T.C.
TRAKYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KABLOSUZ HABERLEŞME MODÜLÜ UYGULAMASI İLE PLASTİK ENJEKSİYON MAKİNELERİNİN UZAKTAN TAKİBİ VE VERİMLİLİK ANALİZİ

ENES ÇETİN

YÜKSEK LİSANS TEZİ

MEKATRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi ÖZCAN ÇETİNKAYA

EDİRNE-[2023]

Enes ÇETİN'in hazırladığı "**Kablosuz Haberleşme Modülü Uygulaması ile Plastik Enjeksiyon Makinelerinin Uzaktan Takibi ve Verimlilik Analizi"** başlıklı bu tez tarafımızca okunmuş olup, kapsam ve niteliği açısından **Mekatronik Mühendisliği Anabilim Dalında** bir **Yüksek lisans tezi** olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri	İmza
Prof. Dr. Gürkan TUNA	……
Doç. Dr. Hayrettin TOYLAN	……
Dr. Öğr. Üyesi Özcan ÇETİNKAYA	……

Tez Savunma Tarihi: 06/07/2023

Bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak gerekli şartları sağladığını onaylarım.

İmza

Dr. Öğr. Üyesi Özcan ÇETİNKAYA
Tez Danışmanı ……

Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü onayı

……

Prof. Dr. Hüseyin Rıza Ferhat KARABULUT

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

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

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

06/07/2023
Ad, Soyad
Enes ÇETİN
İmza

Yüksek Lisans Tezi

Kablosuz Haberleşme Modülü Uygulaması ile Plastik Enjeksiyon Makinelerinin Uzaktan Takibi ve Verimlilik Analizi

T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü

Mekatronik Mühendisliği Anabilim Dalı

ÖZET

Üretim hatlarındaki en büyük sorunlardan olan hata kaynaklı verimlilik kaybı, günümüzde sürekli çözüm aranan en önemli problemlerden biridir. Bu tez çalışmasının amacı enjeksiyon makinelerinin baskı adedi ve sıcaklık değerlerinin uzaktan ve makine üzerinde devamlı kontrolü sağlanarak üretimdeki verimlilik kaybına klasik yöntemlerden farklı olarak başka bir çözüm aramaktır. Değerlerin kontrol sıklığını arttırıp verimlilik kaybına neden olan sorunların belirlenerek ortadan kaldırılması hedeflenmiştir.

Bu süreçte mekanik iyileştirmeler, enjeksiyon baskı uygulama yöntemi, hammadde kullanımı kontrollü olarak güncellenerek verimliliğin artış ve azalışı göz önünde bulundurularak ideal şartları belirleme ve uygulama amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda enjeksiyon cihazlarında gerekli verimlilik analizleri yapılıp, uygulanan yöntemlerin etkileri analiz edilmiştir.

Yıl : 2023

Sayfa Sayısı : 67

Anahtar Kelimeler : Enjeksiyon, Nesnelerin Haberleşmesi, Termoplastikler, Polyamidler, Verimlilik

Master Thesis

Remote Monitoring and Efficiency Analysis of Plastic Injection Molding Machines with Wireless Communication Module Application

Trakya University Institute of Natural and Applied Sciences

Mechatronic Engineering Department

ABSTRACT

One of the biggest problems in production lines, loss of productivity due to errors is one of the most important problems that are constantly sought for solutions today. The aim of this thesis is to search for a different solution to the loss of productivity in production, different from classical methods, by providing remote and continuous control of the number of prints and temperature values of injection machines on the machine. It is aimed to determine and eliminate the problems that increase the frequency of control of values and cause loss of productivity.

During this process, mechanical improvements, injection molding application method, and controlled updates in raw material usage were aimed to determine and implement ideal conditions while considering the increase and decrease in efficiency. In line with this objective, efficiency analyses were conducted on injection devices, and the effects of the implemented methods were analyzed.

Year : 2023

Number of Pages : 67

Keywords : Injection, Communication of Objects, Thermoplastics, Polyamides, Productivity

TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmasında başından sonuna kadar emeği geçen, teknik bilgi ve tecrübesiyle bana yol gösteren saygıdeğer hocam ve danışmanım Sayın Dr. Öğr. Üyesi ÖZCAN ÇETİNKAYA'ya tüm katkılarından dolayı yürekten teşekkür ederim.

Makineler üzerinde çalışma yapmama izin veren ve desteklerini esirgemeyen PRETTL Endüstri Sistemleri ailesine teşekkürü borç bilirim.

Bununla beraber yoğun zamanlarımda anlayışlı davranan tüm iş arkadaşlarıma ve aileme teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

ÖZET iv
ABSTRACT v
TEŞEKKÜR vi
İÇİNDEKİLER vii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ ix
ŞEKİLLER DİZİNİ x
ÇİZELGELER DİZİNİ xi
BÖLÜM 1 1
GİRİŞ 1
1.1. Enjeksiyon Uygulamaları 2
1.1.1.Dikey ve Yatay Enjeksiyon Makineleri 2
1.1.2.Enjeksiyon Makinelerinde Kullanılan Plastikler 4
1.1.3. Enjeksiyon Makinelerinde Haberleşme 6
BÖLÜM 2 8
ÜRETİMİ YAVAŞLATAN ETKENLER 8
2.1.Üretimi Durdurucu Nedenler 8
2.1.1. Üretimde Uygulanan Kontrol Yöntemleri 9
2.1.2.Enjeksiyon Makinelerinde Hata Kaynaklarının Tespit Edilmesi 10
BÖLÜM 3 12
KAYNAK ARAŞTIRMASI 12
BÖLÜM 4 15
MATERYAL VE METHOD 15
4.1.Enjeksiyon Makinelerinde Hata Tespiti için İzlenecek Adımlar 15
4.2.Takip Cihazının Tasarımı ve Enjeksiyon Makinesine Dahil Edilmesi 16
4.3.Analiz Sürecinde Yapılanlar ve Başlangıç Değerlerinin Belirlenmesi 22
4.3.1. Ocak-Şubat-Mart 2022'de Hata Tespiti ve Yapılan Çalışmalar 23
4.3.2. Nisan -Mayıs-Haziran 2022'de Hata Tespiti ve Yapılan Çalışmalar 25

4.3.3. Temmuz-Ağustos-Eylül 2022'de Hata Tespiti ve Yapılan Çalışmalar 28
4.3.4. Ekim-Kasım-Aralık 2022'de Hata Tespiti ve Yapılan Çalışmalar 30
4.3.5. Ocak-Şubat-Mart-Nisan 2023'te Hata Tespiti ve Yapılan Çalışmalar 31
4.4. Analiz Süresince Yapılan Deneyler 32
4.4.1. Sıcaklık Aralığı Tespiti 32
4.4.2. Eritici Haznenin Yapıldığı Malzemeye Göre Eritme Hızı Tespiti 33
4.4.3. Enjeksiyon Basınç Değişim Testleri 35
BÖLÜM 5 36
SONUÇLAR VE TARTIŞMA 36
5.1. Ocak 2022'de Yapılan Analizde Çıkan Verimlik Sonuçları 37
5.2. 2022 Yılı Verimlilik Analiz Sonuçları 38
5.2.1. Şubat ve Mart 2022 Verimlilik Analizi 38
5.2.2. Nisan, Mayıs ve Haziran 2022 Verimlilik Analizi 39
5.2.3. Temmuz ve Ağustos 2022 Verimlilik Analizi 40
5.2.4. Eylül ve Ekim 2022 Verimlilik Analizi 42
5.2.5. Kasım ve Aralık 2022 Verimlilik Analizi 45
5.3. Ocak 2023 Verimlilik Analizi 46
5.4.Şubat, Mart ve Nisan 2023 Verimlilik Analizi 47
5.5. Sonuçların Değerlendirilmesi 48
KAYNAKLAR 53
EKLER 55
ÖZGEÇMİŞ 56

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

°C	Celsius
ABS	Akrilonitril Butadien Stiren
dk	Dakika
g	Gram
IoT	Internet of Things
kg	Kilogram
LCD	Liquid Crystal Display
mm	Milimetre
PC	Polikarbonat
PE	Polietilen
PP	Polipropilen
PS	Polistiren
PVC	Polivinil Klorür

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. Kablo üzerine yapılmış plastik enjeksiyon 2
Şekil 1.2. Yatay enjeksiyon makinesi görseli 3
Şekil 1.3. Renklendirilmiş PVC 5
Şekil 1.4. Nesneler arası haberleşme (Petilon, 2023) 7
Şekil 2.1. Makine hatası kaynaklı hurda edilen ürünler…..……..……9
Şekil 2.2. Kalite kontrol çizelgesi 10
Şekil 4.1. Tasarımın devre şeması……..…....16
Şekil 4.2. SD Kart modülü devre şeması 17
Şekil 4.3. Robot Dyn Micro SD Kart modülü 17
Şekil 4.4. Tasarımın algoritma şeması 18
Şekil 4.5. Kontrol aracının dahil edileceği enjeksiyon makinesi 19
Şekil 4.6. Tasarımı tamamlanan takip cihazı 20
Şekil 4.7. ThingSpeak sayaç baskı adedi değişim grafiği 20
Şekil 4.8. Takip cihazının enjeksiyon makinesine entegre edilmiş hali 21
Şekil 4.9. Hammadde Miktarını Belirlemek için Kullanılan Hassas Terazi 23
Şekil 4.10. 0,5 mm genişletilen kalıp kanalının Solidworks çizimi 24
Şekil 4.11. EMKO ESM-4420 PID kontrollü ısı kontrol cihazı 25
Şekil 4.12. %10 granül oranlı baskı örneği 26
Şekil 4.13. %20 granül oranlı baskı örneği 27
Şekil 4.14. %25 granül oranlı baskı örneği 27
Şekil 4.15. OM646 ve AS5376 termoplastik örnekleri 29
Şekil 4.16. Alüminyum eritme kazanı Solidworks görseli 30
Şekil 4.17. Pompa ve eritme haznesi grubu görseli 31
Şekil 4.18. Deforme olmuş baskı görseli 33
Şekil 4.19. Demir eritme haznesi 34
Şekil 4.20. Alüminyum eritme haznesi 34
Şekil 5.1. Ocak 2022 baskı grafiği……..…....37
Şekil 5.2. Ocak-Mart 2022 baskı grafiği 39
Şekil 5.3. Ocak-Haziran 2022 baskı grafiği 40
Şekil 5.4. Ocak-Ağustos 2022 baskı grafiği 42
Şekil 5.5. Alüminyum ve demir hazne erime grafiği 43
Şekil 5.6. Alüminyum ve demir hazne soğuma grafiği 43
Şekil 5.7. Ocak-Ekim 2022 baskı grafiği 44
Şekil 5.8. 2022 Yılı baskı grafiği 46
Şekil 5.9. Ocak 2022-Ocak 2023 baskı grafiği 47
Şekil 5.10. Ocak 2022-Nisan 2023 baskı grafiği 48
Şekil 5.11. Aylık bazda verim grafiği 50
Şekil 5.12. Aylık bazda baskı adeti grafiği 51

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 1.1. Ocak, şubat ve mart ayı baskı adetleri 24
Çizelge 1.2. Nisan, mayıs ve haziran ayı baskı adetleri..... 26
Çizelge 1.3. Temmuz, ağustos ve eylül ayı baskı adetleri 29
Çizelge 1.4. Ocak, şubat, mart ve nisan ayı baskı adetleri..... 32
Çizelge 2.1. Şubat ve mart verimlilik analizi……..…..... 38
Çizelge 2.2. Nisan, mayıs ve haziran verimlilik analizi 40
Çizelge 2.3. Nisan-Temmuz 2022 verimlilik analizi 41
Çizelge 2.4. Alüminyum ve demir kazan sıcaklık analizi 42
Çizelge 2.5. Kasım ve aralık verimlilik analizi..... 45
Çizelge 3.1. Ocak 2023 verimlilik analizi……..…..... 46
Çizelge 4.1. Şubat, Mart ve Nisan 2023 verimlilik analizi…….…..... 47
Çizelge 5.1. Genel verimlilik analizi……...…..... 49

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Amerika da 1872 yılında John Wesley Hyatt ve kardeşi Isaiah plastik enjeksiyon makinesinin resmi olarak patentini almışlardır. Farklı uygulamalar için basit bir makine tasarımı ortaya koymuştur (Edirisinghe & Evans, 1986). O zamandan bu yana enjeksiyon teknolojisi her geçen gün gelişmekte ve günümüz enjeksiyon makinelerinin oluşturulmasına katkı sağlamaktadır.

Plastik enjeksiyon işlemleri özellikle beyaz eşya ve otomotiv sektöründe sıklıkla kullanılan ve üzerinde çalışılan üretim işlemleridir. Bu işlemler, kuru hammaddenin ısı, basınç ve mekanik işlemlerle istenilen şekil ve yoğunlukta olmasını sağlayan sistemlerdir. Ancak, bu sistemlerin çok fazla parametreye bağlı olmaları nedeniyle hata oranları da yüksektir (Kamber, 2008).

Üretim hattındaki hatalar, kontrol yetersizliği ve takipsizlik nedeniyle üretim verimliliğini düşürmektedir. Bu nedenle, verimliliği arttırmak için çalışmalar yürütülmektedir (Saraç & Kaya, 2008). Bu çalışmalar, üretim hattının otomatikleştirilmesi, kontrol sıklığının arttırılması ve performans takibinin sürekli hale getirilmesi gibi yöntemlere dayanarak kayıpların azaltılmasını ve verimliliğin artırılmasını hedeflemektedir.

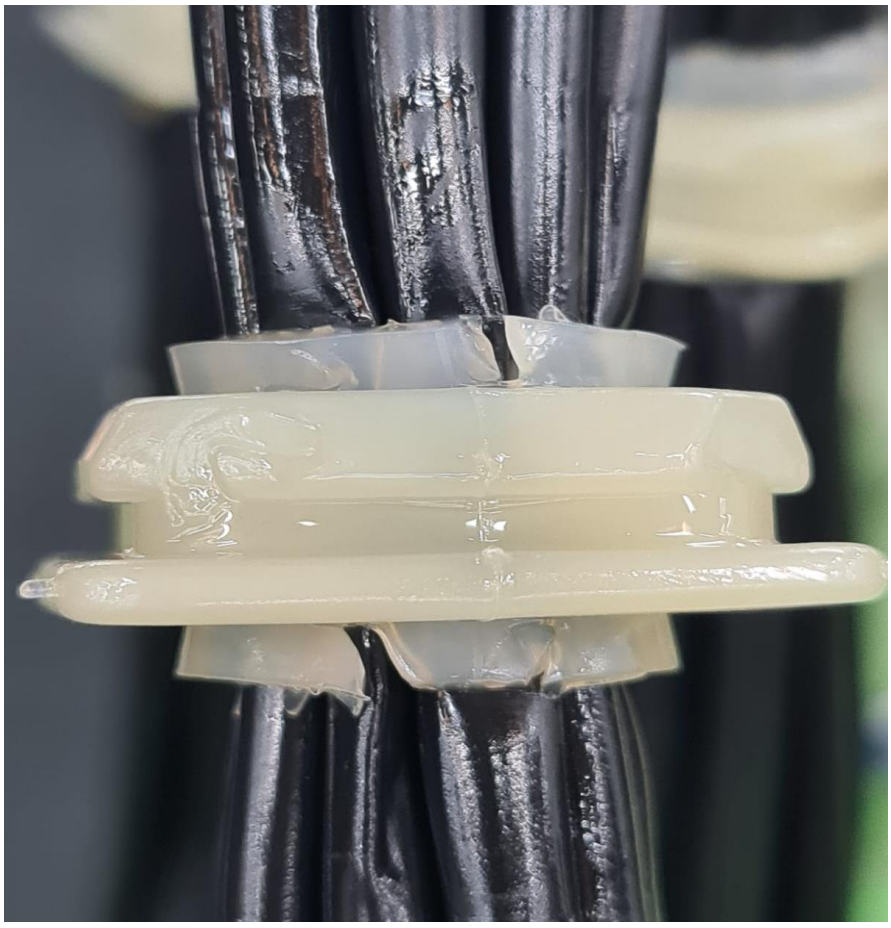
Bu tez çalışmasında performans takibinin sadece üretimin içinden değil de dışarıdan da online ve makine üzerinden yapılabilmesini sağlayacak bir yöntem araştırılmıştır. Bu yöntemin getireceği kolaylıklar ve üretim verimliliği için ne tür etkiler yaratabileceği analiz edilip, yöntemin kullanılabilirliğini araştırmak amacıyla online ve makine dahilinde enjeksiyon makinelerinin takibi için bir verimlilik analizi yöntemi araştırılmış ve yöntemin uygulanabilirliği gözlemlenmiştir.

1.1 . Enjeksiyon Uygulamaları

1.1.1. Dikey ve Yatay Enjeksiyon Makineleri

Enjeksiyon işleminde, hammaddenin istenilen şekilde üretime dahil edilmesi için çeşitli araçlar ve makineler kullanılmaktadır. Yatay ve dikey enjeksiyon makineleri plastik hammaddenin üretime dahil edilmesinde en yaygın kullanılan araçlardır (Serhat & SARAÇ).

Eriyik termoplastiklerin belirli bir kalıpta şekil alarak üretime dahil edilmesinde enjeksiyon uygulamaları en yaygın şekilde gerçekleştirilen uygulamalardandır. Bu uygulamalar, hammaddenin ısıtıcılar aracılığıyla eriyik hale getirildikten sonra belirli bir basınçta sonsuz vida yardımıyla kalıp haznesine iletilmesi ve soğutma yöntemleriyle istenilen şekli alması prensibine dayanmaktadır. Şekil 1.1'de de bir baskı örneği gösterilmektedir.



Şekil 1.1. Kablo üzerine yapılmış plastik enjeksiyon

Plastik enjeksiyon makineleri birçok endüstriyel alanda kullanılmaktadır. Örneğin, kablo gruplama işlemlerinde veya plastik kalıp üretiminde bu makineler sıklıkla kullanılmaktadır.

