

T.C.
BANDIRMA ONYEDİ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

PLASTİK EKSTRÜZYON PROSESİNİN YAPAY ZEKA İLE MODELLENMESİ

Ogün ŞİMŞEK

Mekatronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Mekatronik Mühendisliği Programı

AĞUSTOS 2024

T.C.
BANDIRMA ONYEDİ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

PLASTİK EKSTRÜZYON PROSESİNİN YAPAYZEKA İLE MODELLENMESİ

Ogün ŞİMŞEK

DANIŞMAN

Dr. Öğr. Üyesi Muhammed MİLANİ

Mekatronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Mekatronik Mühendisliği Programı

AĞUSTOS 2024

ONAY

Ogün ŞİMŞEK tarafından hazırlanan “**Plastik Ekstrüzyon Prosesinin Yapay Zeka ile Modellenmesi**” adlı tez çalışması 20/08//2024 tarihinde yapılan sınavla aşağıdaki jüri tarafından oybirliği ile Bandırma Onyedİ Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Mekatronik Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Dr. Öğr. Üyesi, Muhammed MİLANİ
(Danışman)

Dr. Öğr. Üyesi, Arif YELĞİ
(Üye)

Dr. Öğr. Üyesi, İnan KAZANCI
(Üye)

İmza

Bu tezin kabulü, Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu’nun .../.../...gün ve .../... sayılı kararı ile onaylanmıştır.

Doç. Dr. Abdullah YEŞİL

BANDIRMA ONYEDİ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
YÜKSEK LİSANS TEZ ÇALIŞMASI
ETİK BEYANI

Bandırma Onyedi Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kılavuzuna göre hazırlamış olduğum “**Plastik Ekstrüzyon Prosesinin Yapay Zeka ile Modellenmesi**” adlı tezimin özgün bir çalışma olduğunu, tez hazırlanırken tüm aşamalarda bilimsel etik ilkelerine uygun davrandığımı, tez kapsamında sunulan tüm verileri bilimsel etik ilkelerine uygun elde ettiğimi, tezde faydalandığım tüm eserlere atıf yaptığımı ve kaynaklar kısmında bu eserleri gösterdiğimi beyan ederim. 30/07/2024

Ogün ŞİMŞEK
İmza

ÖNSÖZ

Bu tez çalışması sırasında, tez konusunun belirlenmesinden başlayarak son aşamaya kadar her konuda benden yardımlarını esirgemeyen danışman hocam Sayın Dr. Öğr. Üyesi Muhammed MİLÂNİ'ye şükranlarımı sunarım.

Bu günlere gelmemde büyük emekleri olan annem Gülsüm, babam Mustafa, abim Mehmet Onur'a, yoğun çalışma temposunda benden maddi ve manevi desteğini esirgemeyen yol arkadaşım Ayça'ya teşekkür ederim.



ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

PLASTİK EKSTRÜZYON PROSESİNİN YAPAY ZEKA İLE MODELLENMESİ

Ogün ŞİMŞEK

Bandırma Onyediy Eylül Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Mekatronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Muhammed MİLANİ

Ağustos 2024, 59 sayfa

Plastik ekstrüzyon prosesinin tarihçesi ve tarih içerisindeki gelişimi incelenecektir. Plastik ekstrüzyon prosesinde kullanılan ekstrüder makinelerinin tarihçesi, makine seçimleri, makine motor gücü, ısıtma ve soğutma sistemi PID kontrolü, şanzıman seçimi ve aktarım oranı, kafa bölgesinde bulunan kalıp(die head) delik sayısı ve delik çapları, havuz suyu sıcaklığı ve kesim metotları gibi prosese doğrudan etki eden girdiler incelenecektir. Plastik ekstrüzyon üretim prosesinde makine parametrelerinin yanı sıra kullanılan polimerlerin, dolgu malzemelerinin ve çeşitli proses iyileştirici(wax,pıb,UV vb.) hammaddelerin üretim prosesine ve kalite sonuçlarına etkisi laboratuvar ortamının gerçek test makineleri ve test metotları incelenecek ve yorumlanacaktır.

Plastik ekstrüder makine üreticisi ve hammadde üreticilerinin üretim prosesi kapsamında vermiş olduğu bilgiler ile yapılan test sonuçları doğrultusunda bir veri analizi yapılacaktır. Yapılan bu veri analizi sonucunda prosese doğrudan etki eden değişkenler arasında bir filtreleme yapılarak, proses açısından en önemli bulunan değişkenler tespit edilecektir. Tespit edilen bu değişkenler ve veri grupları tez kapsamında geliştirilecek olan yapay zeka modeline derin öğrenme metodu ile aktarımı sağlanacaktır. Bu girdiler sonucunda yapay zeka metodunun kullanıcıya sunmuş olduğu

veriler ve çıktıları üretim prosesinin bir simülasyonu olacak olup bu doğrultuda üretim öncesinde hangi girdilerin nasıl çıktıları sebep olacağı gözlemlenecektir.

Geliştirilen yapay zeka modelinin üretim prosesi ile ilgili sunmuş olduğu bilgilerin ışığında üretici firmaların üretim öncesinde yapmış olduğu deneme ve çalışmaların minimum düzeyde olması sağlanacaktır. Yapay zeka modelinin simüle etmiş olduğu üretim prosesinin kullanıcıya sunmuş olduğu çıktıları doğrultusunda şirketler üretimlerinin üretim sonuçlarına ilişkin bir takım bilgiler ve bir takım kalite sonuçları elde edebilecektir. Yapay zeka modelinin sunmuş olduğu veriler ve çıktıları sonucunda şirketler üretimde yaşanan fire kaybı, ekstra enerji maliyeti, ısıtma ve soğutma sistemlerinde ki enerji kayıpları, işçilik maliyeti gibi doğrudan üretim maliyetine etki eden olumsuz sonuçların en aza indirilmesi ve maliyet azaltılması sağlanacaktır.

Böylelikle bu yapay zeka modelinin vermiş olduğu sonuçlara göre yapılmış olan üretimler ile birlikte geliştirilen modelin hem kalite sonuçları hem de maliyetlendirme konularında üretim prosesine sağlamış olduğu katkılar incelenecektir.

Anahtar kelimeler: Plastik Ekstrüzyon, Ekstrüder Makinesi, L/D Oranı, Do/Di Oranı, Vida Dizaynı, Polimer, Yapay Zeka.

ABSTRACT

M.Sc. THESIS

MODELLING THE PLASTIC EXTRUSION PROCESS WITH ARTIFICIAL INTELLIGENCE

Ogün ŞİMŞEK

**Bandırma Onyedi Eylül University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Mechatronics Engineering**

Supervisor: Asst. Prof. Dr. Muhammed MİLANİ

August 2024, 59 pages

The history and evolution of the plastic extrusion process will be examined. The historical background of extruder machines used in the plastic extrusion process, machine selection, machine motor power, heating and cooling system PID control, transmission selection and gear ratio, number of holes and hole diameters in the die head, pool water temperature, and cutting methods, which directly affect the process, will be investigated. In addition to machine parameters in the plastic extrusion production process, the impact of polymers, fillers, and various process improvement additives (such as wax, PIB, UV, etc.) on the production process and quality results will be analyzed and interpreted through real test machines and test methods in a laboratory environment.

A data analysis will be conducted based on the information provided by plastic extruder machine manufacturers and raw material producers regarding the production process, along with test results. Through this data analysis, a filtering process will be applied to identify the most critical variables directly impacting the process. These identified variables and data groups will be transferred to the artificial intelligence model developed within the scope of the thesis using deep

learning methods. As a result of these inputs, the data and outputs presented by the artificial intelligence method will simulate the production process, allowing observation of how specific inputs lead to certain outputs before actual production.

The artificial intelligence model developed will ensure that manufacturers conduct minimal trials and experiments before production, based on the information it provides about the production process. Through the outputs of the simulated production process generated by the artificial intelligence model, companies will be able to obtain information about production results and quality outcomes. By utilizing the data and outputs provided by the artificial intelligence model, companies can minimize negative results directly impacting production costs such as production losses, extra energy costs, energy losses in heating and cooling systems, and labor costs, leading to cost reduction.

Consequently, the contributions of the developed model to both quality outcomes and cost optimization in the production process will be examined alongside the productions made according to the results provided by this artificial intelligence model.

Keywords: Plastic Extrusion, Extruder Machine, L/D Ratio, Do/Di Ratio, Screw Design, Polymer, Artificial Intelligence.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	I
ABSTRACT	III
İÇİNDEKİLER.....	V
ŞEKİL LİSTESİ	IX
TABLO LİSTESİ.....	XI
SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ.....	XII
1. GİRİŞ.....	1
2. PLASTİK EKSTRÜZYON PROSESİNİN TEMELERİ.....	3
2.1 PLASTİK EKSTRÜZYON PROSESİNDE KULLANILACAK HAMMADDELER	3
2.1.1 Polimerler	4
2.1.1.1 Polimer Çeşitleri.....	4
2.1.1.2 Polimerlerin Genel Özellikleri	5
2.1.2 Dolgu Malzemeleri.....	5
2.1.2.1 Talk.....	5
2.1.2.2 CaCO ₃ (Kalsit)	6
2.1.2.3 Cam Elyaf.....	7
2.1.3 Katkı Malzemeleri	7
2.1.3.1 Renklendiriciler	7
2.1.3.2 UV Stabilizatörleri	8
2.1.3.3 Antioksidanlar	8
2.1.3.4 Kaydırıcılar (Lubrikantlar)	8
2.1.3.5 Alev Geciktiriciler:	9
2.1.3.6 Antistatik Maddeler	9
2.1.3.7 Çapraz Bağlayıcılar (Cross-Linking Agents)	9

2.2	BESLEME	9
2.3	EKSTRÜDER MAKİNESİ.....	10
2.3.1	Tek Vidalı Ekstrüder	11
2.3.2	Çift Vidalı Ekstrüder	12
2.4	SOĞUTMA İŞLEMİ	14
2.5	KESİM İŞLEMİ.....	14
3.	EKSTRÜDER MAKİNESİ BİLEŞENLERİ.....	16
3.1	MOTOR.....	16
3.2	ŞANZIMAN.....	16
3.3	ŞAFT	17
3.4	EKSTRÜDER VİDALARI	17
3.4.1	L/D Oranı	18
3.4.2	Sıkıştırma Oranı	19
3.4.3	Mekanik Koşullar	20
3.5	EKSTRÜDER KOVANLARI.....	20
3.6	ISITMA VE SOĞUTMA SİSTEMLERİ.....	22
3.7	VAKUM SİSTEMİ	22
3.8	KALIP (DİE HEAD)	23
4.	MAKİNE PARAMETLERİ VE KONTROL DEĞİŞKENLERİ.....	24
4.1	VİDA DİZAYNI.....	24
4.2	VİDA DEVRİ	25
4.3	SICAKLIK	27
4.4	BESLEME ORANI.....	27
4.5	VAKUM BASINCI	28
5.	DENEYSEL ÇALIŞMALAR VE SONUÇLAR	29
5.1	DENEY DÜZENEĞİ VE KULLANILACAK EKİPMANLAR.....	29
5.2	DENEY ÇALIŞMALARI.....	31

6. YAPAY ZEKA İLE EKSTRÜZYON PROSESİNİN MODELLEMESİ	34
6.1 YAPAY ZEKA NEDİR	34
6.2 MAKİNE ÖĞRENİMİ	34
6.2.1 Denetimli Öğrenme (Supervised Learning)	34
6.2.2 Denetimsiz Öğrenme (Unsupervised Learning).....	35
6.2.3 Pekiştirmeli Öğrenme.....	35
6.3 DERİN ÖĞRENME	35
6.3.1 Konyolüsyonel Sinir Ağları	35
6.3.2 Tekrarlayan Sinir Ağları	35
6.3.3 Uzun Kısa Süreli Bellek Ağları	35
6.3.4 Sınırlı Boltzmann Makineleri	36
6.3.5 Derin İnanç Ağları.....	36
6.4 ÇALIŞMA KAPSAMINDA KULLANILAN YAPAY ZEKA MODELİ.....	36
6.5 KORELASYON ANALİZİ.....	36
6.6 ERİYİK SICAKLIĞA ETKİ EDEN PARAMETRELERİN ÖNEMİ	38
6.7 TORK DEĞERİNİN VİDA HIZI, BESLEME VE KARIŞTIRMA ORANI İLE KORELASYONU	39
6.8 FPV TEST SONUCU İLE ERİYİK SICAKLIK VE TORK DEĞERİNİNİ KORELASYONU	40
6.9 KARAR AĞACI MODELİ İLE FPV TEST SONUCU TAHMİNİ.....	41
6.9.1 Modelin Optimizasyonu	42
6.10 TAHMİN EDİLECEK VERİ SETİ	42
6.11 TORK VE ERİYİK SICAKLIK TAHMİN MODELLERİ.....	43
6.12 FPV TEST SONUCU MODELİ	44
7. TARTIŞMA VE SONUÇ	45
8. KAYNAKLAR	47
ÖZGEÇMİŞ	50



ŞEKİL LİSTESİ

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
Şekil 2-1 Monomex Besleme Sistemi	10
Şekil 2-2 Monomex Ekstrüder Makinesi	10
Şekil 2-3 Tek Vidalı Ekstrüder	12
Şekil 2-4 Çift Vidalı Ekstrüder Çıkışı	13
Şekil 2-5 Eriyik Malzemenin Soğutma Havuzuna Girişi	14
Şekil 2-6 Granül Kesme Makinesi	14
Şekil 2-7 Granül Kesim Makinesi Bıçakları	15
Şekil 3-1 Nanjing Firmasına Ait Örnek Şanzıman	16
Şekil 3-2 Örnek Vida Dizaynı	17
Şekil 3-3 Taşıma Vida Elementi, Besleme Vida Elementi, Sıkıştırma Vida Elementi, Kırıcı Vida Elementi, Karıştırma Vida ve Geçiş Vida Elementi	18
Şekil 3-4 Örnek Ekstrüder Kovanı	21
Şekil 3-5 Örnek Lineer	21
Şekil 3-6 Isıtma Bölgesi Gösterimi	22
Şekil 3-7 Vakum Sistemi	22
Şekil 3-8 Örnek Kalıp Çıkışı	23
Şekil 4-1 Kullanılan Vida Tiplerine Bağlı Olarak Kırmızı Alanlar Daha Fazla Tork İhtiyacının Olduğu Bölgeleri Göstermektedir	24
Şekil 4-2 Çift Vidalı Ekstrüderlerde Vida Konfigürasyonunun ve İç Basınçlara Bağlı Olarak Güç Tüketen Bölgeler	25
Şekil 4-3 Vida Devri - Tork İlişkisi	26
Şekil 4-4 Vida Hızı - Sıcaklık İlişkisi	26
Şekil 4-5 Besleme Oranı - Tork İlişkisi	27
Şekil 4-6 Vakum Port ve Vakum Göstergesi	28
Şekil 5-1 Nanjing Çift Vidalı Ekstrüder Vida Dizilimi	29
Şekil 5-2 Nanjing Deteng Çift Vidalı Ekstrüder Vida Dizilimi 2	29
Şekil 5-3 FPV Test Cihazı	30
Şekil 5-4 FPV Makinesi Test Ekranı	31
Şekil 6-1 Değişkenler Arasındaki Korelasyon Matrisi	37
Şekil 6-2 Özelliklerin FPV Test Sonucuna Etkisi	37

Şekil 6-3 Özelliklerin Eriyik Sıcaklığına Etkisi	38
Şekil 6-4 Vida Hızı-Besleme ile Tork Korelasyonu	39
Şekil 6-5 Tork ile FPV Test Sonucu İlişkisi.....	40
Şekil 6-6 Eriyik Sıcaklık ile FPV Test Sonucu Korelasyonu	41
Şekil 6-7 Gerçek vs Tahmin Edilen FPV Değerleri(Karar Ağacı).....	42
Şekil 6-8 Tahmin Veri Seti.....	43
Şekil 6-9 Gerçek vs Tahmin Edilen Tork Değerleri	43
Şekil 6-10 Gerçek vs Tahmin Edilen Eriyik Sıcaklık Değerleri	44
Şekil 6-11 Tahmin Veri Seti Sonucu	44



TABLO LİSTESİ

<u>Tablo</u>	<u>Sayfa</u>
Tablo 5-1 Üretim Parametreleri.....	32
Tablo 5-2 FPV Test Sonuçları	33



SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ

Kisaltmalar	Açıklama
PE	: Polietilen
PP	: Polipropilen
PVC	: PolivinilKlorür
PS	: Polistiren
PC	: Policarbonat
PPRC	: Polipropilen Random Copolimer
PET	: Polietilen Tereftalat
FPV	: Film Pulling Velocity
T	: Tork
S.O.	: Sıkıştırma Oranı
L	: Lenght
D	: Diameter
IEC	: International Electrotechnical Commission
IE1	: Standard Efficiency
IE2	: High Efficiency
IE3	: Premium Efficiency
IE4	: Super Premium Efficiency
HP	: Horsepower
RPM	: Revolutions Per Minute
CaCO ₃	: Kalsiyum Karbonat
UV	: Ultraviolet

1. GİRİŞ

Dünya genelinde geniş bir pazara sahip olan ve son zamanlarda ülkemizde hızla gelişmekte olan ve büyük bir pazara sahip olan plastik sektöründe üretim prosesinin girdi ve çıktılarını doğrudan tahmin etmek, simülasyonunu sağlamak ve şirketlerin üretim süreci öncesinde, girdilerin ve çıktıların üretim prosesine etkisini, yaşanacak fire kaybını ön görmek mevcut koşullar kapsamında mümkün değildir. Makine parametreleri dışında üretim prosesine doğrudan etki eden proses iyileştirici hammaddeler bulunmaktadır.

Plastik ekstrüzyon prosesinde kullanılan ekstrüder makinalarının motor tork değeri, motor akımı, hammadde eriyik sıcaklığı, hammadde eriyik basıncı, yardımcı ekipman vakum basıncı ve spesifik enerji gibi sensörler yardımıyla kullanıcıya sunmuş olduğu çıktılar mevcuttur. Bu çıktılara doğrudan ve dolaylı yoldan etki edebilen proses iyileştirici hammaddelerin yanı sıra makine parametresi olduğu gibi makine seçimi, vida dizaynı, ön işlem olarak yapılan mikserleme işleminin sıcaklığı, mikser motor devri, mikser motor akımı, akıllı dozajlama vida devirleri gibi çıktıların yanı sıra mühendislik hesaplamaları da oldukça önemlidir.

Üretim sonrasında, kalite standartlarının sağlanamaması ve fire kaybı gibi öngörülemeyen sonuçlarla karşılaşılması üretimde ürünün tekrar makine içerisinden geçerek ekstra enerji maliyetine neden olmaktadır. Ürünün makine içerisinden tekrar geçmesi polimer yapısına zarar verdiği gibi üretim planlamasında zaman kaybına ve aksamalara da yol açmaktadır. Bu nedenle bu tez kapsamında plastik ekstrüzyon prosesine etki eden tüm etkenler laboratuvar ortamında gerçek test cihazları ile test edilerek çıkan sonuçların yapay zekaya öğretilerek üretim prosesinin sanal ortamda simüle edilerek makine parametreleri, hammadde ve vida dizaynı gibi girdilerin ürünün kalitesine ve üretim prosesine etkilerinin incelenerek üretim öncesi analiz edilmesine imkan sağlaması amaçlanmaktadır.

