. Bu yüzey baskı işlemi tamamlandıktan sonra üretilen malzemenin tabladan kolay ayrılabilmesini sağlar.

Şekil 3.1’de çalışmalarımızda kullandığımız yazıcı ve üretim aşamalarımızdan bir kare görülmektedir.



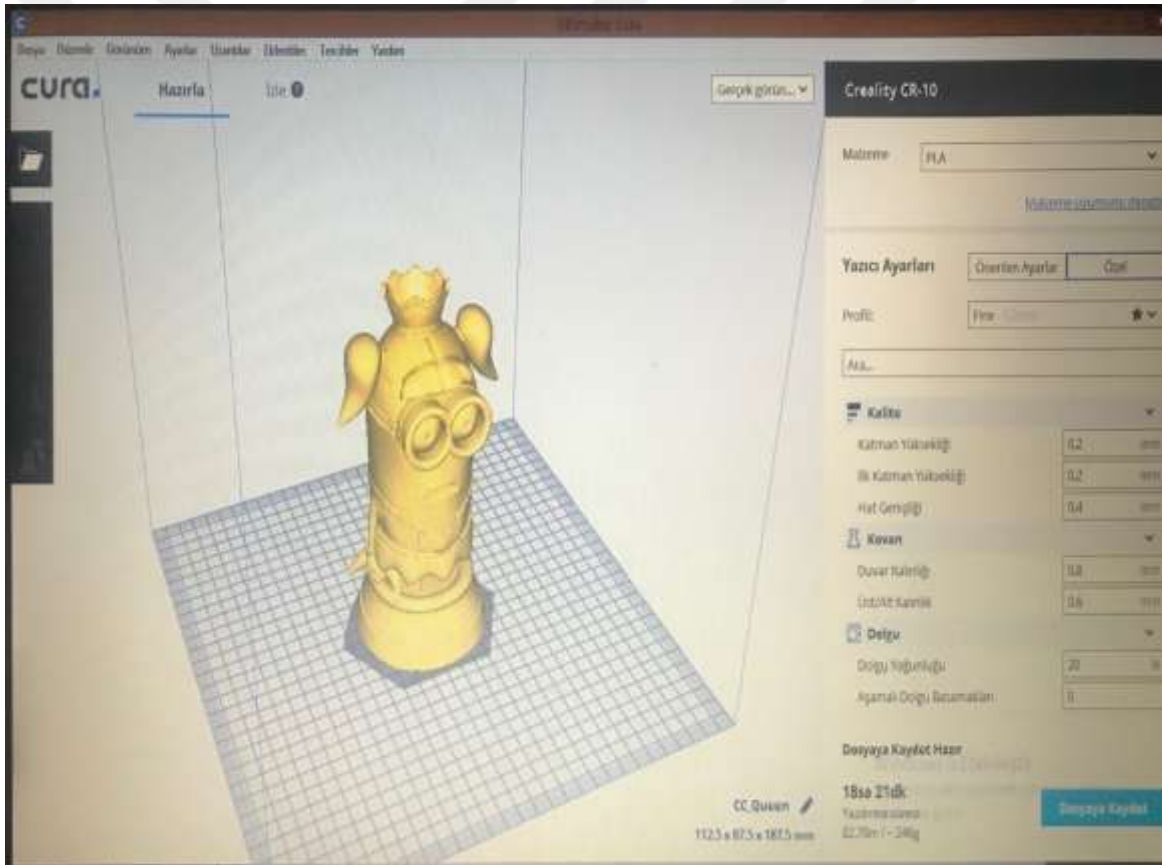
Şekil 3.1 Çalışmamızda kullanılan yazıcı

3.2. Çalışmada Kullanılan Yazılım ve Programlar

Bu çalışmalarımız sırasında Solidworks 2012 ve Cura 3.0.2. programları kullanılmıştır.

Bilindiği üzere Solidworks katı modelleme programları arasında en sık kullanılan dünyaca ünlü programlardan birisidir. Özellikle 3D yazıcılar yardımı ile üretilmek istenen malzemeleri çizerek her türlü açı ve boyutlandırmaları yapıp, hayal edilen malzeme kolayca tasarlanabilir.

Tasarlanan bu malzeme Cura adlı programda dilimlenerek doluluk oranı, destek ayarları, ısı ayarlar ve fan ayarları gibi çok çeşitli detay ayarları yapılır. Ayarları yapılan bu tasarım yazıcıya aktarılarak yazdırma işlemi başlatılır. Şekil 3.2’de daha önceden tasarımı yapılmış bir nesnenin Cura programındaki hali görülmektedir.



