

T.C.
GEBZE TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ

KALİPLANMIŞ GENLEŞTİRİLMİŞ POLİPROPİLEN PARÇALARIN
ÜRETİM PARAMETRELERİNİN
YAPAY SİNİR AĞLARI İLE TAHMİNİ

Onat KALAFAT
YÜKSEK LİSANS TEZİ
İŞLETME ANABİLİM DALI

GEBZE

2021

T.C.
GEBZE TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ

KALİPLANMIŞ GENLEŞTİRİLMİŞ
POLİPROPİLEN PARÇALARIN
ÜRETİM PARAMETRELERİNİN
YAPAY SİNİR AĞLARI İLE TAHMİNİ

Onat KALAFAT
YÜKSEK LİSANS TEZİ
İŞLETME ANABİLİM DALI

Tez Danışmanı
Prof. Dr. Bülent SEZEN

GEBZE
2021



YÜKSEK LİSANS JÜRİ ONAY FORMU

GTÜ Sosyal Bilimler Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 12/1/2021 tarih ve 2021-02-04 sayılı kararıyla oluşturulan jüri tarafından 19/01/2021 tarihinde tez savunma sınavı yapılan Onat Kalafat'ın tez çalışması İşletme Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS tezi olarak kabul edilmiştir.

JÜRİ

ÜYE

(TEZ DANIŞMANI) : Prof. Dr. Bülent SEZEN

ÜYE

: Doç. Dr. Mehmet Şahin GÖK

ÜYE

: Dr. Öğretim Üyesi Ahmet Tuğrul TUĞER

ONAY

Gebze Teknik Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun
...../...../..... tarih ve/..... sayılı kararı.

İMZA/MÜHÜR

ÖZET

Günümüzde gelişen teknoloji ile birlikte üretim teknolojileri ve yöntemleri de gelişmektedir. Gelişen üretim teknolojileri ve artan talepler ile birlikte de özellikle otomotiv sektörü başta olmak üzere çeşitli sektörlerde kalıplanmış köpüklerin kullanımı yaygınlaşmıştır. Kalıplanmış köpük türleri içerisinde ise genleştirilmiş polipropilen otomotiv endüstrisinde yoğunlukla kullanılmaktadır. Genleştirilmiş polipropilenin şekil verilebilirlik, mekanik dayanım ve düşük yoğunluk gibi özellikleri nedeniyle otomotiv sektörü haricinde de birçok sektörde çokça tercih edilmektedir. Genleştirilmiş polipropilenin efektif ve ticari bir metodu olan buhar kazanlı üretim yöntemidir. Bu yöntemde kalıp içerisine doldurulan genleştirilmiş polipropilen boncukları buhar enerjisi yardımıyla birbiriyle kaynaştırılarak kalıplanmış parça elde edilir. Bu üretim metodunda buhar önemli bir parametre olup kaynaşma ve kalıplanmış parçanın mekanik özelliklerine etki etmektedir. Bu çalışmada kalıplanmış genleştirilmiş polipropilen üretiminde kullanılan üretim parametrelerinin yapay sinir ağları ile tahmini irdelenmiştir. Çalışmada toplanan veriler fabrikanın stabil çalışma koşullarında ve seri üretim halindeyken her parça için ayrı ayrı alınmıştır. Toplanan veriler ile sinir ağları eğitilmiş ve sinir ağı yapısı oluşturulmuştur. Eğitim sonrasında sinir ağları öncesinde hiç üretilmemiş bir parça üzerinde test edilmiş ve insanın girdiği üretim parametreleri ile karşılaştırma yapılmıştır. Sonuçlar, yeni bir parça için, sinir ağının tahmin ettiği parametrelerin, insanın girdiği parametre değerlerine yaklaştığını göstermektedir. Üretim parametrelerinin tahmini yapılırken Python programlama dili ve Tensorflow yapay sinir ağları kütüphanesi kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan üretim parametre verileri Atermit Sanayi ve Tic. A.Ş. Sakarya fabrikasından toplanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Genleştirilmiş polipropilen, Yapay Sinir Ağları, Buhar Kazanlı Kalıplama, Tahminleme, Üretim Parametreleri

SUMMARY

In today production technologies and methods are developing with improving technology. With the developing production technologies and increasing demands, the use of molded particle foams has become widespread in various sectors, especially in the automotive sector. Among particle foams, expanded polypropylene is used extensively in automotive industry. Due to expanded polypropylene properties such as formability, mechanical strength and low density, expanded polypropylene is widely preferred in many sectors. Steam chest molding is one of effective and commercial method for production of particle foams. In this method, foam beads are filled into mold cavity and fused each other by steam energy. In this method, as can be seen, steam is an important parameter for process and affects mechanical properties of molded part. In this study, prediction of expanded polypropylene foam production parameters with artificial neural networks are examined. The data collected in the study were taken separately for each part in stable working conditions of the factory and in mass production. Neural networks are trained with collected data and a neural network structure is created. After neural network training, neural networks were tested on a new part that was not produced before. And a comparison was made with production parameters entered by human. Results show that, predicted production parameters are close to production parameters values that entered by human. While making predictions, Python programming language and Tensorflow neural network library is used. In study, production parameters are collected from Atermit Sanayi ve Tic. A.Ş. Sakarya Plant.

Keywords: Expanded Polypropylene, Artificial Neural Networks, Steam Chest Molding, Predicting, Production Parameters.

TEŞEKKÜR

Bu tezin ortaya çıkmasında, her türlü desteğini esirgemeyen ailem ve dostlarıma, bana fırsat veren ve bu tezin oluşumuna destek sağlayan Atermit Sanayi ve Tic. A.Ş. Yönetim Kurulu üyeleri Sayın Emin Özgür ve Levent Özgür’e, Atermit Sakarya fabrikasında bulunan çalışanlara, bu tezin ortaya çıkmasında büyük katkıları olan Volkan Gören’e, tez süreci boyunca her türlü desteği sağlayan Sayın Prof. Dr. Bülent Sezen’e en içten teşekkürlerimi sunarım.



İÇİNDEKİLER

ÖZET	i
SUMMARY	ii
TEŞEKKÜR	iii
İÇİNDEKİLER	iv
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ	vii
TABLolar DİZİNİ	xi
1. GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR TARAMASI	7
3. POLİMERİK KÖPÜKLER	9
3.1. Genleştirilmiş Polipropilen ve Özellikleri	10
3.2. Kalıplanmış Genleştirilmiş Polipropilen Üretimi	14
3.2.1. Genleştirilmiş Polipropilen Kalıbı	15
3.2.2. Buhar	18
3.2.3. Kalıplama Makinesi	24
3.3. Genleştirilmiş Polipropilen Kalıplama Prosesi	26
3.3.1 Doldurma Basıncı	28
3.3.2. Doldurma Zamanı	29
3.3.3. Çapraz Buhar Sabit Taraf Basıncı	29
3.3.4. Çapraz Buhar Sabit Taraf Zamanı	30
3.3.5. Çapraz Buhar Hareketli Taraf Basıncı	30
3.3.6. Çapraz Buhar Hareketli Taraf Zamanı	31

3.3.7. Otoklav Hareketli ve Sabit Taraf Buhar Basıncı	31
3.3.8. Otoklav Zamanı	32
3.3.9. Soğutma Zamanı	32
4. YAPAY SİNİR AĞLARI	33
4.1. Yapay Sinir Ağı Mimarileri	36
4.1.1. İleri Beslemeli Yapay Sinir Ağı	36
4.1.2. Geri Beslemeli Yapay Sinir Ağları	38
4.2. Yapay Sinir Ağlarında Öğrenme	39
4.2.1. Danışmanlı Öğrenme	39
4.2.2. Danışmansız Öğrenme	40
4.2.3. Takviyeli Öğrenme	40
5. YÖNTEM VE UYGULAMA	41
5.1. Kullanılan Veri Seti ve Kurgulanan Model	41
6. BULGULAR	48
7. SONUÇ VE ÖNERİLER	60
KAYNAKLAR	62
ÖZGEÇMİŞ	65

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler ve Açıklamalar

Kısaltmalar

m	:	Metre
K	:	Kelvin
Kg	:	Kilogram
g	:	Gram
mm	:	Milimetre
s	:	Saniye
PS	:	Polistiren
PP	:	Polipropilen
PE	:	Polietilen
PLA	:	Poliaktik asit
PET	:	Polietilen terafitalat
PU	:	Poliüretan
EPP	:	Expanded polypropylene

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Sekil No:</u>	<u>Sayfa</u>	
1.1:	a) Matriks içerisinde gaz fazı bulunan köpük, b) Farklı tane boyutlarındaki polimerik köpüklerde ısı transferi.	2
1.2:	Otomotivde kullanılan genişleştirilmiş polipropilen parçalar.	3
1.3:	a) Genleştirilmiş polipropilenden imal edilmiş olan ve ısı yalıtımı için kullanılan eşanjör kılıfı. b) Eşanjör kılıfının montajsız görüntüsü.	4
1.4:	a) Genleştirilmiş polipropilenden imal edilmiş olan masaj rulosu, b) genişleştirilmiş polipropilenden imal edilmiş olan yüzmeye yardımcı yüzme tahtası.	4
1.5:	a)Tek hücreli sinir ağının temsili şeması, b) sinir hücreleri ve ağ yapısı.	5
3.1:	a) Açık hücreli polimer köpük, b) kapalı hücreli polimer köpük.	10
3.2:	Genleştirilmiş polipropilenin, polipropilen reçineden itibaren üretim şeması.	11
3.3:	Araç şasesi içerisine yerleştirilen köpük destek noktaları.	12
3.4:	Köpük ile a) desteklenmemiş ve b) desteklenmiş bariyere çarpan otomobilin kaza sonrası görüntüsü.	12
3.5:	Farklı sıcaklıklarda test edilmiş olan genişleştirilmiş polipropilenin basma mukavemeti grafiği.	13
3.6:	Boncukların yapıştırılmasıyla üretilmiş olan genişleştirilmiş polipropilen parça.	14

<u>Sekil No:</u>	<u>Sayfa</u>
3.7: Radyo frekansı ile üretilen genişletilebilir polistirenin temsili görüntüsü.	14
3.8: Kalıp imalatında kullanılan Al 5083 malzemenin fiziksel özellikleri.	16
3.9: Soldan sağa 0,3 mm, 0,5 mm, 0,8 mm delikli nozül.	17
3.10: Nozüllerin parça üzerinde oluşturduğu etki.	17
3.11: Buharlama öncesinde ve sonrasında polimer zincirlerinin oryantasyonu.	19
3.12: Düşük ergime noktası ve düşük ergime noktasının diferansiyel taramalı kalorimetre ölçüm grafiğindeki temsili görüntüsü.	19
3.13: Genleştirilmiş polipropilene ait boncuk içerisindeki a) hücrelerin ve b) boncuğun görüntüsü.	20
3.14: Farklı yoğunluk ve farklı buhar basınçlarında üretilmiş olan genişleştirilmiş polipropilenin kesit görüntüsü.	21
3.15: a) Kaynaşmamış parça kesiti, b) kaynaşmış parça görüntüsü.	22
3.16: Farklı yoğunluk ve farklı buhar basınçlarında üretilmiş olan parçaların çekme dayanım grafikleri.	22
3.17: a) Farklı yoğunluktaki (1)23, (2)40, (3)57, (4)83 Kg/m ³ genişleştirilmiş polipropilenin gerilme-gerinme grafiği. b) Genleşmiş polipropilene ait yoğunluk ve termal iletkenlik grafiği.	23
3.18: Basma testi sırasındaki genişleştirilmiş polipropilen hücresinden gaz çıkışı	24
3.19: Enjeksiyon kalıplama makinesi.	25

<u>Sekli No:</u>	<u>Sayfa</u>
3.20:	Buhar kamarası ve kalıbın arkadan görüntüsü. 25
3.21:	Buhar kamarası ve kalıbın üst kesit görüntüsü. Yeşil ve sarı paralar buhar kamarasını ifade ederken açık mavi parçalar ise kalıbı ifade etmektedir. 26
3.22:	a)Aralıklı kalıp, b)face-to-face kalıp temsili görüntüsü. 29
3.23:	Sabit taraf çapraz buhar basıncı buhar geçişi temsili görüntüsü. 30
3.24:	Hareketli taraf çapraz buhar basıncı buhar geçişi temsili görüntüsü. 31
3.25:	Otoklav buhar basıncı buhar geçişi temsili görüntüsü. 32
4.1:	OR mantık kapısının doğruluk grafiği. 34
4.2:	XOR mantık kapısının doğruluk grafiği. 35
4.3:	Biyolojik sinir hücresi temsili görüntüsü. 35
4.3:	2 katmanlı ileri beslemeli yapay sinir ağı yapısı. 37
4.5:	3 katmanlı ileri beslemeli yapay sinir ağı yapısı. 38
4.6:	Geri beslemeli çok katmanlı yapay sinir ağı. 38
4.7:	Danışmanlı öğrenme yapısı 39
4.8:	Danışmansız öğrenme yapısı 40
5.1:	Sinir Ağı 1 ve Sinir Ağı 2'nin veri girdi ve çıktı akış şeması. 43
5.2:	Çalışmada kurgulanan yapay sinir ağının temsili yapısı. 44
5.3:	Buharlama basınç üretim parametrelerinin tahminini yapan sinir ağlarının temsili yapısı. 45

Sekil No:**Sayfa**

5.4:	Buharlama zamanı üretim parametrelerinin tahminini yapan sinir ağlarının temsili yapısı.	46
6.1:	Sinir ağları ile tahmin edilmiş parametrelerle üretilen genişletilmiş polipropilen köpük tampon şok emici parçası.	56
6.2:	Yapay sinir ağlarının tahmin ettiği parametre ile alınan 5 çevrim sonrasında ölçülen kalıp yüzey sıcaklığı renk haritası.	57
6.3:	Yapay sinir ağı ve operatörün çevrim sırasındaki hareketli taraf buhar basınç ayar değerleri.	58
6.4:	Yapay sinir ağı ve operatörün çevrim sırasındaki sabit taraf buhar basınç ayar değerleri.	59

TABLÖLAR DİZİNİ

<u>Tablo No:</u>		<u>Sayfa</u>
3.1:	Dolum üretim aşaması proses parametreleri.	28
3.2:	Buharlama üretim aşaması proses parametreleri.	28
4.1:	OR ve XOR mantık kapıları doğruluk tablosu	34
5.1:	Dolum basıncının yapay sinir ağı örnek çıktısı.	44
5.2:	Soğutma süresi tahminlemesi yapan yapay sinir ağına örnek çıktısı.	46
5.3:	Soğutma süresi “One Hot Encode” edilmiş olan eğitim girdisi.	47
5.4:	Eğitim sırasında kullanılan bilgisayarın donanımsal özellikleri.	47
6.1:	Doldurma basıncı sapma ve doğruluk değeri.	49
6.2:	Doldurma zamanı sapma ve doğruluk değeri.	49
6.3:	Sabit taraf çapraz buhar basıncı sapma ve doğruluk değeri.	50
6.4:	Hareketli taraf çapraz buhar basıncı sapma ve doğruluk değeri.	51
6.5:	Hareketli taraf otoklav basıncı sapma ve doğruluk değeri.	52
6.6:	Sabit taraf otoklav basıncı sapma ve doğruluk değeri.	52
6.7:	Sabit taraf çapraz buhar zamanı sapma ve doğruluk değeri.	53
6.8:	Hareketli taraf çapraz buhar zamanı sapma ve doğruluk değeri.	53
6.9:	Otoklav buhar zamanı sapma ve doğruluk değeri.	54
6.10:	Soğutma zamanı sapma ve doğruluk değeri	55
6.11:	İnsan ve yapay sinir ağına tahmin ettiği parametrelerin karşılaştırması.	56
6.12:	Yapay sinir ağına ürettiği parçaların yaş ve kuru ağırlıkları.	57

1. GİRİŞ

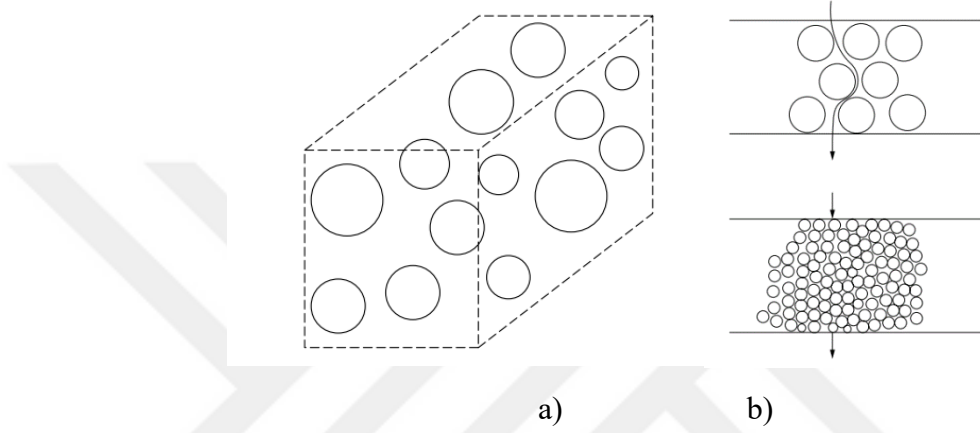
Köpük teriminin literatürde farklı anlamları bulunmakla birlikte genel kabul gören anlamı, gaz kabarcıklarının ince sıvı veya katı zar ile kuşatılmasından oluşan 2 fazlı oluşum olarak bilinmektedir. Bu tanımdan da görüleceği üzere köpük mekanizması 2 bileşenden oluşan bir yapı olarak görülmektedir. Bu 2 fazlı yapının birbiri ile oryantasyonu ve fiziksel durumları da önem arz etmektedir. Bu çalışmada üzerinde çalışılan ürün katı faz içerisinde hapsolmuş gaz fazı ile oluşan köpüğü içermektedir. Bununla birlikte, gaz balonları sıvı üzerinde bulunabilir, sıvı içerisinde dağılmış olabilir, sıvı-sıvı karışım halinde olabilir, sıvı katı içerisinde dağılmış olabilir (Lee, 2017).

Polimerik köpüklerin içerisinde hapsolan ve dağılmış gaz termal, mekanik ve fiziksel malzeme özelliklerine doğrudan etki etmektedir. Bu etkinin nedeni ise polimerik köpüklerin kompozit bir yapıda olmasından kaynaklanmaktadır. Polimerik köpükler içerisindeki gazın dağılımı, hücresel büyüklük, yoğunluk gibi etmenler malzeme özelliklerinde artırıcı veya azaltıcı rol oynayabilmektedir. Bununla birlikte polimerik köpükler açık veya kapalı hücreli olarak hücre tipine göre 2'ye ayrılabilir. Açık veya kapalı hücreli olması köpüğün mekanik ve termal özellikleri doğrudan etkilemektedir. Örneğin kapalı hücreli polimerik köpük üzerinden gerçekleşen ısı transferi doğrudan gaz fazının miktarı yani yoğunluk ile ilgilidir. Bu durum Şekil 1.1'de gösterilmiştir (Lee, 2017; Gürkan, 2017). Açık hücreli köpükler ses ve nem yalıtımında daha çok kullanılırken kapalı hücreli köpükler ise termal yalıtımda kullanılmaktadır.

Polimerik köpüklerdeki gelişim geçtiğimiz yüzyılın başlarından itibaren başlamaktadır. Bu noktada geliştirilen yöntemler ve yapılan çalışmalar ile birlikte polimer köpük üretiminde özellikle 1950-1970 yılları arasında önemli gelişmeler meydana gelmiştir. Hem termoplastik hem de termoset polimerlerde çeşitli polimer köpük üretim yöntemleri geliştirilmiştir.

Köpük çeşitli alanlarda kullanılan bir malzeme olmakla birlikte doğal olarak oluşabilir ve sentetik olarak da üretilebilir. Köpük oluşumu köpükleşme ile meydana gelmektedir. Genellikle köpük oluşumu difüzyona imkan vermeyecek hızlarda ortam koşullarının değişmesi ile olmaktadır. Gaz küreleri polimer, metal veya sıvı gibi yoğun

ortam içerisinde yaşanan hızlı sıcaklık değişim ile birlikte hapsolarak köpük oluşumu gerçekleşir. Köpük oluşumu esnasında yoğun ortamın mukavemeti artar, böylece içerisine hapsolan gaz yoğunlaşmaz ve gaz halinde kalır. Bu noktada zamanlama çok önemlidir. Yoğun faz içerisindeki gazın stabil biçimde kalabilmesi ve oluşabilmesi için basıncı, çevre basıncı, yüzey gerilimi ve kritik küre yarı çapı ile ilgilidir.



Şekil 1.1: a) Matriks içerisinde gaz fazı bulunan köpük, b) Farklı tane boyutlarındaki polimerik köpüklerde ısı transferi (Lee, 2017).