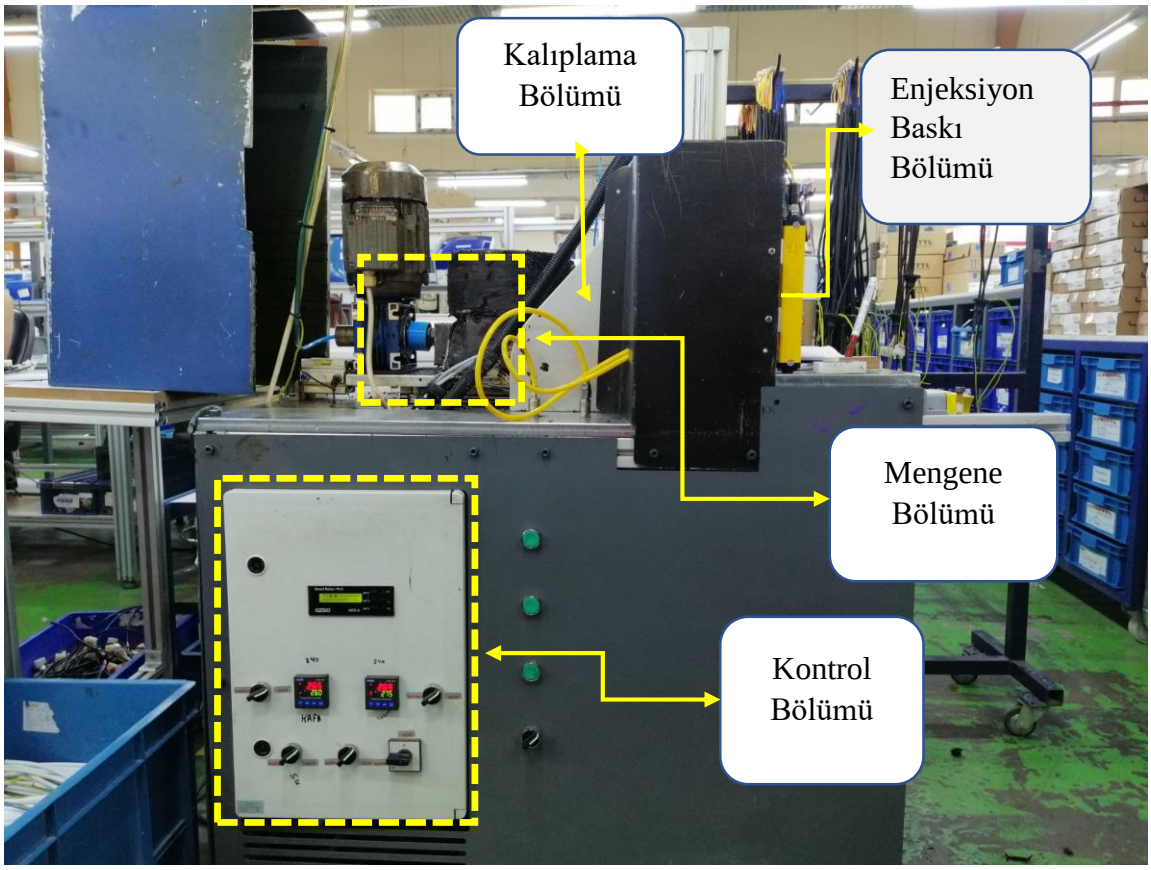
Enjeksiyon teknolojisinde makineler 4 temel kısım üzerinde özelleştirilmektedir. Kontrol ünitesi kullanılan makinelerde özelleşmediğinden baskı, kalıplama ve mengene bölümlerine yoğunlaşılmıştır (Köse, 2006).

1) Enjeksiyon Baskı Bölümü

2) Kalıplama Bölümü

3) Mengene Bölümü

4) Kontrol Bölümü



Şekil 1.2. Yatay enjeksiyon makinesi görseli

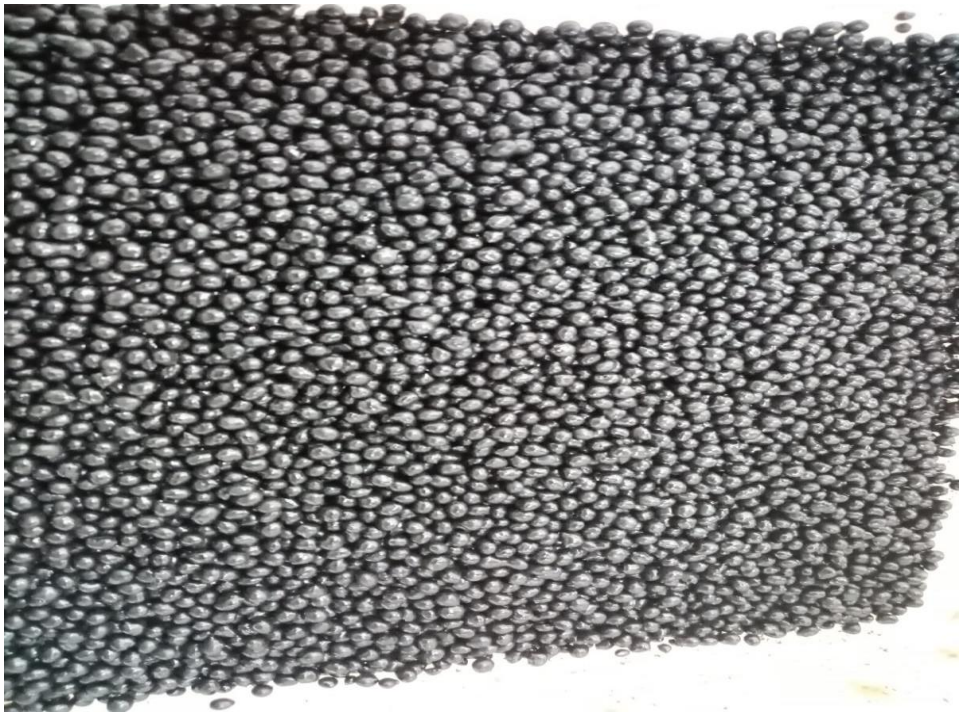
Hammadde enjeksiyon ünitesinde ısıtılarak eriyik hale getirilir. Sıcaklık kullanılan hammaddeye bağlı olarak değişkenlik gösterse de 150-250 ºC aralığında eriyik hale gelmektedir. Eriyik hammadde, içerisinde oluşan basınç ve sonsuz vida yardımıyla kalıplama ünitesine iletilir. Kalıp içerisindeki kanallardan çeşitli soğutucu sıvılar kullanılarak sıcak hammadde hızla soğutulur ve istenilen ölçüde katılaşır. Daha sonra soğutulmuş hammadde, kalıptan çıkarılmaktadır (Birinci, 1997).

1.1.2. Enjeksiyon Makinelerinde Kullanılan Plastikler

Kullanım alanına bağlı olarak enjeksiyon makinelerindeki hammaddeler değişkenlik göstermektedir. Hammadde seçimi ısı dayanımı, esneklik ve kullanım ömrüne göre enjeksiyon işlemleri için kullanışlılığı göz önüne alınarak termoplastikler içerisinden yapılmaktadır.

Termoplastikler oda sıcaklığında katı halde bulunan plastik malzemelerdir (Thiriez & Gutowski, 2006). Kullanımlarına bakıldığında Polikarbonat, Polipropilen, Polivinil Klorür, Polietilen, Akrilonitril Butadien Stiren, Polistiren (FINDIK & TAŞDEMİR) ve Polisülfon en çok kullanılan termoplastik malzemelerdir (FINDIK & TAŞDEMİR). Özellikle PVC ve PE termoplastiklerin daha çok seçilme nedeni maliyetinin düşük olması, kolay renklendirilebilir olması ve dayanım özelliklerinin yüksek olmasıdır (Özbilgi). Şekil 1.3 ‘de de bahsedilen termoplastiklerden olan PVC’nin görseli görülmektedir.

Bu polimerlerin insan sağlığı açısından zararlı olup olmadığı çalışmalarla da incelenmiş ve birbirlerine alternatif olarak kullanılabileceği kanıtlanmıştır (Muhammed & Oğuzhan, 2023).



Şekil 1.3. Renklendirilmiş PVC

Termoplastikler vulkanize kauçuğun esnekliğine sahip görünüş ve yapı bakımından birçok işlevi olan polimerik malzemelerdir (Spontak & Patel, 2000). Bu özelliklerinin yanı sıra kolay işlenebilirlikleri ve ucuz olmaları tercih edilme sebepleri arasındadır. Uygun ısıl işlemlerle kolay şekil verilebilir olmaları hem avantaj hem de dezavantaj ortaya çıkarmaktadır.

Ayrıca deforme olmuş termoplastikler uygun şartlar sağlanarak belirli oranlarda yeniden kullanılabilirler. Bu özellikleri hammadde kullanımından kaynaklı maliyetleri azaltmada çok fayda sağlamaktadır. Kullanılan plastiğin özelliğine göre değişkenlik gösterse de yapılan çalışmalar yeni kullanımın %7,5'e kadar işlenmemiş hammadde tasarruf sağlayabildiğini göstermektedir (Gebhardt vd., 2021).

Bu tez çalışmasında, kullanım şartlarını anlamak ve uygulanabilirliklerini optimize etmek amacıyla 2 farklı poliamid çeşidi kullanılmıştır.

1.1.3. Enjeksiyon Makinelerinde Haberleşme

Endüstri 4.0 uygulamalarıyla beraber nesnelerin haberleşmesi artık tüm sektörlerde ve üretim hatlarında uygulanmaya başlanmıştır (Akkuş, 2016). İnsan müdahalesine gerek duymadan makinelerin kendi aralarında veri transferi yapmasına nesnelerin haberleşmesi denilmektedir (Keçe, 2006).

Üretim hatlarında makinelerin haberleşmesini sağlamak, ortaya çıkan sorunların ve kayıpların azaltılmasında, üretimin modellenmesinde, uzaktan takibinde ve süreç planlamasında büyük oranda fayda sağlamaktadır.

Plastik enjeksiyon makinelerinde üretimi etkileyen birçok etken bulunmaktadır. Kullanılan hammaddeden, basınç oranına, kalıp aşınmasına ya da çalışan hatasına kadar bu etkenler değişkenlik göstermekte, bu nedenle daha iyi bir üretim verimliliği için takip ihtiyacı duymaktadır. Makinelerin çalışma şekilleri haberleşme yoluyla takip edilirse hatanın kaynağı da daha hızlı bulunup daha hızlı çözümlenecektir.

IoT uygulamaları konusunda yapılan çalışmalar gösteriyor ki 2025 yılına kadar 4 milyar cihazın birbirleriyle haberleşmeye dayalı platformlara dahil olması ve 3,9 ila 11,1 trilyon ABD dolarlık bir sektörel yönelime sebep olacağı öngörülmektedir (Dobbs vd., 2015).

Her ne kadar mükemmel ve devrim niteliğinde bir yöntem ve uygulamada olsa akıllı televizyonlardaki ses tanıma özellikleriyle yapay zekâ uygulamalarının potansiyeli düşünüldüğünde bazı çevreler tarafından korkutucuda bulunulmuş ve önyargıya sebep olarak IoT uygulamalarının ilerleyişine bir duvar olmaktadır (Thoutam, 2021b).

Bilgisayarlar haricindeki cihazları internete bağlamak için IP adresi kullanmak günümüzde keşfedilmiş bir olay değildir. İlk defa IP kullanılarak uzaktan kontrol edilen bir tost makinesi 1990 yılında insanlığa gösterilmiştir. Bu ilk gösterimden sonra birçok yeni uygulamada beraberinde hayatlarımıza dahil olmuştur (Thoutam, 2021a).



Şekil 1.4. Nesneler arası haberleşme (Petilon, 2023)

Sonuç olarak bu tez çalışmasında IoT kullanarak takip edilebilirliği arttırmak amacıyla bir sistem kurma hedeflenmiştir. Bu amaçla içinde enjeksiyon makinelerindeki baskı adedini alabileceğimiz Arduino Uno kullanılarak ESP8266 tabanlı bir internet uygulaması kullanılmıştır.

BÖLÜM 2

ÜRETİMİ YAVAŞLATAN ETKENLER

2.1.Üretimi Durdurucu Nedenler

Enjeksiyon makinelerinde üretimi yavaşlatan etkenler insan, makine ve materyal kaynaklı etkenler olarak karşımıza çıkmaktadır.

İnsan kaynaklı etkenler üretim adımlarının doğru uygulanmaması, yetkinliği olmayan personelin cihazı kullanması gibi etkenlerdir (Karaca, 2012). Makine kaynaklı etkenler pompaların aşınması, kontrol ünitelerinin doğru çalışmaması, düşük basınca bağlı baskı bozukluğu ve yüksek sıcaklıktan kaynaklı aşınmalar nedeniyle olmaktadır. Malzeme ve kalıp kaynaklı hatalar ise malzemenin geri dönüştürülmüş granül oranının yüksekliği, kalıptaki aşınmalar ve soğutucu kanalların tıkanmasına bağlı olarak gerçekleşmektedir.

Bu hatalar oranlandığında %10 çalışan kaynaklı, %10 malzeme, %20 kalıp ve %60 oranında makine kaynaklı olarak üretimin yavaşladığı ve kalite düşüşü olduğu görülmektedir. En büyük hata kaynağı olan makine kaynaklı hataları azaltmak amacıyla kontrol aracının makinenin hata oranını azaltacak şekilde tasarlanması hatayı büyük oranda düşüreceğinden makinelerin hata kaynaklarının izlenmesine karar verilmiştir. Şekil 2.1'de de bu hatalardan kaynaklı hurdalara ait görsel görülmektedir.

Üretim hatlarındaki hata tespiti, önce hataların saptanmasını hedef almaktadır. Hata kaynağı belirlendikten sonra, bir kontrol planı hazırlanır ve bu plana göre aksiyonlar gerçekleştirilir. Hata tespiti için belirli periyotlarla verimlilik analizi yapmak, olabilecek en hızlı ve doğru yöntemlerden biridir (YILMAZ, 2000).



Şekil 2.1. Makine hatası kaynaklı hurda edilen ürünler

2.1.1. Üretimde Uygulanan Kontrol Yöntemleri

Üretimin yavaşlamasını engellemek ve hatanın tespitini hızlandırmak için üretim hatlarında kalite kontrol birimleri düzenli periyotlarda kontrol listeleri tutarlar ve bu listeler günlük çıkan adetlerle karşılaştırılarak kayıplar hesaplanmaya çalışılır. Burada kayıpların oluşmasındaki temel etken kontrol sıklığı ve analizin kapsamlı yapılamamasıdır (Park & Li, 2019).

Bunun yerine tüm gün sistemin çıkarttığı adetlerin izlenebileceği bir sistem kurulması hem kalitedeki insan gücünü azaltmaya hem de üretimdeki çıkan sorunların daha iyi analiz edilmesine neden olacaktır (Johnston vd., 2009). Bu nedenle, baskıların dakika dakika izlenebilirliğini sağlayan bir araç düşünülmelidir.

Yapılacak araç, makinede yapılan işlemin kişilere bağlı kalmadan, sürekli ve doğru bir şekilde adet bazında iletimini sağlamalıdır. Böylece sistem uzaktan analiz edilebilir hale gelir.

Üretimden elde edilen bitmiş ürünün hem çok adette ve kısa sürede üretilebilirliği hem de kaliteli ve hatasız olması istenen bir durumdur. Bu şekilde ürünün kaliteli ve hatasız olmasını sağlamak için son kontrol alanları belirlenmeli, rutin kontrol periyotları belirlenmeli ve ürüne özel kontrol yöntemleri tanımlanmalıdır.

Kalite takip döngüsünde takip edilebilirlik önemli bir unsurdur. Takip edilebilirlik, ürünün üretim sürecinin tüm aşamalarında izlenebilmesini neden olur ve kalite kontrolü için gereken verilerin toplanmasını sağlamaktadır. Ürünlerin kendilerine has markalamasından tutunda hatasız bitmiş ürünlerin işaretlenerek ayırt edilmesine ya da kanban gibi tekrarlayan üretimin verimli bir şekilde kullanılmasını hedefleyen yöntemler (Huang & Kusiak, 1996) ve periyodik yapılan süreçlerin kalite kontrol sistemlerine adapte edilmesi de kontrol sürecini ve verimliliğini arttırmaktadır (Altun & Göleç, 2011). Şekil 2.2'de de örnek bir kalite kontrol çizelgesi görülmektedir.

Bu tez çalışmasında hedeflenmesi gereken ise belli etkiler yaratarak periyodik kontrollerle bu etkilerin olumlu ya da olumsuz etkilerini gözlemleyip iyileştirmeler yapmaktır.



Şekil 2.2. Kalite kontrol çizelgesi

2.1.2.Enjeksiyon Makinelerinde Hata Kaynaklarının Tespit Edilmesi

Enjeksiyon makinelerinde hata tespit yöntemleri kullanıldıkları yere, içerisindeki mekanik araçlara, dış ortam etkilerine, operatör bilgisine ve hammadde özelliklilerine bağlı olarak değişkenlik gösterse de temelde aynıdır. Bu yöntemler ise;

1) Mekanik araçların periyodik kontrolü
2) Hammadde kalite analizleri
3) Kalıp deforme analizleri
4) Otonom sistemlerin fonksiyon testleri

Enjeksiyon makinelerinde rutin hata tespit süreçleri genellikle haftalık gerçekleştirilir. Genel üretim adetlerinin istenen değerde olup olmaması ve hedeflenen verimlilikten uzaklığı kontrol sıklığını belirleyen iki unsurdur. Enjeksiyon ürünlerinde hedeflenen verimlilik %85 ila %93 arasında değişkenlik göstermektedir. Hammadde testleri ise yılda 2 kez üretici ya da kullanıcı firmalar tarafından yapılmaktadır. Çıkan sonuçlara göre ürün bazında müdahale gerçekleştirilir (Köse, 2006).