Şekil 3.2 Cura dilimleyi programı arayüzü

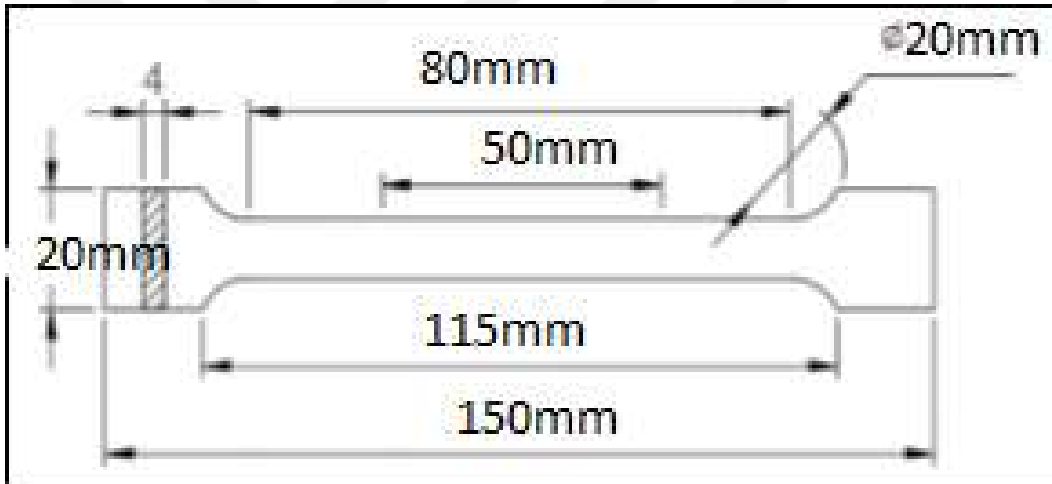
Görüldüğü gibi programda katman yükseklikleri, fan hızı, üretimin istenildiği kalite, kaç saat süreceği, kaç gram filament harcanacağı gibi özellikler bulunmaktadır. Program üzerinden yazdırma hızı tabla ve nozzle ısı ayarları da yapılabilmektedir. Bu ayarlar yapıldıktan sonra kaydedilip 3D yazıcıya hafıza kart vb. aktarılıp çıktı alınmaktadır.

Çıktı alınmak istenilen malzemenin kullanım alanına göre ABS,PLA vb. filament seçimi doğru yapılırsa başarı oranı da ona nazaran daha yüksek olacaktır.

3.3. Çalışmada Kullanılan Standart Deney Çubuğu ve Filament Özellikleri

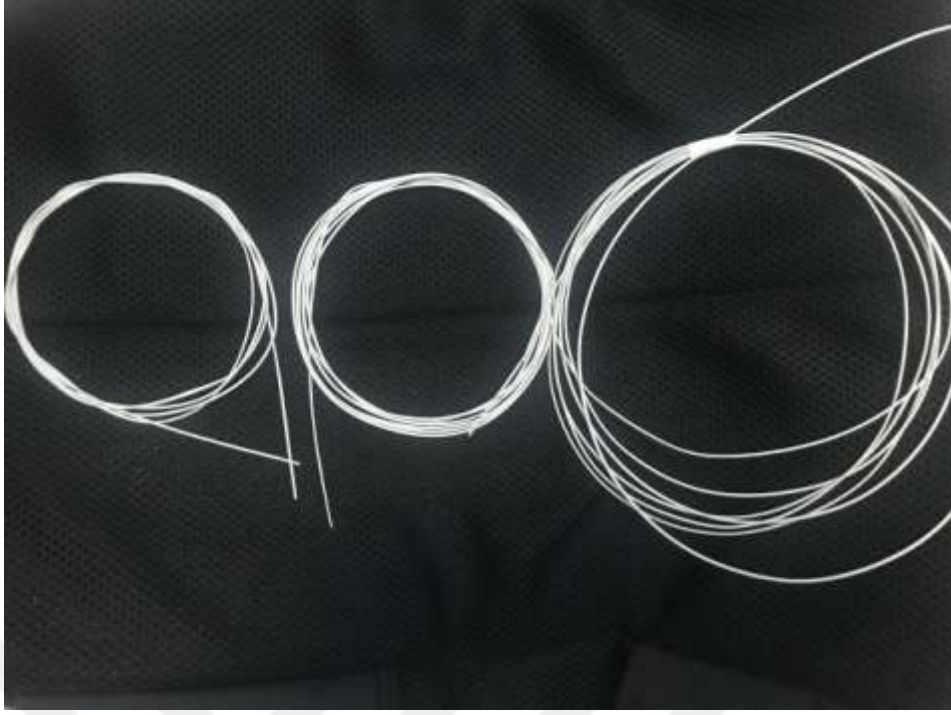
Test edilecek ve son kullanım için imal edilecek her türlü maddenin özelliklerini kullanılacak filament etkilemektedir. Üretimi yapılacak olan malzeme için seçilecek olan doğru özelliklerde filament ve kullanılacak filament tarzı seçimi parçanın ömrünü etkileyeceğinden ötürü doğrudan ekonomikliğini ve fiyat/performans oranına da etki edecektir. Misal herhangi bir yük etkisinde kalmayacak olan malzemelerin doluluk oranının çok düşük tutularak üretilmesi maliyetin ve israfın azalmasına sebep olacağından ötürü neyi nasıl üretmek gerektiğinin bilinci her şeyden önde gelmektedir.