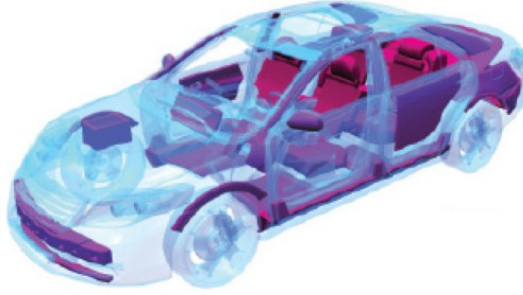
2019 itibariyle sadece Avrupa pazarında plastik üretimi 57 milyon ton olarak öngörülmüştür. Ağırlıkça 57 milyon tonun 4,5 milyon tonu polimerik köpüklerden oluşmaktadır. Öte yandan hacimsel olarak karşılaştırıldığında ise yarı yarıya olduğu görülmektedir. Bu durum köpüklerin düşük yoğunlukları nedeniyle en büyük özelliği olan ağırlık azaltma avantajını göstermektedir. Bununla birlikte termal yalıtımda da polimerik köpükler önemli malzemeler arasında bulunmaktadır (Karger-Kocsis & Bárány, 2019).

Bu çalışmada geliştirilmiş polipropilen köpük parçaların üretiminde kullanılan üretim parametrelerine odaklanılmıştır. Genleştirilmiş polipropilen köpük üretiminde ticari ve efektif bir method olan enjeksiyon kalıplama yöntemi kullanılmaktadır. Bu yöntemde buhar, su ve hava ile birlikte genleştirilmiş polipropilen boncukları birleştirilerek istenen geometride bir parça elde edilir.

Genleştirilmiş polipropilen özellikle otomotiv endüstrisinde olmak üzere birçok alanda kullanılmaktadır. Genleştirilmiş polipropilenin başlıca kullanım alanları aşağıdaki gibi sıralanabilir.

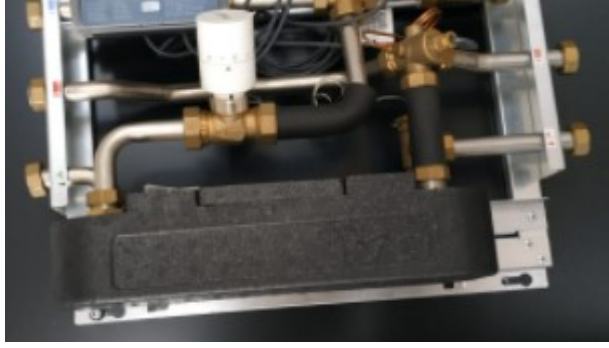
1. Otomotiv
2. Isıtma-Soğutma-Havalandırma
3. Spor Ürünleri
4. Paketleme/Taşıma

Genleştirilmiş polipropilen köpükler 15-250 Kg/m³ aralığındaki yoğunluklarda enjeksiyon kalıplama yöntemi ile üretilebilmektedir. Otomotiv endüstrisinde özellikle enerji sönümleyici olarak araç ön ve arka tamponlarında, düşük ağırlık/hacim oranı sayesinde ise otomobil arka koltuklarında kullanılmaktadır. Koltuk iç malzemesi olarak kullanımında metal karkas yapısının yerine geçerek ağırlık azaltımı sağlamıştır (Çelik vd., 2015). Yine otomobillerde taban altı boşluk doldurucu, koltuk kafalığı iç çekirdek malzemesi, bagaj içinde eşya düzenleyici ve boşluk doldurucu, akü kutusu olarak genleştirilmiş polipropilen kullanılmaktadır. Araçlarda kullanımını Şekil 1.2.'de eflatun rengi ile gösterilmiştir (Sopher, 2011).



Şekil 1.2: Otomotivde kullanılan genleştirilmiş polipropilen parçalar (Sopher, 2011).

Bununla birlikte ısıtma soğutma ve havalandırma sektöründe hem geometri bağımsız olmasından dolayı hem de ısı yalıtım özelliğinden dolayı ısı değiştiricilerinde, eşanjör sistemlerinde kullanılmaktadır. Termal iletkenlik değeri(λ) kalıplanmış ürün yoğunluğuyla değişmekle beraber 20 ile Kg/m³ için 35 mW.m⁻¹.K⁻¹ iken 200 Kg/m³ için ise 65 mW.m⁻¹.K⁻¹'dir (Web 1, 2020).



a)



b)

Şekil 1.3: a) Genleştirilmiş polipropilenden imal edilmiş olan ve ısı yalıtımı için kullanılan eşanjör kılıfı. b) Eşanjör kılıfının montajsız görüntüsü.

Genleştirilmiş polipropilenin diğer bir kullanım alanı ise spor ürünleri ve paketlenme/taşıma ekipmanlarıdır. Spor ürünlerinde spor sonrası kas gevşetme amacıyla kullanılan köpük masaj rulolarında ve hücreleri içerisinde hava bulunmasından dolayı yüzmeye yardımcı ekipmanlarda kullanılmaktadır. Spor ekipmanlarında kullanımına örnek Şekil 1.4’de gösterilmiştir. Bunun yanında darbe sönümleyici özelliğinden dolayı çeşitli eşyaların paketlenmesinde ve hassas/çizilebilir parçaların taşınmasında koruyucu olarak kullanılmaktadır.



a)



b)

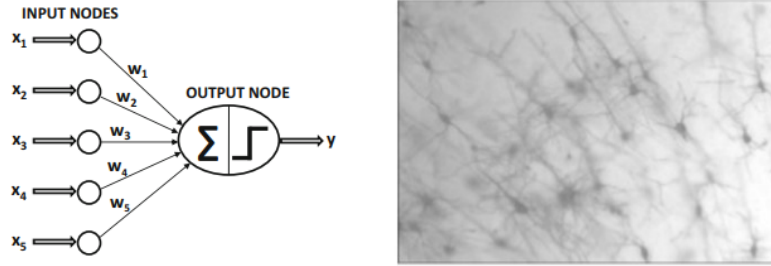
Şekil 1.4: a) Genleştirilmiş polipropilenden imal edilmiş olan masaj rulosu, b) genleştirilmiş polipropilenden imal edilmiş olan yüzmeye yardımcı yüzmeye tahtası.

Gelişen teknolojik imkanlar ve bilgisayarlar sayesinde günümüzde yapay zeka ve yapay sinir ağları çok farklı alanlarda kullanılmakla birlikte üretim yapan işletmelerde de son yıllarda kullanılmaktadır. Yapay zeka uygulamaları üretim yapan işletmelerde ve

mühendislik uygulamalarında insan gibi düşünen, karar verebilen teknolojilerin kullanılmasıyla üretimdeki kalite artışı, üretim verimliliği artışlarını beraberinde getirmektedir.

Yapay sinir ağları biyolojik olarak nöronlardan esinlenilmiş matematiksel bir keşiftir. Yapay sinir ağlarının amacı, girdi verilerini kullanarak girdi ve çıktı arasında bağlaşım kurmaktır. Yapay sinir ağları birden fazla katmana sahip olabilirler, bu çoklu katmanlar sayesinde birçok problemin çözümü mümkün kılınmaktadır.

Öte yandan yapay sinir ağlarının ilk adımları McCulloch ve W. Pitts'in 1943 yılında beyin dalgalarını modellenmesi ile başlamıştır. Bunu takip eden yıllarda ise "Perception" denilen tek hücreli yapay insan nöronundan esinlenerek ortaya konulan mantık modeli oluşturulmuştur. Perception 1957'de M. Hoff, B. Widrow ve F. Rosenblatt tarafından modellenmiştir (İnik, 2018; Şeker, 2017). Şekil 1.5'de perception'un temsili olarak görüntüsü ve sinir hücreleri yer almaktadır.



Şekil 1.5: a) Tek hücreli sinir ağının temsili şeması (Aggarwal, 2018), b) sinir hücreleri ve ağ yapısı (Çılgin, 2020).

1960'ların sonları ile 1970'lerin ortalarına kadar yapay zeka teorilerinde XOR problemi nedeniyle büyük atılımlar gerçekleşmemiştir. 1980'lerin sonunda ve 1990'ların başında ise probalistik ağlar ve regresyon yapay sinir ağları ortaya konulmuştur. Bu modellerin ortaya konulmasıyla birlikte lineer problemlerin çözülmesinde ileri beslemeli yapay sinir ağları kullanılmış olup başarı oranı sınırlı kalmıştır. Takip eden yıllarda ise geri beslemeli yapay sinir ağları modelleri ortaya konulmuş ve ileri beslemeli yapay sinir ağlarına göre daha başarılı sonuçların alındığı gözlenmiştir. Fakat geri beslemeli sinir ağları doğrusal olmayan problemlerin çözümünde yetersiz kalmıştır. Bu nedenle 1990'lı yılların ortalarından itibaren doğrusal olmayan problemlerin çözümünde çok katmanlı geri

beslemeli yapay sinir ağıları kullanılmıştır. Tüm bu gelişmeler ile birlikte toplumda ve yapay sinir ağlarının kullanım alanlarında dijitalleşmenin artmasıyla yapay sinir ağları için oluşan veri de artmıştır. Ayrıca internetin yaygınlaşmasıyla birlikte tüm bu veriler merkezileşmesi kolaylaşmıştır.

Bu tezin konusu olan çalışmada geri beslemeli çok katmanlı yapay sinir ağları kullanılarak bir derin öğrenme modeli kurgulanmıştır. Oluşturulan yapay sinir ağı ile birlikte geliştirilmiş polipropilen üretiminde kullanılan üretim parametreleri tahmin edilmeye çalışılmıştır.



2. LİTERATÜR TARAMASI

Son yıllarda, yapay sinir ağları ve derin öğrenme metodları doğrusal olmayan ve karmaşık problemlerin, sistemlerin çözülmesinde pratik ve güçlü bir metod olmaktadır. Enjeksiyonda kalıplanmış köpük üretiminde ise karmaşık ve lineer olmayan bir problemidir. Bu nedenle bu çalışmada yapay sinir ağları enjeksiyon üretim parametrelerinin tahmin edilmesinde kullanılmıştır. Bununla birlikte literatürde enjeksiyonda kalıplanmış köpük üretiminde sinir ağlarının kullanımına yönelik çalışmaya rastlanmamıştır. Öte yandan C. Shen ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada plastik enjeksiyonda kullanılan üretim parametrelerinin çarpılmaya olan etkisi ve parametrelerin optimizasyonunda yapay sinir ağları kullanılmıştır. Çalışmada aynı zamanda genetik algoritma ile uygun değer sonuç vermeyen üretim parametreleri elenmiş ve böylece parametre optimizasyonu sağlanmıştır (Changyu, 2007). Belirtilen çalışmada gerçek verilerden ziyade bilgisayar simülasyon verileri kullanılmıştır. Bu bağlamda genetik algoritmanın kalıplanmış köpük üretimine uygulanması son derece kısıtlı görülmektedir.

Li Q. ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada plastik enjeksiyonda kullanılan proses parametrelerinin geri beslemeli yapay sinir ağları ile parça üzerindeki çarpılmanın optimize edilmesi üzerine çalışılmıştır. Bu bağlamda çalışmada geri beslemeli yapay sinir ağı kullanılmıştır. Sinir ağının tutarlı biçimde proses parametrelerini tahmin ettiği gözlenmiştir. Bu çalışmada da C. Shen ve arkadaşlarının yaptığı çalışmaya benzer olarak sonuçların çıktısı olarak simülasyon yazılımı kullanılmıştır (Qingchun et al., 2015)

Gardner G. ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada da yapay sinir ağları poliüretan köpüğün akustik özelliklerinin tahmin edilmesinde kullanılmıştır. Çalışmada da geri beslemeli ileri yönlü yapay sinir ağı kullanılmıştır. Kullanılan sinir ağında girdi, çıktı ve 1 adet gizli katman olmak üzere 3 katman bulunmaktadır (Gardner et al., 2003)

Yapay sinir ağları temel olarak biyolojik sinir ağlarının fonksiyonel çalışma prensibinin benzeridir. Yapay sinir ağları içerisinde birbiri ile bağlantılı birçok nöron bulunmaktadır. Yapay sinir ağları nöronlar yardımıyla gelen bilgiyi hesaplayarak çıktı olarak vermektedir. Literatürde birçok yapay sinir ağı modeli bulunmaktadır (Nemeth et al., 2016).

Literatürde kalıplanmış ve genleştirilmiş polipropilenin üretiminde kullanılmış olan yapay sinir ağlarına yönelik çalışmaya rastlanmamıştır. Yukarıda da görüleceği üzere belirtilen çalışmalar daha çok enjeksiyonla üretilmiş olan polipropilen veya polimerlere ait çalışmalardır. Bununla birlikte kalıplanarak üretilen genleştirilmiş polipropilenin herhangi bir üretim simülasyonu bulunmamaktadır. Bu bağlamda simülasyon kullanılarak parametre üretimi de mümkün olmamıştır.



3. POLİMERİK KÖPÜKLER

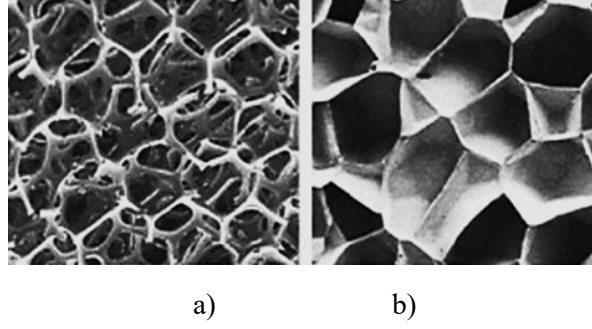
Polimerik köpükler termoset ve termoplastik polimerik malzemelerin gelişmesiyle geliştirilmiş yapay köpüklerdir. Birçok köpük türü bulunmakla beraber endüstride farklı ve çeşitli özellikleri ile kullanılan başlıca köpüklendirilebilen polimerler şunlardır: PS(Polistiren), PP(Polipropilen), PE(Polietilen), PLA(Polilaktik asit), PET(Polietilen tereftalat), PU(Polietilen)'dir. Bahsedilen polimerler belirli köpüklendirme proseslerine tutularak polimer köpükler elde edilebilmektedir. Hayatın birçok alanında kullanılan polimerik köpükler farklı özellikleri nedeniyle farklı amaçlara da hizmet etmektedirler (Lee, 2017; Küçük, 2018).

Polimerik köpükler genel olarak 3 farklı şekilde sınıflandırılabilirler. Bunlar:

1. Hücre morfolojisine göre
2. Hücre boyutuna göre
3. Köpük yoğunluğuna göre

Hücre morfolojisine göre sınıflandırılan köpükler açık ve kapalı hücreli köpükler olarak 2'ye ayrılmaktadırlar. Açık hücreli köpüklerde hücreler arasında çeper bulunmamakla beraber hücreler kenarlar ile birbirine bağlanmıştır. Kapalı hücreli polimerik köpüklere göre mukavemetleri daha düşüktür. Genellikle ses absorpsiyon yetenekleri nedeniyle ses izolatörü olarak kullanılabilirler (Küçük, 2018).

Kapalı hücreli polimerik köpüklerde ise hücreler arasında çeper bulunmaktadır. Bu çeper sayesinde hücre içerisinde gaz hapsolunabilir. Bu durum da kapalı hücreli polimerik köpükleri iyi bir ısı yalıtım malzemesi yapmaktadır. Yoğunlukları açık hücreli polimerik köpüklere göre daha fazladır. Açık ve kapalı hücreli polimerik köpüklere ait temel farklılık Şekil 3.1'de görülmektedir (Küçük, 2018).



Şekil 3.1: a) Açık hücreli polimer köpük, b) kapalı hücreli polimer köpük (Küçük, 2018).

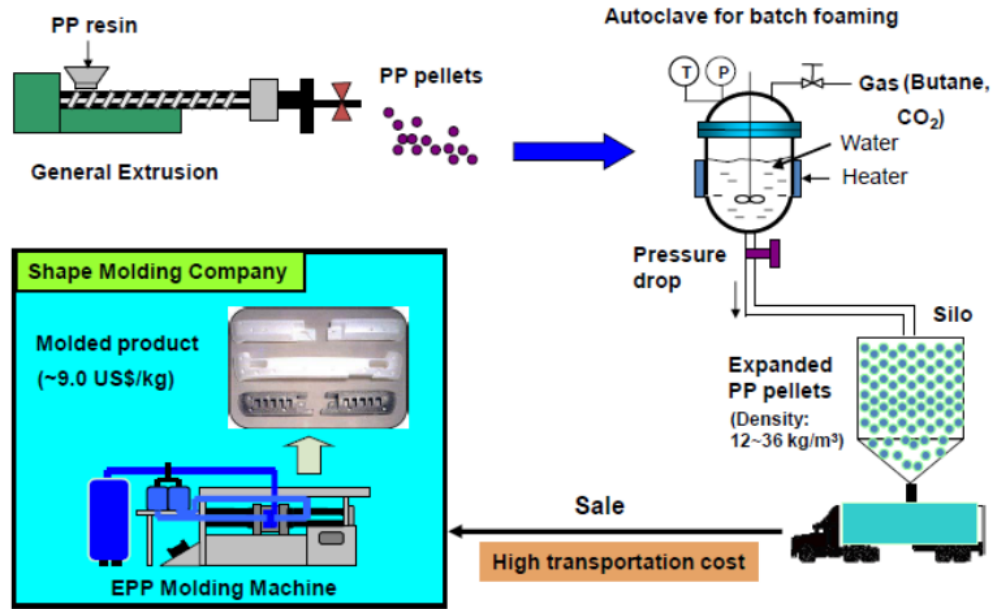
Hücre boyutuna göre sınıflandırmada ise polimerik köpükler 4 farklı kategoriye ayrılmaktadır. İnce hücre boyutlu, micro hücreli, ultra mikro hücreli, nano hücreli polimerik köpükler olarak ayrılmaktadır. Bu ayırmda sırasıyla hücre boyutu, $>100\ \mu\text{m}$, $1-100\ \mu\text{m}$, $0,1-1\ \mu\text{m}$, $<0,1\ \mu\text{m}$ olarak ayrılmaktadır. Hücre boyutuna göre de polimerik köpüklerin özellikler farklılaşmaktadır (Küçük, 2018).

Polimerik köpüklerde yoğunluk önemli bir parametredir. Yoğunluğa göre sınıflandırmada ise köpükler 3'e ayrılmaktadır. Bu ayırım köpüklenme miktarına göre yapılabilmektedir. Eğer yoğunluk $0,1\ \text{g/m}^3$ 'den düşükse yüksek köpülenmiş, $0,1-0,4\ \text{g/Kg}^3$ aralığında ise orta köpüklenmiş, $0,4\ \text{g/Kg}^3$ 'den büyük ise düşük köpüklenmiş polimerik köpük olarak 3'e ayrılmaktadır (Küçük, 2018; Jin et al., 2019).

3.1. Genleştirilmiş Polipropilen ve Özellikleri

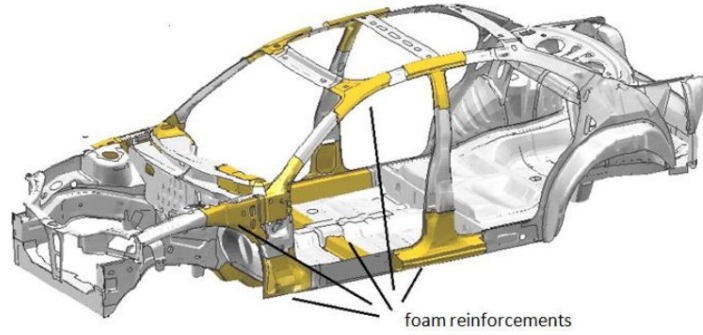
Genleştirilmiş polipropilen, polipropilenin köpükleştirilmesiyle oluşturulan köpük şeklindeki polipropilendir. Genleştirilmiş polipropilen kapalı hücreli, düşük köpüklenme oranına sahip termoset polimerik köpüktür. Genleştirilmiş polipropilen boncuklar halinde bulunmakta olup işlevsel halde kullanılması için boncuklar birbirleri ile birleştirilerek genleştirilmiş polipropilen parça elde edilir. Genleştirilmiş polipropilen boncukları içerisinde herhangi bir şişirme ajanı içermemektedir. Genleştirilmiş polipropilen boncuklarının üretimi ilk olarak reçinesinin extrude edilerek polipropilen peletler haline dönüşmesi ile başlamaktadır. PP(Polipropilen) peletler extrüzyon işlemi sonrasında otoklav içerisinde sıcaklık ve basınç yardımı ile genellikle CO_2 veya bütan gazı ile köpüklendirilir ve genleşebilir polipropilen boncukları elde edilir. Genleştirilmiş

polipropilen boncukları sevkiyatta daha az hacim kaplamak ve böylece sevkiyat maliyetini düşürmek için belirli bir seviyeye kadar şişirilmektedir. Şişirme işleminde boncuk hacmi artar, yoğunluk düşer. Genellikle 75 Kg/m^3 'e şişirilmiş biçimde sevk edilmektedirler. Sevkiyat sonrasında ise işletme içerisinde istenen yoğunluğa düşürülerek enjeksiyon kalıplama prosesinde kullanılırlar. Genleştirilmiş polipropilen, genleştirilebilir polistirene göre nakliye maliyeti olarak daha maliyetlidir. Belirtildiği üzere genleştirilmiş polipropilen 75 Kg/m^3 'e şişirilerek nakliyesi yapılırken, genleştirilebilir polistiren ise 800 Kg/m^3 yoğunluğunda nakliyesi yapılabilmektedir. Yani aynı hacimde daha az genleştirilmiş polipropilen taşınmaktadır (Lee, 2010).



Şekil 3.2: Genleştirilmiş polipropilenin, polipropilen reçineden itibaren üretim şeması (Lee, 2010).

