



T.C.
ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

PLASTİK ENJEKSİYON SÜRECİ OPTİMİZASYONUNDA
YAPAY ZEKA TEKNİKLERİNİN KULLANIMI

Ahmet AKYÜREK

YÜKSEK LİSANS TEZİ
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

BURSA 2009



T.C.
ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

PLASTİK ENJEKSİYON SÜRECİ OPTİMİZASYONUNDA
YAPAY ZEKA TEKNİKLERİNİN KULLANIMI

Ahmet AKYÜREK

Doç. Dr. Nursel ÖZTÜRK
(Danışman)

YÜKSEK LİSANS TEZİ
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

BURSA 2009

T.C.
ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

PLASTİK ENJEKSİYON SÜRECİ OPTİMİZASYONUNDA
YAPAY ZEKA TEKNİKLERİNİN KULLANIMI

Ahmet AKYÜREK

YÜKSEK LİSANS TEZİ
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Bu Tez 10/02/2009 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği/oy çokluğu ile
kabul edilmiştir.

Doç. Dr. Nursel ÖZTÜRK
(Danışman)

Prof. Dr. Erdal EMEL

Pof. Dr. Ali BAYRAM

ÖZET

Plastik ürünlerin imalatında çok değişik yöntemler kullanılmakla birlikte en yaygın yöntem enjeksiyonla kalıplama yöntemidir. Plastik enjeksiyon yöntemi seri üretime oldukça uygun olup genellikle termoplastiklere uygulanır. Bu çalışmanın konusu olan plastik enjeksiyon yöntemine bir seferde birden fazla çıkarılması istenen karmaşık ürünler için, malzeme tasarrufunu, çevrim süresinin azaltılmasını, kalıp ömrünün artırılmasını sağlamak amacıyla başvurulmaktadır.

Her geçen gün gelişen teknoloji ve yazılımlar yardımıyla hızlı, güvenilir ve kaliteli üretim yapmak, başarılı olmak adına önemlidir. Plastikler için en yaygın üretim şekli olan plastik enjeksiyon yöntemi için de bu geçerlidir. Hız ve kaliteyi yakalamak için kontrolden tasarıma, tasarımdan üretime, üretimden analize her aşamada bilgisayar kullanılarak üretim süresi ve maliyeti minimuma indirgenebilir.

Bu çalışma, önerilen yeni yaklaşımla plastik enjeksiyon yönteminde en önemli süreçlerden biri olan yeni ürün devreye alma sürecini kısaltabilmek amacıyla yapılmıştır. Tez çalışmasında, yeni ürün devreye alma sürecinin kısaltılabilmesi için yapay sinir ağları (YSA) yöntemi kullanılarak hatalı ürün tespiti ve uzman sistem (US) kullanılarak parçadaki hatanın önlenmesi üzerine odaklanılmıştır. Oluşturulan programlar farklı makinelerdeki hatalı ürünleri tespit edebilmek ve problemlere çözüm bulabilmek için esnek olarak geliştirilmiştir. Matlab 6.5 ve C++ kullanılmıştır.

Gerçek teknolojik süreçler çok değişkenli ve karmaşık olmalarının yanı sıra genellikle doğrusal değildirler. Ayrıca gürültü ve çevresel etkenler nedeniyle süreç değişkenleri zamana göre değişmektedir. Klasik süreç denetim yöntemleri bu tür sistemlerin denetiminde yetersiz kalabilmektedir. Bu yetersizliğe cevap olarak, bu tür süreçlerin denetiminde yapay sinir ağlarından yararlanılması literatürde sıkça karşılaşılan bir yöntemdir.

Yapay sinir ağı modelleri, gerçek kullanıcı kodlarının kullanılmasına ve sunulan modellerin girdilerini oluşturan donanım ve yazılım parametreleri arasındaki etkileşimleri izlemeye olanak verdiği için, karşılaştırmalı değerlendirmelerden daha sağlıklı ve detaylı sonuçlar vermektedir. Modeller, gerçeklenmelerinin kolaylığı ve modellerin oluşturulması sırasında birtakım varsayımlara ihtiyaç bırakmaması açısından, simülasyon ve analitik yöntemlere de alternatif oluşturmaktadır.

Birinci bölümde teze giriş yapılmaktadır. Tezin ikinci bölümünde plastiklere kısaca değinilmiş, plastik enjeksiyon tezgahı ve prosesi hakkında bilgiler verilmiştir. İkinci bölüm ayrıca yapay sinir ağlarını ve uzman sistemleri de içermektedir. İlk kısımda yapay sinir ağları ve uzman sistemlerin tanımı, tarihçesi, faydaları ve uygulama alanları açıklanarak, geliştirilen ilk örneklerine ve değişik alanlardaki kullanımlarına yer verilmiştir. Üçüncü bölümde tezde kullanılan materyal ve metot anlatılmıştır. Dördüncü ve beşinci bölümde ise tezden elde edilen sonuçlara değinilmiştir. Geliştirilen yazılımların görüntüleri verilmiştir. Ayrıca geliştirilebilecek daha sonraki sinirsel ağlar ve uzman sistemler üzerine yorumlarda bulunulmuştur. Tezin sonunda eğitim seti, doğrulama seti ve yapılan deneyleri içeren Ekler kısmı bulunmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Plastik Enjeksiyon Yöntemi, Yeni Ürün Devreye Alma Süreci, Kalite Problemleri, Yapay Sinir Ağları, Uzman Sistemler.

ABSTRACT

Although there are several methods in the manufacture of plastic products, injection molding is the most widespread method. Plastic injection method is suitable for mass production and is generally applied for thermoplastics. Plastic injection method, which is the subject of this study, is generally useful for thermoplastics in the production of complex shaped parts, to ensure reduction of cycle time and to ensure the enhancement of mold life.

In recent days advances in manufacturing and software technology enable to make fast, accurate and high quality production. It is the same for plastic injection which is the one of the most common and well known manufacturing process for plastic materials. For getting high quality and fast manufacturing rates it is important to use computer in all phase of production such as design, quality, manufacture and analysis. Moreover production time and cost can be reduced with the usage of computer.

The objective of this study is to determine the effects on the quality of process parameters of the plastic parts that produce by using injection molding. In this thesis research, for minimization of First Part Approval process, faulty product determination with artificial neural network (ANN) and fault elimination with expert system (ES) is presented. The programs are flexible. So, the programs can be used on different machines to find faulty product. Matlab 6.5 and C++ are used to develop software in this work.

Technological processes are multivariable and alongside their complexity they are nonlinear. Process variables may be time varying because of the environmental disturbances and noise. Classical control algorithms may not be adequate to control such processes. As a remedy, artificial neural networks have frequently appeared in literature to control such processes.

This thesis investigates the possibility of predicting performance of real applications by using artificial neural network models. Neural networks can learn to approximate any function and behave like associative memories by using just example data that is representative of the desired task. The models presented here are aimed to be simple and usable in general cases.

First chapter is the introduction into the study. In second chapter, plastic materials are summarized briefly and some informations are given about plastic injection machine and process. Second chapter also includes the artificial neural networks and expert systems. At the beginning, the definition, history, advantages and application fields of Artificial Neural Networks and Expert Systems are explained and the early examples and using the different fields are given. Third chapter explains materials and methods used in the study. Fourth chapter and Final (Fifth) chapter, conclusion chapter gives summary and discussion about the study. Comments on further studies are presented in the final chapter. At the end of the study, attachments included training set and validation set and experiment data are given.

Keywords: Plastic Injection Method, First Part Approval Process, Quality Problems, Artificial Neural Networks, Expert Systems.

İÇİNDEKİLER

	<u>SAYFA</u>
ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
İÇİNDEKİLER.....	iii
SİMGELER DİZİNİ.....	vi
KISALTMALAR.....	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vii
TABLolar DİZİNİ.....	ix
 1. GİRİŞ.....	 1
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI.....	4
2.1. Plastikler.....	4
2.1.1. Termoset Malzemeler.....	5
2.1.2. Termoplastik Malzemeler.....	5
2.2. Plastik Enjeksiyon Teknolojisi.....	7
2.3. Plastik Enjeksiyon Süreci.....	9
2.3.1. Plastik Enjeksiyon Makinesi.....	9
2.3.2. Kalıp.....	10
2.3.3. Plastik Enjeksiyon İşlemi.....	11
2.4. Enjeksiyon İşleminin Elemanları.....	14
2.4.1. Enjeksiyon Ünitesi.....	14
2.4.2. Helezon (Vida).....	14
2.4.3. Meme.....	16
2.4.4. Ocak Isıtma Sistemleri.....	17
2.4.5. Mengene Ünitesi.....	18
2.4.6 Makine Kontrol Sistemi.....	20
2.5. Enjeksiyon Parametreleri.....	21
2.5.1. Sıcaklık Ayarı.....	21
2.5.2. Enjeksiyon Hızı Ayarı.....	22
2.5.3. Enjeksiyon Basıncı.....	23

2.5.4. Ütöleme Basıncı (Arka Basıncı).....	24
2.5.5. Tutma Basıncı.....	24
2.5.6. Soğuma Zamanı.....	25
2.5.7. Enjeksiyon Süresi.....	25
2.5.8. Kalıp Sıcaklığı.....	26
2.5.9. Eriyik Sıcaklığı.....	27
2.5.10. Et Kalınlığı.....	28
2.6. Yeni Ürün Devreye Almaya Süreci.....	29
2.7. Plastik Enjeksiyon Sürecinde Kalite Problemi.....	30
2.8. Yapay Zeka.....	31
2.9. Yapay Sinir Ağları.....	34
2.9.1 Yapay Sinir Ağlarının Tarihçesi.....	36
2.9.2. Temel Yapay Sinir Ağı Kavramları.....	39
2.9.3. Biyolojik Altyapı (Biyolojik Sinir Ağları).....	40
2.9.4. Yapay Sinir Ağı Nöron Modelleri.....	42
2.9.5. Yapay Sinir ağlarının Yapısı.....	44
2.9.6. Yapay Sinir Ağlarının Çalışma Sistemi.....	49
2.9.7. Yapay Sinir Ağlarında Eğitim, Doğrulama ve Öğrenme.....	50
2.9.8. Yapay Sinir Ağlarının Sınıflandırılması.....	53
2.9.9. Yapay Sinir Ağlarının Avantaj ve Dezavantajları.....	56
2.10. Uzman Sistemler.....	58
2.10.1. Uzman Sistemlerin Yapısı.....	59
2.10.2. Uzman Sistemlerin Faydaları.....	62
2.10.3. Uzman Sistemlerin Sınırları.....	63
2.10.4. Uzman Sistemlerin En Yaygın Uygulama Alanları.....	64
2.11. Plastik Enjeksiyon Sürecinde Yapay Zeka Tekniklerinin Kullanımı.....	65
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	74
3.1. Yapay Sinir Ağları Yöntemi İle Plastik Enjeksiyon Sürecinde Uygun Olmayan (Kalitesiz) Parçaların Tespiti.....	74
3.1.1. Yapay Sinir Ağının Tasarımı.....	75
3.1.2. Sinir Ağının Eğitimi ve Eğitim Parametrelerinin Belirlenmesi.....	80
3.1.3. Yapay Sinir Ağının Test Edilmesi.....	81

3.2. Uzman Sistem Yöntemi İle Uygun Olmayan (Kalitesiz) Parçadaki Kalite Hatalarının Giderilmesi.....	82
3.2.1. Termoplastik Ürünlerin Yeni Ürün Devreye Alma Sürecinde Karşılaşılan Kalite Problemleri.....	84
4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA.....	96
4.1. Uygun Olmayan Parçaların Tespiti İçin Ağ Mekanizmasının Seçimi.....	96
4.2. Kalite Problemi Bulunan Parçalardaki Kalite Hatalarının Giderilmesi İçin Oluşturulan Uzman Sistem.....	99
4.3. Uygun Olmayan (Kalitesiz) Ürünlerin Tespiti ve Kalite Hatalarının Giderilmesi Çalışması İçin Örnek Bir Uygulama.....	102
5. SONUÇ.....	113
KAYNAKLAR.....	116
EKLER.....	122
TEŞEKKÜR.....	150
ÖZGEÇMİŞ.....	151

SİMGELER DİZİNİ

e_k	-	k. çıkış katmanında oluşan hata
φ	-	Aktivasyon fonksiyonu
h_k	-	Hedeflenen çıktı
μ	-	Momentum
η	-	Öğrenme oranı
o_k	-	Hesaplanan çıktı
θ_k	-	Eşik değeri
U_k	-	k nöronu
W_{jk}	-	Ağırlık
X_j	-	j. girdi
y_k	-	k. çıktı
ΔW_{kj}	-	Ağırlıkların değişim miktarı

KISALTMALAR

AYPE	-	Alçak Yoğunluklu Polietilen
BM	-	Bulanık Mantık
CBR	-	Durum Tabanlı Muhakeme (Case Based Reasoning)
FAP	-	Yeni Ürün Devreye Alma Süreci (First Approval Process)
GA	-	Genetik Algoritma (Genetic Algorithm)
MP	-	Matematiksel Programlama
MSE	-	Ortalama Karesel Hata (Mean Square Error)
PE	-	Polietilen
PP	-	Polipropilen
PVC	-	Polivinilklorür
US	-	Uzman Sistem
YSA	-	Yapay Sinir Ağı
YYPE	-	Yüksek Yoğunluklu Polietilen
YZ	-	Yapay Zeka

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>SAYFA</u>
Şekil 2.1: Plastik Enjeksiyon Makinesinin Genel Görünüşü.....	9
Şekil 2.2: Kalıbın Bileşenleri.....	11
Şekil 2.3: Plastik Enjeksiyon İşlemi.....	12
Şekil 2.4: Bir Enjeksiyon Prosesi.....	14
Şekil 2.5: Helezonun Yapısı.....	15
Şekil 2.6: Tipik Bir Kontrol Ünitesi.....	20
Şekil 2.7: Sıcaklık Ayarı Kontrol Ünitesi Görüntüsü.....	22
Şekil 2.8: Enjeksiyon Hızı Ayarı Kontrol Ünitesi Görüntüsü.....	23
Şekil 2.9: Biyolojik Sinir Hücresinin Yapısı.....	41
Şekil 2.10: Yapay Sinir Hücresinin Yapısı.....	43
Şekil 2.11: Yapay Sinir Ağı Nöron Modeli.....	44
Şekil 2.12: Tipik 3 Katmanlı İleri Beslemeli YSA Mimarisi.....	46
Şekil 2.13: Doğrusal Aktivasyon Fonksiyonu'nun Şekilsel Gösterimi.....	47
Şekil 2.14: Adım Fonksiyonu'nun Şekilsel Gösterimi.....	48
Şekil 2.15: Sigmoid Aktivasyon Fonksiyonu'nun Şekilsel Gösterimi.....	48
Şekil 2.16: Hiperbolik Tanjant Fonksiyonu'nun Şekilsel Gösterimi.....	49
Şekil 2.17: Verileri Ezberleyen ve İyi Genellemeye Ulaşan Ağlardaki Hata Eğrileri...	51
Şekil 2.18: Bir Yapay Sinir Ağı'nın Eğitilmesi İşlemi.....	54
Şekil 2.19: Bir Uzman Sistemin Genel Yapısı.....	60
Şekil 3.1: Uygun Olmayan Parça Tespiti Çalışması İçin Oluşturulan YSA Yapısı.....	77
Şekil 3.2: Parlamalar.....	86
Şekil 3.3: Tam Doldurulmamış Parçalar.....	90
Şekil 3.4: Çapaklı Parçalar.....	90
Şekil 3.5: Hava Kabarcıklarına Örnekler.....	91
Şekil 3.6: İtici İzleri.....	93
Şekil 4.1: Uygun Olmayan Parçaların Tespiti Çalışması İçin Deneyler Sonucu Elde Edilen Yapay Sinir Ağı Yapısı.....	97
Şekil 4.2: Eğitim ve Doğrulama Kümesi Hataları Değişim Grafiği.....	98
Şekil 4.3: Uygun Olmayan Parçaların Tespiti İçin Yazılan MATLAB Bildirimi.....	99

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>SAYFA</u>
Şekil 4.4: Uzman Sistem Kullanıcı Ara yüzü.....	101
Şekil 4.5: Uzman Sistem Sonuç Ekranı.....	102
Şekil 4.6: L84 Motor Üst Kaplama Ön Parçasının Görünümü.....	103
Şekil 4.7: Örnek Parça İçin Elde Edilen MATLAB Ekranı (1).....	105
Şekil 4.8: Kabuklanma Hatası İçin Uzman Sistem Kullanıcı Ara yüzü.....	106
Şekil 4.9: Kabuklanma Hatası İçin Uzman Sistem Sonuç Ekranı.....	107
Şekil 4.10: Parlaklık Hatası İçin Uzman Sistem Kullanıcı Ara yüzü.....	107
Şekil 4.11: Parlaklık Hatası İçin Uzman Sistem Sonuç Ekranı.....	108
Şekil 4.12: Gerilim Çatlaması Hatası İçin Uzman Sistem Kullanıcı Ara yüzü.....	108
Şekil 4.13: Gerilim Çatlaması Hatası İçin Uzman Sistem Sonuç Ekranı.....	109
Şekil 4.14: Örnek Parça İçin Elde Edilen MATLAB Ekranı (2).....	111
Şekil 4.15: Yeni Ürün Devreye Alma Sürecinin Mevcut Akışı ve Önerilen Yaklaşımda Ortaya Çıkacak Yeni Akış.....	112

TABLÖLAR DİZİNİ

	<u>SAYFA</u>
Tablo 2.1: Çeşitli Malzemelerin Enjeksiyon ve Kalıp Sıcaklıkları.....	27
Tablo 2.2: Biyolojik Sinir Ağı ve Yapay Sinir Ağının Karşılaştırılması.....	43
Tablo 3.1: Plastik Enjeksiyon İşleminde Sık Görülen Sorunlar ve Çözümleri.....	83
Tablo 4.1: Hatalı Ürün Tespiti Uygulamasında Örnek Ürüne Ait Değerler (1).....	104
Tablo 4.2: Ağdan Elde Edilen Çıktı Değerleri ve Uygunluk Durumları (1).....	104
Tablo 4.3: Hatalı Ürün Tespiti Uygulamasında Örnek Ürüne Ait Değerler (2).....	110
Tablo 4.4: Ağdan Elde Edilen Çıktı Değerleri ve Uygunluk Durumları (2).....	111

1. GİRİŞ

Plastik malzeme konusundaki gelişmeler doğal olarak plastik enjeksiyon teknolojisinin de gelişmesine yol açmış ve plastiği otomotiv başta olmak üzere çeşitli endüstrilerde üreticilerin vazgeçilmez malzemesi haline getirmiştir. Otomobiller üzerindeki plastik malzeme oranının artmasıyla üreticiler ve tedarikçiler plastik üretim prosesleri üzerine yoğunlaşmıştır. Plastiklerin islenmesinde değişik üretim yöntemleri kullanılmaktadır. Plastik enjeksiyon yöntemi plastik ürün üretiminde kullanılan en önemli proseslerden biridir. Enjeksiyon yöntemi, çok hassas parçalardan tek kullanımlık tüketim eşyalarına, evlerde sık kullanılan elektrikli eşyalardan otomobil parçalarına kadar pek çok plastik parçanın üretiminde kullanılan hızlı bir prosestir.

Plastik enjeksiyon, termoplastik malzemenin belirli bir ısı altında ve sürtünme vasıtasıyla akışkan hale getirilip, basınç uygulanarak kalıp içinde şekillendirilmesidir. Hammaddenin tek bir işlemle istenen şekilde kalıplanabilmesini sağlaması ve birçok durumda imal edilen ürün için son işlem uygulamaları gerektirmemesi bu metodu seri ürün imali için oldukça uygun bir hale getirmektedir ve çok sayıda parçanın aynı anda üretilmesine izin vermektedir.

Plastik enjeksiyon yöntemi ile ilgili olarak karşılaşılan en önemli problemlerden biri yeni ürün devreye alma sürecinin oldukça uzun olması ve tamamen ilgili operatör veya formenin bilgi, tecrübe ve yeteneğine göre değişmesidir. Yani bu süreç direkt olarak insana bağımlı bir süreçtir. Yeni ürün devreye alma sürecinin uzunluğu, işgücü, makine ve malzeme maliyetlerinden dolayı ciddi bir maliyet kalemi olarak toplam üretim maliyetlerini etkilemektedir. Plastik enjeksiyon yöntemi ile üretim yapan bir çok işletme, bu süreci en kısa hale getirmek ve katılan maliyetleri en düşük seviyeye çekmek amacıyla, ürünün makinedeki ilk üretimlerini tecrübeli operatörler kullanarak gerçekleştirmek istemektedirler. Operatörün makineye girdiği ilgili parametre değerleri, uygun parça üretimi için gerekli değerlere ne kadar yakın olursa bu süreç de o kadar kısacaktır. Optimum değerlere, makineden ürün alınmaya başladıktan sonra deneme yanılma yolu kullanılarak ulaşılmaktadır.

Gerçekleştirilen tez çalışmasında, termoplastik malzemelerin plastik enjeksiyon yöntemi ile üretilmesinde yeni ürün devreye alma sürecinin kısaltılabilmesi için, makineye ve makineden elde edilen ürünlere ait olan bazı parametreler kullanılarak ürünün seçilen bazı göstergeleri kontrol edilmekte ve kullanıma uygun olmayan parça elde edildiğinde, bir sonraki üretimde daha iyi parça elde edilebilmesi için bazı aksiyonlar oluşturulmaktadır. Tez çalışmasında yapay zeka tekniklerinden yapay sinir ağı ve uzman sistem kullanılmıştır.

Yapay zeka tekniklerini kullanmak hızlı, kaliteli ve verimli üretim yapmak isteyen işletmeler için gerekli hale gelmiştir. Özellikle bilgisayar bilimlerinde, yazılım ve donanım alanındaki hızlı gelişmeler, insan gibi düşünen ve davranan sistemlerin ortaya çıkmasını sağlamıştır. 1950'li yıllardan beri bu alanda çalışmalar sürdürülmektedir. Yapay zeka olarak isimlendirilen bu alan, insanın düşünme yapısını anlamak ve bunun benzerini ortaya çıkaracak bilgisayar programlarını geliştirmeye çalışmak olarak tanımlanır. Yani programlanmış bir bilgisayarın insan gibi düşünme ve davranma girişimidir.

Yapay Zeka tekniklerinden olan Yapay Sinir Ağları (YSA) günümüzde oldukça sık kullanılmaktadır. YSA insan beyninin özelliklerinden olan öğrenme yolu ile yeni bilgiler türetebilme, yeni bilgiler oluşturabilme ve keşfedebilme gibi yetenekleri herhangi bir yardım almadan otomatik olarak gerçekleştirmek amacı ile geliştirilen bilgisayar sistemleridir. Ayrıca doğrusal olmayan sistem davranışlarını da ifade etme yeteneğine sahiptirler. Yapay sinir ağları, normal dağılım, doğrusallık ve değişkenlerin bağımsızlığı gibi katı varsayımlarda bulunan geleneksel yöntemlere mükemmel bir alternatif oluşturur. Yapay sinir ağları, başka yollarla açıklanması zor olabilecek çok çeşitli ilişkiyi yakalayabildiği için olayların modellenmesine hızlı ve nispeten kolay bir olanak sağlar. Bu nedenle, Yapay Sinir Ağlarının, programlanması çok zor veya mümkün olmayan olaylar için geliştirilmiş adaptif bilgi işleme ile ilgilenen bir bilgisayar bilim dalı olduğu söylenebilir.

Yapılan istatistiksel çalışmalar sonucunda yapay zeka tekniklerinden biri olan uzman sistemlerin kullanılmasıyla, üretimin arttığı, kalitenin yükseldiği ve en önemlisi

de maliyetin azaldığı görülmüştür. Ayrıca uzman sistemlerin, birçok farklı alandaki zor seviyede sayılabilecek problemleri başarılı bir şekilde çözüme kavuşturması, dikkat çekmelerindeki en önemli unsuru oluşturmuştur. Uzman sistemler işletmelerde, bakım ve arıza teşhisinin yanı sıra proses planlama, takım ve tertibat seçimi, kalite kontrol, tasarım, iş takibi, sipariş gibi daha bir çok amaç için kullanılabilir.

Bu çalışmada öncelikle, Plastikler ve Plastik Enjeksiyon prosesi ile ilgili genel bilgiler verilmiş, uygulamanın yapılacağı yöntemlere değinilmiş ve bu konularla ilgili literatür taramasına yer verilmiştir. Uygulama aşamasında ise YSA kullanılarak yeni ürün devreye alma sürecinde hatalı ürünlerin tespiti ve US kullanılarak kalite problemlerinin giderilmesi üzerine çalışılmıştır. YSA uygulamasında sistemin girdilerini, makine ve ürünün bazı parametreleri, çıktısını ise elde edilen ürünlerin kaliteli olup olmadığını gösteren (her bir özellik için 0–1 değerleri) bilgi oluşturmaktadır. US uygulamasında ise konu ile ilgili uzman bilgileri toplanmış ve her bir hata tipi için yapılması gereken aksiyonlar oluşturulmuştur.

Çalışmada, Yapay Zeka tekniklerinden Yapay Sinir Ağları (YSA) ve Uzman Sistem (US) kullanılmıştır. Oluşturulan çok katmanlı sinirsel ağ için makine ve ürüne ait olan 9 adet parametre girdi değişkenleri olarak, üründen elde edilen 8 adet gösterge de çıktı değişkenleri olarak tespit edilmiştir. Ağ, bir otomotiv yan sanayi firmasından toplanan 100 adet eğitim ve 60 adet doğrulama verisiyle eğitilmiş ve test edilmiştir. Oluşturulan ağ ile ilgili parametrelerin ne olması gerektiğine karar verebilmek için (gizli katman sayısı, her bir katmandaki nöron sayısı, öğrenme oranı ve momentum) 175 adet deneme yapılmıştır ve birinci gizli katmanında 6, ikinci gizli katmanında 5 nöron bulunan iki gizli katmanlı ağ yapısına ulaşılmıştır. Ağ yapısının tespit edilmesi çalışmasında hedef hata değeri 0,001 olarak öngörülmüştür. Elde edilen ağa ilgili girdiler girildikten sonra, kalite problemleri parçaya ulaşılması durumunda, bunun giderilebilmesi için belirlenen 18 farklı hata tipiyle ilgili aksiyonlar öneren bir uzman sistem tasarlanmıştır. Uzman sistem kullanıcıya karşılaşılan problemle ilgili bazı sorular sormakta ve aldığı cevaba göre ya aksiyon önermekte ya da yeni sorular sormaktadır. Bir otomotiv yan sanayi firmasında uygulanan bu yöntemin yeni ürün devreye alma sürecini oldukça kısaltacağı düşünülmektedir.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

2.1. Plastikler

"Plastik" terimi plastik malzemelerden yapılan eşyalar kadar çok kullanılan bir terimdir. Ortalama bir günün plastikten yapılmış en az bir eşyaya rastlanmadan geçirilebileceğini söylemek güçtür. Bütün malzemeler arasında plastik malzemeler, son on yılda en büyük üretim ve tüketim artışını göstermiştir. Devamlı olarak geliştirilen yeni plastik malzemeler, giderek düzeltilen özellikleri ile yeni kullanma alanlarına kaymaktadır. Bu malzemeler bir ölçüde günlük yaşantıya girdiği için teknikle ilgilenmeyen kişiler dahi bu malzemenin olağan günlük tecrübelerinden plastiklerin özellikleri hakkında bazı bilgiler edinmiştir (Yurci, 1997).

Plastik malzemeler, çok çeşitli biçimlerde ve belirli amaçlar için çeşitli özelliklerde piyasaya sürülürler. Bazı plastikler boya, vernik, yapıştırıcı veya tutkal olarak kullanılır. Diğerleri ise, tüketici tarafından kullanılmak üzere sıvı levha, çubuk, boru, film, iplik, elyaf ve toz hal olan plastikler çeşitli işler üzerinde devamlı olarak uygulanmaktadır.

Plastik yıllarca sadece plastik olarak kendi halinde kullanılmış, fakat diğer malzemelerin yerine kullanılmak üzere düşünülmemiştir. Plastiklerin sadece çok kullanışlı, uygulanabilir ve pratik bir malzeme olduğu değil, aynı zamanda yerini başka hiçbir malzemenin alamayacağı bir madde olduğu tespit edilmiştir (Turaçlı, 2003).

Teknik deyimle bir plastik malzeme aşağıdaki özelliklere sahiptir (Gürbüz, 1998):

- Plastik sentetik bir malzemedir. Bu maddeyi insan genellikle doğadan bulmaz, laboratuarda elde eder. Doğada ham maddesi vardır, fakat insan bazı doğal elementleri sentez yapmak suretiyle plastiği meydana getirir.
- Genellikle plastikler organik bileşiklerdir. Organik bileşikler karbon ihtiva ederler. Bu bileşimlerin bünyesinde karbon atomları birbirine bağlıdır.
- Plastik malzeme bitmiş bir parça haline gelmeden önce akıcı veya şekillenme ve kalıplama yeteneğine sahip olmalıdır.

- Plastik malzeme polimer halinde bileşik bir maddedir. Polimer, molekül ağırlığı yüksek iki organik bileşiğin normal moleküllerinin sıcaklık ve basınç etkisi altında geniş ve değişik bir molekül özelliği göstermesidir.

Plastik malzemeler kimyasal bileşikler olarak moleküler yapıdadırlar. Molekülleri doymuştur. Atomları ise kimyasal bağlar ile soy gaz karakterine sahiptir. Bu nedenle birçok kimyasal maddeye karşı dayanıklıdırlar. Plastik malzemelerin değişik olan bağ ve yapı türü, fiziksel davranışlarının metalik malzemelere göre tamamen farklı olması sonucunu doğurur (Safoglu, 1990).

Geleneksel olarak plastik malzemeler, ısı karşısında gösterdikleri davranışa göre termoset ve termoplastik olarak iki ana gruba ayrılmaktadırlar.

2.1.1. Termoset Malzemeler

Termosetler ısıyla, katalizörle, UV ışımasıyla muamele edildiğinde, çapraz bağlı bir polimerik yapı meydana getirerek sertleşen ve artık tekrar ısıtıldığında yeniden yumuşamayan plastiklerdir. Termoset, epoksiler, melaminler, ure-formaldehit reçineleri, penolikler tipik örneklerdir. Termoset malzemeler sıcaklık ve basınç uygulamak suretiyle kullanılırlar. Malzeme kalıplandıktan sonra tekrar eski haline getirilemez. Çünkü kimyasal değişim malzemeye başka bir özellik kazandırır ve eski halinden tamamen farklıdır.