Kalıp deforme analizleri son kontrol sırasındaki ürünler üzerinden tespit edilir ve genellikle 4 ila 6 hafta arasında gerçekleştirilir.

Otonom sistem fonksiyon testleri aylık kontroller ile makinenin tekrar edilen adımlarının sürekliliğine bakılarak yapılır. Hata tespitinde sorunlu işlem arayüzü belirlenip teknik destek ile çözümlen dirilmeye çalışılmaktadır.

Sonuç olarak 4 adımlık hata tespit süresi 2 aylık bir süreçte sürekli olarak gerçekleştirir ama bu süreç kısa zamanda tepkiye ve analize imkân vermediğinden küçük sorunların zamanında tespit edilip daha büyük sorunların ortaya çıkmasını engelleme konusunda zayıf kalmaktadır.

BÖLÜM 3

KAYNAK ARAŞTIRMASI

1872 yılından buyana enjeksiyon uygulamaları hayatımızın hemen hemen her noktasında dahil olmuştur. Bu kadar önemli bir uygulama dalında verimlilik ve hata tespiti de önemli bir yere sahiptir.

Üretim hatlarındaki hataların tespiti ve iyileştirilmesi için birçok yöntem ortaya çıkarılmış ve sürekli takip bu yöntemler içinde en çok ihtiyaç duyulanıdır çünkü hatanın en hızlı şekilde tespit edilip sonlandırılması ancak sürekli takip ve bu takip verilerinin analizi ile mümkün hale gelmektedir.

Şu ana kadar ki tüm bu bilgilerin hazırlanmasında bize yardımcı olan kaynaklar tarih sırasına göre aşağıdaki şekilde sıralanmıştır.

Salminen ve arkadaşları 1995 tarihinde yaptığı bir çalışmada güvenli üretim için gerekli ölçütleri belirlemişlerdir. Verimliliği arttıracak etkenleri araştırıp hangi ölçütlere tabi olduğunu analiz etmişlerdir. Bu ölçütler makinede kullanılan teçhizatı iyileştirmek, geniş çalışma alanları sağlamak, bölgesel temizliğin daha iyi yapılması olarak belirlenip üretkenliği ve güvenliği arttıracağı öngörülmüştür. Kabul edilen bu ölçütlerin uygulamada güvenlik görevlilerinde ve ustabaşılarında olumlu etkiye neden olduğu iş yapış şekillerine bakılarak gözlemlenmiştir (Salminen & Saari, 1995).

Ahmet Birinci 1997'de yaptığı çalışmada plastik enjeksiyon kalıpları mekanik ve işlevsel olarak incelenmiş ne tür alanlarda kullanıldığı ve hangi amaca hizmet ettiklerini analiz edilmiştir. Yapılan çalışmada enjeksiyon makinelerinde verimlilik konusunda mekaniksel analizlerde yapılmıştır. Yapılan çalışmada en çok maliyete neden olan plastik enjeksiyon kalıplarının farklı metallerle ya da daha dayanıklı plastiklerle üretilebilirliğine de değinilmiştir. Kalıp üretiminde en önemli etkenin her kalıbın kendine has bir tabana

sahip olması olarak kabul edilmiş ve stabil bir taban tasarımının tarihsel süreçte 1942'den bu yana yapılmakta olduğu da belirlenmiştir (Birinci, 1997).

Lau'nun 1999 yılında yaptığı bu çalışmada süreç parametrelerinin belirlenmesinde sinirsel modelleme kullanımı kontrol edilmiştir. Enjeksiyon makinesi parametreleri sinirsel modelle saptanmaya çalışılmıştır. Parametre tabanlı kontrolün giriş değerlerinin çıkış değerlerine etki ettiği durumlarda kullanılabilirliğine işaret ederek enjeksiyon baskı sürecinde 6 giriş parametresine ve 3 çıkış parametresine değinilmiştir. Bu süreçte enjeksiyon baskı çıktılarını etkileyen giriş parametreleri kurulum süresi, ısınma sıcaklığı, çalışma süresi, çalışma basıncı, kurulum sıcaklığı ve soğutma sıcaklığı olarak belirlenmiştir (Lau vd., 1999).

Richard J. Spontak ve arkadaşı 2000 yılında yaptığı çalışmada termoplastiklerin tüm uygulama alanlarına ve endüstrideki yerine geniş kapsamlı yer vermiştir. En çok kullanılan belli başlı termoplastikler tanımlanmış ve günlük hayattaki yerlerine dair bir analiz çalışması yapılmıştır. Yapılan çalışmada termoplastiklerin elektro-tepkisel ve nanokompozit uygulamalarında da kullanıldığından bahsederek teknolojik açıdan gelecek potansiyeli olduğu belirtilmiştir (Spontak & Patel, 2000).

Burcu Selin Yılmaz'ın 2000 yılında yaptığı çalışmada belli başlı hataların nasıl saptanacağı ve saptanan hataların nasıl sınıflandırılması gerektiğine dair bir çalışma yapılmıştır. Hata analizinde verimlilik ölçümünün yerine de değinilmiştir. Yapılan işlemlerdeki risklerin nasıl önlenebileceğine dair analizlerde paylaşılmıştır. Bu analizlerde belirli bir sistemin incelenmesine müşteri odaklı hatasız ürün çıkarılmasına ve bu odağın üretim sırasında hata tespitiyle gerçeklenebileceğine ulaşılmıştır. Hata sınıflandırmasında hata çıkabilecek aşamalar standart reçetelerde, satın alma sürecinde, teslim alma ve envantere ekleme sürecinde, üretim sürecinde ve müşteriye sunum sürecinde çıkabilen hatalar olarak sınıflandırılmıştır (YILMAZ, 2000).

Akın Keçe yaptığı çalışmada enjeksiyon makinelerinde belirli sinir ağları kullanarak başlangıç parametreleri saptamıştır. Bu saptamanın nasıl yapıldığı ve sinir ağlarının parametre analizinde ne tür faydaları olduğuna değinilmiştir. Bu süreçte 15 ila 30 parametrenin sabitlenmesi gerektiğine değinilmiş ve bu parametrelerin 6 ila 30 saat arasında operatör veya çalışanın tecrübesine bağlı olarak optimum değerlere getirilebileceğini belirtmişlerdir. Optimum değerlere ulaşmanın yapay sinir ağlarında

kullanılan hafıza ile daha kolay olacağı öngörülerek çıktıları analiz edilmiştir (Keçe, 2006).

Engin Köse 2006 yılında yaptığı çalışmada enjeksiyon makinelerinde izlenen adımların analiz edilip hataların tespitini ve hata analizini hem işlemsel olarak hem de kullanılan kalıplar açısından incelemiş olup kalıp kaynaklı hatalar sınıflandırılıp çözümlerine değinmiştir. Bu hata tespitinde 3 önemli faktöre ilgi çekilmiştir. Parça tasarım aşaması, kalıp tasarım aşaması ve üretim aşaması hata tespitinde en önemli 3 aşama olarak belirtilmiştir (Köse, 2006).

A. Thiriez ve arkadaşının 2006 yılında yaptığı çalışmada enjeksiyon makinesi seçiminde hidrolik, hibrit ya da tamamen elektrikli makine seçiminin önemi analiz edilmiştir. 19,0, 13,2 ve 12,6 MJ/kg aralıklarında makinelerin enerji sarfiyatları üretim açısından detaylandırılmıştır. Hidrolik ve hibrit makinelerde enerji sarfiyatının standartlaşmasıyla verimliliğin arttığı belirtilirken verim artışının enerji maliyetini de kullanılan polimerlerin maliyetine olumlu yönde dağıttığı gözlemlenmiştir. Analizlerine polimerlerin üretim aşamaları da dahil edildiğinde enerji sarfiyatının 100 MJ/kg değerine kadar yükselebildiği de belirtilmiştir (Thiriez & Gutowski, 2006).

Nabil N. Gindy ve arkadaşı 2007 yılında yaptığı çalışmada talaşlı imalatta enjeksiyon takımlarının nasıl aşındığını ve bunun izlenebilir hale getirilmesi için görüntü tabanlı bir sistemin geliştirilmesi konusunda çalışmıştır. Yapılan arayüz PXI ve LabVIEW kullanılarak geliştirilmiştir. Bu arayüzlerin kullanımında temel bileşen analizi tekniğine göre takımların ne zaman aşınacağı veya bakıma ne zaman ihtiyaç duyacağının tahminini yapmaya çalışmışlardır. Burada arayüzle elde edilen verilerle gerçek ölçüm değerleri karşılaştırılarak yapılan sistemin doğruluğu da çıktıların birbirine yakın olmasıyla gösterilmiştir (Shi & Gindy, 2007).

Johnston ve arkadaşları basınç sensörü kullanarak enjeksiyon cihazlarında erime noktası tespiti yapılmıştır. Çevrim içi bir modelle enjeksiyon makinesi parametreleri belirlenmeye çalışılmıştır. Hammadde akış hızı, erime sıcaklığı, kayma hızı ve eriyik haldeki hammaddenin viskozitesi parametreleri basınç değerindeki değişimlere bağlı olarak belirlenmeye çalışılmış ve gerçek değerlerle model çıktıları karşılaştırılarak basınç değerine bağlı bir modülün bu parametreleri bulabildiği gözlemlenmiştir (Johnstonvd., 2009).

BÖLÜM 4

MATERYAL VE METHOD

4.1.Enjeksiyon Makinelerinde Hata Tespiti için İzlenecek Adımlar

Üretim hattında hata kaynaklı hammadde kayıpları, zamanında müdahale edilmediği için makine duruşu yani enjeksiyon makinesinin hata kaynaklı operatör tarafından durdurulması kaynaklı verimlilik kayıpları, operatör kaynaklı hataların önüne geçilememesi ve kontrol sıklığının az olması uzun vadede ciddi mali kayıplara neden olmakta ve yapılabilecek ek yatırımlara da maliyetler yüzünden engel olmaktadır.

Tüm bu olumsuzluklar göz önüne alındığında enjeksiyon makinelerini hem uzaktan hem de makine dahilin de takip edebilir olmasına imkân sağlayacak basit bir araç tasarlanmalıdır. Bu araç sayesinde hataları tespit edip aylık bazda güncellemelerle verimliği arttırmak ve kayıpları azaltmak için bir kapsamlı bir çalışma yapmaya karar verilmiştir.

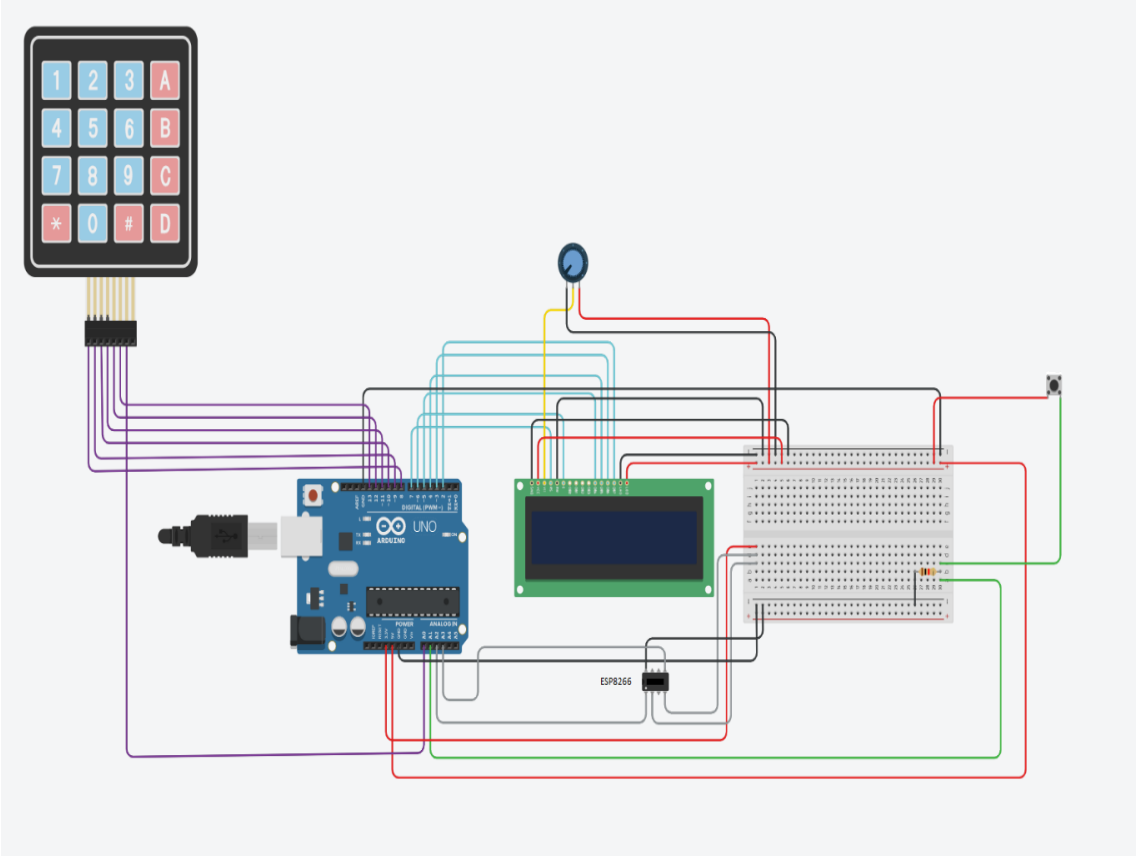
Bu nedenle;

- Mevcut makinenin baskı kapasitesini ve verimliliği anlamak için bir takip cihazı tasarlanarak makineye entegre edilmiştir.
- Elde edilen çıktılar haftalık ve aylık olarak analiz edilip hata tespiti yapılarak elde edilecek sonuçlar irdelenmiştir.
- Hammadde kaynaklı hataları azaltmak için alternatif çalışmalar yapılmıştır.
- Üretimde akışı kolaylaştırmak için yeniden planlamalar yapılmıştır.
- Makine parametreleri için ideal değerler ve araçlar belirlenerek verimliliği arttırmak için uygulama ve bu araçlarla modifiye edilmiştir.

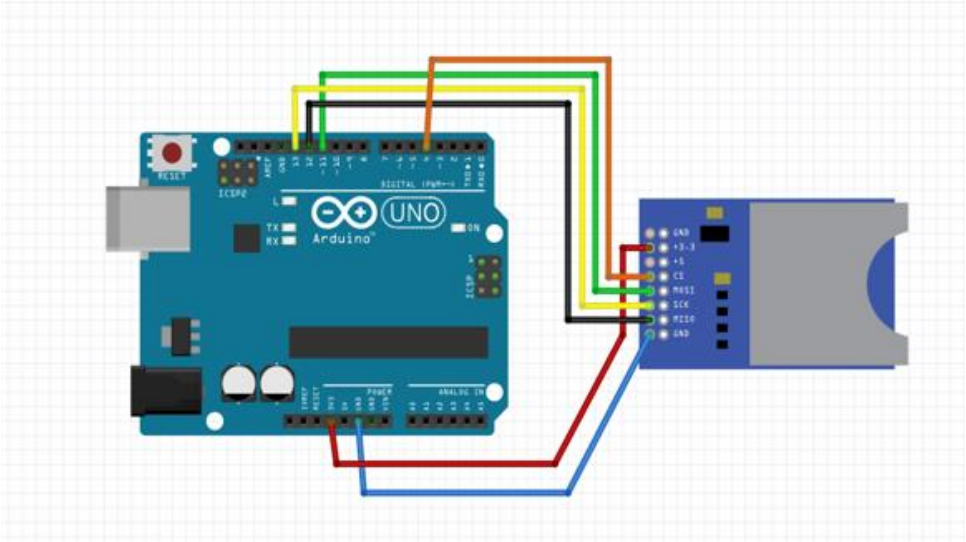
4.2.Takip Cihazının Tasarımı ve Enjeksiyon Makinesine Dahil Edilmesi

Üretimin akışına engel olmaması ve basit bir arayüz kullanılabilmesi için kolaylıkla takılıp çıkartılabilen bir model tasarımı ihtiyacı belirlenmiştir.

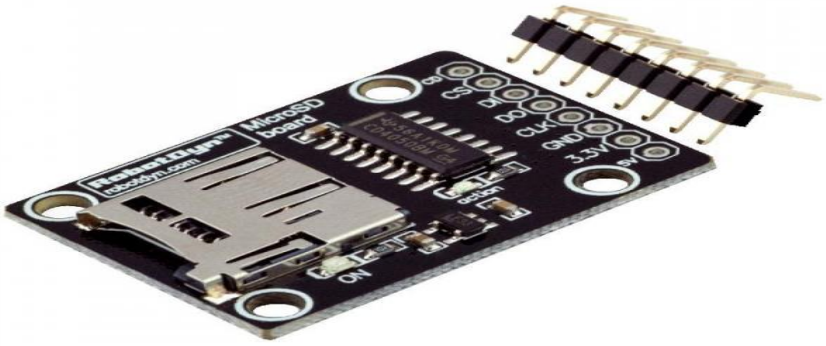
Tasarımda gerekli olan işlemleri yapabilmek, maliyeti azaltmak ve kullanıcı için basit hale getirebilmek amaçlı 12x12 Plastik bir kutu,5 Volt 1 Amper bir adaptör,1 tane Arduino Uno, 1 tane 4x4 tuş takımı,1 tane breadboard, 1 tane 16x2 LCD Ekran, 1 tane potansiyometre ,1 tane 1 KΩ direnç ve haberleşme için ESP8266 haberleşme modülü kullanılmıştır. Bunun yanı sıra sadece baskı adedinin dışında sıcaklı değerlerini de analiz edebilmek için 280 °C sıcaklığa kadar ölçüm yapabilen 1 tane termokupl ve dahili kayıt alabilmek için 1 tane Robotdyn Micro SD kart modülü alınmıştır. Şekil 4.3'te SD kart modülünün görseli görülmektedir. Şekil 4.2 ve şekil 4.4'te de SD kart modülünün devre şemasını ve tasarımın algoritma şeması görülmektedir. Tasarımın devre şeması şekil 4.1 'de görülmektedir.