Polimerik köpükler genellikle otomotiv, paketlenme, savunma gibi sektörlerde düşük yoğunluk ve enerji sönümlenme özelliklerinden dolayı enerji sönümleyici olarak kullanılmaktadırlar. Bu durum alışlagelmiş kullanım alanlarının yanında Şekil 3.3'de görülebileceği üzere araç şasesi içerisine yerleştirilen köpük destekler ile aracın enerji sönümlenme özelliği artırılmıştır (Droste, 2007).



Şekil 3.3: Araç şasesi içerisine yerleştirilen köpük destek noktaları (Droste, 2007).

Ayrıca köpüklerin enerji sönümleme özelliklerinden dolayı deneysel bariyer sistemleri de geliştirilmiştir. Bu bariyer sistemlerinde HDPE köpük kullanılmakla beraber, özellikle yarış pistlerinde kullanılan beton bariyerlerin ön kısmında darbe sönümleyici olarak kullanılmış ve test edilmiştir. Köpük kullanımının beklediği üzere darbe enerjisinin bir kısmını sönümleyerek kaza şiddetini azalttığı görülmüştür (Reid et al., 2003).



a)

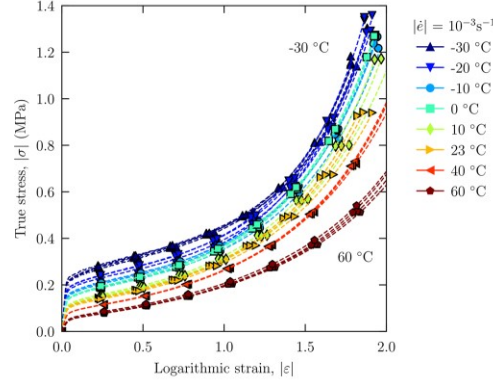


b)

Şekil 3.4: Köpük ile a) desteklenmemiş ve b) desteklenmiş bariyere çarpan otomobilin kaza sonrası görüntüsü (Reid et al., 2003).

Yukarıda gösterilmiş olan enerji absorpsiyonu genişletilmiş polipropilen için de geçerli bir durumdur. Genleştirilmiş polipropilenin bu özelliği malzemeye basma kuvveti uygulandığında boncukların sıkışmaya başlayarak gerilme şekil değiştirme eğrisinde plato bölgesi oluşturması sayesinde olmaktadır. Bu bölgede kuvveti sönümlemek için malzeme büzölmeye başlamaktadır. Böylece yüksek enerji absorpsiyonu elde edilir. Şekil 3.5’de $\sim 30 \text{ Kg/m}^3$ yoğunluğundaki bir genişletilmiş polipropilene farklı ortam şartlarında

uygulanan başka kuvvetinin gerilim şekil değiştirme grafiği görülmektedir (Motron et al., 2020)



Şekil 3.5: Farklı sıcaklıklarda test edilmiş olan genişletilmiş polipropilenin basma mukavemeti grafiği (Motron et al., 2020).

Genleştirilmiş polipropilende basma veya çekme direnci, enerji absorpsiyonu doğrudan kalıplanmış parçanın prosesi ile ilgilidir. Bu bağlamda proste kullanılan proses parametreleri önem arz etmektedir.

Genleştirilmiş polipropilen ısıtma soğutma ve havalandırma sektöründe ısı yalıtımı amacıyla kullanılabilir. Genleştirilmiş polipropilenden üretilmiş olan parçalar, geometrik serbestlik, ısıl dayanım, ısıl yalıtım gibi nedenlerden dolayı ısıtma, soğutma ve havalandırma sektöründe ısı geri kazanım cihazlarında, eşanjörlerde, ısı yalıtımlı hava kanallarında kullanılabilir. Bu noktada kullanım genleştirilmiş polipropilenin termal özellikleri parça yoğunluğu ile ilgilidir.

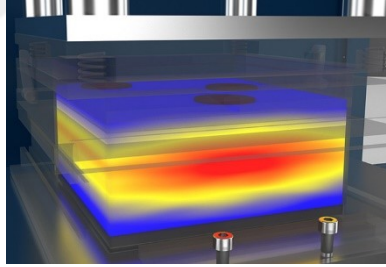
Genleştirilmiş polipropilen üretimi ticari bir metod olan enjeksiyon kalıplama yöntemi ile yapılmaktadır. Bu yöntemi kullanmak için belirli ekipman ve tesisin olması gerekmektedir. Üretim için enjeksiyon kalıplama makinesi, kalıp, buharlama için buhar kazanı, hava için kompresör ve soğutma için su pompaları gerekmektedir.

3.2. Kalıplanmış Genleştirilmiş Polipropilen Üretimi

Genleştirilmiş polipropilen üretiminde yoğunlukla buhar kazanlı kalıplama yöntemi kullanılmaktadır. Bununla birlikte boncukları birleştirmek için yapıştırıcının kullanıldığı ek bir yöntem de bulunmaktadır. Son zamanlarda ise radyo frekanslarını kullanarak boncuk kaynaşmasını sağlayan yöntemler de geliştirilmiştir. Radyo frekansları kullanımı günümüzde sadece partikül köpük olarak genleştirilmiş polistiren için geçerli olmaktadır.



Şekil 3.6: Boncukların yapıştırılmasıyla üretilmiş olan genleştirilmiş polipropilen parça (Sopher, 2003).



Şekil 3.7: Radyo frekansı ile üretilen genleştirilebilir polistirenin temsili görüntüsü (Web 2, 2020).

Bahsedilen yöntemlerin en çok kullanılanı ve ticari metodu ise buhar kazanlı üretim tekniğidir. Buhar kazanlı yöntemi kullanılarak genleştirilmiş polipropilen üretebilmek için ise aşağıdaki üretim unsurlarının olması gerekmektedir.

1. Buhar kazanı
2. Akümülatör
3. Hava kompresörü
4. Buhar, su ve hava
5. Kalıplama makinesi
6. Kalıp
7. Hammadde

Buhar kazanı, akümülatör, buhar hattı, su hattı, hava hattı ve hava kompresörü, medya üretimini taşınmasını sağlayan ekipmanlardır. Buhar kazanı adından da anlaşılacağı üzere doğalgaz enerjisi ile suyu buharlaştırarak kızgın buhar elde edilmesinde yardımcı olur ve kızgın buhar akümülatöre girer. Akümülatörün içerisinde belirli bir seviyeye kadar su diğer yarısında ise buhar bulunmaktadır. Bulunan buhar yüksek basınçlıdır. Akümülatör ani buhar üretimde kullanılan makinelerin ani buhar çekişlerini kontrol altında tutmak için bulundurulmaktadır. İçerisindeki basınç azaldığında içerisinde bulunan su basınç değişimi ile birlikte aniden faz değiştirmeye başlar ve gaz hale geçer. Suyun gaz fazına geçişi ile birlikte akümülatör içerisindeki buhar dengesi sağlanmış olur. Belirtilmiş olan diğer unsurlar ise üretimde olması gereken ekipmanlardır.

3.2.1. Genleştirilmiş Polipropilen Kalıbı

Kalıp, kalıplanmış köpük üretiminin ana unsurlarından bir tanesidir. Kalıp üretimi genellikle bilgisayar destekli numerik kontrollü(CNC) makinelerde işlenerek üretilmektedir. Genleştirilmiş polipropilen köpük üretimi için genellikle alüminyum bazlı kalıp kullanılmaktadır.

Genleştirilmiş polipropilen üretiminde kullanılan kalıp yapısı genellikle 3 ana plakadan oluşmaktadır. Bunlar:

1. Enjektör plakası
2. Dişi plaka
3. Erkek plaka

Erkek ve dişi plaka üzerinde göz adı verilen ve parçaya şeklini veren işlenmiş alüminyum hacimler bulunmaktadır. Göz içerisine boncuk dolarak gözün şeklini alır ve sonrasında proses adımları gerçekleştirilir. Göz yapısı da erkek ve dişi göz olarak 2'ye ayrılmaktadır. Üretim yöntemine ismini veren temel mekanizma buhar kamarasıdır. Buhar hattından gelen buhar makinenin kontrol ünitesi ve çeşitli valfler yardımıyla buhar kamerasına dolar. Erkek plaka, makine üzerinde bulunan hareketli taraf buhar kamerası içerisine oturur. Aynı şekilde dişi plaka da sabit tarafta bulunan buhar kamerası içerisine oturtulmaktadır. Yine makine üreticinin tercihinine bağlı olarak makineye kalıp değişimi sırasında buhar kamerası sökülerek ya da sadece kalıp takılarak kalıp değişimi sağlanır.

Kalıp malzemesi olarak genellikle 5083 serisi alüminyum malzeme kullanılmaktadır. Bununla birlikte çelik kullanımı da mevcuttur. Kalıp imalatında alüminyum malzeme kullanılması ise kalıp imalat maliyetlerini plastik enjeksiyon kalıp imalat maliyetleri ile karşılaştırıldığında daha ucuz kılmaktadır. Bununla birlikte kalıp imalat süreleri göreceli olarak daha kısadır. Alüminyum 5083'e ait malzeme özellikleri Şekil 3.8'de belirtilmiştir.

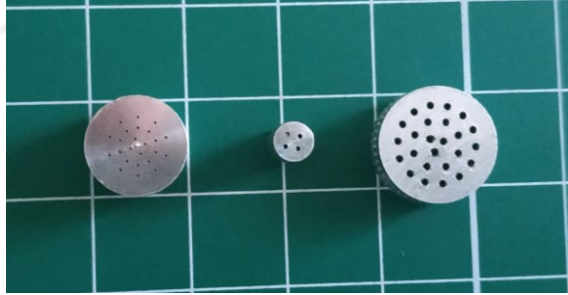
Physical Properties	Metric	English	Comments
Density	2.66 g/cc	0.0961 lb/in ³	AA, Typical
Mechanical Properties			
Hardness, Brinell	85	85	500 kg load with 10 mm ball. Calculated value.
Hardness, Knoop	109	109	Converted from Brinell Hardness Value
Hardness, Rockwell A	36.5	36.5	Converted from Brinell Hardness Value
Hardness, Rockwell B	53	53	Converted from Brinell Hardness Value
Hardness, Vickers	96	96	Converted from Brinell Hardness Value
Ultimate Tensile Strength	317 MPa	46000 psi	AA, Typical
Tensile Yield Strength	228 MPa	33000 psi	AA, Typical
Elongation at Break	16 %	16 %	AA, Typical; 1/2 in. (12.7 mm) Diameter
Modulus of Elasticity	70.3 GPa	10200 ksi	In Tension
Modulus of Elasticity	71 GPa	10300 ksi	AA, Typical; Average of tension and compression. Compression modulus is about 2% greater than tensile modulus.
Compressive Modulus	71.7 GPa	10400 ksi	
Poisson's Ratio	0.33	0.33	Estimated from trends in similar Al alloys.
Fatigue Strength	159 MPa	23000 psi	AA, 500,000,000 cycles completely reversed stress; RR Moore machine/specimen
Fracture Toughness	43 MPa-m ^{1/2}	39.1 ksi-in ^{1/2}	K _{IC} ; TL orientation.
Machinability	30 %	30 %	0-100 Scale of Aluminum Alloys
Shear Modulus	26.4 GPa	3830 ksi	
Shear Strength	190 MPa	27600 psi	Calculated value.

Şekil 3.8: Kalıp imalatında kullanılan Al 5083 malzemenin fiziksel özellikleri (John, 1996).

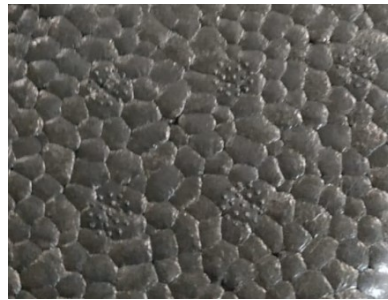
Kalıp boyutları çok çeşitli ölçülerde olabilmektedir. Kalıp ölçüleri, farklı makine üreticilerinin farklı makine modellerine göre değişkenlik göstermektedir. Yani kalıp

üretimi yapılırken makineye göre kalıp imalatı gerçekleştirilir. Aynı zamanda geliştirilmiş polipropilen bir takım tasarım kısıtları haricinde geometri bağımsız biçimde tasarım yapılabilir. Bazı tasarımlarda ise ters açılı, kalıp çıkışı yönüne dik olan bölgelerde hareketli maça sistemi de kalıp içerisinde kullanılabilir. Kalıp ömürleri ortam ve kullanıma bağlı olarak 200000-300000 çevrim arasındadır. Bu rakamlar kalıp malzemesi olarak çelik kullanılan üç boyutlu baskı yöntemlerinde 500000'lere kadar çıkmaktadır.

Kalıp gözleri üzerinde geliştirilmiş polipropilen boncuklarının kaynaşmasını sağlayan buharın geçişinde kullanılan nozül ismi verilen delikler bulunmaktadır. Bu delikler içerisinden buhar geçerek geliştirilmiş polipropilen boncukları arasında kimyasal bağ oluşumunu sağlamaktadır. Şekil 3.9'da farklı nozül tipleri ve Şekil 3.10'da parça üzerinde etkileri görülmektedir. Nozüller ve nozül üzerindeki delikler farklı çaplarda olabilmektedir. Bununla birlikte yatay tipte girişleri olan nozüllerde bulunmaktadır.



Şekil 3.9: Soldan sağa 0,3 mm, 0,5 mm, 0,8 mm delikli nozül.



Şekil 3.10: Nozüllerin parça üzerinde oluşturduğu etki.

Nozüller buhar geçişinin yanında proses esnasında makinenin vakum yaparak parçayı soğutmasına neden olmaktadır. Bu nedenle proseste nozülün etkisi çok fazladır.

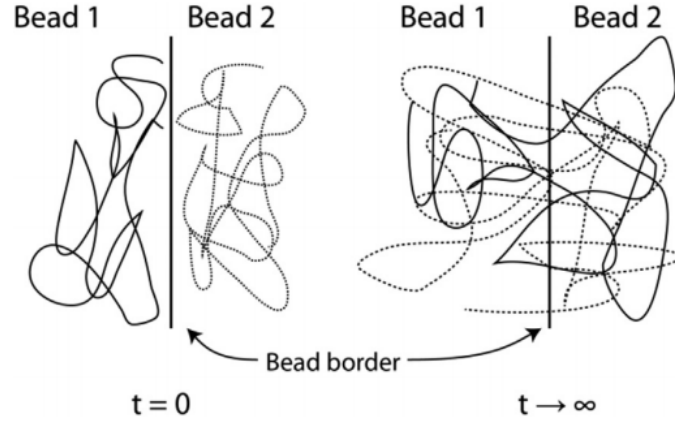
Genel olarak dişi ve erkek plaka parçanın geometrisini oluşturan göz denilen hacimlerden oluşur öte yandan enjektör plakası ise enjektörlerin bağlandığı ve sabitlendiği plakadır. Kalıba destek olması için makine ile arka destekler de bu plakaya yerleştirilir. Enjektör göz içerisine boncukların dolumunu sağlayan makine parçasıdır. Boncuklar kalıp içerisine basınç farkı ile dolmaktadır.

Tipik olarak partikül köpük üretiminde 2 temel kalıp yapısı bulunmaktadır. Bunlar açıklıklı kalıp ve face to face kalıp olarak bilinmektedir. Kullanım alanları olarak ise parça geometrisine göre değişkenlik göstermektedir. Açıklıklı kalıplarda genellikle 0 ile 10 mm arasında kalıp açık bırakılarak doldurma işlemi gerçekteştirilir. Dolum gerçekteştirildikten sonra ise kalıp kapanarak boncukları sıkıştırır. Face to face kalıplarda ise açıklık bulunmamaktadır. Kalıp içerisine boncuk dolumu basınçlı dolum ile gerçekteştirilir.

Kalıp üzerinde aynı zamanda parçanın çıkarılmasına yardımcı olan itici yapıları da bulunmaktadır. İtici yapıları genellikle dişi tarafta bulunmaktadır. Parça çıkartma adımında aynı zamanda nozüllerden geçen basınçlı hava da kullanılmaktadır. Basınçlı hava etkisiyle parça göz içerisinden dışarı doğru çıkmaktadır.

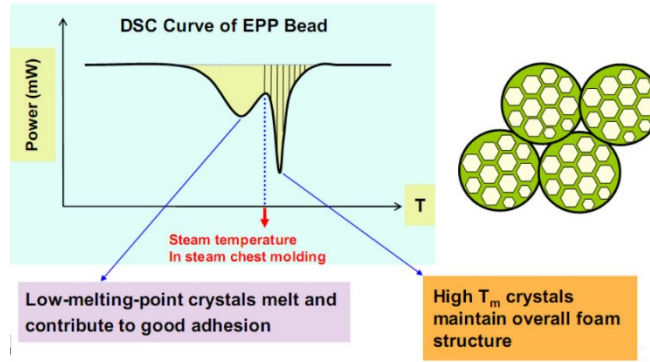
3.2.2. Buhar

Buhar partikül köpük parça üretiminin olmazsa olmazıdır. Buhar, işletme içerisinde bulunan buhar kazanları yardımıyla akümülatöre beslenir akümülatörden sonra ise yine buhar hatları yardımıyla kalıplama makinelerine ulaşır. Makine valfler ve kontrol ünitesi yardımıyla buhardın kontrollü biçimde buhar kazanına dolmasını sağlar. Buhar kazanına dolan buhar ise nozüllerden geçerek parça boncuklar ile karşılaşır. Buhar enerjisini boncuklara ileterek boncukların dış çeperlerinin erimesine veya yumuşmasına neden olur. Boncukların dış çeperlerinin yumuşamasıyla birlikte kaynaşma denilen boncuk birleşmesi gerçekteşir. Boncukların birleşmesi öncelikle Wander Waals ve ıslanma kuvveti ile olmaktadır. Bu bağlanma kimyasal bir bağlanma olmamakla birlikte boncuk duvarlarının buhar enerjisi ile erimesi ile birlikte boncuklar arasında polimer zincirleri kurulmaktadır. Böylece boncukların kaynaşması sağlanmış olmaktadır. Bu durum şekil 3.11’de gösterilmiştir (Raps et al., 2015).



Şekil 3.11: Buharlama öncesinde ve sonrasında polimer zincirlerinin oryantasyonu (Patel et al., 2010).

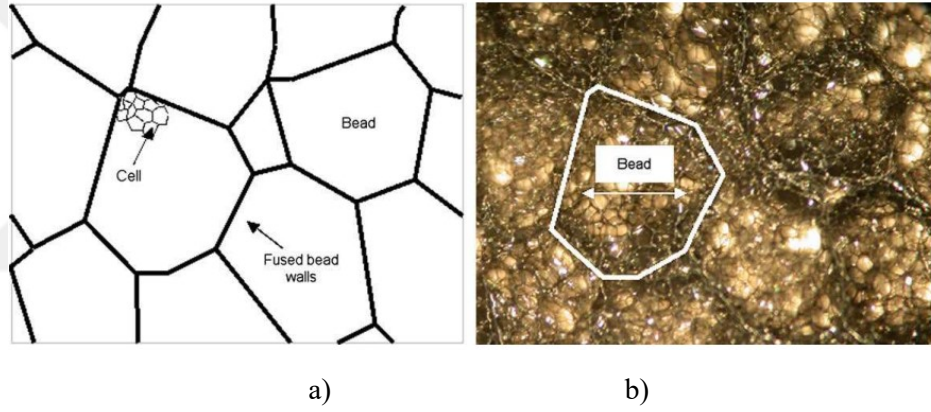
Genleştirilmiş polipropilen boncukları çift zirveli erime noktası sayesinde hem boncuk mukavemeti korunurken hem de kaynaşma sağlanmış olur. Düşük ergime noktasına sahip kristalin bölgeler boncuklar arasında kaynaşmaya yardımcı olurken yüksek erime noktasına sahip kristalin bölgeler ise boncuk morfolojisine ve boyutsal kararlılığı sağlar (Raps et al., 2015).



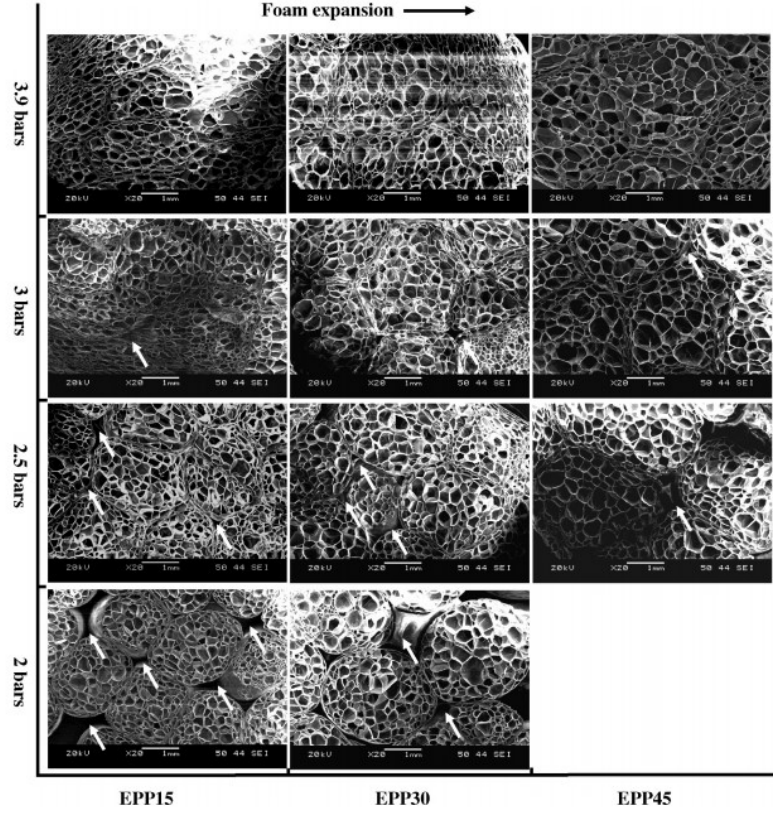
Şekil 3.12: Düşük ergime noktası ve düşük ergime noktasının diferansiyel taramalı kalorimetre ölçüm grafiğindeki temsili görüntüsü (Patel et al., 2010).