Termoset plastikler kimyasal değişime uğradığı zaman bir daha kalıplama amaçlarında kullanılamazlar. Mühendislik plastikleri yüksek çekme kuvveti, kırılganlığa, darbeye dayanıklı, eskimeye, kimyasallara ve sıcaklığa dirençli plastik grubudur (Turaçlı, 2003).

2.1.2. Termoplastik Malzemeler

Plastiklerin bugün dünyada en çok üretilen ve çok sayıda kullanım alanı olan türü termoplastiklerdir.

Termoplastikler, temel enerji (ısı) ve basınç altında kolaylıkla deforme olabilen ama plastik özelliklerini koruyan polimer yapıli malzemelerdir. Bu maddelere ısı ve basınç altında defalarca şekil vermek mümkündür (Örnek: AYPE, YYPE, PVC, PP) (Saleem ve ark., 2008).

Bu özellikleri nedeniyle termoplastikleri “recycling” (geri dönüşüm) yoluyla tekrar tekrar kullanmak mümkün olabilmektedir. Stiren polimerleri, PVC ve PE serisi polimerler, akrilik polimerler, selülozikler, naylon türleri, çeşitli floroplastikler tipik örneklerdir (Li ve Cheng, 2008).

Enjeksiyonla kalıplama işlemlerinde termoplastik malzemeler kullanılır. Termoplastikler yapı bakımından sıcaklık karşısında yumuşayıp akıcı hale gelirler ve soğutulduğu zaman sertleşmek suretiyle sadece fiziksel bir değişim gösterirler. Bu sebepten termoplastiklerin biçimlendirilmesinde enjeksiyonla kalıplama tercih edilir. (Chang ve ark., 2007).

Enjeksiyonla kalıplama, termoplastik malzemeler için geniş uygulama alanı olan çok etkin ve ekonomik metotlardan biridir. Bu metotla kalıplanan parçalar çok az veya hiç çapak yapmazlar. Böylece, zımparalama, eğeleme ve tamburlama gibi ikinci bir işleme gerek bırakmazlar. Termoset malzemelerin işlenmesine göre kıyaslanacak olunursa, kalıplama devresinin kısa oluşu nedeniyle çok seri üretim yapmak mümkün olur. Termoplastik malzemelerde artıklar, dağıtıcılar, yolluklar ve tamamı çıkmayan parçalar atılmaz, bunlar tekrar soğutulur ve tekrar kalıplanır (Kalima ve ark., 2007).

Bazı termoplastiklere örnekler aşağıda verilmiştir (Turaçlı, 2003):

- Selülozikler; Selüloz Asetat, Bütirat, Selüloz Propinat, Etil Selüloz
- Sitiren – Polisitiren; Lüstron, Stayron, Poliko
- A.B.S (Akrilonitril - Butadrin - Sitiren)
- Vinil Gurubu; Saran, Vinilit, A, Vinilit X, Dow P.V.C
- Akrillik; Akrilit, lüsit, pleksiglas, butapren.
- Naylon - Poliyamid
- Polietilen; Politen, Marleks.

- □ Polipropilen
- □ Polikarbonat; Leksan (Lexan), Merlon.
- Karbonflörür

2.2. Plastik Enjeksiyon Teknolojisi

Bilindiği gibi insanoğlu yaradılışından bu yana sürekli olarak gelişen arayışlarına paralel bir şekilde ihtiyaç duyduğu gereçlerin üretimi için yeni yeni malzemeler geliştirmiştir. Otomotiv, uçak sanayi, uzay araçları, tıp ve giderek insan vücudu gibi duyarlı her alanda plastik kullanılmaktadır. Plastiğin bu hızlı gelişiminin nedeni, PP, PVC, PE gibi ana maddelerin içine katılan özel katkılarla, kullanılacağı yere göre istenilen biçim verilerek üretilmesi, kolay şekil alması, her çeşit izolasyon gücünün yüksekliği, temizliğinin kolaylığı, defalarca kullanılabilmesi ve uzun ömürlü olmasından kaynaklanmaktadır. Bu özellikleriyle plastik, ekonomiye artı değer kazandırarak, kullanıcıların sorunlarını rahatlıkla çözümleyebilmektedir (Kılıç, 1993).

Plastik endüstrisindeki bu hızlı gelişmeler plastik işleme teknolojilerini de kapsamaktadır. Özellikle pek de yeni olmayan plastik enjeksiyon teknolojisinde büyük bir ilerleme sağlanmış, bu teknoloji en çok kullanılan işleme teknolojisi haline gelmiştir. Bu ilerleme sadece ürün imali ile sınırlı kalmamış, ürün tasarımından malzeme ve makine seçimine kadar her alanda kendini göstermiştir (Turaçlı, 2003).

Plastik malzemeleri biçimlendirmede basınçlı kalıplama, döner kalıplama, basınçta ısı ile biçimlendirme, şişirme ve enjeksiyon kalıplama gibi teknikler kullanılmaktadır. Püskürtmeli kalıplama ya da enjeksiyon kalıplama da denilen plastik enjeksiyon işlemi, plastik eşya üretiminde kullanılan ve kullanımı her geçen gün diğerlerine göre artan önemli bir metottur. Plastik enjeksiyon, termoplastik malzemenin belirli bir ısı altında ve sürtünme vasıtasıyla akışkan hale getirilip, basınç uygulanarak kalıp içinde şekillendirilmesidir. Hammaddenin tek bir işlemle istenen şekilde kalıplanabilmesini sağlaması ve birçok durumda imal edilen ürün için son işlem uygulamaları gerektirmemesi bu metodu seri ürün imali için oldukça uygun bir hale getirmektedir. (Keçe, 2006)

Plastik enjeksiyon işleminin önemli avantajlarından biri, bu metotla otomatize edilmiş üretim hatlarının bir tek basamağında bile çok karmaşık yapılara sahip ürün elde edilebilmesidir. Oyuncaklar, otomobil parçaları, ev eşyaları, çeşitli elektronik parçalar gibi günlük hayatta rastlanılan plastik ürünlerin birçoğu plastik enjeksiyon yöntemi ile üretilmektedirler. Plastik enjeksiyon yönteminin avantajları aşağıdaki gibi özetlenebilir (Akyüz, 2001):

1. Hızlı bir şekilde ve yüksek hacimlerde ürün imal edilebilir.
2. Otomasyona uygundur ve hemen hemen hiç son işlem gerektirmez.
3. Çokça değişik yüzey, renk ve şekillerde ürün imal edilebilir.
4. Seri üretim imkânı olmayan çok küçük parçaların dahi seri üretimi yapılabilir.
5. Malzeme kaybının çok az olması sağlanabilir.
6. Aynı makinede ve aynı kalıpta farklı malzemeler kullanılabilir.
7. Düşük toleranslarda çalışabilir.
8. Kalıba metal veya ametaller eklenerek enjeksiyon yapılabilir.
9. İmal edilen ürünlerin iyi mekanik özelliklere sahip olması sağlanabilir.

Plastik enjeksiyon yönteminin bazı dezavantajları da bulunmaktadır. Plastik enjeksiyon yönteminin bazı dezavantajları aşağıdaki gibi sıralanabilir (Akyüz 2001):

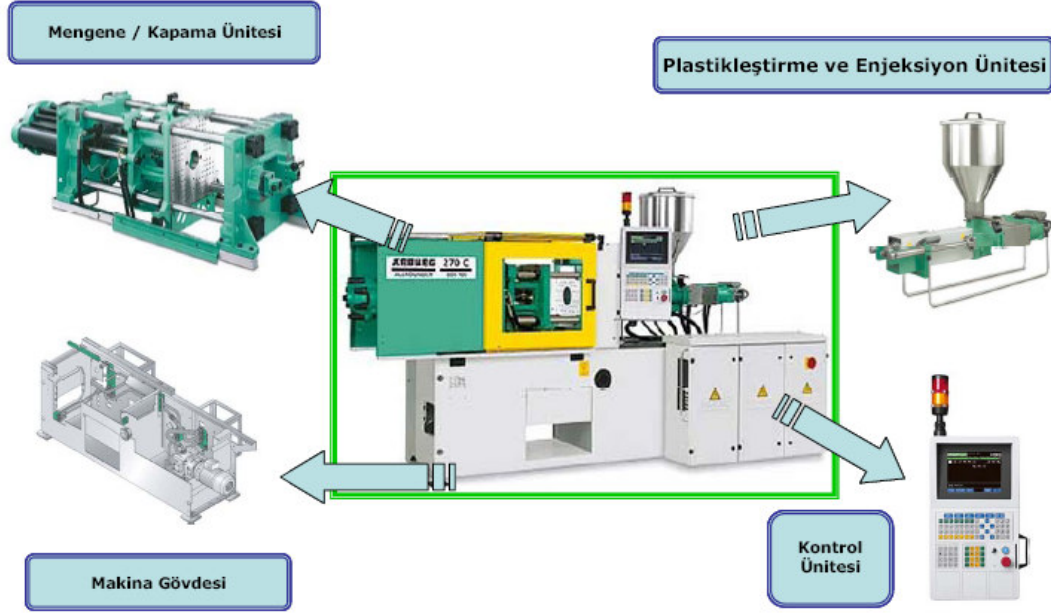
1. Sektördeki yoğun rekabetten dolayı kar marjı düşüktür.
2. Kalıp fiyatları pahalıdır.
3. Enjeksiyon makineleri ve yedek parçaları pahalıdır.
4. İyi derecede işlem kontrolü henüz tam anlamıyla sağlanamamıştır.
5. Yeni ürün devreye alma süreci uzundur.

2.3. Plastik Enjeksiyon Süreci

Plastik enjeksiyon sürecinde görev alan en önemli iki ekipman plastik enjeksiyon makinesi ve kalıptır.

2.3.1. Plastik Enjeksiyon Makinesi

Kullanılan enjeksiyon makinelerinin belli limitler dahilinde, farklı geometrilere sahip hemen hemen her tür eşya üretimi sağlayan farklı kalıplar kullanabilme özellikleri, bu makinelerin universal yani yaygın veya genel makineler olarak adlandırılmalarına sebep olmuştur. Şekil 2.1’de Plastik Enjeksiyon makinesinin genel görünüşü yer almaktadır.



Şekil 2.1: Plastik enjeksiyon makinesinin genel görünüşü (Turaçlı, 2003)

Bir enjeksiyon makinesinin temel işlevleri aşağıda belirtilmiştir:

- Plastik malzemenin sıcaklığını basınç altında akış sağlayabilecek dereceye çıkarmak
- Makinenin kapalı tuttuğu kalıba plastiğin itilip katılaşmasını sağlamak
- Kalıbı açıp ürünü çıkarmak

2.3.2. Kalıp

Enjeksiyon işleminin en önemli elemanlarından biri kalıptır; çünkü baskı kalıba yapılır. İki veya daha fazla parçadan oluşan kalıplar, makine ve üretilecek parça özelliklerine göre çok çeşitli tasarımlara, yapı ve özelliklere sahip olabilirler.

Makineye kolayca bağlanabilmesi gereken bir kalıp, gerektiğinde fazladan isteklere cevap verebilecek şekilde tasarlanabilir. Kalıbın makineye bağlanırken tam merkezlenmesi için, yani meme ucunun kalıp besleme burcunun merkezine tam denk gelebilmesi için yerleştirme halkası (kalıp flanşı) kullanılır (Şeker, 1999).

Kalıbın en önemli özelliklerinden birisi, içinde ürün haline gelen malzemenin en güvenli şekilde, hiç zarar görmeden dışarı çıkarılmasını sağlamaktır. Kalıbın temel özellikleri aşağıda özetlenmiştir (Keçe, 2006):

- Erimiş malzemenin kalıp boşlukları içinde rahatça akışını sağlayabilmelidir.
- Erimiş malzemeye istenen son şeklini verebilmelidir.
- Son şeklini almış malzemeyi soğutup ürün haline getirebilmelidir (çapraz örgülü malzemeleri ısıtabilmeli).
- Ürünü sağlıklı bir şekilde dışarı atabilmelidir.

Bir kalıp temel olarak dört bileşenden oluşur. Kalıp bileşenleri Şekil 2.2’de görülmektedir (Turaçlı, 2000).

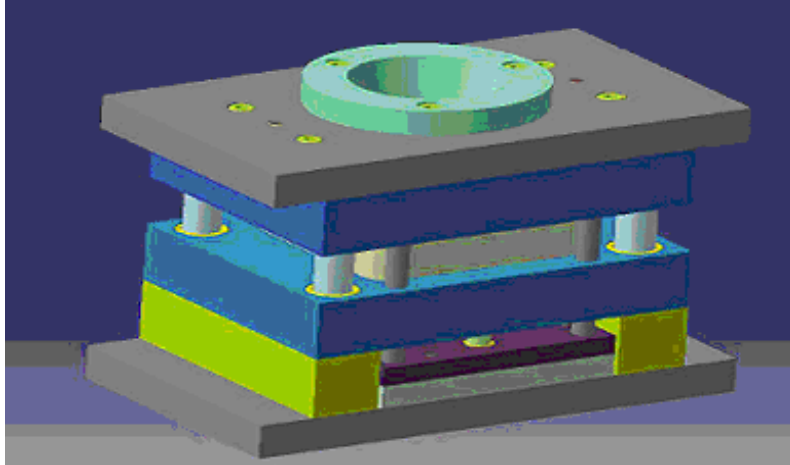
Yolluk sistemi: Yolluk sisteminin görevi, kalıba enjekte edilen eriyik malzemeyi kalıp boşluğuna veya boşluklarına dağıtmaktadır. Enjeksiyon süresince meme ucu kalıp yolluk burcuyla temas halinde olup buradan kalıba çok yüksek basınçlarda sıcak malzeme enjekte edilir.

Kalıp boşluğu (kalıp gözü): Kalıp boşluğu, içine enjekte edilen sıcak haldeki eriyik malzemeye son şeklini verir. Çıkıntılarla beraber kompleks şekiller oluşturan kalıplar sadece sabit parçalardan değil, mengene kapandığında malzemeye son şeklini veren boşluğu oluşturmak üzere, birbirine kenetlenen hareketli parçalardan da oluşabilir. Enjeksiyon tekniğiyle imal edilen bir ürünün özellikleri makineye ve çalışma şartlarına

bağlı olduğu kadar kalıp tasarımıyla da direkt ilgilidir. Kalıp boşluklarındaki ve yolluk sistemindeki akış işlemi moleküllerin uyumunu ve parçanın iç gerilmelerini etkiler.

Isı sistemi: Kalıp ısı kontrol sisteminin görevi kalıbı, dolayısıyla içindeki malı soğutarak (çapraz bağlı malzemeler, termosetler ve elastomerler için ısıtarak) dışarı çıkışını sağlamaktır. Bu ısı kontrol sistemi hem ürün kalitesini, hem de parça soğutma zamanını etkilediği için büyük önem arz etmektedir. Kalıp soğutma sisteminin bir diğer görevi, kalıp boşluğundaki sıcaklık dağılımını düzgün bir şekilde sağlamaktır. Homojen soğutma, kalıbı soğutmakla görevli akışkanın, kalıba girdiği ve kalıptan çıktığı noktalar arasında oluşan sıcaklık değişimlerini en aza indirmesi anlamına gelir. Soğutma kanallarının duvara olan uzaklıklarının düzensiz olması, kalıp duvarı sıcaklıklarının her yerde aynı olmamasına neden olmaktadır.

İtici sistemi: Herhangi bir kalıptan ürün elde edebilmek için kalıbın en az iki parçadan meydana gelmesi gerekir. Baskı yapıldıktan sonra kalıp bölme çizgisinden ayrılır ve ürün haline gelmiş malzeme ya elle alınır ya da bir itici sistemi tarafından kalıptan dışarı atılır.



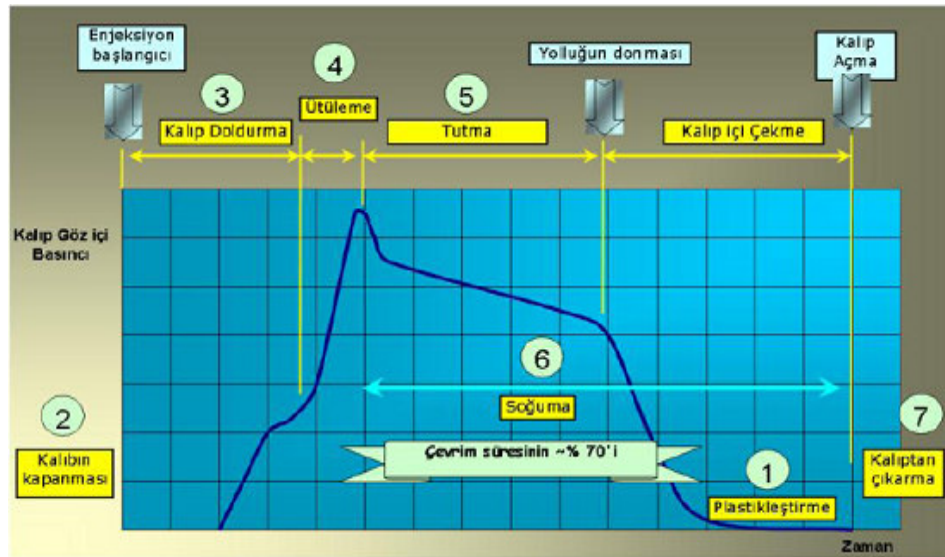
Şekil 2.2: Kalıbın bileşenleri (Turaçlı, 2003)

2.3.3. Plastik Enjeksiyon İşlemi

Plastik enjeksiyon işlemi altı aşamadan oluşmaktadır. Plastik enjeksiyon işleminin aşamaları aşağıda özetlenmektedir:

1. *Plastikasyonun başlaması:* Helezon dönerek bir yandan malzeme hunisinden ocağın içine plastik hammaddeyi alırken bir yandan da erimeye başlayan malzemeyi ocağa aldığı malzeme sayesinde ileri, meme boşluğuna iter.
2. *Plastikasyonun bitmesi:* Helezonun dönmesi durur. Memede artık enjeksiyon yapmaya yetecek kadar malzeme vardır.
3. *Kalıbın kapanması:* Mengene, kalıp parçaları tam olarak üst üste gelecek şekilde sıkıca kapanır.
4. *Enjeksiyonun başlaması:* Helezon dönmeden, eksensel olarak ileri hareketiyle eriyik malzemeyi kalıp boşluğuna doğru iter yani kalıba enjekte eder.
5. *Enjeksiyonun bitmesi ve kalıbın içindeki malzemenin soğuması:* Artık sıcak malzeme kalıp boşluklarını tam olarak doldurmuş ve hemen soğumaya başlamıştır. Kalıba enjekte edilen sıcak malzeme daha düşük sıcaklıktaki kalıba temas eder etmez soğumaya başlar ve çekme yapar. İşte malzemenin bu büzülmesini engellemek için kalıba biraz daha malzeme nakledilir (ütüleme veya tutma basınçları safhası)
6. *Ürünün kalıptan dışarı atılması:* Kalıplanan malzeme yeterince soğuduktan sonra kalıp açılır ve ürün, itici denem sistem yardımıyla kalıptan dışarı atılır. Bu arada bir taraftan da bir sonraki çevrimin 2. adımı (plastikasyon) sona ermiş ve kalıp kapanıp bir sonraki enjeksiyon için hazır hale gelmiştir.

Plastik enjeksiyon işlemi için zaman - proses grafiği Şekil 2.3'te verilmiştir.



Şekil 2.3: Plastik enjeksiyon işlemi (Turaçlı, 2003)

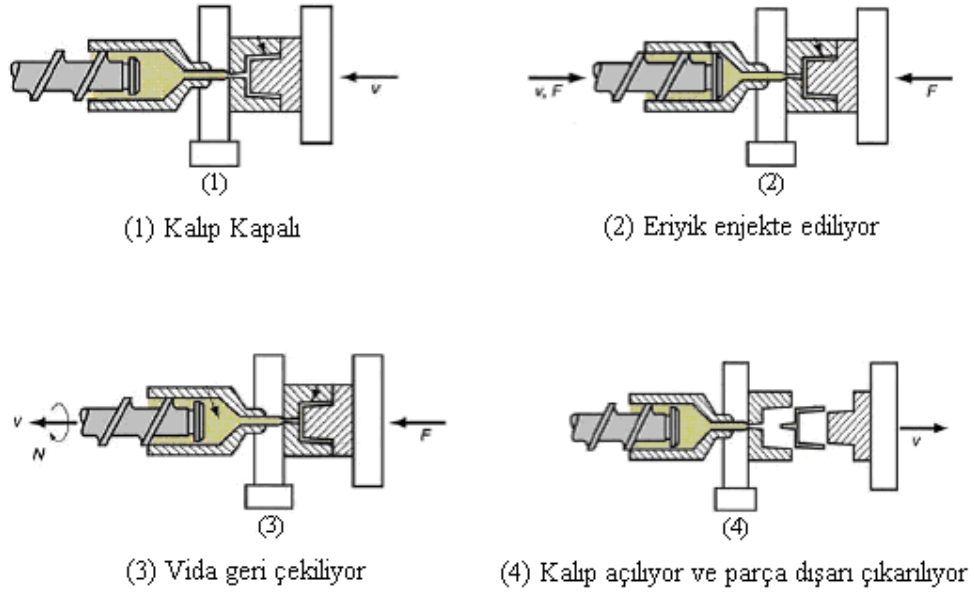
Enjeksiyon ile şekil verme sürecini genel hatlarıyla aşağıdaki gibi özetlemek mümkündür (Keçe, 2006):

Granül (tanecik) halindeki plastik malzeme, enjeksiyon grubu gövdesine bağlı malzeme hunisinin içine konulur. Buradan helezonun dönme hareketi yardımıyla ocağa alınan malzeme yine helezon sayesinde meme boşluğuna doğru itilir. Huniden enjeksiyon grubuna giren plastik malzeme meme boşluğuna doğru itilirken, ocağın etrafına sarılmış olan ısıtıcılarla ve maruz kaldığı sürtünme sayesinde ısıtılır ve eritilir. Meme boşluğuna dolan eriyiğin miktarının artmasıyla helezon arkaya doğru itilir. Helezon, arka switch veya benzeri başka bir sistem aktive olana kadar yani ayarlanan konum değerine ulaşana kadar geriye doğru yine ocak içerisine mal olarak gelir ve durur. Bu süreç, enjeksiyon grubunun mal alma işlemidir.

Switch veya cetvel değeri yani mal alma konumu, kullanılan kalıbın gramajına yani kalıba basılacak malın ağırlığına göre farklılık gösterir. Eğer ocağa gerekenden fazla mal alınırsa enjeksiyon gerektiği şekilde yapılamaz. Çünkü bu şekilde enjeksiyon sırasında kalıba zarar verilebilir veya parçanın çapak yapmasına neden olunabilir. Eğer gerekli miktarda mal alınmazsa bu da eksik veya bozuk parça üretimine neden olabilir.

Sonraki işlem kalıbın kapanmasıdır. Bir kalıp, imal edilmek istenen ürüne son şeklini veren boşluğa veya boşluklara sahip en az iki parçadan oluşur. Bundan sonraki işlem, helezonun bir piston gibi hareket ederek meme boşluğundaki eriyik durumdaki plastik malzemeyi kalıp boşluğuna itmesidir (4. basamak). Bu da enjeksiyon işlemidir. Bu işlem sırasında helezon dönmez, sadece ileri doğru hareket eder (5. basamak). Enjeksiyondan hemen sonra malzemeye tutma basınçları uygulanır.

Kalıp içerisindeki yeterince soğumuş malzeme, kalıp açıldıktan sonra bir itici sistemiyle kalıptan dışarı atılır (6. basamak). Böylece bir enjeksiyon çevrimi bitmiştir ve diğer bir çevrim başlamaya hazırdır. Şekil 2.4'te enjeksiyon prosesi özetlenmektedir.



Şekil 2.4: Bir enjeksiyon prosesi (Groover, 2002)

2.4. Enjeksiyon İşleminin Elemanları

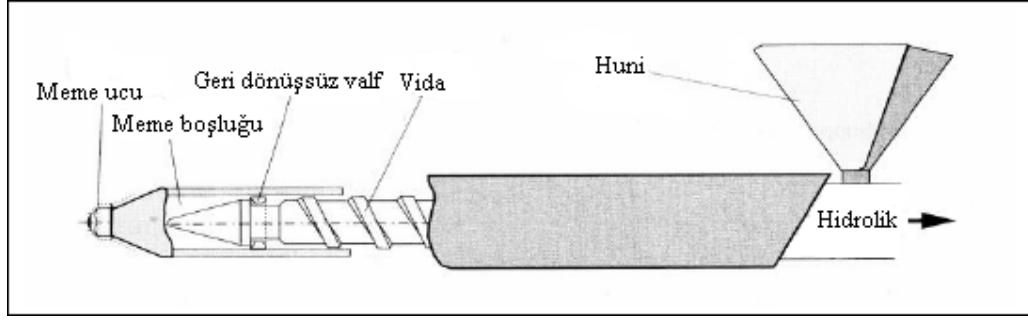
Enjeksiyon yönteminin esası, tanecikli yapıdaki ham malzemenin ısıtılmakta olan silindirden eritilerek geçirilip ucundaki memeden kapalı kalıp boşluğuna doğru itilmesi şeklindedir. Bu yöntemde kalıba basılan plastik malzeme kalıp boşluğunun biçimini alarak katılaşmaktadır.

2.4.1 Enjeksiyon Ünitesi

Enjeksiyon ünitesinin ana amacı, plastik malzemeyi eritmek ve kalıba basınçlı bir şekilde göndermektir.

2.4.2. Helezon (Vida)

Plastik malzemeyi eriten ve kalıba basan helezon veya helezon sistemleri enjeksiyon makinelerinin en önemli parçalarındandır. Şekil 2.5'te helezonun yapısı görülmektedir.



Şekil 2.5: Helezonun yapısı (Karataş ve Erel, 2003)

Bir helezon sisteminde bulunması gereken özellikler;

- iyi plastikleştirme (eritme) performansı,
- verimli (kısa zamanlı) malzeme transferi (taşıması),
- etkili eritme ve karıştırma (sıcaklığın ve katkı malzemelerinin homojenliğini sağlayabilme) ve
- iyi kendini temizleme kabiliyeti.

Yukarıdaki ihtiyaçları en iyi şekilde karşılayan ve en geniş kullanım alanına sahip olan sistem, bir silindirin içinde hem dönme hareketi hem de aksel hareket yapma kabiliyetine sahip helezon sistemidir.

Bir helezon sisteminin yani helezonlu bir enjeksiyon grubunun en büyük avantajları, hem malzemeyi eriyik hale getirene kadarki taşıma, eritme ve homojenize etme işlemlerini hem de enjeksiyon ve tutma basınçlarının uygulanması işlemlerini en ekonomik yani ucuz şekilde sağlaması olarak gösterilebilir (Akyüz 2001).

Sürekli aynı ağırlıkta ve aynı kalitede parça üretimi için kalıba basılan malzeme miktarı her seferinde aynı olmalıdır. Bunun için enjeksiyon grubu sürekli aynı sıcaklıkta homojen malzeme baskısı yapabilmelidir.

Geri dönüşsüz valfler: Enjeksiyon helezonlarına bazen, helezonların enjeksiyon ve tutma basınçları safhalarında bir piston gibi hareket etmesini sağlayan ve bu sırada malzemenin geri akışına engel olan parçalar takılır. Bunlar, helezonun uç bölgesine

takılan “geri dönüşsüz valf veya çek valf” denen parçalardır. Bu parça grubunun hepsine birden “yüzük-torpil” veya yüksük-torpil takımı” da denilmektedir.

Bir geri dönüşsüz valfte aranan özellikler:

- yüksek verim,
- kısa kapanma süresi,
- yüksek mekanik mukavemet ve
- iyi kendini temizleme yeteneğidir.

Bu valflerde bulunması gereken önemli özelliklerden biri kısa kapanma süreleridir. Geri dönüşsüz bir valfin kapanma zamanı, helezonun enjeksiyon yapmak üzere eksenel harekete başladığı andan başlayıp valfin geriye doğru iç malzeme akışına izin vermeyeceği duruma geldiği ana kadar geçen zamandır.

Geri dönüşsüz valfler yüksek oranlarda yüklenmeye maruz kaldıkları için çabuk aşınmaya uğrarlar. Bunun için geri dönüşsüz valfler, hem kalıba basılan malzemenin boşalttığı yerlere kısa zamanda malzeme gelememesinden dolayı oluşan ölü noktaları önleyebilecek, hem de çabucak aşınmalarını engelleyecek bir tasarıma sahip olmalıdırlar. Ölü noktalar, malzemenin ocak içinde kalma süresini arttırdığı için yanıklara neden olurken renk değişimlerinde de hemen hemen her zaman sorun çıkarırlar.

2.4.3. Meme

Meme, ocağın uç kısmına monte edilen, ocağın ucunun enjeksiyon yapabilmek için kalıbın yolluk burcuna tam olarak denk gelmesini sağlayan ve yapısına göre plastifikasyon ve soğutma esnasında ocağın ağzını kapayarak dışarı mal akışını önleyen parçadır.

Memeler açık veya kapalı (kapatılabilir) şekildedir. Akış kesme memeleri de denen kapalı memeler kendi kendine kontrollü (otokontrollü) veya dışarıdan kontrollü olabilir.

Açık memeler genelde akış yönünde konikleşen basit bir kanala sahiptirler. Pratikte en kullanışlı olan meme, en az basınç düşmesine neden olan bu açık meme tipidir.

2.4.4. Ocak Isıtma Sistemleri

Ocağın içindeki polimeri ısıtmanın birçok yolu olmakla beraber genelde iki ana sistem kullanılmaktadır.

Bunlardan biri olan rezistanslı ısıtıcı bantlarının en önemli avantajı düşük fiyatları olup, çok kolay monte edilebilir olmaları ve kapasitelerinin çalışma şartlarına göre kolaylıkla ayarlanabilir olması ise diğer avantajlarıdır. Rezistanslı ısıtma sistemleriyle yüksek enerji yoğunluğu sağlamak mümkündür. Bu sistemin en önemli dezavantajı olarak yavaş çalışması gösterilebilir. Yani bu sistem ısıyı muhafaza edebilmesine rağmen yüksek sıcaklıklara ulaşmak için uzun sürelerle ihtiyaç duyar.

Diğer ocak ısıtma sistemi olan sıvı ısıtma sistemlerini, sızıntı problemleri nedeniyle kurmak ve çalıştırmak pahalıya mal olmaktadır. Bir de bu sistemlerle ulaşılabilecek maksimum sıcaklık, ısı transferi için yağ kullanıldığından 280-300°C ile sınırlıdır (Turaçlı 2003). Sıvı ısıtma sistemlerinin en önemli avantajı işlenen eriyik malzemenin ısınısını kolayca düşürebilmeleridir. Bunun için, tüm çapraz bağlı polimerler gibi ısı duyarlı malzemeler işlenirken kullanılabilecek uygun ocak ısıtma sistemi, sıvı ısıtma sistemleridir.