Böylelikle üretim esnasında yaşanabilecek dalgalanmalar, kalite sorunları, fire kayıpları, dispersiyon sonuçları gibi çıktıları önceden tahmin edebilir ve reçete bazında, bölge sıcaklıklarında, motor hızında, besleme oranında ve vida tasarımı yapay zekanın vermiş olduğu çıktılara göre iyileştirmeler ve değişikliklerin yapılarak simülasyon edilmesi amaçlanmaktadır.

Bu tez kapsamında tasarlanacak yapay zeka modelinin doğru bir öngörü ile çalışması durumunda üretim denemelerinde optimum proses parametrelerini elde etmek için üretim

aşamasında tekrar tekrar parametre değışimleri yapmak yerine yapay zeka modelinin belirlediğı en iyi proses parametreleri ile ürün ve zaman kaybının önüne geçilecektir. Ürün, enerji ve zaman kaybının önüne gelişmesi doğrudan üretim maliyetini azaltacağı için şirketlerin satış karlılıklarının artmasının ve satış fiyatlarında daha fazla esneklik sağlamasına yol açacaktır.

Bu tez çalışması kapsamında geliştirilen modelde, üretim tesislerinde gerçekleştirilen üretim parametreleri ve kalite sonuçlarının devamlı olarak veri setine dahil edilmesi ilerleyen süreçte modelin ürettiğı parametrelerin doğruluğunu ve üretim verimliliğini doğrudan etkileyecektir.

Bu tez çalışması plastik ekstrüzyon üretimlerinde yapılacak yeni çalışmalar konusunda bir devrim niteliğinde olarak yapay zekanın üretim sektöründe de verimliliğı arttırdığı ve yapay zeka ile iş kayıpların önüne geçileceğini kanıtlamaktadır. Gelecekte yapılacak yeni çalışmalar ile birlikte geliştirilen yapay zeka modelinin anlık olarak makine parametrelerinin kontrolü için kullanılması ve büyük bir plastik ekstrüzyon kütüphanesi halini alması amaçlanmaktadır.

2. PLASTİK EKSTRÜZYON PROSESİNİN TEMELERİ

Ekstrüzyon, genellikle sıvı veya erimiş bir malzemenin bir kalıptan veya şekil verici bir delikten geçirilerek belirli bir şekil veya form kazandırılmasını sağlama sürecine verilen isimdir. Bu süreç, birçok farklı endüstri alanında kullanılan yaygın bir üretim yöntemidir. Plastik ekstrüzyon gibi belirli bir türdeki ekstrüzyon sürecinde, termoplastik plastik granüller karıştırılarak homojen bir karışım elde edilir. Daha sonra bu plastik karışım, bir ekstrüzyon makinesinin içinden geçirilir ve bu makinede bulunan kalıp ile şekillendirilir. Son olarak, soğutma ve kesme işlemleriyle istenilen form elde edilir.

Ekstrüzyon prosesinin kullanım alanları oldukça geniştir. Plastik endüstrisinde sıkça kullanıldığı gibi, metal, gıda, ilaç, kauçuk gibi birçok sektörde de kullanılır. Ekstrüzyon süreci, genellikle yüksek hacimli üretimlerde verimli ve ekonomik bir seçenek olmasıyla dikkat çeker. Ayrıca, çeşitli malzemelerin farklı şekillerde ve formlarda üretimini sağlamasıyla da endüstride yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir.

İlk ekstrüzyon makinesi 1797 tarihinde Joseph Bramah tarafından İngiltere’de icat edilmiştir. Bramah icat etmiş olduğu bu ekstrüzyon makinesini dikişsiz kurşun boru imalatında kullanmıştır. Richard Brooman 1845 yılında ekstrüzyon prosesini projelendirerek iplik imal eden bir ekstrüder makinesinin patentini almıştır. 1939 yılında Paul Troester günümüzde yaygın olarak kullanılmaya devam edilen tek vidalı ekstrüderleri tasarlamıştır.

Çift vidalı ekstrüderlerin kullanımı ile birlikte hem polimerlerin üretimlerinin kolay oluşu hem maliyetlerinin düşük olması ve hem de iyi kimyasal ve fiziksel özellikleri karşılarken hafif oluşları nedeniyle çok büyük bir plastik ekstrüzyon sektörünün oluşmasına neden olmuştur [1].

2.1 PLASTİK EKSTRÜZYON PROSESİNDE KULLANILACAK HAMMADDELER

İlk adım, kullanılacak ham maddenin hazırlanmasıdır. Bu ham madde genellikle plastik granüller ve katkı malzemeleridir. Bu malzemeler öncelikle kurutulabilir çünkü nem içeriklerinin düşük olması önemlidir. Ayrıca, istenirse renklendirici veya katkı maddeleri de bu aşamada karıştırılabilir.

2.1.1 Polimerler

Polimer kelimesi, latince birçok demek olan “poly” ve tekrarlayan birimler demek olan “mer” kelimelerinin birleşimidir [2]. Polimer terimi, yapı kimyasalları endüstrisinde genellikle plastik ve reçine terimleriyle eş anlamlı olarak kullanılır. Genelde polimerler reaktör adı verilen üretim tesislerinde polimerizasyon yöntemi ile elde edilirler [3]. Polimerler, günlük yaşamda sıkça kullanılan ev eşyalarında, kıyafetlerde, çocuk oyuncaklarında ve yalıtım amaçlı üretilen inşaat malzemelerinde bulunur.

Polimerler, molekülleri uzun, tekrar eden zincirler halinde birbirine geçmiş kimyasal bir bileşiktir. Polimerler, yapıları nedeniyle farklı kullanımlar için uygulanabilir ve çok farklı özelliklere sahiptirler [4]. Polimerler doğal ve sentetik olmak üzere iki gruba ayrılır [5]. Örnek vermek gerekirse kauçuk binlerce yıldır var olan ve kullanılan doğal polimerik malzemelerden biridir. Doğanın yaratmış olduğu moleküler polimer zincirinin sonuçlarından biri olarak mükemmel elastik niteliklere sahiptir.

2.1.1.1 Polimer Çeşitleri

1. Termoplastik polimerler, ısı uygulandığında yumuşar ve tekrar şekillendirilebilir. Isı uygulamasıyla moleküler yapıları arasındaki kuvvetler zayıflar ve bu da polimerin şekil değiştirmesine olanak tanır. Termoplastik polimerler genellikle geri dönüştürülebilir ve birçok kez yeniden işlenebilir. Örnekler arasında polietilen (PE), polipropilen (PP), polivinil klorür (PVC), polistiren (PS) ve polikarbonat (PC) bulunur.
2. Termoset polimerler, ısı uygulandığında kalıcı bir şekilde sertleşir ve yeniden şekillendirilemez. Termoset polimerlerin moleküler yapıları, ısı uygulandığında çapraz bağlar oluşturarak daha stabil hale gelir. Bu nedenle, termoset polimerlerin bir kez şekillendirilmesi ve sertleştirilmesi ardından geri dönüştürülmeleri veya yeniden işlenmeleri zordur. Örnekler arasında epoksi reçineler, fenol formaldehit reçineleri ve polyester reçineler bulunur.
3. Elastomer polimerler, yüksek derecede esnek ve elastik özelliklere sahiptir. Moleküler yapıları, gerilme veya deformasyon durumunda geri dönüş yapabilen uzun zincirlerden oluşur. Elastomerler, çeşitli uygulamalarda kullanılan kauçuk gibi malzemeleri içerir. Örnekler arasında kauçuk, silikon elastomerler ve poliüretanlar bulunur.

2.1.1.2 Polimerlerin Genel Özellikleri

1. Esneklik ve Mukavemet: Polimerler, moleküler yapılarındaki uzun zincirler nedeniyle esneklik ve mukavemet özellikleri gösterirler. Bu özellikler, malzemenin dayanıklılığını ve şekillendirilebilirliğini belirler.
2. Düşük Yoğunluk: Polimerler genellikle düşük yoğunluklu malzemelerdir, bu da onları hafif ve taşınabilir kılar. Özellikle ambalaj endüstrisinde tercih edilirler.
3. Kimyasal Direnç: Bazı polimerler kimyasal maddelere karşı dirençlidir. Bu özellik, çeşitli endüstrilerde kullanıldıklarında dayanıklılıklarını artırır.
4. Termal İletkenlik: Bazı polimerler iyi bir termal yalıtkan olabilirken, bazıları ise iyi bir termal iletkenlik gösterebilir. Bu özellik, polimerin kullanım alanına göre önemli bir faktördür.
5. Elektriksel Özellikler: Polimerlerin elektriksel iletkenlik özellikleri değişebilir. Bazıları yalıtandır, bazıları ise yarı iletken veya iletken olabilir.
6. Renklenme Özellikleri: Polimerler genellikle doğal olarak şeffaftır veya beyaz renklidir. Ancak, renklendiriciler eklenerek istenilen renge sahip olmaları sağlanabilir.
7. Gerilme ve Kopma Dayanımı: Polimerlerin gerilme ve kopma dayanımı, malzemenin dayanıklılığı ve yüksek basınç veya gerilme koşullarında nasıl davrandığını belirler.
8. Gerilme Modülü: Polimerlerin elastik özellikleri, gerilme modülü olarak bilinir. Bu modül, malzemenin elastik deformasyon özelliklerini ifade eder.
9. Biyo-uyumluluk: Bazı özel polimerler, biyo-uyumluluk özelliği gösterebilir. Bu özellik, tıbbi implantlar gibi uygulamalarda önemlidir.

2.1.2 Dolgu Malzemeleri

Plastik malzemelere ekstra dayanıklılık, sertlik veya hafiflik kazandırmak için dolgu malzemeleri kullanılabilir [6]. Örnek olarak cam elyaf, karbon elyaf veya talk gibi malzemeler verilebilir.

2.1.2.1 Talk

Saf talk şu anda bilinen en yumuşak malzemedir. Talkın, 1 ile 10 arasında değişim gösteren Mohs sertlik skalasında, talkın sertlik değeri 1'dir [2]. Doğal talkın rengi bulunduğu madene göre

değişkenlik göstermektedir. Talk bulunduğu madene göre beyaz, gri, sarı, mat avı, mat yeşil olabilmektedir. Talk, karakteristik gümüş ya da inciye benzeyen parlaklığa sahiptir. Aynı zamanda, öğütmeden sonra tüm talklar parlaklığına bağlı olarak beyaz ile gri arasında renk alabilirler. Plastik ekstrüzyon prosesinde dolgu malzemesi olarak kullanılan talk, genelde gri ve beyaz renk arasında bir renge sahiptir.

Talk dolgu malzemesi olarak kullanıldığında rijitliği ve yüksek sıcaklıktaki sürtünme dayanımı sağlamayan bir malzemedir. Talk dolgulu plastik malzemelerin en önemli kullanım alanlarından biri otomotiv ve beyaz eşya uygulamaları olmaktadır.

Talkın diğer avantajları ise bitmiş parçada iyi yüzey kalitesi, düşük kalıp çekmesi ve talkın akış kabiliyetini arttırıcı etkisi nedeniyle prosesi kolaylaştırmasıdır. Otomotiv endüstrisinde talk dolgulu polipropilenin tipik uygulamaları fan gövdesi, ısıtıcı gövdesi ve kanatları, akü ısı kalkanı ve yakıt pompası parçalarıdır. Beyaz eşya sektöründe ise standart uygulamalara örnek vermek gerekirse buzdolabı içi parçaları, ısıtıcı ve vakum pompaları gövdeleri, çamaşır makinesi karıştırıcısı verilebilir [7].

2.1.2.2 CaCO_3 (Kalsit)

Kalsiyum karbonat (CaCO_3), doğada farklı şekillerde kristal halde bulunan cama benzer parlaklıkta ve renksiz saydam yapıdadır. Kalsiyum karbonat kolay öğütülür ve öğütme sonrası rengi beyazdır. Yeryüzünde en bol bulunan minerallerden biridir ve son derece kararludur.

Plastik ekstrüzyon prosesinde en yaygın olarak saflaştırılmış ve ince öğütülmüş kalsiyum karbonat çeşidi katkı malzemesi olarak kullanılmaktadır. İnce öğütülmüş kalsiyum karbonat, plastiklerin bozulmasını azaltmak ve mekanik dayanımını arttırmak için kimyasal ve fiziksel yollarla, demir ve silikanın kalıntılarından arındırılmasında ve aynı zamanda yüksek dolgulu plastik karışımlarda iyi fizikler özellikler sağlaması amacıyla yeterince ince öğütülmüştür. Kalsiyum karbonat, sağladığı fiziksel özelliklerin yanı sıra plastik ekstrüzyon teknolojisinde maliyeti azaltmak amacıyla da dolgu malzemesi olarak kullanılmaktadır. Kalsiyum karbonat, plastik ekstrüzyon prosesinde beyaz rengi aynı zamanda kolay öğütülebilen bir madde olduğu için dolgu amaçlı tercih edilmektedir.

Kaplı kalsiyum karbonat hem doğal hem de çöktürülmüş birkaç çeşit incelikteki üründe mevcuttur ve hemen hemen ticari olarak bulunabilen tüm ürünler stearik asit ve kalsiyum stearat ile kaplanır. Kaplama birçok reçinede dolgu dağılımının iyileşmesinde, reolojik ve fiziksel özelliklerin düzelmesine ve artmasına yol açar [8].

2.1.2.3 Cam Elyaf

İçi boş ve dolu olarak bulunabilen cam küreler genel olarak reçine sistemlerinde kullanılır. Reçine ve parçacık bağlarını güçlendirmek için küresel dolgu maddeleri genellikle yüzey işlemeli olarak kullanılabilirler. Ayrıca iletken dolgu maddesi olarak kullanılan metal bağlı cam elyaf tipleri de bulunmaktadır. Cam küreler, termoplastik ve termoset karışımlar içinde dolgu maddesi olarak kullanılabilirler [9].

Cam elyaf, plastik ekstrüzyon prosesinde genellikle çekme kuvveti ve eğme dayanımı gibi mekanik özelliklerde iyileştirme sağlar. Ayrıca cam elyaf düşük özgül ağırlığı nedeniyle, akışkanlıkta büyük bir artış meydana getirmediği için yüksek bir dolgu maddesi olarak kullanılmaktadır.

Cam elyaf, sağladığı mekanik özellikler sayesinde özellikle beyaz eşya ve boru imalatı teknolojilerinde sıklıkla dolgu malzemesi olarak tercih edilmektedir.

2.1.3 Katkı Malzemeleri

Plastik ekstrüzyonunda kullanılan katkı malzemeleri, plastik ürünlere özellik kazandırmak, performanslarını artırmak veya üretim süreçlerini iyileştirmek amacıyla kullanılan çeşitli maddelerdir.

2.1.3.1 Renklendiriciler

Plastik ürünlere istenilen renkte bir görünüm kazandırmak için kullanılır. Pigmentler veya organik boyalar renklendirici olarak kullanılabilir. Plastik boyayan maddeler, pigmentler ve boyalar olmak üzere iki sınıfa ayrılır. Pigmentler, bulundukları ortamda çözünmeyen maddelerdir. Pigmentler, plastiklerde dağılarak şeffaf ve opak renk verir. Boyalar maddeler ise

pigmentlerin aksine sadece şeffaftır, ışığı emer ve dağıtır. Bunu farklılığın temel sebebi, boyalar ile pigmentlerin partikül büyüklüklerinin birbirinden farklı boyutlarda olmasıdır.

Pigment partikülleri boyalara göre daha büyük olur, ışığı kırar ve ayırır. Bu nedenle pigmentler, boyaların sağladığı yüksek şeffaflığı sağlayamazlar. Renk verici olarak kullanılan pigmentler organik ya da inorganik olabilir. İnorganik pigmentler özgül ağırlığı yüksek, partikül boyutları büyük ama yüzey alanları boyalara göre daha az olan maddelerdir. Renklendirici kullanım oranları kadar kendi özelliği kadar ve plastik türüne bağlı olmakla birlikte değişiklik göstermektedir. Genel kullanım oranı sıvı olanlar için oran %0.5 ile %1 arasında, toz ham madde halindekiler için de genellikle bu oran %0.1 ile %0.25 arasındadır.

2.1.3.2 UV Stabilizatörleri

Plastik ürünlerin UV ışınlarına karşı dayanıklılığını artırmak için kullanılır. Bu sayede malzemelerin renk solması veya bozulması engellenir.

2.1.3.3 Antioksidanlar

Plastik malzemelerde polimer yapısının, oksijen ve ışıma etkileri ile zarar görmesini önlemek için antioksidan maddeler kullanılır. Bu maddeler, doğrudan oksijeni bağlar ya da polimer ile bir ürün üreterek oksitlenmeyi önler. Antioksidanlar, hammadde karışımı sırasında reçete içerisinde yer almaktadır. Fakat, enjeksiyon makinelerinde, plastik granülden ürün elde edilirken de granüller arasına belirli bir oranda katılması yöntemiyle de kullanılmaktadır. Antioksidanların genellikle kullanım oranları %0.1 ile %2.5 arasında değişmektedir.

2.1.3.4 Kaydırıcılar (Lubrikantlar)

Plastik yüzeylerin kayganlığını artırmak ve işleme süreçlerini kolaylaştırmak için kullanılır. Ekstrüzyon işleminde kullanılan makine parçalarının daha pürüzsüz hareket etmesini sağlar. Genelde %0.5 ile %1 oranında kullanılmaktadır. Kaydırıcı maddeler başlıca; alüminyum, çinko, kalsiyum, kurşun, yağ asidi esterleri ve amitlerdir.

2.1.3.5 Alev Geciktiriciler:

Plastiğin yanma hızını azaltmak veya alevin yayılmasını engellemek için kullanılır. Özellikle yangına karşı hassas uygulamalarda tercih edilirler.

2.1.3.6 Antistatik Maddeler

Plastik ekstrüzyon prosesinde ve plastik endüstrisinde, elektrostatik yük üretim ve tüketim aşamalarında bazı sorunlar yaratır. Plastik maddelerin yapışmaya, yanmaya ve hatta patlamaya yol açması gibi durumların önüne geçmek için antistatiklerin kullanılır. Kullanılacak antistatik ham madde plastik maddeler ile mutlaka uyumlu olmalıdır. Antistatik maddeler, plastiklere iki farklı şekilde kazandırılır. İlk yöntem antistatik maddenin doğrudan ekstrüzyon işlemi öncesinde reçete katılması isen iken diğeri yöntem ise granül yüzeyine, yüzeysel olarak antistatik madde püskürtmedir.