Genleştirilmiş polipropilen üretiminde buhar kontrolü parçanın bütünlüğü ve mukavemeti açısından önemlidir. Buhar kontrolü makinenin kontrol ünitesinden sağlanmaktadır. Verilen girdiler ile birlikte makine buhar hattından gelen buharı buhar kamerasına iletir. Buhar hattında buhar basıncı 6-7 bar arasındadır. Makine buhar basıncını girilen üretim parametresine göre 2-4 bar arasına düşürerek buhar kamerasına

iletir. Zhai W. ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada buhar basıncının kaynaşma üzerine etkisi görülmektedir. Buhar basıncı arttıkça kaynaşma oranının arttığı ve boncuklar arasındaki boşlukların azaldığı gözlenmiştir. Bununla birlikte parça mukavemetinde artış yaşanmıştır. Buhar basıncının artışıyla birlikte aynı zamanda boncuklar arasındaki sınırların yok olmaya başladığı alınan kesitlerde gözlenmiştir. Şekil 3.14’de farklı buhar basınçlarında buharlanmış 3 farklı yoğunlukta genişletilmiş polipropilen parça TEM görüntüsü görülmektedir. Yoğunluğun ve buhar basıncının artmasıyla beyaz oklarla gösterilen boşlukların azaldığı görülmektedir. Buhar basıncının artmasıyla aynı zamanda boncuklar arasındaki kaynaşma güçlenmiştir. Şekil 3.13’de boncuk ve boncuk içerisindeki hücreler temsili ve yakınlştırılmış olarak gösterilmiştir (Zhai et al., 2011).

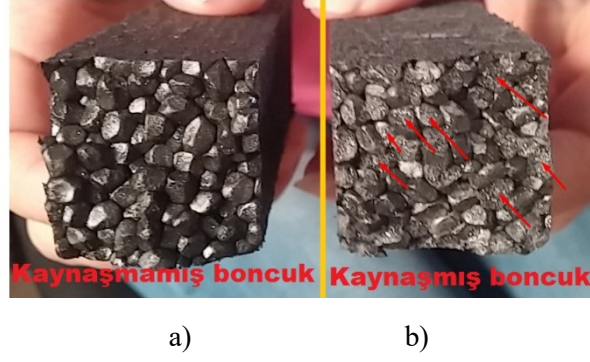


Şekil 3.13: Genleştirilmiş polipropilene ait boncuk içerisindeki a)hücrelerin ve b)boncuğun görüntüsü (Rémy et al., 2009).

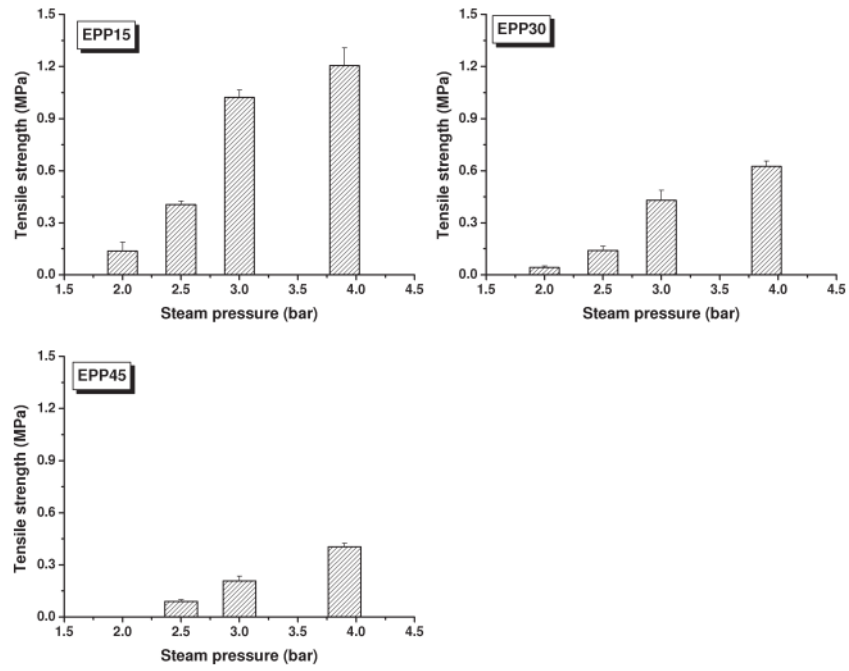


Şekil 3.14: Farklı yoğunluk ve farklı buhar basınçlarında üretilmiş olan genleştirilmiş polipropilenin kesit görüntüsü (Zhai et al., 2011).

Kaynaşmanın artmasıyla parçanın çekme mukavemeti de artmaktadır. Kaynaşma arttıkça kırılma yüzeyi boncuklar arasında değil boncukların içerisinde geçmektedir. Şekil 3.15’de kaynaşmış bir parçanın kırılma yüzeyi ve kaynaşmamış bir parçanın kırılma kesiti görülmektedir. Kaynaşmış parçada kırılma boncuklar içinden gerçekleşmiştir. Boncuklar içerisindeki kırmızı ile gösterilen küçük hücreler görülebilmektedir. Kötü kaynaşmış parçada ise kırılma boncuklar arasından geçerek gerçekleştiği görülmektedir.



Şekil 3.15: a)Kaynaşmamış parça kesiti, b) kaynaşmış parça görüntüsü.



Şekil 3.16: Farklı yoğunluk ve farklı buhar basınçlarında üretilmiş olan parçaların çekme dayanım grafikleri (Zhai et al., 2011).

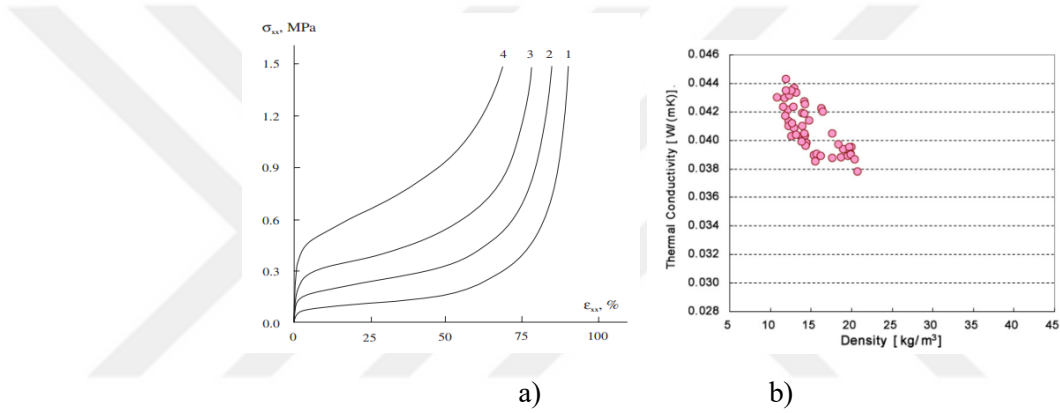
Genleştirilmiş polipropilenden imal edilmiş bir parçanın mekanik özellikleri malzemenin yoğunluğu ile ilişkilidir. Tipik olarak bir genleştirilmiş polipropilenin uzama-gerilme grafiği 3 temel bölgeden oluşmaktadır.

Bunlar:

1. Elastik uzama bölgesi
2. Plato gerilme bölgesi

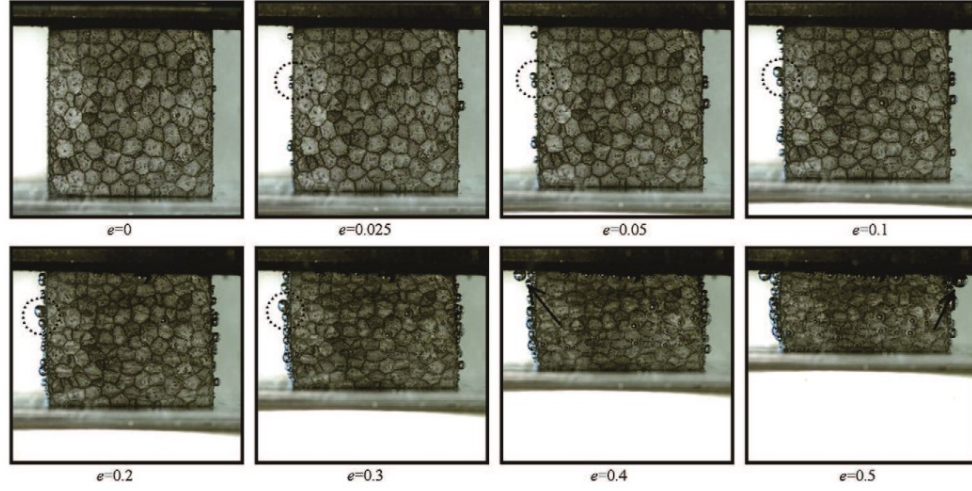
3. Yoğunlaşma bölgesi

Elastik uzama bölgesi, köpüğün elastik olarak yani geri dönebilir şekilde şekil değişimi yaşadığı bölgedir. Plato gerilme bölgesinde ise şekil değişimi uygulanan kuvvete bağlı olarak kalıcıdır. Hücreler içerisindeki gaz kapalı biçimde kalır. Fakat kuvvete bağlı olarak hücrelerde kendi içerisine çökmeler yaşanabilir. Köpük burada çok fazla şekil değiştirebilir. Uygulanan kuvvetin artmasıyla yoğunlaşma bölgesine girilir ve hücreler içerisinde kapalı kalan gaz dışarı çıkarak polimer geriye kalmış olur. Gazın dışarı çıkmasıyla yoğunluk artışı meydana gelir (Rémy et al., 2009).



Şekil 3.17: a)Farklı yoğunluktaki (1)23, (2)40, (3)57, (4)83 Kg/m^3 genleştirilmiş polipropilenin gerilme-gerinme grafiği (Beverte, 2004). b)Genleşmiş polipropilene ait yoğunluk ve termal iletkenlik grafiği (Jeong et al., 2009).

Birim zamandaki uzamanın artmasıyla birlikte basma mukavemeti de artmaktadır. Aynı zamanda daha düşük yoğunluktaki genleştirilmiş polipropilen dinamik yüklenmelere karşı daha dirençli olmaktadır (Rémy, 2009). Şekil 3.18’de basma testi esnasında numune hücreleri içerisindeki gaz çıkışı görülmektedir.



Şekil 3.18: Basma testi sırasındaki genişleştirilmiş polipropilen hücresinden gaz çıkışı (Rémy, 2009).

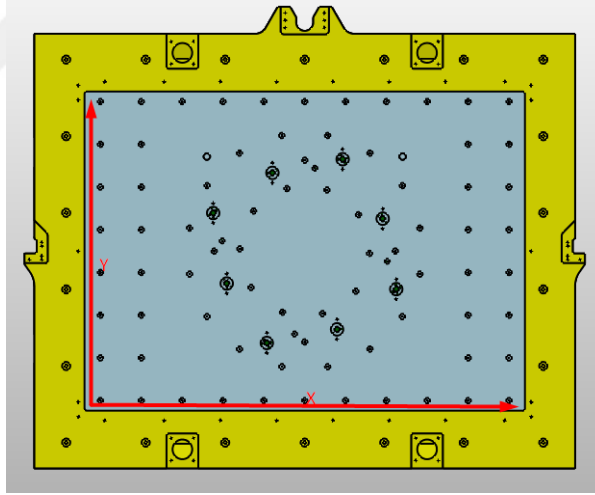
3.2.3. Kalıplama Makinesi

Kalıplama makinesi buhar kamaralı genişleştirilmiş polipropilen üretiminde kullanılan bir makinedir. Kalıp, kalıplama makinesine bağlanarak üretim alınır. Kalıplama makinelerinde buhar kamarası makine üreticisine bağlı olarak makine üzerinde veya sökülebilir-takılabilir şekilde olmaktadır. Makine üzerinde buhar kamarası bulunan tipteki makinelerde kalıp buhar kamarası içerisine buhar kaçağı olmayacak şekilde montajlanarak konulur. Değiştirilebilir tipteki buhar kamaralı makinelerde ise kalıp makineye yerleştirilmez. Kalıp öncelikle zemindeyken buhar kamarasının içerisine montajlanır. Sonrasında ise buhar kamarası makineye montajı yapılarak üretime hazır hale getirilir. Şekil 3.19’da tipik bir kalıplama makinesi görülmektedir.



Şekil 3.19: Enjeksiyon kalıplama makinesi.

Buhar kamarası, genişleştirilmiş polipropilen üretiminde parça boyutunu kısıtlayıcı bir etmendir. Üretilebilecek parça boyutları ve göz sayısı buhar kamarasının boyutu ile kısıtlıdır. Bu boyutlar Şekil 3.20’de X ve Y eksenini olarak belirtilmiştir.

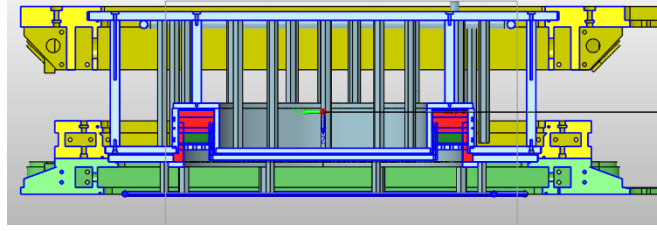


Şekil 3.20: Buhar kamarası ve kalıbın arkadan görüntüsü.

Buhar kamarası da yine erkek ve dişi olarak 2 parçadan oluşmaktadır. Şekil 3.21’de buhar kamarası ve kalıbın orta noktadan 3 boyutlu çizimde kesiti görülmektedir. Resimde sarı ile belirtilen parça dişi buhar kamarasını, açık mavi renk kalıbı, yeşil ise erkek buhar kamarasını göstermektedir.

Üretim prosesi esnasında buhar kamarası içerisine makine üzerindeki valfler aracılığıyla kontrollü biçimde buhar verilir. Verilen buhar ile birlikte parça kaynaştırılır.

Aynı zamanda parça çıkartma adımı sırasında da programlanabilir şekilde istenen basınçta parçayı çıkartmak için buhar kamerası içerisine hava verilerek parçanın kalıp içerisinden çıkması kolaylaştırılır.



Şekil 3.21: Buhar kamerası ve kalıbın üst kesit görüntüsü. Yeşil ve sarı paralar buhar kamerasını ifade ederken açık mavi parçalar ise kalıbı ifade etmektedir.

3.3. Genleştirilmiş Polipropilen Kalıplama Prosesi

Genleştirilmiş polipropilenin parça üretimine kısaca kalıplama prosesi adı verilebilmektedir. Literatürde “Şekil-Kalıplama” olarak da anılabilmektedir. Kalıplama prosesinde önceki bölümlerde anlatılmış olunan çeşitli medya unsurları, kalıp, kalıplama makinesi gibi ekipman ve yardımcı unsurlar kullanılmaktadır. Kalıplama prosesi temelde 3 ana adımdan oluşmaktadır. Bunlar aşağıda belirtilmiştir.

- Doldurma
- Buharlama
- Soğutma

Belirtilen 3 adım da birbiri ile bağlantılı olup yapılabilecek olan değişiklikler kendisinden sonra gelen adımı etkilemektedir. Bu bağlamda her bir genel proses adımı birbiri ile alakalıdır denilebilir.

Belirtilen adımlar kendi içerisinde çeşitli alt adımlara ve parametrelere ayrılmaktadırlar. Her parametrenin parça üzerindeki etkisi farklıdır. Parametreler üretim çevrimi öncesinde makineye operatörler tarafından girilmektedir. Üretim operatörleri parametre girişlerini yukarıda belirtilmiş olan ilişki çerçevesinde yapmaktadırlar. Öncelikle dolum alt parametreleri ayarlanır. Ayarlama yöntemi ise görsel kontroller ve ağırlık kontrolü ile gerçekleştirilir. Ayar esnasında parça baskısı alınır ve ağırlık ölçülür

eğer ağırlık hedef ağırlıktan farklı değerlerde ise dolum parametreleri tekrar ayarlanarak tekrar baskı alınır. Ağırlığın dolayısıyla dolum parametrelerinin ayarlanmasından sonra ise buharlama parametreleri ayarlanır. Buharlama parametreleri dolum parametreleri ile doğrudan ilişkilidir. Çünkü kalıp gözü içerisine ne kadar fazla veya ne kadar az boncuk girdi ise yani ağırlık ne kadar çok veya ne kadar az ise buharlama da buna paralel olarak değişecektir. Buharlama parametrelerinin kalıp gözü içerisinde bulunan boncukların kaynaşmasına yeterli olacak şekilde ayarlanması gerekmektedir. Tıpkı dolum parametrelerinde olduğu gibi buharlamada da baskı alınır, alınan baskıda parça çeşitli yerlerinden kırılarak veya kesilerek kaynaşmanın kontrolü göz ile yapılır. Soğutma parametreleri ise buharlama ile doğrudan bağımlıdır. Soğutma parametreleri kalıp açıldığında kalıp sıcaklığına bakılarak değerlendirilir. Bu bağlamda kalıp açılma sıcaklığı genel olarak 60-70°C arasında olması beklenmektedir.

Bununla birlikte 3 ana proses parametresinin makineye girişi yapılan alt parametreleri aşağıdaki gibidir.

1. Doldurma

- a. Doldurma basıncı
- b. Doldurma zamanı

2. Buharlama

- a. Çapraz buhar sabit taraf basıncı
- b. Çapraz buhar sabit taraf zamanı
- c. Çapraz buhar hareketli taraf basıncı
- d. Çapraz buhar hareketli taraf zamanı
- e. Otoklav hareketli taraf basıncı
- f. Otoklav sabit taraf basıncı
- g. Otoklav zamanı

3. Soğutma

- a. Soğutma süresi

Yukarıda belirtilmiş olan alt proses parametrelerine ek olarak makineye çok daha farklı proses parametreleri de girilebilmektedir. Bu çalışmada ise yukarıda belirtilen temel proses alt parametreleri göz önüne alınmıştır.

Doldurma proses adımı 2 önemli alt proses parametresinden oluşmakta olup Tablo 3.1’de proses parametreleri ve birimleri görülmektedir.

Tablo 3.1: Dolum üretim aşaması proses parametreleri.

Proses Parametresi	Birim
Dolum Basıncı	Bar
Dolum Zamanı	s

Buharlama prosesi ise 6 önemli alt proses parametresinden oluşmaktadır. Bu proses adımları ve parametrelerin birimleri Tablo 3.2’de gösterilmiştir.

Tablo 3.2: Buharlama üretim aşaması proses parametreleri.

Proses Parametresi	Birim
Çapraz Buhar Erkek Taraf Basıncı	Bar
Çapraz Buhar Dişi Taraf Basıncı	Bar
Otoklav Buharlama Basıncı	Bar
Çapraz Buhar Erkek Taraf Zamanı	s
Çapraz Buhar Dişi Taraf Zamanı	s
Otoklav Buharlama Zamanı	s

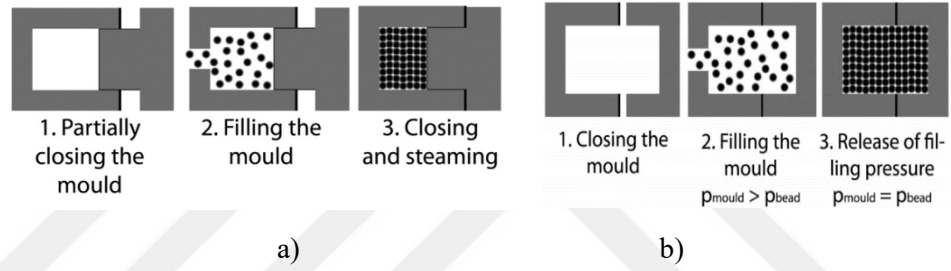
Soğutma ise sadece soğutma proses parametresinden oluşmakta olup birimi saniye’dir.

3.3.1 Doldurma Basıncı

Doldurma basıncı kalıp içerisine doldurulacak olan boncukların kalıp içerisine ne kadarlık bir hava basıncı ile aktarılacağını anlatan üretim parametresidir. Hava basıncı işletme içerisindeki enjektör tarafından sağlanır. Hava hattı yardımı ile kalıplama makinesine gelir ve makineden de enjektöre bağlanır. Dolum basıncı, üretilecek olan parça hacmiyle, parça üzerindeki enjektör sayısına bağlı olarak değişmektedir.