Aşağıdaki Şekil 3.3'te çalışmada kullanılan deney çubuklarının standart ölçüsü verilmiştir.



Şekil 3.3 Deney çubuğu

Aynı zamanda şekil 3.4'te de görüldüğü gibi deneyde kullanılan, granüllerden üretilen filamentlerden örnek görüntüler sergilenmiştir.



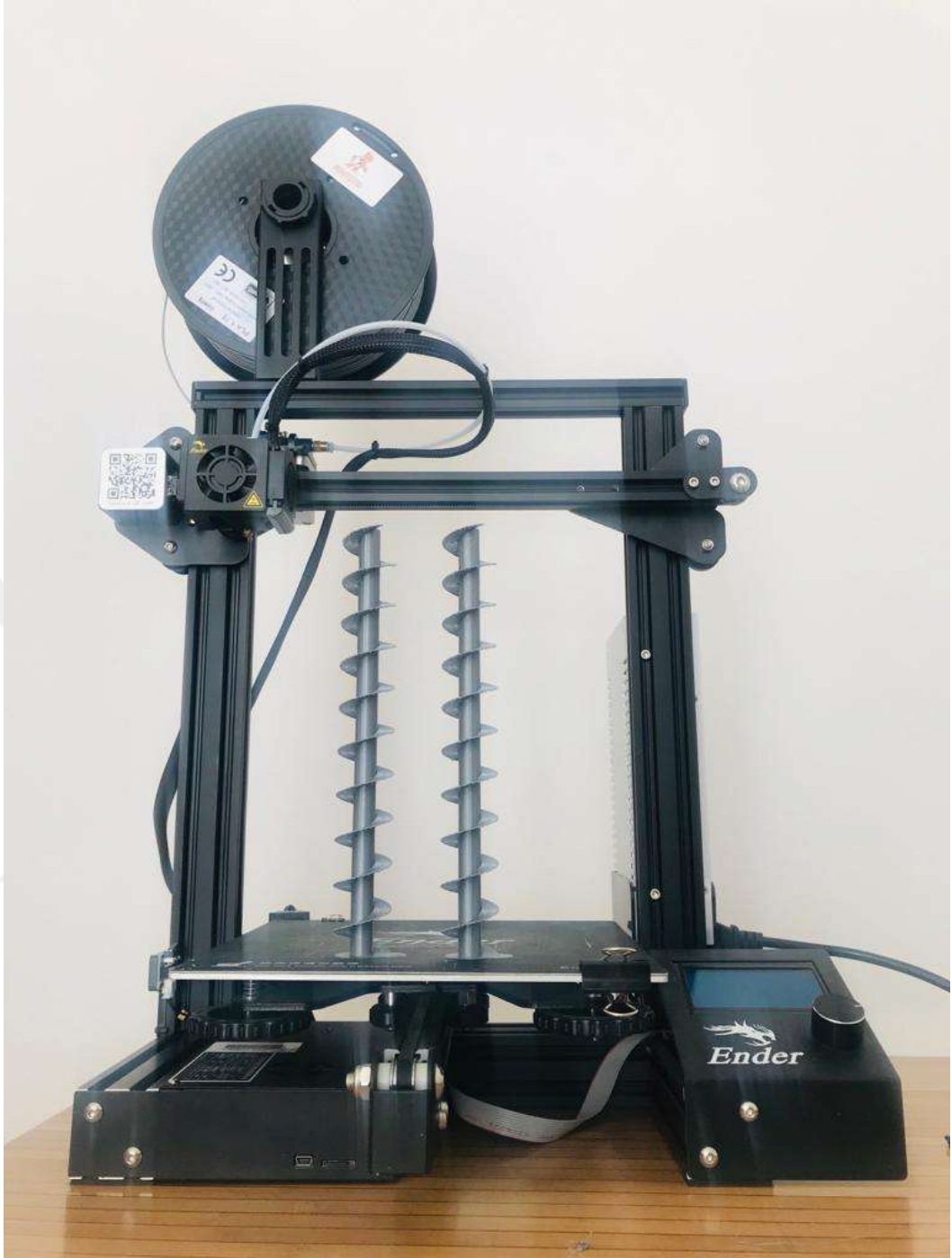
Şekil 3.4 Makinemizde kendi ürettiğimiz filamentlerimiz