2.1.3.7 Çapraz Bağlayıcılar (Cross-Linking Agents)

Çapraz bağlayıcılar, polimerlerin moleküler yapısında çapraz bağlar oluşturan katkı maddelerdir. Bu bağlar, polimer zincirlerini birbirine bağlayarak malzemenin mekanik ve termal özelliklerini gelişmesine katkıda bulunur. Çapraz bağlayıcılar, plastik ekstrüzyon teknolojisinde birçok üretim alanında katkı maddesi olarak kullanılır ve polimerlerin kullanım alanını genişletir.

2.2 BESLEME

Besleme sistemi, hazırlanan ham maddelerin ana giriş ve yan beslemeler yardımıyla belirli oranlarda makine içerisinde yer alan vidaların içerisine itilmesi sağlamaktadır. Besleme sistemleri gravimetrik ve volümetrik sistemler olmak üzere ikiye ayrılırlar.

Gravimetrik sistemler, tartım ile besleme miktarını ayarlarken, volümetrik sistemler ise motor hızını referans alarak hacimsel olarak besleme yapar. Volümetrik dozajlama sistemlerinin öncesinde ürünlerin homojen karışmasını sağlamak adına mikser makineleri kullanılır. Gravimetrik dozajlama sistemlerinde ise hammaddeler ayrı ayrı beslenilerek vida üzerinde gerekli karışım sağlanır.



Şekil 2-1 Monomex Besleme Sistemi [10]

2.3 EKSTRÜDER MAKİNESİ

Plastik malzemelerin aynı boyutta, hassas ölçülerde ve istenilen uzunlukta, kesiksiz yani devamlı olarak elde edilmesini sağlayan makineler ekstrüzyon makineleridir [11]. Bu makineler kısaca ekstrüder olarak adlandırılmaktadır. Ekstrüder plastik hammaddeyi karıştırma, eritme, istenilen basınçla kullanım sağlama işlemini yapan makinedir.

Ekstrüder, basit olarak açıklamak gerekirse bir hareket sağlayıcı motor ve bir vida kovan mekanizmasından oluşur. Vida parçası üzerinde bulunan sarmal vida olukları, döndükçe plastik ham maddeyi belirli bir basınç ile kalıba doğru ilerletilmesini sağlar. Basınç yardımıyla erimiş olan malzeme kalıptan geçirilir ve istenilen şekil elde edilir.



Şekil 2-2 Monomex Ekstrüder Makinesi [10]

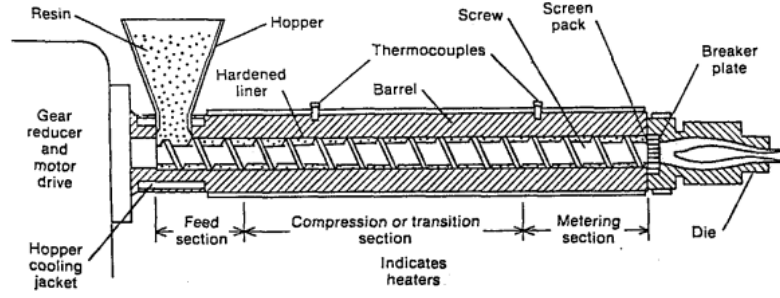
2.3.1 Tek Vidalı Ekstrüder

Tek vidalı ekstrüderler, plastik ekstrüzyon endüstrisinde özellikle geri dönüşüm sektöründe yaygın olarak kullanılan ekstrüder tipidir [12]. Tek vidalı ekstrüderlerin, çift vidalı ekstrüderlere göre önemli avantajları; maliyetlerinin daha düşük olması, dizaynlarının daha basit ve performans/maliyet oranlarının yüksek olmasıdır. Tek vidalı bir ekstrüder, ısıtıcılarla donatılmış olan kovanın içerisinde yer alan sonsuz bir vidaya sahiptir. Tek vidalı bir ekstrüder makinesi, ısıtıcılar ile donatılmış olan kovanın içerisinde yer alan sonsuz bir vidaya sahiptir.

Birçok ekstrüderde ısıtma sisteminin yanı sıra soğutma sistemi de yer alır. Kovanın ilk bölgesinde ham madde besleme boğazı ve bu boğazın üzerinde de bir huni bulunur. İşlenecek olan plastik ham madde, besleme hunisi aracılığıyla makineye beslenir. Bu besleme hunisi, ekstrüderde işlenecek olan plastik ham maddenin düzenli olarak beslenmesini sağlar. Plastik ekstrüzyon prosesinde kullanılan tüm malzemeler serbestçe akma eğiliminde değildir. Bundan dolayı da huni genellikle bir konveyör veya bir karıştırıcı mil ile donatılır. Hammadde besleme boğazı, plastik malzemenin işlenmesi sırasında eriyip bu bölgeye yapışmasını engellemek için sürekli olarak soğutulur ve giriş bölgesinde ısıtıcı rezistanslar yer almaz.

Ekstrüder makinesi içerisinde yer alan vida, ekstrüderlerin arka kısmında bulunan bir elektrik motoru ile şanzıman tahrik edilir ve şanzıman motorun dönme hareketini vida shaftına aktarır. Ancak bu motorun dönme hızı, şanzıman (dişli kutusu) yardımıyla düşürülür ve torku artırılarak vida shaftına aktarılır. Ekstrüzyon prosesinde ürün kalitesini iyileştirmek adına yüksek tork sağlayacak şanzıman (dişli kutusu) ve motorlar tercih edilir [13].

Besleme hunisinden aşağıya inerek ekstrüder kovanının giriş bölümü dediğimiz besleme boğazına gelir ve malzeme vidanın dönmesi sonucu oluşan sürtünme kuvvetlerinin etkisiyle vida boyunca kafa kısmında bulunan kalıba doğru taşınır. Ekstrüderin içinde ilerleyen malzeme; polimer-vida-kovan üçlüsü arasında oluşan sürtünme kuvvetinin ortaya çıkardığı ısının ve kovan etrafında bulunan rezistansların da sağladığı ısı yardımıyla ısıtılır ve eriyik hale geçmeye başlar. Ekstrüzyon edilen malzemenin sıcaklığı eriyik sıcaklığına geldiği zaman, kovan iç yüzeyinde eriyik malzeme oluşur. Bu andan itibaren ekstrüzyon edilen malzemenin bitmiş ürün kalitesi tamamıyla vida dizaynına ve makine parametrelerine bağlı olarak değişmektedir.



Şekil 2-3 Tek Vidalı Ekstrüder [14]

2.3.2 Çift Vidalı Ekstrüder

Çift vidalı ekstrüder makineleri, tarihte ilk olarak 1930’lu yıllarda kullanılmaya başlanmıştır. Çift vidalı ekstrüderlerin üretim aşamalarında kullanılmasının ardından bazı sorunlar ile karşılaşmaya başlandı. Bu sorunların başında ise vida üzerindeki kuvvetleri karşılayan rulmanların aksel ve radyal yüklere karşı yeterince dayanıklı olmamalarıydı. 1960’lı yılların sonlarında ise özel olarak tasarlanan rulmanlar sayesinde çift vidalı ekstrüder makineleri mekanik açıdan yeterli bir seviyeye gelmiştir. Günümüzde ise çift vidalı ekstrüderler, plastik ekstrüzyon endüstrisinde özellikle geniş kullanım alanları ve işlevleri bakımından çok önemli bir konumdadır.

Çift vidalı ekstrüder makinelerinin, en önemli iki uygulama alanı termal açıdan hassas olan termoplastiklerin ekstrüze edilmesi ve kompaund malzeme üretimi gibi özel üretim yöntemleridir. İşlenecek plastik malzemeye ve üretim prosesine bağlı olarak geliştirilmiş birçok farklı tipte ve özellikle çift vidalı ekstrüder makinesi bulunmaktadır. Çift vidalı ekstrüder makineleri genel olarak eş dönüşlü ve zıt dönüşlü olmak üzere ikiye ayrılır [15].

Zıt dönüşlü olan ekstrüder vidalarının eksenleri genellikle birbirine paraleldir. Bu tip bir ekstrüder makinesi “paralel çift vidalı ekstrüder” olarak tanımlanır. Fakat vida eksenleri paralel olmayan ve arasında belirli bir açıyla konumlandırılan ekstrüder tipleri mevcuttur. Bu tipteki ekstrüder makinelerinin vida çapı, besleme kısmından kalıp kısmına doğru belirli bir konik açıyla gittikçe küçülür. Bu tipteki ekstrüder makineleri, “konik çift vidalı ekstrüder” olarak tanımlanır.

Çift vidalı ekstrüder makinelerinin, tek vidalı ekstrüder makinelerine göre sunduğu avantajlar ve üretim kolaylıkları daha fazladır. Çift vidalı ekstrüderler, plastik, dolgu ve katkı

malzemelerini vida boyunca daha homojen karıştırdığı için, kovan ve vida üzerinde ilerlemesi zor olan toz ya da kaygan özelliği olan malzemelerin işlenmesine olanak sağlarlar. Çift vidalı ekstrüder makineleri, üretim esnasında malzemeyi homojen bir şekilde karıştırmaları ve eriyik malzemeye daha iyi ısı transferi sağlamaları sebebiyle, işlenen malzeme karışımının sıcaklık kontrolü de çok daha sağlıklı ve verimli yapılmaktadır. Sıcaklığa karşı aşırı hassas bazı plastik malzemelerin işlenmesinde ise bu özellik büyük önem arz etmektedir.

Çift vidalı ekstrüderler, düşük vida hızı nedeniyle kontrollü bir ısı üretirler ve ekstrüder uzunluğu boyunca sabit veya erime noktasından daha düşük bir sıcaklığa sahip olabilirler ve eriyen polimere gerekli ısıyı sağlamak için termostatlar kullanabilirler [16].

Çift vidalı ekstrüderler ekstrüzyon işlemi sırasında kullanılacak ham maddelerin özelliklerine göre farklı vida dizaynları tasarlanarak daha yüksek verimlilik ve kalite ile üretim yapılmasını sağlamaktadır. Vida dizaynı tasarlanırken kullanılacak malzemenin sertliği ve akışkanlığı vb. özellikleri dikkate alınarak tasarım yapılır. Temel olarak vida elementleri karıştırıcılar ve kırıcılar olmak üzere ikiye ayrılır.

Karıştırıcı tipteki vida elementleri farklı partiküllerin karışımlarını homojenleştirmek için kullanılan en önemli elementlerdir. Karıştırıcı bölgesine giren termoplastikler bir sonraki bölgeye ulaştığında daha homojen bir yapıya sahip olurlar. Kırıcılar, karışımın partikül büyüklüğünü azaltmak için kullanılan vida elementleridir. Bu kırıcı vidaların bulunduğu bölgeye giren termoplastikler daha küçük partikül yapısına ulaşırlar.



Şekil 2-4 Çift Vidalı Ekstrüder Çıkışı [10]

2.4 SOĞUTMA İŞLEMİ

Ekstrüzyon kalıbında şekillendirilen ve hala yumuşak olan eriyik malzemeye son şekli verilmek üzere soğutma havuzuna alınır [17].



Şekil 2-5 Eriyik Malzemenin Soğutma Havuzuna Girişi

2.5 KESİM İŞLEMİ

Havuzdan çıkan ıslak malzeme son kez kurutma ünitesinde kurutulduktan sonra kesme işlemi için granül kesme makinesine(granülatör) gönderilir. Kesme makinesi sayesinde belirli bir çap ve uzunluklarda kesilerek granüller oluşturulur [18].



Şekil 2-6 Granül Kesme Makinesi [10]

Granüller döner merdane yardımı ile sabit bıçak üzerinden döner bıçağa doğru iletilir. Sabit bıçak ile döner bıçak arasında kalan granüller kesilerek istenilen boyut elde edilir. Granül boyutunu değiştirmek için döner bıçağın motor hızı azaltılır veya arttırılır.



Şekil 2-7 Granül Kesim Makinesi Bıçakları [10]

Kesim işlemi sonucunda elde edilen bu granüller, kesim sisteminin sonunda bulunan gövdeye bağlı titreşim motorları sayesinde hareket ettirilen, elek üzerinde yer alan delikli sac üzerinden geçirilerek istenmeyen yabancı madde ve farklı boyutlu granüllerden ayıklanır. İstenilen boyutta olan granüller paketlenir ve farklı boyutlu granüller ise tekrardan ekstrüder makinesinden geçirilerek ekstrüzyon edilir. Bu sayede üretim sonucunda ortaya çıkan hatalı ürün oranı azaltılmış olur.

3. EKSTRÜDER MAKİNESİ BİLEŞENLERİ

3.1 MOTOR

Gelişen motor teknolojisi ile birlikte, birçok sektörde olduğu gibi plastik ekstrüzyon sektöründe de enerji verimliliğini en üst seviyeye taşımaktadır. Ekstrüder üreticileri, enerji verimliliğini ve güç kapasitesini en yüksek seviyelere taşıyabilmek adına ekstrüder ana motorlarında, Uluslararası Elektroteknik Komisyonu (IEC) tarafından belirlenen IE1, IE2, IE3 ve IE4 verimlilik sınıfları arasından en yüksek verimliliğe sahip IE4 sınıfına ait motorları tercih etmektedir.

3.2 ŞANZIMAN

Ekstrüder makinelerinde şanzıman, motor gücünü vida ya da vidalara aktararak gerekli tork ve hız dengesini sağlayan önemli bir bileşendir [19]. Ekstrüder makinelerinde motor gücünü kontrol edip doğru bir şekilde vidaya aktararak, makinenin verimli ve kaliteli bir şekilde çalışmasını sağlar.



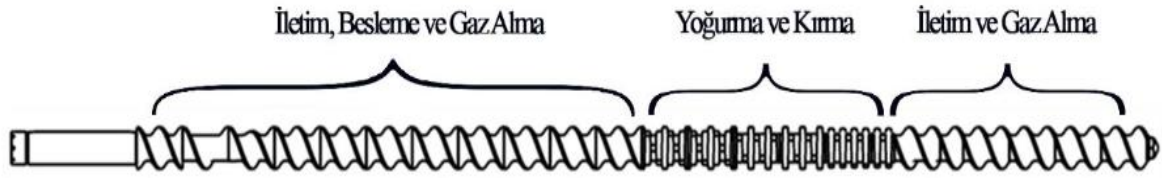
Şekil 3-1 Nanjing Firmasına Ait Örnek Şanzıman

3.3 ŞAFT

Ekstrüzyon makinelerinde şaft, ekstrüder vidalarının üzerine dizildiği şanzımandan yardımı ile aktarılan dönme hareketini vida boyunca aktaran ana bileşendir. Şaft genellikle yüksek sıcaklıklara, yüksek dönme hızına ve basınca karşı dirençleri malzemelerden üretilir.

3.4 EKSTRÜDER VIDALARI

Ekstrüzyon vidaları çok işlevli aygıtlardır. Vida dizaynı temel olarak üç bölgeye ayrılır. Besleme, erime pompalama. Söz konusu üç bölgenin tamamının birbiriyle eş zamanlı olarak çalışması gerekmektedir.



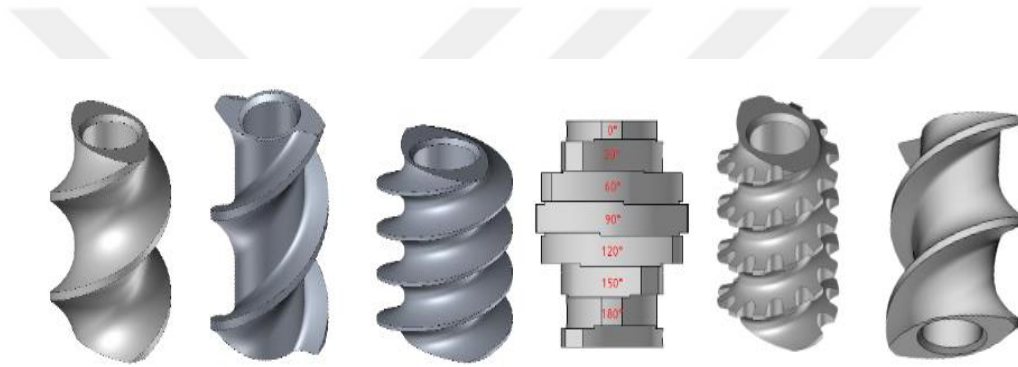
Şekil 3-2 Örnek Vida Dizaynı [20]

Besleme bölgesinin birincil işlevi taşınan besleme boğazının ağızından ve elektrikli olarak ısıtılan kovanda granülleri ilerletmesidir. Taşınan katı malzemelerle ilgili asıl teori materyalin kovana yapışması ve iyi bir akışa sahip olmak amacıyla yönelik olarak vida üzerinde kayması gerektiğidir. Akışın besleme stoğunun uygun bir şekilde kayı malzemeler yatağına sıkıştırılmış olmasını temin etmek için oluşturulması gerekmektedir. Besleme stoğu besleme bölgesinin sonuna yakın dolduğundan dolayı, erimiş bir film gelişmeye başlamakta ve erime süreci başlamaktadır.

Polimer vidanın sıkıştırma bölgesine girdiği zaman, eriyik havuzu hatvenin itiş tarafında gelişmektedir. Polimer erime bölgesine doğru vidanın sivri kısmına yukarıya kademeli olarak geçmeye başladığından ötürü, polimer kovan duvarını zorlamaktadır. Polimer geçişine devam ettiğinden dolayı, katı malzemeler yatağı daha küçük bir hal almakta ve vidanın dozajlama bölgesine girene kadar eriyik havuzu daha fazla büyümektedir. Bu noktada, katı malzemeler yatağı parçalanması meydana gelmekte ve kalan erimemiş her türlü topak hali hazırda erişim polimerlerde dağılmaktadır. Dozajlama bölgesindeki dozajlamanın nihai olarak sonuçlanması

öncelikle geriye kalan erimeyen parçacıklarda erimiş polimerlerde yayılmış sıcaklıkla gerçekleştirilmektedir.

Görevleri ve amaçları birbirinden farklı olarak tasarlanmış vida elementleri bulunmaktadır. Taşıma vidaları, ekstrüder içerisine alınan malzemelerin kalıba doğru akışını düzgün şekilde sağlamakla görevli olan vida elementleridir [21]. Besleme vidaları, ana besleme ve yan besleme girişlerinde, atmosferik gaz çıkışlarında ve mekanik gaz emişi yapılan bölgelerde kullanılır [22]. Helisel yani sarmal yapıya sahip sıkıştırma vida elementleri, eriyik malzemenin iletimini yavaşlatma ihtiyacı olan bölümlerde kullanılır ve homojenliği artırır. Kırıcı vida elementleri ise farklı boyutlardaki malzemelerin aynı sıkıştırılarak aynı tanecik boyutuna indirgenmesini ve en iyi biçimde dağıtılmasını sağlamak için kullanılır [20].