Dolum işlemi önceki bölümde bahsedildiği üzere pratikte 2 şekilde yapılabilmektedir. Bunlar açıklıklı dolum ve basınçlı dolum olarak 2’ye ayrılmaktadır. Açıklıklı dolumda kalıp içerisindeki basınç atmosfer basıncıdır, enjektörden verilen

basınç ise dolum basıncını ifade etmektedir. Boncuk makinenin mekanik etkisi ile sıkıştırılır. Aralıklı dolum yükseklik farkı fazla olan parçalarda yoğunluk farklarına neden olmaktadır. Basınçlı dolum yönteminde ise buhar kamarası dolayısıyla kalıp içerisinde karşı bir basınç oluşturulur ve oluşan basınç farkından boncukların kalıba akması sağlanır. Bu akış esnasında basınç nedeniyle boncuklar küçülür. Kalıp içerisine girdiklerinde ise düşük basınçta genleşirler. Boncuk iç basıncı buhar kamarasındaki basınca eşitlenir. Basınçlı dolum genellikle girinti ve çıkıntısı fazla olan parçalarda tercih edilmektedir. Bununla beraber çalışmanın yapıldığı aralıklı dolum yöntemi kullanılmamaktadır. Her iki metodun temsili görseli Şekil 3.22’de gösterilmektedir (Raps et al., 2015).



Şekil 3.22: a)Aralıklı kalıp, b)Face-to-face kalıp temsili görüntüsü (Raps et al., 2015).

3.3.2. Doldurma Zamanı

Doldurma zamanı, doldurma basıncının ne kadarlık süre boyunca uygulanacağını anlatan parametredir. Boncuklar kalıp gözü içerisine, ayarlanan doldurma basıncı ve süresi boyunca kalıp gözü içerisine aktarılır.

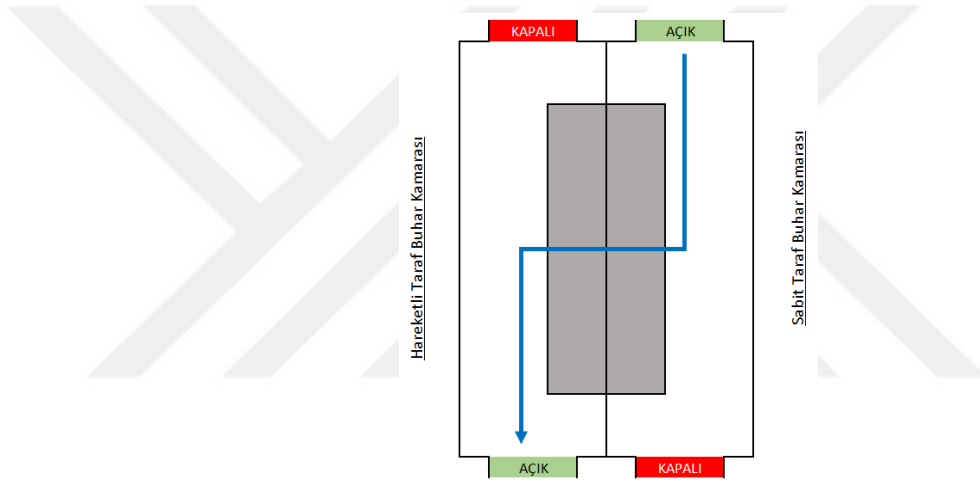
3.3.3. Çapraz Buhar Sabit Taraf Basıncı

Buhar kamarasında buharın girdiği ve çıktığı 2 bölge bulunmaktadır. Bu bölgeler sırasıyla hareketli(erkek) taraf üst ve alt, sabit(dişi) üst ve alt bölgeleridir. Üst kısımda bulunan açıklıklar buhar giriştir. Alt kısımda bulunanlar ise buhar çıkışı veya drenajdır.

Çapraz buhar basıncı adından da anlaşılacağı üzere çapraz bir şekli anımsatacak şekilde buharın girdiği ve çıktığı üretim parametresidir. Çapraz buhar sabit taraf basıncı ise buharın sabit taraftan girerek hareketli tarafın drenajından çıktığı ve sabit taraf buhar kamarası içerisinde oluşan buhar basıncını ifade eden üretim parametresidir. Bu

parametrede sabit taraf buhar girişı ve hareketli taraf buhar çıkışı açıkken hareketli taraf buhar girişı ve sabit taraf buhar çıkışı kapalı durumdadır. Şekil 3.23’de temsili buhar kamerasında üretim parametresinin nasıl çalıştığı özetlenmeye çalışılmıştır. Açık veya kapalı olma durumu makine üzerindeki valfler yardımıyla sağlanmaktadır. Buhar gri renkte belirtilmiş olan kalıp gözü içerisinde bulunan boncukların arasından geçerek mavi ok boyunca ilerlemektedir.

Çapraz buhar üretim parametresinin parça içerisindeki kaynaşmaya etkisi önceki bölümlerde ifade edilmiştir.



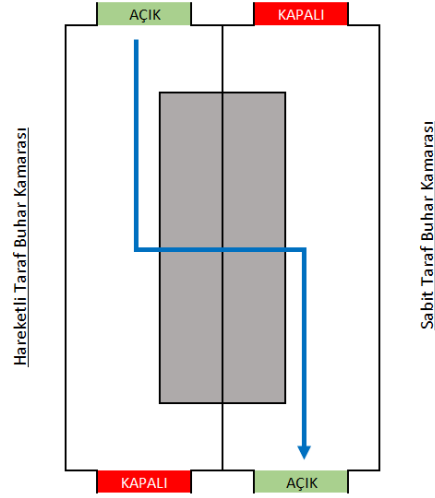
Şekil 3.23: Sabit taraf çapraz buhar basıncı buhar geçişi temsili görüntüsü.

3.3.4. Çapraz Buhar Sabit Taraf Zamanı

Çapraz buhar sabit taraf buhar basıncı ile ilgili ve sabit tarafta oluşan buhar basıncının ne kadar zaman uygulanacağını ifade eden üretim parametresidir. Süre saniye olarak girilmektedir.

3.3.5. Çapraz Buhar Hareketli Taraf Basıncı

Çapraz buhar sabit taraf buhar basıncında olduğu gibi burada açık olan valfler kapalı iken kapalı olan valfler açıktır. Yani hareketli taraf buhar girişı ve sabit taraf buhar çıkışı açıkken, sabit taraf buhar girişı ve hareketli taraf buhar çıkışı kapalı konumdadır. Hareketli tarafta bulunan buhar basıncı makine tarafından girilen değerde ve girilen olan zamanda tutmaya çalışır. Şekil 3.24’de temsili buhar kamerası çiziminde ifade edilmiştir.



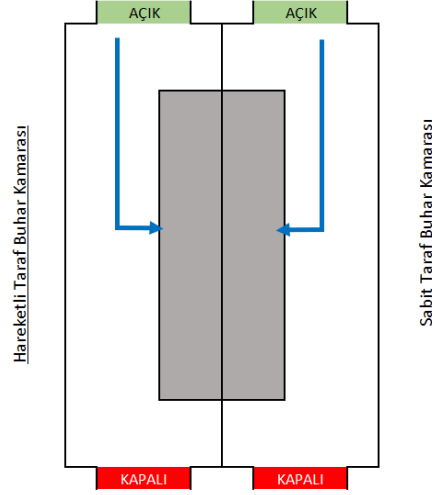
Şekil 3.24: Hareketli taraf çapraz buhar basıncı buhar geçişi temsili görüntüsü.

3.3.6. Çapraz Buhar Hareketli Taraf Zamanı

Çapraz buhar hareketli taraf buhar basıncı ile ilgili ve hareketli tarafta oluşan buhar basıncının ne kadar zaman uygulanacağını ifade eden üretim parametresidir. Süre saniye olarak girilmektedir.

3.3.7. Otoklav Hareketli ve Sabit Taraf Buhar Basıncı

Hareketli taraf ve sabit tarafta bulunan buhar giriş valflerinin açık konumda olduğu ve aynı şekilde hareketli ve sabit taraf buhar çıkışlarının ise kapalı konumda olduğu durumdur. Buhar kamerasının her iki tarafında da buhar basıncı oluşur. Bu üretim parametresinde yüzeyin kaynaşması amaçlanmaktadır.



Şekil 3.25: Otoklav buhar basıncı buhar geçişi temsili görüntüsü.

3.3.8. Otoklav Zamanı

Sabit ve hareketli otoklav basıncının ne kadar uygulanacağını belirten üretim parametresidir. Süre saniye olarak girilmektedir.

3.3.9. Soğutma Zamanı

Buharlama adımı bittikten sonra uygulanan proses parametresidir. Soğutma için erkek ve dişi kalıp plakası arkasında bulunan bakırdan imal edilmiş borulardan kalıp gözleri yüzeyine su fışkırtılır. Su sıcaklığı genel olarak 30-40°C aralığındadır. Fışkırtılan su ile birlikte parça ve kalıp yüzeyi soğumaya başlamaktadır.

4. YAPAY SİNİR AĞLARI

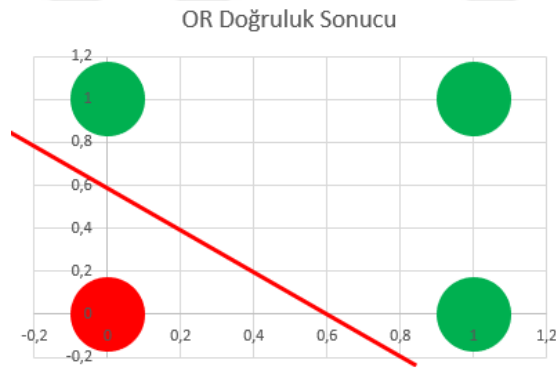
Yapay sinir ağıları kısaca gerekli girdiler verildiğinde yeni bilgiler öğrenebilen ve bunlardan anlamlı veya anlamsız sonuçlar çıkarabilen, keşfedebilen bilgisayar sistemleridir. Yapay sinir ağıları temel olarak öğrenme, ilişkilendirme, sınıflandırma, genelleme, özellik belirleme ve optimizasyon gibi konularda kullanılabilmektedirler. Yapay sinir ağlarında kullanılan girdiler kullanılacak alandaki geçmiş veriler olabilir. Bu verilerin işlenmesiyle yapay sinir ağıları geçmişe benzer çıktılar üretebilirler. Bununla birlikte çeşitli algoritmalar ile sonuçlar geliştirilebilmektedir (Öztemel, 2003; Aggarwal, 2018).

Yapay sinir ağıları genel düşüncenin aksine yeni bir olgu değildir, gelişimi 19. yüzyıl ortalarından itibaren başlamaktadır. Sinir ağlarının ortaya çıkışı insan nöron hücresinin matematiksel olarak ifade edilmesiyle başlamaktadır. 1943 yılında, Warren McCulloch ve Walter Pitts beyin nöron hücresini bu şekilde ifade ederek yapay sinir ağlarının teorik olarak önünü açmışlardır. Bunu takip eden çalışmalarda ise bu süreç geliştirilerek devam etmiştir. 1960'lı yılların sonuna kadar devam eden geliştirmeler sonrasında yapay sinir ağıları duraklama dönemi olarak ifade edilen döneme girmiştir. Bu dönemde XOR problemi adı verilen 2 değişkenli problemin tek katmanlı veya “perception” olarak ifade edilen nöron yapısı ile çözülemeyeceği anlaşılmıştır. XOR problemi doğrusal olmayan bir problem olup perception ile çözülememiştir. 1980'li yılların başlarında ise XOR problemine yönelik çözüm çok katmanlı sinir ağıları ile yapılmıştır. Aşağıdaki mantık tablosundan OR ve XOR mantık kapılarının doğruluk tablosu görülebilmektedir (Aras, 2008; Bishop, 2015; Çılgın vd., 2020).

Tablo 4.1: OR ve XOR mantık kapıları doğruluk tablosu.

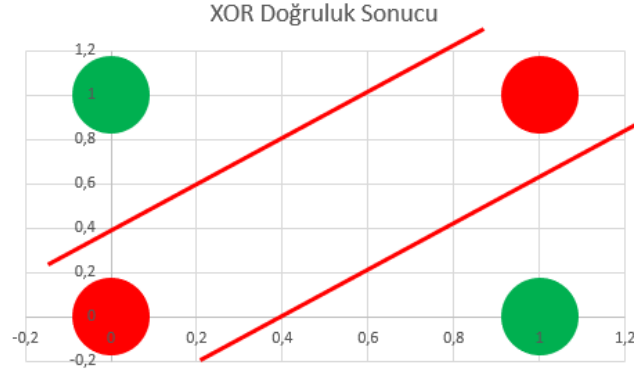
OR Doğruluk Tablosu			XOR Doğruluk Tablosu		
A	B	A OR B	A	B	A XOR B
0	0	0	0	0	0
0	1	1	0	1	1
1	0	1	1	0	1
1	1	1	1	1	0

OR doğruluk tablosundan da görüleceği üzere her iki parametrenin de yanlış veya “0” olması durumunda sonuç yanlış veya “0” olmaktadır. Bu grafiğe döküldüğünde ise lineer tek bir çizgi ile bu durumun ayrılabilceği Şekil 4.1’den görülebilmektedir. Şekilde yeşil daireler tabloda verilen 1 değerlerini ifade ederken kırmızı daire ise 0 değerini ifade etmektedir. Tek bir çizgi ile 0 ve 1’ler ayrılabilir. Bu problemin lineer olduğunu anlatmaktadır.



Şekil 4.1: OR mantık kapısının doğruluk grafiği.

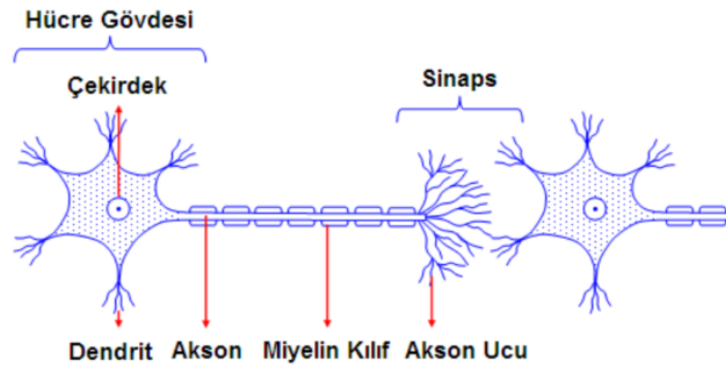
Öte yandan ise XOR problemine bakıldığında tek bir çizgi ile ayrılamayacağı görülmektedir. Bu da XOR probleminin lineer olmayan bir problem olduğunu göstermektedir. Bu durumun da grafiği Şekil 4.2’de görülmektedir.



Şekil 4.2: XOR mantık kapısının doğruluk grafiği.

Problemi çözmek için ise tek katmanlı bir sinir ağı yapısından ziyade çift katmanlı bir yapı ile sorunun çözülebileceği David Rumelhart ve arkadaşları tarafından geliştirilmiştir. Böylece yapay sinir ağlarında gelişmeler tekrardan hız kazanmıştır (Çılgın vd., 2020; Aggarwal, 2018).

Yukarıda belirtildiği gibi yapay sinir ağları insan nöron hücrelerinden yararlanılarak geliştirilmiş sistemlerdir. Temel bir biyolojik nöron yapısında sinaps, çekirdek, akson ve dentrit denilen yapılar bulunmaktadır. Şekil 4.3’de biyolojik bir nöron hücresi görülebilmektedir. Dentritler, gelen elektriksel sinyali çekirdeğe göndermekle görevlidirler. Aksonlar ise farklı bir sinir hücresine gönderilecek olan sinyalin gönderilmesinden sorumludur. Gelen sinyal hücre çekirdeğinde işlenir (Çelik, 2011).



Şekil 4.3: Biyolojik sinir hücresi temsili görüntüsü (Çelik, 2011).

Yapay sinir hücresi biyolojik sinir hücresine benzemektedir. Yapay sinir hücresinde, biyolojik sinir hücresine benzer şekilde 5 temel öge bulunmaktadır. Temelde

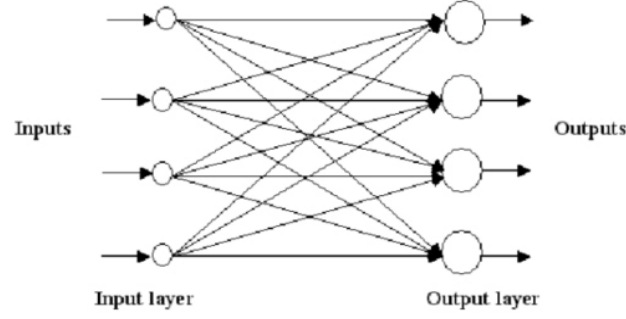
yapay sinir hücresinde de bir sinyal veya girdi alınır, ağırlıklar ile çarpılarak toplama fonksiyonuna iletilir. Toplama fonksiyonunun sonucuna göre aktivasyon fonksiyonunda sinyal üretilir. Bu sinyal çıktı olarak diğer yapay sinir hücrelerine veya çıktı olarak verilir (Öztemel, 2003). Yapay sinir hücresindeki 5 temel öge aşağıdaki gibidir:

- Girdiler: Yapay sinir hücresine gelen verilerdir. Bu veriler dış dünyadan gerçek olay veya olgulardan gelebilir veya farklı hücreden de gelebilir.
- Ağırlıklar: Sinir ağına gelen girdinin çarpıldığı katsayı olarak ifade edilebilir. Bu, girdinin sinir ağı üzerindeki etkisini ifade eden değişken veya sabit değerlerdir.
- Toplama fonksiyonu: Yapay sinir hücresine gelen net girdiyi hesaplayan fonksiyondur.
- Aktivasyon fonksiyonu: Toplama fonksiyonu sonrasında ortaya çıkan net değer oluşturacağı çıktıyı hesaplayan fonksiyon tipidir. Birçok fonksiyon tipi olmakla beraber yaygınlıkla kullanılan sigmoid, ReLU, basamak fonksiyonu, doğrusal fonksiyon gibi fonksiyonlardır. Aktivasyon fonksiyonu çözülmek istenen probleme göre değişebilmektedir.
- Çıktı: Aktivasyon fonksiyonu tarafından üretilen değerdir. Başka bir hücreye veya dış dünyaya bu değer sağlanabilir (Öztemel, 2003).

4.1. Yapay Sinir Ağı Mimarileri

4.1.1. İleri Beslemeli Yapay Sinir Ağı

İleri beslemeli yapay sinir ağları tek ve çok katmanlı olarak ikiye ayrılabilir. Tek katmanlı ileri beslemeli yapay sinir ağlarında, yapay sinir hücresine girdi olarak verilen veriler tek bir çıktı olarak alınabilmektedir. Bu tip ağlarda lineer bir yapı bulunmaktadır.



Şekil 4.3: 2 katmanlı ileri beslemeli yapay sinir ağı yapısı (Turaç, 2020).

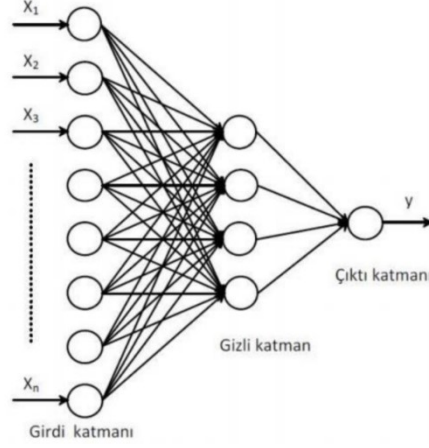
İleri beslemeli çok katmanlı yapay sinir ağları genellikle lineer olmayan ilişkilerin bulunduğu problemlerde kullanılan ve birden çok nöron katmanına ve nörona sahip olabilen yapay sinir ağlarıdır. Çok katmanlı sinir ağları 3 farklı temel katmandan oluşmaktadır. Bunlar:

- Girdi katmanı
- Gizli katman
- Çıktı katmanı

Girdi katmanı sinir ağına beslenen verileri alır ve gizli katmana gönderir. Bu katmanda girdiye herhangi bir işlem yapılmaz. Girdi katmanındaki bir yapay nöronun çıktısı sonraki katmanda bulunan bütün nöronlara iletilir.

Gizli katmanı, girdi katmandan alınan veriyi işleyerek çıktı üreten ve birden fazla katman ve nörona sahip olabilen katmandır. Girdi katmanında olduğu gibi gizli katmanda bulunan her nöron sonraki katmanın tüm nöronlarına bağlıdır.

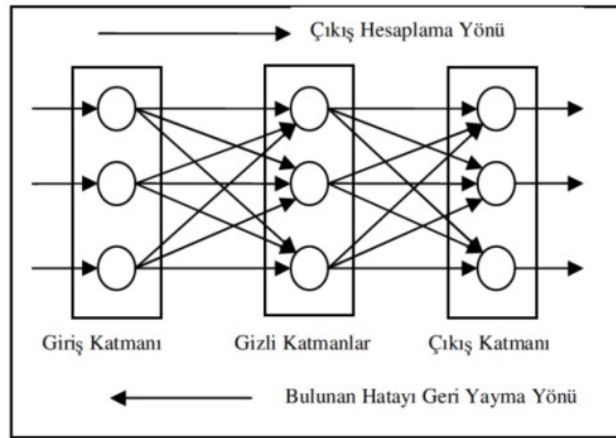
Gizli katmandan gelen veriyi işleyerek çıktıya dönüşmesini sağlayan katmandır. Bu katmanda da yine birden fazla nöron bulunabilir. Çıktı katmanında bulunan her nöron önceki katmandaki bütün nöronlar ile bağlıdır (Öztemel, 2003).