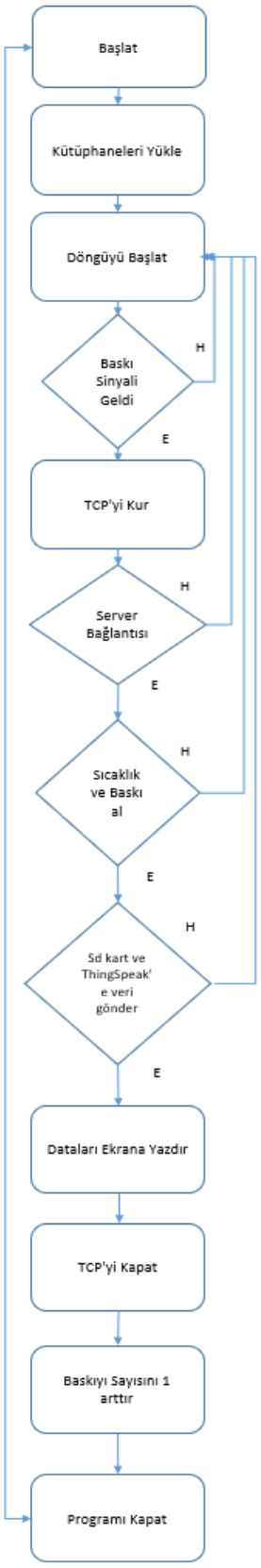
Şekil 4.1. Tasarımın devre şeması



Şekil 4.2. SD Kart modülü devre şeması



Şekil 4.3. Robot Dyn Micro SD Kart modülü



Şekil 4.4. Tasarımın algoritma şeması

Takip cihazı tasarımı tamamladıktan sonra üzerinde çalışılacak enjeksiyon cihazının seçimi yapılmış ve haftada 4 gün 1 vardiya olacak şekilde veriler toplanmaya başlanmıştır. Şekil 4.5 ‘de kullanılan enjeksiyon makinesi görülmektedir.

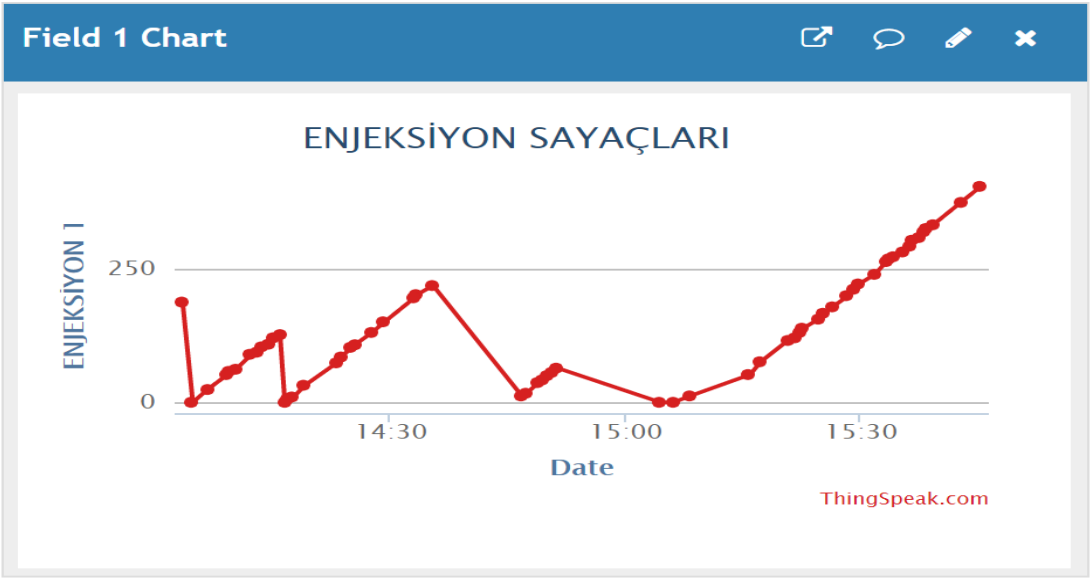


Şekil 4.5. Kontrol aracının dahil edileceği enjeksiyon makinesi



Şekil 4.6. Tasarımı tamamlanan takip cihazı

Takip için uzaktan da çalışmasını test etmek için ThingSpeak adlı uygulama üzerinden IP adresi kullanarak bağlantı sağlanarak çalışırlığı test edilmiştir. Şekil 4.6 ve şekil 4.7'de ThingSpeak arayüzünün görseli ve baskı takip cihazının görseli görülmektedir. Ayrıca bu uygulama 1 dk gecikmeyle çalışmaktadır. Üretimdeki parazit ve bağlantı sorunları göz önüne alınarak bağlantı kopması ve veri iletilememesi sorunlarına karşı SD kart modülü dahil edilerek verilerin aynı zamanda SD kart modülünde de kayıt altına alınıp veri kaybının önüne geçilmeye çalışılmıştır. Uygulamada aynı anda 7 cihaz 3 farklı parametreyi gönderebilmektedir. Her bir cihaz için ayrı bir kanal ve IP adresi verilerek ayrı olarak gözlemlenebilmektedir.



Şekil 4.7. ThingSpeak sayaç baskı adedi değişim grafiği

Tüm bu işlemler bittikten sonra takip cihazından her bir baskı adedindeki veriyi alabilmek için makinenin baskı start butonu ile takip cihazı arasında bir kuru kontak bağlantı yapılmıştır. Termokupl ise kazan ile kalıp arasındaki sıcaklığı ölçmek için enjeksiyon makinesine sabitlenmiştir (Şekil 4.8).



Şekil 4.8. Takip cihazının enjeksiyon makinesine entegre edilmiş hali

4.3.Analiz Sürecinde Yapılanlar ve Başlangıç Değerlerinin Belirlenmesi

Analizlerde referans olması için makine parametreleri ve başlangıç değerleri kayıt altına alınmıştır.

- Nozzle kafa basıncı 6 Bar
- Enjeksiyon pompa basıncı 60 Bar
- Technomelt OM646 (Henkel Marka) baskı başına harcanan miktar 20 g
- Nominal kazan sıcaklığı 230 °C
- Technomelt OM646 (Henkel Marka) sertlik derecesi 93 Shore
- Kanallardaki sıvı basıncı 4,5 Bar

Bu değerler göz önüne alınarak makine verimliliğini ölçmek için haftada 4 gün 1 vardiya olmak üzere bir aylık bir takip süreci başlatılmıştır. Verileri gerçek ortamdan alabilmek için makine üretim hattında sabit bırakılmıştır. Tüm bu ölçümler hassas terazi, makine dahilindeki sıcaklık sensörü ve barometre yardımıyla gerçekleştirilmiştir (Şekil 4.9).

Hatalı ürünler tasnifi için ayrı bir yerde depolanmıştır. Operatör üretimi tamamlanan her bir enjeksiyon baskısını numaralanmış ve kaçıncı baskıda hata olduğu tespit edebilir olmuştur. Ayrıca numaralandırılan baskı parçasının numaratöründen anlık olarak kaydedilen baskı parametreleri karşılaştırılarak hatalı üretime neden olan parametrelerde tespit edilebilmektedir. Günlük çıkan hatalı ürünlerin görünüm analizlerine bakarak hata kaynağı tespit edilmeye çalışılmıştır.



Şekil 4.9. Hammadde miktarını belirlemek için kullanılan hassas terazi

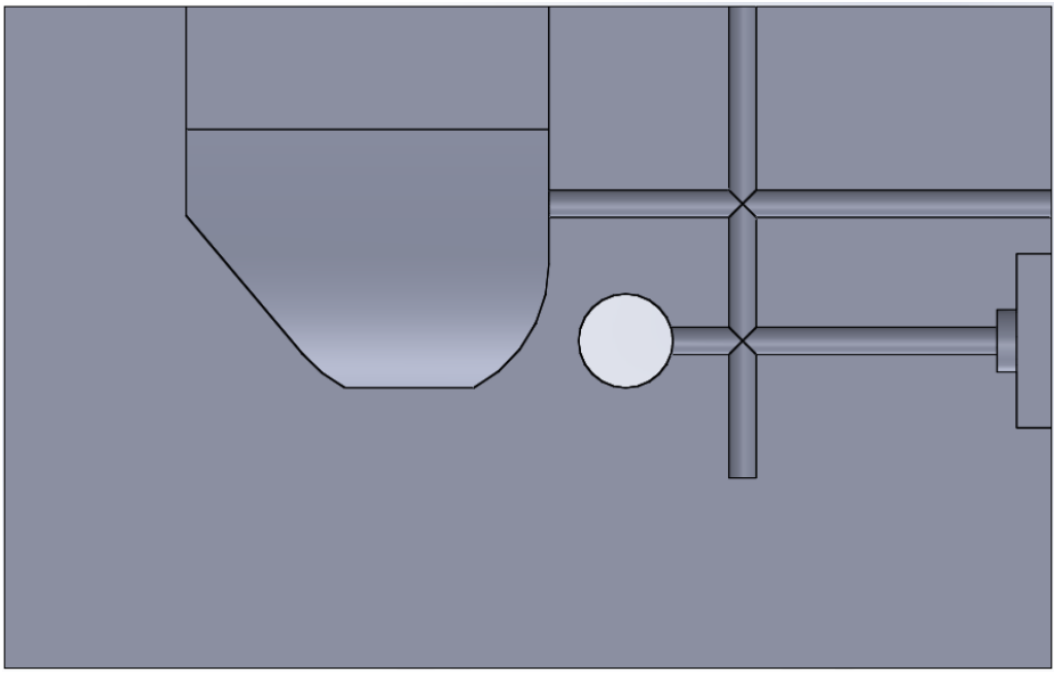
4.3.1. Ocak-Şubat-Mart 2022'de Hata Tespiti ve Yapılan Çalışmalar

Ocak ayında makineden sadece kalıp sıcaklığı ve günlük baskı adedi değerleri alınarak ayın sonunda verimlilik hesabı yapılmıştır. Toplamda 10 gün boyunca her gün 1 vardiya olmak üzere analiz yapılmıştır (Çizelge 1.1). Ayrıca hatalı ürünlerden örnekler alınarak incelenmiştir. Ürün başına geri dönüştürülmüş granül eklenmeden 20 g hammadde kullanılmıştır. Ocak ayında hatalı ürünler incelenerek hataya neden olan 3 etken belirlenmiştir. Bunlar kalıp arızaları, hava kanalı kaçakları ve yanlış operatör müdahaleleri olarak belirlenmiştir. Şubat ayında makineden alınan değerlere göre en çok üretimin durmasına neden olan kalıp arızaları için kalıp kanalları genişletilerek değiştirilmiştir. 21 gün boyunca her gün 1 vardiya olmak üzere analiz yapılmıştır. Şubat ayındaki hatalı ürünler incelendiğinde ürünlerde 0,5 mm'lik bir ölçü sapması tespit edilmiştir. Kalıp kanalları 0,5 mm genişletilmiştir (Şekil 4.10). Mart ayında şubat ayı sıcaklık değerlerinin 10 ila 25 °C arasında sapma göstermesi nedeniyle makinede On-Off çalışan ısı kontrol cihazı EMKO ESM-4420 PID kontrollü ısı kontrol cihazı ile

değiştirilerek kesikli kontrolden sürekli kontrole geçilmiştir (Şekil 4.11). 18 gün boyunca her gün 1 vardiya olmak üzere analiz yapılmıştır.

Çizelge 1.1. Ocak, şubat ve mart ayı baskı adetleri

Takip edilen zaman dilimi	Takip edilen gün sayısı	Toplam kabul edilen baskı adeti	Toplam hatalı baskı adeti
17.01.2022-30.01.2022	10	2981	807
01.02.2022-28.02.2022	21	3861	788
01.03.2022-31.03.2022	18	4354	678



Şekil 4.10. 0,5 mm genişletilen kalıp kanalının Solidworks çizimi



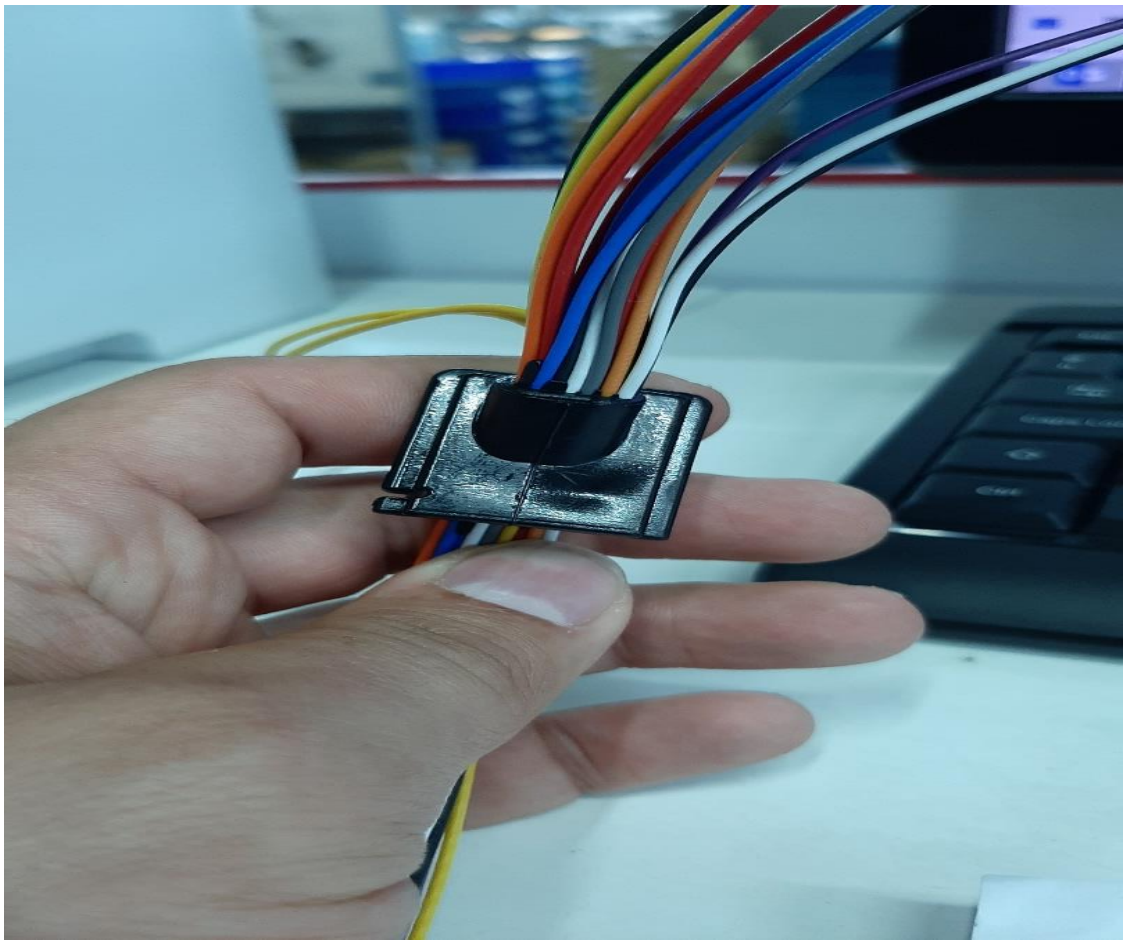
Şekil 4.11. EMKO ESM-4420 PID kontrollü ısı kontrol cihazı

4.3.2. Nisan -Mayıs-Haziran 2022'de Hata Tespiti ve Yapılan Çalışmalar

Çizelge 1.2'den de görüleceği üzere nisan ayında yapılan düzeltmelerden kaynaklı baskı adedinde artış gözlendiğinden geri dönüşümlü malzeme kullanımını test etmek amaçlı %10 geri dönüştürülmüş granüllü baskı yapılmıştır (Şekil 4.12). 11 gün boyunca her gün 1 vardiya olmak üzere analiz yapılmıştır. Mayıs ayında geri dönüştürülmüş granül oranı %20'ye çıkarılarak uygulanmıştır (Şekil 4.13). 12 gün boyunca her gün 1 vardiya olmak üzere analiz yapılmıştır. Haziran ayında ise geri dönüştürülmüş granül oranı %25'e çıkartılmıştır (Şekil 4.14). 16 gün boyunca her gün 1 vardiya olmak üzere analiz yapılmıştır.