Şekil 3-3 Taşıma Vida Elementi, Besleme Vida Elementi, Sıkıştırma Vida Elementi, Kırıcı Vida Elementi, Karıştırma Vida ve Geçiş Vida Elementi [20]

3.4.1 L/D Oranı

L/D oranı vidanın hatve boyunun, vidanın dış çapına oranı demektir. L/D oranı şu şekilde hesaplanır:

$$L/D \text{ Oranı} = \frac{\text{Vidanın Hatve Boyu}}{\text{Vidanın Dış Çapı}} \quad (1)$$

Ekstrüder makinelerinin seçimlerinde üretimi yapılacak termoplastiklere uygun L/D oranına sahip ekstrüder makinesinin seçilmesi üretim kapasitesini, üretim verimliliğini ve üretim kalitesini doğrudan etkilemektedir.

Kısa L/D Avantajları:

1. Isıya karşı hassas materyalleri erime sıcaklığında daha kısa bir süre tutarak ve bozulma ihtimalini azarlatarak kovanda daha az tutma süresi.
2. Daha az yer kaplama
3. Vidanın gücünü ve motor gücü miktarını daha az önemli kılarak daha az dönme momentini gerekli kılma
4. İlk başta ve daha sonra parça değişimi için daha az maliyet

Uzun L/D Avantajları:

1. Daha yüksek verim için olanak tanır.
2. Vida dizaynı, daha homojen karıştırma için tasarlanabilir.
3. Vida dizaynı, daha yüksek bir basınçta pompalama yapacak şekilde tasarlanabilir.
4. Vida dizaynı, termoplastikler için kovandan daha fazla sıcaklık iletme özelliği ile daha yüksek erime sağlayacak şekilde tasarlanabilir.

3.4.2 Sıkıştırma Oranı

Sıkıştırma oranı, vidanın plastiğe yaptığı basınç ya da sıkıştırma miktarı hakkında bir fikir vermek için kullanılan bir orandır. Amaç, dozajlama kısmındaki bir kanal hacmiyle besleme kısmındaki bir kanal hacmini oranlamaktır. Aslında standart ve basitleştirilmiş olan metot genellikle besleme bölümündeki derinliğin dozajlama bölümündeki derinliği oranlamasıyla hesaplanır:

$$S.O. = \frac{\text{Besleme Derinliği}}{\text{Dozajlama Derinliği}} \quad (2)$$

Elbette eğer besleme ile dozajlama kısımları arasında hatvede herhangi bir değişiklik varsa bu hesaplamalar doğru olmayacaktır.

Kanal derinliğini kullanarak yapılan sıkıştırma oranı hesaplamaları en yaygın kullanılan hesaplama yöntemidir; ancak gerçek basınç hakkında bir fikir verme noktasında en az kesinlik arz eden hesaplamalar olduğu da dikkate alınmalıdır.

Sıkıştırma oranını hesaplamaya yönelik daha keskin bir metot, hacimsel metottur. Bu, göreceli de olsa yakın bir hacim oranı verir; fakat tamamen kesin değildir. Çünkü ön ve arka uçların yarıçaplarının etkisini göz ardı eder.

Hacimsel sıkıştırma oranı her zaman derinlik sıkıştırma oranından daha küçük bir sayıdır. Etki ise daha yüksek basınç oranlarında ve daha küçük vidalarda daha büyüktür.

Sıkıştırma oranı, düşük hacimli ve yoğunluklu erimeyen plastiğe hava boşluğu olmadan katı plastik basıncı uygulamaya yetecek kadar olmalıdır. Çok düşük olan bir basınç, erirken kabarcıkların çıkmasına yol açacaktır. Geri dönüştürülmüş, toz ya da diğer düşük bulk yoğunluğuna sahip malzemelerinin büyük bir kısmına yüksek bir sıkıştırma oranı yardımıyla işlem yapılacaktır. Yüksek bir sıkıştırma oranı, dozajlama kısmına fazla pompalama yapabilir.

3.4.3 Mekanik Koşullar

Vidalar her zaman daha güçlü ve sert bir kovan içerisinde çalışmaktadır. Bunun asıl amacı uzun süreli çalışmalarda ya da makinede oluşacak aksi durumlarda sürtünme nedeniyle aşınmalardan kovanın değil vidanın etkilenmesini sağlamaktır. Bu sebeple yüksek esneme güçlerine tabi değildirler. Kritik mukavemet koşulu torka dirençlidir. Fakat bir vidanın en zayıf yeri en yüksek torka maruz kalan kısmıdır. Söz konusu formül karışımının henüz erimeden sürtünme ve kuvvete maruz kaldığı besleme kısmıdır. Bir vidaya uygulanabilecek maksimum tork bir formül vasıtasıyla hesaplanabilir:

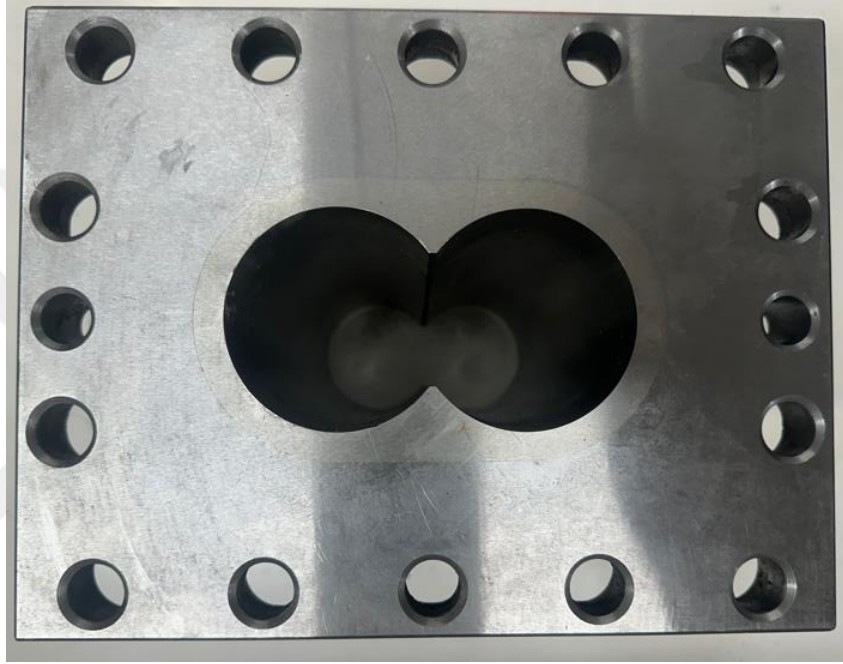
$$T. = \frac{520(HP)}{(RPM)} \quad (3)$$

3.5 EKSTRÜDER KOVANLARI

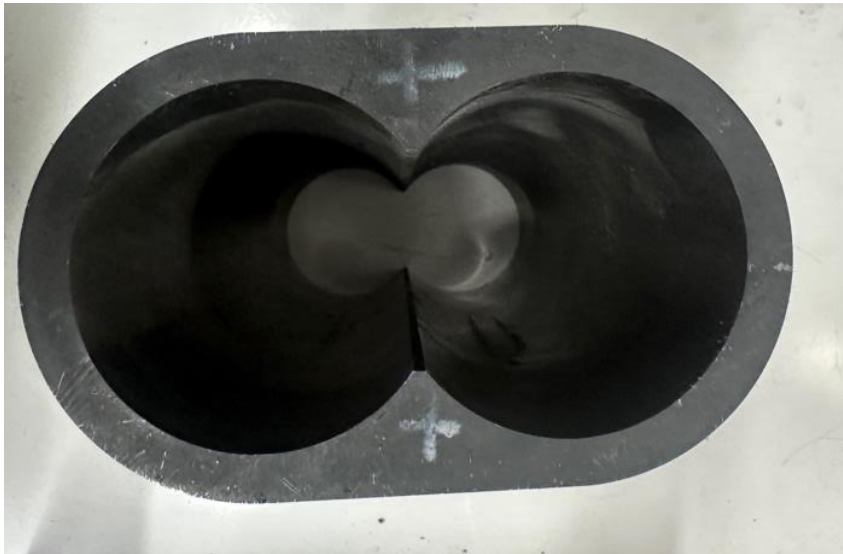
Orijinal ekstrüder kovanları ilk olarak, lastik için kullanılmaktaydı ve nitrasyonlu çelik ya da özel çelik alaşımlardı. İlk olarak ürünlerden biri HC-250'di. Bu oldukça yüksek krom içeriğine sahip tek parçalık bir tasarımdı. Az sayıda kovan bu günlerde nitrasyona tabi tutulmaktadır. Endüstriyel Araştırma Laboratuvarları, 1939 yılında ilk bimetalik kovanları üretti. Söz konusu ürüne Xaloy 100 adı verildi ve kovanın dışındaki bir alaşım çeliğin içine santrifüj döküm yöntemi ile aşınmaya karşı dayanıklı bir malzeme kaplanmasıyla elde edildi.

Günümüz teknolojisinde ekstrüder kovanları genellikle yüksek mukavemetli çelik alaşımlarından üretilir. Bu alaşımların dayanıklılığı ve ısıya karşı direnci, ekstrüzyon sürecinde karşılaşılan yüksek sıcaklık ve basınç koşullarına dayanmalarını sağlar. Ayrıca, bazı özel uygulamalar için kovanların iç yüzeyleri sert metal veya seramik kaplamalarla da kaplanabilir.

Çift vidalı ekstrüder kovanları, yüksek mukavemet, yorulma direnci ve aşınma direnci gerektiren zorlu çalışma koşullarına dayanacak şekilde tasarlanır.



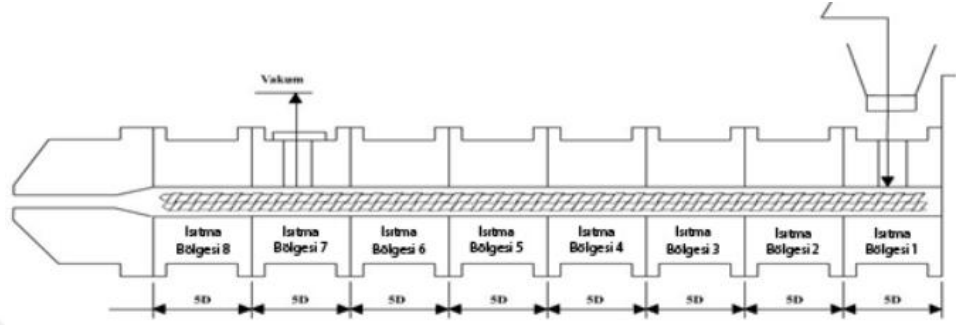
Şekil 3-4 Örnek Ekstrüder Kovanı



Şekil 3-5 Örnek Lineer

3.6 ISITMA VE SOĞUTMA SİSTEMLERİ

Ekstrüder makinesi kovanlar içerisinde veya etrafında yer alan rezistanslar sayesinde ısıtılır. Bu ısıtma ve vida elementlerinin yarattığı sürtünme enerjisi sonucunda makine içerisinden geçen ham madde karışımı eriyik hale getirilir.



Şekil 3-6 Isıtma Bölgesi Gösterimi [23]

3.7 VAKUM SİSTEMİ

Vakum sistemi, vida devri ve besleme oranı ile doğru oranda artırılması sürtünme ve erime sonucunda eriyik malzeme içerisinde oluşan gaz parçacıklarının yok edilmesini sağlar. Üretim aşamasında doğru vakum basıncı ile çalışmak ürünün homojenliğine ve kalitesine doğrudan katkı sağlamaktadır.



Şekil 3-7 Vakum Sistemi

3.8 KALIP (DİE HEAD)

Kalıp (Die Head), ekstrüder makinesini oluşturan son bileşendir. Eriyik malzemenin istenilen çapta ölçülendirilerek şekillendirildiği, ekstrüder makinesinin son bileşenidir. Kalıp üzerinde bulunan deliklerin çapı ve sayısı üretim esnasında oluşan eriyik basıncı etkilemektedir [24].

Üretim aşamasında kullanılacak polimer türüne ve dolgu oranına göre kullanılacak olan kalıp ve delik sayısı doğru basınç değeri için değişmektedir. Doğru kalıp seçimi üretim aşamasında basıncı doğrudan etkilediği için üretim verimliliğini olumlu yönde etkilemektedir [25].



Şekil 3-8 Örnek Kalıp Çıkışı

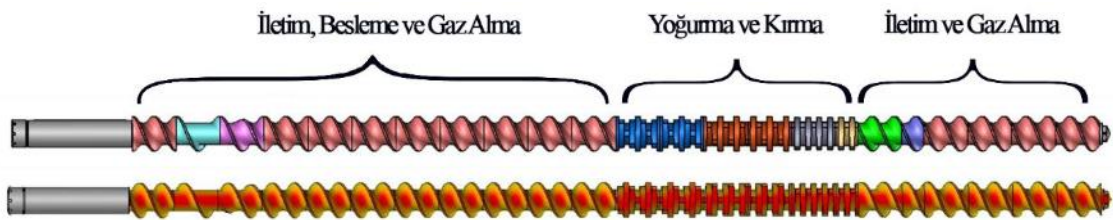
4. MAKİNE PARAMETLERİ VE KONTROL DEĞİŞKENLERİ

Proses Parametre Değişkenleri Plastik ekstrüzyon prosesinde, bağımlı ve bağımsız değişken olmak üzere birçok değişken vardır. Bu parametreler, ürün kalitesini, üretim fire oranını, elektrik tüketimini, üretim kapasitesini ve üretim maliyetini doğrudan etkileyen parametrelerdir. Üretim esnasında en doğru parametre optimizasyonunu sağlamak için öncelikle birbirine bağılı olarak değişim gösteren parametreler bilinmelidir.

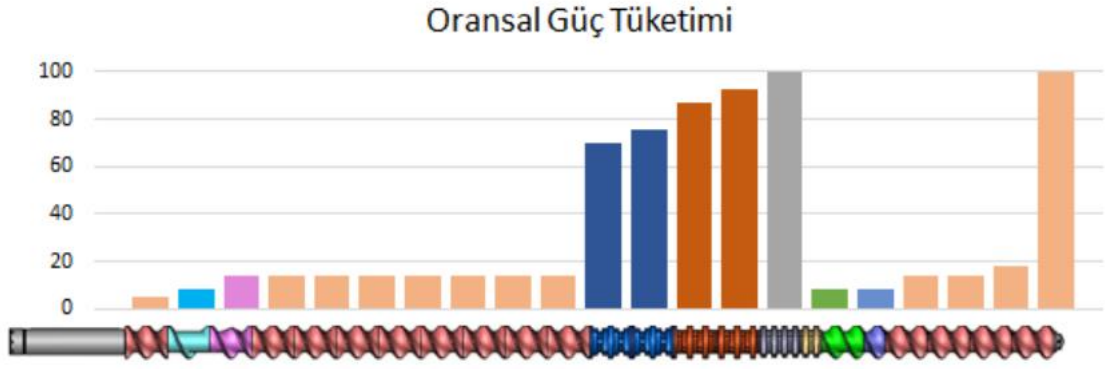
Temel olarak bağımsız olarak optimize edilebilen makine parametreleri, vida devri, bölge sıcaklıkları, besleme hızı ve vakum basıncıdır. Her parametre değişimine bağılı olarak farklı bir parametre çıktısı mevcuttur. Örneğin, vida devrinin arttırılması malzemenin makine içerisinde kaldığı süreyi azalttığı gibi aynı anda eriyik sıcaklığı da etkileyecektir.

4.1 VİDA DİZAYNI

Makine literatüründe, vida boyunun vida çapına oranına L/D oranı adı verilmektedir. L/D oranı ne kadar büyük olur ise vida boyu o kadar uzun, L/D oranı ne kadar küçük olur ise vida boyu o kadar kısa olur. L/D oranı vida dizaynını etkileyen temel koşullardan biridir. Temelde klasik vida dizaynı üç bölgeye ayrılır. Bu bölgeler plastiğin akış yönüne göre sırasıyla; besleme bölgesi, sıkıştırma bölgesi ve dozajlama bölgesi olarak adlandırılır. Vida dizaynı makinenin kapasitesini ve ürünün kalitesini doğrudan etkilemektedir. Vida dizaynı tasarımı yapılırken üretimi yapılacak hammaddelere göre tasarım yapılması oldukça önemlidir. Yoğun kuvvet gerektiren termoplastiklerin üretiminde vida dizaynında yer alan kırıcı elementlerin sayısı artmaktadır. Kırıcı elementlerin sayısının artması karışımda partikül boyutlarını aynı boyuta indirgeyerek karışımı daha homojen bir hale getirir. Fakat kırıcı elementlerin artması demek doğrudan tork değerinin yükselmesi ve aynı zamanda kapasitenin düşmesi demektir.



Şekil 4-1 Kullanılan Vida Tiplerine Bağlı Olarak Kırmızı Alanlar Daha Fazla Tork İhtiyacının Olduğu Bölgeleri Göstermektedir [20]



Şekil 4-2 Çift Vidalı Ekstrüderlerde Vida Konfigürasyonunun ve İç Basınçlara Bağlı Olarak Güç Tüketen Bölgeler [20]

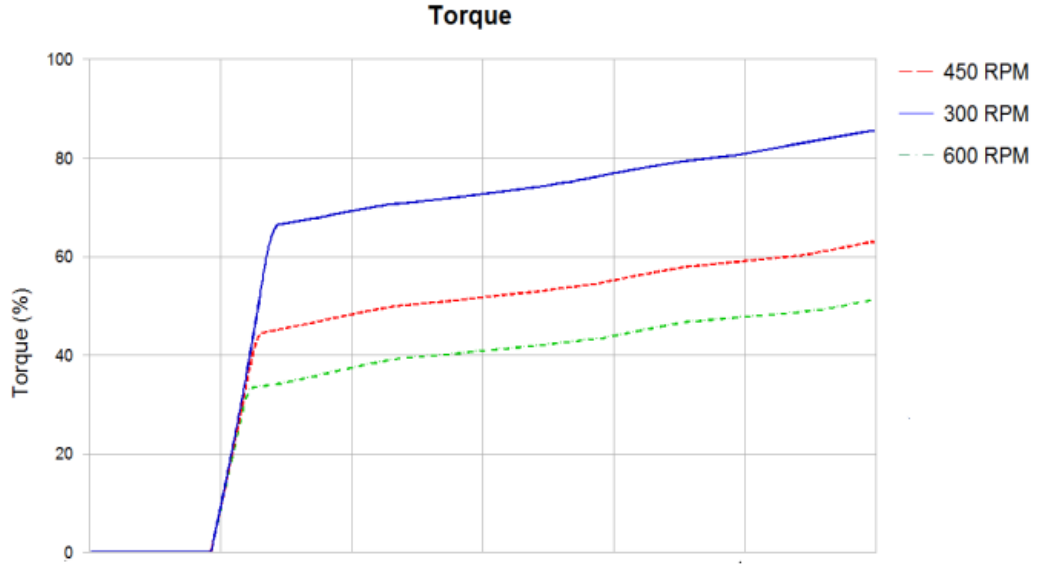
Vida dizaynında kırıcı elementlerin bulunduğu bölgeler eriyik malzemeye en çok sürtünme kuvveti uygulayan ve tork değerini en çok arttıran bölgelerdir. Kırıcı vida elementleri vida dizaynının karıştırma oranını belirleyen ana faktördür. Kırıcı elementlerin sayının artması homojenleri arttırmakta fakat üretim kapasitesini ise ters yönde azaltmaktadır. Bu nedenle yüksek güç gerektiren termoplastiklerin ekstrüzyonunda yüksek karıştırma oranına sahip vida dizaynı tercih edilmektedir.