Şekil 4.5: 3 katmanlı ileri beslemeli yapay sinir ağı yapısı (Turaç, 2020).

4.1.2. Geri Beslemeli Yapay Sinir Ağları

Geri beslemeli yapay sinir ağlarında çıktı sonucunda üretilen değer ile beklenen değer arasındaki fark hesaplanarak katmanlardaki ağırlıklar tekrardan hesaplanır. Bu hesaplama işlemi geri beslemeli sinir ağları adından da anlaşılacağı üzere çıktı katmanından girdi katmanına doğru hatanın yayılımı ile yapılmaktadır. Bu tip yapay sinir ağlarında bağlantı çift yönlüdür. Bu çevrim bütün girdi değerleri için yapılarak sinir ağında bulunan ağırlıklar optimum seviyeye gelerek sinir ağının doğruluğu artırılmaktadır (Büyükyılmaz, 2019). Geri besleme aynı katmanlardaki nöronlarla olabileceği gibi farklı katmanlardaki nöronlar arasında da olabilmektedir.



Şekil 4.6: Geri beslemeli çok katmanlı yapay sinir ağı (Turaç, 2020).

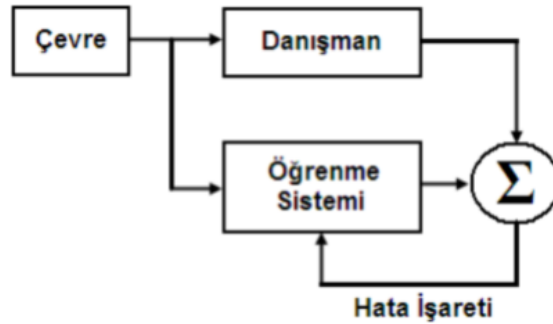
4.2. Yapay Sinir Ağlarında Öğrenme

Yapay sinir ağları önceki bölümlerde de bahsedildiği üzere öğrenme özelliği olan bilgisayar sistemleridir. Bu bağlamda yapay sinir ağlarının öğrenme metoduna göre genellikle danışmanlı, danışmansız ve takviyeli öğrenme olarak üçe ayrılmaktadır.

4.2.1. Danışmanlı Öğrenme

Danışmanlı öğrenmede yapay sinir ağının eğitimi söz konusudur. Yapay sinir ağına bir eğitim seti verilerek girdi ve çıktılar ayrılır. Yapay sinir ağı girdileri kullanarak beklenen çıktıları oluşturabilmek için tekrarlı biçimde çıktı oluşturur. Çıktı oluşturduğunda ise olması gereken çıktı ile üretilen çıktı arasındaki fark maliyeti oluşturmaktadır. Maliyet beklenen değer ile oluşturulan değer arasındaki sapma miktarıdır. Böylece yapay sinir ağı maliyeti düşürmeyi amaçlamaktadır. Bunu sinir ağındaki her bir nöronda bulunan ağırlıkları değiştirerek yapmaktadır. Bu yöntemde oluşturulan çıktı değeri geçmişten alınan girdiler ile oluşturulduğu için gerçek dünyada girdileri etkileyecek durumun oluşması durumunda verilerin ve eğitimlerin tekrar yapılması gerekmektedir. Bu çalışmada da danışmanlı öğrenme metodu kullanılmıştır (Turaç, 2020; Tekin, 2019).

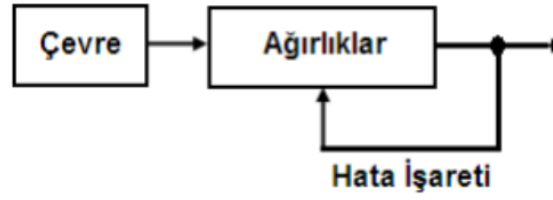
Danışmanlı öğrenme genellikle sınıflandırma ve regresyon problemlerinde kullanılmaktadır. Bu bağlamda veri katmanlara ayrılarak girdi olarak verilmektedir (Yaraş 2020).



Şekil 4.7: Danışmanlı öğrenme yapısı (Turaç, 2020).

4.2.2. Danışmansız Öğrenme

Danışmansız öğrenme metodunda ise danışmanlı öğrenme metodunun tersine yapay sinir ağlarına sadece girdi verileri verilmektedir. Danışmansız öğrenmede yapay sinir ağının kendi kendini eğitmesi ve problemi öğrenmesi söz konusudur (Bayır, 2006). Yani çıktı katmanı hakkında bilgisi bulunmamaktadır. Bu yöntemde de yapay sinir ağı ağırlıkları ayarlayarak istenen çıktı üretilene kadar çalışmaktadır (Yüksel, 2014). Bu öğrenme metodu genellikle problemdeki paternleri bulmak için kullanılmaktadır (Yaraş, 2020).



Şekil 4.8: Danışmansız öğrenme yapısı (Yaraş, 2020).

4.2.3. Takviyeli Öğrenme

Takviyeli öğrenme geniş çerçeveden bakıldığında gözetimsiz öğrenme metodunun alt metodu olarak da düşünülebilir. Bu metotta yapay sinir ağı girdi katmanı ile beslenerek tıpkı danışmansız öğrenmede olduğu gibi çıktı değerleri verilmez. Yapay sinir ağı problemi çözmek için kendini eğitmek durumundadır, kendini eğitmesi ise ödül veya ceza sistemine dayanmaktadır. Eğer sinir ağı problemin çözümüne yönelik geliştirmeler gerçekleştirirse ödüllendirilir eğer tam tersi yönde bu durum gerçekleşirse bu durum cezalandırılır. Başlangıçta sinir ağı bu durumu deneme yanılma yaparak öğrenmektedir. Genellikle yapay sinir ağlarını eğitmek için genetik algoritma kullanılmaktadır. Bu öğrenme metodu genellikle robotik, oyun programlama, hasatlık teşhisi, fabrika otomasyonu gibi alanlarda kullanılmaktadır (Hacıbeyoğlu, 2006).

5. YÖNTEM VE UYGULAMA

Çalışmada geliştirilmiş polipropilen üretiminde kullanılan üretim parametrelerinin yapay sinir ağları ile tahmin edilmesi amaçlanmıştır. Bu bağlamda yapay sinir ağı yapısı kurgulanmış, seri üretimi devam eden parçalar üzerinden veri toplaması yapılmıştır.

Literatürde önceki bölümlerde bahsedildiği üzere geliştirilmiş polipropilen veya partikül köpük üzerine benzer çalışmalara rastlanmamıştır.

Literatürde belirtilen çalışmalar genellikle plastik enjeksiyon üzerine yapılmıştır. Plastik enjeksiyonda yapılan çalışmaların bir avantajı ise sanal olarak simülasyon programlarında sinir ağları tarafından oluşturulan verilerin denenebilmesidir. Simülasyon programlarından elde edilen çıktılar ile prosesin optimizasyonu sağlanabilmektedir. Buhar kazanlı partikül köpük üretiminde ise böyle bir sanal simülasyon yazılımı bulunmamaktadır. Partikül köpük üretimi kaotik bir üretimdir. Simülasyon yazılımları ile tahmin edilmesi ve yorumlanması şimdilik mümkün görünmemektedir.

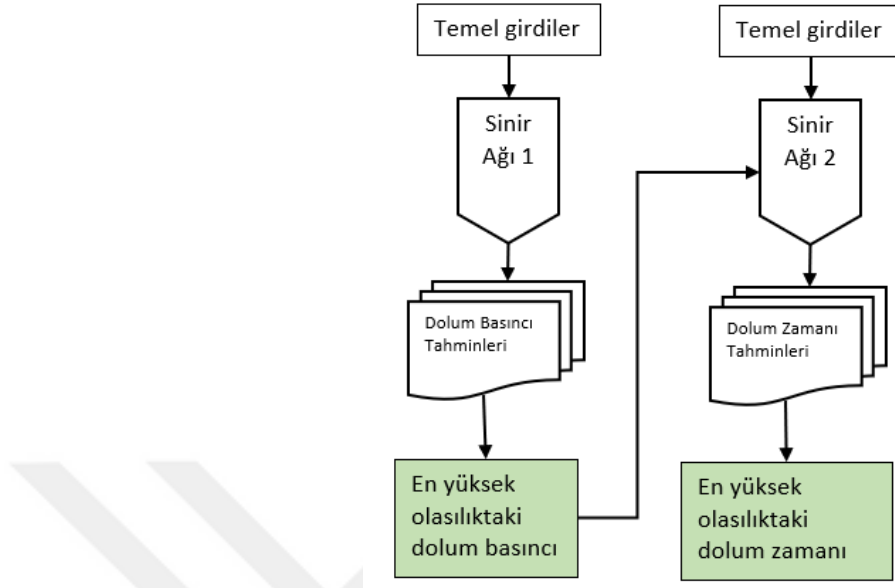
5.1. Kullanılan Veri Seti ve Kurgulanan Model

Çalışmada kullanılan veri seti Atermi Sanayi ve Tic. A.Ş. firmasının Sakarya fabrikasından toplanmıştır. Fabrikada üretilen geliştirilmiş polipropilen ürünlerinin %95'i otomotiv sektöründe kullanılmaktadır. Veriler fabrikadaki seri üretimde çalışılan parçaların seri üretim verilerinin toplanmasıyla elde edilmiştir. Atermi Sakarya fabrikasında toplamda 6 adet partikül köpük parça üretimi yapabilen makine bulunmaktadır. Bu makinelerden veriler manuel olarak toplanmıştır. Toplama esnasında operatörler tarafından girilmiş üretim parametreleri toplanmıştır. Partikül köpük üretiminde parçaya göre üretim parametreleri değişebilmektedir. Farklı zamanlarda makineye girilen üretim parametreleri de parça aynı olmasına rağmen üretim koşullarından dolayı etkilenebilmekte ve değiştirilebilmektedir. Seri üretimden toplanan parametreler ise operatörler tarafından makineye girilmiştir ve makineden bu veriler toplanmıştır.

Çalışmada toplanan veriler üretim parametrelerine ek olarak hammadde yoğunluğu, hangi makinede üretildiği, kalıplanmış parça hacmi, kalıplanmış parçalardaki enjektör sayısı, ortam sıcaklığı ve çalışan makine sayısı şeklindedir. Veri seti her makinede çalışan kalıplanmış parçaların seri üretim parametreleri toplanarak oluşturulmuştur. Seri üretim parametreleri insan yani makine operatörleri tarafından optimize edilmiş üretim parametreleridir.

Çalışmada ayrı ayrı biçimde toplamda tahmin için kullanılmış 10 adet sinir ağı bulunmaktadır. Kalıplanmış köpük üretim prosesinde bazı üretim parametreleri farklı bir üretim parametresinin girdisi olmaktadır. Tahminde kullanılan sinir ağı yapısı tüm üretim parametreleri için benzer olup değişkenlik girdi ve çıktı katmanlarında oluşmaktadır. Sinir ağları ayrı ayrı her bir parametrenin tahminini yapması için kullanılmıştır. Sinir ağlarında maliyet fonksiyonu olarak “caterogical_crossentropy” maliyet fonksiyonu kullanılmıştır. Girdi ve gizli katmanlarda ise aktivasyon fonksiyonu olarak ise “Rectifier Linear Unit” fonksiyonu kullanılmış olup çıktı katmanında “Softmax” aktivasyon fonksiyonu kullanılmıştır. Nöron sayıları denemeler yapılarak optimize edilmiştir.

Çalışmanın Genleştirilmiş Polipropilen bölümünde belirtildiği üzere enjeksiyonla kalıplanmış köpük üretiminde temel olarak 4 adım bulunmaktadır. Bu adımların çıkarma adımı haricinde diğer 3’ü üzerinde yapay sinir ağı çalışması yapılmıştır. Bu 3 bölümdeki yapay sinir ağı yapısı Şekil 5.1’de özetlenmiştir. Sinir Ağı 1 için aşağıda belirtilmiş olan temel girdi verileri girdi olarak kullanılmıştır. Çıktı olarak bir üretim parametresi olan dolum basıncı elde edilmiştir. Elde edilen çıktı aynı zamanda Sinir Ağı 2’nin girdisi de olmaktadır. Sinir Ağı 2’ye, Sinir Ağı 1’de kullanılan girdilere ek olarak Sinir Ağı 1’in çıktısı eklenerek hesaplamalar yapılmıştır.



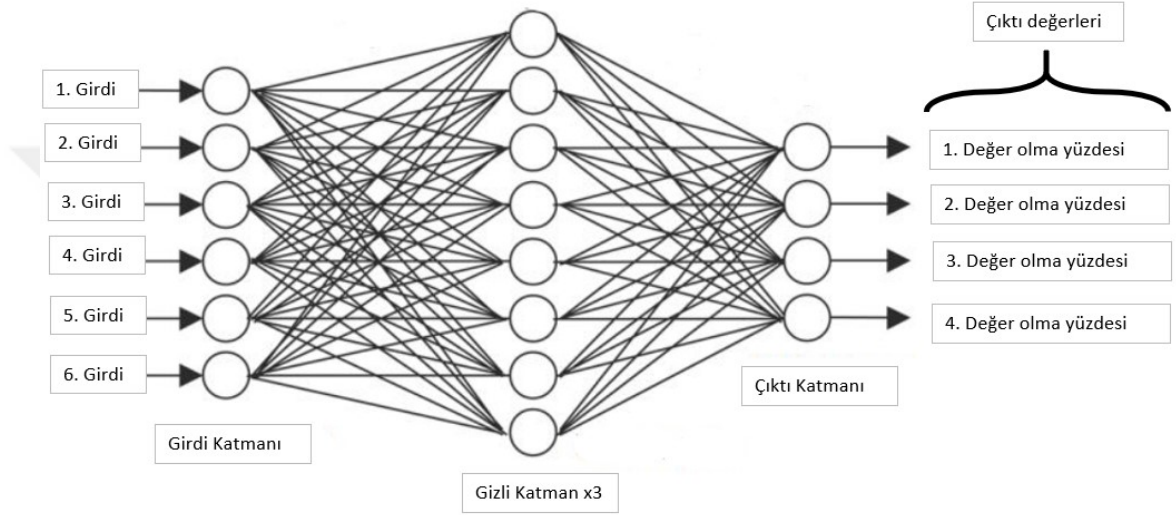
Şekil 5.1: Sinir Ağı 1 ve Sinir Ağı 2’nin veri girdi ve çıktı akış şeması.

Sinir ağlarına girdi olarak eklenen temel girdiler aşağıdaki gibidir.

- Makine bilgisi
- Hammadde yoğunluğu
- Sıcaklık
- Hacim
- Enjektör sayısı

Çıktılar belirli bir matriks içerisinde olabilecek olasılıklar olarak alınmıştır. Bu bağlamda yukarıda da bahsedildiği üzere 10 adet birbiri ile bağlantılı yani bir sinir ağının çıktısı diğerinin girdisi olan sinir ağı bulunmaktadır. Sinir ağlarının aynı zamanda temel girdileri bulunmaktadır. Bunlar Şekil 5.1’de de görülebileceği üzere “Sinir Ağı 1 Girdisini” oluşturan verilerdir. Temel girdiler ayrıca yukarıda belirtilmiştir. Yani bu verilerin hepsi diğer sinir ağlarının girdisi konumundadır. Bu veriler hem parça ile ilgili hem ortam hem de kalıp ile ilgilidir. Hacim ve hammadde bilgisi parça ile makine bilgisi ve sıcaklık ortam ile ilgiliyken enjektör sayısı kalıp ile ilgilidir. Çalışmada sinir ağları bir girdi katmanı, 3 gizli katman ve 1 çıktı katmanı olmak üzere 5 katmandan oluşmaktadır.

Çalışmada kurgulanan sinir ağlarının temsili bir yapısı Şekil 5.2’de gösterilmektedir. Şekilde görüleceği üzere çıktı değerleri birden fazladır. Sinir ağı çıktı değeri olarak sınıflandırma olasılığı yapmaktadır. Yani üretim parametresinin hangisi olabileceğinin olasılığını vermektedir. Bu durum örnek bir çıktı olarak Tablo 4’de dolum basıncı çıktısında görülmektedir.



Şekil 5.2: Çalışmada kurgulanan yapay sinir ağı yapısının temsili yapısı.

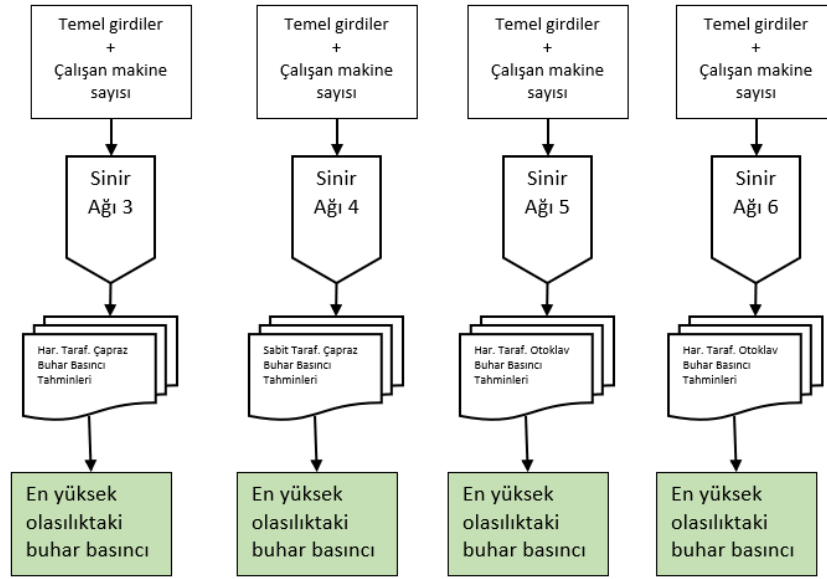
Sinir ağları teker teker incelenecek olursa, ilk sinir ağı dolum basıncının tahmininin yapıldığı sinir ağıdır. Bu sinir ağında makine tipi, hammadde bilgisi, hacim, ortam sıcaklığı, enjektör sayısı, girdi olarak verilmiştir. Çıktı olarak ise 1,5-2,1 Bar 7 çıktı değeri arasından basınç değerleri arasındaki olasılık seçenekleri çıktı olarak alınmaktadır. Çalışmada en yüksek olasılığa sahip olan değer kullanılmıştır. Tablo 5.1’de örnek bir dolum basıncı çıktı matrisi görülmektedir. Sinir ağı girilen girdi değerlerine göre %88 ihtimalle dolum basıncının 2,1 Bar olabileceğini tahmin etmiştir.

Tablo 5.1: Dolum basıncının yapay sinir ağı örnek çıktısı.

Dolum Basıncı Çıktı						
1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	2.0	2.1
0%	0%	4%	0%	0%	12%	88%

Diğer bir sinir ağı ile birlikte dolum zamanı tahmini yapılmaktadır. Bu sinir ağına girdi değerleri yine yukarıda belirtilen temel girdilere ek olarak dolum basıncı yapan sinir ağının çıktısı da girdi olarak verilmektedir. Bu sinir ağında 12 girdi değer bulunurken, 2 saniyeden 19 saniyeye kadar 17 adette çıktı değeri tahmini yapmaktadır. Bu akış yukarıda Şekil 5.1’de şematize edilmiştir.

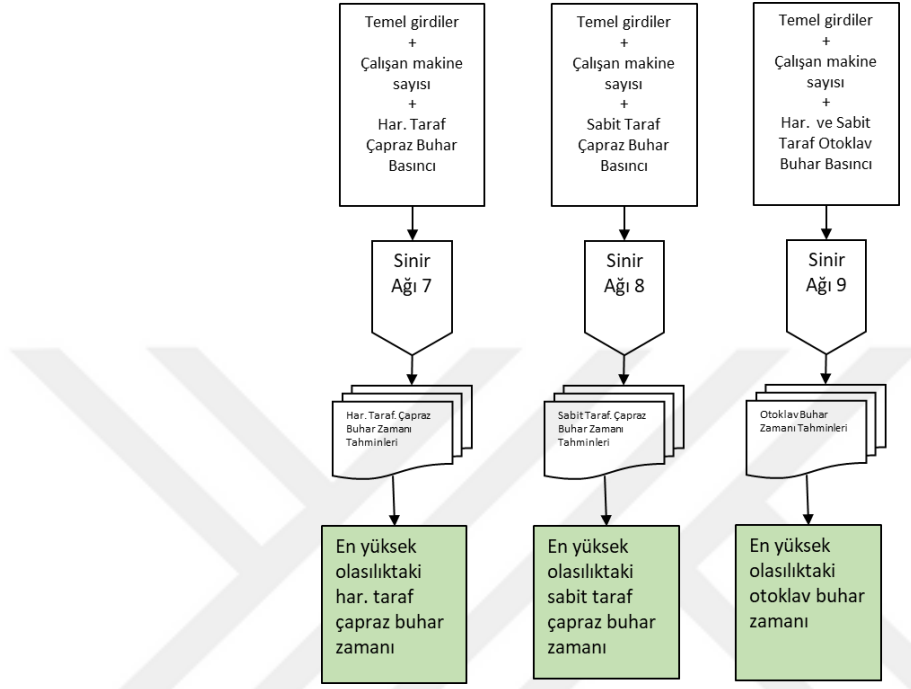
Buharlama üretim parametrelerinde ise sabit ve hareketli taraf çapraz buhar, sabit ve hareketli taraf otoklav basınçlarının tahminlemesinin yapıldığı dört sinir ağında ise temel girdilere ek olarak çalışan makine sayısı da girdi verisi olarak sinir ağlarında bulunmaktadır. Bu sinir ağlarında ise çapraz buharlarda 1,7 bar ile 3,6 bar arasındaki 20 değer çıktı olarak her dört sinir ağından alınmaktadır. Bu çıktılar arasında olasılığı en yüksek olan seçilmektedir. Bu akışlar Şekil 5.3’de şematize edilmiştir.