Çizelge 1.2. Nisan, mayıs ve haziran ayı baskı adetleri

Takip edilen zaman dilimi	Takip edilen gün sayısı	Toplam kabul edilen baskı adeti	Toplam hatalı baskı adeti
01.04.2022-26.04.2022	11	4519	641
03.05.2022-31.05.2022	12	4467	663
01.06.2022-30.06.2022	16	4313	680



Şekil 4.12. %10 granül oranlı baskı örneği



Şekil 4.13. %20 granül oranlı baskı örneği



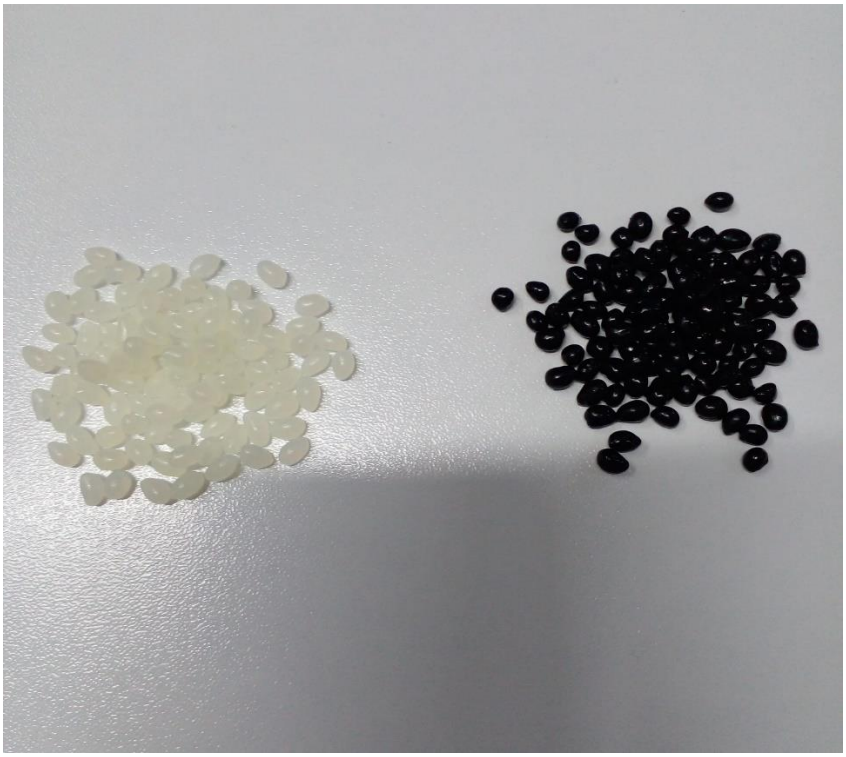
Şekil 4.14. %25 granül oranlı baskı örneği

4.3.3. Temmuz-Ağustos-Eylül 2022'de Hata Tespiti ve Yapılan Çalışmalar

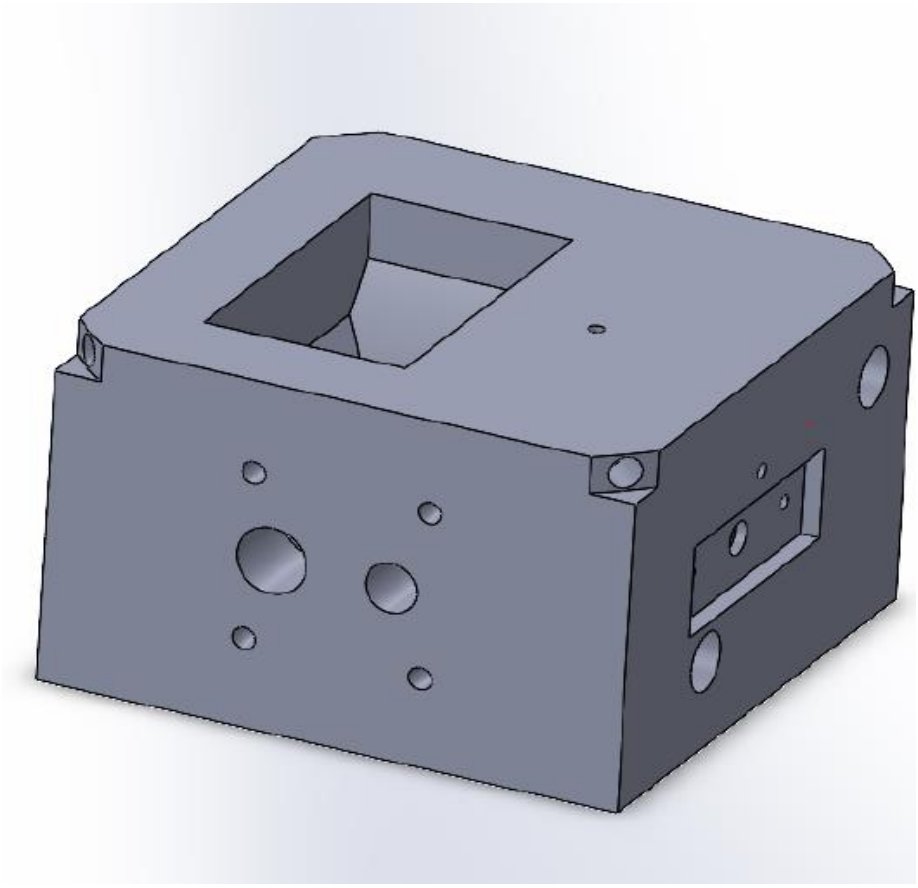
Temmuz ayında çizelge 1,3'teki değerler analiz edildiğinde %10 geri dönüştürülmüş granül oranlı üretimin verimliliği düşürmediği gözlemlenmiş ve hammadde de geri dönüştürülmüş granül miktarı sabit %10 alınmıştır. Shore değeri termoplastik sektöründe kullanılan hammaddenin sertlik değerini belirtmek için kullanılan ölçüttür. Shore değeri arttıkça daha sert, azaldıkça daha yumuşak anlamına gelmektedir. 93 Shore sertlik değerine sahip 180 ila 220 °C çalışma sıcaklığındaki Henkel marka OM646 (Henkel, 2016) termoplastiği soğuduğunda enjeksiyon kalıbından çıkartılması çok zor olması ve iç deformasyonların renginin siyah olması nedeniyle dışarıdan görülememesi sebebiyle yerine 48 Shore sertlik değerine sahip, açık beyaz renkte ve 180 ila 200 °C çalışma sıcaklığına sahip Henkel marka AS5376 (Henkel, 2017) termoplastiğine geçilmiştir (Şekil 4.15). 11 gün boyunca her gün 1 vardiya olmak üzere analiz yapılmıştır. Ağustos ayında hammadde de geri dönüştürülmüş granül miktarı sabit %10 alınmıştır. Deformasyon tespit edilen kalıplar yenilenmiştir. 12 gün boyunca her gün 1 vardiya olmak üzere analiz yapılmıştır. Eylül ayında demir eritme haznesi ısı iletkenliği daha yüksek olan alüminyum versiyonu ile değiştirilmiştir (Şekil 4.16). 17 gün boyunca her gün 1 vardiya olmak üzere analiz yapılmıştır.

Çizelge 1.3. Temmuz, ağustos ve eylül ayı baskı adetleri

Takip edilen zaman dilimi	Takip edilen gün sayısı	Toplam kabul edilen baskı adeti	Toplam hatalı baskı adeti
04.07.2022-29.07.2022	11	5222	678
01.08.2022-31.08.2022	12	5611	647
02.09.2022-30.09.2022	17	5896	618



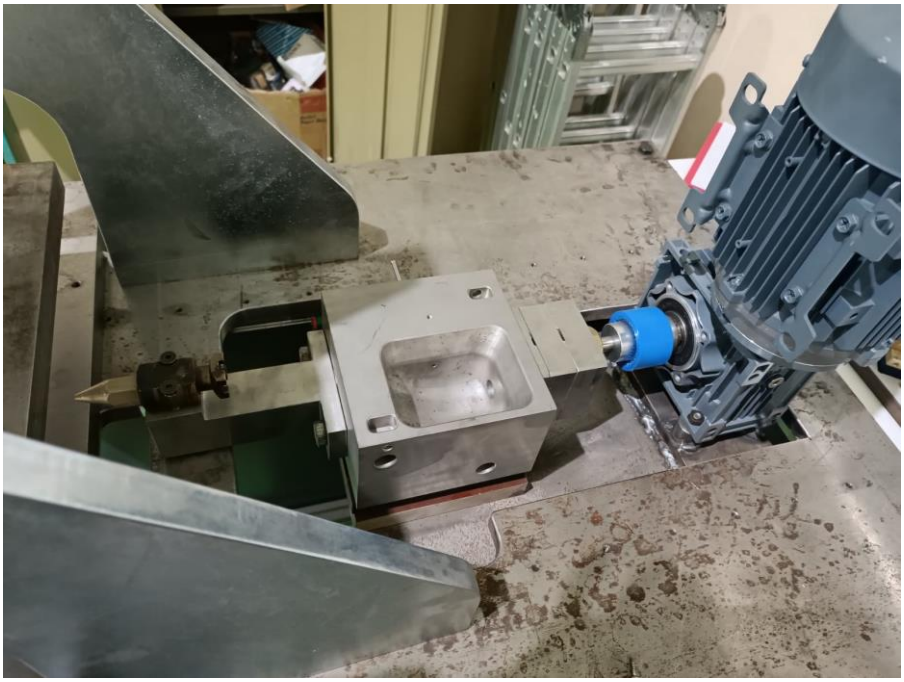
Şekil 4.15. OM646 ve AS5376 termoplastik örnekleri



Şekil 4.16. Alüminyum eritme kazanı Solidworks görseli

4.3.4. Ekim-Kasım-Aralık 2022'de Hata Tespiti ve Yapılan Çalışmalar

Ekim-Kasım-Aralık aylarında hammadde de geri dönüştürülmüş granül miktarı sabit %10 alınmıştır. 3 aylık süreçte her ay 17 gün boyunca her gün 1 vardiya olmak üzere analiz yapılmıştır. Ekim ayında kazanda ısı kaybını önlemek için kazana harici bir kapak yapılmıştır. Kasım ayında Nozzle ile kalıp arasında hiza açısı çok yukarıda olduğundan eritme haznesi ve Nozzle 5 cm aşağıya alınmıştır. 3,5 cm kalıp yüksekliği olması ve 1,5 cm fazladan Nozzle yüksekliği olması nedeniyle 5 cm aşağıya alınmaya karar verilmiştir. Bu şekilde Nozzle ucu ile kalıp orta noktası aynı hizaya gelmiştir. Bu süreçte makine yeniden tasarlanarak farklı bir görünüm elde edilmiştir (Şekil 4.17). Aralık ayında çalışanların ışık bariyerlerinde hasar tespit edilip değiştirilmiştir.



Şekil 4.17. Pompa ve eritme haznesi grubu görseli

4.3.5. Ocak-Şubat-Mart-Nisan 2023'te Hata Tespiti ve Yapılan Çalışmalar

Ocak-Şubat-Mart ve Nisan aylarında hammadde de geri dönüştürülmüş granül miktarı sabit %10 alınmıştır. Ocak ayında operatörlerin baskı yapılırken ki boş zamanı kullanabilmesi için enjeksiyon makinesinin yanına harici bir makine daha dahil edilerek baskı sırasındaki süre boyunca diğer bir baskı yapmaya imkân sağlanmıştır. Hazırlık sürecini kısaltmak için ikinci makinedeki çalışan baskı yapılacak kabloların taşıma ve baskıya hazır hale getirilmesiyle görevlendirilmiştir. 18 gün boyunca her gün 1 vardiya olmak üzere analiz yapılmıştır. Şubat ayında makinelere gelen soğutucu su ortak bir havuzdan sağlanmaktaydı. Bu soğutucu hazneler her bir makineye özgü hale getirilmiştir. 16 gün boyunca her gün 1 vardiya olmak üzere analiz yapılmıştır. Mart ayında yeni hammadde için uygulanan kazan sıcaklık değeri 180 °C sıcaklıktan 160 °C sıcaklığa düşürülmüştür. 18 gün boyunca her gün 1 vardiya olmak üzere analiz yapılmıştır. Nisan ayı boyunca hiçbir değişiklik yapılmayarak son yapılan değişikliklerle verimlilikte sapma olup olmadığı gözlemlenmiştir. 16 gün boyunca her gün 1 vardiya olmak üzere analiz yapılmıştır. Çizelge 1,4'ten de görüleceği üzere Mart ve Nisan aylarındaki oranlarda % 0,11'lik bir verimlilik değişimi olmuştur.

Çizelge 1.4. Ocak, şubat, mart ve nisan ayı baskı adetleri

Takip edilen zaman dilimi	Takip edilen gün sayısı	Toplam kabul edilen baskı adeti	Toplam hatalı baskı adeti
02.01.2023-31.01.2023	18	6432	618
01.02.2023-28.02.2023	16	6640	570
01.03.2023-31.03.2023	18	6682	568
03.04.2023-28.04.2023	16	6656	574

4.4. Analiz Süresince Yapılan Deneyler

4.4.1. Sıcaklık Aralığı Tespiti

Başlangıç kazan sıcaklığı 190 ila 220 °C arasında bir değer aralığı olarak belirlenmiştir. Kazan sıcaklığı 230 °C sabit sıcaklıktan 160 °C sabit sıcaklığa kadarki baskı deformasyonları gözlemlenmiş ve her bir deformasyon fotoğraflanarak kategorilere ayrılmıştır. Bu deformasyonlar 2 ayrı kategoriye ayrılmıştır. Şekilsel bozukluklar ve dolgu miktarı az olanlar olarak ayrılmıştır. Şekilsel bozukluklar kalıp aşınması, sıcaklık değişikliklerinden kaynaklı hammadde birikimleri ve soğutma sürelerindeki farklardan kaynaklı gerçekleşmekteyken dolgu değişimleri kalıp içi hava kaçaklarından kaynaklı gerçekleşmektedir. 200 °C sıcaklığın üzerinde baskı yapıldığında hammadde geç soğuduğu için her üç adet baskıdan birinde kalıptan çıkartmada zorluk yaşanıyor ve şekilsel deformasyonlar yaşanmaktayken 200 °C sıcaklığın altında yapılan baskılarda bu hatalar gözlenmemektedir. Dolgu değişimlerin ise deforme olmuş tüm kalıplarda gözlenmekte ve deforme olmuş kalıplar ile yapılan tüm baskılarda hata tespit edilmektedir. Hatanın önüne geçmek amaçlı tüm deformasyon tespit edilen kalıplar düzeltmeye gönderilmiş. Sıcaklık değeri değişimlerinde çıkan hatalı baskılarda 0,4 ila 0,82 mm arasında deformasyon tespiti ve ölçümü yapılmıştır (Şekil 4.18).



Şekil 4.18. Deforme olmuş baskı görseli

4.4.2. Eritici Haznenin Yapıldığı Malzemeye Göre Eritme Hızı Tespiti

Mevcut eritici hazneler demirden imal edilmişti, ancak eriyik hammaddenin soğuma süresi 10 dk ila 13 dk arasında değişkenlik göstermekteydi (Şekil 4.19). Aynı zamanda katı haldeki hammaddenin eriyik halede geçmesi 4,5 dk ila 15 dk arasında değişmekteydi. Demir hazne yerine alüminyum hazne tasarlanarak daha yüksek ısı iletim kapasitesinde erime ve yeniden katı hale geçme süresi hesaplanmıştır (Şekil 4.20). Bu hesaplamalar kazan tam dolu, %50 dolu ve %25 dolu hallerine göre kontrol edilerek elde edilen süreler analiz için kayıt altına alınmıştır. Hazne tam dolu haldeyken demir haznedeki hammadde 15 dk'da erimekteyken alüminyum haznede bu süre 12 dk'ya kadar düşmüştür. Hazne %50 dolu haldeyken demir haznedeki hammaddenin erime süresi 8 dk iken alüminyum haznede erime süresi 6,5 dk ölçülmüştür. Hazne %25 dolu haldeyken demir haznedeki hammaddenin erime süresi 4,5 dk iken alüminyum haznede erime süresi 3,2 dk ölçülmüştür.



Şekil 4.19. Demir eritme haznesi



Şekil 4.20. Alüminyum eritme haznesi

4.4.3. Enjeksiyon Basınç Değişim Testleri

Nozzle kafa basıncı 3 Bar ila 6 Bar arasında değiştirilerek hammaddenin kalıba dolma süreleri hesaplanmıştır. Basınç farkına göre pompa devri değiştirilerek 15 sn ila 22 sn arasında baskı süresi sabit tutularak basınç değişimine bağlı olarak baskı süresi değişimi hesaplanmıştır.3 bar basınçta baskı süresi 22 sn olarak ölçülmüştür. 4 bar basınçta baskı süresi 19 sn, 5 bar basınçta 17,5 sn ve 6 bar basınçta 15 sn olarak ölçülmüştür.

BÖLÜM 5

SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Tez çalışmasında uzaktan ve makine dahilinde sürekli takip ile enjeksiyon baskı verimliliğinin mekaniksel, insan kaynaklı ve hammadde kaynaklı etkilendiği noktaların kaynak hata nedenlerinin parametrelerini deneysel olarak değiştirerek ortaya çıkan verimlilik değişimlerini analiz etmek ve bu analizi sistematikleştirmek konu alınmaktadır.

Hata kaynağına bağlı olarak uygulanan deneysel iyileştirmeler baskı verimliliğini ve hatalı baskı oranını önemli ölçüde değiştirmiştir. Enjeksiyon makinelerinde aylık olarak belirli değişiklikler yapılmış ve bu değişikliklerin verimliliğe etkisi baskı adetleri ve sıcaklık değerleri incelenerek gözlemlenmiştir.

Özellikle mekaniksel değişikliklerde kullanım ve verimlilik açısından bir kayıp saptanmamıştır.

Hammadde sertliğinin ve çabuk soğumasının kullanım açısından önemli bir etken olduğu saptanarak daha yumuşak ve açık renkli hammadde kullanımının etkileri gözlemlenmiştir. Çizelge 2.3'ten de görülmektedir ki haziran ayında %87,58 olarak hesaplanan verimlilik oranının temmuz ayında %88,51'e çıkması ve hatalı ürün sayısının 680 adetten 678 adete düşmesine bakılarak hammadde değişiminin verimlilikte ve hata tespitinde pozitif yönde bir etkiye sahip olduğu gözlemlenmiştir.

Ortaya çıkan hataların büyük bir çoğunluğunun mekanik nedenlerden olduğu gözlemlenerek enjeksiyon makinelerinde mekanik değişiklikler yapılmış ve bu değişikliklerden kaynaklı verimlilik kaybı saptanmamıştır.

Geri dönüştürülmüş granül kullanılarak malzeme tasarrufu analizi yapılmış ve %10 oranla geri dönüştürülmüş granül kullanımının %20 ve %25'e nazaran daha az hata ve daha yüksek verimliliğe sahip olduğu gözlemlenmiştir. Çizelge 2.2'den de

görülmektedir ki %10 geri dönüştürülmüş granül ile deney yapılan nisan ayında verimlilik oranı %87,58 iken %20 geri dönüştürülmüş granül kullanılan mayıs ayında %87,08 ve %25 geri dönüştürülmüş granül kullanılan haziran ayında %86,38 olarak hesaplanmıştır. Bu da çizelge 2.1'e göre mart ayında %86,53 olan verimlilik oranının %10 geri dönüştürülmüş granül kullanılmasına rağmen düşmeyip arttığını göstermektedir. Bu veriler ışığında geriye kalan deneylerde %10 geri dönüştürülmüş granül kullanımı sabit alınarak malzeme sarfiyatından %10 avantaj sağlanmıştır.