4.2 VİDA DEVRİ

Vida devri temel olarak vidanın bir dakika içerisinde kaç tur döndüğünü matematiksel olarak rpm cinsinden ifade etmektedir. Vida devrinin ekstrüzyon prosesinde önemi ve yeri çok büyüktür. Makinenin kapasitesini besleme ile birlikte doğrudan belirleyen etkenlerin başında gelir [26].

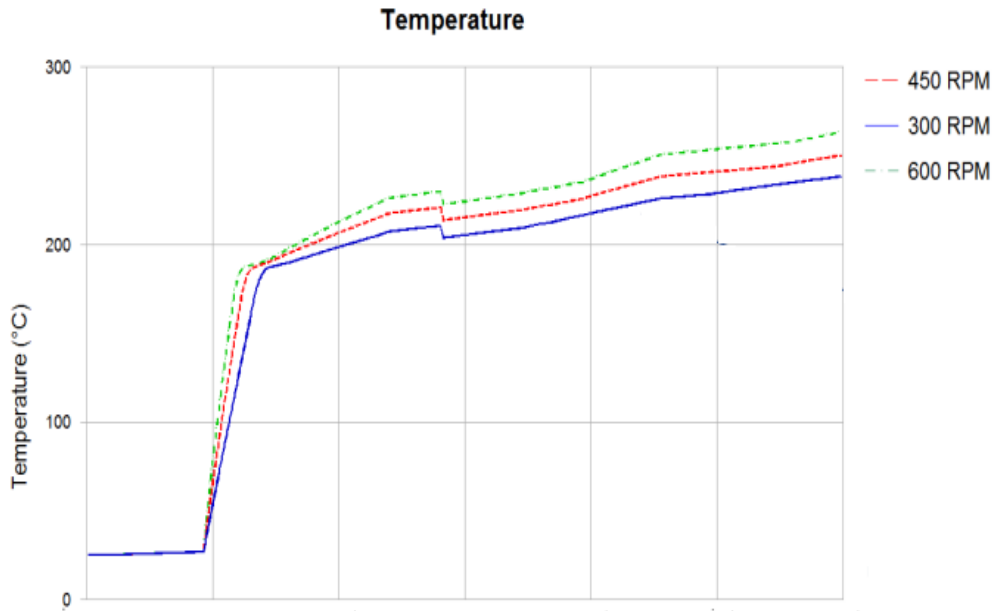
Besleme miktarının sabit tutularak vida devrinin artırılması, makinenin tork değerini doğrudan düşürecektir. Tork değerinin azalması ise vida elementleri ve kovan arasındaki doluluk oranını azaldığının bir göstergesidir.

Vida devrinin artırılması ürünün vida ve kovan arasında bulunduğu süreyi azaltmakta ve tork değerini düşürmektedir. Bu nedenle üretim aşamasında vida devri ile besleme oranı birbirine doğru orantıda azaltılmakta ve arttırılmaktadır [27].



Şekil 4-3 Vida Devri - Tork İlişkisi [27]

Vida devrinin attırılması ürünün daha erken erimesine ve daha iyi karışım sağlanmasına yol açar. Vida devrinin arttırılması ürünün eriyik sıcaklığını düşürecektir. Polimerin eriyik sıcaklığının üzerinde kalarak deforme olmasına engel olacaktır. Aynı oranda besleme kapasitesinde vida devrinin arttırılması üretimin kalitesini ve homojenliğini artırır [27].



Şekil 4-4 Vida Hızı - Sıcaklık İlişkisi [27]

Sabit besleme oranında, vida devrinin arttırılması eriyik malzemenin makine içerisinde kaldığı süreyi azalttığı için eriyik sıcaklığı azaltmasına sebep olmaktadır.

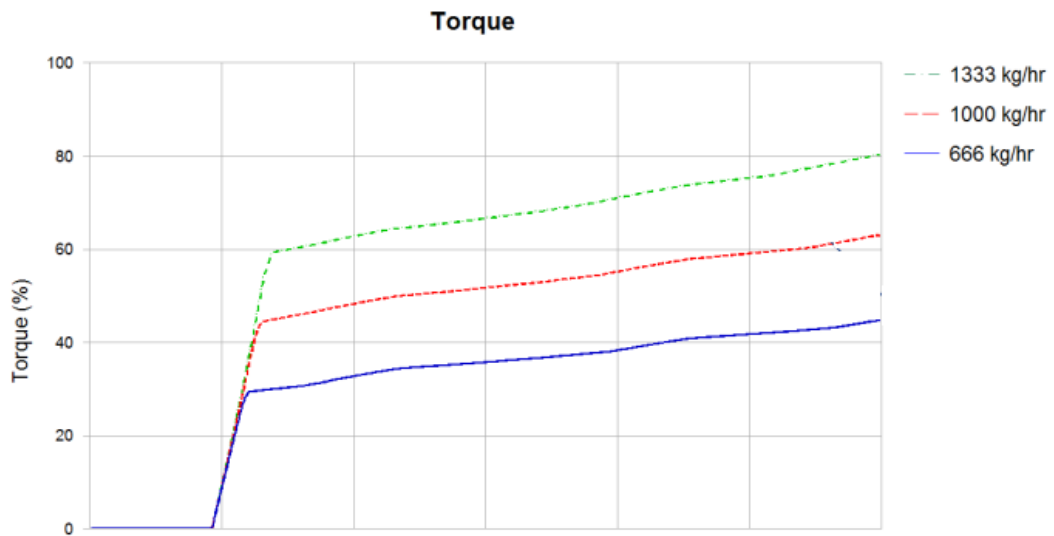
4.3 SICAKLIK

Kovan sıcaklıklarının arttırılmasının ürünün kovan içerisinde kalma süresine bir etkisi bulunmamaktadır. Sıcaklığın arttırılması ürünün eriyik sıcaklığını çok fazla arttırmayacağı gibi ürünün dispersiyonuna da fazla etkisi olmayacaktır. Kovan sıcaklıklarının yükseltilmesi akışkanlığı arttırarak sadece ürünün biraz daha kolay karıştırılmasına yarar.

Kovan sıcaklıklarının çok fazla arttırılması ürünün akışkanlığın arttıracağı için belirli bir akışkanlığın üzerine çıkılması durumunda ürünün kalitesinin bozulmasına sebebiyet vermektedir. Aynı zamanda kovan sıcaklıklarının yüksek olması, polimer ve katkı malzemelerinin deforme olmasına sebebiyet vermektedir. Malzemelerin deforme olması sonucunda istenilen kalite sonuçları elde edilemeyecek ve başarısız bir üretim gerçekleştirilmiş olunacaktır. Bu doğrultuda her termoplastiğin kendi erime sıcaklığında üretimi gerçekleştirmek üretim verimliliği arttıracaktır.

4.4 BESLEME ORANI

Vida devrinin attırılması ürünün daha erken erimesine ve daha iyi karışım sağlanmasına yol açar. Vida devrinin arttırılması ürünün eriyik sıcaklığını düşürecektir. Polimerin eriyik sıcaklığının üzerinde kalarak deforme olmasına engel olacaktır. Aynı vida devrinde besleme oranının arttırılması spesifik enerjiyi ve torku arttıracaktır fakat üretimin belirli bir oranda ürünün homojenliğini de arttıracaktır.



Şekil 4-5 Besleme Oranı - Tork İlişkisi [27]

Besleme oranının çok fazla arttırılması vida üzerinde hareket eden eriyik karışımın vent ve vakum boşluklarından dışarı atılmasına sebebiyet vermektedir [28]. Üretim kapasitesinin arttırılmasının temel alındığı bu durumda aslında üretim verimliliğinde büyük bir kayıba sebebiyet verilmektedir.

4.5 VAKUM BASINCI

Vakum basıncının üretim kapasitesi ile doğru oranda arttırılması, karışma sonucunda eriyik malzemenin içerisinde oluşan gaz parçacıklarının yok edilmesine ve üretimin kalitesinin arttırılmasına neden olur.

Vakum basıncının olması gereken seviyeden daha fazla olması ise vakum bölgesinden ürünün kusmasına sebebiyet verir. Vakum pompasının aktif olarak çalıştırılması dispersiyonu arttıracığı gibi üretim prosesinin kolaylaşmasına yol açacaktır. Vakum basıncı özellikle yüksek dispersiyon ve mekanik dayanım beklenen yüksek kuvvet gerektiren termoplastiklerin üretim aşamalarında kesinlikle kullanılmalıdır ve vakum basıncının üretim aşamasının sonuna kadar sabit bir değerde tutulması istenmektedir. Vakum basıncının dalgalanması üretim aşamasında proseste dalgalanmalara yol açacağı gibi ürünün kalitesinde de dalgalanmalara yol açacaktır.

Kullanılan ekstrüder makinesinin kapasitesine uygun bir vakum pompası seçmek istenilen vakum basıncının elde edilmesini sağlayan en önemli kriterdir.



Şekil 4-6 Vakum Port ve Vakum Göstergesi

Şekil 4-2’de gösterilen vida dizaynı %51 karıştırma oranına sahiptir. İlk vida dizaynına kıyasla kırıcı elementlerin daha fazla olduğu daha yüksek tork elde edilen ve daha homojen bir karışım elde etmemizi sağlamaktadır. Yüksek kalite sonucu elde edilmek istenilen sert ve yüksek sıcaklık gerektiren termoplastik üretimleri için ideal bir vida tasarımıdır.

Bu çalışma kapsamında, ürünün kalite sonuçlarını kontrol etmek amacıyla belirlenen yöntem filtre test sonucudur. Filtre test cihazı olarak Labtech firmasına ait filtre test cihazı kullanılmıştır. FPV (Film Pulling Velocity) testi, plastik ekstrüzyon prosesinde kullanılan önemli bir test yöntemidir. Bu test, ekstrüzyon hattından çıkan plastik filmin belirli bir hızda çekilmesi sırasında film kalitesinin değerlendirilmesine yönelik bir yöntemdir. FPV testi, plastik filmin çekme hızının ve bu hızın film kalitesine olan etkisinin ölçülmesi amacıyla gerçekleştirilir.



Şekil 5-3 FPV Test Cihazı

FPV test cihazı içerisinde bulunan tek vida sayesinde eriyik malzemeyi filtre öncesinde bulunan dişli pompaya doğru iletilir. Dişli pompa öncesinde ve sonrasında eriyik basıncı kontrol etmek amacıyla iki adet basınç sensörü yer almaktadır. Bu basınç sensörlerinin temel amacı test aşamasında oluşacak tek vida sonrasında oluşacak eriyik basıncı 50bar değerinde sabit kalacak şekilde dişli pompanın dönüş hızını filtrenin geçirgenliği karşısında sabit tutması için referans olmaktır. Basınç sensörü sonrasında yer alan filtre yüzeyinde homojenliğin iyi olmaması

sonucunda parçacıklar yer almakta ve bu parçacıklar filtrenin yüzeyini kapatarak geçirgenliği azaltacak ve dişli pompa sonrasında yer alan basınç sensörünün ölçmüş olduğu basınç değerinin yükselmesine sebep olacaktır. Basınç değerinin sonucunda makine matematiksel olarak bir FPV test sonucu elde edecektir. Bu FPV değerinin uygunluğuna göre üretim makinesinin parametrelerinde çeşitli denemeler yapılarak FPV değeri azaltılmaya çalışılmaktadır.



Şekil 5-4 FPV Makinesi Test Ekranı

Her üretim denemesi sonrasında elde edilen üretimin kalitesini kontrol etmek amacıyla FPV testi yapılmıştır. Deneme üretimleri ve testler sonucunda elde edilen kalite sonuçlar kayıt altına alınmıştır.

5.2 DENEY ÇALIŞMALARI

Deney çalışmaları sırasında 10 farklı üretim denemesi yapılmıştır. Her deneme sonrasında bir parametre değiştirilerek üretim tekrarlanmıştır. Kovan sıcaklıkları, besleme hızı, vida devri, vakum basıncı parametreleri ve vida dizaynı değiştirilerek kalite sonucuna etkisi doğrudan incelenmiştir. Deney aşamalarında iki adet vida dizaynı kullanılmıştır. Değiştirilen vida dizaynının tork, besleme, eriyik sıcaklık ve FPV sonucuna etkisi incelenmiştir.

Yapılan her yeni deneme üretimi sonrasında bir sonraki deneme üretimine başlamadan önce belirlenen parametrelere değiştirilerek, değiştirilen proses parametresinin FPV test sonucuna etkisi incelenmiştir. Denemeler sırasında üretimin saatlik kapasitesi arttırılmış veya azaltılmış, vida hızını arttırılmış veya azaltılmış ve bu değişiklikler sonucunda elde edilen değerler kayıt altına alınmıştır. FPV test sonuçlarına en yüksek etkiyi vida devri, besleme oranı ve vida dizaynı sağlamaktadır. Vida devri ve besleme oranının doğrudan tork değerinin etkilediği için en önemli değişkenin tork değeri olarak belirlenmesi modelleme sırasında büyük bir kolaylık ve anlaşılabilirlik sağlayacaktır.

Tablo 5-1 Üretim Parametreleri

Parametreler	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.
Kovan 1	100	100	100	150	150	150	100	100	100	100
Kovan 2	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
Kovan 3	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
Kovan 4	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
Kovan 5	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
Kovan 6	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
Kovan 7	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
Kovan 8	160	160	160	160	160	160	160	160	155	155
Kovan 9	160	160	160	160	160	160	160	160	155	155
Kovan 10	160	160	160	160	160	160	160	160	155	155
Kovan 11	160	160	160	160	160	160	160	160	155	160
Kovan 12	160	160	165	165	165	165	160	160	160	160
Kovan 13	170	175	175	180	185	185	170	180	180	185
Kovan 14	200	205	200	200	200	200	170	205	205	210
Eriyik Sıcaklık	170	181	179	180	181	181	179	182	183	183
Besleme	300	300	300	300	250	250	300	320	300	300
Vida Hızı	230	230	240	250	205	225	230	230	250	250
TORK	70%	68%	70%	72%	64%	68%	74%	77%	81%	81%
Karıştırma Oranı	48%	51%	48%	51%	48%	51%	48%	51%	48%	51%

Yapılan demeler sonucunda vida devri ve besleme oranı gibi parametrelerin bağımlı bir değişken olan tork değerine etkisinin teorik altyapı ile doğrudan aynı olduğu gözlemlenmiştir.

Tablo 5-2 FPV Test Sonuçları

DENEME	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.
FPV TEST SONUCU	0,78	0,74	0,68	0,64	0,82	0,8	0,72	0,7	0,68	0,64

Üretim denemelerin sonucunda elde edilen veri seti incelendiğinde FPV test sonucuna etki eden parametrelerde vida dizaynı, besleme oranı ve vida hızının tork değerine ve FPV test sonucuna yüksek derecede etki ettiği gözlemlenmiştir. Yapılan deneyler sonuçlarının ışığında tork değerinin artmasının FPV test sonucunu doğrudan etkilediği ve FPV test sonucunu düşürdüğü gözlemlenmiştir.

En iyi FPV sonucunun elde edildiği 4. Ve 10. denemelerde %51 karıştırma oranına sahip vida dizaynı kullanılmış ve saatte 300kg ile denemeler gerçekleştirilmiştir. 10. deneme sonucuna tork değerinin %81 değerine ulaşması nedeniyle uzun soluklu üretimlerde vida ve kovan yüzeylerinde ciddi aşınmalar ve motor bakım sürelerinde azalmalara yol açacağı literatür taraması sonucunda bilinmektedir. 4. Deneme parametrelerinde malzemenin daha önce eriyik hale gelmesini sağlamak adına besleme bölgesinde bulunan kovan sıcaklıkları 50 derece yükseltilmiştir. Bu nedenle malzeme daha önce eriyik hale geçtiği için daha düşük tork değerinde ve daha erken homojenlik elde edilmiştir. Homojenliğin daha önce elde edilmesinin hem tork değerinde hem de FPV test sonucuna doğrudan etki ettiği gözlemlenmiştir.

En kötü deneme sonucunun elde edildiği 5.numaralı deneme parametreleri incelendiğinde saatlik 250kg ile üretim yapıldığı ve vida devrinin üretim denemeleri arasında en düşük vida devri ve en düşük tork değerine sahip olan üretim denemesi olduğu gözlemlenmiştir. Vida devrinin tork değerine ve üretim homojenliğe olumsuz etkisi doğrudan gözlemlenmiş ve teorik bilgilerin doğruluğu denemeler sonucunda kanıtlanmıştır.

Deneme üretimleri sonucunda elde edilen veri seti yapay zeka modeline öğretilerek en uygun üretim parametresi ve FPV test sonucunu elde etmek amaçlanmaktadır. Bu amaç doğrultusunda yapay zekanın verimli çalışması yeni yapılacak olan üretimlerde deneme maliyetini doğrudan ortadan kaldıracaktır.

6. YAPAY ZEKA İLE EKSTRÜZYON PROSESİNİN MODELLEMESİ

Plastik ekstrüzyon prosesinde, proses parametrelerinin doğru bir şekilde belirlenmesi ve kontrol edilmesi, nihai ürün kalitesini ve üretim maliyetini doğrudan etkilemektedir. Bu çalışmada, plastik ekstrüzyon prosesinde makine parametrelerinin üretim sonucuna etkisi yapılan 10 farklı üretim denemesi sonucunda incelenmiş ve veri seti olarak kayıt altına alınmıştır.

Yapılan denemeler sonucunda elde edilen veri seti yapay zeka ile modeline öğretilerek en uygun proses parametrelerinin belirlenmesi ve FPV test sonucunun elde edilmesi amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda, karar ağaçları ve rastgele ormanlar gibi makine öğrenmesi algoritmaları kullanılarak proses parametrelerinin FPV test sonuçları üzerindeki etkisi incelenmiştir.

6.1 YAPAY ZEKA NEDİR

Yapay zeka, bilgisayarların ve makinelerin insan zekasına benzer bir şekilde öğrenme, karar verme, problem çözme ve dil algılama gibi insan zekasına ait yetenekler sergilemesini sağlayan bir teknoloji alanıdır [29]. Yapay zeka, matematiksel modeller, algoritmalar ve veri setlerini kullanarak makinelerin bilgi işlemesine, görevleri yerine getirmesine ve zamanla yerine getirdiği bu görevlerdeki performanslarını öğrenerek iyileştirmesine olanak tanır.