Şekil 5.3: Buharlama basınç üretim parametrelerinin tahminini yapan sinir ağlarının temsili yapısı.

Yine buharlama üretim parametrelerinde zamanların tahminlemesi yapılırken, buhar basınçları girdi olarak kullanılmaktadır. Sabit taraf çapraz buhar zamanının tahmininde temel bilgilere ek olarak sabit taraf çapraz buhar basınç değeri de girdi olarak kullanılmıştır. Bu durum hareketli taraf çapraz buhar, sabit taraf otoklav, hareketli taraf

otoklav zamanları içinde aynıdır. Her biri için farklı sinir ağları bulunmaktadır. Bu durum aşağıda Şekil 5.4’de şematize edilmiştir.



Şekil 5.4: Buharlama zamanı üretim parametrelerinin tahminini yapan sinir ağlarının temsili yapısı.

Soğutma zamanı üretim parametresinde ise son sinir ağı bulunmaktadır. Bu sinir ağına yukarıda bahsedilmiş olan sinir ağlarına benzer şekilde temel girdiler, çalışan makine sayısı girdisi, hareketli ve sabit taraf buhar basınç ve zamanları, hareketli sabit otoklav buhar basıncı, otoklav buhar zamanı girdi olarak verilmektedir. Bunun sonucunda ise 5 saniye aralıklarla 45 saniyeden 90 saniyeye kadar 10 farklı çıktı sonucu alınmaktadır. Tablo 5.2’de örnek bir çıktı tablosu görülmektedir. Yapay sinir ağlarına beslenen sonuç değerleri “One Hot Encoding” yapılarak sinir ağının eğitimi yapılmıştır. Buna ilişkin temsili eğitim sonucu Tablo 5.3’de belirtilmiştir.

Tablo 5.2: Soğutma süresi tahminlemesi yapan yapay sinir ağının örnek çıktısı.

Soğutma Süresi Tahmin Sonuçları									
45 Saniye	50 Saniye	55 Saniye	60 Saniye	65 Saniye	70 Saniye	75 Saniye	80 Saniye	85 Saniye	90 Saniye
96%	4%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%

Tablo 5.3: Soğutma süresi “One Hot Encode” edilmiş olan eğitim girdisi.

Soğutma Süresi Eğitim Sonuç Girdileri									
45 Saniye	50 Saniye	55 Saniye	60 Saniye	65 Saniye	70 Saniye	75 Saniye	80 Saniye	85 Saniye	90 Saniye
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Çalışmada yapay sinir ağlarının kodlanmasında Python 3.7 sürümü ve sinir ağı kütüphanesi olarak ise Keras açık kaynak kodlu sinir ağı kütüphanesi kullanılmıştır. Kullanılan bilgisayarın özellikleri ise aşağıdaki tabloda belirtilmiştir.

Tablo 5.4: Eğitim sırasında kullanılan bilgisayarın donanımsal özellikleri.

İşlemci	Intel Xeon E-2176M (6 Core) (2.90GHz, 4.80GHz Turbo, 12MB)
Chipset	Intel Mobile CM246
Bellek	16GB DDR4 2666MHz non-ECC (1x16GB) (maksimum 64GB)
Sabit Disk	256GB M.2 PCIe SSD
Ekran Kartı	NVIDIA Quadro P2000 (Harici 4GB GDDR5)

6. BULGULAR

Çalışmada sinir ağlarına girdi verisi olarak seri üretimde kullanılan ve insan tarafından girilen üretim parametreleri kullanılmıştır. Yapay sinir ağı tahminlemesinin gerçek üretimde de denenmiştir. Bu deneme fabrikada daha önce çalışılmamış ve veri seti içerisinde olmayan bir parça üzerinde yapılmıştır. Yukarıda belirttiği üzere Atermit Sakarya fabrikasında üretilen ürünlerin büyük bir çoğunluğu otomotiv sektöründe kullanılmaktadır. Otomotiv sektöründe genel olarak model değişimlerinde parçaların tasarımları çoğunlukla yenilenir ve seri üretim öncesinde proje dönemi bulunmaktadır. Proje dönemlerinde ise çeşitli senaryolara hazırlanmak ve hataları öncesinde görmek için deneme üretimleri planlanmaktadır. Çalışmanın gerçek dünyada denenmesi ise bahsedildiği şekilde bir proje dönemine denk gelmiştir. Bu bağlamda daha öncesinde fabrikada çalışmamış bir parça üzerinde yapay sinir ağlarının üretim tahminlemesi denenmiştir. Deneme esnasında aynı zamanda insan ile de karşılaştırma yapılmıştır. Karşılaştırma yapılan insan üretimde çalışan ve yetkin operatördür.

Bununla beraber her 10 yapay sinir ağı veri seti içerisinde test edilmiştir. Test verisi olarak iki farklı durum denenmiştir. Literatürdeki çalışmalarda genellikle veri setinin %33'ü teste ayrılırken %67'si eğitime ayrılmaktadır. Bu çalışmada ise eğitim verilerinin yetersiz olabileceği düşünülerek bu oran %20'ye %80 ve %10'a %90 biçiminde 2 farklı şekilde veriler test edilmiştir. Bu oranlar aşağıda belirtilen tablolarda görülmektedir. Her iki ayrımda da 3 kere farklı rastgelelikte test ölçümü yapılmıştır. Aynı şekilde rastgelelikler aşağıda bulunan tablolarda Test 1, Test 2, Test 3 olarak görülebilmektedir. Test verileri ayrıca sapma değerleri ve doğruluk değerleri ile de karşılaştırılmıştır. Genel olarak sapma toleransı arttığında doğruluk değerinin arttığı gözlenmiştir. Sapma değeri basınç değerlerinde ± 0 , $\pm 0,1$, $\pm 0,2$ Bar, soğutma parametresi haricinde zamanlar ise ± 0 , ± 1 , ± 2 saniye olarak alınmıştır. Bununla birlikte soğutma zamanı ise ± 0 , ± 5 , ± 10 saniye olarak alınmıştır. Test değerleri değerlendirilirken en yüksek olasılığa sahip olan sınıf değeri alınmıştır. Testlerin analizi yapılırken test verisi ile tahmin sonuçları karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırmada tahmin değerinin olması gereken değerden sapması da görülmektedir. Sapma toleransı arttırıldığında doğal olarak doğruluk değerinin arttığı da gözlenmiştir.

Tablo 6.1: Doldurma basıncı sapma ve doğruluk değeri.

	±0 Bar	±0,1 Bar	±0,2 Bar	±0,3 Bar
%10 Test-1	56,3%	87,5%	93,8%	100,0%
%10 Test-2	51,6%	75,0%	87,5%	100,0%
%10 Test-3	52,4%	81,3%	93,8%	100,0%
Ortalama	53,4%	81,3%	91,7%	100,0%
	±0 Bar	±0,1 Bar	±0,2 Bar	±0,3 Bar
%20 Test-1	51,6%	87,1%	93,5%	96,8%
%20 Test-2	50,3%	71,0%	93,5%	96,8%
%20 Test-3	49,2%	90,3%	96,8%	100,0%
Ortalama	50,4%	82,8%	94,6%	97,8%

Tablo 6.2: Doldurma zamanı sapma ve doğruluk değeri.

	±0 s	±1 s	±2	±3 s
%10 Test-1	47,06%	76,47%	76,47%	100,00%
%10 Test-2	50,00%	88,89%	100,00%	100,00%
%10 Test-3	48,33%	72,22%	83,33%	88,89%
Ortalama	48,46%	79,19%	86,60%	96,30%
	±0 s	±1 s	±2 s	±3 s
%20 Test-1	48,57%	82,86%	88,57%	91,43%
%20 Test-2	45,71%	74,29%	88,57%	88,57%
%20 Test-3	54,29%	80,00%	88,57%	94,29%
Ortalama	48,57%	82,86%	86,37%	91,43%

Doldurma basıncının tahminlemesinin yapıldığı sinir ağına ait test doğrulukları ve sapma değerleri Tablo 6.1’de belirtilmiştir. Bu bağlamda 0 Bar sapma sinir ağı ortalama %50 doğrulukta tahmin etmektedir. Sapma toleransı $\pm 0,1$ Bar yapıldığında ise bu oranın %81’e çıktığı görülmektedir. Testlerde hem %20 test-%80 eğitim hem de %10 test-%90 eğitim olarak ayrılan veri setinde bu oranın benzer biçimde olduğu görülmektedir. Bununla birlikte doldurma zamanının tahminine bakıldığında ise doldurma basıncının tahminine benzer şekilde ± 0 saniye sapma değerinde doğruluk değeri her iki eğitim ve test dağılımında %49 olduğu gözlenmiştir. Basınç tahmininde olduğu gibi sapma değeri artıkça doğruluk değeri ortalama olarak ± 1 saniye sapmada %82’ye, ± 2 saniye sapma değerinde %86’ya, ± 3 saniye sapmada ise %93’e çıktığı görülmektedir.

Tablo 6.3: Sabit taraf çapraz buhar basıncı sapma ve doğruluk değeri.

	± 0 Bar	$\pm 0,1$ Bar	$\pm 0,2$ Bar	$\pm 0,3$ Bar
%10 Test-1	61,11%	77,78%	77,78%	83,33%
%10 Test-2	61,11%	72,22%	77,78%	83,33%
%10 Test-3	61,11%	66,67%	77,78%	77,78%
Ortalama	61,11%	72,22%	77,78%	81,48%
	± 0 Bar	$\pm 0,1$ Bar	$\pm 0,2$ Bar	$\pm 0,3$ Bar
%20 Test-1	54,29%	74,29%	80,00%	85,71%
%20 Test-2	48,57%	65,71%	71,43%	74,29%
%20 Test-3	60,00%	74,29%	80,00%	80,00%
Ortalama	54,29%	71,43%	77,14%	80,00%

Tablo 6.4: Hareketli taraf çapraz buhar basıncı sapma ve doğruluk değeri.

	±0 Bar	±0,1 Bar	±0,2 Bar	±0,3 Bar
%10 Test-1	61,11%	83,33%	94,44%	94,44%
%10 Test-2	50,00%	77,78%	77,78%	83,33%
%10 Test-3	61,11%	77,78%	77,78%	83,33%
Ortalama	57,41%	79,63%	83,33%	87,04%
	±0 Bar	±0,1 Bar	±0,2 Bar	±0,3 Bar
%20 Test-1	51,43%	77,14%	80,00%	88,57%
%20 Test-2	51,43%	74,29%	85,71%	88,57%
%20 Test-3	54,29%	77,14%	82,86%	85,71%
Ortalama	52,38%	76,19%	82,86%	87,62%

Çapraz buhar basınç değerlerine bakıldığında ise sabit taraf buhar basınç değerinin tahminini ±0 Bar basınç sapmasında %10 test değerinde %61 olurken %20 test oranında bu doğruluk değeri %54'e düşmektedir. Sapma değerini ±0,1 Bar yapıldığında yine sırasıyla %72 ve %71, ±0,2 Bar sapma değerinde %77 ve %77, ±0,3 Bar sapma değerinde ise %81 ve %80 ortalama doğruluk değerinde tahmin yapabildiği görülmektedir. Benzer oranlar hareketli taraf için de Tablo 6.4'de belirtilmiştir. Benzer biçimde hareketli ve sabit taraf otoklav buhar basınç değerlerinin doğruluk ve sapma değerleri Tablo 6.5 ve Tablo 6.6'da gösterilmiştir. Hareketli taraf otoklav buhar basıncı %10 test verisinde ±0, ±0,1, ±0,2, ±0,3 Bar'da sırasıyla, %66, %83, %87, %88 ortalama ile tahmin ettiği görülebilmektedir. %20 test verisinde ise yine sırasıyla, %58, %82, %85, %85 doğrulukta tahminleme yaptığı görülmektedir. Sabit taraf otoklav buhar basınç değerinde ise yine %10 test verisinde ±0, ±0,1, ±0,2, ±0,3 Bar sapma değerlerinde sırasıyla, %66, %63, %87 ve %88 olarak gerçekleşmiştir. %20 test verisinde ise yine sırasıyla, %52, %72, %79, %80 doğruluk değeriyle tahminleme yapmıştır.

Tablo 6.5: Hareketli taraf otoklav basıncı sapma ve doğruluk değeri.

Hareketli Taraf Otoklav Basıncı Sapma ve Doğruluk Değeri				
	±0 Bar	±0,1 Bar	±0,2 Bar	±0,3 Bar
%10 Test-1	72,22%	88,89%	88,89%	88,89%
%10 Test-2	61,11%	83,33%	88,89%	94,44%
%10 Test-3	66,67%	77,78%	83,33%	83,33%
Ortalama	66,67%	83,33%	87,04%	88,89%
	±0 Bar	±0,1 Bar	±0,2 Bar	±0,3 Bar
%20 Test-1	66,67%	77,78%	83,33%	83,33%
%20 Test-2	57,14%	82,86%	85,71%	85,71%
%20 Test-3	51,43%	85,71%	88,57%	88,57%
Ortalama	58,41%	82,12%	85,87%	85,87%

Tablo 6.6: Sabit taraf otoklav basıncı sapma ve doğruluk değeri.

	±0 Bar	±0,1 Bar	±0,2 Bar	±0,3 Bar
%10 Test-1	61,11%	88,89%	94,44%	94,44%
%10 Test-2	33,33%	66,67%	72,22%	72,22%
%10 Test-3	61,11%	77,78%	88,89%	94,44%
Ortalama	51,85%	77,78%	85,19%	87,04%
	±0 Bar	±0,1 Bar	±0,2 Bar	±0,3 Bar
%20 Test-1	60,00%	77,14%	82,86%	88,57%
%20 Test-2	48,57%	74,29%	77,14%	77,14%
%20 Test-3	48,57%	65,71%	77,14%	77,14%
Ortalama	52,38%	72,38%	79,05%	80,95%

Buharlama zamanlarının tahmininde buhar basınçlarına göre daha yüksek test oranı yakalandığı görülebilmektedir. Tablo 6.7’de sabit taraf çapraz buhar zamanı

tahminlemesi görülebilmektedir. %10 test verisinde ± 0 saniyede %69 doğruluk oranında tahmin yaptığı görülmektedir. Bununla birlikte ± 1 saniye veya daha fazla sapma değerinde bu oran %98'lere çıktığı gözlenmiştir. Bu durum aynı zamanda hareketli taraf buhar basınç zamanı için de geçerlidir. Benzer oranlar %20 test verisi için de Tablo 6.7'de görülebilmektedir.

Tablo 6.7: Sabit taraf çapraz buhar zamanı sapma ve doğruluk değeri.

	± 0 Saniye	± 1 Saniye	± 2 Saniye	± 3 Saniye
%10 Test-1	83,33%	100,00%	100,00%	100,00%
%10 Test-2	61,11%	94,44%	100,00%	100,00%
%10 Test-3	66,67%	100,00%	100,00%	100,00%
Ortalama	70,37%	98,15%	100,00%	100,00%
	± 0 Saniye	± 1 Saniye	± 2 Saniye	± 3 Saniye
%20 Test-1	71,43%	91,43%	94,29%	94,29%
%20 Test-2	57,14%	94,29%	100,00%	100,00%
%20 Test-3	77,14%	97,14%	97,14%	97,14%
Ortalama	68,57%	94,29%	97,14%	97,14%

Tablo 6.8: Hareketli taraf çapraz buhar zamanı sapma ve doğruluk değeri.

	± 0 Saniye	± 1 Saniye	± 2 Saniye	± 3 Saniye
%10 Test-1	77,78%	94,44%	100,00%	100,00%
%10 Test-2	72,22%	88,89%	94,44%	94,44%
%10 Test-3	66,67%	100,00%	100,00%	100,00%
Ortalama	72,22%	94,44%	98,15%	98,15%
	± 0 Saniye	± 1 Saniye	± 2 Saniye	± 3 Saniye
%20 Test-1	74,29%	91,43%	97,14%	100,00%
%20 Test-2	51,43%	85,71%	88,57%	91,43%
%20 Test-3	71,43%	97,14%	97,14%	100,00%
Ortalama	65,71%	91,43%	94,29%	97,14%

Otoklav buhar zamanı tahmininde doğruluk oranı ortalama olarak %10 test verisinde %40, %20 test verisinde ise %42 olduğu görülmüştür. Sapma değeri ± 1 saniye olduğunda ise %10 test verisi için %62'ye çıkarken, %20 test verisinde ise %68 olduğu olarak tahminleme yapılmıştır. ± 2 saniyede ise her iki test verilerinde doğruluk oranını %80'e, ± 3 'de ise %10 ve %20 test verilerinde sırasıyla %92 ve %86'ya çıktığı görülmektedir. Bu da yine Tablo 6.9'de görülmektedir.

Tablo 6.9: Otoklav buhar zamanı sapma ve doğruluk değeri.

	± 0 Saniye	± 1 Saniye	± 2 Saniye	± 3 Saniye
%10 Test-1	44,44%	61,11%	83,33%	94,44%
%10 Test-2	38,89%	66,67%	83,33%	94,44%
%10 Test-3	38,89%	61,11%	72,22%	88,89%
Ortalama	40,74%	62,96%	79,63%	92,59%
	± 0 Saniye	± 1 Saniye	± 2 Saniye	± 3 Saniye
%20 Test-1	48,57%	65,71%	77,14%	82,86%
%20 Test-2	34,29%	62,86%	80,00%	85,71%
%20 Test-3	45,71%	77,14%	85,71%	91,43%
Ortalama	42,86%	68,57%	80,95%	86,67%

Soğutma zamanı tahmininde sinir ağı ± 0 saniyede ortalama olarak %10 test verisinde %59, %20 test verisinde ise %50 doğrulukta tahminleme yaparken ± 5 saniyede ise bu oran %10 test verisinde %87, %20 test verisinde ise %79 daha yüksek sapma değerlerinde ise %95 üzerine çıktığı görülmektedir. Soğutma zamanı 5 saniye aralıklarla sınıflandırma aralıkları bulunmaktadır. Test verileri ve sapma değerlerine ait test sonuçları Tablo 6.9'da görülmektedir.

Tablo 6.10: Soğutma zamanı sapma ve doğruluk değeri

	±0 Saniye	±5 Saniye	±10 Saniye	±15 Saniye
%10 Test-1	66,67%	83,33%	94,44%	100,00%
%10 Test-2	50,00%	88,89%	100,00%	100,00%
%10 Test-3	61,11%	88,89%	100,00%	100,00%
Ortalama	59,26%	87,04%	98,15%	100,00%
	±0 Saniye	±5 Saniye	±10 Saniye	±15 Saniye
%20 Test-1	51,43%	74,29%	100,00%	100,00%
%20 Test-2	51,43%	77,14%	97,14%	97,14%
%20 Test-3	48,57%	85,71%	97,14%	100,00%
Ortalama	50,48%	79,05%	98,10%	99,05%

Yukarıda bahsedilen ve kurgulanan yapay sinir ağları bir proje parçası üzerinde gerçek üretimde de denenmiştir. Deneme esnasında öncelikle operatör parametreleri girilmiştir. Genleştirilmiş polipropilen üretiminde genellikle metodoloji parça ağırlığını dolum parametreleri ile ayarladıktan sonra buharlama ve soğutma parametreleri ayarlanmaktadır. Her ayarlama adımında aynı zamanda çevrim gerçekleşir ve parça üretilir. Çıkan parça göz ve çeşitli ölçüm aletleri ile yorumlanarak tekrar parametre ayarlaması yapılmaktadır. Operatör de bu metodolojiyi kullanmıştır. Uygun parça ve parametre ayarından sonra ise yapay sinir ağı ile deneme yapılmıştır. Sinir ağlarına ilgili veriler verilerek üretim parametrelerinin tahmini alınmıştır. Bu bağlamda Tablo 6.11’de insanın uygun parça aldığındaki parametre değerleri ile yapay sinir ağlarının tahminini yaptığı parametreler gösterilmiştir. Şekil 6.1’de operatör ve yapay sinir ağı tarafından üretilmiş olan parça görülmektedir. Şekilde gösterilen parça darbe sönümleyici olarak otomobilin ön tampon bölgesinde kullanılmaktadır.



Şekil 6.1: Sinir ağları ile tahmin edilmiş parametrelerle üretilen genişletilmiş polipropilen köpük tampon şok emici parçası.

Tablo 6.11: İnsan ve yapay sinir ağının tahmin ettiği parametrelerin karşılaştırması.