Bu makinelerde helezon döner ve bu sırada huniden de mal alır. Helezonun dönme hareketiyle ileri doğru itilen malzeme, aynı zamanda hem helezonun oluşturduğu sürtünme ısısı ve hem de ocak ısıtıcılarından aldığı ısıyla erir. Eriyerek hareket eden plastik malzeme meme boşluğuna depolanır. Helezon, kalıbı dolduracak kadar malzeme meme boşluğuna doluncaya kadar, yani mal alma konumuna ulaşınca kadar geri gider. Hidrolik piston, geri hareketi esnasında helezonun arkasında oluşan geri basıncını belli bir değerde sabit tutar. Bu sayede helezonun geri dönme hızı azaltılarak daha homojen bir karışım elde edilmesi sağlanır. Plastikasyon işlemi bitip meme boşluğu

yeterince malzemeyle dolduktan sonra helezon, bir piston gibi yüksek basınçla ileri doğru hareket ederek plastik malzemeyi meme boşluğundan kalıp içine enjekte eder.

Enjeksiyon makinelerinde enjeksiyon grubu, ileri - geri rahatça hareket edebilecek şekilde tasarlanır. Çünkü meme ve kalıp girişi çoğu zaman sadece enjeksiyon ve tutma basınçları aşamalarında temas halindedir. Yani enjeksiyon işlemi sırasında, kalıbın ve malzemenin özelliklerine göre grubun ileri-geri hareketi gerekebilir. Oldukça seri yapılan enjeksiyon işlemleri göz önüne alınırsa grubun rahatlıkla ileri - geri hareket etmesinin gerekliliği anlaşılabılır. Böylesi durumlarda meme ucuyla kalıp girişi arasındaki temas, hem memenin kalıbı ısıtmasını önlemek hem de soğutulan kalıbın memeyi soğutmasını önlemek amacıyla oldukça kısa süreli olmalıdır. Çünkü fazla soğuyan meme ucu içindeki malzemenin de soğuyup memeyi tıkamasına neden olabilir.

2.4.5. Mengene Ünitesi

Bir enjeksiyon makinesinin Mengene ünitesinin başlıca görevleri;

- kalıbı kapamak,
- enjekte edilen malzemenin ürün haline dönüşmesi için kalıbı kapalı tutmak ve
- ürünün çıkarılması için kalıbı açmak şeklindedir.

Bir enjeksiyon makinesinin mengene sistemi yatay prese benzer. Bu sistem temel olarak;

- bir sabit plaka,
- bir hareketli plaka,
- bir L-plaka (destek plakası) ve
- hareketli plakanın hareketini sağlayan bir tahrik sisteminden meydana gelir.

Günümüzde en çok bilinen üç çeşit mengene sistemi vardır (Yurci, 1997). Bunlar:

- Mekanik mengene sistemi
- Hidrolik mengene sistemi ve
- Hidromekanik mengene sistemidir.

Mekanik mengene sistemleri: Mekanik mengene sistemlerinde gerekli mengene hareketleri ve kapama kuvveti, mekanik sistemin kinematiği sayesinde sağlanır.

Hidrolik mengene sistemleri: Hidrolik mengene sisteminin yapısı mekanik sistemlerden tamamıyla farklıdır. Bu sistemin belirgin özelliği, mengene kapama kuvvetini sağlayan büyük silindirlerdir. Bir de bu sistemlerde genelde ana silindirden daha küçük olup büyük yağ kütlelerine gerek kalmadan yüksek basınçta açma kapama işlemini yapan yardımcı silindirler vardır. Kapama kuvvetini ana silindirdeki yağın oluşturması ve yağın çeliğe oranla tabii ki daha az rijit olması, hidrolik sistemlerde kalıbın mekanik sistemlere oranla daha fazla deforme olmasına neden olmaktadır.

Hidromekanik mengene sistemleri: Özellikle büyük makinelerde hidrolik sistemde hareket ettirilen büyük miktarlardaki yağı azaltmak ve sisteme hız kazandırmak için, sisteme ekstra mekanik elemanlar dahil edilmiştir. Bu sistemlerde kapama işlemi bir veya birkaç küçük ama uzun stroklu hidrolik silindir tarafından sağlanır. Bundan sonra kilitleme özel mekanik kilitleme elemanlarıyla sağlanır. Kilitleme kuvveti, küçük stroklu ve geniş etki alanına sahip bir hidrolik piston tarafından uygulanır. Böylece yağın gereksiz dolaşımı da önlenmiş olur. Buna ilaveten bu sistemlerde kilitleme kuvvetine, düşük hacimli hidrolik pistonları sayesinde, hidrolik mengene sistemlerine oranla daha hızlı ulaşılır.

Kalıplar en az iki ana parçadan meydana gelirler. İki parçalı kalıbın bir parçası eksensel hareket eden hareketli plakaya, diğer parçası ise sabit plakaya monte edilir. L-plaka normalde hareketli olmayıp sadece farklı büyüklüklerdeki yani farklı kalınlıklardaki kalıp ayarları için eksensel olarak genelde redüktörlü bir motorla, bazen de hidrolik bir motorla hareket ettirilir. Enjeksiyon sırasında kalıp içi basıncının dış basınçtan çok daha büyük değerler çıkması, kalıbın açılmasına ve malzemenin taşmasına yani çapak yapmasına sebebiyet verebilir. Ürüne son işlem gerektiren çapak oluşumu, zaman ve enerji kaybına neden olduğu için hiç de istenilen bir durum değildir. Bu sebeple bir enjeksiyon makinesinin mengene sistemi, kalıbı gerekli kuvvetle kapalı tutabilmelidir (Turaçlı, 2003).

2.4.6. Makine Kontrol Sistemi

Enjeksiyon makinelerinde kullanılan kontrol sistemleri çok çeşitlidir. Şekil 2.6'da tipik bir kontrol ünitesi görülmektedir. Normal olarak, çalışma sırasında kontrol ünitesinin ekranında görüntülenmesi gereken bazı fiziksel değerler vardır. Bunlar:

- ocak ve kalıp sıcaklıkları,
- helezonun, enjeksiyon grubunun, kalıbın (mengenenin) veya iticinin konumları,
- helezonun enjeksiyon hızı veya hızları ile kalıbın kapanma ve açma hızları,
- tutma basınçları ve hidrolik mengeneli sistemlerde mengene kapama kuvveti gibi değerlerdir.



Şekil 2.6: Tipik bir kontrol ünitesi (Turaçlı, 2003)

Kontrol sistemi ekranı sadece bu fiziksel değerleri göstermekle kalmayıp tüm enjeksiyon işlemini koordine etmeli ve kullanıcıya (makine operatörüne) bu yönde kolaylık sağlamalıdır.

Modern makinelerde kontrol işlemi dijital ve elektronik ünitelerle sağlanır. İlk olarak elektrikli kontrol panolarıyla kumanda edilen enjeksiyon makineleri, daha sonra teknolojik gelişmeleri yakından takip ederek mikro işlemci yapılı, işlem kontrollerinin hepsi bir veya daha fazla CPU (Merkezi İşlem Birimi) tarafından denetlenen, sanayi ortamında çalışabilecek yapıda, üzerine elektriksel bağlantıların yapılabileceği noktaların bulunduğu PLC (Programlanabilir Mantıksal Kontrolör) kumandalı

sistemlerle kontrol edilmeye başlanmıştır. Günümüzde artık sadece PLC ile değil, normal PC'ler (Kişisel veya endüstriyel bilgisayarlar) veya İstatistiksel Proses Kontrol cihazları gibi çok gelişmiş sistemlerle de kontrol sağlanabilmektedir (Yurci, 1997).

Kontrol edilmesi gereken sıcaklık, konum, hız ve basınç gibi fiziksel değerler termokupil (thermocouple), basınç ve konum transduserleri gibi özel aletlerle tespit edilir ve kontrol bilgisayarına gönderilir. Kontrol sistemi bu bilgiler ışığında gerekli fonksiyonları icra eder. Örneğin, eğer ocak ısısı ayarlanmış değerin altında ise, ocak ısıtıcıları yani ocak rezistansları devreye alınır; üstünde ise ısıtıcıları devre dışı bırakılır veya helezon önceden belirlenmiş konuma ulaştığında mal alma valfi kapatılır ve helezonun mal alma işlemi durdurulur. Veya mengene belirlenen konuma geldiğinde yavaşlamaya başlar, belirlenen konuma geldiğinde hızlanmaya başlar ve belirlenen yere kadar açılır. Bu gelişmiş kontrol sistemleriyle makinelerin hemen hemen her türlü çalışma fonksiyonları ayarlanabilmektedir.

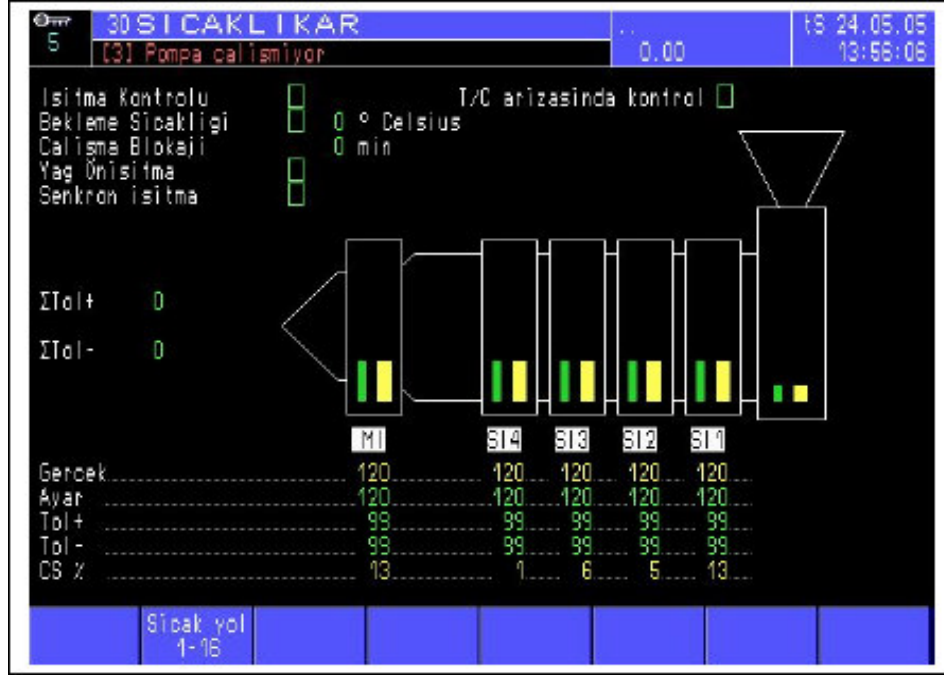
2.5. Enjeksiyon Parametreleri

Plastik enjeksiyon prosesi dört ana değişken ile kontrol edilir (Anonim 1997):

- Sıcaklık
- Hız
- Basınç
- Zaman

2.5.1. Sıcaklık Ayarı

Sıcaklık parametrelerinin ayarlanmasında malzemeye ait erime sıcaklığının bilinmesi çok önemlidir. Genel uygulama makine ayar aşamasında düşük sıcaklıklarla denemelere başlayıp çıkan parça üzerinden yorumlar yaparak sıcaklık parametreleriyle ilgili düzeltme yapmak şeklindedir. Kolay ısı kontrolü için, ocak bölgelere ayrılmıştır. Şekil 2.7’de sıcaklık ayarı kontrol ünitesi görülmektedir.

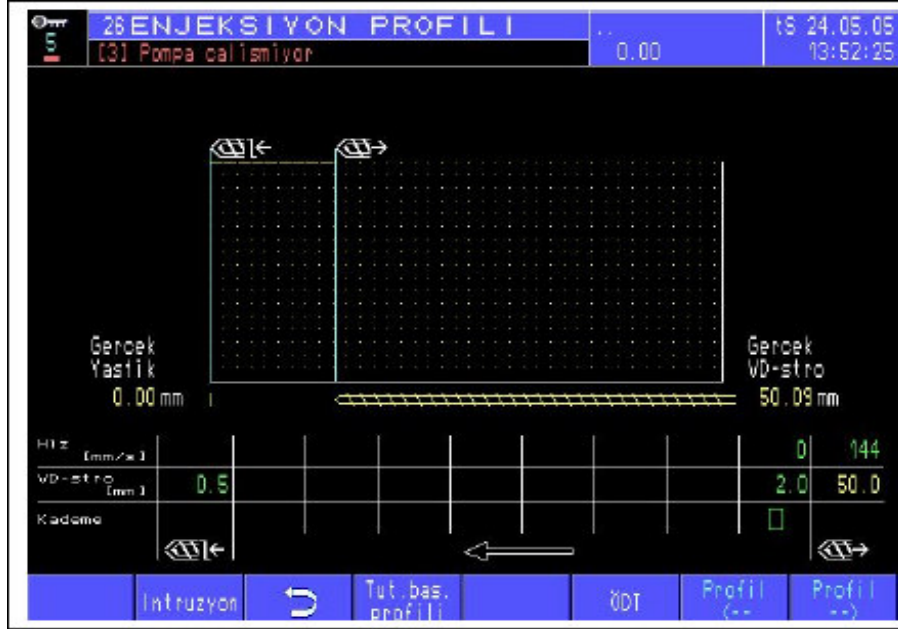


Şekil 2.7: Sıcaklık ayarı kontrol ünitesi görüntüsü

Ocak sıcaklıkları aşırı düşük veya aşırı yüksek olabilir, bunların ikisi de yanlıştır. Bunlara ilave olarak erimiş plastikteki sıcaklığın eşit dağılımı da önemli bir faktördür. Aşırı yüksek sıcaklık, polimerlerin ve katkı maddelerinin bozulmasına neden olur. Erime sıcaklığı yüksek olduğu zaman homojen yapı oluşmaz. Bu da darbe direncini azaltır.

2.5.2. Enjeksiyon Hızı Ayarı

Enjeksiyon hızı, vida piston gibi hareket ettiğinde, kalıbın dolma hızıdır. Birimleri mm/sn, m³/sn veya %'dir. Hızın ölçüm birimleri farklı enjeksiyon makinelerinde farklılık gösterebilmektedir. Küçük et kalınlıklarında, yüksek enjeksiyon hızı kullanımı kalıbı plastik donmadan doldurmak için gereklidir. Fakat kalın kısımları olan parçada daha iyi yüzey, yavaş enjeksiyon hızı kullanılarak elde edilir. Genelde mümkün olan en düşük enjeksiyon hızı tercih edilir. Birçok baskı hatası, değişik enjeksiyon hızı kullanılarak çözülür. Şekil 2.8'de enjeksiyon hızı ayarı kontrol ünitesi görülmektedir.



Şekil 2.8 Enjeksiyon hızı ayarı kontrol ünitesi görüntüsü

Dolma esnasında basınç gittikçe artar çünkü kalıbın dolması esnasında akışkanlık direnci artar. Kalıp dolmasının belirli bir noktasında, örneğin kalıp hemen hemen dolarken veya yolluk girişi donarken akışkanlığa direnç oldukça yüksektir ve vidanın bu oranda basınç vermesini beklemek gerçekçi değildir. Bu noktada kontrol, hız kontrolden basınç kontrole değiştirilir ve bu nokta “VPT (hızdan basınca geçiş noktası - velocity pressure transfer point)” olarak bilinir (Akyüz, 2001).

2.5.3. Enjeksiyon Basıncı

Kalıbı doldurma esnasında yüksek hızla kalıbı doldurmak için yüksek basınca ihtiyaç duyulabilir. Kalıp dolduktan sonra yüksek basınç gerekli değildir veya arzu edilmeyebilir. Birçok baskıda yüksek ilk basıncı düşük ikinci basınç (ütüleme) takip eder. Çünkü ani basınç değişimi kristal yapıda istenmeyen değişikliğe sebep olur. Oryantasyon (moleküllerin plastiğin akış yönünde yönelmesi) oranının azaltılması önemlidir. Bunun için kalıp mümkün olduğu kadar çabuk doldurulmalıdır ve erimiş plastik soğutulurken sürtünmemelidir. Çünkü bu durum, plastiğin soğuk ve uzayarak akışı demektir ve arzu edilmez.

Eğer VPT noktası yanlış pozisyonda ayarlanırsa yani mesela hızdan basınca geçiş çok erken olursa bu duruma sebep olur. Yolluk girişi donmadan ve enjeksiyon basıncı yeterince yüksek olarak kalıp yavaşça dolar. Bu da baskıda yüksek dahili gerilime (internal stress) sebep olur.

VPT noktasının kesin olarak ayarlanması çok önemlidir. Eğer bu şart yerine getirilmezse değişik yapılarda baskı ortaya çıkabilir. VPT değişimi, makine operatörü (formen) tarafından gerekli aletler kullanılarak yapılır. VPT' deki değişim aşağıdaki özellikler değerlendirilerek tespit edilir:

- Vida pozisyonu,
- Hidrolik basınç (hat basıncı),
- Nozzle (meme) basıncı (erimiş plastik basıncı),
- Kalıp boşluğu (cavity) basıncı,
- Kalıp açma gücü,
- Kalıp açma pozisyonu

2.5.4. Ütöleme Basıncı (Arka Basıncı)

Ütöleme basıncı ile kalıbın tam olarak dolması ve detaylarının oluşması sağlanır. Bu basınç, vida tarafından, vida geri gelmeden önce yapılan basınçtır. Yüksek arka basıncı kullanmak renk karışımına ve malzemenin erimesine olumlu yönde etki eder fakat vida dönüş süresini arttırır. Ütöleme basıncı mümkün olduğu kadar düşük değerlerde tutulur. Her şartta ütöleme basıncı maksimum enjeksiyon basıncının %20' sini geçmemelidir. Arka basıncı ile vida dönme hızı ayarlanarak plastikasyon (erime) ve sonra da vidanın en kısa zamanda ileri gitmesi sağlanır (Turaçlı 2003).

2.5.5. Tutma Basıncı

Çekmeyi azaltmak için parça kalıp içinde basınç altında bekletilir. Parça çektikçe içeriye yeni eriyik dolması sağlanır. Tutma aşaması yolluk girişinin donmasına kadar devam eder.

2.5.6. Soğuma Zamanı

Makinenin ütüleme basıncına geçtiği andan kalıbın açılmasına kadar geçen sürede parça, kalıbın içinde soğutulur. Soğutma kalıbın içinden geçen su kanalları vasıtasıyla gerçekleştirilir. Soğuma zamanı enjeksiyon çevrim süresinin % 70'lerine kadar sürebilir. Parçanın kalıptan çıktıktan sonraki kararlılığı tamamen soğuma süresinin yeterliliğine bağlıdır. Soğuma süresi, kalıptan çıkan parçanın sıcaklığı ölçülerek ayarlanabilir.

2.5.7. Enjeksiyon Süresi

Enjeksiyon zamanı, kalıba malzemenin dolmaya başladığı anla tutma basınçlarının uygulanmaya başladığı an arasındaki safhadır. Bu safha genelde hız kontrollü olarak gerçekleştirilir. Genelde malzemenin kalıba enjeksiyonu düşük bir hızda başlar, zamanı kısaltmak için hız arttırılır ve kalıp boşluğu tam dolmadan hız tekrar azaltılır. Başlarken ve biterken enjeksiyon yapılan hızların düşük tutulması, kalıba herhangi bir zarar vermemek içindir. Her malzeme, makine ve kalıp için bir optimal enjeksiyon zamanı aralığı vardır. Bu zaman aralığı özellikle ekonomik sebeplerden dolayı çok önemlidir (Akyüz, 2001).

Enjeksiyon zamanının çok kısa tutulması birim zamanda daha büyük miktarda hacim akışı gerektirdiği için, yüksek basınç kayıplarına neden olur. Çok uzun enjeksiyon zamanı ise, kalıp duvarına yakın eriyiğin katılaşmaya başlamasından dolayı serbest kanal kesit alanının azalmasına, dolayısıyla yüksek basınç kayıplarına neden olur. Bu sebeplerden dolayı enjeksiyon zamanının minimum basınç değerlerini sağlayacak şekilde ayarlanması gerekir (Akyüz, 2001).

Çıkan ürünün iyi kalitede olmasının şartlarından biri de kalıp içindeki malzemenin ortalama sıcaklığının kalıbın her tarafında sabit tutulmasıdır. Eğer enjeksiyon zamanı kısa tutulursa, malzeme akış yolunun sonundaki (uç noktasındaki) sıcaklık, malzemenin ilerleyişi sırasında meydana gelen iç sürtünmeden dolayı enjeksiyon sıcaklığından daha yüksek olabilir. Yani kalıp boşluğunda akan malzemenin maruz kaldığı sürtünme,

sıcaklığını artırır. Enjeksiyon zamanı uzun tutulursa da tam tersi meydana gelir. Oysa enjeksiyon sıcaklığıyla malzeme akış çizgisinin uç noktasındaki sıcaklığın aynı olması, ürünün boyutsal kararlılığı açısından önemli olup bunu sağlayan ortalama bir enjeksiyon zamanının olduğu da unutulmamalıdır (Akyüz, 2001).

2.5.8. Kalıp Sıcaklığı

Kalıp cidarı sıcaklığı, parça kalitesi, işlemin ekonomikliği ve boyut hassasiyeti için çok daha önemlidir. Bu sıcaklık malzemenin ısısal karakteristiğinden başka soğuma zamanını da belirlemektedir. Burada kalıp cidarı yüzeyinin sıcaklığı, kalıp sıcaklığı olarak kabul edilmekte ve mevzii sıcaklık değişimleri dikkate alınmamaktadır. Cidar kalınlığı 2.5 mm den daha ince olan ince kesitli parçalarda enjeksiyon safhasında hidrolik basınçtaki belirli bir artışın erken meydana geldiğine dikkat edilmelidir. Bu durum, eriyik merkezindeki sıcak eriyiğin kalınlığının büyümesi ve kalıp cidarının soğuma etkisinden olabilir (Akyüz, 2001).

Soğutma tasarımı kalıbın çevrim zamanını direkt etkileyen parametrelerden biridir. Bilindiği gibi çevrim zamanı uzadıkça parça birim maliyeti de o oranda artacak demektir. Parçadan, kalıptan çıkarılmaya uygun hale gelene kadar ısı çekilmelidir. Bu amaca ulaşmak için geçen zamana soğuma zamanı denir. Çekilmesi gereken ısı miktarı ergimiş malzemenin sıcaklığına, parçanın kalıptan çıkarılabileceği sıcaklığa ve plastik malzemenin özgül ısına bağlıdır (Esenlik, 2001).

Eriyik haldeki plastik malzeme, basınçla kalıp boşluğunun içine enjekte edilerek istenen ürün elde edilmiş olur. Ürünün kalıptan çıkabilmesi için itici sisteminin uyguladığı itme kuvvetine karşı yeterli dayanımı göstermesi ve deformasyona uğramadan kalıbı terk etmesi gerekir. Bu sebeple itme çevrimi esnasında plastiğin sıcaklığı enjeksiyon esnasındaki sıcaklığa göre daha düşük olması gerekmektedir beraber oda sıcaklığında olmasına da gerek yoktur. Kalıp bir çeşit ısı değiştiricisi görevi görürken kalıba ilave edilen soğutma sistemi de bu etkiyi artırır (Esenlik, 2001).

Bu yüzden yüksek üretim kapasiteli kalıplar için bu kayıp zamanın en aza indirilmesi bir zorunluluk olmaktadır. Bununla beraber soğutma tasarımı yaparken tasarımcının göz önünde bulundurması gereken birçok genel tasarım esası da vardır (Esenlik, 2001). Çeşitli malzemelerin enjeksiyon ve kalıp sıcaklıkları Tablo 2.1’de gösterilmiştir.

Tablo 2.1: Çeşitli malzemelerin enjeksiyon ve kalıp sıcaklıkları (Esenlik, 2001)

Malzeme	Enjeksiyon Sıcaklığı (°C)	Kalıp Sıcaklığı (°C)
Poliyeten (PE)	170 - 320	0 - 70
Polistyren (PS)	200 - 250	0 - 60
Polyamide (Naylon)	240 - 320	40 - 120
Acrylonitrile styren	230 - 260	50 - 80
Polikarbonat (PC)	280 - 310	85 - 140
Poliasetal	180 - 230	70 - 130
Polipropilen (PP)	180 - 280	0 - 80
ABS	180 - 240	50 - 120

Tablodan görüldüğü gibi plastik malzemelerin enjeksiyon ve kalıp sıcaklıkları oldukça geniş bir aralıkta bulunmaktadır. Bu sebeple tasarımcının ve malzeme tedarikçisinin tecrübeleriyle tavsiye ettiği en uygun sıcaklıklar seçilmelidir.

Tecrübeli bir kalıp tasarımcısı, kalıplanan ürüne ait plastik malzemenin fiziksel özelliklerinin ve görünüşünün soğutma sistemine bağlı olarak nasıl değişeceğini bilmelidir. Örneğin kalıplanan ürünün kırılma veya yetersiz parlaklıkta olmasının sebebi çok hızlı soğuma veya çok düşük kalıp sıcaklığı olabilir. Çok yavaş soğumada veya kalıp yeterli soğuklukta olmaması halinde ise üründe istenmeyen kristalleşme gözlemlenebilir (Esenlik, 2001).

2.5.9. Eriyik Sıcaklığı

Enjeksiyon makinesinde sert plastik granüller enjeksiyon ünitesindeki vida yardımıyla içeri alınır. Bu plastik granüllere, ocak duvarlarından ısı verilir. Ayrıca, vidanın dönmesi de ilave bir ısı sağlar ve plastik bu sayede ısıtılır. Enjeksiyon

ünitesindeki bu vidanın geometrisinde vida ön tarafına doğru dişler azalmaktadır. Sonuçta; bu azalma yumuşayan plastiğin, erimiş plastiğe geçmesini sağlar. Bu erimiş plastik, enjeksiyon ünitesinin memesine iletilir. Burada ocak duvarlarından ve vida dönmesiyle elde edilen ısı, eriyik ısıdır. Bu sıcaklığın düşük tutulması, kalıp içerisine gönderilen erimiş plastiğin daha erken soğuyup, kalıplanan parçanın kalitesinin istenilen düzeyde olmasını engeller. Eriyik ısının daha yüksek tutulması da erimiş plastiğin kalıp içerisinde daha geç soğumasına ve parçanın kalitesinin arttırılmasına sebep olur (Uyaroğlu, 2003).

Ayrıca eriyik sıcaklıkları, parçaların yüzey görünümü üzerinde çok büyük etkiye sahiptir. Genellikle eriyik sıcaklığı ne kadar yüksek olursa, kalıp sıcaklığı o kadar yüksek ve yüzey parlaklığı o derece iyi olur. Bununla birlikte eriyik sıcaklığını çok fazla artırmak, bazen parçalarda çukurluklar oluşma ihtimalini arttırır. Özel bir materyalin, tavsiye edilen sıcaklık aralığında yapılan bir dizi parça üretiminde, her bir parçanın ağırlığının belli bir sıcaklıkta maksimum olduğu görülür. Düşük sıcaklıklarda büyük basınç düşüşü nedeniyle parça ağırlığı düşük olacaktır. Eriyik sıcaklığını artırmak basınç düşmesini azaltacak ve böylece parça ağırlığı maksimum düzeye yükselecektir (Kılıç, 1993).

2.5.10. Et Kalınlığı

Et kalınlıklarının doğru tespiti parçanın görüntü ve performansı açısından hayati öneme sahip olduğu kadar, enjeksiyon kalıplama prosesinin ne kadar başarılı ve verimli olacağını da belirler.

Mukavemet şartlarının gerektirdiği mümkün olan en az et kalınlığı verilmelidir. Bu, malzeme sarfiyatını azalttığı gibi enjeksiyon çevrim süresini de kısaltır. Ancak burada dikkat edilmesi gerekli olan nokta, ince et kalınlığından dolayı kalıbın doldurulmamasıdır. Akış yolu uzun parçalarda et kalınlığının artması gerekebilir. Ancak iyi konumlandırılmış birden çok parça besleme ağzı sayesinde bu gerek asgariye indirilebilir. Ayrıca parçanın çatlamasına veya çarpılmasına yol açabilecek tampon pimleri darbesine karşı koyacak bir asgari et kalınlığı da göz önünde bulundurulmalıdır.

Görüntü bozukluklarının ve performans zafiyetinin asgariye indirilmesinin ön şartı et kalınlığında sağlanacak yeknesaklıktır. Eşit olmayan et kalınlığı parçanın çarpılmasına, yüzeyde çöküntü ve birleşme izi gibi hataların oluşmasına kaynaklık eder. Tasarım esnasında dikkate alınmayan et kalınlığı farklılaşmaları, çoğunlukla proses esnasında da düzeltilemeyecek hatalar ortaya çıkarırlar.

2.6. Termoplastik Ürünlerde Yeni Ürün Devreye Alma Süreci

Otomotiv endüstrisinde yeni projelerin devreye girmesiyle beraber tüm tedarikçi firmalarda yeni parça onay prosesi başlangıç onayı verilir. Yeni ürün devreye alma sürecinin en önemli bölümü parça onay prosesidir. Özellikle kalıp bazlı imalat yapan firmalarda kalıpların ilk devreye alınması aşaması oldukça zahmetli ve risklidir. Genelde kalıp imalatçısında (toolmaker) ürünün ilk denemesi (first try) yapılır ve uygun parça alınmış olur, ama seri üretim şartlarında uygun parça almak bazen oldukça güç ve uzun sürebilmektedir. Özellikle görünüm parçası (son kullanıcının gözle görebildiği) üreten firmalar için bu süreç daha da uzundur. Bu firmalardan beklenen, parçanın fonksiyonelliğini yerine tam anlamıyla getirirken görünüm uygunluğunu da sağlamasıdır. Bazen bu iki özelliği aynı anda sağlamak oldukça güç olmaktadır (Keçe, 2006).

Plastik Enjeksiyon ile plastik ürün üretimi yönteminde yeni ürün devreye alma süreci, firmanın üretim hacmine ve yeteneğine de bağlı olarak farklılık göstermekte ve genel olarak önemli bir zaman almaktadır. Dolayısıyla da önemli oranda zaman, iş gücü, malzeme ve ekipman kaybına neden olmaktadır. Plastik enjeksiyon yönteminde bu süreç üzerinde dikkatle durulmasının sebebi, tamamen formlerin ve makine operatörlerinin tecrübesine bağımlı olması ve insan hatasından kolayca etkilenebilecek durumda bulunmasıdır. Yeni ürün devreye alma işlemi, başlangıç parametrelerinin makineye girilmesi ile başlar ve elde edilen parçalarda göz kontrolleri veya bazı cihazlar ile kontroller gerçekleştirilir. Değiştirilmesi gereken bir parametre bulunması durumunda ilgili düzeltme yapılarak uygun parça elde edilmeye çalışılır. Uygun parça elde edildiğinde süreç noktalanmış olur.