6.2 MAKİNE ÖĞRENİMİ NEDİR

Makine öğrenmesi, bilgisayarların belirli bir görevde performanslarını veriden öğrenerek geliştirmelerine olanak tanıyan bir yapay zeka modelidir [30]. Makine öğrenmesi, belirli kurallar yerine veri setlerini kullanarak öğrenmeyi amaçlar. Bu sayede, makineler belirli bir görevi yerine getirirken verilerden öğrenerek bu görevleri yerine getirir.

6.2.1 Denetimli Öğrenme (Supervised Learning)

Denetimli öğrenme modelinde, model eğitim verileri üzerinde etkilenmiş girdi çıktı çiftleri ile eğitilir. Amaç yeni veriler için doğru tahminlerde bulunmaktır [31].

6.2.2 Denetimsiz Öğrenme (Unsupervised Learning)

Denetimsiz öğrenme modelinde, modelin eğitimi için kullanılan veriler etiketlenmemiştir. Bu yöntemle, model veri kümesindeki gizli kalıpları veya yapıları keşfetmeye çalışır [31].

6.2.3 Pekiştirmeli Öğrenme

Pekiştirmeli öğrenme modelinde, model bir dizi aksiyon alır ve bu aksiyon sonuçlarına göre ödüllendirir veya cezalandırılır. Amaç, ödülleri en üst düzeye çıkaran bir strateji geliştirmektir.

6.3 DERİN ÖĞRENME

Derin öğrenme, özellikle büyük veri setleri üzerinde öğrenme yeteneğine sahip yapay sinir ağlarını kullanarak karmaşık görevlerini yerine getirmeyi amaçlayan bir yapay zeka modelidir. Derin öğrenme, veri içerisindeki desenleri ve ilişkileri öğrenmek için çok katmanlı sinir ağları kullanır.

6.3.1 Konyolüsyonel Sinir Ağları

Konyolüsyonel sinir ağları, görüntü işleme ve tanıma görevlerinde yaygın olarak kullanılan bir derin öğrenme modelidir.

6.3.2 Tekrarlayan Sinir Ağları

Zaman serileri ve sıralı veri üzerinde çalışmak için kullanılır. Tekrarlayan sinir ağları, önceki zaman adımlarından bilgi saklayarak sekanslar üzerindeki ilişkiyi öğrenir.

6.3.3 Uzun Kısa Süreli Bellek Ağları

Uzun vadeli bağımlılıkları öğrenmede etkili olmak üzere tasarlanmış bir derin öğrenme modelidir.

6.3.4 Sınırlı Boltzmann Makineleri

Sınırlı Boltzmann makineleri, iki katmandan oluşur ve verilerdeki temel özellikleri öğrenmek için kullanır. Boltzmann makineleri giriş veri seti üzerinde olasılıksak dağılımları öğrenen ve stokastik tekrarlayan bir yapay sinir ağı türüdür.

6.3.5 Derin İnanç Ağları

Derin inanç ağları, giriş katmanı olan bir görünür katmandan ve birden fazla gizli katmandan oluşmaktadır. Derin inanç ağları veri setlerinden yüksek seviyede özellikler öğrenmek için kullanılır ve genel olarak sınıflandırma ve özellik çıkarımı gibi görevlerde kullanılan bir model türüdür.

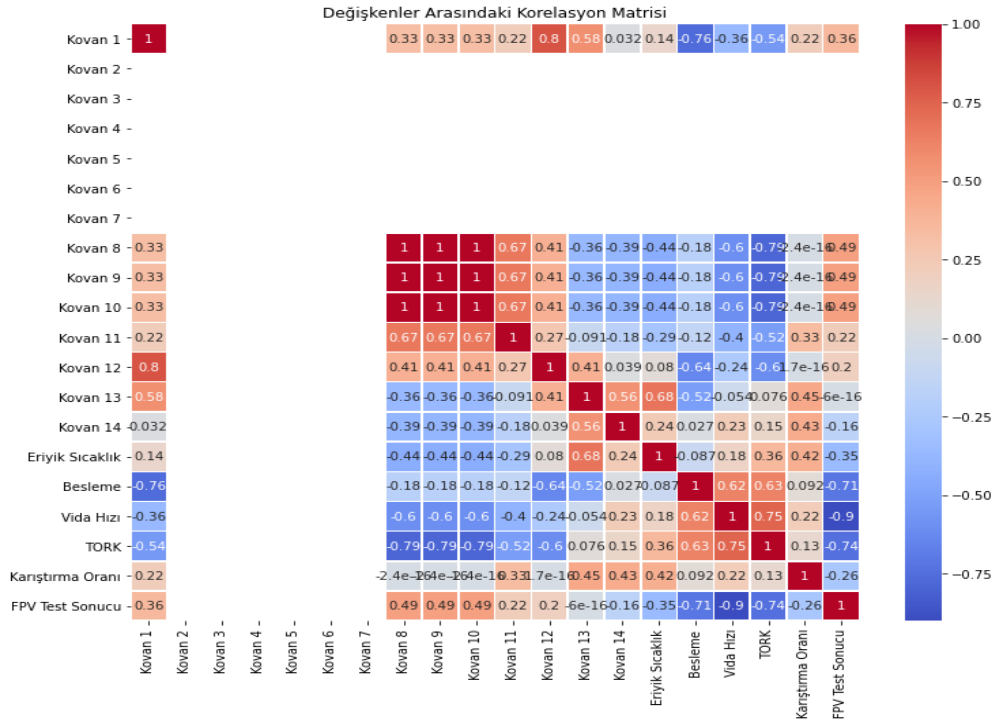
6.4 ÇALIŞMA KAPSAMINDA KULLANILAN YAPAY ZEKA MODELİ

Bu çalışmada, Karar Ağaçları (Decision Trees) ve Rastgele Orman (Random Forests) modelleri kullanılmıştır. Karar ağaçları, veriyi bölerek sınıflandırma veya regresyon yapabilen, anlaşılması ve yorumlanması kolay algoritmalarlardır. Rastgele ormanlar ise, birden fazla karar ağacının birlikte çalışarak daha doğru ve geliştirilebilir tahminler yapmasını sağlar.

Karar ağaçları, sınıflandırma ve regresyon görevlerinde kullanılan gözetimli öğrenme algoritmalarıdır. Her düğümde veriyi belirli bir özelliğe göre böler ve her dalda bir karar verir. Bu şekilde, kök düğümünden yaprak düğümlere kadar bir yol izleyerek karar verir. Karar ağaçları, hiyerarşik yapıları sayesinde veri üzerinde görsel ve sezgisel olarak anlaşılması kolay olan kurallar oluşturur.

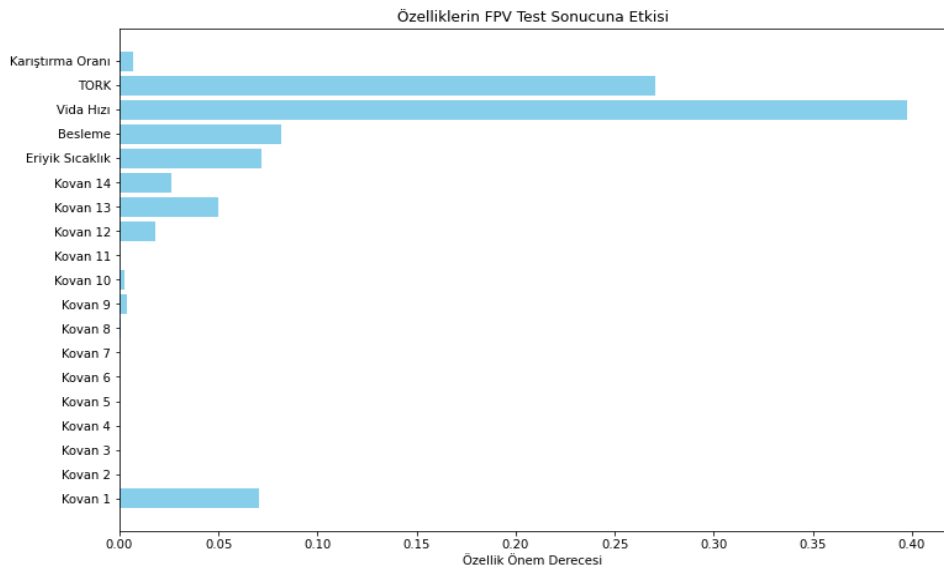
6.5 KORELASYON ANALİZİ

Korelasyon analizi, değişkenler arasındaki doğrusal ilişkiyi değerlendirmek için kullanılmıştır. Korelasyon katsayıları -1 ile 1 arasında değişir. 1'e yakın değerler, güçlü bir pozitif ilişkiyi, -1'e yakın değerler ise güçlü bir negatif ilişkiyi gösterir. Korelasyon katsayısının sıfıra yakın olması, iki değişken arasında belirgin bir doğrusal ilişki olmadığını gösterir.



Şekil 6-1 Değişkenler Arasındaki Korelasyon Matrisi

Korelasyon matrisi sonucunda elde edilen bilgilere göre vida hızı, besleme ve tork parametrelerinin FPV test sonucu ile ciddi bir negatif korelasyon olduğu gözlemlenmektedir. Negatif korelasyon vida devri, besleme ve tork değerlerinin değişimi ve artması sonucunda FPV test sonucunun azaldığını göstermektedir. FPV test sonucunun azalması ise üretimin kalitesinin arttığının göstergesidir.



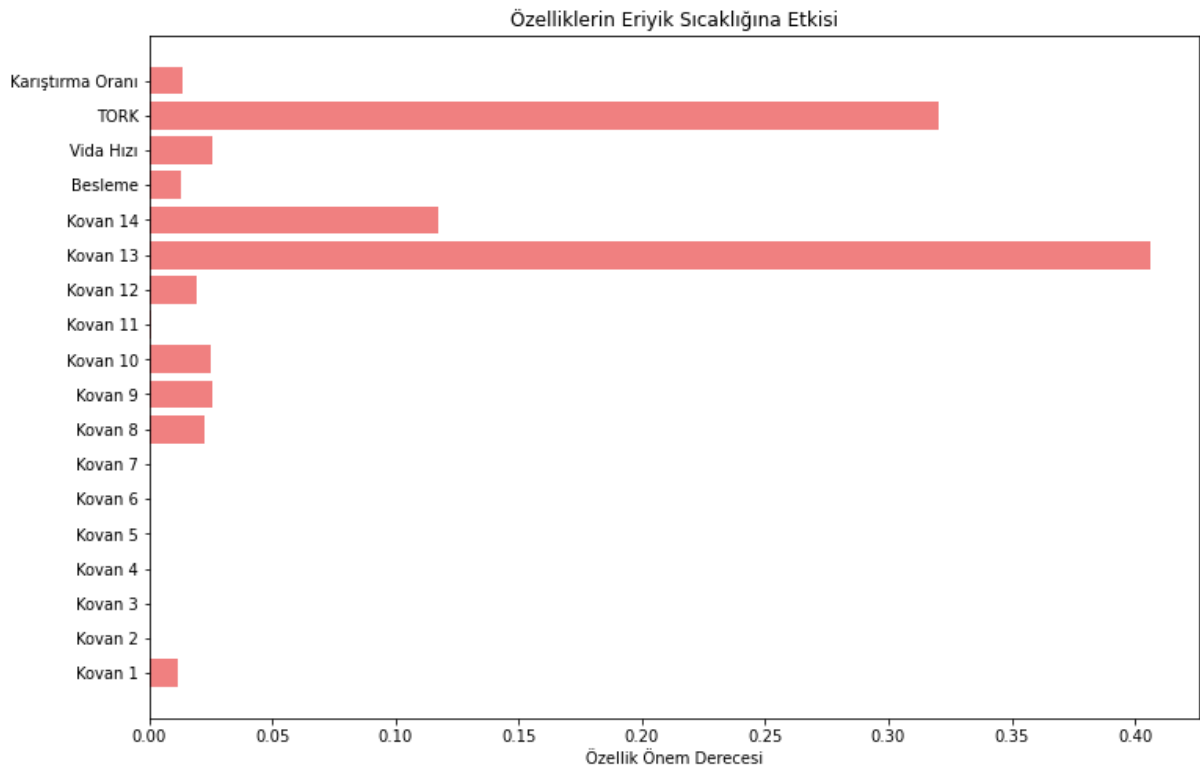
Şekil 6-2 Özelliklerin FPV Test Sonucuna Etkisi

Makine parametrelerinin FPV sonucuna etkisini model yardımı ile incelediğimizde Şekil 6-2’de görüldüğü gibi en yüksek ilişkiye sahip olan parametreler vida dizaynı, besleme oranı ve tork parametreleridir. En düşük ilişkiye sahip parametreler ise kovan sıcaklıkları olarak belirlenmiştir.

6.6 ERİYİK SICAKLIĞA ETKİ EDEN PARAMETRELERİN ÖNEMİ

Eriyik sıcaklık Tork ve FPV değeri gibi bağımlı bir değişkendir. Kovan sıcaklıkları, besleme, vida devri ve tork gibi değişkenlere bağımlı olarak eriyik sıcaklık değeri değişkenlik gösterir. Model sonucunda yer alan tahmin veri setinde eriyik sıcaklığı tahminin gerçekleştirilmeden önce eriyik sıcaklığı etki eden parametrelerin önem derecesini incelenmektedir. Eriyik sıcaklığın tahmininde kullanılan özelliklerin önem derecelerini belirlemek için rastgele orman regresyon modeli ile özelliklerin önem dereceleri belirlenerek bu özelliklerin tahmin üzerindeki etkileri anlaşılmaya çalışılmıştır.

Eriyik sıcaklık ile en yüksek önem derecesine sahip parametreler kovan 13 sıcaklık değeri, tork değeri ve kovan 14 sıcaklık değeri olduğu gözlemlenmiştir.



Şekil 6-3 Özelliklerin Eriyik Sıcaklığına Etkisi

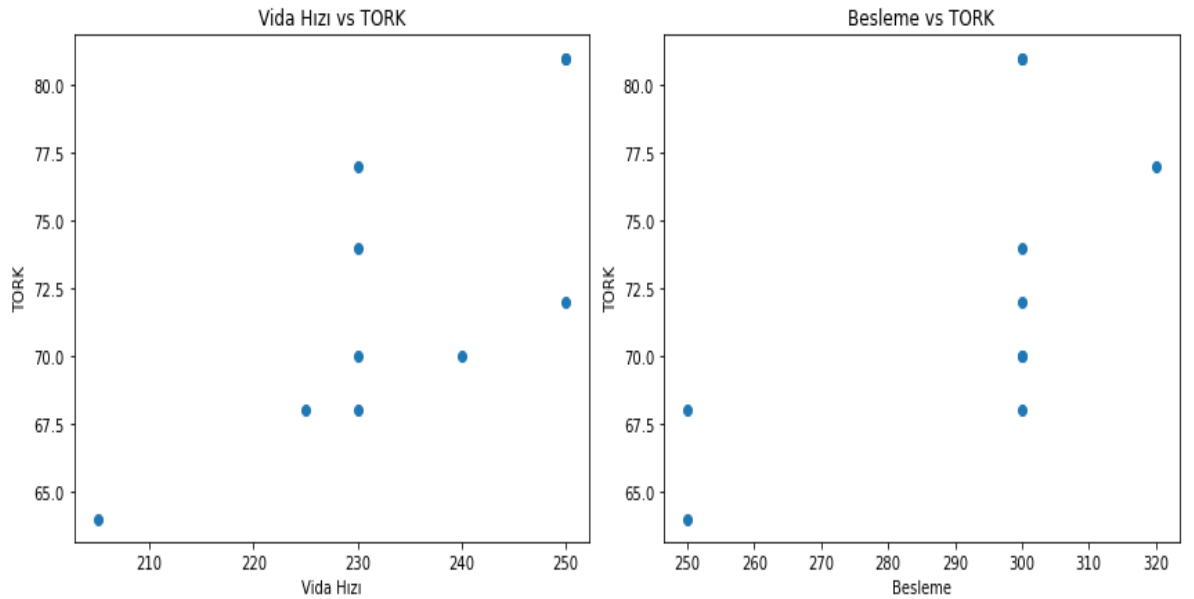
6.7 TORK DEĞERİNİN VİDA HIZI, BESLEME VE KARIŞTIRMA ORANI İLE KORELASYONU

Çalışmanın bu bölümünde vida hızı, besleme ve karıştırma oranı değişkenlerinin tork değeri ile olan ilişkisinin korelasyon katsayıları hesaplanmıştır. Bu hesaplamalar sonucunda besleme ve vida hızı parametrelerinin tork değeri ile yüksek ilişkili olduğu gözlemlenmiştir. FPV değerine doğrudan yüksek olarak etki eden vida hızı ve besleme parametrelerini tork değeri ile ilişkilendirerek FPV tahmininde tork değeri üzerinden incelemeler yapılması amaçlanmıştır.

Vida Hızı ile TORK Korelasyon Katsayısı: 0.77'dir. Bu korelasyon sonucu vida hızı ve tork arasında pozitif yönde güçlü bir korelasyon olduğunu gösterir. Vida hızının artırılması tork değerini arttıracaktır.

Besleme ile TORK Korelasyon Katsayısı: 0.65'tir. Bu korelasyon sonucu vida hızı ve besleme arasında pozitif yönde güçlü bir korelasyon olduğunu gösterir. Besleme miktarının artırılması tork değerini arttıracaktır.

Karıştırma Oranı ile TORK Korelasyon Katsayısı: 0.19. Bu sonuçlara göre, karıştırma oranının artması torku zayıf derecede artırır.



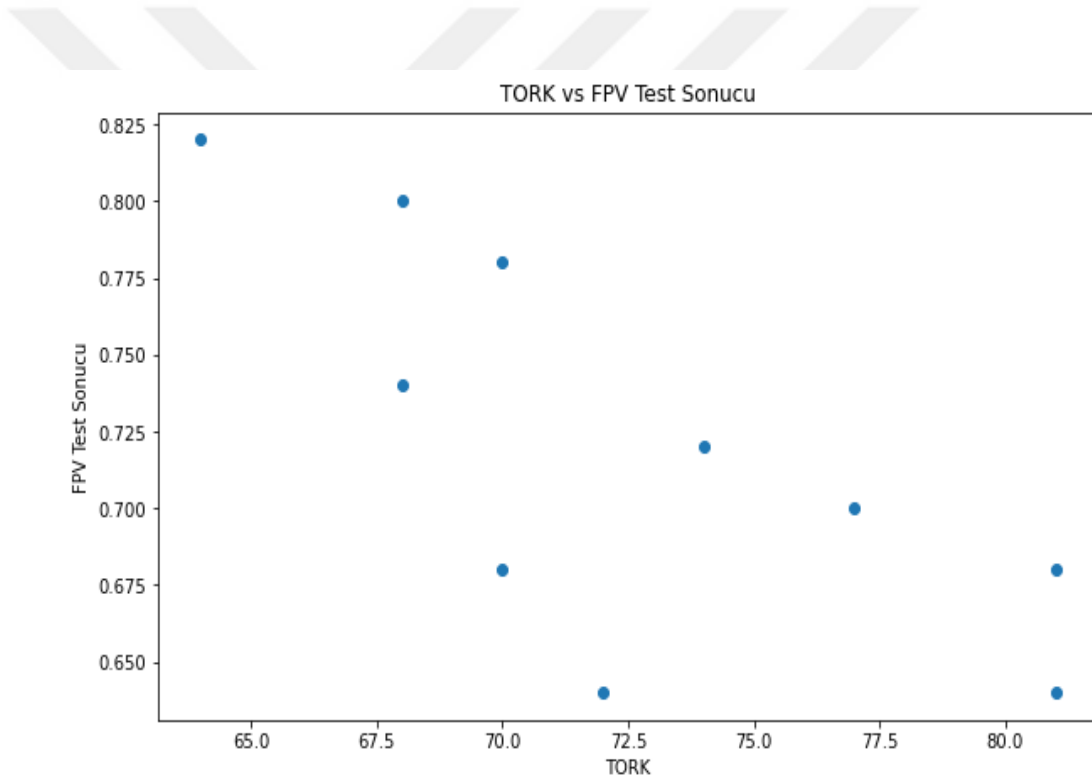
Şekil 6-4 Vida Hızı-Besleme ile Tork Korelasyonu

Vida Hızı ile TORK: Vida hızının artması torku artırmaktadır. Bu, vida hızının daha fazla güç gerektirdiği anlamına gelir.