Parametre	Birim	Yapay Sinir Ağı	İnsan	Fark
Hareketli Taraf Çapraz Buhar Basıncı	Bar	3,1	2,45	-0,65
Hareketli Taraf Çapraz Buhar Zamanı	Saniye	6	3,5	-2,5
Hareketli Taraf Otoklav Buhar Basıncı	Bar	2,9	2,65	-0,25
Hareketli Taraf Otoklav Buhar Zamanı	Saniye	12	13	1
Sabit Taraf Çapraz Buhar Basıncı	Bar	2,9	2,9	0
Sabit Taraf Çapraz Buhar Zamanı	Saniye	6	4,5	-1,5
Sabit Taraf Otoklav Buhar Basıncı	Bar	3,2	3,05	-0,15
Sabit Taraf Otoklav Buhar Zamanı	Saniye	12	11	-1
Soğutma Zamanı	Saniye	50	45	5

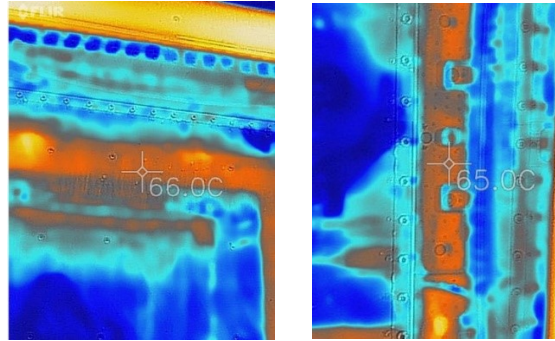
Yapay sinir ağı ile yapılan tahminleme sonrasında alınan ürünlerden üretim sırasında ve sonrasında yapılan ağırlık ölçüm sonuçları Tablo 6.12’de belirtilmiştir. Parçanın yaş ağırlık değeri 275 ± 41 g iken kuru ağırlık değeri 258 ± 39 g’dir. Parçaların üretim esnasında yaş ağırlıktan ortalama olarak %0,12 olarak saptığı gözlenmiştir. Parçalar fırınlama prosesi sonrasında tartıldığında kuru ağırlık değerinden %0,58 saptığı gözlenmiştir. İlgili sapmaların tolerans değerleri içerisinde olduğu görülmektedir.

Tablo 6.12: Yapay sinir ağının ürettiği parçaların yaş ve kuru ağırlıkları.

Çevrim Numarası	Yaş Ağırlık(g)	Yaş Nominalden Sapma(%)	Kuru Ağırlık(g)	Nominalden Sapma(%)
CV86	271	-1,45%	257	-0,39%
CV85	284	3,27%	267	3,49%
CV84	281	2,18%	263	1,94%
CV83	277	0,73%	259	0,39%
CV82	274	-0,36%	260	0,78%
CV81	265	-3,64%	251	-2,71%
Ortalama	275,33	0,12%	259,50	0,58%

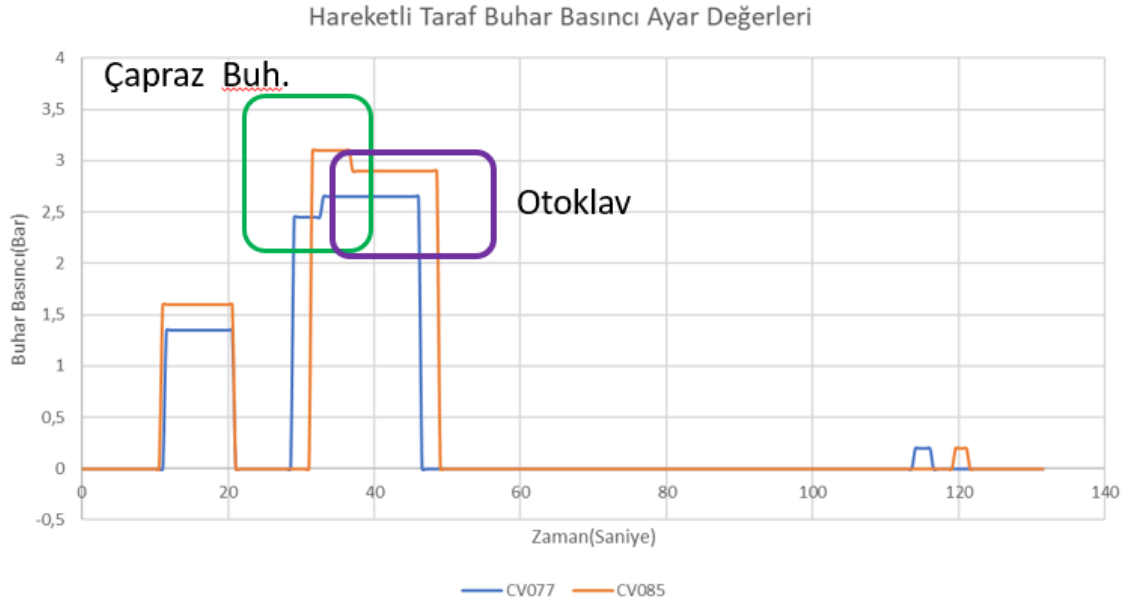
Hem insanın girdiği hem de yapay sinir ağının ürettiği parametreler ile üretilen parçaların boyutsal olarak ölçümlemesi yapıldığında ise tüm boyutsal ölçümlerin toleranslar içerisinde olduğu ölçümlenmiştir.

Ayrıca deneme üretimlerinde ise insanın deneme-yanılma metoduyla ürettiği parametreden çıkan fire miktarını %80 oranında azalttığı gözlenmiştir. Şekil 6.2’de sinir ağlarının tahmin ettiği 5 baskı sonrasında kalıp yüzey sıcaklığının 65-70 °C arasında olduğu gözlenmiştir.



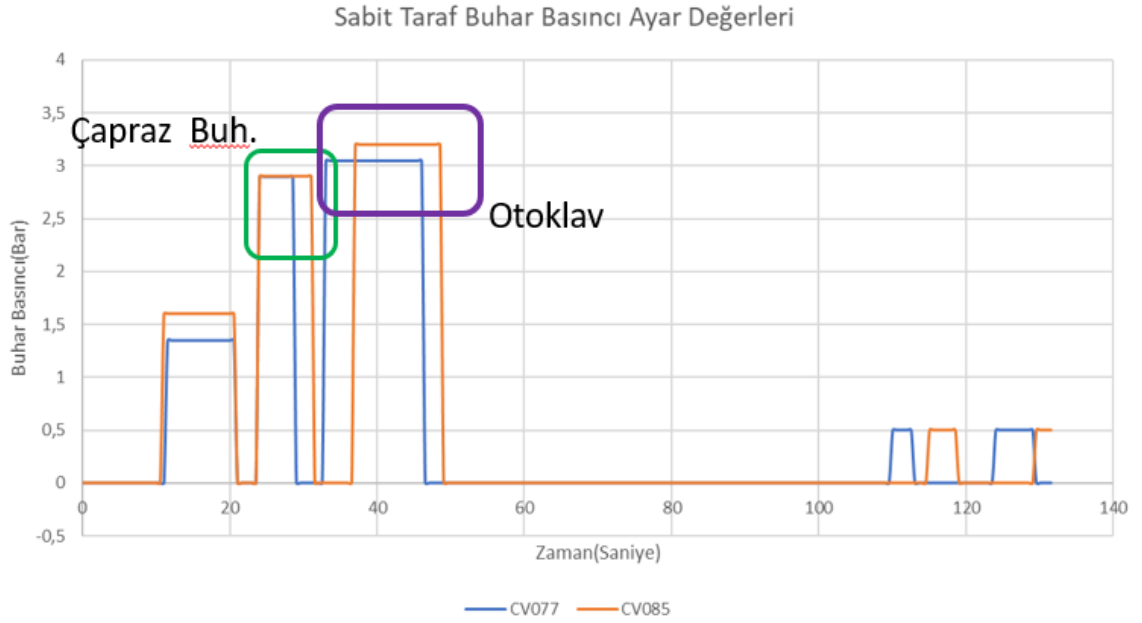
Şekil 6.2: Yapay sinir ağlarının tahmin ettiği parametre ile alınan 5 çevrim sonrasında ölçülen kalıp yüzey sıcaklığı renk haritası.

Aynı zamanda Şekil 6.3’de çevrim esnasında makine set değerini gösteren grafik görülmektedir. Grafikte belirtilmiş olan CV077 insanın girdiği parametrelerle üretilen hareketli taraf buhar basıncı set değerini ifade ederken CV085 ile gösterilmiş olan parametre ise yapay sinir ağının yaptığı tahminle üretilen çevrimi göstermektedir. Çapraz buhar basınç değeri yeşil bölüm ile gösterilirken otoklav basınç değeri mor ile gösterilmiştir. Bu bağlamda hareketli taraf otoklav basınç farkı haricinde kabul edilebilir tahminler yaptığı görülebilmektedir.



Şekil 6.3: Yapay sinir ağı ve operatörün çevrim sırasındaki hareketli taraf buhar basınç ayar değerleri.

Şekil 6.4’de ise sabit taraf buhar basınç değeri set değeri bir çevrim esnasında görülmektedir. Yine yukarıda belirtildiği üzere CV077 insanın girdiği parametreyi, CV085 ise yapay sinir ağının yaptığı tahmin ile üretilen çevrimi göstermektedir. Çapraz buhar basıncını insan ile aynı basınç değerinde tahminleme yapmıştır. Otoklav basıncında ise 0,15 Bar fark ile tahminleme yapmıştır.



Şekil 6.4: Yapay sinir ağı ve operatörün çevrim sırasındaki sabit taraf buhar basınç ayar değerleri.

7. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada kalıplanarak üretilen genleştirilmiş polipropilen parça üretiminde kullanılan üretim parametreleri yapay sinir ağları ile tahmin edilmeye çalışılmıştır. Bu çalışmada kullanılan veri seti Atermit Sanayi ve Ticaret Anonim Şirketi'nin Sakarya fabrikasından toplanmıştır.

Veri setinin oluşturulmasında seri üretimde kullanılan üretim parametreleri kullanılmış olup bu parametreler çalışan operatörler tarafından girilmektedir. Veriler manuel olarak gün gün toplanmış olup birleştirilerek veri seti oluşturulmuştur. Üretim parametrelerine ek olarak ortam parametreleri de veri olarak toplanmış ve kullanılmıştır.

Tahminlemede 10 farklı üretim parametresi için ayrı sinir ağı kullanılmıştır. Tahminleme yapılırken bazı ortak girdilere ek olarak bazı sinir ağlarının çıktısı diğer bir sinir ağının girdisi olarak kullanılmaktadır. Doldurma basıncını tahminini yapan sinir ağı çıktısı doldurma zamanı girdisi olarak, soğutma zamanında ise buhar basınçları ve zamanları girdi olarak kullanılmıştır. Aynı zamanda buhar basınç değerleri de buhar zamanlarının tahminlemesi yapılırken girdi olarak kullanılmaktadır. Sinir ağları tahminleme yaparken belirli sınıfların olma olasılığına göre tahminleme yapmaktadır. Belirli sınıflar ise o üretim parametresine ait makineye girilebilecek üretim parametreleridir.

Sinir ağları ayrı ayrı eğitilmiş olup test sırasında en yüksek olasılığa sahip olan ihtimal dikkate alınmıştır. Yapay sinir ağları test verilerine göre doldurma basıncını %50,4, doldurma zamanını %48,5, sabit taraf çapraz buhar basıncını %54,2, hareketli taraf çapraz buhar basıncını %52,3, hareketli taraf otoklav basıncını %52,3, sabit taraf çapraz buhar zamanını %68,5, hareketli taraf çapraz buhar zamanını %71,4, otoklav zamanını %42,8 ve soğutma zamanını %50,4 olarak tahmin performansı elde ettiği görülmüştür. Bu performans veri setinin %80 eğitim ve %20 test ettiğinde elde edilen performanstır. Sapma toleransının artması durumunda ise bu oranın arttığı da gözlenmiştir.

Sinir ağları ayrıca gerçek ortamda da test edilmiştir. Buna göre daha öncesinde çalışılmamış olan bir parça için tahminleme denemesi yapılmıştır. Bu denemede

operatörün ürettiği Hareketli taraf buhar basıncı haricinde tahminlerin genel itibariyle $\pm 0,25$ sapma ile tahmin edebildiği görülmektedir. Zamanda ise soğutma haricinde $\pm 2,5$ saniye sapma ile tahmin yaptığı görülmektedir, aynı şekilde soğutma zamanında da 5 saniyelik sapma görülmektedir. Hem operatörün verdiği parametreler ile üretilen parçanın hem de yapay sinir ağlarının ürettiği parçanın üretim sonrasında boyutsal ölçümlemeleri yapıldığında tüm ölçülerin tolerans değerleri içerisinde olduğu görülmüştür.

Sinir ağları, operatörün parametre denemeleri esnasında üretilen fireleri azalttığı gözlenmiştir. Ayrıca tekliflendirme dönemlerinde çevrim zamanlarının tahmin edilmesinde ve yakınsama yapılmasında, medya tüketimlerinin sadece 3 boyutlu çizim kullanılarak tahmin edilmesinde kullanılabileceği ve maliyet çalışmalarının buna göre yapılabileceği görülmektedir.

Bu çalışmada 175 adetlik veri toplanarak sinir ağının eğitimi sağlanmıştır. Yapay sinir ağları üretim parametrelerinde tatmin edici doğruluklarda üretim parametrelerini tahmin ettiği görülmektedir fakat bunu arttırmak için de çalışmalar yapılabilir. Bu bağlamda ileriki çalışmalarda daha çok veri kullanılarak tahmin doğruluğu ve seri üretime yakın tahmin edebilme performansı artırılabilir. Ayrıca parça hacminin kalıpta erkek ve dişi tarafta kalan hacimleri, parça yüzey alanı gibi verilerin eğitim setine eklenmesi doğruluğun artmasına faydalı olacaktır. İleriki çalışmalarda makine üzerindeki sensör verileri de kullanılarak tahmin doğruluğu artırılabilir.

KAYNAKLAR

- Aggarwal C. C., (2018), “Neural networks and deep learning”, Springer.
- Aras S., (2008), “Yapay Sinir Ağlarında Duyarlılık Analizleri”, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi.
- Bayır F., (2006), “Yapay Sinir Ağları ve Tahmin Modellemesi Üzerine Bir Uygulama”, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi.
- Beverte I., (2004), “Deformation of polypropylene foam Neopolen® P in compression”, Journal of cellular plastics, 40(3), 191-204.
- Bishop M., (2015), “History and Philosophy of Neural Networks”, Computational Intelligence.
- Büyükyılmaz M., (2019), “Movie Genre Prediction From Subtitle Using Deep Learning”, Yüksek Lisans Tezi, Ankara Yıldırım Beyazıt Üniversitesi.
- Celik, Ibrahim et al., (2015), “Comfort and structural (FEA) analysis on light weighted car seat design optimized with EPP material”, The Online Journal of Science and Technology 5: 8-17.
- Changyu S., Lixia W., Qian L., (2007), “Optimization of injection molding process parameters using combination of artificial neural network and genetic algorithm method”, Journal of Materials Processing Technology, 183, 412-418.
- Çelik E., (2011), “Görüntü İşlemeye Dayalı Avuç İçi İzinin Yapay Sinir Ağı İle Tanınması”, Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi.
- Çılgın C., Ünal C., Alıcı S., Akkol E., Gökşen Y., (2020), “Metin Sınıflandırmada Yapay Sinir Ağları ile Bitcoin Fiyatları ve Sosyal Medyadaki Beklentilerin Analizi”, Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Uygulamalı Bilimler Dergisi, 4(1), 106-126.
- Droste, A., Rottger J., (2007), “Crash Performance Increase with Structural BETAFOAM”, Dow Automotive, 6th LS-DYNA Anwenderforum, Frankenthal.

Gardner G. C., O’Leary M. E., Hansen S., Sun J. Q., (2003), “Neural networks for prediction of acoustical properties of polyurethane foams”, *Applied Acoustics*, 64, 229-242.

Gürkan D, (2017), “Köpük Enjeksiyon Kalıplama ile Elde Edilen Polimer Kompozit Köpüklerin Özelliklerinin Geliştirilmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi.

Hacıbeyoğlu M., (2006), “Çoklu Etmen Mimarisi ve Takviyeli Öğrenme”, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi.

İnik Ö., Ülker E., (2017), "Derin Öğrenme ve Görüntü Analizinde Kullanılan Derin Öğrenme Modelleri". *Gaziosmanpaşa Bilimsel Araştırma Dergisi* 6: 85-104.

Jeong Y., Choi H., Kim K., Choi G., Kang J., Yang K., (2009), “A Study on the Thermal Conductivity of Resilient Materials”, *Thermochimica Acta*, 490, 47-50.

Jin, Fan-Long, et al., (2019), "Recent trends of foaming in polymer processing: A review." *Polymers* 11.6: 953.

John M. Holt, (1996), “Structural Alloys Handbook”, 1996 edition, CINDAS/Purdue University.

Karger-Kocsis, J., & Bárány, T. (2019), “Polypropylene handbook”, Vol. 43, Springer International Publishing: Cham.

Küçük E. B., (2018), “Development of Expanded Thermoplastic Polyurethane(ETPU) Bead Foams: Dependency of the Foam Structure on TPU’s Hard Segment Content”, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi.

Lee E. K., (2010), “Novel Manufacturing Process for Polymer Bead Foams”, Doktora Tezi, University of Toronto.

Lee , S. T. (Ed.), (2017), “Polymeric foams: Innovations in processes, technologies, and products”, CRC Press.

Motron D., Reyes A., Clausen Arild., Hopperstad O. S., (2020), “Mechanical response of low density expanded polypropylene foams in compression and tension at different loading rates and temperatures”, *Materials Today Communications*, 23, 100917.

Nemeth P., Ladinig T. B., Ferenczi B., (2016), “Use of Artificial Neural Networks in the Production Control of Small Batch Production”, 5th International Conference on Transportation and Traffic Engineering, 237-239.

Öztemel E., (2003), “Yapay Sinir Ağları”, Papatya Yayıncılık, İstanbul.

Patel A., Farooqui M. K., (2010), “Processing and Characterization of Autoclave-based EPP Beads”, Department of Mechanical and Industrial Engineering, University of Toronto, Canada.

Qingchun Li, Lijun Li, Xiaojie Si & Wang Rongji, (2015), “Modeling the Effect of Injection Molding Process Parameters on Warpage Using Neural Network Theory”, *Journal of Macromolecular Science, Part B*, 54:9, 1066-1080.

Raps D., Hossieny N., Park C. B., Altstädt, (2015), “Past and present developments in polymer bead foams and bead foaming technology”, *Polymer*, 56, 5-19.

Reid J.D., Faller R., Holloway J., Rohde J. and Sicking D., (2003), “New Energy Absorbing High-Speed Safety Barrier”, *Transportation Research Record* 1851, National Research Council, 53-64.

Rémy Bouix, Philippe Viot, Jean-Luc Lataillade, (2009), “Polypropylene foam behaviour under dynamic loadings: Strain rate, density and microstructure effects”, *International Journal of Impact Engineering*, 36, 329-342.

Sopher S. R., (2003), “Advanced Processing Techniques for Expanded Polypropylene Foam”, 2003-01-1130, 2003 SEA Technical Paper Series, USA.

Sopher S., Granthen G., (2011), "Material and Design Innovation Techniques for Expanded Polypropylene (EPP) Products Used in Automotive Interior Applications," *SAE International Journal of Material Manufacturing*, 4(1), 440-448.

Şeker A., Diri B., Balık H. H., (2017), “Derin öğrenme yöntemleri ve uygulamaları hakkında bir inceleme”, Gazi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 3(3), 47-64.

Tekin B. H., (2019), “Döviz Kuru Tahmininde Yapay Sinir Ağları ve Çoklu Doğrusal Regresyon Analizi Performans Karşılaştırması”, Yüksek Lisans Tezi, Sivas Cumhuriyet Üniversitesi.

Turaç A., (2020), “Yapay Sinir Ağları ile Tahminleme: Türkiye’nin İhracatının Tahmini Üzerine Bir Uygulama”, Yüksek Lisans Tezi, Gebze Teknik Üniversitesi.

Web 1, (2020), <https://www.arpro.com/contentassets/d52c08e68e0b413db75b8b580432735a/typical-physical-properties-of-arpro-black-and-on-site-expansion-v07-2.pdf>, (Erişim tarihi: 25.10.2020)

Web 2, (2020), <https://www.kurtzsa.com/moulding-machines/products/particle-foam-machines/shape-moulding-machines/produkt-details/kurtz-wave-foamer-1.html>, (Erişim Tarihi: 31.10.2020)

Yaraş N., (2020), “Vehicle Type Classification With Deep Learning”, Yüksek Lisans Tezi, İzmir Institute of Technology University.

Yüksel R. (2014), “Altın Fiyatlarının Yapay Sinir Ağları ile Tahmini ve Bir Uygulama”, Yüksek Lisans Tezi, Dumlupınar Üniversitesi.

Zhai W., Kim Y., Jung D. W., Park C. B., (2011), “Steam-Chest Molding of Expanded Polypropylene Foams. 2. Mechanism of Interbead Bonding”, Industrial & Engineering Chemistry Research, 50, 5523-5531.

ÖZGEÇMİŞ

Onat Kalafat, 1994 yılında Bartın’da doğdu. Lise öğretimini Bartın Davut Fırıncioğlu Lisesi’nde 2012’de tamamladı. 2016 yılında ise Kocaeli Üniversite’si Metalurji ve Malzeme Mühendisliği bölümünden mezun oldu. 2017 yılından beri Atermit Sanayi ve Ticaret A.Ş. şirketinde proje ve tasarım uzmanı olarak çalışmaktadır. 2018 yılında Gebze Teknik Üniversite’sinde İşletme anabilim dalında yüksek lisans eğitimine başladı.