Çalışmada kullanılan filamentler 1.75mm çapında olup 3D yazıcılarda çoğunlukla tercih edilen çap ebadındadır. Kendi ürettiğimiz filamentlerde ise zaman zaman 1.75mm hassasiyeti yakalamak için makine üzerinde değişikliklere gidilmiş olup gene bu değişikliklerdeki bazı parçalar 3D yazıcımızda üretilmiştir. Şekil 3.5'te filament üretim makinesi gösterilmiştir.



Şekil 3.5 Filament üretim makinesi

Filament üretim makinemizde 1.75mm ayardaki hassasiyeti yakalamamız için granüllerin birim zamanda eşit olarak eritme haznesine gitmesi gerekmekte idi yoksa nozzle ucu tıkanması gibi 3D yazıcılarda sıkça görülen problem bizim filamentlerimizde de görülecekti. Bu da üretimin kalitesini düşürecek ve olumsuz yargılara sebep olacaktı. Yapılacak olan testlerde ise yanlış sonuçlar alacaktık ve bu da bizim yanlış değerleri ölçmemize sebep olacaktı. Bunun için huni içerisine zaman ayarlı dönen doz burgu yerleştirme planı yaptık. Gel gelelim istediğimiz çap, boy ve adım aralığında doz burgu bulmamız hali hazırda imkanlarda zor olduğu için kendimiz tasarlayıp 3D yazıcımızda üretelim istedik ve çizimlerimiz neticesinde doz burgularımızı ürettik. Şekil 3.6'da ise yazıcılarımızda ürettiğimiz doz burgularımız görüntülenmektedir.



Şekil 3.6 Doz burgular

Ardından üretilen bu doz burgulardan birisini dayanıklılığını deneme amacı ile (doluluk oranını düşük tuttuk) ilkel yöntem olan elle kırma yöntemi ile zorlayarak kırdık. Zaten üzerine yük gelmeyecek olan bu doz burgumuzun doluluk oranı az olmuş olsa da işimize yarayacağını kendimizce test etmiş olduk. Doluluk oranı %80 ve %100 oranında seçildiğinde çekme mukavemetinde hemen hemen aynı artış olduğu, iki doluluk oranı arasında çok bir şey fark etmediği, çekme mukavemetindeki bu benzerliğinin nedeninin dolgu örtüsünden de kaynaklanabileceği F. Decuir adlı bir

araştırmacının yazısında dile getirilmiştir (Decuir, 2016). Dolgu örtüsü Cura adlı programımızın ara yüzünden istenildiği şekilde ayarlanabilmektedir. şekil 3.7’de ise filament üretim makinemizdeki yerini olan doz burgumuz görüntülenmektedir.



şekil 3.7 Huni içerisinde zamana ayarlı dönen doz burgu

Ardından filament granülleri eşit miktarda eritme haznesine gittiğinden ötürü filament çapı hassasiyetini de kolay bir yolla çözmüş olduk ve üretilen filamentleri bir makara sistemi ile sardık. şekil 3.8’de sarma düzeneği görölmektedir.