Bu tez çalışmasında, yeni ürün devreye alma sürecinde, üretilen ürünler kullanıma uygun olan kaliteli parça elde edilinceye kadar incelenmiş ve her bir üründen alınan parametre değerlerine göre makine ve ürün ayarları üzerinde bazı değişiklikler yapılmıştır. Ürün üzerindeki problemin tespiti için yapay sinir ağları, problemin giderilmesi amacıyla gerekli aksiyonların üretilmesi için ise uzman sistem kullanılmıştır. Bu sayede kaliteli parça değerlerine çok kısa bir sürede ulaşılmış ve yeni ürün devreye alma sürecinin getirdiği ekstra maliyetler (hammadde, işgücü, enerji vb.) ve zaman kayıpları azaltılmıştır.

2.7. Plastik Enjeksiyon Sürecinde Kalite Problemi

Plastik enjeksiyon yöntemi tüm belirtilen avantajlarının yanı sıra diğer tüm süreçlerde olduğu gibi birtakım kalite problemlerine sebep olabilmektedir. Enjeksiyon işlemi sırasında karşılaşılabilecek problemlerin büyük bir çoğunluğu genelde proses esnasında yapılacak bir veya birkaç küçük değişikliklerle giderilebilir. Karşılaşılan problemi çözmek için probleme doğru yaklaşılmalıdır. Üretilen parça istenildiği gibi değilse problem, malzeme, kalıp, proses tekniği yani çalışma şartları veya makine dörtlüsünden birine ya da birkaçına birden müdahale edilerek çözülür.

Temel olarak bir parçada problem; proses öncesinde (malzeme tedariki ve depolama), proses sırasında (çevrim sırasındaki çalışma şartları) ya da proses sonrasında (parçalara son işlem uygulanması, paketleme, taşıma) meydana gelir. Proses öncesinde ya da sonrasında meydana gelen problemler genelde “malzeme kirlenmesi, renklendirme, tozlanma, nem alma” gibi sebeplerden kaynaklanmaktadır. Bu tür problemlerin çözümleri genelde açık ve kolaydır ama proses sırasında meydana gelen problemler daha karmaşıktır ve dikkat isterler. Bu problemler de makine, kalıp, çalışma şartları, malzeme ve parça tasarımı ile ilgili olmaktadır.

Proses sırasında oluşan problemlerde, plastik malzemeye çalışma parametrelerinin ne tür etkilerde bulunduğu araştırılmalıdır. Bu parametreler özetle, enjeksiyon süresi, tutma basınçları, soğuma süresi, parçayı kalıptan çıkarma zamanı, kalıp sıcaklığı, yolluk

tasarımı, yolluk geçidi ve büyüklüğü, parça et kalınlığı ve akış uzunluğudur. Çevrim sırasında oluşan problemler temel olarak 3 faktöre bağlıdır:

1. *Enjeksiyon makinesi*: Kapama kuvveti yeterli mi? Baskı kapasitesi yeterli mi? gibi sorulara cevap aranır.
2. *Kalıp*: Kalıp doğru tasarlanmış mı? Kendinden istenen fonksiyonları yerine getirebiliyor mu?
3. *Malzeme*: Üretilen parça için doğru malzeme mi seçildi? Seçilen malzemeden gerekli çalışma şartlarında istenilen verim elde edilebiliyor mu? şeklindeki sorulardır.

Enjeksiyon makinesinin, kalıbın ve malzemenin performans ve verimlilikleri üç ana değişkene bağlıdır. Bu değişkenler, “zaman, basınç ve sıcaklık” tır. Enjeksiyon işlemi sırasında meydana gelebilecek problemlerin birçoğu bu üç değişkenin doğru şekilde ayarlanması ile giderilebilmektedir. Ancak bu üç değişkenin birbirleriyle bağlantılı olduğu unutulmamalı ve ayarlar buna göre yapılmalıdır.

Tez çalışmasında, plastik enjeksiyon yönteminde en önemli ve kritik süreçlerden biri olan yeni ürün devreye alma sürecinin kısaltılabilmesi, bu süreçte görev alan insan uzmanlara olan bağımlılığın giderilebilmesi ve uzman bulunamadığında ortaya çıkabilecek olan işletme problemlerinin engellenmesi amacıyla yapay zeka teknikleri kullanılmıştır. Yapay zekanın birçok alt dalı bulunmakla birlikte, çalışmada yapay sinir ağları ve uzman sistem teknikleri kullanılmıştır. Çalışmanın ayrıntılarına geçmeden önce yapay zeka ve kullanılan teknikler ile ilgili bazı bilgilerin verilmesinde fayda olacağı düşünülmüştür.

2.8. Yapay Zeka

Yapay Zeka (Artificial intelligence), en kısa şekilde, insan beyninin çalışma sistemini anlamak ve bu sistemi taklit ederek benzer etkinlikleri gerçekleştirebilecek bilgisayar işlemlerini oluşturmaya çalışmak olarak tanımlanabilir. Yapay zeka kullanılarak yapılan çalışmaların temel amacı, insanların doğuştan sahip oldukları zekayı modelleyerek bazı fonksiyonlarını bilgisayarlara ve bilgisayar denetimli

makinelere kazandırabilmektir. Anlama ve kavrama yeteneği olan zekanın pek çok tanımı bulunmaktadır. En basit tanımıyla zeka, “Bir insanın belli bir duruma uyma, koşullara göre etkinlik araçları seçme yetkinliği; kavrama gücü; ayırt etme yetisidir”

Zekanın yukarıda verilen tanımı ışığında yapay zeka çalışmalarının, bilgisayarlara ve bilgisayar denetimli makinelere, zekanın en temel özellikleri olan anlama, genelleme ve geçmiş deneyimlerden öğrenme gibi yeteneklerini kazandırmayı hedeflediği söylenebilir.

Önceleri sadece elektronik veri transferi ve karmaşık hesaplamaları gerçekleştirmek için geliştirilen bilgisayarlara zaman içinde verileri filtreleyerek özetleyebilme ve eldeki bilgileri kullanarak olaylar hakkında yorumlar yapabilme nitelikleri de kazandırılmıştır (Chen ve ark., 2008). Günümüzde ise bilgisayarlar hem olaylar hakkında karar verebilmekte hem de olaylar arasındaki ilişkileri öğrenebilmekte, matematiksel olarak formülasyonu kurulamayan ve çözülmesi mümkün olmayan problemler, sezgisel yöntemler kullanılarak çözülebilmektedir. Bilgisayarları bu özellikler ile donatan ve bu yeteneklerinin gelişmesini sağlayan çalışmaların hepsi yapay zeka çalışmaları olarak adlandırılır. Bir problemin çözümünü sağlayan formül ya da algoritmalar geliştirilmiş ise geleneksel bilgisayar sistemleri problemi çözmek için yeterlidir. Fakat önemli olan problemin çözümünün elde edilemediği durumlarda bilgisayarlara problemleri çözdürmektir. Yapay zeka bu görevi üstlenmektedir (Öztemel, 2003).

İnsan beyni ve işleyişinin insanoğlunun ilgisini çekmesi çok eskilere dayansa da, bu konuda pratiğe yönelik bilimsel çalışmalar 19. yüzyılın sonlarında yapılmaya başlanmıştır. Yapay zekanın yaygın bir şekilde araştırma ve uygulama alanı bulan belli başlı alt dalları aşağıdaki gibi özetlenebilir (Elmas, 2003):

Uzman Sistemler, temelde insan düşüncelerini geliştirmek amacıyla bilgisayar tarafından işlenen yazılımlardır. Uzman sistemler geliştirilirken, belirli bir konuda uzmanlaşmış olan insanların bilgi ve deneyimlerinin bilgisayara aktarılması amaçlanır.

Bulanık Mantık, bulanık küme teorisine dayanan matematiksel bir disiplindir. Bulanık mantık; bilgisayarın, sadece bir durumun ya da karıştının olabileceğini kabul eden mantığının yerine, insan mantığındaki gibi ara değerleri de hesaba katarak karar vermesini sağlar. Örneğin bir bilgisayar için sadece uzun-kısa ya da sıcak-soğuk olabilen bir durum, bulanık mantık kullanılarak uzun-ortadan uzun-orta-ortadan kısa-kısa ya da sıcak-ılık-az soğuk-soğuk-çok soğuk gibi ara değerlere sahip olabilir.

Genetik algoritma, Darwin'in evrim kuramı "*doğada en iyinin yaşaması*" kuralından esinlenerek oluşturulan, bir veri kümesinden özel bir veriyi bulmak için kullanılan bir arama yöntemidir. Genetik algoritmalar, geleneksel yöntemlerle çözümü zor veya imkansız olan problemleri sanal olarak evrimden geçirerek en iyi çözümü elde etmeyi amaçlamaktadır.

Yapay sinir ağları, insan beyninde bulunan sinir ağlarının işleyişini modelleyen tekniklerdir. Yapay sinir ağlarına, ilgili olaya ait bilgiler örnekler üzerinde eğitilerek verilmektedir. Böylelikle, örnekler sayesinde açığa çıkarılmış özellikler üzerinde çeşitli genelleştirilmeler yapılarak, daha sonra ortaya çıkacak ya da o ana kadar hiç rastlanmamış olaylara da çözümler üretilmektedir.

Yapay zeka, uygulama alanı olarak bilgisayarlar ve bilgisayar destekli makineleri kullandığı için bilgisayar bilimlerinin bir alt dalı gibi görünmesine rağmen, gelişebilmesi için konusu insan olan diğer pek çok bilim dalının çalışmalarından da faydalanmaktadır. Bu nedenle biyoloji, fizik, matematik, psikoloji, felsefe ve bilgisayar bilimleri yapay zeka çalışmalarına önemli katkılar sağlamaktadır. Böylece çalışma biçimi pek çok bilim dalının katkısıyla çözülmeye çalışılan beynin fonksiyonları, bilgisayarlar ve robotlar kullanılarak modellenmeye çalışılmaktadır (Baş, 2006).

Yapay zeka çalışmaları değişik teknolojilerin doğmasına neden olmuştur. Çünkü günlük olaylar ve problemler sürekli değişmektedir. Değişik yerlerde olayların farklı yönleri insanları ilgilendirmektedir. Bir olay, değişik insanlar tarafından değişik şekillerde yorumlanmaktadır. Bilgisayarların insanların karar verme ve problem çözme

mekanizmalarını taklit etmesinin sağlanması da dolayısıyla farklı teknolojilerin doğmasına neden olmaktadır (Russell ve Norving, 1995).

2.9. Yapay Sinir Ağları

Günümüzde bilgi işleme, büyük ölçüde bilgisayarlarla gerçekleştirilmektedir. Bilgisayarlar çok büyük boyuttaki veri/bilgiyi insanlara göre çok daha hızlı bir şekilde işleyebilmektedir. Aynı şekilde sayısal işlemlerde bilgisayarlar, insan beyniyle kıyaslanamayacak kadar hızlıdır. Ancak ses ve görüntü algılama ve işleme, plan yapma ve öğrenme gibi işlemleri insan beyni çok kısa sürede gerçekleştirebilirken, bilgisayarlar bu işlemleri teorik olarak sonsuz zaman ve sonsuz hafıza kullanarak, çok az miktarda ve çok daha az başarıyla sonuçlandırır (Baş, 2006).

Ayrıca insan beyni, bozulduğunda bütün beyin faaliyetinin durmasına yol açacak merkezi bir işlemciye sahip değildir. Bir bilgisayar programında tek bir komutun bile yanlış olması programın çalışmaması veya tamamen yanlış bir sonuç vermesine neden olurken, insan beynindeki bir sinir hücresinin (nöronun) faaliyetini yitirmesi beynin bütün faaliyetini veya bazı fonksiyonlarını tamamen yitirmesine neden olmaz. Bunun nedeni bilgisayarların seri, beynin elemanlarının ise paralel işlemci mantığı ile çalışmasından kaynaklanır, yani bilgisayarlarda tek bir merkezi işlemci her hareketi sırasıyla gerçekleştirmektedir. Beyinde ise her bir sinir hücresi, büyük bir problemin bir parçasıyla ilgilenen birbirine paralel bağlanmış bir işlemci eleman yapısındadır. Sinir hücreleri kendi başlarına yavaş olmalarına karşın, sistem paralel çalışmasından dolayı hızlıdır.

Beynin ve bilgisayarların birbirlerinden farklı olarak üstün oldukları bu özellikler ve son zamanlarda beynin çalışma sistemi üzerine edinilen bilgilerin artması, insan beynini modelleyerek çalışan bilgisayar araştırmalarını da arttırmıştır.

Bu yaklaşımın sonucu, yapılan çalışmalarda beynin temel işlemci elemanları olan sinir hücrelerinin oluşturduğu ağ yapısının matematiksel modeli oluşturulmaya çalışılmıştır. Beynin bütün davranışlarını modelleyebilmek için fiziksel bileşenlerinin

doğru olarak modellenmesi gerektiği düşüncesi ile çeşitli yapay sinir hücreleri ve ağ modelleri geliştirilmiştir. Böylece, “Yapay Sinir Ağları” denilen günümüz bilgisayarlarının algoritmik hesaplama yöntemlerinden farklı bir çalışma disiplini ortaya çıkmıştır (Saraç, 2004).

Pek çok tanımı bulunan yapay sinir ağları basit olarak, beyindeki sinirlerin çalışmasından esinlenilerek sistemlere öğrenme, hatırlama, bilgiler arasında ilişkiler oluşturma gibi yetenekleri kazandırmayı amaçlayan bilgi işleme algoritmalarıdır. Literatürde çok rastlanan ve Teuvo Kohonen’e (1987) ait tanımda ise yapay sinir ağları “Biyolojik sinir sisteminde olduğu gibi gerçek yaşam nesneleriyle etkileşmeyi amaçlayan basit elemanların ve onların hiyerarşik düzenlemelerinin paralel, içiçe bağlantılı ağları” şeklinde bahsedilmektedir (Taşgetiren, 2005). Daha geniş bir tanım olan Haykin (1999)’in tanımına göre ise “ Bir sinir ağı, basit işlem birimlerinden oluşan, deneyimsel bilgileri biriktirmeye yönelik doğal bir eğilimi olan ve bunların kullanılmasını sağlayan yoğun bir şekilde paralel dağıtılmış bir işlemcidir. Bu işlemci iki şekilde beyin ile benzerlik gösterir:

1. Bilgi, ağ tarafından bir öğrenme süreciyle çevreden elde edilir.
2. Elde edilen bilgileri biriktirmek için sinaptik ağırlıklar olarak da bilinen nöronlar arası bağlantı güçleri kullanılır. (Yurtoğlu, 2005).

Yapay sinir ağları ayrıca sinirsel ağlar (neural nets), bağlantılı ağlar (connectionist networks), yapay sinir sistemleri (artificial neural systems), paralel dağıtılmış ağlar (parallel distributed networks) olarak da adlandırılmaktadır.

Yapay sinir ağlarında bilgi işleme, sinir hücresi adı verilen birçok basit elemanda gerçekleşmektedir. Bir sinir hücresinden gelen sinyal, sinir hücreleri arasındaki ilişkiyi sağlayan bağlantılarla iletilmektedir. Her bir bağlantının bir ağırlık değeri vardır ve girdiyi önemine göre ağırlıklandırarak geçişini sağlamaktadır. Sinir ağı içindeki her bir sinir hücresine ayrı bir aktivasyon fonksiyonu uygulanmaktadır (bu fonksiyon genelde doğrusal olmayan bir fonksiyondur) ve bu fonksiyonun çıkış değeri sayesinde sinir hücresinin çıkış sinyali hesaplanmaktadır. Herhangi bir yapay sinir ağı; sinir hücreleri

arasındaki bağlantının bir modeli yani mimarisi, bağlantılar arasındaki ağırlıkların hesaplanması (bu hesaplama, öğrenme kuralı ya da öğrenme algoritması olarak da adlandırılır) ve aktivasyon fonksiyonu ile tanımlanabilir (Haykin, 1994).

2.9.1. Yapay Sinir Ağlarının Tarihçesi

Yapay Sinir Ağları (YSA), beynin fizyolojisinden yararlanılarak oluşturulan bilgi işleme modelleridir. Bazı bilim adamları, beynin güçlü düşünme, hatırlama ve problem çözme yeteneklerini bilgisayara aktarmaya çalışmışlardır. Bazı araştırmacılar ise, beynin fonksiyonlarını kısmen yerine getiren birçok modeli oluşturmaya çalışmışlardır (Efe ve Kaynak, 2000).

YSA'ların öğrenme özelliği, araştırmacıların dikkatini çeken en önemli özelliklerden birisidir. Çünkü herhangi bir olay hakkında girdi ve çıktılar arasındaki ilişkiyi, doğrusal olsun veya olmasın, elde bulunan mevcut örneklerden öğrenerek daha önce hiç görülmemiş olayları, önceki örneklerden çağrışım yaparak ilgili olaya çözümler üretebilme özelliği YSA'lardaki zeki davranışın da temelini teşkil eder.

İnsan beyni hakkındaki çalışmalar binlerce yıl öncesine dayanmaktadır. Beynin fonksiyonları hakkında bilgi veren ilk eser 1890 yılında William James tarafından yayımlanmıştır. Nöroloji ve psikoloji alanlarında yapılan çalışmaların sinir hücrelerinin yapısı ve sinir ağlarının çalışma biçimlerindeki bilinmeyenleri aydınlatmada katedilen yol, yapay sinir ağlarının gelişimine önemli katkılar yapmıştır.

1940'tan önce Helmholtz, Pavlov, Poincare gibi bazı bilim adamlarının yapay sinir ağları kavramı üzerinde çalıştıkları bilinmektedir, ancak bu çalışmaların matematiksel bir tabanı yoktur. 1940'lı yıllarda McCulloch ve Pitts, Hebb, Rosenblatt gibi bilim adamlarının bu konudaki çalışmaları yapay sinir ağları çalışmalarının mühendislik alanına kayması ve günümüzdeki yapay sinir ağlarının temelini oluşturmaya neden olmuştur.

Modellemeye yönelik araştırmaların başlangıcı, aynı zamanda bir dönüm noktası olarak kabul edilen çalışma, 1943 yılında bir nörobiyolojist olan Warren McCulloch ve bir istatistikçi olan Walter Pitts tarafından yayımlanan “Sinir Aktivitesindeki Düşüncelere Ait Bir Mantıksal Hesap” başlıklı bir makale olmuştur ve bu çalışma ilk dijital bilgisayarlara ışık tutmuştur (Kröse ve Smagt, 1996). John Von Neumann bu makaleyi, “elektronik beyinler” için bir kopya olarak görmüştür. Yapay zeka alanındaki araştırmacılar içerisinde istisnai bir yeri olan Marvin Minsky, bu makaleden aldığı ilhamla makroskobik zeka fikrini ortaya atmış ve uzman sistemlerin doğmasına neden olmuştur (Minsky, 1969).

Donald Hebb 1949 yılında yayımlanan “The Organization of Behavior” adlı kitabı ile öğrenebilen ve uyum sağlayabilen sinir ağları modeli için temel olacak Hebb Kuralı’nı ortaya koymuştur. Hebb kuralı; sinir ağlarının bağlantı sayısının değiştirilebilmesi durumunda ağın öğrenebileceğini ileri sürer (Mehrotra ve ark., 1996).

Frank Rosenblatt, gözün hesaplamaları ile ilgilenmiştir. Bu bilim adamları, öğrenmenin ve zekanın herhangi bir özelliğinin simülasyonunda bilgisayarların aktif olarak nasıl kullanılabileceğini, 1956 yılında düzenlemiş oldukları ilk yapay zeka konferansında tartışmışlardır.

1959’da Bernard Widrow, basit nöron benzeri elemanlara dayanan ve “adaline” (Adaptive Linear Neuron) olarak adlandırılan bir adaptif lineer elemanı geliştirmiştir. Adaline ve iki tabakalı biçimi olan “madaline” (Multiple Adaline); ses tanıma, karakter tanıma, hava tahmini ve adaptif kontrol gibi çok çeşitli uygulamalar için kullanılmıştır. Daha sonraları adaline, ayırık bir çıkış yerine sürekli bir çıkış üretmek için geliştirilmiştir. Widrow, telefon hatları üzerindeki ekoları elimine etmeye yarayan adaptif filtreleri geliştirmede, adaptif lineer eleman algoritmasını kullanmıştır. Bununla ilk defa YSA’lar gerçek bir probleme uygulanmıştır.

Teuvo Kohonen, 1970’lerin ilk yıllarında adaptif öğrenme ve birleşik hafızalar üzerine temel çalışmalar yapmış ve bu olduğu çalışmaları ile danışmansız öğrenme metotlarının gelişmesine ışık tutmuştur (Öztemel, 2003).

Minsky ve Papert'in tek katmanlı algılayıcıların kısıtlılıklarını anlattıkları Perseptron isimli kitaplarında, YSA'nın temel olarak ilgi çekici konular olmadığını belirtmeleri birçok araştırmacının bu alanda çalışmaktan vazgeçmelerine sebebiyet vermiştir (Minsky ve Papert, 1969). Bu olay yapay sinir ağlarının problem çözümlerinde uygulanabilirliğine olan inancın zayıflamasına, bu çalışmalara destek veren ve ABD Pentagon'da yer alan DARPA isimli organizasyonun desteğini çekmesine yol açmıştır. Yapay sinir ağları çalışmaları durma noktasına gelmiş, ancak yapay zeka alanındaki diğer yöntemlerin desteklenmesi artmıştır. Ancak Shun-ichi Amari, James Anderson, Michael Arbib, Kunihiko Fukushima, Stephen Grossberg, Teuvo Kohonen, Arthur Little, Cristoph von der Malsburg ve Paul Werbos gibi bazı bilim adamları yapay sinir ağları alanındaki çalışmalarını sürdürmüşlerdir (Mehrotra ve ark., 1996).

YSA konusunda çalışmaya devam eden Grossberg, YSA modellerini yapılandırmak için nörolojik verinin kullanılması, algı ve hafıza için YSA tabanlı mekanizmaların önerilmesi, belirgin eşitliklerle bütünleşen bir sinaptik model için bir ilişkilendirici kural üzerinde çalışmıştır.

Seksenli yıllar, teknolojinin gelişmesiyle beraber yapay sinir ağları araştırmalarının hızla yaygınlaşmaya başladığı dönemdir. 1982 ve 1984 yıllarında John Hopfield tarafından yayımlanan çalışmalar, farklı tipteki yapay sinir ağlarının matematiksel modellerini üretmiş ve özellikle geleneksel bilgisayar programlama ile çözülemeyen problemlerin yapay sinir ağları ile çözülebileceğini göstermiştir. Bu çalışmaların pratikte uygulanabilirliği yapay sinir ağlarına olan ilginin yeniden artmasına neden olmuştur.

1982 yılında Kohonen "özörgütlemeli nitelik haritaları (selforganizing feature maps - SOM)" konusundaki çalışmasını yayımlamıştır. Bu çalışmadan yola çıkarak Hinton ve çalışma arkadaşları Boltzman makinesini geliştirmiştir. 1982 yılında ilgi çeken bir başka gelişme, moleküler biyolojiden beyin kuramcılığına geçiş yapan bir model Caltech fizikçisi Hopfield tarafından sunulmuştur.

1986'da Rumelhart ve McClelland karmaşık ve çok katmanlı ağlar için geri yayılım öğrenme algoritmasını (backpropagation) ortaya koymuşlardır. Bu çalışma ile Parker ve Werbos'un yaptıkları araştırmalar, tek katmanlı ağlarla çözülemeyen XOR probleminin çözülmesini sağlamıştır (Mehrotra ve ark., 1996). 1987 yılında yapılan ilk yapay sinir ağları sempozyumundan sonra YSA uygulamaları yaygınlaşmıştır. 1988'de Broomhead ve Lowe, Radyal Tabanlı Fonksiyonlar (Radial Basis Functions - RBF) modelini geliştirmişlerdir.

Doksanlı yılların başlarından itibaren sayısız çalışma ve uygulamalar geliştirilmiş, özellikle yapay sinir ağlarını eğitmek için gerekli süreleri kısaltmak, yeni ve daha verimli öğrenme algoritmaları geliştirmek, zamana bağlı olarak değişen modellere karşılık verebilen ağlar ve silikon sinir ağları geliştirmek, yapılan araştırmaların en önemli amaçlarını oluşturmaktadır.

Günümüzde, Yapay Sinir Ağları ile ilgili araştırmalar yapan çok sayıda bilim adamı ve araştırma grupları bulunmakla birlikte ve farklı bilimlerde ve ilgi alanlarında çalışmalar yaparak birçok yeni gelişmeyi sunmaya devam etmektedirler.

2.9.2. Temel Yapay Sinir Ağı Kavramları

Yapay sinir ağları, bilgiyi insan beynine benzer bir şekilde işler ve örnek yolu ile öğrenir. Bir yapay sinir ağı, çok sayıda ve birbiri ile bağlı, belirli bir problemi çözmek için paralel çalışan işlem elemanlarından (nöron) oluşur. Yapay sinir ağı modelleri, kullanılan topoloji, öğrenme stratejisi (öğretmenli, öğretmensiz vb.) ve öğrenme algoritması ile tanımlanır.

Bu bölümde, yapay sinir ağları ile ilgili kavramlar, mimariler ve bu çalışmada kullanılan algoritmalar ile ilgili temel bilgiler yer almaktadır.

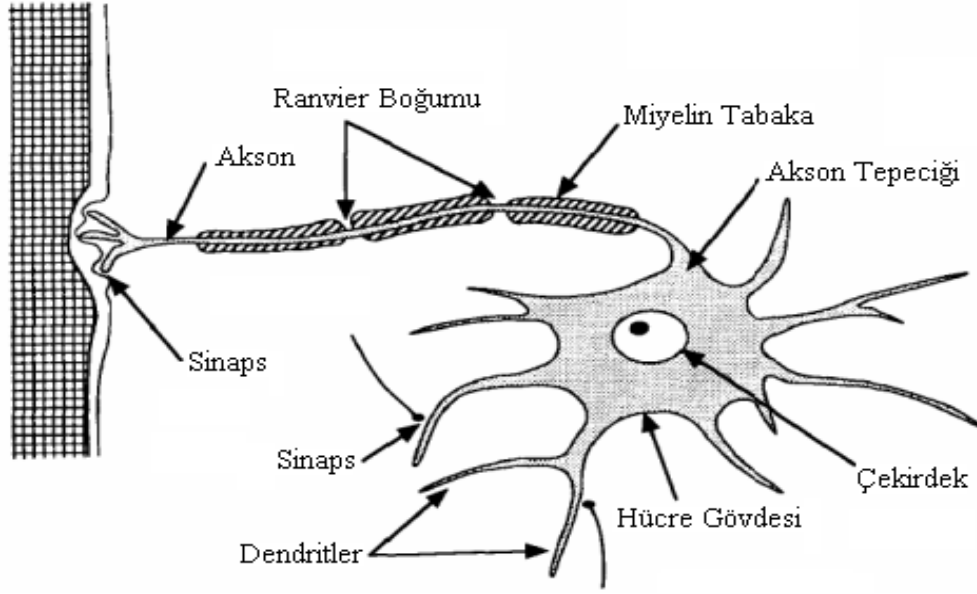
2.9.3. Biyolojik Altyapı (Biyolojik Sinir Ağları)

Beynin çalışma sistemi, hala tam olarak çözölememiş bir sırdır. Özellikle, vücudun diğer organlarındaki hücrelerden farklı olarak yenilenebilme özelliği olmayan beyin, insana hatırlama, düşünme ve her hareketinde geçmiş deneyimlere başvurma yeteneğini sağlayan en temel elemanı olan sinir hücrelerinin çalışma sistemi hala gizliliğini büyük ölçüde korumaktadır. İnsan beyninde ortalama 100 milyar sinir hücresi ve her bir sinir hücresinin 1.000 ile 10.000 arası komşu bağlantısı vardır. Beynin gücü bu çok sayıdaki sinir hücresi ve aralarındaki sonsuz sayıdaki bağlantılardan, genetik yapıları ile öğrenme yeteneklerinden kaynaklanmaktadır (Anderson ve McNeill, 1992).

Yetişkin bir insanda ortalama olarak 1.5 kg. ağırlıkta olan beyin çalışma frekansı 100 Hz'dir. Yenilenme özelliği olmayan beyin gelişmesi ve ağırlık kazanması, sinir hücrelerinin büyümesi ve aralarında yeni bağlantılar kurulmasından kaynaklanmaktadır (Kulkarni, 1994).

Bir sinir hücresi; hücre gövdesi (soma), bu gövdeyi çevreleyen ve saç teline benzeyen dendritler (dendrite) ile gövdeye bağlı bir kuyruk şeklindeki aksondan (axon) meydana gelmektedir. Temel olarak sinir hücrelerinde dendritler üzerinden girişler (sinaptik uçlara gelen sinirsel akımlar) alınmakta, soma tarafından girişler genelde doğrusal olmayan bir şekilde işlenmektedir. Şekil 2.9'da sinir hücresi yer almaktadır.

Sinir hücresindeki sinyalleri taşıyan uzun bir sinirsel bağlantı halindeki akson ise, işlenen girişleri çıkışa aktarmaktadır. Aksonlar, girişlerin iletilme hızını artıran bir çeşit yalıtım maddesi olan miyelin tabaka ile kaplıdır. Miyelin tabakanın üzerinde birkaç milimetrede bir yer alan ve girişleri periyodik olarak yeniden üretmeye yarayan ranvier boğumu (ranvier node) yer almaktadır. Akson dendrit bağlantısı ise sinaps (synapse) olarak adlandırılmaktadır. Sinaps sinir hücreleri arasındaki elektrokimyasal bağlantıyı sağlamaktadır.



Şekil 2.9: Biyolojik Sinir Hücresinin Yapısı (Freeman ve Skapura, 1991)

İnsan beyninin 100 milyar sinir hücresinden ve 60 trilyon synapse bağlantısından oluştuğu düşünülürse son derece karmaşık ve etkin bir yapı olduğu anlaşılır. Diğer taraftan bir sinir hücresinin tepki hızı, günümüz bilgisayarlarına göre oldukça yavaş olmakla birlikte duyuşal bilgileri son derecede hızlı değerlendirebilmektedir. Bu nedenle insan beyni; öğrenme, birleştirme, uyarılma ve genelleştirme yeteneği sayesinde son derece karmaşık, doğrusal olmayan ve paralel dağılmış bir bilgi işleme sistemi olarak tanımlanabilir (Kulkarni, 1994).