Besleme ile TORK: Besleme oranının artması da torku artırır. Daha fazla malzeme besleme, vida üzerinde daha fazla direnç yaratır.

6.8 FPV TEST SONUCU İLE ERİYİK SICAKLIK VE TORK DEĞERİNİNİ KORELASYONU

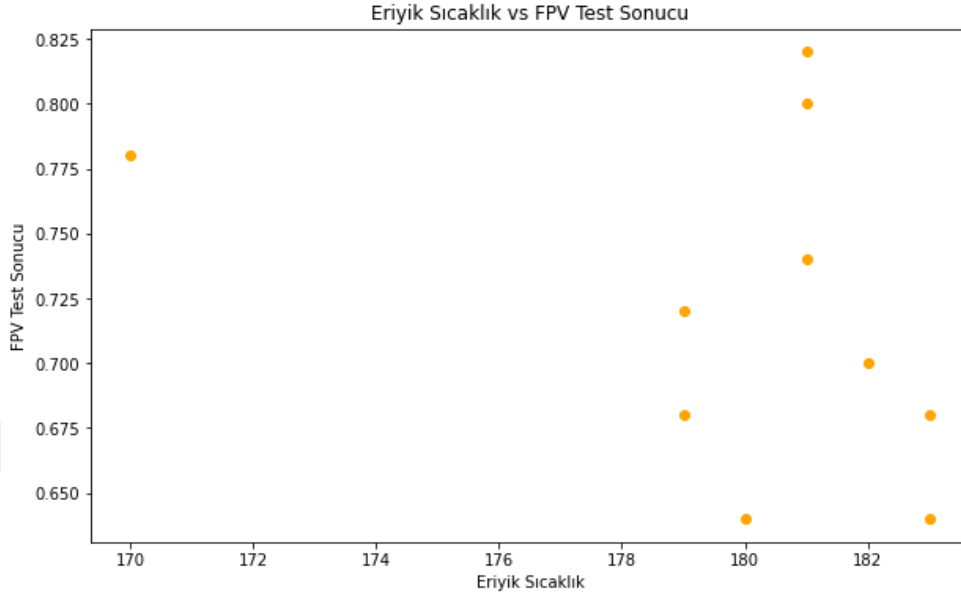
Tork ile FPV Korelasyon Katsayısı: -0.88. Tork ile FPV test sonuçları arasında güçlü bir negatif ilişki bulunmaktadır.



Şekil 6-5 Tork ile FPV Test Sonucu İlişkisi

Korelasyon sonuçları, vida hızı ile tork arasında güçlü bir pozitif ilişki olduğunu, besleme oranı ile tork arasında pozitif bir ilişki olduğunu göstermektedir. Ayrıca, karıştırma oranı ile tork arasında orta derecede pozitif bir ilişki ve tork ile FPV test sonuçları arasında güçlü bir negatif ilişki bulunmaktadır.

Tork değeri ile FPV test sonucu değeri arasındaki ilişki incelendiğinde, tork değeri arttıkça FPV test sonucu değerinin düştüğü gözlemlenmiştir. FPV test sonucunun düşmesi ise daha yüksek torkun ürün kalitesini artırdığını gösterir.



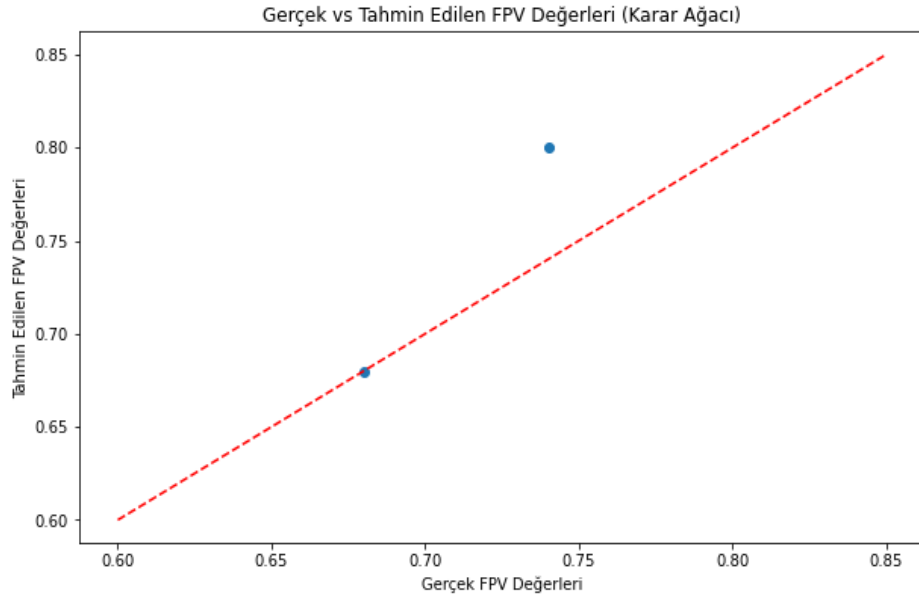
Şekil 6-6 Eriyik Sıcaklık ile FPV Test Sonucu Korelasyonu

Eriyik sıcaklık ile FPV Korelasyon Katsayısı: -0.68. Eriyik sıcaklık ile FPV test sonuçları arasında orta dereceli negatif ilişki bulunmaktadır.

6.9 KARAR AĞACI MODELİ İLE FPV TEST SONUCU TAHMİNİ

Bu bölümde, bir karar ağacı modeli oluşturulmuştur. Model için random_state parametresi 42 olarak belirlenerek modelin yeniden üretilebilirliğini sağlamak amacıyla kullanılmıştır. Model, 10 farklı üretim denemesinin yer aldığı veri setindeki veriler kullanılarak eğitilmiştir. Bu eğitim süreci, modelin FPV Test Sonucu'nu tahmin etmek için veri setindeki örüntüleri öğrenmesini sağlar.

Modelin performansını değerlendirmek amacıyla iki temel metrik kullanılmıştır: Ortalama kare hatası(Mean Squared Error) ve R-Karesi(R-squared - R^2). Ortalama kare hatası, modelin tahminlerinin doğruluğu ölçmek için kullanılan bir metriktir. R-Karesi ise modelin gerçek değerlerin varyansını ne kadar açıkladığını belirler.



Şekil 6-7 Gerçek vs Tahmin Edilen FPV Değerleri(Karar Ağacı)

6.9.1 Modelin Optimizasyonu

Karar ağacı modelinin performansını arttırmak amacıyla, GridSearchCV kullanılarak modelin hiperparametreleri optimize edilmiştir. GridSearchCV, belirtilen hiperparametre aralıkları üzerinde modelin performansını değerlendirir ve en iyi performansı gösteren hiperparametre kombinasyonunu seçer.

En İyi Hiperparametre Kombinasyonları: {'max_depth': 7, 'min_samples_split': 5, 'min_samples_leaf': 2, 'max_features': 'sqrt'}.

Model bu hiperparametreler ile hem eğitim hem de test veri setlerinde daha iyi performans göstermektedir.

6.10 TAHMİN EDİLECEK VERİ SETİ

Tahmin veri seti, eğitim modelinde kullanılan veri setinde yer alan parametrelerden farklı değerler içermektedir. Tahmin veri setinde bağımlı değişken olan tork ve eriyik sıcaklık değerleri yer almamaktadır. İlk olarak tork ve eriyik sıcaklık değerleri tahmin edilecek ardından bu değerlere göre FPV test sonucu değeri tahmin edilecektir.

Kovan 1	Kovan 2	Kovan 3	Kovan 4	Kovan 5	Kovan 6	Kovan 7	Kovan 8	Kovan 9	Kovan 10	Kovan 11	Kovan 12	Kovan 13	Kovan 14	Besleme	Vida Hızı	Karıştırma Oranı
100	100	150	150	150	150	155	160	160	160	160	165	170	200	300	230	51

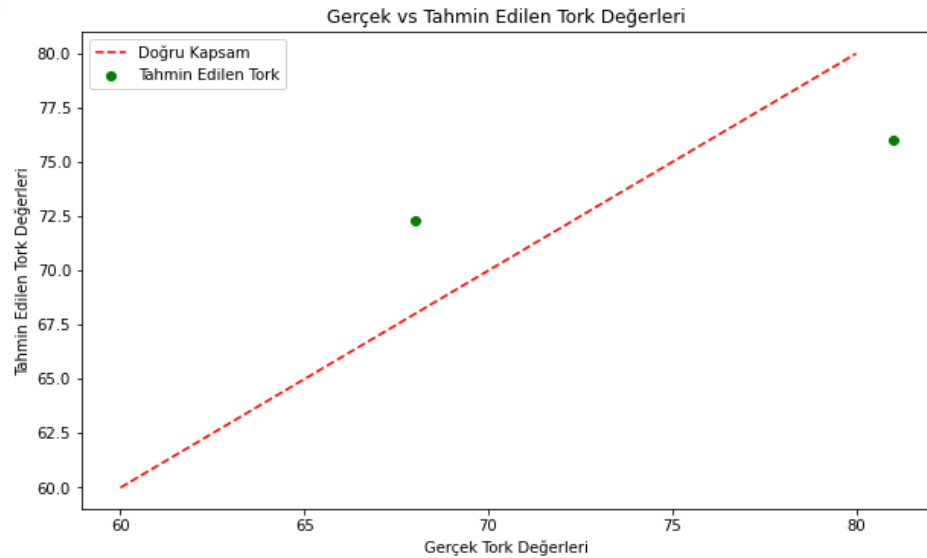
Şekil 6-8 Tahmin Veri Seti

6.11 TORK VE ERİYİK SICAKLIK TAHMİN MODELLERİ

Bu bölümde, tahmin ve modelleme sürecinde kullanılan Karar Ağacı (Decision Tree) modeli kullanılmıştır. Karar ağacı, her bir özelliğe göre veriyi belirli bir kural setine göre bölen bir model türüdür.

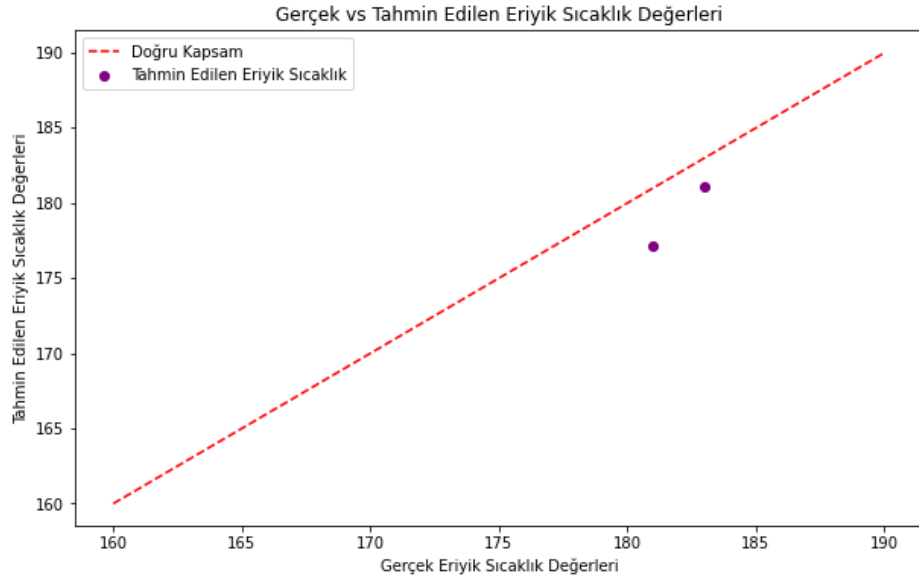
Bağımlı değişken olan tork ve eriyik sıcaklığın FPV değeri öncesinde tahmin edilerek modele tahmin için verilen veri setinde bulunan eksik bilgiler tamamlanmıştır. Eksik bilgilerin tamamlanmasının ardından model FPV Test Sonucu değerini tahmin etmek için uygun hale gelmiştir.

Modelin tahmin veri setinde yer alan değerlere göre tahmin ettiği tork değeri: %72,288'dir.



Şekil 6-9 Gerçek vs Tahmin Edilen Tork Değerleri

Modelin tahmin veri setinde yer alan değerlere göre tahmin ettiği eriyik sıcaklık: 173,53 derecedir.



Şekil 6-10 Gerçek vs Tahmin Edilen Eriyik Sıcaklık Değerleri

6.12 FPV TEST SONUCU MODELİ

Geliştirilen yapay zeka modelinin üzerinde tahmin yapması için belirlenen veri seti, yapay zeka modeline öğrenmesi için verilen veri setinden bağımsız yeni üretim parametrelerini içermektedir. Model geliştirdiği parametreler arasındaki ilişkileri incelemesinin ardından tahmin ettiği tork değeri 72,22, eriyik sıcaklık değeri 173,53 ve FPV test sonunu ise 0,75’dir

Kovan 1	Kovan 2	Kovan 3	Kovan 4	Kovan 5	Kovan 6	Kovan 7	Kovan 8	Kovan 9	Kovan 10	Kovan 11	Kovan 12	Kovan 13	Kovan 14	Besleme	Vida Hızı	Karıştırma Oranı	Tahmin Edilen Tork	Tahmin Edilen Eriyik Sıcaklık	Tahmin Edilen FPV
100	100	150	150	150	150	155	160	160	160	160	165	170	200	300	230	51	72,288	173,53	0,7544

Şekil 6-11 Tahmin Veri Seti Sonucu

7. TARTIŞMA VE SONUÇ

Plastik ekstrüzyon üretiminde ekstrüder makinesine vida diziliminin, sıcaklık ve basınç değerlerinin, besleme oranının, vakum basıncının ve diğer bağımsız değişkenlerin üretim sırasında reçeteye uygun biçimde optimize edilmesi, ürün kalitesini ve üretim verimliliğini artırmak için kritik bir adımdır.

Proses parametre optimizasyonu temelde ürün kalitesini arttırmayı sağlamasının yanında enerji verimliliği de sağlamaktadır. Enerji verimliliği ile üretim maliyetlerinin azalması söz konusudur.

Makine parametrelerinin üretim sırasında optimizasyon süreci, deney tasarımı ve istatistiksel analizler ile desteklenerek, üretim sürecinin daha verimli ve kontrol edilebilir hale getirilebilir.

Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda vida diziliminde yapılan değişikliklerin doğrudan üretim kapasitesini ve ürün kalitesini etkilediği gözlemlenmiştir. Vida diziliminde besleme bölgesinde kullanılan derin hatveli vida elementleri, makine içerisine daha fazla miktarda ürün girmesini sağlayacaktır. Bunun sonucunda sürtünme kuvveti artacağı için dispersiyon iyileşecek, tork değeri düşecektir.

Vida diziliminde bulunan kırıcı ve yoğurucu vida elementlerinin yerleşimini ve boyutlarını arttırmak, eriyik sıcaklığın yükselmesine, homojenliğin artmasına fakat üretim kapasitesinin ise düşmesine sebep olacaktır.

Vida devrinin arttırılması, üretim prosesinin dengelenmesi adına çok önemli bir değişkendir. Vida devrinin, besleme oranına bağlı olarak arttırılması saatlik üretim kapasitesini, eriyik sıcaklığı, eriyik basıncı, homojenliği ve ürün kalitesini doğrudan etkilemektedir.

Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda, devrinin arttırılması ürünün eriyik sıcaklığını düşürdüğü gözlemlenmiştir. Vida devrinin atırılması, ürünün daha erken erimesine ve daha iyi karışım sağlanmasına yol açar ve polimerin eriyik sıcaklığının üzerinde kalarak deforme olmasına engel olacaktır.

Üretim esnasında temel olarak tork değerinin vida devrine ve besleme oranına bağı olarak gözlemlenen değeri göre besleme oranı artırılabilir, vida devri düşürülebilir. Sabit besleme oranında vida devrinin artırılması vida elementleri ve kovan arasındaki doluluk oranını azaltır.

Bu tez çalışmasında ele alınan prensipler ve yöntemler, plastik ekstrüzyon üretiminde kalite ve performans hedeflerine ulaşmada önemli bir kılavuz niteliğindedir. Bu çalışmada, plastik ekstrüzyon prosesinin yapay zeka ile modellenmesi başarıyla gerçekleştirilmiştir. Kullanılan karar ağaçları ve rastgele orman modelleri, proses parametrelerinin eriyik sıcaklık, tork değeri ve FPV test sonuçları üzerindeki etkisini doğru bir şekilde tahmin edebilmiştir.

Bu tez çalışması kapsamında elde edilen sonuçlar, plastik ekstrüzyon prosesinin optimizasyonu ve kontrolü için değerli bilgiler sunmaktadır.

8. KAYNAKLAR

1. “Tek Proseste Kompaund Elde Edebilen Tandem Bir Sistemle Yapılan Termoplastik Geri Dönüşümünün Çevreye ve Dünyaya Faydaları” 3rd International Conference on Design, Research and Development(RDCOF 2023), vol. 3, no. 1, 2023.
2. Kansu Y., (2005), Cam Küre, CaCO₃ ve Talk Dolgulu Polipropilen Hibrit Kompozitlerin Mekanik ve Fiziksel Özelliklerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
3. Yılmaz, O. (2007), Polimer Malzemelerin Ekstrüzyonunun DeneySEL ve Sayısal Olarak İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü.
4. Ezdeşir A., Erbay E., Taşkiran İ., “Polimerler”, PAGEV Yayınları, 1999.
5. Saçak, M., “Polimer Teknolojisi”, Gazi Kitabevi, 2005.
6. Ezdeşir, A., Erbay, E., Taşkiran, İ., Yağcı, M., A., Cöbek, M., Bilgiç, T., “Polimerler”, 2. Baskı, Pagev Yayınları, 57-71, (1999).
7. Radosha, J.A.; Trivedi, N.C.: “Talc”, Handbook of Fillers for Plastics, (1987), 216-231.
8. Omya, Switzerland: “Physicochemical Aspect of Mineral Components for Plastic Prossors”, Technical Information Plastics, R1-02, (2004).
9. Berger, W.: “Fillers and Reinforcements”, Plastic Additivies Handbook, 5th Edition, (2003), 901-948.
10. Monomex. “Çift Vidalı Ekstrüderler.” Erişim Tarihi: 1 Mayıs 2024, Erişim Adresi : <https://www.monomex.com/>
11. Bakır M. (1998), Plastik Ekstrüzyon Tesislerinin Kurulmasında Dikkate Alınması Gereken Kriterler, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
12. Demirci A. (2010), Plastik Ekstrüderlerinde Isıtma-Soğutma Proseslerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
13. Zhu F., Chen L., Studies on the Theory of single Screw Plasticating Extrusion, Polimer Engineering and Science, vol.31, p.1113, 1991.
14. Yöney T. (1993), Plastik Malzemelerin Ekstrüzyonunda Kullanılan Tek Vidalı Ekstrüderin İncelenesi, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
15. K. Kohlgrüber, “Co-Rotating Twin-Screw Extruders: Fundamentals”, Munich: Hanser Publications, 2019.