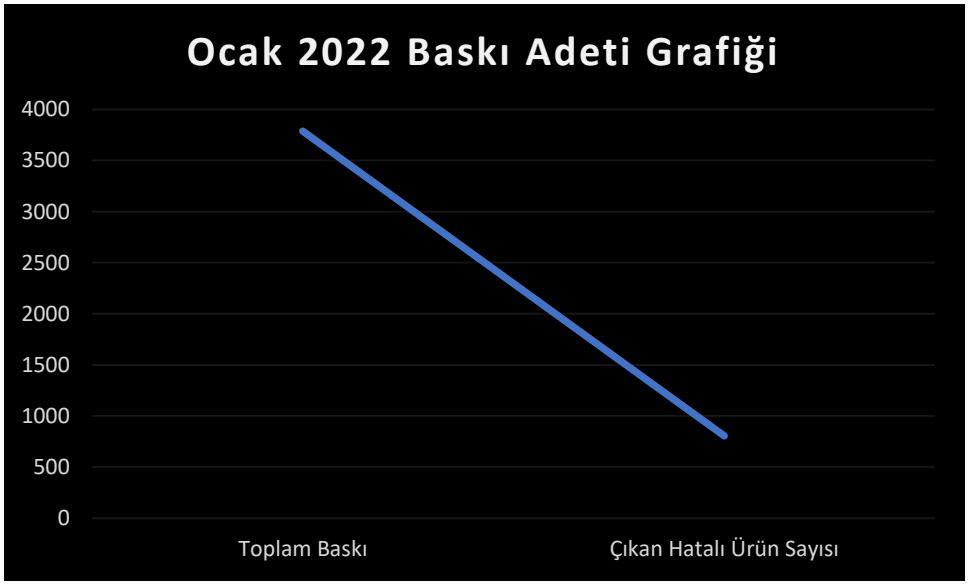
Enjeksiyon cihazlarında düzenli ve sürekli olarak deneysel süreç takibinin %9,96 oranına kadar ortalama verimliliğin artışına neden olduğu sonucu çıkarılmıştır.

5.1. Ocak 2022'de Yapılan Analizde Çıkan Verimlik Sonuçları

Ocak 2022'de takip cihazımız tarafından tespit edilen 3788 adet başarılı baskının 807 adedinde gözle görülür hata tespit edilmiştir. Verimlilik hesabı için aşağıdaki formül kullanılmıştır.

$$\text{Verimlilik oranı} = \frac{\text{Toplam Baskı Sayısı} - \text{Hatalı Baskı Sayısı}}{\text{Toplam Baskı Sayısı}} * 100$$

Verimlilik hesabı yaptığımızda Ocak 2022'de baskı verimliliği %78,7 çıkmıştır. Hammadde de hiç geri dönüştürülmüş granül kullanılmamış ve kazan sıcaklık değerleri 220 ila 230 °C arasında ölçülmüştür (Şekil 5.1).



Şekil 5.1. Ocak 2022 baskı grafiği

%78,7 verimlilik değeri taban değer kabul edilerek sonraki aylarda elde edilecek verimlilik değişimlerinde referans kabul edilmiştir.

5.2. 2022 Yılı Verimlilik Analiz Sonuçları

2022 Yılında yapılan tüm değişiklik ve deneyler aylık bazda analiz edilmiştir.

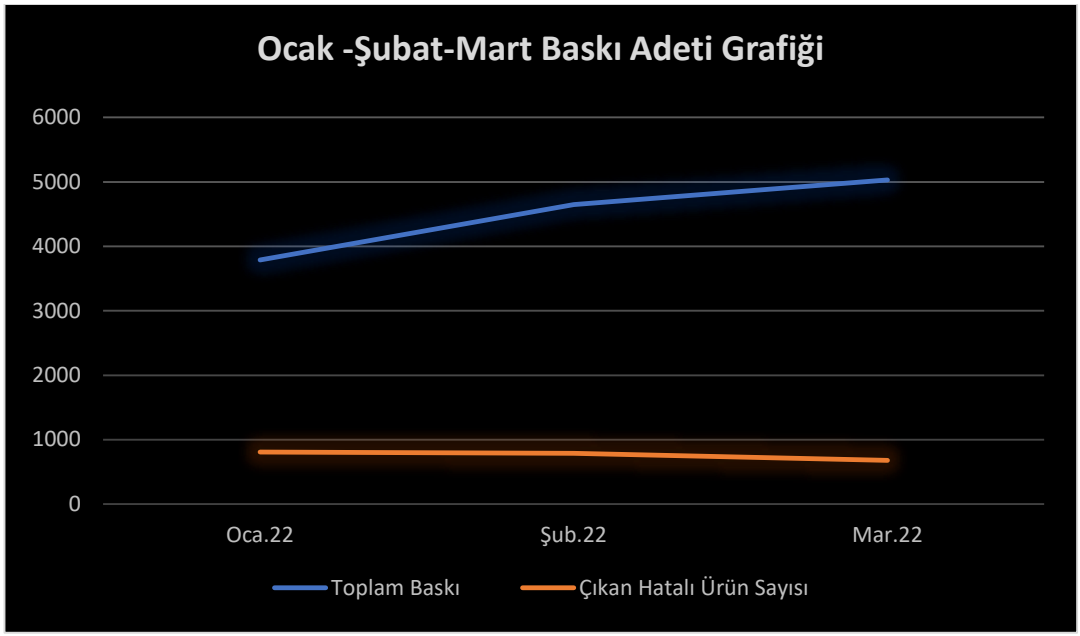
5.2.1. Şubat ve Mart 2022 Verimlilik Analizi

Ocak 2022'de çıkan hatalı ürünler kontrol edildiğinde tamamında 0,5 mm ölçümsel sapma tespit edilmiştir. Bu sapmayı önlemek amaçlı enjeksiyon kalıp kanalları 0,5 mm genişletilmiştir. Şubat ayında 4649 başarılı baskıdan 788'nin hatalı olduğu tespit edilmiştir. Şubat ayı verimliliği bu değerler göz önüne alındığında %83,05 olarak tespit edilmiştir. Kalıp kanallarında yapılan değişiklik bir önceki aya göre %4,35 verimlilik artışına ve %16,6 baskı adeti artışına neden olmuştur.

Mart ayında kazan sıcaklık değerleri 200 °C ila 225 °C arasında ölçülmüştür. Bu 10 ila 25 derece arasında değişen sıcaklık değerlerini birbirine daha çok yaklaştırmak için On-Off çalışan ısı kontrol ünitesi PID tabanlı başka bir üniteyle değiştirilmiş ve kazan sıcaklık değişim aralığı 200 °C ila 215 °C aralığında ölçülmüştür. Böylelikle sıcaklık değişim aralığı 10 ila 15 derece aralığına gerilemiştir. Mart ayında gerçekleştirilen 5032 başarılı baskıdan 678 tanesi hatalı olarak tespit edilmiştir. Mart ayı verimlilik oranı %86,53 olarak hesaplanmıştır (Çizelge 2.1). Kazanda sağlanan ısı stabilizasyonu bir önceki aya göre %3,48 verimlilik artışına ve %7,6 baskı adetinde artışa neden olmuştur. Bu veriler ışığında sürekli kontrolle sıcaklık stabilizasyonu verimliliğe ve baskı adetlerine olumlu yönde etki etmiştir (Şekil 5.2).

Çizelge 2.1. Şubat ve mart verimlilik analizi

Takip edilen zaman dilimi	Takip edilen gün sayısı	Toplam kabul edilen baskı adeti	Toplam hatalı baskı adeti	Verimlilik oranları
01.02.2022-28.02.2022	21	3861	788	%83,05
01.03.2022-31.03.2022	18	4354	678	%86,53



Şekil 5.2. Ocak-Mart 2022 baskı grafiği

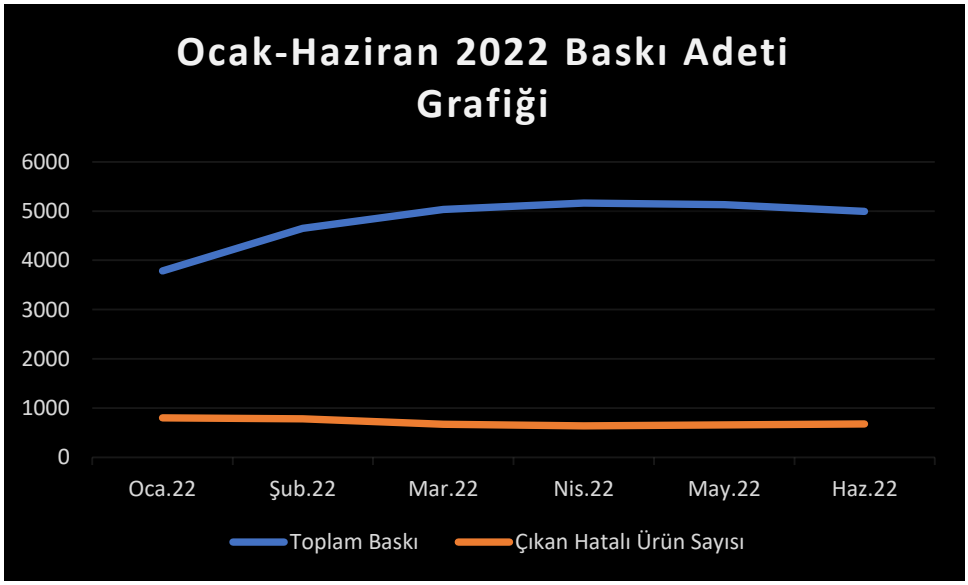
5.2.2. Nisan, Mayıs ve Haziran 2022 Verimlilik Analizi

Nisan 2022'de hammadde sarfiyatından tasarruf edebilmek için %10 oranında geri dönüştürülmüş granül kullanılmıştır. Yapılan deneyde 5160 başarılı baskı alınırken 641 hatalı ürün kullanılamaz olarak ayırılmıştır. Verimlik bu çıktılar ışığında %87,58 olarak hesaplanmıştır. Mayıs 2022'de geri dönüştürülmüş granül oranı %20'ye çıkarılmıştır. 5130 başarılı baskıdan 663 adet baskı kullanılamaz olarak ayırılmıştır. Verimlilik %87,08 olarak hesaplanmıştır ve bir önceki aya göre %0,5 verim kaybı tespit edilmiştir (Şekil 5.3).

Haziran 2022'de bir önceki aydaki verim kaybının nedeninin geri dönüştürülmüş granül artışı olup olmadığını tespit etmek amacıyla geri dönüştürülmüş granül oranı %25'e yükseltilmiştir. 4993 başarılı baskıdan 680 adet baskı kullanılamaz olarak ayırılmıştır. Verimlilik oranı %86,38 olarak hesaplanmıştır. Bir önceki aya göre %0,7 verimlilik kaybı tespit edilmiştir. Hammadde kullanımında geri dönüştürülmüş granül eklemenin etkileri analiz edildiğinde Nisan 2022'de eklenen %10 geri dönüştürülmüş granül miktarı eklendiğinde elde edilen %87,58 verimlilik oranı Mart 2022 verimlilik oranından %1,03 daha yüksek olması nedeniyle pozitif bir etkisi olduğu tespit edilmiştir ve daha sonraki deneylerde bu oranın korunmasına karar verilmiştir (Çizelge 2.2).

Çizelge 2.2. Nisan, mayıs ve haziran verimlilik analizi

Takip edilen zaman dilimi	Takip edilen gün sayısı	Toplam kabul edilen baskı adeti	Toplam hatalı baskı adeti	Verimlilik oranları
01.04.2022-26.04.2022	11	4519	641	%87,58
03.05.2022-31.05.2022	12	4467	663	%87,08
01.06.2022-30.06.2022	16	4313	680	%86,38



Şekil 5.3. Ocak-Haziran 2022 baskı grafiği

5.2.3. Temmuz ve Ağustos 2022 Verimlilik Analizi

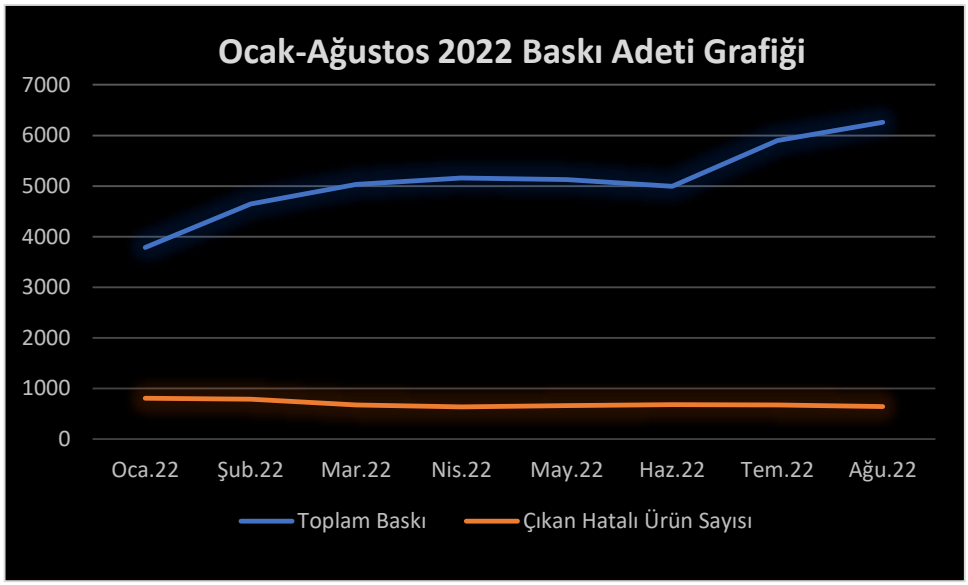
Temmuz 2022'de enjeksiyon makinelerinde yapılan baskıların doluluk oranı ve homojen dağılımı, kullanılan malzemenin siyah olması nedeniyle ancak kesit alınarak belirlenebilmiştir. Ayrıca kullanılan OM646 ürün kodlu termoplastiğin 93 Shore sertlik değerinde olması kesit alımında ve bazı zor şekilli baskılarda önemli ölçüde zorluklara neden olmuştur. Tedarikçi firma ile yapılan görüşmeler ve uzman yardımlarıyla sertlik değeri 48 Shore ve açık beyaz renge sahip olan AS5376 ürün kodlu ürünün kullanımına karar verilmiştir. Hammadde tasarrufuna devam etmek amaçlı %10 geri dönüştürülmüş granül kullanılmaya devam edilmiştir. 5900 adet başarılı baskıdan 678 adet kullanılamaz ürün tespit edilmiş ve verimlilik oranı %88,51 olarak hesaplanmıştır.

Yeni hammaddenin açık renk olması nedeniyle malzeme doluluk oranları ve şekil bozuklukları gözle tespit edilebilir hale gelmiştir. Bu nedenle kesit alma işleminin bu malzeme için gerekli olmadığına karar verilmiştir. Kesit alma sırasında kaybedilen vakitten tasarruf edildiği gibi malzeme yumuşaklığı sayesinde kalıptan çıkarmak için harcanan sürede kısaltılmıştır. Bu etkenler aylık toplam baskının verimlilik oranı en yüksek olan Nisan 2022'den %12,5 daha fazla baskı alınmasına ve en yüksek verimlilik oranı olan %87,58'den %0,93 daha fazla verimlilik oranına sahip olunmasına neden olmuştur (Çizelge 2.3).

Çizelge 2.3. Nisan-Temmuz 2022 verimlilik analizi

Takip edilen zaman dilimi	Takip edilen gün sayısı	Toplam kabul edilen baskı adeti	Toplam hatalı baskı adeti	Verimlilik oranları
01.04.2022-26.04.2022	11	4519	641	%87,58
03.05.2022-31.05.2022	12	4467	663	%87,08
01.06.2022-30.06.2022	16	4313	680	%86,38
04.07.2022-29.07.2022	11	5222	678	%88,51

Ağustos 2022'de şekilsel deformasyon tespit edilen kalıplar düzeltme için yenilenmiştir. Bu sayede kalite hatasından kaynaklı makine duruş sürelerinde azalma olacağı öngörülmüştür. Geri dönüştürülmüş granül miktarı %10 alınmıştır. 6258 başarılı baskıdan 647 kullanılamaz durumda olan ürün saptanmış ve verimlilik oranı %89,66 olarak hesaplanmıştır. Şekil 5.4'te de göreceğimiz üzere verimlilikteki bu artış enjeksiyon baskı adetlerine de nisan ayından ağustos ayına kadar olumlu yönde etki etmiştir (Şekil 5.4).