Nöronu oluşturan temel parçalar aşağıdaki gibidir:

- i. **Soma ya da hücre gövdesi**, nöronun mantıksal fonksiyonlarının neredeyse tamamının gerçekleştiği geniş yuvarlak merkezi gövdedir. Hücre gövdesi nöronun canlı kalması için gerekli olan genetik ve metabolik mekanizmayı içerir.
- ii. **Akson (çıktı)**, somaya bağlanmış sinir lifidir ve nöronun en son çıktı kanalı olarak davranır. Akson genelde çok dallıdır. Aksonun ilk baştaki bölümünde işaretler sinir puls serilerine dönüşerek aksondan hedef hücrelere (diğer nöronlara, reseptörlere ve kaslara vs.) zayıflamadan akson boyunca ilerler.
- iii. **Dendritler (girdiler)**, çok dallı lif ağacı yapısındadırlar. Bu uzun ve düzensiz şekilli sinir lifleri gövdeye bağlanmıştır. Nöron başına 103 -104 dendrit düşer.

Dendritler nöronu diğer nöronlara bağlar. Dendritler nöronun sinaps denilen özel kontak noktaları vasıtasıyla diğer nöronlardan girdi almasını sağlar ya da diğer dendritleri sinaptik çıkışlara bağlar. Genelde dendritler girdi işaretleri için alıcı yüzeyler oluştururlar ve işaretleri azaltarak hücre gövdesine ya da aksona iletirler.

- iv. **Sinapslar**, aksonların diğer nöronlardan ayıran sınır noktalarını oluşturan özelleşmiş kontaklarıdır. Sinapslar bazı hücrelerin aksonları ile girdi dendritlerinin omurgalarını birleştiren ara yüz görevini üstlenir. Nöronda bilgi depolanmasının sinaps bağlantılarında, özellikle bu bağlantıların şekillerinde ve sinaptik bağlantıların gücünde (ağırlıklarında) olduğu düşünülür.

Basitleştirilmiş nöron modeline göre hücre gövdesi (soma), diğer nöronlardan girdileri ayarlanabilir sinaptik dendritlere olan bağlantılar üzerinden alır. Hücrenin çıkış işareti (sinir darbelerinden oluşan) diğer nöronların sinapsislerine dallanmış akson üzerinden iletilir. Nöron aktifleştğinde diğer nöronların sinaptik bağlantılarına akson üzerinden iletilen sinir darbeleri (darbe katarı) oluşturur. Çıktı puls oranı (darbe yoğunluğu), girdi işaretinin gücüne ve ilgili sinaptik bağlantıların gücüne ya da ağırlığına bağlıdır (Cichoki, 1993).

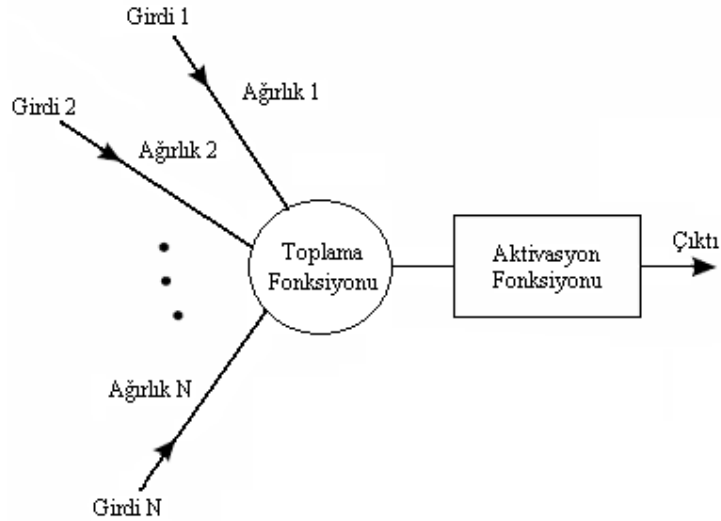
2.9.4. Yapay Sinir Ağı Nöron Modelleri

Biyolojik sinir ağlarının sinir hücrelerinden oluşması gibi, yapay sinir ağları da yapay sinir hücrelerinden meydana gelmektedir (Lagaros ve Papadrakakis, 2004). Yapay sinir hücreleri ayrıca düğüm (node), birim (unit) veya işlemci eleman (processing unit) olarak da adlandırılmaktadır. Biyolojik sinir ağı ve yapay sinir ağının karşılaştırılması Tablo 2.2’de yer almaktadır. Bir yapay sinir ağı, birbiriyle bağlantılı çok sayıda yapay sinir hücresinden meydana gelmektedir. Yapay sinir hücreleri biyolojik sinir hücrelerinin basit bir modelidir. Yapay sinir hücresinin yapısı Şekil 2.10’da yer almaktadır.

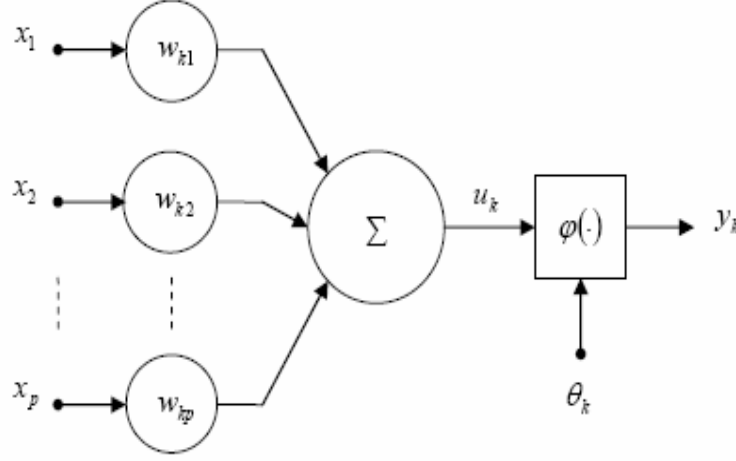
Tablo 2.2: Biyolojik Sinir Ağı ve Yapay Sinir Ağı'nın Karşılaştırılması (Öztemel, 2003)

Biyolojik Sinir Ağı	Yapay Sinir Ağı
Sinir Sistemi	Sinirsel Hesaplama Sistemi
Sinir Hücresi (Nöron)	İşlemci Eleman (Yapay Sinir Hücresi, Düğüm)
Sinaps	İşlemci Elemanlar Arasındaki Bağlantı Ağırlıkları
Dendrit	Toplama Fonksiyonu
Hücre Gövdesi	Aktivasyon Fonksiyonu
Akson	İşlemci Eleman Çıktısı

Yapay sinir ağlarının içinde bulunan tüm sinir hücreleri bir veya birden fazla girdi alırlar ve tek bir çıktı verirler (Gupta ve Sinha, 1999). Bu çıktı yapay sinir ağının dışına verilen bir çıktı olabileceği gibi başka bir yapay sinir hücresine girdi olarak da verilebilir. Şekil 2.11’de yapay sinir ağı nöron modeli verilmiştir.



Şekil 2.10: Yapay Sinir Hücresinin Yapısı (Gurney, 1996)



Şekil 2.11: Yapay Sinir Ağı Nöron Modeli (Gurney, 1996)

k nöronu,

$$U_k = \sum_{j=1}^p W_{kj} X_j$$

ve

$$y_k = \varphi(U_k - \theta_k)$$

denklemleriyle tanımlanabilir. Burada, $x_1, x_2, \dots, x_p$ giriş sinyalleri, $w_{k1}, w_{k2}, \dots, w_{kp}$ sinaptik ağırlıklar, u_k doğrusal birleştirici çıktısı, θ_k eşik, $\varphi(.)$ aktivasyon fonksiyonu, ve y_k çıkış sinyalidir. θ_k eşikinin uygulanmasıyla, doğrusal birleştiricinin u_k çıkışında, $V_k = U_k - \theta_k$ şeklinde bir dönüşüm olmaktadır.

2.9.5. Yapay Sinir Ağlarının Yapısı

Sinir hücreleri bir grup halinde işlev gördüklerinde ağ (network) olarak adlandırılırlar ve böyle bir grupta binlerce nöron bulunur. Yapay nöronların birbirleriyle bağlantılar aracılığıyla bir araya gelmeleri yapay sinir ağını oluşturmaktadır. Yapay sinir ağıyla aslında biyolojik sinir ağının bir modeli oluşturulmak istenmektedir. Nöronların aynı doğrultu üzerinde bir araya gelmeleriyle katmanlar oluşmaktadır. Katmanların değişik şekilde birbirleriyle bağlanmaları değişik ağ mimarilerini doğurur (Haykin, 1994). Şekil 2.12'de 3 katmanlı ileri beslemeli yapay sinir ağı yapısı görülmektedir.

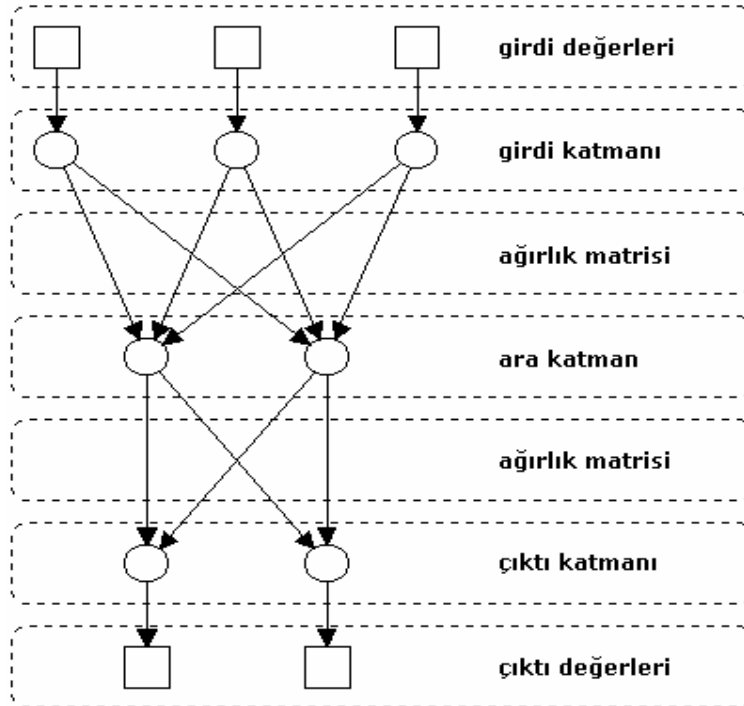
Genel olarak hücreler üç tip katman halinde ve her katman içinde paralel olarak bir araya gelerek ağı oluşturmaktadır. Bu katmanlar aşağıda belirtilmiştir:

- Girdi Katmanı
- Ara Katman
- Çıktı Katmanı

Girdi katmanı: Dış ortamdan elde edilen girdiyi içermektedir. Bu katmandaki proses elemanları dış dünyadan bilgileri alarak ara katmanlara transfer ederler. Bazı ağlarda girdi katmanında herhangi bir bilgi işleme olmaz.

Ara (gizli) katman: Girdi katmanından gelen bilgiler işlenerek çıktı katmanına gönderilirler. Bu bilgilerin işlenmesi ara katmanlarda gerçekleştirilir. Bir ağ içinde birden fazla ara katman olabilir.

Çıktı katmanı: Bu katmandaki proses elemanları ara katmandan gelen bilgileri işleyerek ağı girdi katmanından sunulan girdi seti için üretmesi gereken çıktıyı üretirler. Üretilen çıktı dış dünyaya gönderilir. (Öztürk ,2003 - Aksoy ve Öztürk, 2004).



Şekil 2.12: Tipik 3 Katmanlı İleri Beslemeli Yapay Sinir Ağı Mimarisi (Fröhlich, 1997)

Biyolojik sinir ağlarında olduğu gibi yapay sinir ağlarında da temel unsur, yapay sinir hücresidir. Yapay sinir hücresi, Yapay Sinir Ağının çalışmasına esas teşkil eden en küçük ve temel bilgi işleme birimidir. Ağ içinde yer alan tüm nöronlar bir veya birden fazla girdi alırlar ve tek bir çıktı verirler. Bu çıktı yapay sinir ağının dışına verilen çıktılar olabileceği gibi başka nöronlara girdi olarak da kullanılabilirler. Geliştirilen hücre modellerinde bazı farklılıklar olmakla birlikte genel özellikleri ile bir yapay hücre modeli 5 bileşenden oluşmaktadır. Bunlar;

- Girdiler
- Ağırlıklar
- Birleştirme Fonksiyonu
- Aktivasyon Fonksiyonu
- Çıktı

Girdiler: Girdiler, diğer hücrelerden ya da dış ortamlardan hücreye giren bilgilerdir.

Ağırlıklar: Bilgiler, bağlantılar üzerindeki ağırlıklar üzerinden hücreye girer ve ağırlıklar, ilgili girişin hücre üzerindeki etkisini belirler. Ağırlıklar bir nöronda girdi olarak kullanılacak değerlerin göreceli kuvvetini (matematiksel katsayısını) gösterir. Yapay sinir ağı içinde girdilerin nöronlar arasında iletimini sağlayan tüm bağlantıların farklı ağırlık değerleri bulunmaktadır. Böylelikle ağırlıklar her işlem elemanının her girdisi üzerinde etki yapmaktadır.

Birleştirme (toplama) fonksiyonu: Birleştirme fonksiyonu, bir hücreye gelen net girdiyi hesaplayan bir fonksiyondur ve genellikle net girdi, girişlerin ilgili ağırlıkla çarpımlarının toplamıdır.

$$s = \sum x_i W_i$$

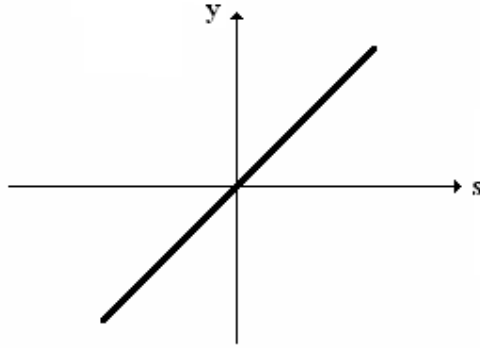
Birleştirme fonksiyonu, ağ yapısına göre maksimum alan, minimum alan ya da çarpım fonksiyonu olabilir.

Aktivasyon Fonksiyonu: Transfer fonksiyonu olarak da geçen aktivasyon fonksiyonu, birleştirme fonksiyonundan elde edilen net girdiyi bir işlemden geçirerek hücre çıktısını belirleyen ve genellikle doğrusal olmayan bir fonksiyondur. Hücre

modellerinde, hücrenin gerçekleştireceği işleve göre çeşitli tipte aktivasyon fonksiyonları kullanılabilir. Aktivasyon fonksiyonları sabit parametrelili ya da uyarlanabilir parametrelili seçilebilir. En uygun aktivasyon fonksiyonu tasarımcının denemeleri sonucunda belli olur. Aktivasyon fonksiyonunun seçimi büyük ölçüde yapay sinir ağının verilerine ve ağın neyi öğrenmesinin istendiğine bağlıdır. Geçiş fonksiyonları içinde en çok kullanılanı sigmoid ve hiperbolik tanjant fonksiyonlarıdır. Örneğin eğer ağın bir modelin ortalama davranışını öğrenmesi isteniyorsa sigmoid fonksiyon, ortalamadan sapmanın öğrenilmesi isteniyorsa hiperbolik tanjant fonksiyon kullanılması önerilmektedir. Aktivasyon fonksiyonları bir Yapay Sinir Ağında nöronun çıkış genliğini, istenilen değerler arasında sınırlar. Bu değerler genelde $[0,1]$ veya $[-1,1]$ arasındadır. Yapay Sinir Ağında kullanılacak aktivasyon fonksiyonlarının türevinin alınabilir olması ve süreklilik arz etmesi gereklidir. Lineer veya doğrusal olmayan transfer fonksiyonlarının kullanılması Yapay Sinir Ağlarının karmaşık ve çok farklı problemlere uygulanmasını sağlamıştır. Aşağıda, hücre modellerinde yaygın olarak kullanılan çeşitli aktivasyon fonksiyonları tanıtılmıştır (Krose ve Smagt, 1996).

Doğrusal Aktivasyon Fonksiyonu

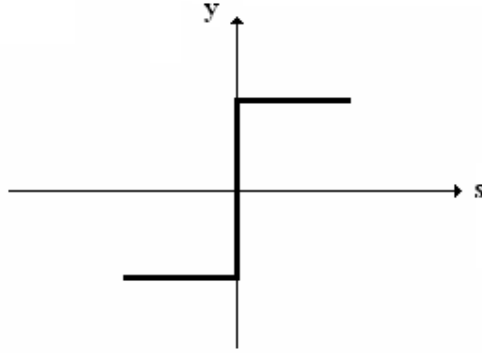
Doğrusal problemlerin çözümünde kullanılan bu fonksiyon, gelen net girdileri doğrudan hücre çıkışı olarak vermektedir. Matematiksel olarak $y = F(s) = s$ şeklinde tanımlanmaktadır.



Şekil 2.13: Doğrusal Aktivasyon Fonksiyonunun Şekilsel Gösterimi

Adım Fonksiyonu

Gelen net girdi değerin belirlenen bir eşik değerin altında ya da üstünde olmasına göre hücrenin çıktısı 1 veya 0 değerlerini almaktadır.

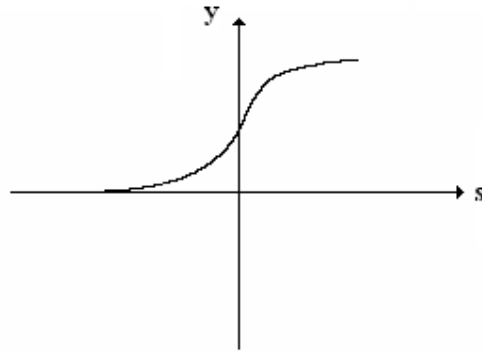


Şekil 2.14: Adım Fonksiyonunun Şekilsel Gösterimi

Sigmoid Aktivasyon Fonksiyonu

Sigmoid aktivasyon fonksiyonu, türevi alınabilir, sürekli ve doğrusal olmayan bir fonksiyon olması nedeniyle uygulamada en çok kullanılan aktivasyon fonksiyonudur. Bu fonksiyon, net girdinin her değeri için 0 ile 1 arasında bir değer üretmektedir ve formülü şu şekildedir.

$$y = F(s) = \frac{1}{1 + e^{-s}}$$

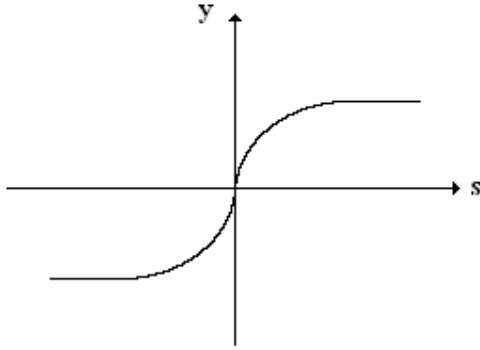


Şekil 2.15: Sigmoid Aktivasyon Fonksiyonunun Şekilsel Gösterimi

Hiperbolik Tanjant Fonksiyonu

Hiperbolik tanjant fonksiyonu, gelen net girdinin tanjant fonksiyonundan geçirilmesi ile hesaplanmaktadır ve sigmoid aktivasyon fonksiyonunun farklı bir çeşididir. Sigmoid aktivasyon fonksiyonunda çıktı 0 ile 1 arasında bir değer alırken, hiperbolik tanjant fonksiyonunda çıktı -1 ile 1 arasındadır ve şu şekilde hesaplanır.

$$y = F(s) = \frac{e^s + e^{-s}}{e^s - e^{-s}}$$



Şekil 2.16: Hiperbolik Tanjant Fonksiyonunun Şekilsel Gösterimi

Çıktı: Aktivasyon fonksiyonundan geçirildikten sonra elde edilen değer, çıktı değeridir.

2.9.6. Yapay Sinir Ağlarının Çalışma Sistemi

Sinir ağı ilişkilendirmeyi yapan iç kuralları kendisi üretir ve bu kuralları, bunların sonuçlarını örneklerle karşılaştırarak düzenler. Deneme ve yanılma ile ağ kendi kendine işi nasıl yapması gerektiğini öğretir. YSA'larda bilgi saklama, verilen eğitim özelliğini kullanarak eğitim örnekleri ile yapılır. Sinirsel hesaplama, algoritmik programlamaya bir seçenek oluşturan, temel olarak yeni ve farklı bir bilgi işleme olayıdır. Uygulama imkanının olduğu her yerde, tamamen yeni bilgi işleme yetenekleri geliştirebilir. Bu sayede de geliştirme harcamaları ile geliştirme süresi büyük ölçüde azalır.

Bir yapay sinir ağı girdi setindeki değişiklikleri değerlendirerek öğrenir ve buna bir çıktı üretir. Öğrenme işlemi benzer girdi setleri için aynı çıktıyı üretecek bir öğrenme algoritması ile gerçekleşir. Öğrenme setindeki girdilerin istatistiksel özelliklerinin çıkarılarak benzer girdilerin gruplandırılmasını sağlayan bir işlemdir. Sinir yapılarına benzetilerek bulunan ağların eğitimi de, normal bir canlının eğitimine benzemektedir. Sınıfların birbirinden ayrılması işlemi, öğrenme algoritması tarafından örnek kümeden alınan bilginin adım adım işlenmesi ile gerçekleşir. YSA kullanılarak makinelere öğrenme, genelleme yapma, sınıflandırma, tahmin yapma ve algılama gibi yetenekler kazandırılmıştır.

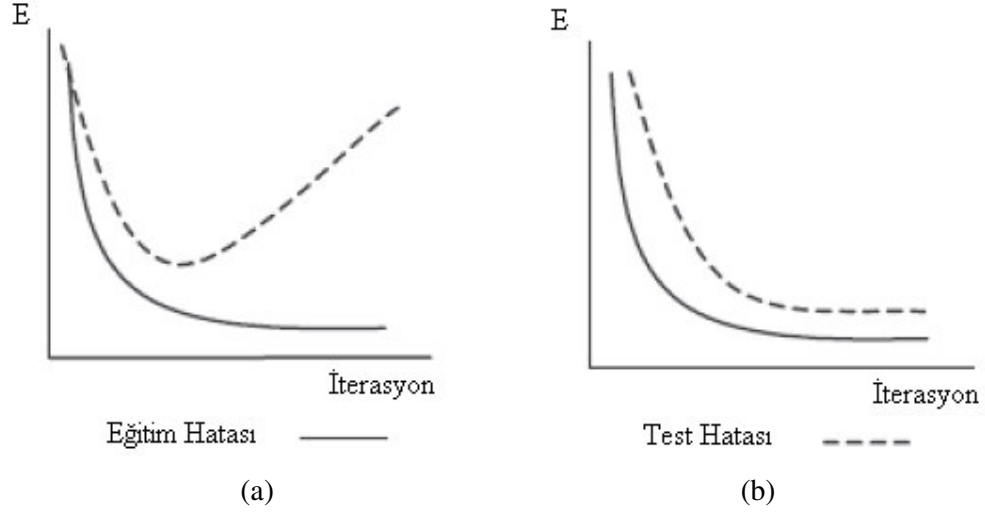
2.9.7. Yapay Sinir Ağlarında Eğitim, Doğrulama ve Öğrenme

Yapay sinir ağlarında işlemci elemanlar arasındaki bağlantıların ağırlık değerlerinin değiştirilmesi ve belirlenmesi işlemine “ağın eğitilmesi” denilmektedir. Başlangıçta rastgele atanan bu ağırlık değerleri, ağa gösterilen örneklerle değiştirilmektedir. Amaç, ağa gösterilen örnekler için doğru çıktıları üretecek ağırlık değerlerinin belirlenmesidir. Yapay sinir ağının eğitilmesinde kullanılan girdi ve çıktı çiftlerinden oluşan verilerin tümüne “eğitim seti” adı verilmektedir.

Yapay sinir ağında ağırlıkların doğru değerlere ulaşması, örneklerin temsil ettiği problem konusunda ağın *genellemeler* yapabilme yeteneğine kavuşması demektir. Genelleme, yapay sinir ağının eğitiminde kullanılmamış, ancak aynı evrenden gelen girdi-çıkı örneklerini doğru sınıflandırabilme yeteneği olarak tanımlanır. Ağın bu genelleştirme özelliğine kavuşması işlemine “ağın öğrenmesi” denilir. Bir başka deyişle, ağırlıkların sürekli olarak yenilenmesi ile istenilen sonuca ulaşmaya kadar geçen zamana öğrenme denir. YSA’da ağırlık değişimi yoksa öğrenme işlemi de durmuş demektir.

Ezberleme, genellemenin iyi gerçekleşmediğini gösterir. Verilerin ezberlenmiş olması yapay sinir ağı için istenmeyen bir durumdur. Verileri ezberleyen ağa ait hata, eğitim verilerinde düşme, test verilerinde ise artma eğilimi gösterir. Bundan dolayı birçok yapay sinir ağı yazılımı ağın eğitim ve test verilerine ait hataları grafik olarak

göstermektedir. Verileri ezberleyen ağ gerçek hayattaki örüntüyü iyi temsil edemeyeceği için kullanılamaz. Şekil 2.17-a' da ağ verileri ezberlediği için eğitim hatası azalma, test hatası ise artma eğilimi göstermektedir. Şekil 2.17-b' de ise ağ kabul edilebilir bir genellemeye ulaşmıştır (Selçuk, 2003).



Şekil 2.17: (a) Verileri Ezberleyen (b) İyi Genellemeye Ulaşan Ağlardaki Hata Eğrileri

Yapay sinir ağlarında öğrenme iki aşamada gerçekleşir. Birinci aşamada ağa gösterilen örnek için ağın üreteceği çıktı belirlenir. Bu çıktı değerinin doğruluk derecesine göre, ikinci aşamada ağın bağlantılarının sahip olduğu ağırlıklar değiştirilmektedir. Ağın çıktısının belirlenmesi ve ağırlıkların değiştirilmesi öğrenme kuralına bağlı olarak farklı şekillerde olmaktadır.

Geri yayılma (Backpropagation) algoritması birçok uygulamada kullanılan en yaygın öğrenme algoritmasıdır. Geri yayılma öğrenme kuralı, ağ çıkışındaki mevcut hata düzeyine göre, her bir katmandaki (giriş, gizli, çıkış) ağırlıkları yeniden hesaplamak için kullanılmaktadır. Geri yayılmalı ağ modelinde, giriş, gizli ve çıkış olmak üzere üç tip katman bulunmakla birlikte, gizli katman sayısı problemin yapısına bağlı olarak artırılabilir.

Bir girdi verisi, ağın ilk katmanında yer alan nöronlara uygulandığında, en üst katman olan çıkış katmanına erişinceye kadar, bu veri üzerinde çeşitli işlemler gerçekleştirilir. Bu işlemlerin sonucunda elde edilen çıktı, olması gereken çıktı ile

karşılaştırılır ve aradaki fark her çıktı nöronu için hata sinyali olarak hesaplanır. Hesaplanan hata sinyalleri, her çıktı nöronuna karşı gelen ara katmandaki nöronlara aktarılır. Böylece ara katmandaki nöronların her biri toplam hatanın sadece hesaplanan bir kısmını içerir. Bu süreç, her katmandaki düğümler toplam hatanın belirli bir kısmını içerecek şekilde, giriş katmanına kadar tekrarlanır. Elde edilen hata sinyalleri temel alınarak, bağlantı ağırlıkları her nöronda yeniden düzenlenir. Bu düzenleme ile tüm verilerin genellemesinin yapıldığı bir duruma ağ yakınsamış olur.

İleri besleme aşamasında, girdi katmanındaki nöronlar, girdi verisini doğrudan gizli katmana iletirler. Gizli katmandaki her bir nöron, kendi girdi değerini ağırlıklandırarak, toplam değer hesap eder ve bunu transfer fonksiyonundan geçirerek bir sonraki katmana iletir. Katmanlar arasındaki ağırlıklar başlangıçta rastgele seçilir.

Çıktı katmanındaki her bir nöron, ağırlıklandırılmış değeri hesaplandıktan sonra, hesaplanan değer transfer fonksiyonu ile karşılaştırılarak mevcut hata en küçüklenmeye çalışılır. Hata değeri istenen seviyeye ininceye kadar, iterasyonlara devam edilir ve böylece ağı eğitimi tamamlanmış olur.

Bir yapay sinir ağının eğitiminin tamamlanmasının ardından, ağın öğrenip öğrenmediğini (performansını) ölçmek için denemeler yapılarak ağın test edilmesi veya doğrulanması gerekmektedir. Bir ağı test etmek için ağın eğitimi sırasında görmediği, yani veri setinden test amaçlı olarak ayrılan örnekler kullanılır ve bu örnekler “test seti” veya “doğrulama seti” adını alır. Test işleminde ağın ağırlık değerleri değiştirilmemektedir. Örnekler ağa gösterilmekte ve ağ eğitimi sırasında belirlenen ağırlık değerlerini kullanarak daha önce görmediği bu örnekler için çıktılar üretmektedir. Elde edilen çıktıların doğruluk dereceleri ağın öğrenmesi hakkında bilgi vermektedir. Sonuç ne kadar iyi olursa eğitimin performansı da o kadar iyi demektir (Öztemel, 2003).

Eğitim ve test setleriyle ilgili temel sorun, yeterli eğitim ve test verisi miktarının ne olması gerektiğidir. Sınırsız sayıda veri bulunabilmesi durumunda, yapay sinir ağı mümkün olduğunca çok veriyle eğitilmelidir. Eğitim verisinin yeterli olup olmadığı

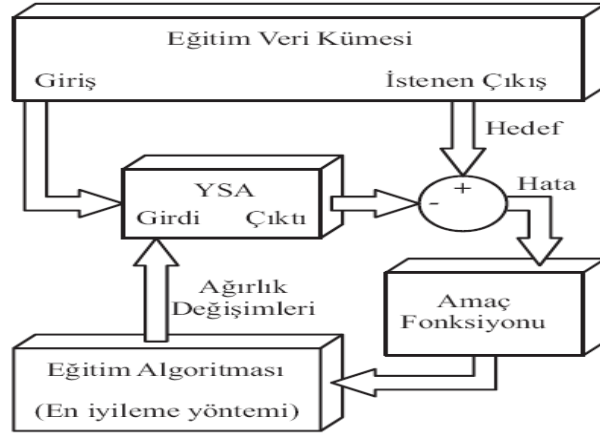
konusunda emin olmanın yolu, eğitim verisinin miktarının artırılarak, bunun ağın performansında bir değişiklik yaratıp yaratmadığına bakmaktır. Ancak bunun mümkün olmadığı durumlarda yapay sinir ağına eğitim ve test verileri üzerindeki performansının yakın olması da verilerin yeterli olduğuna ilişkin bir gösterge olarak kabul edilebilir. Bununla birlikte eğitim setinin içermesi gereken veri miktarı değişik yapay sinir modellerine ve özellikle problemin gösterdiği karmaşıklığa göre farklılık göstermektedir.