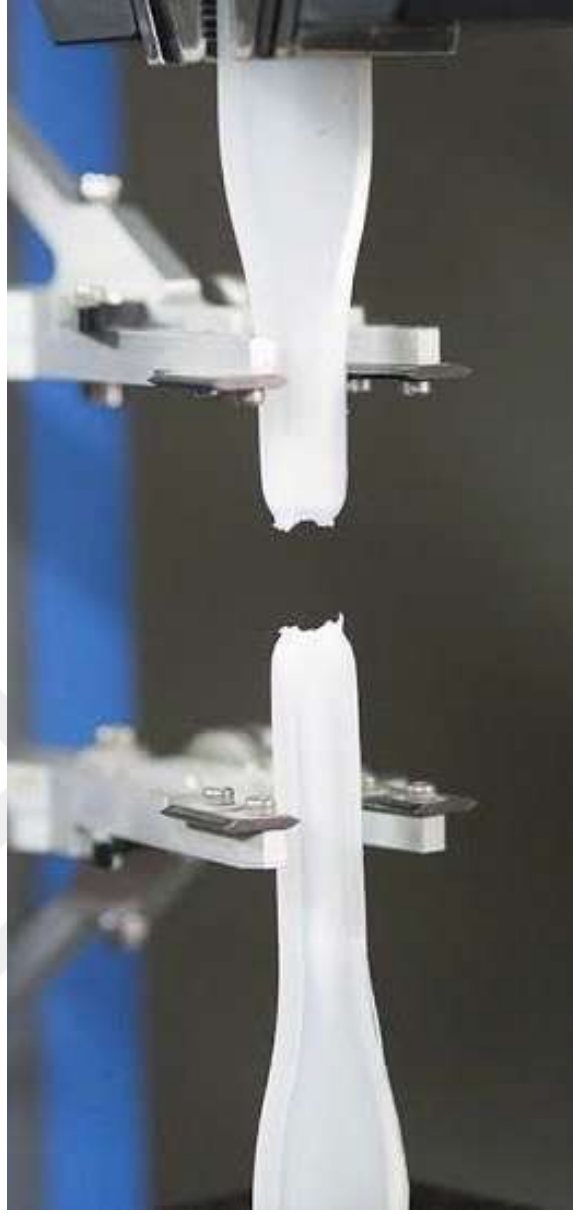


Şekil 3.8 Üretilen filamentlerin sarımı

Filament üretim hızının farklı aralıklarla ölçülüp makinenin saatte kaç metre filament ürettiğini hesaplamak istedik. 10 saniyede makinemizden çıkan filament uzunluğu ortalama 43 mm, bir dakikalık zaman diliminde üretilen filament uzunluğu ise 258 mm olarak kayda alınmıştır. Bu ölçüm baz alındığında sistem saatteki ortalama 15,48 metre filament üretmektedir.

3.4. Çekme Testi ve Sonuçları

Geri dönüşüm granüllerinden ürettiğimiz PLA maddenin normal satılan sıradan bir firmanın ilk üretim ürünü olan PLA ürününe kıyasla çekme deneyi yapılmıştır. Bu deney Zwick/Roell testi ile yapılmıştır. Şekil 3.9'da Zwick/Roell örnek test görüntüsü bulunmaktadır.



Şekil 3.9 Zwick/Roell test görüntüsü

Üçer adet test çubuğu ile yapılan testlerde granüllerden elde edilen filament ve piyasada satılan standart marka ilk üretim filament kullanılmıştır. Tablo 3.1' de test çubukları deney sonuçları verilmiştir.

Tablo 3.1 Test çubukları deney sonuçları

	Fmax N/mm ²	F {lo Break} N/mm ²	{epsilon}Break %	{epsilon}-F max %
1	35,5	34,8	1,42	1,38
2	32,6	31,2	1,35	1,34
3	38,4	38,38	1,65	1,65
4	37,1	36,4	2,11	1,8
5	46,9	46,7	1,91	1,9
6	33,7	32,8	2,13	1,8

İlk üç test üretimi tarafımızca yapılan filamentlerden üretilen test çubukları sonuçlarıdır, diğer üç test ise hazır piyasadan alınma ticari bir markaya ait filamenttir. Bu test neticesinde en fazla kuvvet değeri ticari filament ile basılmış olan beş numaralı test çubuğundan gelmiştir.



4. BULGULAR

Çalışmada tarafımızca üretilen makineden elde edilen filamentin özellikleri ve çekme deneyine karşı göstermiş olduğu performans kıyaslanmıştır. Bu filament üretilinceye kadar geçen sürede lazım olan çeşitli boyutlardaki malzeme eksliğimizin bazılarını yine kendi yazıcımız tarafından imal etmiş ve kullanma fırsatı bulmuş bulunmaktayız.