16. S.A. Ravazi Alavi, M. Torabi Angahi, Z. Gholami, “Twin-Screw Extruder and Effective Parameters on the HDPE Extrusion Process”, World Academy of Science, Engineering and Technology 25, 2009.
17. Kaya Ö., (2018), Polimer Malzemelerin Ekstrüzyon Prosesinin Modellenmesi ve Analizi, Yüksek Lisans Tezi, Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
18. Yıldız B., (2018), Cam Elyaf Katkısının Geri Dönüştürülmüş Polymaid 6.6 Plastiğinin Mekanik Özelliklerine Etkisinin Deneysel İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Aksaray Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
19. Turaçlı H., Ekstrüzyon Teknolojisine Giriş, PAGEV Yayınları, 1999.
20. Bakırcı A., Koçak C., Yamaç Ö., Çakır C., “Aynı Yöne Dönen Çift Vidalı Ekstruderleri Tandem Bir Termoplastik Geri Dönüşüm Sisteminde Vida Yapılanması İncelenmesi” 3rd International Conference on Design, Research and Development (RDCOF 2023), vol. 3, no. 1, 2023.
21. B. Min, X. Gao, H. Sung, and W. Ryol, “Flow modeling for conveying sections in a co-rotating twin-screw extruder based on energy dissipation rate for continuous mixing of lithium-ion battery slurries,” Chem. Eng. Sci., vol. 281, no. July, p. 119113, 2023.
22. M. Dhaval, S. Sharma, K. Dudhat, and J. Chavda, “Twin-Screw Extruder in Pharmaceutical Industry: History, Working Principle, Applications, and Marketed Products: an In-depth Review,” J. Pharm. Innov., vol. 17, no. 2, pp. 294–318, Jun. 2022.
23. Kodal M., (2009), Polipropilen ve Dolgu Maddeleri ile Hazırlanan Karışımların Fiziksel ve Kimyasal Özelliklerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
24. Kenneth J., Strand Die Design [PowerPoint Slaytı], Century Extrusion (2017).
25. Saurabh R. (16 Mart 2023), “Plastic Extrusion Process” Polymer Academy, Erişim Adresi : <https://polymeracademy.com/plastic-extrusion-process/>
26. CPM Webinar : A “Practical” Approach To Design Of Experiments (2022).
27. CPM Webinar : Process Variables and Interactions (2022).
28. M. Ohara et al., “Experimental and Numerical Simulation Study of Devolatilization in a Self-Wiping Corotating Parallel Twin-Screw Extruder,” Polymers (Basel), vol. 12, no. 11, p. 2728, Nov. 2020.
29. Doğan Abdullah, Yapay Zeka, Kariyer Yayıncılık, 2002.
30. Öztürk K., Şahin M. E., “Yapay Sinir Ağları ve Yapay Zeka’ya Genel Bir Bakış” Takvim-i Vekayi, vol. 6, no.2, p. 25-36, 2018.

31. Alpaydm E., “Introduction to Machine Learning”, The MIT Press, p. 3-6, 2024.



ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler	
Adı Soyadı	
Doğum Yeri	
Doğum Tarihi	
Uyruğu	
Telefon	
E-Posta Adresi	
Web Adresi	

	Eğitim Bilgileri
	Lisans
Üniversite	
Fakülte	
Bölümü	
Mezuniyet Yılı	

Yüksek Lisans	
Üniversite	
Enstitü Adı	
Anabilim Dalı	
Programı	

Makale ve Bildiriler

EKLER

EK 1. Yapay Zeka Modeli Python Kodu

```
import pandas as pd
import matplotlib.pyplot as plt
import seaborn as sns
from sklearn.model_selection import train_test_split
from sklearn.ensemble import RandomForestRegressor
from sklearn.tree import DecisionTreeRegressor
from sklearn.metrics import mean_squared_error, r2_score
from sklearn.model_selection import GridSearchCV

# Veriyi tablo olarak işlemek
data = {
    "Kovan 1": [100, 100, 100, 150, 150, 150, 100, 100, 100, 100],
    "Kovan 2": [150, 150, 150, 150, 150, 150, 150, 150, 150, 150],
    "Kovan 3": [150, 150, 150, 150, 150, 150, 150, 150, 150, 150],
    "Kovan 4": [150, 150, 150, 150, 150, 150, 150, 150, 150, 150],
    "Kovan 5": [150, 150, 150, 150, 150, 150, 150, 150, 150, 150],
    "Kovan 6": [150, 150, 150, 150, 150, 150, 150, 150, 150, 150],
    "Kovan 7": [150, 150, 150, 150, 150, 150, 150, 150, 150, 150],
    "Kovan 8": [160, 160, 160, 160, 160, 160, 160, 160, 155, 155],
    "Kovan 9": [160, 160, 160, 160, 160, 160, 160, 160, 155, 155],
    "Kovan 10": [160, 160, 160, 160, 160, 160, 160, 160, 155, 155],
    "Kovan 11": [160, 160, 160, 160, 160, 160, 160, 160, 155, 160],
    "Kovan 12": [160, 160, 165, 165, 165, 165, 160, 160, 160, 160],
    "Kovan 13": [170, 175, 175, 180, 185, 185, 170, 180, 180, 185],
    "Kovan 14": [200, 205, 200, 200, 200, 200, 170, 205, 205, 210],
    "Eriyik Sıcaklık": [170, 181, 179, 180, 181, 181, 179, 182, 183, 183],
    "Besleme": [300, 300, 300, 300, 250, 250, 300, 320, 300, 300],
    "Vida Hızı": [230, 230, 240, 250, 205, 225, 230, 230, 250, 250],
    "TORK": [70, 68, 70, 72, 64, 68, 74, 77, 81, 81],
```

```
"Karıştırma Oranı": [48, 51, 48, 51, 48, 51, 48, 51, 48, 51],  
"FPV Test Sonucu": [0.78, 0.74, 0.68, 0.64, 0.82, 0.80, 0.72, 0.70, 0.68, 0.64]  
}
```

```
df = pd.DataFrame(data)
```

```
# Korelasyon matrisi
```

```
corr_matrix = df.corr()
```

```
# Isı haritası
```

```
plt.figure(figsize=(12, 10))
```

```
sns.heatmap(corr_matrix, annot=True, cmap='coolwarm', linewidths=0.5)
```

```
plt.title("Değişkenler Arasındaki Korelasyon Matrisi")
```

```
plt.show()
```

```
# Veriyi bağımsız ve bağımlı değişkenlere ayırma
```

```
X = df.drop("FPV Test Sonucu", axis=1)
```

```
y = df["FPV Test Sonucu"]
```

```
# Veriyi eğitim ve test setlerine ayırma
```

```
X_train, X_test, y_train, y_test = train_test_split(X, y, test_size=0.2, random_state=42)
```

```
# Rastgele orman modeli oluşturma
```

```
model = RandomForestRegressor(random_state=42)
```

```
model.fit(X_train, y_train)
```

```
# Özellik önem derecelerini hesaplama
```

```
feature_importances = model.feature_importances_
```

```
features = X.columns
```

```
# Özellik önem derecelerini görselleştirme
```

```
plt.figure(figsize=(12, 8))
```

```
plt.barh(features, feature_importances, color='skyblue')
```

```

plt.xlabel("Özellik Önem Derecesi")
plt.title("Özelliklerin FPV Test Sonucuna Etkisi")
plt.show()

# Eriyik sıcaklığına etki eden parametrelerin önem grafiği
X_eriik = df.drop(["Eriyik Sıcaklık", "FPV Test Sonucu"], axis=1) # FPV Test Sonucu
çıkarıldı
y_eriik = df["Eriyik Sıcaklık"]

model_eriik = RandomForestRegressor(random_state=42)
model_eriik.fit(X_eriik, y_eriik)

feature_importances_eriik = model_eriik.feature_importances_

plt.figure(figsize=(12, 8))
plt.barh(X_eriik.columns, feature_importances_eriik, color='lightcoral')
plt.xlabel("Özellik Önem Derecesi")
plt.title("Özelliklerin Eriyik Sıcaklığına Etkisi")
plt.show()

# Vida hızı ve besleme oranının tork ile ilişkisini görselleştirme
plt.figure(figsize=(12, 5))

plt.subplot(1, 2, 1)
plt.scatter(df["Vida Hızı"], df["TORK"])
plt.xlabel("Vida Hızı")
plt.ylabel("TORK")
plt.title("Vida Hızı vs TORK")

plt.subplot(1, 2, 2)
plt.scatter(df["Besleme"], df["TORK"])
plt.xlabel("Besleme")
plt.ylabel("TORK")

```

```
plt.title("Besleme vs TORK")

plt.tight_layout()
plt.show()

# Korelasyon katsayılarını hesaplama
vida_tork_corr = df["Vida Hızı"].corr(df["TORK"])
besleme_tork_corr = df["Besleme"].corr(df["TORK"])

print("Vida Hızı ile TORK Korelasyon Katsayısı:", vida_tork_corr)
print("Besleme ile TORK Korelasyon Katsayısı:", besleme_tork_corr)

# Karıştırma oranının tork ile korelasyon katsayısını hesaplama
karistirma_tork_corr = df["Karıştırma Oranı"].corr(df["TORK"])

print("Karıştırma Oranı ile TORK Korelasyon Katsayısı:", karistirma_tork_corr)

# Tork ile FPV arasındaki ilişkiyi görselleştirme
plt.figure(figsize=(10, 6))
plt.scatter(df["TORK"], df["FPV Test Sonucu"])
plt.xlabel("TORK")
plt.ylabel("FPV Test Sonucu")
plt.title("TORK vs FPV Test Sonucu")
plt.show()

# Eriyik sıcaklık ile FPV Test Sonucu arasındaki ilişkiyi görselleştirme
plt.figure(figsize=(10, 6))
plt.scatter(df["Eriyik Sıcaklık"], df["FPV Test Sonucu"], color='orange')
plt.xlabel("Eriyik Sıcaklık")
plt.ylabel("FPV Test Sonucu")
plt.title("Eriyik Sıcaklık vs FPV Test Sonucu")
plt.show()
```

```
# Karar ağacı modeli oluşturma
model = DecisionTreeRegressor(random_state=42)
model.fit(X_train, y_train)

# Test seti ile tahmin yapma
y_pred = model.predict(X_test)

# Modelin performansını değerlendirme
mse = mean_squared_error(y_test, y_pred)
r2 = r2_score(y_test, y_pred)

# Sonuçları görselleştirme
plt.figure(figsize=(10, 6))
plt.scatter(y_test, y_pred)
plt.plot([0.6, 0.85], [0.6, 0.85], 'r--')
plt.xlabel("Gerçek FPV Değerleri")
plt.ylabel("Tahmin Edilen FPV Değerleri")
plt.title("Gerçek vs Tahmin Edilen FPV Değerleri (Karar Ağacı)")
plt.show()

print("Mean Squared Error:", mse)
print("R-squared:", r2)

# Karar ağacı modelini optimize etmek için GridSearchCV kullanma
param_grid = {
    'max_depth': [3, 5, 7, 10, None],
    'min_samples_split': [2, 5, 10],
    'min_samples_leaf': [1, 2, 4],
    'max_features': [None, 'sqrt', 'log2']
}

grid_search = GridSearchCV(estimator=DecisionTreeRegressor(random_state=42),
param_grid=param_grid, cv=5, n_jobs=-1, scoring='r2')
```



```
grid_search.fit(X_train, y_train)
```

```
# En iyi modeli seçme
```

```
best_model = grid_search.best_estimator_
```

```
# 1. Tork Tahmini
```

```
X_tork = df[["Besleme", "Vida Hızı"]]
```

```
y_tork = df["TORK"]
```

```
X_train_tork, X_test_tork, y_train_tork, y_test_tork = train_test_split(X_tork, y_tork,  
test_size=0.2, random_state=42)
```

```
model_tork = RandomForestRegressor(random_state=42)
```

```
model_tork.fit(X_train_tork, y_train_tork)
```

```
y_pred_tork = model_tork.predict(X_test_tork)
```

```
print("Tork Tahmin Sonuçları")
```

```
print("Mean Squared Error:", mean_squared_error(y_test_tork, y_pred_tork))
```

```
print("R-squared:", r2_score(y_test_tork, y_pred_tork))
```

```
# 2. Eriyik Sıcaklık Tahmini
```

```
X_eriyik = df[["Kovan 1", "Kovan 2", "Kovan 3", "Kovan 4", "Kovan 5", "Kovan 6", "Kovan  
7", "Kovan 8", "Kovan 9", "Kovan 10", "Kovan 11", "Kovan 12", "Kovan 13", "Kovan 14",  
"Besleme", "Vida Hızı"]]
```

```
y_eriyik = df["Eriyik Sıcaklık"]
```

```
X_train_eriyik, X_test_eriyik, y_train_eriyik, y_test_eriyik = train_test_split(X_eriyik, y_eriyik,  
test_size=0.2, random_state=42)
```

```
model_eriyik = RandomForestRegressor(random_state=42)
```

```
model_eriyik.fit(X_train_eriyik, y_train_eriyik)
```

```

y_pred_eriik = model_eriik.predict(X_test_eriik)

print("\nEriik Sıcaklık Tahmin Sonuçları")
print("Mean Squared Error:", mean_squared_error(y_test_eriik, y_pred_eriik))
print("R-squared:", r2_score(y_test_eriik, y_pred_eriik))

# 3. FPV Tahmini
df["Tahmin Edilen Tork"] = model_tork.predict(X_tork)
df["Tahmin Edilen Eriik Sıcaklık"] = model_eriik.predict(X_eriik)

X_fpv = df[["Tahmin Edilen Tork", "Tahmin Edilen Eriik Sıcaklık"]]
y_fpv = df["FPV Test Sonucu"]

X_train_fpv, X_test_fpv, y_train_fpv, y_test_fpv = train_test_split(X_fpv, y_fpv, test_size=0.2,
random_state=42)

model_fpv = RandomForestRegressor(random_state=42)
model_fpv.fit(X_train_fpv, y_train_fpv)

y_pred_fpv = model_fpv.predict(X_test_fpv)

print("\nFPV Tahmin Sonuçları")
print("Mean Squared Error:", mean_squared_error(y_test_fpv, y_pred_fpv))
print("R-squared:", r2_score(y_test_fpv, y_pred_fpv))

# Gerçek ve tahmin edilen Tork değerleri için görsel
y_tork_test = model_tork.predict(X_test_tork)
plt.figure(figsize=(10, 6))
plt.scatter(y_test_tork, y_pred_tork, color='green', label='Tahmin Edilen Tork')
plt.plot([60, 80], [60, 80], 'r--', label='Doğru Kapsam')
plt.xlabel("Gerçek Tork Değerleri")
plt.ylabel("Tahmin Edilen Tork Değerleri")

```

```
plt.title("Gerçek vs Tahmin Edilen Tork Değerleri")
plt.legend()
plt.show()
```

```
# Gerçek ve tahmin edilen Eriyik Sıcaklık değerleri için görsel
```

```
y_eriik_test = model_eriik.predict(X_test_eriik)
```

```
plt.figure(figsize=(10, 6))
```

```
plt.scatter(y_test_eriik, y_pred_eriik, color='purple', label='Tahmin Edilen Eriyik Sıcaklık')
```

```
plt.plot([160, 190], [160, 190], 'r--', label='Doğru Kapsam')
```

```
plt.xlabel("Gerçek Eriyik Sıcaklık Değerleri")
```

```
plt.ylabel("Tahmin Edilen Eriyik Sıcaklık Değerleri")
```

```
plt.title("Gerçek vs Tahmin Edilen Eriyik Sıcaklık Değerleri")
```

```
plt.legend()
```

```
plt.show()
```

```
# Tahmin yapacağınız veri seti
```

```
deneme_veri = pd.DataFrame({
```

```
    'Kovan 1': [100],
```

```
    'Kovan 2': [100],
```

```
    'Kovan 3': [150],
```

```
    'Kovan 4': [150],
```

```
    'Kovan 5': [150],
```

```
    'Kovan 6': [150],
```

```
    'Kovan 7': [155],
```

```
    'Kovan 8': [160],
```

```
    'Kovan 9': [160],
```

```
    'Kovan 10': [160],
```

```
    'Kovan 11': [160],
```

```
    'Kovan 12': [165],
```

```
    'Kovan 13': [170],
```

```
    'Kovan 14': [200],
```

```
    'Besleme': [300],
```

```
    'Vida Hızı': [230],
```

```

        'Karıştırma Oranı': [51]
    })

deneme_veri['Tahmin Edilen Tork'] = model_tork.predict(deneme_veri[["Besleme", "Vida
Hızı"]])
deneme_veri['Tahmin Edilen Eriyik Sıcaklık'] = model_eriyik.predict(deneme_veri[["Kovan 1",
"Kovan 2", "Kovan 3", "Kovan 4", "Kovan 5", "Kovan 6", "Kovan 7", "Kovan 8", "Kovan 9",
"Kovan 10", "Kovan 11", "Kovan 12", "Kovan 13", "Kovan 14", "Besleme", "Vida Hızı"]])

deneme_veri['Tahmin Edilen FPV'] = model_fpv.predict(deneme_veri[["Tahmin Edilen Tork",
"Tahmin Edilen Eriyik Sıcaklık"]])

fig, ax = plt.subplots(figsize=(12, 4))
ax.axis('tight')
ax.axis('off')
table = ax.table(cellText=deneme_veri.values, colLabels=deneme_veri.columns,
cellLoc='center', loc='center', fontsize=12)
table.auto_set_font_size(False)
table.set_fontsize(12)
plt.title("Tahmin Sonuçları", fontsize=16)
plt.show()

# Tahmin edilen verileri Excel dosyasına kaydetme
output_file = "tahmin_sonucлари.xlsx"
deneme_veri.to_excel(output_file, index=False)
print(f'Tahmin sonuçları '{output_file}' dosyasına kaydedildi.")

```