2.9.8. Yapay Sinir Ağlarının Sınıflandırılması

Yapay sinir ağlarında sınıflandırma işlemi ağ topolojilerine ve öğrenme algoritmalarına göre değişmektedir.

Yapay sinir ağlarında her ağ modeli kendine göre bir öğrenme algoritması kullanabilse de temel olarak danışmanlı öğrenme ve danışmansız öğrenme olmak üzere iki tür öğrenme yöntemi vardır:

Eğitici (danışmanlı) öğrenme: Yapay sinir ağlarında en fazla kullanılan öğrenme metodu olan eğitici öğrenme yönteminde, YSA'nın eğitimi için eğitici veriler (eğitim seti) kullanılmaktadır. Eğitim seti; girdi verileri ve istenen (hedef) bilgiler olmak üzere iki ayrı vektör gibi düşünülebilir. Vektörlerin her bir karşılıklı elemanları bir eğitim çiftini oluşturmaktadır. Eğitim seti ağına eğitime başlamadan önce belirlenmektedir. Ağına eğitimi için, öncelikle bağlantı ağırlıklarına rastgele değerler atanır. İstenilen bilgiler ve ağına çıktısı arasındaki fark (hata) minimize edilene kadar eğitimi sürdürülür. Ağına çıktısındaki hatanın azalması, ağırlıkların kararlılık kazanması demektir. Genelleştirilmiş delta kuralı ve geri besleme algoritması danışmanlı öğrenme metoduna örnek olarak verilebilir. Bir yapay sinir ağına, eğitici öğrenme stratejisi ile nasıl eğitildiği Şekil 2.18'de gösterilmiştir.



Şekil 2.18: Bir yapay sinir ağının eğitilmesi işlemi (Yavuz, 2006)

Eğitici-siz (danışman-sız) öğrenme: Eğitici-siz öğrenme yönteminde eğitim seti kullanılmamaktadır. Ağ, birbirine benzer girdi bilgilerini gruplamakta veya girdi bilgisinin hangi gruba ait olduğunu göstermektedir. Ağ eğitimi için sadece girdi bilgileri yeterli olmakta, referans alınacak (eğitici) bilgiye ihtiyaç duyulmamaktadır. Ağ, girdi sinyallerinin yönüne veya düzenine bakmakta ve ağın fonksiyonuna göre ayarlama yapmaktadır. Yani girişte verilen örnek değerlerden faydalanan parametreler arasındaki ilişkileri kendi kendine öğrenmektedir. ART (Adaptive Resonance Theory) ağları, eğitici-siz öğrenmeden faydalanmaktadır.

Ayrıca hem danışmanlı hem de danışman-sız öğrenmeyi birlikte kullanan yapay sinir ağları da bulunmaktadır (Curry ve Morgan, 1997). Bu ağlarda ağırlıkların bir kısmı danışmanlı öğrenmeyle bir kısmı da danışman-sız öğrenmeyle ayarlanır. Radyal tabanlı yapay sinir ağları (Radial Basis Networks - RBN) ve olasılık tabanlı yapay sinir ağları (Probability Based Neural Networks - PBNN) bunlara örnek olarak verilebilir.

Bu iki temel öğrenme metodundan başka literatürde destekleyici öğrenme (reinforcement learning) adı verilen bir metot daha bulunmaktadır. Bu metottan bazı kaynaklarda danışmanlı bazı kaynaklarda danışman-sız öğrenmenin bir alt türü olarak, bazı kaynaklarda ise kendi başına bir öğrenme metodu olarak bahsedilmektedir. Bu metoda göre, yapay sinir ağına sadece girdiler verilmekte, bu girdilere karşılık çıktıları üretmesi beklenmekte ve bu çıktıların ne derece doğru olduğunu belirten bir skor veya derece bildirilmektedir (Jain ve Mao, 1996).

Ağ topolojisi, yapay sinir ağlarında işlemci elemanlar arasındaki bağlantının şeklidir. Yapay sinir ağları için ileri beslemeli (feed-forward) ve geri beslemeli (feedback) veya yinelemeli (recurrent) olmak üzere iki genel topoloji bulunmaktadır (Krose ve Smagt, 1996).

İleri beslemeli ağlar: İleri beslemeli bir ağda işlemci elemanlar genellikle katmanlara ayrılmışlardır. İşaretler, giriş katmanından çıkış katmanına doğru tek yönlü bağlantılarla iletilir. İşlemci elemanlar bir katmandan diğer bir katmana bağlantı kurarlarken, aynı katman içerisinde bağlantıları bulunmaz. Bu nedenle ileri beslemeli yapay sinir ağlarında, işlemci elemanlar arasındaki bağlantılar bir döngü oluşturmamakta ve bu ağlar girilen verilere hızlı bir şekilde çıktı üretebilmektedirler. İleri beslemeli YSA'da, hücreler katmanlar şeklinde düzenlenir ve bir katmandaki hücrelerin çıkışları bir sonraki katmana ağırlıklar üzerinden giriş olarak verilir. Giriş katmanı, dış ortamlardan aldığı bilgileri hiçbir değişikliğe uğratmadan orta (gizli) katmandaki hücrelere iletir. Bilgi, orta ve çıkış katmanında işlenerek ağ çıkışı belirlenir.

Geri beslemeli ağlar: Bir geri beslemeli sinir ağı, çıkış katmanı ve ara katmanlardaki çıkışların, giriş birimlerine veya önceki ara katmanlara geri beslendiği bir ağ yapısıdır. Böylece, girişler hem ileri yönde hem de geri yönde aktarılmış olur. Bu çeşit sinir ağlarının dinamik hafızaları vardır ve bir andaki çıkış hem o andaki hem de önceki girişleri yansıtır. Bundan dolayı, özellikle önceden tahmin uygulamaları için uygundur (Haykin 1994).

Geri beslemeli yapay sinir ağlarında, en az bir işlemci elemanın çıktısı, kendisine ya da diğer işlemci elemanlara girdi olarak verilmekte ve genellikle geri besleme bir geciktirme elemanı (ara katman veya çıktı katmanındaki aktivasyon değerlerini bir sonraki iterasyona girdi olarak taşımakla görevli eleman) üzerinden yapılmaktadır. Geri besleme, bir katmandaki işlemci elemanlar arasında olduğu gibi katmanlar arasındaki işlemci elemanlar arasında da olabilmektedir. Bu sayede, geri beslemenin yapılış şekline göre farklı yapı ve davranışta geri beslemeli yapay sinir ağları elde edilebilir (Saraç, 2004).

2.9.9. Yapay Sinir Ağlarının Avantaj ve Dezavantajları

Yapay sinir ağları kullanılarak yapılan modeller, biyolojik sinir ağlarının çalışma biçimlerinden esinlenerek oluşturuldukları için biyolojik sinir ağlarının üstünlüklerine sahiptir. Bu üstünlüklerin bir kısmı yapay sinir ağları fikrinin de ortaya çıkış sebepleridir ve şu şekilde özetlenebilir:

Doğrusal olmayan yapı: Yapay sinir ağlarının temel işlem elemanı olan hücre doğrusal değildir dolayısıyla bu hücrelerin birleşmesinden meydana gelen yapay sinir ağları da doğrusal olmamaktadır. Özellikle ekonomik veriler gibi yapıları gereği genellikle doğrusal olmayan veriler tahmin zorlukları nedeniyle genellikle doğrusal yöntemlerle analiz edilmektedir. Bu durum doğrusal olmayan bir veri setiyle çalışılması durumunda yanlış sonuçlara neden olabilmektedir. Yapay sinir ağlarının doğrusal olmayan yapıları da dikkate alması onu önemli kılmaktadır.

Paralellik: Günümüzde kullanılan bilgi işleme yöntemleri genelde seri işlemlerden oluşmaktadır. Yapay sinir ağları ise paralel işlemci kullanmaktadır. Seri işlemcilerde herhangi bir birimin yavaş olması tüm sistemi yavaşlatırken, yapay sinir ağlarında yavaş bir birimin etkisi az olmaktadır. Bu durum yapay sinir ağlarının daha hızlı ve güvenilir olması sonuçlarını doğurmaktadır.

Öğrenme: Geleneksel veri işleme yöntemlerinin çoğunluğunda bir problemin çözülebilmesi için probleme uygun bir algoritma geliştirilmesi ve programlama yolu ile hesaplama yapılması gerekmektedir. Bu nedenle tanımlı olmayan bir problemin çözümü yapılamaz. Yapay sinir ağları ise en önemli özelliği olan ve insan beyninin çalışma sistemi olan öğrenme yöntemini kullanmaktadır. Yapay sinir ağlarında öğrenme, özellikleri verilen örnekler yoluyla edinilmektedir ve örnekleri kullanarak probleme ilişkin genelleme yapabilecek yeteneğe ulaşmaktadır. Bu özelliği sayesinde geleneksel yöntemler için karmaşık olan sorunlara çözüm getirebilmektedirler.

Hafıza: Yapay sinir ağlarında bilgi, işlemci elemanlar (yapay sinir hücreleri) arasındaki ağırlıklı bağlantılarda saklanmaktadır. Yani bilgi ağı dağıtılmış durumdadır

ve ağın bütünü, öğrendiği olayın tamamını göstermektedir. Bu nedenle yapay sinir ağlarının dağıtılmış bellekte bilgi saklayabildikleri söylenebilir.

Yerel işlem ve esneklik: Yapay sinir ağları, geleneksel işlemcilerden farklı şekilde işlem yaparlar. Geleneksel işlemcilerde, tek bir merkezi işlemci eleman her hareketi sırasıyla gerçekleştirirler. Yapay sinir ağları, her biri büyük bir problemin bir parçası ile ilgilenen çok sayıda basit işlemci elemanlardan oluşmaları ve bağlantı ağırlıklarının ayarlanabilmesi gibi özelliklerinden dolayı önemli derecede esnek bir yapıya sahiptirler. Bu esnek yapı sayesinde ağın bir kısmının zarar görmesi modelde sadece performans düşüklüğü yaratır, modelin işlevini tamamen yitirmesi söz konusu olmaz. Ayrıca, toplam işlem yükünü paylaşan işlemci elemanların birbirleri arasındaki yoğun bağlantı yapısı sinirsel hesaplamanın temel güç kaynağıdır. Bu işlem yapısı sayesinde, yapay sinir ağları yöntemi en karmaşık problemlere bile uygulanabilmekte ve tatminkâr sonuçlar sağlayabilmektedir (Yurtoğlu, 2005).

Genelleme: Yapay sinir ağları yine öğrenme yeteneği sayesinde bilinen örnekleri kullanarak daha önce karşılaşılmamış durumlarda genelleme yapabilmektedir. Yani, hatalı (gürültülü) veya kayıp veriler için çözüm üretebilmektedir. Yapay sinir ağları, tanımlanmamış veriler hakkında karar verirken genelleme yapabildikleri için iyi birer örüntü tanımlayıcısı ve güçlü sınıflandırıcılardır (Yurtoğlu, 2005).

Uyarlanabilirlik: Yapay sinir ağları, ilgilendiği problemdeki değişikliklere göre ağırlıklarını ayarlayabilmektedir. Yani, belirli bir problemi çözmek amacıyla eğitilen yapay sinir ağı, problemdeki değişimlere göre tekrar eğitilebilmekte, değişimler devamlı ise gerçek zamanda da eğitime devam edilebilmektedir. Bu özelliği ile yapay sinir ağları, uyarlamalı örnek tanıma, sinyal işleme, sistem tanımlama ve denetim gibi alanlarda etkin olarak kullanılabilmektedir (Saraç, 2004).

Eksik verilerle çalışma: Yapay sinir ağları, geleneksel sistemlerin aksine kendileri eğitildikten sonra eksik bilgiler ile çalışabilmekte ve gelen yeni örneklerde eksik bilgi olmasına rağmen sonuç üretebilmektedirler. Yapay sinir ağlarının eksik bilgiler ile çalışması, performanslarının düşeceği anlamına gelmemektedir. Performansın düşmesi

eksik olan bilginin önemine bağlıdır. Hangi bilginin önemli olduğunu ağ kendisi eğitim sırasında öğrenmektedir. Tasarımcıların (kullanıcıların) bu konuda bir fikri yoktur.

Sınırsız sayıda değişken ve parametre kullanma: Yapay sinir ağları sınırsız sayıda değişken ve parametre ile çalışabilmektedir. Bu sayede mükemmele yakın öngörü doğruluğu ile genel çözümler sağlanabilmektedir (Yurtoğlu, 2005).

Yapay sinir ağlarının yukarıda belirtilen avantajları geniş uygulama alanları bulmalarını sağlamaktadır. Ancak yapay sinir ağlarının göz önünde bulundurulması gereken bazı dezavantajları da bulunmaktadır. Bunlar arasında en önemlisi, geniş veri seti gereksinimidir. Yapay sinir ağlarının eğitilebilmesine ve test edilebilmesine yetecek genişlikte veri setine ihtiyaç duyulur. Bununla birlikte, yeterli veri seti genişliği için kesin bir ölçüt yoktur, bu ölçüt uygulamaya bağlı olarak değişir. Dezavantaj sayılabilecek diğer bir nokta ise basit olarak görülebilecek modelleme yapılarına rağmen uygulamanın zor ve karmaşık olabilmesidir. Bazı durumlarda, bir yakınsama sağlamak bile imkânsız olabilmektedir fakat bu durum da uygulama alanına bağlıdır ve genellikle çok karmaşık problemlerde ortaya çıkmaktadır (Yurtoğlu, 2005).

Ayrıca yapay sinir ağlarının donanım bağımlı çalışması, probleme uygun ağ yapısının belirlenmesinde kullanıcı deneyiminin ve deneme yanılma yönteminin ön planda olması, ağın parametre değerlerinin belirlenmesinde herhangi bir kural bulunmaması, problemlerin sayısal gösterimle ifadesinin gerekliliği, eğitim süresinin uzunluğundaki belirsizlik diğer zorluklardır.

2.10. Uzman Sistemler

Son yirmi beş yıl içerisinde “Yapay Zeka” tabanlı programlar olan “Uzman Sistemler” büyük dikkat çekmiştir. Uzman Sistemlerin birçok farklı alandaki zor seviyede sayılabilecek problemleri başarılı bir şekilde çözüme kavuşturması, dikkat çekmelerindeki en önemli unsuru oluşturmuştur.

Uzman sistemler ile ilgili pek çok tanım mevcuttur. Samways ve Byrne-Jones (1991) uzman sistemi; kullanıcılarına, uzmanların bilgi muhakeme yeteneklerine ulaşma ve bu yeteneklerden faydalanma olanağı veren bir bilgisayar paketi olarak tanımlamışlardır. Jackson (1990)'a göre; uzman sistem, uzmanlık bilgileri ve muhakeme yeteneği ile problem çözebilen veya önerilerde bulunabilen bir bilgisayar programıdır. Uzman sistem, herhangi bir bilgi problemi için, bir uzman gibi ustaca problem çözümü yapan özel bir bilgisayar programıdır. Bir başka ifade ile uzman sistemler, belirli bir alanda sadece o alan ile ilgili bilgilerle donatılmış ve problemlere o alanda uzman bir kişinin getirdiği şekilde çözümler getirebilen bilgisayar programlarıdır (Öztemel, 1995).

Bir sistemin uzman sistem olarak adlandırılması için, bu sistemlerin kullanıcıların hatalarını algılama ve yanlışlıkları bularak kullanıcıyı yönlendirme “becerilerinin” de olması gerekmektedir (Chiou, 2006). Bu yeteneklere dayalı, örneğin tıp konusunda yazılmış bir program doktorların önemli bir yardımcısı haline gelebilir. Parasal analiz, üretim planlaması, hukuki yasaların uygulanması veya mühendislerinkine benzer tasarım yapabilen sistem veya yazılımların geliştirilmesi çalışmaları da uzman sistemlere ait olan çalışma alanlarıdır.

Uzman sistemler genel amaçlı olduğu gibi kişisel özellikler de taşımaktadır. Örneğin kanser hastalıklarının büyük bir bölümü hastalığın aşaması ilerlediğinden dolayı zor tedavi edilmektedir. Uygun hastalığın teşhisi ile ilgili kişisel bilgisayarında bir uzman sistemi olan hasta, doktora başvurmadan programın önerilerine göre uyarılır ve hastalığı daha erken teşhis edilebilir.

2.10.1. Uzman Sistemlerin Yapısı

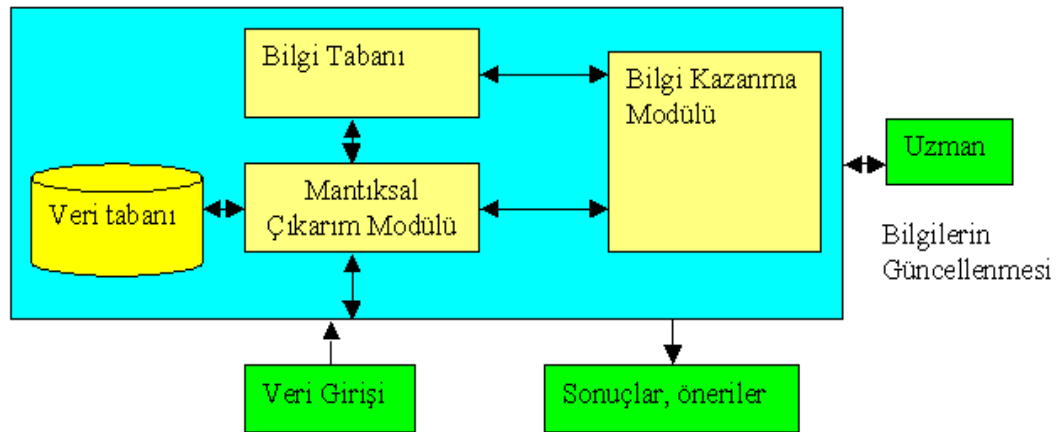
Uzman sistemlerde kurallar gerçek anlamından daha farklı biçimde ifade edilmektedir. Bu kurallar, genellikle “Eğer – O halde” biçimindedir. Kurallara dayalı uzman sistemlerde araştırma alanı ile ilgili bilgiler, gerçeklerle karşılaştırılarak sonuçlar üretmektedir. Kuralın EĞER kısmına gerçekler kısmında rastlanırsa O HALDE kısmı üretilir. Kural bu durumda geçerlilik kazanır ve benzeri sistemlere üretim sistemleri adı verilir. Burada olgular temelinde sonuçların üretilmesi, “ileri zincirleme” olarak

gerçekleştirilmektedir. Mantıksal çıkarımlar ters yönde de gidebilir. Bu durumda “geriye doğru zincirlemeden” söz edilir. Geriye doğru zincirlemede sistem neyin mantıksal olarak çıkarım yapılmasının istendiğini bilmektedir. Burada sistem sonuca göre, kuralın ispatlanması gereken şart kısımlarını doğrulamaya çalışır.

Uzman sistemler genellikle aşağıdaki bileşenlerden oluşur (Park ve ark., 2005).

- Belli bir problem hakkındaki gerçekleri, kuralları ve bilgileri içeren Bilgi Tabanı
- Problemlere çözümler üretmek üzere depolanan bilgiyi ustalıkla kullanan Çıkarım Mekanizması
- Kullanıcı ile iletişimi sağlamak üzere Kullanıcı Ara Yüzü
- Bilgi tabanını geliştirmeye yardım etmek üzere Bilgi Edinim Modülü

Bir uzman sistemin genel yapısı Şekil 2.19'daki gibi verilebilir.



Şekil 2.19: Bir uzman sistemin genel yapısı (Yavuzer, 1996)

Bazı bilgi kaynaklarından bir bilgisayar programına problem çözümü için bilgi aktarma ve dönüştürme işlemleri yapılır. Potansiyel bilgi kaynakları uzman insanlar, kitaplar, veri tabanları, özel araştırma raporları ve kullanıcının kendi deneyimleri olabilir.

Bilgi tabanı, problemlerin anlaşılması, formülasyonu ve çözümü için gerekli olan tüm bilgileri içerir. Örneğin olaylar ve durumlar hakkında bilgi ve bunlar arasındaki mantıksal ilişki yapılarını ihtiva eder.

Çıkarım mekanizması uzman sistemin beynidir. Bilgi tabanı ve çalışma alanında bulunan bilgiler üzerine düşünmek için bir metodoloji sunan ve sonuçları biçimlendiren bir bilgisayar programıdır. Burada sistem bilgisinin nasıl kullanılacağı hakkında karar alınır. Çalışma alanı ise giriş verileri tarafından belirlenmiş problem tanımları için hafızanın bir köşesinde bulunan çalışma alanıdır. Bu alan işlemlerin ara seviyelerindeki sonuçları kaydetmek için de kullanılır.

Uzman sistemler, kullanıcı ile bilgisayar arasında probleme yönelik iletişimin sağlanması için bir dil işleyici içerir. Kısaca, kullanıcı ara birimi kullanıcı ile bilgisayar arasında bir çevirmen rolünü üstlenmiştir. (Hanbay ve ark., 2007). Kullanıcı arabiriminin kolay ve anlaşılır olması, uç kullanıcıların Uzman Sistemi kullanırken sisteme problemlerini rahatça anlatabilmelerini ve sistemin verdiği sonucu da rahatça anlayabilmelerini sağlar.

Uzman Sistemleri diğer sistemlerden farklı yapan bir özelliği de açıklama modülünün olmasıdır. Açıklama modülünden kasıt, kullanıcıya çeşitli yardımların verilmesi ve soruların açıklanması olduğu kadar, uzman sistemin çıkardığı sonucu nasıl ve neden çıkardığını açıklayabilmesidir.

Bir uzman insan kendi performansını analiz edebilir, öğrenebilir ve gelecekteki kullanım için onu iyileştirebilir. Sistemlerin de bu tip davranışlar göstermeye ihtiyacı vardır (Wu, 2007). Sistemlerin bir uzman insan gibi öğrenebilmelerine yönelik çalışmalar sinirsel ağlar üzerinde sürdürülen araştırmalarla devam etmektedir (Im ve Park, 2007). Amaç bir insan beyni gibi çalışan Yapay Zekayı geliştirebilmektir.

Uzman Sistemin tasarımına karar verdikten sonra, aşağıdaki altı adım uygulanmalıdır (Yavuzer, 1996):

1. Uzman Sistem tasarımı için bir araç seçilir.
2. Problemin tam olarak ne olduğu belirlenir sistemin içermesi gereken bilgi analiz edilir.
3. Sistem tasarımı yapılır. İlk olarak bu tasarım sistemin kâğıt üzerinde tasvir edilmesini içerir. Yani akış diyagram ve matrisleri ile kuralların taslakları şekillendirilir.
4. İlk adımda belirlenen araç kullanılarak sistemin bir prototipi oluşturulur. Prototip, bilgi tabanının oluşmuş halini, test edilmesini ve birçok denemenin gerçekleştirilmesini içerir.
5. Sistem istenilen hale gelene kadar üzerinde genişletmeler ve testler yapılarak sistem gözden geçirilir.
6. Sistem son halini alır ve yeri geldikçe üzerinde yeni düzenlemeler yapılabilir.

2.10.2. Uzman Sistemlerin Faydaları

Uzman Sistemlerin kullanıcılara sağladığı başlıca faydalar aşağıda belirtilmiştir:

1. *Maliyet azalması:* Uzman Sistem kullanımı ile karşılaştırıldığında insanların incelemeleri daha pahalı görülmektedir.
2. *Hazır Bilgi:* Hazırlanan Uzman Sistem programı sayesinde uzman bilgisi herhangi bir bilgisayara yüklenebilir. Bilgi almak için uzman kişiyi beklemeye gerek kalmaz.
3. *Verimlilik artışı:* Uzman Sistemler insanlardan daha hızlı çalışır.
4. *Kalıcı Bilgi:* Zamanla emekli olabilen veya hayata veda eden insan uzmanların aksine, Uzman Sistem bilgisi kalıcıdır.
5. *Açıklama:* Uzman Sistem, varılan sonucun nedenlerini ayrıntılı olarak açıklar. Oysa bir insan bunu her zaman yapamayabilir.
6. *Kalite iyileştirmesi:* Uzman Sistemler tutarlı ve uygun nasihatler vererek ve hata oranını düşürerek kalitenin iyileştirilmesini temin ederler.
7. *İşleyiş hatalarını azaltma:* Birçok Uzman Sistem hatalı işlemleri tespit etmek ve onarım için tavsiyelerde bulunması için kullanılır.

8. *Daha ucuz cihaz kullanımı:* İzleme ve kontrol için insanların pahalı cihazlara bağlı kaldığı durumların aksine Uzman Sistemler ile aynı görevler daha ucuz cihazlarla yerine getirilebilir.
9. *Tehlikeli çevrelerde işlem:* Uzman Sistemler insanların tehlikeli çevrelerin dışında kalmasına yardım eder ve insanlar için zararlı ve tehlikeli olan tüm ortamlarda kullanılabilir.
10. *Güvenilirlik:* Uzman Sistem bilgilere ve potansiyel çözümlere üstün körü bakmaz, tüm detayları yorulmadan ve sıkılmadan dikkatlice gözden geçirir.
11. *Cevap verme süresi:* Kullanılan yazılım ve donanıma bağlı olmak şartıyla, bir Uzman Sistem, özellikle verilerin büyük bir kısmının gözden geçirilmesi gerektiğinde bir insandan çok daha hızlı cevap verecektir.
12. *Esneklik:* Bir Uzman Sistemde kullanmak üzere büyük miktarda bilgi yüklemek gerekir. Bu yüzden bilgi ilave etmek, değiştirmek ve silmek için etkin bir mekanizmanın Uzman Sisteme eklenmesi gerekir.
13. *Eğitim:* Uzman Sistemin açıklayabilme özelliği bir öğretim cihazı gibi kullanılarak eğitim sağlanabilir.
14. *Problem çözme kabiliyeti:* Uzman Sistemler, uzmanların yargılarını bütünlemeye imkân sağlayarak problem çözme kabiliyetlerini yükseltirler.
15. *Sınırlı bir sahada karışık problemlerin çözümü:* Uzman Sistemler insan yeteneklerini aşan karışık problemlerin çözümünde kullanılabilir.
16. *Duygusallıktan uzak cevaplar:* Stres veya kırgınlıktan dolayı verimli olarak çalışmayan bir insanın aksine, bir Uzman Sistem gerçek zamanlı sorunlara duygusallıktan uzak gerçekçi cevaplar verebilir.

2.10.3. Uzman Sistemlerin Sınırları

Uzman Sistemlerin ticari olarak yayılmasının önünde bazı problemler vardır. Bu problemler aşağıda belirtilmiştir:

- Bilginin her zaman okunabilir uygunlukta olmaması.
- İnsanlardan bilgi alma zorluklar yaşanması.
- Kullanım alanının sınırlı olması.
- Yardım için bilgi mühendisine ihtiyaç duyması.

- Sistemin maliyeti ve geliştirme süresinin fazla olması.
- Farklı uzmanlardan farklı bilgiler alınması.
- Tecrübeli uzmanların bile, zaman baskısı altında değerlendirmelerindeki hatalar.

Bu sınırlamaların üstesinden gelebilmek için yaygın araştırmalar yapılmakta, böylelikle Uzman Sistem kullanımı hızla artmaktadır.

2.10.4. Uzman Sistemlerin En Yaygın Uygulama Alanları

Günümüze kadar yüzlerce uzman sistem oluşturulmuştur ve oluşturulmaya devam edilmektedir. Açık literatürde bildirilen sistemlere dayanarak uzman sistem uygulamalarını aşağıdaki gibi sınıflandırmak mümkündür.

Yorumlama: Algılayıcılardan gelen değerlerden çıkarım yapılarak bir sonuca varılması.

Arıza teşhisleri ve tamir önerileri: Gözlemler yaparak çeşitli makine ve sistem arızalarının nedenlerini ortaya çıkarma ve bunların giderilmesi için önerilerde bulunma.

Tasarım: Kısıtlı şartları dikkate alarak çizimler üretme.

Planlama: İstenilen sonuçlara ulaşmak için plan yapma. Özellikle proje planlama konularında çok verimli uygulamalar.

İzleme: Performansı değerlendirmek için elde edilen veri ile olması istenen verinin karşılaştırılması.

Bilgilendirme: Bir öğrencinin ne, neden ve nasıl gibi sorularına sanki bir uzman kişi cevap veriyormuş gibi zeki öğretim.

Tahmin: Verilen bir olayın sonucunu tahmin etme.

Kontrol: Çeşitli üretim işlemlerinde operasyon parametrelerinin öngörülen sınırlar içinde tutulması amacıyla bu parametrelere etki yapan faktörlerin değişimlerinin kontrol altına alınması ve bu değerlerin istatistiklerinin derlenmesi.

2.11. Plastik Enjeksiyon Sürecinde Yapay Zeka Tekniklerinin Kullanımı

Gerçekleştirilen tez çalışmasında kullanılmış olan Yapay Zeka tekniklerinden Yapay Sinir Ağları ve Uzman Sistemlerle ilgili özellikle son yıllara ait pek çok makale ve çalışma bulunmaktadır. Bununla birlikte termoplastik malzemelerin enjeksiyonu işleminde bu tekniklerin kullanıldığı az sayıda çalışma bulunmaktadır. Genel olarak plastik enjeksiyon sürecinde yapay zeka kullanımıyla ilgili çalışmaların da özellikle son yıllarda yoğunlaştığı görülmektedir.

Plastik enjeksiyon sürecinde çok sayıda parametre ve performans göstergesinin rol almasından ve bunlar arasında bulunan karmaşık ilişkilerden dolayı sürecin klasik matematiksel optimizasyon teknikleri ile modellenmesi oldukça zordur. Modelleme ancak bazı parametreler göz ardı edilerek ve mevcut olan kısıtların bir kısmı dikkate alınmayarak mümkün olmaktadır. Dolayısıyla bu esneklik ile oluşturulan modellerden elde edilen sonuçlar yeterince gerçekçi olmamaktadır.

Yapay zeka tekniklerinin plastik enjeksiyon sürecinde kullanıldığı bazı çalışmalara bakıldığında güdülen amaç, kullanılan teknik ve elde edilmek istenen sonuç için dikkate alınan parametreler açısından farklılıklar olduğu görülmektedir. İncelenen çalışmalarda yapay zeka tekniklerinin tek başlarına kullanılabildikleri gibi birbirleriyle etkileşimli şekilde hibrid olarak da kullanıldıkları görülmektedir.