Numunelere uyguladığımız çeşitli testler neticesinde ticari filament ve üretilen filament arasında çekme testi yapılmış olup sayısal sonuçları paylaşılmıştır.

Katmanlı ve eriyik filamentlerin üst üste birleştirilmesi ile çalışan 3D yazıcımızdan üretilen ticari ve kendi filamentimizden olma test çubukları tek eksenli çekme testine tabii edilmiştir. Her filament çeşidinden üçer adet test numunesi üretilmiştir. 5mm/dakika çekme hızı uygulanarak teste maruz bırakılmıştır. kopma olana kadar teste devam edilmiştir. Çekme testi sonucunda elde edilen detaylar incelenmiş olup filamentler hakkında detaylı yorum yapabilmemize yardımcı olmuştur.

Numuneler aynı makine ile basılmış olup aynı şartlarda üretilmiştir. Bu süreç içerisinde odadaki ısınmada aynı olmasına özen gösterilmiştir.

Basım yapılacak makinemiz dört tarafı açık makine olduğu için kapalı odada ve pencereleri kapalı şekilde üretimleri yapılmıştır.

Yüzde uzama verileri ve çekme testine karşı vermiş olduğu sonuçlar yayınlanmış olup ticari filamentin birinci elden üretimi olması sonucu bir adım önde olacağı baştan beri de tahminen aşikardır.

1.75 mm çapında ve çok düşük toleransla üretmiş olduğumuz bu granülden dönüşme filamentini diğer ticari filamentler ile çekme testine tabi tuttuk ve çeşitli laboratuvar verileri elde ettik.

F_{max} 46,9 N/mm² olarak dikkat çekmiştir. Aynı numunelerde maksimum ölçülen kopma kuvveti değeri ise 46,7 N/mm² olarak ölçümü yapılmıştır. Uzama ve kopma değeri olarak en iyi sonuç gene ticari filamentten üretilen beş nolu numuneden gözlemlenmiştir

Testten elde edilen verilere göz atıldığında filament üretim makinesi ile elde edilen ikinci üretim PLA granülünden elde edilen filamentten yapılan test çubuğunun ortalama kopmaya karşı göstermiş olduğu dayanım kuvvetleri ile piyasada üretilen kaliteli ticari PLA filamentten üretilen malzemenin kopmaya karşı gösterdiği direnç değerleri ortalamaları kıyaslanmıştır. Bu testler göz önüne alındığında ticari PLA

malzeme daha iyi ortalama sonuçlar göstermiştir. 39,27 N/mm² ortalama Fmax kuvveti ticari filamentin biraz önde olduğunu göstermektedir. Kendi imalatımız olan ürünlerden üretilen test çubuklarından ise Fmax değeri 35,635 N/mm² olarak test sonucu ölçümü elde edilmiştir.

Uzama değerleri göz önüne alınacak olursa yine ticari firmanın üretmiş olduğu filament biraz daha iyi gözükmektedir. Tarafımızca elde edilen numunenin % 1,48 ortalama uzama değerine eriştiği gözlemlenmiştir. Ticari firmanın hazır PLA'sından yapılan numunede % uzama değerleri ise % 1,85 şeklinde elde edilmiştir.

Bu veriler arasından yapılan çekme testi deneyi sonuçlarını değerlendirecek olursak, filament üretim mekanizmamız ile elde edilen filament, dışarda bu alanda AR-GE'ye iyi para dökmüş yüksek bütçeli firmalardan alınan ticari amaçlı üretilmiş filamente göre daha gevreğimsi bir yapıya sahiptir. Daha düşük rakamlarda kopma kuvvetiyle kopabilmesi ve daha düşük uzama miktarına sahip olması sebebi ile gevrek olduğunu kanıtlamak çokta zor olmamaktadır. Fakat çalışmada kullanılan malzemelerin fiyatlandırması göz önüne alındığında ise küçük rakamlarla ve basit düzeneklerle bile tarafımızdan üretilmiş bu filamentlerin ticari filamentlerle arasında çok bariz bir fark bulunmamaktadır. Tarafımızdan üretilen filamentlerle yapılan baskılar gerekli dayanıklılığa sahip olabildiği gibi basım öncesi, sonrası, ve imalat sonrasında gerekli amaca yetecek dayanıklılığı dikkat çekmiştir.