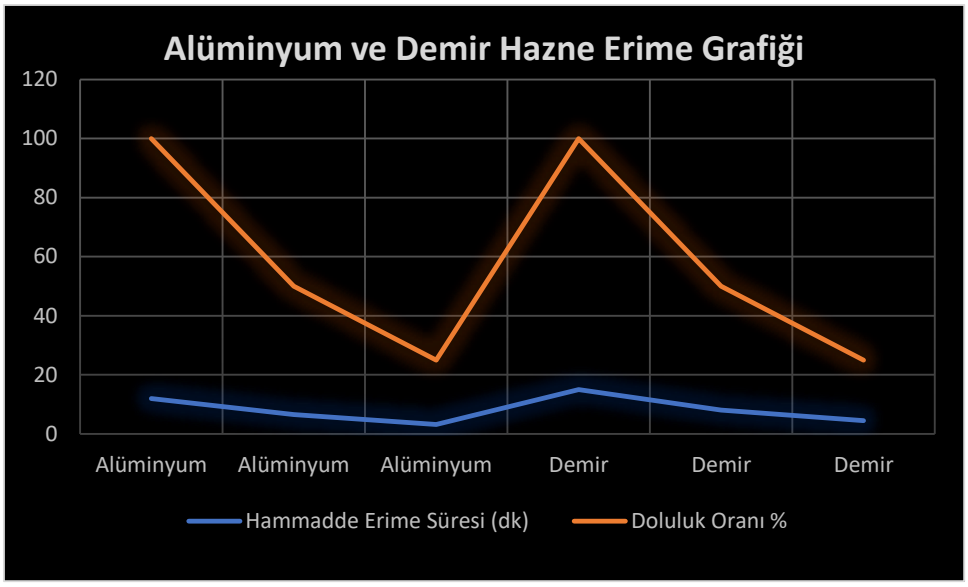
Şekil 5.4. Ocak-Ağustos 2022 baskı grafiği

5.2.4. Eylül ve Ekim 2022 Verimlilik Analizi

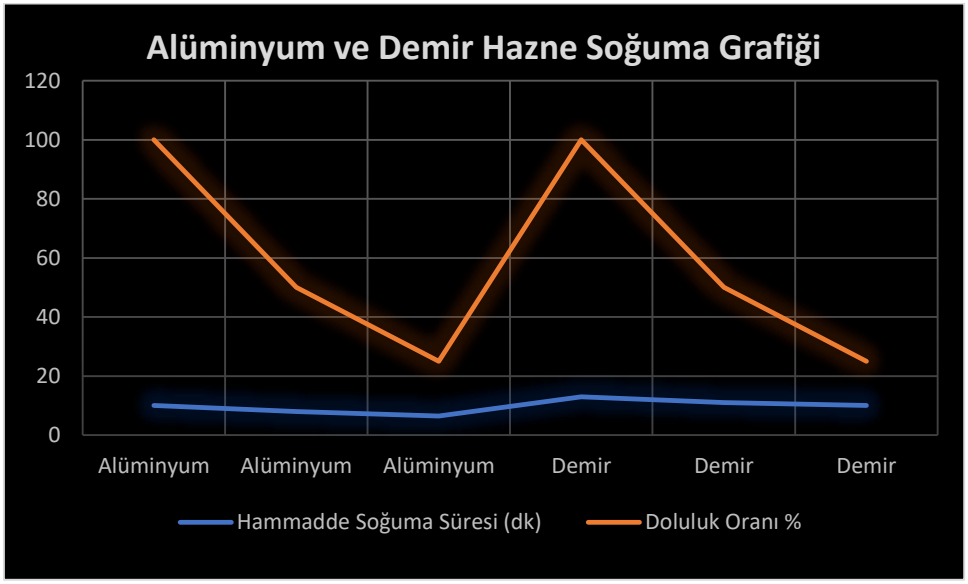
Eylül 2022'de kazan eritme haznesinde hammadde erime süresi 15 dk ve üzeri olması nedeniyle eritme haznesi demir yerine ısı iletkenliği daha yüksek olan alüminyum bir hazne ile değiştirilmiştir. 6514 adet başarılı baskıdan 618 adet kullanılamaz durumda baskı tespit edilmiştir (Çizelge 2.4).

Çizelge 2.4. Alüminyum ve demir kazan sıcaklık analizi

Kazan tipi	Doluluk oranı	Hammadde erime süresi (dk)	Hammadde soğuma süresi (dk)
Alüminyum	%100	12	10
Alüminyum	%50	6,5	8
Alüminyum	%25	3,2	6,45
Demir	%100	15	13
Demir	%50	8	11
Demir	%25	4,5	10



Şekil 5.5. Alüminyum ve demir hazne erime grafiği

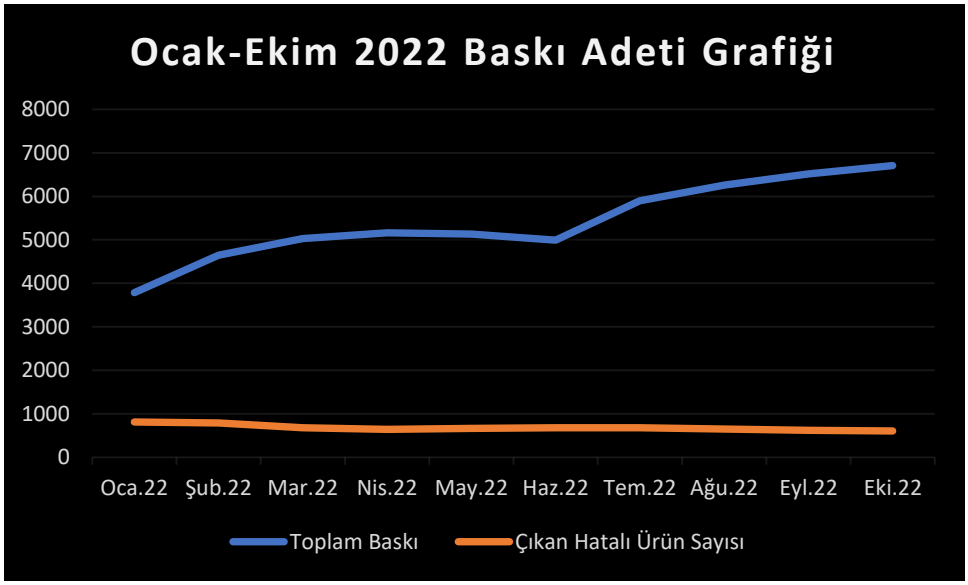


Şekil 5.6. Alüminyum ve demir hazne soğuma grafiği

Verimlilik oranı %90,51 olarak hesaplanmıştır. Hammadde erime süresi tam dolu haldeyken 15 dk'dan 12'dk ya, %50 dolu haldeyken 8 dk'dan 6,5 dk ya, %25 dolu haldeyken 4,5 dk'dan 3,2 dk'ya düşmüştür (Şekil 5.5). Bu vardiya aralarından ve yeni hammadde ilavelerinde avantaj sağlayarak baskı sayısını %0,04 arttırmıştır. Isıl iyileştirmenin verimliliği %0,85 arttığı gözlemlenmiş ve %10 geri dönüştürülmüş granül kullanılmıştır. Hammadde soğuma süreside tam dolu haldeyken 13 dk 'dan 10 dk'ya kadar düşmüştür (Şekil 5.6).

Bu güncellemede saptanan en büyük dezavantaj ısıl değerin mevcut kullanımında yani 220 °C kullanımında baskı yapılamadan 20 dk üzeri beklendiğinde hammadde de yanmalara sebebiyet vermiştir. Bu nedenle sıcaklık değeri 20 °C kadar kademeli olarak düşürülerek 200 °C'ye düşürülmüştür. Böylelikle yanmadan bekletilebilecek süre 20 dk'dan 35 dk'ya kadar yükseltilmiştir. Bu şekilde öğle aralarında enjeksiyon makinesi kapatılmadan tutularak hem yeniden eritme için gereken süreden hem de donma kaynaklı kanal tıkanıklıklarının da önüne geçilmiştir.

Ekim 2022'de ısı kaybını önlemek amaçlı kazan üzerine bir kapak tasarlanmış ve kapak eklenmiştir. 6705 başarılı baskıdan 608 hatalı baskı tespit edilmiştir. Verimlilik %90,93 olarak hesaplanmıştır. Eklenen kapak ısı kaybını önemli ölçüde azalttığından sıcaklık değerinin 200 °C'den 190 °C'ye düşürülmesi rağmen donma ve yanma sürelerinde bir değişim gözlenmemiştir. Bu nedenle sıcaklık değerleri 190 °C'ye düşürülmüş ve %10 geri dönüştürülmüş granül kullanılmıştır (Şekil 5.7).



Şekil 5.7. Ocak-Ekim 2022 baskı grafiği

5.2.5. Kasım ve Aralık 2022 Verimlilik Analizi

Kasım 2022'de nozzle ile baskı kalıbı arasında yükselti farkı tespit edilmiştir. Bu yükselti farkının, baskı presi nozzle ucuna ve baskı kalıbına gereğinden fazla basınç uygulanmasına neden olduğu tespit edilmiştir. Bu nedenle eritme kazanı, nozzle ve pompa grubu 5 cm kadar aşağıya alınmıştır. Böylelikle yükselti farkı sebebiyle yüksek basınçtan kaynaklı deformasyonların önüne geçilmesi hedeflenmiştir. %10 geri dönüştürülmüş granül kullanarak baskı yapılmıştır.

6840 başarılı baskıdan 617 adet baskı kullanılamaz olarak ayırılmış ve verimlilik %90,98 olarak hesaplanmıştır. Yükselti değiştirme işlemi uzun vadede yüksek basınç kaynaklı kırılma ya da bükülmelerin önüne geçerek uzun vadede arıza kaynaklı verimlilik kayıplarının önüne geçmek için yapılmıştır.

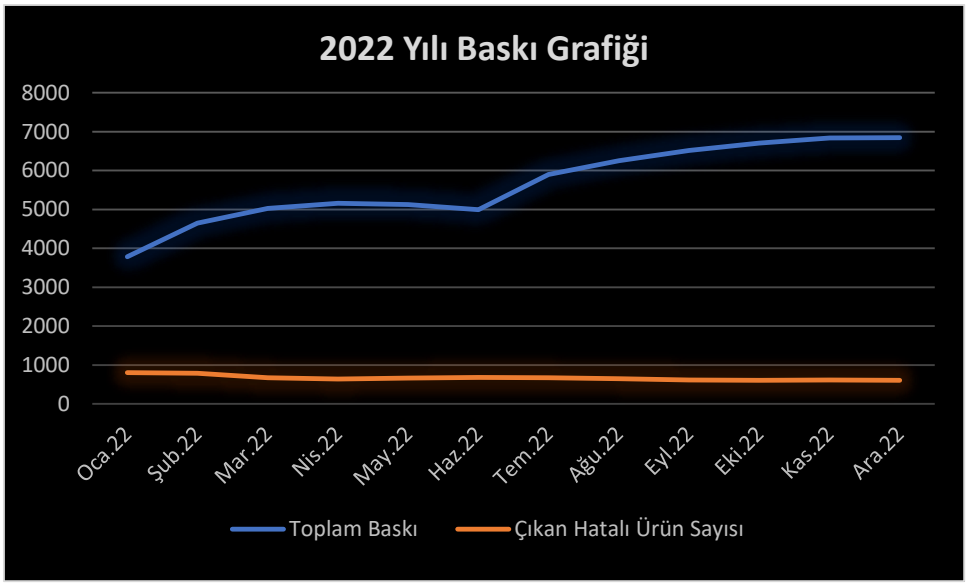
Aralık 2022'de enjeksiyon makinelerinde operatör güvenliğini sağlamak için kullanılan bazı ışık barajlarında fonksiyon kayıpları olduğu görülmüştür. Bu nedenle ışık barajları daha kullanışlı ve daha hassas Pilz 4H-s-30-015/1 ürün numaralı ışık barajı ile değiştirilerek uzun vadede operatör iş kazası kaynaklı verimlilik kaybının da önüne geçilmiştir. %10 geri dönüştürülmüş granül kullanarak baskı yapılmıştır.

6845 başarılı baskıdan 611 adet baskı kullanılamaz olarak ayırılmıştır ve verimlilik %91,08 olarak hesaplanmıştır (Çizelge 2.5).

Çizelge 2.5. Kasım ve aralık verimlilik analizi

Takip edilen zaman dilimi	Takip edilen gün sayısı	Toplam kabul edilen baskı adeti	Toplam hatalı baskı adeti	Verimlilik oranları
01.11.2022-30.11.2022	17	6223	617	%90,98
02.12.2022-30.12.2022	17	6234	611	%91,08

İş ve makine güvenliği adı altında atılan adımlar %0,15 verimlilik artışına neden olurken uzun vadede çok daha fazla verimlilik kayıplarının da önüne geçilmiştir. Ocak 2022'den buyana olan baskı değişimlerini de şekil 5.8'de aylık bazda gözlemlediğimizde bu yapılan değişikliklerin pozitif yönde bir etkisi olduğu gözlemlenmiştir.



Şekil 5.8. 2022 Yılı baskı grafiği

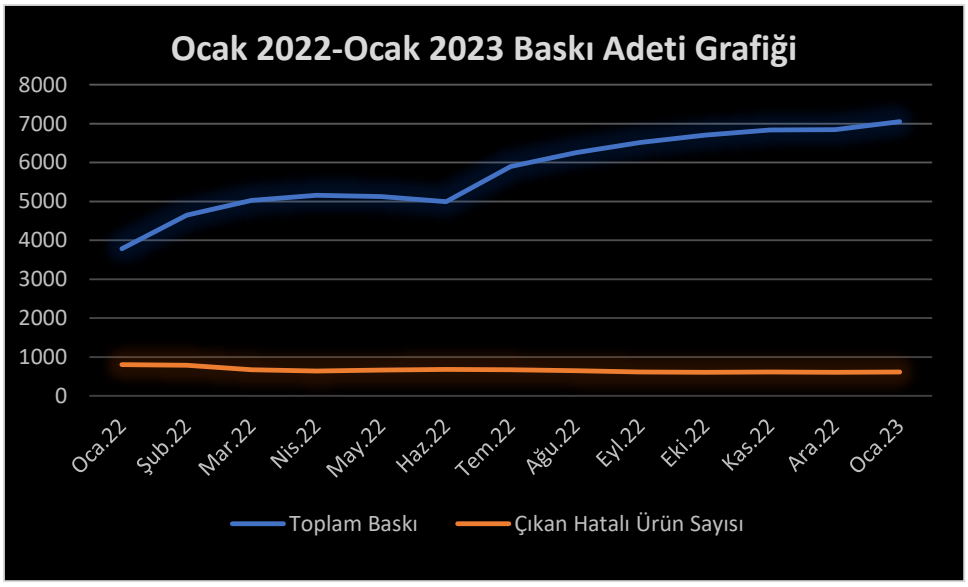
5.3. Ocak 2023 Verimlilik Analizi

Ocak 2023'te üretim verimliliği iş yapış akışını değiştirerek üretim verimliliğinin nasıl etkileneceğini analiz etmek amacıyla 1 operatörün 2 makineyi aynı anda çalıştırması yöntemi denenmiştir. 1 operatör makine başındaki operatörün ihtiyacını karşılarken makine başındaki operatör baskı işlemi başlamış enjeksiyon makinesi baskı yaparken beklemek yerine diğer enjeksiyon makinesinin baskını başlatabilmektedir. Deney sırasında %10 geri dönüştürülmüş granül kullanılmıştır.

Enjeksiyon makinesi başına ortalama 7050 adet başarılı baskıdan 618 adet kullanıma uygun olmayan baskı ayırılmıştır (Şekil 5.9). Verimlilik %91,23 olarak hesaplanmıştır. Böylelikle bir önceki aya göre %0,15 verimlilik artışı gözlenirken makine başına 205 adet daha fazla baskı alınabildiği gözlemlenmiştir (Çizelge 3.1).

Çizelge 3.1. Ocak 2023 verimlilik analizi

Takip edilen zaman dilimi	Takip edilen gün sayısı	Toplam kabul edilen baskı adeti	Toplam hatalı baskı adeti	Verimlilik oranları
02.01.2023-31.01.2023	18	6432	618	%91,23



Şekil 5.9. Ocak 2022-Ocak 2023 baskı grafiği

5.4.Şubat, Mart ve Nisan 2023 Verimlilik Analizi

Şubat 2023'te enjeksiyon makinelerinin soğutma sistemleri tek bir su kaynağına bağlanmaktaydı ve herhangi bir arıza durumunda tüm makineler durmaktaydı. Bu nedenle tüm makinelerde soğutma sistemleri basit bir su akış ünitesiyle dahili hale getirilmiştir.

%10 geri dönüştürülmüş granül kullanılan 7210 başarılı baskıdan 570 adet baskı kullanılamaz olarak ayırıldı. Verimlilik oranı %92,09 olarak hesaplanmıştır.

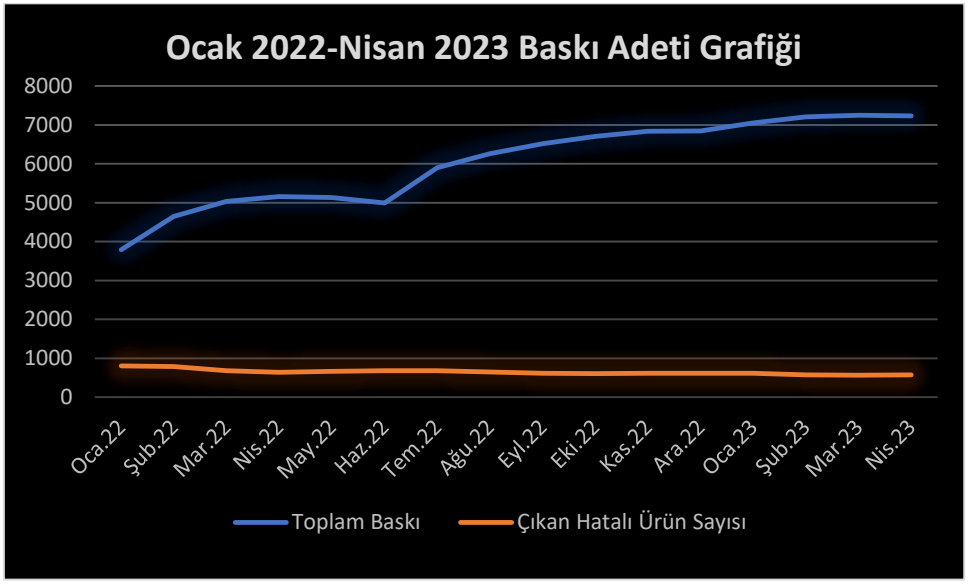
Mart 2023'te sıcaklık stabilizasyonu için 190 °C'den aşağıdaki sıcaklıklar denenerek denemeler yapılmıştır. Yapılan denemeler sonucunda hiç hatalı ürün almadan 160 °C'ye kadar üretim yapılabileceği ortaya çıkarılmıştır (Çizelge 4.1).