Dubay (2002), plastik enjeksiyon şekil verme prosesinde yer alan parametrelerin yüksek oranda non-lineer ve birbirleriyle etkileşimli olduğunu belirtmektedir. Çalışmasında, operatör hazırlık zamanlarının azaltılması, sürekli ve sabit ürün kalitesinin sağlanması ve termal bozulmaların önlenmesi için erime sıcaklığının kontrolü üzerinde durmuş ve bir endüstriyel enjeksiyon şekil verme makinesinde deneylerini gerçekleştirmiştir. Deneylerden elde ettiği sonuçlardan ise, çok girdi ve çok çıktıdan

oluşan ve pratik olarak uygulanabilen bir kontrol stratejisi geliştirmiştir. Bununla birlikte daha fazla parametrenin kontrolünde oluşturduğu sistemin yeterli olamayabileceği üzerinde durmuştur.

Çakır ve ark. (2001), enjeksiyonla kalıplanan plastik ürünlerde meydana gelen çekmenin dar tolerans aralıklarında imal edilen makine parçalarının yerini almaya başlayan parçalar için ciddi bir problem olduğu üzerinde durmuşlar ve çalışmalarında I 20-3 polietilen plastik ürünlerdeki çekme miktarına, enjeksiyon parametrelerinin ve kalıp özelliklerinin etkilerini deneysel olarak araştırmışlardır. Yaptıkları deneylerle, enjeksiyon sıcaklığı, enjeksiyon basıncı, katkı maddesi oranı ve kalıplama süresinin plastik ürünlerdeki çekme miktarına olan etkilerini grafikler halinde sunmuşlardır. Sonuç olarak, enjeksiyon basıncı ve kalıplama süresinin artması ile çekmenin azaldığını, katkı maddesi ve enjeksiyon sıcaklığının artırılması ile çekmenin arttığını tespit etmişlerdir. Diğer plastikler için de enjeksiyon parametrelerini değiştirmek suretiyle, plastik malzemelerin çekme miktarının nasıl etkilendiğinin gözlemlenmesinin yararını vurgulamaktadırlar. Ayrıca çekme miktarı hesaplaması yapan araştırmacıların ürünün et kalınlığına dikkat etmelerinin gerektiğini de belirtmişlerdir. Çünkü çalışmalarında, et kalınlığına değinmeyip, lokal çekmeleri incelemeyerek, sadece çizilen çerçeve içinde elde edilen gözlemleri aktarmışlardır.

Song ve ark. (2007), zayıf duvar plastiklerinin enjeksiyon parametreleri üzerine araştırma yapmışlardır. Zayıf duvar plastiklerinin enjeksiyon ile şekil verilmesinde malzeme tasarrufu, düşük üretim maliyetleri gibi birçok avantaj bulunmaktadır. Çalışmalarında, zayıf duvar plastikleri için şekil verme prosesinde enjeksiyon hızı, enjeksiyon basıncı, erime sıcaklığı, ölçme büyüklüğü ve parça kalınlığı gibi farklı proses parametrelerinin etkilerini Taguchi yöntemi ve nümerik simülasyon kullanarak tespit etmişlerdir. Sonuçlar, parça kalınlığının şekil verme için kesin bir parametre olduğunu, ölçme büyüklüğü ve enjeksiyon hızının ise temel parametreler olduğunu -enjeksiyon hızının artışı dolma oranında büyük bir artış meydana getirmektedir- ve erime sıcaklığı ile enjeksiyon basıncının ise ikinci derece önemli parametreler olduğunu göstermiştir. Ancak şekil verme süreci için yüksek erime sıcaklığı ve enjeksiyon basıncı gerekmektedir.

Erzurumlu ve Özçelik (2006), çalışmalarında enjeksiyon kalıplama ile şekil verilen farklı şekil ve büyüklüklerdeki plastik parçaların proses parametrelerinden olan eğrilik ve çökme endekslerinin Taguchi optimizasyon yöntemi ile minimizasyonunu amaçlamışlardır. Proses parametreleri olarak kalıp sıcaklığı, erime sıcaklığı ve paketleme basıncına ek olarak kesit tipi ve açı değerlerini kullanmışlar ve eğrilik ve çökme değerlerini gözlemlemişlerdir. PC/ABS, POM ve PA66 polimerik malzemelerini dikkate almışlar ve Taguchi optimizasyon yöntemini 3 seviyeli faktöriyel analiz kullanarak uygulamışlardır. Eğrilik ve çökme göstergelerine proses parametrelerinin etkisinin ve bu parametrelerin optimal seviyelerinin bulunması için Taguchi ortogonal düzeni, S/N oranı ve varyans analizi (ANOVA) kullanmışlardır. Proses parametrelerinin optimal seviyeleri ile yaptıkları doğrulama analizleri sonucu Taguchi yönteminin oldukça iyi olduğunu dile getirmişlerdir. Ayrıca, termoplastik parçaların enjeksiyon ile kalıplanması sürecinde ortaya çıkan kalite problemlerinin çözümünde Taguchi yönteminin oldukça uygun olduğunu kabul etmişlerdir.

Özçelik ve Erzurumlu (2005), enjeksiyonla kalıplanmış parçaların kalitesinin geliştirilmesinde eğriliğin azaltılmasının çok önemli olduğunu vurgulamışlar ve ölçüsel kararlılığın, zayıf kabuklu plastik parçalarda minimum eğriliğin sağlanması için önemli bir faktör olduğunu belirtmişlerdir. Çalışmalarında, zayıf kabuklu plastik parçalarda eğriliğin etkili bir şekilde minimizasyonunu, finite element analizi, istatistiksel deney tasarımı, response surface metodoloji ve genetik algoritma yöntemlerini birleştirerek araştırmışlardır. Örnek olarak zayıf kabuklu plastik bir parça düşünmüşler ve X, Y, Z eksenli ölçülerini model değişkenleri olarak kabul etmişlerdir. Dikkate aldıkları diğer parametreler ise kalıp sıcaklığı, erime sıcaklığı, enjeksiyon süresi ve enjeksiyon basıncı olmuştur. Proses parametrelerinin kombinasyonu için istatistiksel 3 seviyeli faktöriyel deney tasarımını kullanmışlardır. Yaptıkları deneylerden elde ettikleri sonuçlara dayanarak eğriliği %40,4'e kadar düşürebildikleri sonucunu çıkarmışlardır.

Tang ve ark. (2007), plastik endüstrisinde plastik enjeksiyon kalıplamanın en önemli polimer prosesi olduğunu ve kalıp hazırlama ile enjeksiyon kalıplama makinesi kontrolündeki noksanlığın kusurlu plastik ürün oluşmasına neden olabileceğini ifade etmişlerdir. Onlara göre eğrilik bu kusurlardan en yaygın olanıdır. Yaptıkları çalışma

için 120mm*50mm*1mm ölçülerinde bir kalıp seçmişlerdir ve makine ayarlarını üretecekleri ürüne göre yapmışlardır. Daha sonra eğrilik probleminde etkili faktörlerin test edilmesi amacıyla Taguchi deneysel tasarımını kullanmışlardır. Sonuçlardan eğrilikteki en etkili faktörün erime sıcaklığı olduğunu ortaya çıkarmışlardır. Dolma süresi ise eğriliği çok az etkilemektedir. Yaptıkları deneylerden minimum eğrilik için optimum parametre değerlerini, erime sıcaklığı (240 °C), dolma süresi (0,5 sn), paketleme basıncı (%90) ve paketleme süresi (0,6 sn) olarak bulmuşlardır.

Öktem ve ark. (2007), çalışmalarında zayıf kabuklu plastik parçaların üretimi boyunca karşılaşılabilen, çekme kaynaklı eğrilik problemini azaltmada Taguchi optimizasyon tekniğini uygulamışlardır. Bu amaçla, 3 seviyeli L_{27} ve L_9 Taguchi ortogonal tasarımını gerçekleştirmişlerdir. Çekme ve eğrilik üzerine proses parametrelerinin etkilerinin belirlenmesi ve bu parametrelerin optimum seviyelerinin bulunması amacıyla S/N oranı ve varyans analizinden (ANOVA) faydalanmışlardır. Elde ettikleri deneysel sonuçlardan, Taguchi optimizasyonunun zayıf kabuklu plastik parçalar için çekme kaynaklı eğrilik probleminin çözümünü başarılı bir şekilde gerçekleştirdiğini saptamışlardır.

Karataş ve ark. (2007), düşük yoğunluklu polietilen, yüksek yoğunluklu polietilen, polistren ve polipropilen gibi yaygın olarak kullanılan ticari plastiklerin plastik şekil verme prosesindeki akış uzunluğunun belirlenebilmesi için yapay sinir ağları ile çeşitli enjeksiyon parametrelerini esas alan yeni bir formül geliştirmişlerdir. Yaptıkları çalışmada öncelikle çeşitli enjeksiyon parametrelerinde (silindir sıcaklığı, enjeksiyon basıncı, enjeksiyon akış oranı ve kalıp sıcaklığı) plastiklerin akış özelliklerini araştırmışlardır. Daha sonra ise, ticari plastiklerin çeşitli enjeksiyon parametrelerine dayanan kalıpta akış uzunluklarını deneysel veriler kullanılarak yapay sinir ağları ile tanımlamış ve incelemişlerdir. Oluşturdukları ağda, ölçülendirilmiş eğim azaltma tekniği, Levenberg – Marquardt (LM) öğrenme algoritmaları ile lojistik sigmoid transfer fonksiyonu kullanılmışlardır. Yaptıkları çalışma ile optimum çözüme ve basit modelleme programlarından kolaylıkla elde edilemeyecek bazı sonuçlara ulaşmak için gerekli zaman ihtiyacının önemli ölçüde azaldığını tespit etmişlerdir.

Lau ve ark. (2001), enjeksiyonla şekil verilmiş parçaların ölçüsel kalitesinin geliştirilmesi için şekil verme parametrelerinin değişiminde ters süreç modelleme konseptine dayanan sinirsel ağ kullanımını önermişlerdir. Normalde şekil verme parametreleri, giriş değerleri; ölçüsel neticeler ise çıkış değerleri olmasına rağmen, ters süreç modelinde ölçüsel neticeler girişler olarak, şekil verme parametreleri ise çıkışlar olarak düşünülmektedir. Sinirsel ağın giriş ve çıkış değerlerinin haritalanması ile ağ, ölçüsel sonuç değerleri ile buna tekaül eden şekil verme parametreleri arasındaki korelasyonu öğrenmiştir. Oluşturulan model, enjeksiyon süresi ve soğuma sıcaklığı gibi proses parametrelerini belirleyerek, enjeksiyon ile şekil verilecek olan parçaların ölçüsel olarak iyileşmesine katkı sağlamaktadır.

Changyu ve ark. (2006), çalışmalarında plastik ürün üretiminde enjeksiyon şekil vermenin en yaygın kullanılan proses olduğunu ifade etmişlerdir ve enjeksiyon ile şekil verilen parçaların kalitesinin proses koşullarından etkilendiğini vurgulamışlardır. Dolayısıyla, parça kalitesini geliştirmek için optimum proses koşullarına erişmenin anahtar olduğunu kabul etmişlerdir. Çalışmalarında ise enjeksiyon şekil verme prosesinin optimize edilmesi için yapay sinir ağları/genetik algoritma kombinasyonundan oluşan bir yöntem kullanmışlardır. Bu yöntemde, geriye yayımlı yapay sinir ağı modeli parçaların kalite indeksleri ve proses koşulları arasındaki doğrusal olmayan kompleks ilişkileri haritalamak için geliştirilmiştir. Genetik algoritma ise proses koşullarının optimizasyonu için uygun bir fonksiyon elde edilmesinde kullanılmıştır. Çalışmada erime sıcaklığı, kalıp sıcaklığı, enjeksiyon süresi, dolgu süresi ve basınç süreç koşulları olarak alınırken, kalite indeksi (göstergesi) olarak hacimsel çekme gözlemlenmiştir. Sonuçlar YSA/GA yönteminin enjeksiyon sürecinin optimizasyonunda etkili bir araç olduğunu göstermiştir.

Öktem ve ark. (2006), çalışmalarında, minimum yüzey sertliğine ulaşabilmek için kesme hızı, besleme miktarı, axial ve radyal kesme derinlikleri ve makine toleransından oluşan kesme parametrelerinin tespiti için sinirsel ağlar ve genetik algoritma kullanmışlardır. Sinir ağının eğitimi ve doğrulanması için MATLAB programı kullanılmıştır. Genetik algoritma ve sinir ağı hiçbir kısıt olmaksızın minimum yüzey sertliğinin elde edilmesi için optimum kesme parametrelerini tespit edebilmiştir.

Yöntemden elde edilen değerler ile deneylerden alınan ölçümlerin birbirine çok yakın olduğu görülmüştür.

Seow ve Lam (1997), plastik enjeksiyon yönteminde plastik parçaların parça ve kalıp tasarımlarının oldukça karmaşık bir proses olduğunu belirterek maliyeti, üretim hızını, ergonomik ve estetik gereksinimleri direkt olarak etkilediğini vurgulamışlardır. Enjeksiyon prosesindeki en önemli parametrelerden birinin dolma aşamasındaki plastik akışının kontrolü olduğunu ve çeşitli bölgelerdeki kalınlığın ayarlanması deneme – yanılma sürecini gerektirdiğini ifade etmişlerdir. Çalışmalarında, sundukları yöntem ile kalınlık ayarlamasının otomatik olarak yapılmasını sağlamaktadırlar. Onlara göre akış optimizasyonunun sağlanması ile kalıp boşluklarının dengelemesi de sağlanabilecektir. Çalışmalarında Moldflow yazılımını kullanmışlar ve temel geometrik modeller için iyi sonuçlar elde edilmiştir.

Kurtaran ve ark. (2005), çalışmalarında otobüs tavan lambaları için minimum eğriliğe ulaşılabilmesi amacıyla, enjeksiyonla kalıplama proses parametrelerinin optimum değerlerini belirlemişlerdir. Proses parametreleri olarak kalıp sıcaklığı, erime sıcaklığı, paketleme basıncı, paketleme basıncı süresi ve soğuma zamanı kullanılmıştır. Optimum sonuçların bulunmasında MoldFlow yazılımını avantajları, istatistiki deneysel tasarım, yapay sinir ağları ve genetik algoritmanın birlikte işletilmesi etkili olmuştur. Sonlu eleman analizleri, 3 seviyeli istatistiki faktöriyel tasarım kullanılarak proses parametrelerinin kombinasyonunu sağlamıştır. Oluşturdukları eğrilik önleyici model, sonlu eleman analizi sonuçlarına dayanarak oluşturulan ileri beslemeli yapay sinir ağı ile yaratılmıştır. Sinirsel ağ modeli, genetik algoritma ile etkili bir arayüz oluşturarak optimum proses parametre değerlerinin bulunmasını sağlamıştır. Yapılan deneylerin sonuçlarına göre genetik algoritmanın, otobüs tavan lambası için eğriliği %46,5'a kadar düşürebildiğini belirtmişlerdir.

Özçelik ve Erzurumlu (2006), plastik enjeksiyon şekil verme endüstrisi için günümüzün rekabetçi şartlarında minimum eğrilik ve leke gibi yüksek kalite özellikleriyle daha hızlı ve ucuz üretim yapmanın zorunlu hale geldiğini belirtmektedirler. Bu hedeflere ulaşmak için ise bilgisayar destekli analiz ve mühendislik

yazılımlarının kullanılmasının önemine dikkat çekmişlerdir. Çalışmalarında MoldFlow Plastic Insight yazılımını kullanarak ve şekil verme sıcaklığı, erime sıcaklığı, dolma basıncı, dolma sıcaklığı, merdane tipi ve giriş yeri parametrelerini kullanarak minimum eğrilik elde etmek istemişlerdir. Çalışmada, ANOVA, genetik algoritma ve sinirsel ağlar kullanılmıştır. ANOVA'dan eğrilik üzerine etki eden en önemli proses parametrelerinin belirlenmesi amacıyla yararlanılırken, yapay sinir ağı ve genetik algoritma ara yüzü ise minimum eğrilik değerinin bulunması amacıyla kullanılmıştır.

Zhu ve Chen (2006), çalışmalarında enjeksiyon hızı, erime sıcaklığı ve tutma basıncı parametrelerini kullanarak enjeksiyon şekil verme operasyonlarındaki parlamayı önceden görebilmek için bulanık sinir ağı kullanmışlardır. Veriler bulanık sinir ağı algoritması ile analiz edilmiş ve çoklu regresyon modeli oluşturulmuştur.

Shi ve ark. (2003), plastik enjeksiyon şekil verme prosesinin optimizasyonu için hibrit bir strateji geliştirmişlerdir. Çalışmalarında, kalıp sıcaklığı, erime sıcaklığı, enjeksiyon süresi, enjeksiyon basıncı ve akış oranı gözlemledikleri proses parametreleri olmuştur. Optimizasyon için kullandıkları hibrit strateji, nümerik simülasyon yazılımını, genetik algoritmayı ve çok katmanlı sinirsel ağı içermektedir.

Chiang ve Chang (2006), çalışmalarında zayıf kabuk özellikli, enjeksiyon ile şekil verilen bir parça için makine parametrelerinin optimizasyonunun sağlanmasında gri ilişkisel analiz ve lojik mantık analizine dayanan etkili bir yaklaşım geliştirmişlerdir. Gri-lojik mantık analizine göre, karmaşık performans karakteristiklerinin optimizasyonu, basit gri-mantık optimizasyonuna dönüştürülebilir. Yapılan çalışmada, enjeksiyon şekil verme prosesi için kalıp sıcaklığı, erime sıcaklığı, dolma basıncı ve dolma süresinden oluşan makine parametreleri, birleşim uzunluğunun gücü, büzülmeler ve şekil verme sıcaklık dağılım farklılığını içine alan birçok performans karakteristiği dikkate alınarak optimize edilmiştir. Sonuçlar, bu yaklaşım ile enjeksiyon şekil verme prosesindeki performans karakteristiklerinin geliştirilebileceğini göstermiştir.

Nezhad ve Siores (1997), plastik enjeksiyon şekil verme operasyonunda süreç parametrelerinin büyüklüğünün elde edilmesi için kullanıcı ile etkileşimli akıllı bir

sistem tasarlamışlardır. Sistem kural bazlı ve durum bazlı alt sistemleri kullanmaktadır. Süreç parametrelerinin ilk ayarlamasını elde etmek için durum bazlı muhakeme ve şekil vermede mümkün olan varyasyonlara ulaşmak için doğru aksiyonların önerilmesinde kural bazlı alt sistem kullanmışlardır. Oluşturdukları sistemle, parametre optimizasyon süresinde ve insan uzman bağımlılığında azalma tespit etmişlerdir. Çalışmalarında malzeme tipi, kalıp geometrisi, akış uzunluğu ve kalınlık özelliklerine göre enjeksiyon şekil verme süreci için erime sıcaklığı, kalıp sıcaklığı, enjeksiyon süresi, basınç ve akış oranı bilgilerini elde etmişlerdir.

Chan ve diğerleri (2000), enjeksiyon şekil verme süreç ve yöntemini yüksek değerli ürün üretilmesini sağlayan etkili ve önemli bir üretim endüstrisi olarak gördükleri için bu alanda çalışmışlardır. Sürecin çok fazla faktörü barındırması ve zaman limitleri dolayısıyla optimize edilmesinin oldukça zor olduğu düşüncesinde olduklarından çalışmalarında, karşılaşılan kalite problemleri için aksiyonlar önerebilen bir uzman sistem kullanmışlardır. 10 adet plastik enjeksiyon makinesinin performansını boşluk basıncı, enjeksiyon hidrolik basıncı, enjeksiyon hızı ve erime sıcaklığı parametreleri kullanarak gözlemledikleri bir uygulama yapmışlardır. Sonuçta da, operatörlere hızlı bir şekilde yardımcı öneriler sunabilen, üretim hızını arttıran ve ürün kalite seviyelerinin yakalanmasını sağlayan bir sistem geliştirmişlerdir.

Bozdana ve Eyercioğlu (2002), termoplastik malzemeler için enjeksiyon kalıplama süreci parametrelerinin belirlenmesi için EX-PIMM adını verdikleri bir uzman sistem geliştirmişlerdir.

Bozdana ve diğerleri (2004), termoplastik malzemeler için enjeksiyon kalıplama süreci parametrelerinin belirlenmesi için geliştirdikleri uzman sistemi otomotiv endüstrisinde bir ürün için test etmişler ve sonuçta üretim kapasitesinde yükselme, üretim maliyetinde azalma, üretim zamanında kısalma gibi geliştirmeler elde etmişlerdir.

Plastik enjeksiyon süreci, parametreler arasındaki karmaşık ilişkilerden dolayı geleneksel matematiksel yöntemlerle modellenmesi oldukça zor olan bir süreçtir. Yapay zeka tekniklerinin bu alanda uygulanması ile ilgili literatürdeki çalışmalar ise son

yıllarda artış göstermiştir. Buna rağmen çalışmalar henüz istenen seviyede değildir. Plastik enjeksiyon ile ilgili literatür incelendiğinde, genellikle ürünün herhangi bir özelliğinin iyileştirilmesi veya bazı göstergelerinin takibi amacıyla ilgili makine parametrelerinin ya da malzeme özelliklerinin izlenmesi yönünde çalışmalar olduğu göze çarpmaktadır. Ancak bu çalışmalarda ortak eksiklik, makine ve malzemeye ait özelliklerin bir arada değerlendirilmemesidir. Oysaki plastik enjeksiyon ile üretilen ürünler, hem hammaddeleri ve üretim özelliklerinden hem de üretildikleri makinelerin ayar değerlerinden etkilenmektedir. Ayrıca çalışmalarda sürekli olarak üretimi devam eden ürünler üzerinde çalışmalar yapıldığı görülmektedir. Yeni ürün devreye alma sürecinde ilgili hammadde ve makine ayarlarının iyileştirilmesi yönünde herhangi bir çalışmaya rastlanmamıştır.

Dolayısıyla yürütülen tez çalışmasının yeni ürün devreye alma sürecinin kısaltılması yönünde literatüre katkı getireceği düşünülmektedir. Çünkü yeni ürün devreye alma süreci oldukça uzun süren ve uzmanlık bilgisi gerektiren bir süreç olması dolayısıyla plastik enjeksiyon ile üretim yapan işletmeler için üzerinde iyileştirmeler ve akademik çalışmalar yapılması gereken bir süreç olarak görülmektedir. Bugün birçok işletme, üretim maliyetlerini arttıran bu süreci kısaltabilmek için tecrübeli formen ve operatörlere ihtiyaç duymakta ve onların yüksek ücret taleplerine de katlanmak zorunda kalmaktadır. Gerek plastik enjeksiyon yöntemi ile ilgili, gerek yapay sinir ağları ve uzman sisemler ile ilgili literatürdeki çalışmalara bakıldığında, tez çalışmasında kullanılan yeni yaklaşımın daha önce herhangi bir şekilde kullanılmadığı tespit edilmiştir. Bu çalışmalar, ürün üzerindeki herhangi bir spesifik özelliğin iyileştirilebilmesi için ilgili parametrelerin gözlemlenmesine dayanmaktadır.

Yukarıda verilen bilgiler ışığında tekrar etmek gerekirse; tez çalışmasında sunulan yaklaşım ile literatüre plastik enjeksiyon sürecinin kısaltılabilmesi anlamında katkı yapılabileceği düşünülmektedir. Sunulan çalışma üzerinde yapılabilecek değişikliklerle veya eklentilerle farklı sektör, süreç ve operasyonlara da uygulanabilmesi sağlanabilecektir.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu tez çalışması, plastik enjeksiyon yönteminde üretime uygun olmayan parçaların tespitini ve bu parçalardaki kalite problemlerinin giderilmesini sağlayarak yeni ürün devreye alma prosesinin kısaltılması amacıyla gerçekleştirilmiştir. Tez çalışmasının ilk kısmında Yapay Sinir Ağları kullanılarak kalite problemleri parçalar belirlenmiştir. Çalışmanın ikinci kısmında ise Uzman Sistem ile kalite problemleri parçalardaki hataların giderilmesi için aksiyonlar üretilmiştir.

3.1. Yapay Sinir Ağları İle Plastik Enjeksiyon Sürecinde Uygun Olmayan Parçaların Tespiti

Bir problemin çözümü için uygulanacak olan yapay sinir ağı modeli öncelikle problemin türüne bağlı olmaktadır. Hangi ağ modelinin hangi problemin çözümü için daha uygun olduğunun bilinmesi oldukça önemlidir ve problemin çözümüne doğrudan etkisi vardır.

Plastik enjeksiyon sürecinde uygun olmayan parçaların tespiti için yapay sinir ağları yönteminin kullanılması oldukça yeni bir yaklaşımdır. Bu çalışmada, enjeksiyondan elde edilen parçaların gerek hammaddeleri ile ilgili özellikleri, gerek makine özellikleri değerlendirilerek uygun olup olmadıklarının tespit edilmesi amacıyla tasarlanan sinirsel ağ, uygun parça elde etme süresini kısaltmak ve operatör veya usta bağımlı durumdan kurtarmak isteyen işletmeler için rasyonel bir çözüm sunabilecektir.

Plastik enjeksiyon sürecinde uygun olmayan parçaların yapay sinir ağları ile tespiti işleminde aşağıdaki adımlar izlenmiştir:

- Adım 1: Sinirsel ağın tasarımı
- Adım 2: Sinirsel ağın eğitilmesi
- Adım 3: Sinirsel ağın test edilmesi

3.1.1. Yapay Sinir Ağının Tasarımı

Tasarım, problemin veya geliştirilmekte olan uygulamanın, tamamen anlaşılmasının ve buna bağlı olarak planlamanın olduğu ilk safhadır. Yapay sinir ağı uygulamasının başarısı, modelin oluşturulması aşamasının en doğru şekilde yürütülmesi ile yakından ilgilidir. Sinirsel ağın tasarımı; girdi ve çıktı özelliklerinin belirlenmesi, eğitim yönteminin seçimi ve gizli katman tasarımını içerir.

YSA tasarımında girdi özelliklerinin belirlenmesi, ağın performansını yakından ilgilendiren bir konudur. Seçilen girdiler çözülmek istenen problem uzayının tamamını temsil etmelidir. Girdi özelliklerinin az ya da fazla sayıda olması ağın eğitim sonucunda doğru cevap üretmesini etkiler (Choy ve ark. 2003).

Uygun olmayan parçaların tespiti çalışmasında literatürde tanımlanmış pek çok girdi faktörü bulunmaktadır. Literatürde tanımlanmış kriterlerin incelenmesi ve plastik enjeksiyon yöntemi ile parçalar üreten otomotiv yan sanayi firması ile yapılan görüşmeler sonucunda tamamı sayısal verilerden oluşan dokuz adet girdi belirlenmiştir. Ayrıca girdiler belirlenirken, bu girdilerin, hem parçanın hammaddesi ile ilgili özellikleri hem de parçanın işlendiği makinenin parametrelerini yansıtmasına ve temsil etmesine dikkat edilmiştir. Yapay sinir ağı ile uygun olmayan parçaların belirlenmesi çalışmasında kullanılan girdiler;

1. Parça Gramajı
2. Yoğunluk
3. Hammadde Erime Sıcaklığı
4. Parça Et Kalınlığı
5. Enjeksiyon Süresi
6. Ütüleme Mesafesi
7. Ütüleme Süresi
8. Soğuma Zamanı
9. Mal Alma Mesafesi

Çalışmada kullanılan parça gramajı, yoğunluk, hammadde erime sıcaklığı ve parça et kalınlığı girdileri, direkt olarak üretilen ürünün kendisi ile ilgiliyken; enjeksiyon süresi, ütüleme mesafesi, ütüleme süresi, soğuma zamanı ve mal alma mesafesi girdileri ise plastik enjeksiyon makinesini temsil etmektedir. Girdi parametreleri ile ilgili tanımlar aşağıda verilmiştir.

Parça gramajı: Gram cinsinden parça ağırlığıdır. Tek gözlü kalıplarda sadece o gözüün ağırlığı alınır. Farklı göz sayıları için toplam gramaj baz alınır.

Yoğunluk: Malzemeye ait bir bilgidir. gr/cm^3 cinsinden verilir.

Hammadde erime sıcaklığı: Malzemeye ait bir bilgidir. °C cinsinden verilir.

Parça et kalınlığı: mm cinsinden parça et kalınlığıdır. Değişken et kalınlığı olan parçalarda, et kalınlığı olarak parçanın genelinde kullanılan değer kabul edilir. Kalıp tasarım aşamasında da parça et kalınlığını olabildiğince sabit tutmak genel kuraldır.

Enjeksiyon süresi: Saniye cinsinden ifade edilir. Enjeksiyon süresi, vida piston gibi hareket ederken kalıbın dolma süresidir. Küçük et kalınlıklarında, yüksek enjeksiyon hızı veya düşük enjeksiyon süresi tercih edilir.

Ütüleme mesafesi ve süresi: Enjeksiyon makineleri ütüleme mesafesine geldiğinde helezonun ilerleyişi durur. Bu noktada sadece ütüleme basıncı uygulanır. Eğer ütüleme noktası ve süresi doğru tayin edilmiş ise helezon hiç kımıldamadan bu noktada ütüleme süresince basınçla bekler. Yanlış parametrelerde helezon ilerler ve parçayı doldurmaya devam eder.

Soğuma zamanı: Saniye ile ifade edilir. Soğuma süresinin yüksek girilmesi kalite açısından olumlu etki yapmasına karşın maliyeti arttıran bir faktördür. Genelde yeni ürün devreye almada yüksek soğuma zamanlarıyla üretime başlanıp zamanla düşürülür.

Mal alma mesafesi: mm cinsinden ifade edilir. Maksimum helezon boyu kadardır. Parça gramajıyla orantılı tayin edilen bir parametredir.