Diğer yapılan kıyaslamalarda ise PLA ve ABS filamentlerinin artı ve eksi yönleri araştırılmış olup bu yönleri incelenmiştir. Koku, erime noktası, dayanıklılığı vs bilgiler ile gerekli kıyaslamalar teorik olarak belirtilmiştir. Buna göre en önemli olan şey amacımıza hizmet edecek olan doğru filament bulmak ve onu kullanabilmektir.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Yapılan çalışmada tarafımızca amatör bir hobi olarak filament üretim makine tasarımı ve prototipi üretilmiştir. Bu makinenin üretimi esnasında bizden daha önce bu konular hakkında araştırma yapan kişilerin yazmış olduğu makaleler, fotoğraflar ve eğitim videoları tarafımızca incelenmiş ve gerekli malzemeler tarafımızca temin edilmiştir. Konu hakkında makine mühendisi olmam sebebiyle bu işler hakkında bilgi ve tecrübe sahibi olmam, aynı zamanda benden daha önce bu alana merak salmış birkaç arkadaşımın yardımı ile bu filament yapım makinesinin tasarımı yapılmış, üretimine başlanmıştır. Bu prototipin çalışması aşama aşama incelenmiş ve gerekli görülen yerde düzenlemeler yapılarak son halini almıştır. Ardından sistematik çalışma elde edildiği gözlemlenmiştir. Filament eldesi esnasında ve sonrasında çeşitli amatör ve profesyonel denemeler ile prototipin ürettiği ürün kalitesi ve özellikleri incelenmiş, test edilmiş ve çalışma sistemi gözden geçirilip son hali yorumlanmıştır. Uygulanan testler neticesinde elde edilen filamentlerin üretime elverişli olduğu gözlemlenmiş ve profesyonel basım için kullanılması tarafımızca kararlaştırılmıştır. Elde edilen filamentler sektörde bu alanda ter dökmüş arkadaşlara numune olarakta yollanmış, onların da tecrübeleri doğrultusunda çeşitli testlerden geçirilip yorumlanması istenmiştir. Üretilen ve filamentlerde baskı ve ürün alma konusunda çalışılabilir olduğu gelen olumlu yorumlar neticesinde de anlaşılmıştır. Üretilen bu makine ve filament tamamen hobi amaçlı merak neticesinde ortaya çıkmış ve başarı ile tamamlanmıştır. Makine halen Antalya'da üretimin sürdürülebilmesi ve daha da geliştirilmesi amacı ile bu aşamalarda bana gece gündüz yardımını esirgemeyen yakın bir arkadaşımın evinde muhafaza edilmektedir.

Ürettiğimiz, üstünde çoğu kez değişikliğe gittiğimiz filament üretim makinesi sayesinde atık, fire ve çöp olarak hiçbir değeri olmayan, kurtulmak için çabalanan çeşitli PLA, ABS ve günlük yaşamda sıkça kullanıp hemen çöpe attığımız pet şişeleri geri dönüştürüp elde edilen granüllerin işlenmesi ile elde edilen filamentleri 3D yazıcılarımız ile sorunsuzca kullanıp hem maliyeti düşürmek, hemde çeşitli satıcılara gerek kalmadan kendiniz yapmanız, kullanmanız mümkün olup çeşitli gereklilikleri elde ettikten sonra işi ticari boyutlara çevirmek profesyonel kazanç elde etmek mümkün olabilecektir.

Elde edilen veriler ve karşılaştırmalar göz önüne alındığında üretilen amatör bir filament üretim makinesi ile bile değeri olmayan atıkların eldesi ile üretilen granüllere hayat verilip bunlarla elde edilen filamentlerle başarılı sonuçlar elde edildiği açıkça

ortadadır. Bu kadar basit bir üretimde bile her yıl yüzbinlerce liralık AR-GE parası harcayan ve bu işin her türlü patentini, iznini alıp üretim yapan firmaların filamentlerine emsal filamentler tarafımızca yapıldığı ve başarılı olduğu test sonuçlarına da yansımıştır. Sonraki süreçlerde milli olarak dünya gündemine oturabilecek dayanıklılıklarda üretim yapmak ve bu alanda imkanlarımız doğrultusunda ilerleyebilmek en büyük hedeflerimizden birisidir. Bizlere bu alanda öncü olan, bu işi ilk defa akıl eden fikir babası dünya vatandaşı evrensel kişiler olduğu gibi bizim de ufkunu açabileceğimiz nice kişilere erişip dünya için bir şeyler yapabilmek, üretebilmek en büyük hayalimizdir. Hele bu üretim dünyamıza zararlı olabilecek tüketim atıklarının geri dönüştürülmesi ile olunca durumun önemi bir kez daha ortaya çıkmaktadır. Tüketim dünyası olmak yerine üretim dünyası olmak dileklerimizle.