Çizelge 4.1. Şubat, Mart ve Nisan 2023 verimlilik analizi

Takip edilen zaman dilimi	Takip edilen gün sayısı	Toplam kabul edilen baskı adeti	Toplam hatalı baskı adeti	Verimlilik oranları
01.02.2023-28.02.2023	16	6640	570	%92,09
01.03.2023-31.03.2023	18	6682	568	%92,17
03.04.2023-28.04.2023	16	6656	574	%92,06

%10 geri dönüştürülmüş granül kullanılan 7250 başarılı baskıdan 568 adet baskı kullanılamaz olarak ayırıldı ve verimlilik oranı %92,17 olarak hesaplanmıştır.

Nisan 2023'te herhangi bir değişiklik yapılamadan oran stabilizasyonu analiz edilmeye çalışılmıştır. 7230 başarılı baskıdan 574 hatalı baskı tespit edilmiştir. Verimlilik oranı da %92,06 olarak hesaplanmıştır. Şekil 5.10'da da görüleceği üzere, tez çalışmasındaki tüm aylara göre baskı adeti dağılımı görülebilmektedir. Yapılan değişikliklerin baskı verimliğini pozitif yönde arttırdığı açık bir şekilde görülmektedir.



Şekil 5.10. Ocak 2022-Nisan 2023 baskı grafiği

5.5. Sonuçların Değerlendirilmesi

Yapılan çalışmalar sonucunda toplam 96554 adet başarılı baskıdan 10366 adet hatalı baskı tespit edilmiştir. Ortalama verimlilik %88,66 olarak hesaplanmıştır.

Ocak 2022'de %78,7 verimliliğe sahip enjeksiyon makinelerimiz Nisan 2023 itibariyle %92,06 verimliliğe kadar çıkarak toplam %13,36 verimlilik artışı gözlemlenmiştir. Ocak 2022 verimliliğiyle ortalama verimliliğe bakıldığında ise %9,96 verimlilik artışı gözlemlenmiştir (Çizelge 5.1).

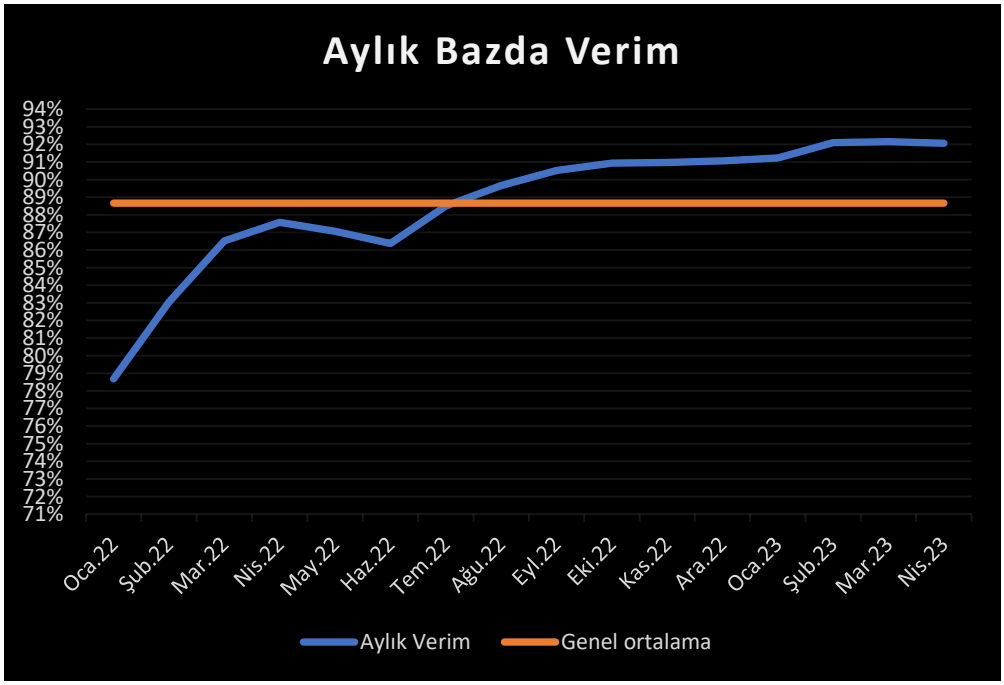
Çizelge 5.1. Genel verimlilik analizi

Takip edilen zaman dilimi	Takip edilen gün sayısı	Toplam kabul edilen baskı adeti	Toplam hatalı baskı adeti	Verimlilik oranları
17.01.2022-30.01.2022	10	2981	807	%78,7
01.02.2022-28.02.2022	21	3861	788	%83,05
01.03.2022-31.03.2022	18	4354	678	%86,53
01.04.2022-26.04.2022	11	4519	641	%87,58
03.05.2022-31.05.2022	12	4467	663	%87,08
01.06.2022-30.06.2022	16	4313	680	%86,38
04.07.2022-29.07.2022	11	5222	678	%88,51
01.08.2022-31.08.2022	12	5611	647	%89,66
02.09.2022-30.09.2022	17	5896	618	%90,51
03.10.2022-31.10.2022	17	6097	608	%90,93
01.11.2022-30.11.2022	17	6223	617	%90,98
02.12.2022-30.12.2022	17	6234	611	%91,08
02.01.2023-31.01.2023	18	6432	618	%91,23
01.02.2023-28.02.2023	16	6640	570	%92,09
01.03.2023-31.03.2023	18	6682	568	%92,17
03.04.2023-28.04.2023	16	6656	574	%92,06

Stabilizasyon sapması çizelge 5.1’de da görüleceği gibi son ay ile bir önceki ay karşılaştırıldığında %0,11 olarak gözlemlenmektedir. Baskı kapasitesine bakıldığında ise Ocak 2022’de 1 ayda 3788 başarılı baskı alınabilirken Nisan 2023’te 7230 adet başarılı baskı alınabilir hale gelinmiştir.

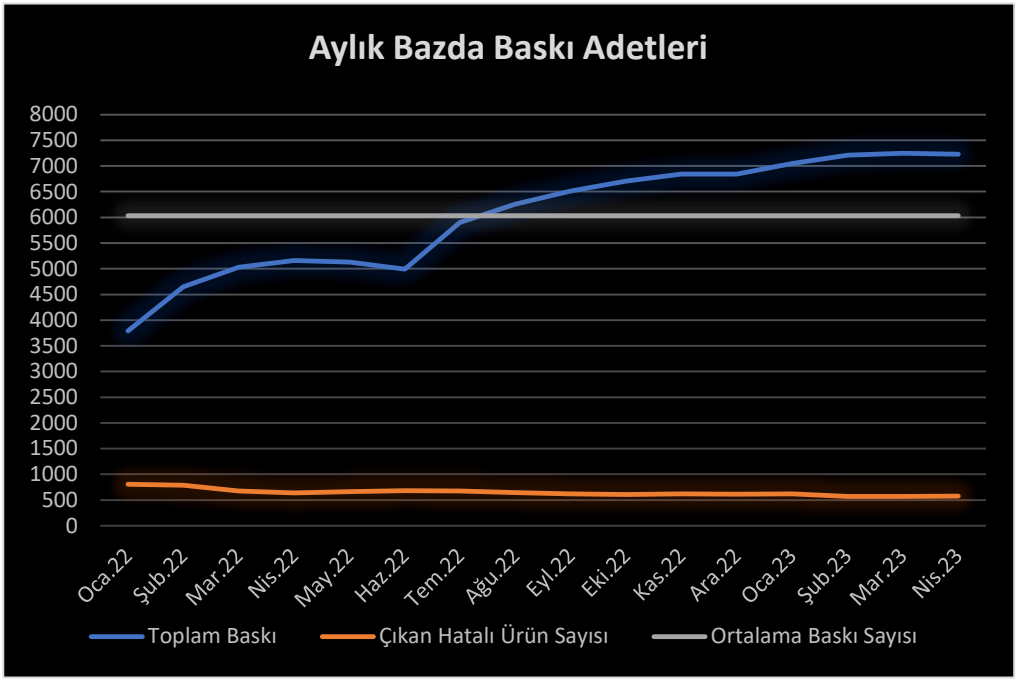
Buradan da anlaşılmaktadır ki sürekli takip ve analiz ile baskı kapasitesi %90,87 kadar arttırıla bilinmiştir.

Yapılan çalışmalarda mekaniksel, insan kaynaklı ve hammadde kaynaklı hatalara farklı çözümler üretmeye çalışarak verimlilik artışı hedeflenmiştir. Alınan sonuçlarla yapılan iyileştirmelerin baskı verimliliği ve baskı kapasitesi anlamında pozitif yönde etki ettiği şekil 5.11 ve şekil 5.12'de de görüleceği üzere gözlemlenmiştir.



Şekil 5.11. Aylık bazda verim grafiği

Tüm süreç sürekli takibe alınarak periyodik takibe göre hata kaynaklarının tespitinin daha hızlı yapılması hedeflendi. 16 aylık süreçte hatalı ürün oranı %21,3 oranından %9,13 hata oranına kadar gerilediği gözlemlenmiştir.



Şekil 5.12. Aylık bazda baskı adeti grafiği

Sonuç olarak sürekli takip ve verimlilik analizleriyle kazan sıcaklığı 230 °C sıcaklıktan 160 °C sıcaklığa kadar düşürülerek enerji tasarrufu sağlanırken, baskı kapasitesi %90,87 arttırılmıştır. Operatör ve makine güvenliği konusunda yapılan çalışmalarla uzun vadede büyük verimlilik kayıplarından kaçınılmıştır. Toplamda %13,36 verimlilik artışı da sağlanmıştır. Bu da yeterli aralıksız takip ve sorun odaklı analizin istenilen ölçüde verimliği sağlayabildiğini göstermiştir. Uygun güncellemelerle önemli parametrelerde avantaj sağlanabileceğini ve bu avantajların verimlilik olarak geri alınabileceği gözlemlenmiştir.

Verimliliğe genel anlamda etki eden 3 temel unsur saptamıştır. Makine kaynaklı verimlilik kayıpları, hammadde kaynaklı verimlilik kayıpları ve üretim hatlarında kullanılan üretim yöntemlerinden kaynaklı verimlilik kayıpları önemli ölçüde verimliliğin pozitif ya da negatif yönde değişmesine sebebiyet vermektedir. Aldığımız sonuçlara göre verimlilik değişiminde en büyük pay makine kaynaklı verimlilik kayıplarına aittir. Makine iyileştirmelerinin yapıldığı ocak, şubat, mart, eylül, ekim, kasım, Aralık 2022 ve şubat, Mart 2023 dönemlerinde toplam verimlilik değişimi %10,11 olarak saptanmıştır. Toplam verimlilik farkına bakıldığında geriye kalan etkenlerin %3,25 verimlilik değişimine neden olduğu saptanmıştır. Tez çalışmasında da görüyoruz

ki makine üzerinde yapılan iyileştirmelerle verimlilik %10'un üzerinde pozitif yönde değiştirilebilmektedir. Bu da enjeksiyon makinelerinde sürekli takip ile uygun mekanik iyileştirmelerin genel anlamda verimliliği ve baskı kapasitesini %90 verimlilik değerlerine kadar çıkarabildiği gözlemlenmiştir.

KAYNAKLAR

Akkuş, S. (2016). Nesnelerin interneti teknolojisinde güvenli veri iletişimi-programlanabilir fiziksel platformlar arasında wep algoritması ile kriptolu veri haberleşmesi uygulaması. *Marmara fen bilimleri dergisi*, *28*(3), 100-111.

Altun, K., & Göleç, A. (2011). ÜRETİM KONTROL SİSTEMLERİNİ KIYASLAYICI BİR BENZETİM ÇALIŞMASI. *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fen Bilimleri Dergisi*, *27*(2), 200-207.

Birinci, A. (1997). *Plastik Enjeksiyon Kalıplarının İncelenmesi* Fen Bilimleri Enstitüsü].

Dobbs, R., Manyika, J., & Woetzel, J. (2015). *The Internet of Things: Mapping the value beyond the hype*.

Edirisinghe, M., & Evans, J. (1986). Fabrication of engineering ceramics by injection moulding. II. Techniques. *International journal of high technology ceramics*, *2*(4), 249-278.

FINDIK, B., & TAŞDEMİR, M. Enjeksiyon makinesi ve üç boyutlu yazıcı ile üretilen ABS polimerinin fiziksel özelliklerini karşılaştırılması.

Gebhardt, M., Manolakis, I., Chatterjee, A., Kalinka, G., Deubener, J., Pfnür, H., Chakraborty, S., & Meiners, D. (2021). Reducing the raw material usage for room temperature infusible and polymerisable thermoplastic CFRPs through reuse of recycled waste matrix material. *Composites Part B: Engineering*, *216*, 108877.

Henkel. (2017). *TECHNOMELT AS 5376* http://cdn.sa.17uhui.com.cn/upload/sites/3381/2022/03/TECHNOMELT-AS-5376-EN.pdf

Henkel. (2016). *TECHNOMELT PA 646 BLACK* https://datasheets.tdx.henkel.com/TECHNOMELT-PA-646-BLACK-en_US.pdf

Huang, C.-C., & Kusiak, A. (1996). Overview of Kanban systems.

Johnston, S. P., Kazmer, D. O., & Gao, R. X. (2009). Online simulation-based process control for injection molding. *Polymer Engineering & Science*, *49*(12), 2482-2491.

Kamber, Ö. Ş. (2008). *Plastik enjeksiyon kalıplarında basınç ve sıcaklık parametrelerinin ürün kalitesine etkileri ve Taguchi yöntemi ile optimizasyonu* Marmara Universitesi (Turkey)].

Karaca, E. (2012). *Üretim sürecinde istatistiksel proses kontrol (İPK) uygulamaları ve elektronik sektöründe bir inceleme* Marmara Universitesi (Turkey)].

Keçe, A. (2006). *Yapay sinir ağları ile plastik enjeksiyon süreci başlangıç parametrelerinin belirlenmesi* Bursa Uludag University (Turkey)].

Köse, E. (2006). *Plastik enjeksiyonda proses ve kalıp kaynaklı sorunların giderilmesi* Fen Bilimleri Enstitüsü].

Lau, H., Wong, T., & Pun, K. (1999). Neural-fuzzy modeling of plastic injection molding machine for intelligent control. *Expert Systems with Applications*, *17*(1), 33-43.
Muhammed, O., & Oğuzhan, D. (2023). Yeşil Üretim için Çevresel Etki Temelli Termoplastik Malzeme Seçimi: Karşılaştırmalı Bir Hibrid ÇKKV Yaklaşımı. *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fen Bilimleri Dergisi*, *39*(1), 100-115.
Özbilgi, A. *Plastik enjeksiyon makinesi tasarımı ve imalatı* Lisansüstü Eğitim Enstitüsü].
Park, K., & Li, J. (2019). Improving productivity of a multi-product machining line at a motorcycle manufacturing plant. *International Journal of Production Research*, *57*(2), 470-487.
Petilon, M. (2023). *Hayatımızın Yeni Normali: Nesnelerin Haberleşmesi*. https://www.karel.com.tr/blog/hayatimizin-yeni-normali-nesnelerin-haberlesmesi
Salminen, S., & Saari, J. (1995). Measures to improve safety and productivity simultaneously. *International Journal of Industrial Ergonomics*, *15*(4), 261-269.
Saraç, T., & Kaya, S. (2008). Plastik Enjeksiyon Makinelerinin Vardiya Bazında Çizelgelenmesi Problemi için bir Hedef Programlama Modeli. *Endüstri Mühendisliği Dergisi*, 12-26.
Serhat, K., & SARAÇ, T. PLASTİK ENJEKSİYON MAKİNELERİNİN VARDİYA BAZINDA ÇİZELGELENMESİ PROBLEMİ İÇİN BİR HEDEF PROGRAMLAMA MODELİ. *Endüstri Mühendisliği*, *24*(1), 12-26.
Shi, D., & Gindy, N. N. (2007). Tool wear predictive model based on least squares support vector machines. *Mechanical systems and signal processing*, *21*(4), 1799-1814.
Spontak, R. J., & Patel, N. P. (2000). Thermoplastic elastomers: fundamentals and applications. *Current opinion in colloid & interface science*, *5*(5-6), 333-340.
Thiriez, A., & Gutowski, T. (2006). An environmental analysis of injection molding. Proceedings of the 2006 IEEE International Symposium on Electronics and the Environment, 2006.,
Thoutam, V. (2021a). Iot Cloud Convergence, Emerging Economy And Development Issues. *Journal of Environmental Impact and Management Policy (JEIMP) ISSN: 2799-113X*, *1*(02), 8-13.
Thoutam, V. (2021b). An Overview On The Reference Model And Stages Of Iot Architecture. *International Journal of Information Technology & Computer Engineering (IJITC) ISSN: 2455-5290*, *1*(01), 7-14.
YILMAZ, B. S. (2000). Hata türü ve etki analizi. *Dokuz Eylül Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, *2*(4).

EKLER

EK -1. AS5376 ve OM646 Termoplastiklerinin teknik özellikleri

Çizelge 1. AS5376 Termoplastik Teknik Özellikleri (Henkel, 2017)

Özellik	Birim	Değerler
Çalışma Sıcaklığı	°C	180
Rengi		Beyaz
Sertlik Değeri	Shore	93

Çizelge 2. OM646 Termoplastik Teknik Özellikleri (Henkel, 2016)

Özellik	Birim	Değerler
Çalışma Sıcaklığı	°C	200
Rengi		Siyah
Sertlik Değeri	Shore	48

ÖZGEÇMİŞ

1996 yılında Kayseri'de dünyaya geldi. İlkokulu İstanbul'da tamamladı. 2014 Yılında T.C. Trakya Üniversitesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü'nde lisans öğrenimine başladı. 2018 yılında Trakya Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü'nü birincilikle bitirdi. 2020 yılında Trakya Üniversitesi Mekatronik Mühendisliği Bölümü'nde Yüksek Lisans öğrenimine başladı. 2018 Prettl Endüstri Firmasında Proje Mühendisi olarak iş hayatına başladı. Halen proje mühendisi olarak çalışmaktadır.