6. KAYNAKLAR

- Arslan, S. (2006). *Yalın Üretim ve MAN Türkiye A.Ş.'de Örnek Bir Yalın Üretim Uygulaması*. (Yüksek lisans tezi). Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Aydemir, N. (1995). *Rekabet stratejileri ve Yalın Üretimin zaferi*, İso Dergisi, Sayı: 346.
- B. N. Turner, R. Strong, S. A. Gold, (2014). A review of melt extrusion additive manufacturing processes: I. Process design and modeling, *Rapid Prototyping Journal*, 192- 204.
- Chua, C.K., Leong K.F. and Lim C.S. (2003). *Rapid Prototyping: Principles and Applications, 2nd Edition*, by World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd., p.12 Cross, N. (1999). Design Research: A Diciplined Conversation, *Design Issues*, Vol. 15, No. 2, 5-10.
- Decuir, F., Phelan, K. and Hollins, B. (2016). Mechanical Strength of 3-D Printed Filaments. *32nd Southern Biomedical Engineering Conference, Louisiana Tech. University*, Ruston, LA United States, 47-48.
- Er, Ö. (2002). *Espas Tasarım, Tasarım: Firma İçinde Mi? Firma Dışında Mı?*. Novamedya Tanıtım ve Yayıncılık Ltd. Şti.
- Göztaş, Z., Tosun, G., Yıldız, E. ve Kahraman, K. (2014). *Nano doldurucu içeren beş farklı kompozitin yüzey sertliği ve pürüzlülüğü açısından değerlendirilmesi*, *Selcuk Dental J.*, 2: 43-48.
- Gür, Y. (2017). *3 boyutlu masa üstü yazıcı ile matematiksel bir modelden gerçek bir nesnenin dijital üretimi*. BAUN Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 237-245.
- Kolitsky, M.A. (2014). *Reshaping Teaching and Learning with 3D Printing Technologies*, <http://www.ementor.edu.pl/artkul/index/numer/56/id/1130,1-12>.
- Kuzu, D.E.B., Çaka, C., Tuğtekin, U., Demir, K., İslamoğlu, H. ve Kuzu, A. (2016). *Üç Boyutlu Yazdırma Teknolojilerinin Eğitim Alanında Kullanımı: Türkiye'deki Uygulamalar*. *Ege Eğitim Dergisi*, 481-503.
- Okur, A.S. (1997). *Yalın Üretim 2000'li Yıllara Doğru Türkiye Sanayii İçin Yapılanma Modeli*, Söz Yayın.
- Park, E.S., Kim, M.N. and Yoon, J.S.J. (2002). *Grafting of polycaprolactone onto poly(ethylene-co-vinyl alcohol) and application to polyethylene-based bioerodable blends*, *Polymer Sci. Part B Polymer Phys.*, 40:2561- 2569,
- Satır, A. (1992). *Tam Zamanında Üretim; Felsefesi-Yöntemleri, Uygulaması*. Yayımlanmış Seminer Notları, Ankara, 34-45.
- Shingo, S. (1988). *A Revolution in Manufacturing the SMED System*, *Productivity Pres.* Cambridge, MA.
- Stratasys. (2015). *A new mindset in product design, 3d printing can help bring better products to market faster*. WP_FDM_NewMindset_EN_0815

ÖZGEÇMİŞ

Adı-Soyadı : Murat Çömez
E-Posta : muratadalya@hotmail.com

Eğitim ve Mesleki Geçmişi:

- 2009-2014, Mustafa Kemal Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği
- 2015-2016, Akdeniz Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İş Güvenliği YL

Yayımları ve Bilimsel/Sanatsal Faaliyetleri:

- 2016, İş Yerlerinde Çalışan Personelin Risk Etmenleri Açısından Mobbing-Exemining Mobbing In Terms Of Occupational Safety, İstanbul
- 2016, Turizm Sektöründe Çalışan Otel Hizmet Elemanlarının İş Sağlığı Ve Güvenliği - Occupational Health And Safety of Employees Working in the Hospitality Sec. İstanbul

Yabancı Dil Bilgisi:

İngilizce, Almanca

Mesleki Birlik/Dernek/Kuruluş Üyelikleri:

- 2014, Makine Mühendisleri Odası, Antalya