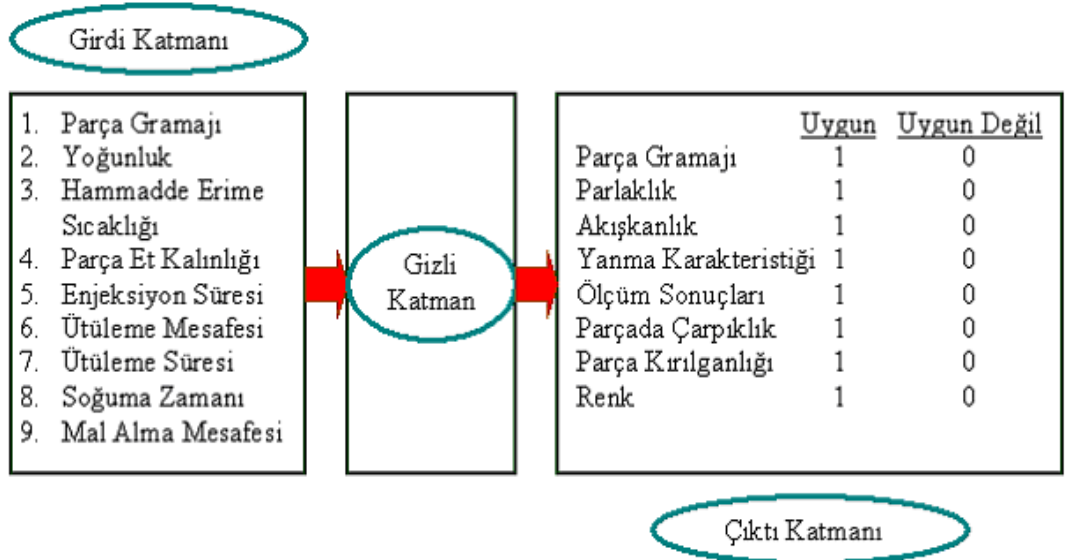
Çıktı özellikleri, Yapay Sinir Ağlarının amacına ve girdilere uygun olarak tanımlanmıştır. Uygun olmayan parça tespiti çalışmasında, tanımlanmış dokuz girdiye karşılık, sekiz adet çıktı özelliği belirlenmiştir. Bu çıktılar ağa sunulan girdilere göre bir (1) ya da sıfır (0) değerini almaktadır. Eğer çıktı “1” değerini alırsa bu, parçanın o çıktı özelliği bakımından uygun olduğunu, eğer çıktı “0” değerini alırsa bu da parçanın o

çıktı özelliği bakımından uygun olmadığını göstermektedir. Kalite problemleri parçaların yapay sinir ağı ile belirlenmesi çalışmasında kullanılan girdiler için oluşturulan çıktılar;

1. Parça Gramajı
2. Parlaklık
3. Akışkanlık
4. Yanma Karakteristiği
5. Ölçüm Sonuçları
6. Parçada Çarpıklık
7. Parça Kırılabilirliği
8. Renk

olarak belirlenmiştir. Otomotiv yan sanayi firmasından alınan bilgilere göre, üretilen bir ürünün müşteriye gidebilmesi için tüm bu çıktılar için “1” değerini alması gerekmektedir. Herhangi bir çıktı değerinin “0” olması durumunda ürünün o özellik bakımından geliştirilmesi gerekliliği ortaya çıkmaktadır. Ürünün tüm özellikleri istenen aralıklar içerisinde olduğunda, ürünün tüm kalite problemlerinin giderildiği söylenebilmektedir.

Uygun olmayan (kalitesiz) parça tespiti çalışması için oluşturulan Yapay Sinir Ağı yapısı Şekil 3.1’de görülmektedir:



Şekil 3.1: Uygun olmayan parça tespiti çalışması için oluşturulan YSA yapısı

Uygun olmayan parça tespiti çalışmasında, Yapay Sinir Ağı, parçalara ait geçmiş veriler (9 adet girdi değerine karşılık 8 adet parametre bazında uygunluk değerleri) ile eğitilmiştir. Bundan dolayı otomotiv yan sanayi firmasından PEM 150 makinesinde üretilen ürünlere ait geçmiş performans bilgileri elde edilmiştir. Bu sistemde eğitici yani sistem tasarımcısı sistem çıkışlarının istenen değerini tespit edebildiğinden, eğitici öğrenme yöntemi kullanılmıştır. Ağ tasarımı geri besleme bağlantıları olmadığı için ve veri tabanındaki bilgilerle eğitim yapıldığı için ileri sürümlü ağlar kullanılmıştır. YSA'nın istenen çıktıları üretebilmesi için katmanlar arasında yer alan ağırlıkların ayarlanması ve güncellenmesi gerektiğinden dolayı, uygun olmayan parça tespiti çalışmasında geri yayılma algoritması kullanılmıştır.

Geri yayılma algoritması, yapay sinir ağı uygulamalarında en yaygın olarak kullanılan öğrenme algoritmasıdır. Geri yayılma algoritması ileri beslemeli ve çok katmanlı bir ağ mimarisinin gerektirmektedir. Geri yayılma algoritmasında hata, ağdaki ağırlıkların bir fonksiyonu olarak görülür ve hataların kareleri ortalaması, eğim düşme yöntemi kullanılarak minimize edilmeye çalışılır. Bu algoritma hataları çıkıştan girişe geriye doğru azaltmaya çalışmasından dolayı geri yayılma ismini almıştır. Geri yayılma algoritması, çok katmanlı ağları eğitmede en çok kullanılan temel bir öğrenme algoritmasıdır.

Eğitme işlemi ve eğitimden sonraki test işlemi bu akışa göre gerçekleştirilir. Geri yayılma algoritması danışmanlı öğrenme yöntemini kullanır. Örnekler ağı öğretilir ve ağı hedef değeri verilir. Her örnek için ağı çıktı değeri ile hedef değeri karşılaştırılır. Hata değeri, ağı tekrar geri besleme şeklinde verilir. Örnek setindeki hata kareleri toplamını azaltmak için nöronlar arasındaki bağlantı ağırlıkları değiştirilir. Tipik çok katmanlı geri yayılma ağı, bir giriş katmanı, bir çıkış katmanı ve en az bir gizli katmana sahiptir.

LMS (least mean square - en küçük karesel ortalama) kuralı, sinirsel ağlarda ağırlıkların bulunmasında kullanılan yöntemlerden birisidir. LMS kuralı, çok katmanlı ağlarda geri yayılma öğrenme algoritmasının temelini oluşturmaktadır. LMS yaklaşımı, her bir girdi vektörüne karşılık gelen istenen ve gerçekleşen çıktı değerleri arasındaki

farkın en aza indirilmesini esas alır. İleri beslemeli ağlarda yaklaşım, ortalama karesel hatanın (mean square error) minimizasyonudur.

$$MSE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (t_i - td_i)^2$$

Formülde N çıktı adedi, t_i gerçek gözlem değeri ve td_i ağ çıkışı değeridir.

Geri yayılma algoritması i ve j indisli nöronlar arasındaki bağlantının $\Delta W_{ji}(t)$ değişimini aşağıdaki gibi vermektedir.

$$\Delta W_{ji}(t) = \eta \delta_j X_i + \alpha \Delta W_{ji}(t-1)$$

Burada η öğrenme oranı, α momentum parametresi ve δ_j j indisli nöronun, çıkış nöronu veya gizli katman nöronu olup olmamasına bağlı olan bir faktördür. δ_j ,

$$\text{Çıkış nöronları için } \delta_j = \left(\frac{\partial f}{\partial net_j} \right) (y_j^r - y_j) \text{ ile}$$

$$\text{Gizli nöronlar için ise } \delta_j = \left(\frac{\partial f}{\partial net_j} \right) \sum_i W_{ji} \delta_i \text{ ile verilir.}$$

$$net_j = \sum_i X_i W_{ji} \text{ ve } y_j^{(d)}, j \text{ indisli işlem elemanı için hedef çıkışıdır.}$$

Gizli katmandaki düğüm sayılarının artırılması simülasyon sırasında hem hafıza hem de CPU'nun yükünü arttırmaktadır. Buna karşın öğrenme işlemi daha hızlı bir şekilde tamamlanmaktadır. Gizli katmandaki düğüm sayısının az miktarda alınması ağıın genelleme yapma yeteneğini olumsuz etkilemektedir. Amaç, ağıın genelleme yeteneğini optimum yapabilecek en az sayıda katmanı kullanmaktır.

Gizli katman tasarımı, seçilen eğitim yöntemine bağlıdır. Öğreticisiz öğrenme yönteminde ilk gizli katmandaki düğüm sayısının giriş katmanındaki düğüm sayısına eşit olması istenmektedir. Öğreticili öğrenme sistemleri gizli katman tasarımında daha esnekler. Gizli katman sayısındaki artış, modelde iletişimsizliğe yol açabilir. Az gizli katman sayısı modelin tahmin yeteneğini geliştirir. Choy ve ark. (2003)'nın bildirdiğine göre, Patuwa, Hu ve Hung gizli katman düğüm sayısının en fazla “2n+1” (n:girdi katmanındaki düğüm sayısı) olabileceğini söylemişlerdir. Diğer yöntemlerde, gizli

katmandaki düğüm sayısının, girdi katmanındaki düğüm sayısının %75'i kadar ya da girdi ve çıktı katmanındaki düğüm sayısının %50'si kadar olabileceği belirtilmektedir.

Uygun olmayan parça tespiti amacıyla tasarlanan sinirsel ağ için, gizli katman tasarımı önce tek gizli katman ve gizli katmandaki düğüm sayıları değiştirilerek incelenmiştir. Daha sonra hata miktarına bağlı olarak gizli katman sayısı ve her bir gizli katmandaki düğüm sayıları değiştirilerek deneyler yapılmıştır.

3.1.2. Yapay Sinir Ağı'nın Eğitimi ve Eğitim Parametrelerinin Belirlenmesi

Eğitim aşamasında, YSA, eğitim kümesiyle, kullanıcı tarafından verilen bilgiyi cevaplamayı öğrenir. Dolayısıyla eğitim kümesinin belirlenmesi ağın doğru çalışması açısından çok önemlidir. Eğitim kümesindeki örnekler problemin bütününe yansıtacak şekilde seçilmelidir. Örneklerin az olması genellemenin başarılı olmasını engeller. Benzer girdilere karşı farklı çıktıların tanımlanması ise ağın cevabının güvenilirliğini olumsuz etkiler (Albino ve Garavelli 1998). Doğru bir sinirsel ağ modeli elde etmek için YSA'nın eğitilmesi gerekliliği bulunmaktadır.

Geri yayılma eğitim yöntemi, algoritmanın hızını etkileyen üç parametre ile kontrol edilebilir. Bu parametreler; öğrenme oranı (η), momentum (μ) ve çıkış durumudur:

- **Öğrenme Oranı (η):** Öğrenme oranı, ağırlıkların zamanla değişimindeki hızı kontrol eder. Öğrenme oranı ağ performansı üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Küçük öğrenme oranı değerleri için eğitim işlemi uzun zaman alırken, bu değerlerin büyütülmesi ile eğitim işlemi daha kısa zamanda gerçekleşmektedir. Öğrenme oranının arttırılması durumunda öğrenme için gerekli adım sayısında azalma meydana gelmesine rağmen bölgesel minimum bulma riski vardır. Öğrenme oranı küçük ise öğrenme uzar ancak genel minimuma ulaşılır. Uygun olmayan parça tespiti çalışmasında öğrenme oranının 0,1 ile 0,5 arasındaki değerlerinde daha iyi sonuçlar alınmıştır. Amaç; en kısa sürede en iyi ağırlık değerlerine ulaşmaktır. Deneyler sonucu elde edilen sonuçlar Ek-3'te verilmiştir.

- Momentum (μ): Momentum parametresi, her bir hatanın ayarlanması için gerekli iterasyon sayısını kontrol eder. Momentumu ifade eden belirli bir kural yoktur, hatayı en küçükleyecek şekilde ayarlanır. Hesaplamalara momentum parametresinin ilave edilmesinin ağ performansı üzerinde etkili olduğu gözlenmiştir. Momentum teriminin hesaplamaya katılması iterasyon sayısında ve toplam ağ hatasında bir düşüş meydana getirmektedir. Momentum parametresi yüksek alındığında ağdaki toplam hatanın sıfıra doğru daha fazla bir eğimle yaklaştığı görülmektedir. Uygun olmayan parça tespiti çalışmasında momentum parametresinin 0,9 ile 0,5 arasındaki değerlerinde iyi sonuçlar alınmıştır. Deneyler sonucu elde edilen sonuçlar Ek-3'te verilmiştir.
- Çıkış durumu: Sinirsel ağ modelinin eğitimi için “belirli sayıdaki iterasyondan sonra, istenen hataya ulaşılmadıysa dur” kuralı uygulanmıştır. Uygun olmayan parça tespiti çalışmasında 10000 iterasyon sonucunda istenen hata seviyesine ulaşılmadıysa sinirsel ağ durdurulmuştur.

Uygun olmayan parça tespiti çalışmasında, ağın eğitilmesi için 100 adet eğitim verisi seçilmiştir. Eğitim verileri, ağın yeterli derecede öğrenebilmesi ve eğitimde kullanılmayan girdiler için de doğru çıktılar vermesini sağlayacak şekilde seçilmiştir. Eğitim verileri, plastik enjeksiyon yöntemi ile otomotiv sektörüne plastik parçalar üreten firmada kullanılan PEM 150 makinesinde üretilmiş olan parçalardan faydalanılarak oluşturulmuştur. 100 adet eğitim verisi Ek-1'de görülmektedir.

3.1.3. Yapay Sinir Ağının Test Edilmesi

Eğitimin başarılı olup olmadığının tespiti ve hedeflenen sistemin kurulduğundan emin olmak için eğitilen ağ test edilmelidir. Ağın test edilmesi demek sinirsel ağ performansının kontrol edilmesi demektir (Albino ve Garavelli 1998). Test aşamasında kullanılan verilerin eğitim aşamasında ağa gösterilmemesi gerekmektedir.

Bu çalışmada, eğitimi tamamlanan ağın istenen düzeydeki güvenilirlikte sonuç üretebildiğinin test edilmesi için, PEM 150 makinesinde üretilen parçalardan 60 adet

doğrulama verisi oluşturulmuştur. Doğrulama verileri eğitim verilerinden farklı olacak şekilde seçilmiştir. 60 adet doğrulama verisi Ek-2’de görülmektedir.

Eğitim ve doğrulama verileri, otomotiv yan sanayi firmasından makine başı gözlemleri ile temin edilmiştir. Ek-1 ve Ek-2’de yer alan tablolarda toplam 160 adet veri bulunmaktadır. Her bir satır yeni bir denemeyi işaret etmektedir. Tablolarda, yapılan denemeler için kullanılan parametre değerleri ve bu parametre değerlerine göre elde edilen ürün için performans göstergelerinin değerleri mevcuttur. Kabul edilen 9 adet parametre reel değerleri üzerinden makineye set edilmiş ve sonuçlar gözlemlenip kaydedilmiştir. Makineden her deneme sonrasında performans göstergeleri için de sayısal değerler alınmıştır. Ancak bu göstergeler, yapay sinir ağına 0 ve 1 yani uygun veya uygun değil şeklinde girileceğinden dolayı sayısal değerlerin 0 - 1 şeklinde derecelendirilmesi gerekmiştir.

Tez çalışmasının yapıldığı firmada her bir performans göstergesinin değerlendirilmesi için kullanılan ölçüm aletleri mevcuttur. Makineden çıkan ürün ilgili cihazlarda ölçüldükten sonra gösterge değerleri elde edilmiştir. Firmada her bir performans ölçütü için belirli toleranslar bulunmaktadır. Elde edilen her bir gösterge değeri, kabul edilen tolerans aralıklarının içinde olup olmamasına göre derecelendirilmiştir. Bu aşamada, kaydedilen değerlerin 0 veya 1 olarak tespit edilmesinde ilgili firmanın üretim tecrübesinden faydalanılmıştır. Keza, ilgili performans göstergelerinin reel değerleri firmada saklı tutulup paylaşıma açılmamıştır. Yalnızca uygun olup olmama bilgileri verilmiştir.

3.2. Uzman Sistem İle Uygun Olmayan Parçadaki Kalite Hatalarının Giderilmesi

Yapay Sinir Ağları kullanılarak, plastik enjeksiyon ile üretilen parçalardan alınan parametre değerlerine göre kalite problemi tespiti yapıldıktan sonra, kalitesiz veya uygun olmayan parçalardaki kalite problemlerinin giderilebilmesi için aksiyonlar ve çözüm önerileri sunan bir uzman sistem tasarlanmıştır.

Uzman Sistem Uygulaması için otomotiv yan sanayi firmasından ve bazı yazılı kaynaklardan uzman görüşleri alınmıştır. Tablo 3.1’de Plastik Enjeksiyon Yöntemi ile üretilen ürünlerde görülebilecek bazı hatalar ile bunların giderilebilmesi amacıyla alınacak önlemleri de içeren muhtemel nedenler yer almaktadır. Tablo incelendiğinde, verilen hataların 6 adetle sınırlandırıldığı görülmektedir. Oysaki işletmelerde ortaya çıkan problemler çok çeşitlilik göstermektedir.

Tablo 3.1: Plastik Enjeksiyon İşleminde Sık Görülen Sorunlar ve Çözümler Tablosu

SORUN	MUHTEMEL NEDEN
Eksik Dolum	Yetersiz malzeme Yetersiz makine kapasitesi Enjeksiyon süresinin kısa tutulması Düşük silindir sıcaklığı Malzemenin akışı için yeterli basıncın sağlanamaması Kalıp içi yerleşim ve cidar hesabı hatası
Çarpılma ve Deformasyon	Düşük hızda boşluk dolumu Yüksek sıcaklıktaki eriyik malzeme Dengesiz et kalınlığı seçimi Soğutma sisteminin yanlış yerleşimi Kısa soğutma süresi Hatalı yolluk yerleşimi
Gaz Boşluğu	Hatalı yolluk yeri seçimi Kaynak izi oluşumuna yol açacak deliklerin yerleşimi Hava çıkışı için imkan verilmemesi
Yanma ve Kara Noktalar	Aşırı sıcak malzeme Yetersiz soğutma Kalıp boşluğuna ani malzeme girişi
Boyutsal Sapma	Eksik malzeme Eksik basınç Uniform olmayan besleme sistemi Yetersiz makine kapasitesi Çekme payı hesabı hatası
Yüzey Hataları	Soğuk kalıp ve malzeme Kalıp yüzeyi kesim hataları Kalıp yüzeyinde nem Akışkan hızı düşüklüğü

Öncelikle Yapay Sinir Ağı verilerinden yararlanılarak uygun olmayan parçaların uygunsuzluk göstergelerini yansıtabilecek olan ve otomotiv yan sanayi firmasında gerçekleştirilen enjeksiyon prosesinde karşılaşılabilen kalite hataları tespit edilmiştir.

Bahsi geçen hatalar oluşturulduktan sonra, aynı uzmanlardan bu hataların giderilmesi için ne gibi çözümler önerebileceklerinin sunulması istenmiştir. Böylece her bir hata tipi için, bir sonraki parçada aynı hata ile karşılaşılmasını sağlamak amacıyla bazı aksiyonlar belirlenmiştir. Çalışmada ele alınan kalite problemleri aşağıda sıralanmıştır ve her bir hata tipi ile ilgili ayrıntılı açıklamalar yapılmıştır.

3.2.1. Termoplastik Ürünlerin Yeni Ürün Devreye Alma Sürecinde Karşılaşılan Kalite Problemleri

Baskıda Çökme

Çökmeler genellikle baskının kalın kısımlarında ve/veya kalınlık farklılıklarının olduğu yerlerde oluşurlar. Bunun sebebi baskının farklı yerlerinin farklı oranda soğumasıdır. Soğuma farklılıklarına ise plastiğin ısı iletkenliğinin kötü olması ve ani soğumalarda molekül zincirlerinin donması neticesinde ortaya çıkan baskı gerilmeleri neden olmaktadır.

Kalın bir baskıda ilk önce baskı dışında kabuk şeklinde soğuma meydana gelmektedir. Bu kabuk, kötü ısı iletkenliğinden dolayı baskının içi ile dışı arasındaki ısı alışverişine engel olmaktadır. Ayrıca soğuyup çeken baskının kalıp yüzeyiyle ısı alışverişi de azalmaktadır. Bundan sonra yavaş soğuyan polimer zincirinin doğal haline gelirken daha az yer kaplamasından dolayı, diğer bir ifadeyle daha fazla çekmesinden dolayı plastik içinde oluşan gerilim, plastik yüzeyini içeri doğru çekmekte veya baskı içinde hava boşluğu oluşturmaktadır. Eğer bu farklı soğuma ısıl olarak eşitlenmez ise çökme veya boşluk oluşmaktadır.

Ürün Üzerinde İz

İzler, özellikle yanık izi, nem hızı ve hava izi şeklinde görülür ve bu izler birbirine çok benzerler. Gözle sınıflandırılmaları oldukça zordur. Bundan dolayı plastik malzemeleri işleyen kişilerin plastik hakkında daha fazla bilgiye sahip olmaları

gereklidir. Ayrıca iz hakkında hüküm verebilmek için çevresel faktörlerin etkilerinin de bilinmesi gereklidir.

➤ **Yanma İzi**

Eğer erimiş plastik çok yüksek sıcaklıkta tutulur ve/veya ocakta çok fazla kalırsa bozulur. Sonuçta gazlı, bozulmuş ürün ortaya çıkar ki bu da baskının yüzeyinde kahverengimsi veya gümüşü renk bozukluğu olarak görülür.

Yanma izinin sebebi erimiş plastiğin ısıyla zarar görmesidir. Sonuçta molekül boyunda azalma olabilir (gümüşü renk bozukluğu olarak görülür) veya makro moleküllerde değişiklik (kahverengi renk bozukluğu yani degradasyon) olabilir. Plastikteki termal bozulma, sıcaklığın aşırı yüksek veya kurutma zamanının aşırı uzun olması, erime sıcaklığının aşırı yüksek olması, ocaktaki sürtünmenin fazla olması, plastiğin ocakta kalma süresinin çok uzun olması ve kalıp içinde sürtünmenin çok fazla olması durumlarıyla yakından ilgilidir.

➤ **Nem İzi**

Kutu şeklindeki baskıların yüzeyinde oluşan nem izi plastiğin akma yönündedir. Gümüş renkli izin çevresi çoğunlukla kaba ve delik deliktir. Nem izi kalıp yüzeyindeki nemden dolayı, parlak olmayan tabakalar halinde ve büyük olarak oluşur.

Plastik malzemeler depolanma ve işlenme esnasında havadan nem çekerler. Bu durum erimiş plastik içinde su buharı oluşturur. Akan plastiğin önündeki akma profili şekli nedeniyle, gaz kabarcıkları erimiş plastiğin önüne doğru itilir. Hava kabarcıkları içerideki basıncın etkisiyle patlar, akan plastiğin ön kısmı ile deformasyon olur ve kalıbın duvarlarında soğuyup donarlar.

Plastik üzerindeki nem, kalıp sıcaklık sistemindeki kaçaklardan, kalıp ile bulunduğu ortam arasındaki sıcaklık farklılığından, malzemenin yeterli kurutulmamasından veya plastiğin doğru depolanmamasından dolayı oluşabilmektedir.

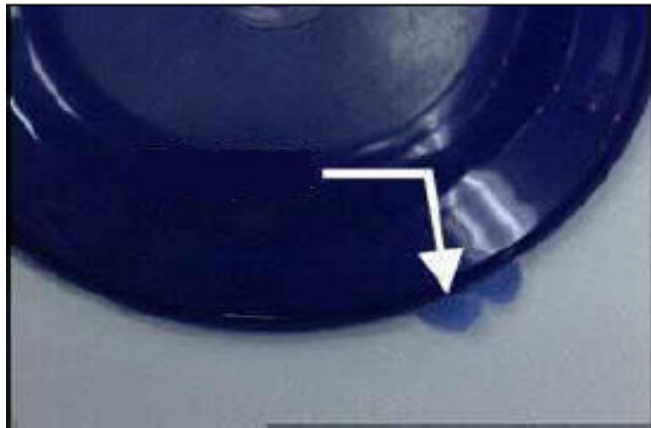
➤ **Hava İzi**

Birçok durumda hava izi mat, gümüşü veya beyaz iz olarak gözükür ve bunlar parçanın tepesine, kaburga ve duvar kalınlıklarının farklı olduğu yerlere yakın oluşur. Ocaktan kalıba dik giden yolluğa yani ana yolluğa yakın, kapıdan başlayan tabakalar halinde iz oluşur. Hava izi ayrıca parçadaki yazılara yakın ve iç gerilimin olduğu yerde oluşur.

Kalıbın dolması esnasında hava kaçamayabilir, yüzeye doğru çekilir ve akma yönünde uzar. Özellikle yazılara, kaburgalara, tümseklere ve gerilimin olduğu kısımlara yakın yerlerde, erimiş plastik malzeme hava kabarcığının üzerinden geçer ve havayı tutar yani hapseder. Sonuçta hava yakalanmış olur ve hava izi oluşur. Eğer hava, vida önüne dekompresyon esnasında emilirse, hava izi yolluk geçidine yakın oluşur. Burada hava enjeksiyon esnasında kalıp boşluğuna nakledilir ve sonra kalıp duvarlarına doğru itilir ve burada soğuyarak donar.

Parlaklık / Farklı parlaklıklar

Baskı, parlaklık yönüyle değerlendirildiğinde iki tip hata söz konusudur. Baskının tamamı aşırı parlak olabilmekte veya yeterince parlak olmamakta yahut da baskının yüzeyinde parlaklık farklılıkları bulunabilmektedir. Parlaklık farklılığının egemen olduğu yerler baskının farklı kalınlıklarının olduğu yerlerdir. Şekil 3.2’de malzeme üzerinde yer alan parlama görülebilmektedir.



Şekil 3.2: Parlamalar

Baskının parlaklığı baskı ışığa tutulduğunda görülür. Nitekim ışık yüzeye çarptığında yönü değişir (ışığın yansıması). Bu ışığın bir kısmı yüzeyden yansırken diğer kısmı parçanın içine doğru yansır ve parça tarafından farklı yoğunluklarda emilir. Yüzeyin düzgünlüğü arttıkça parlaklık optimum olur. Bunu sağlamak için kalıp yüzeyi olduğunca parlatılmalıdır. Parlaklık farklılığının sebebi kalıp içindeki plastik malzemenin farklı soğuma ve farklı çekme şartlarına maruz kalmasıdır. Hali hazırda soğumuş bölgelerin çekilmesiyle (örneğin eğilmeden dolayı) parlaklık farkının oluşması da diğer bir sebeptir.

Kaynak İzi

Plastikteki kaynak izi genelde optik veya mekanik zayıflığın göstergesidir ve iz veya renk değişimi şeklinde görülür. İzler özellikle koyu veya düz yüzeyli çok parlatılmış saydam parçalarda belirgindir. Renk değişimi metal etkisi yapan pigmentle boyalı parçalarda görülür.

Kaynak iki veya daha fazla yönden gelen plastiğin ön kısımlarının birleşmesiyle oluşur. Erimiş plastik malzemenin yuvarlak şekildeki akış uçları karşılaştıkları vakit bu yuvarlaklık düzleşir ve birbirine yapışır. Bu işlem yüksek viskoziteli akan plastiğin ön kısmının çekilmesini gerektirir. Eğer sıcaklık ve basınç yeterince yüksek değilse, akan plastiğin ön kısmının köşeleri tamamen birleşmez ve bu da çizgi izinin oluşmasına neden olur. Buna ilaveten akan plastiklerin ön kısmı homojen olarak erimez. Bu da malzemedeki zayıf noktalar oluşmasına neden olur. Eğer enjeksiyonda kullanılan hammaddenin içinde katkı maddesi varsa (örneğin renk pigmenti), bu katkı maddelerinin kaynak içine yakın yönelmesi ihtimal dahilindedir. Bu durum aynı zaman da kaynak izine yakın yerde renk değişimine sebep olur.

Jetting (Plastiğin Yılan Gibi Fışkırarak Kalıba Dolması)

Baskının yüzeyinde yılan gibi kaba veya mat izler görülür. Fışkırma sıkça renkte ve parlaklıkta farklılığa sebep olur. Bazı durumlarda yarık şeklinde görülebilir.

Fışkırma, erimiş plastiğin ön kısmının normal plastik akışından farklı olmamasından dolayıdır. Sicim şeklinde oluşmuş plastik, yolluk geçidinden başlamak üzere kontrolsüz bir hareketle kalıp boşluğuna girer. Bu durumdaki erimiş plastik sicimi, öyle bir şekilde soğur ki arkadan gelen plastik bileşimi ile homojen olarak karışmaz. Bu durum sıkça uzun parçanın yüksek enjeksiyon hızıyla dolması durumunda oluşur. Fışkırma ayrıca kalıbın pozisyonuyla etkilenir. Hataya engel olmak için kalıp bir baştan bir başa doldurulmamalıdır.

Yanma Etkisi

Baskı yüzeyinde siyah nokta olarak görülebilir. Bu yanmanın oluştuğu kısım genelde tamamen dolmamıştır.

Yanma etkisi tamamen havalandırma problemidir. Kör deliklere yakın akan plastiğin ön kısmının, akmanın son bulduğu yerdeki kısmı ile birkaç yönden akan plastiğin birleştiği noktalarda havanın kaçamadığı durumlarda yanma oluşur. Aynı zamanda havanın, havalandırma kanallarından veya iticilerden yeterince çabuk kaçamadığı durumda da yanma oluşabilir. Enjeksiyon işleminin bitimine doğru hava sıkıştırılır ve sonuç olarak sıkışan hava yüksek derecede ısınır. Bunun sonucu olan çok yüksek sıcaklık, plastikte yanma izine sebep olur.

Baskıdaki Oluklu Çizgi

Baskı yüzeyinde çok ince oluklar gözüktür. İğne kapağına yakın halka konsantrasyonları görülürken plastiğin akma yolunun sonuna kadar paralel izler oluşur ve/veya film kapının arkasında paralel izler oluşur.

Erimiş plastik, soğuk kalıba enjekte edildiği zaman akan plastiğin ön kısmının biraz gerisinde yüksek soğuma oranından dolayı, akan plastiğin çevresinde donmuş bir tabaka oluşur. Bu soğuyan çevresel tabaka ayrıca akmanın ön kısmında duvara yakın olan bölümde soğumaya sebep olur. Eğer bu soğuma çok hızlı ise (özellikle düşük enjeksiyon hızlarında), akan plastiğin ön kısmının kalıp duvarına direkt dokunmasını

geciktirir. Sonuç olarak bunu takip eden sıcak plastik kalıp duvarına doğru hareket edemez fakat akan plastiğin orta kısmında uzamaya sebep olur. Belirli basınçtan sonra akan plastiğin ön kısmı kalıp duvarına tekrar değer. Soğutulmuş akan plastiğin ön kısmı baskı yüzeyi ile kontak kurmaz.

Erime sıcaklığının aşırı düşük olması, enjeksiyon hızının aşırı düşük olması ve kalıp sıcaklığının aşırı düşük olması malzemenin çok hızlı soğumasına neden olabilmektedir.

Gerilim Çatlaması

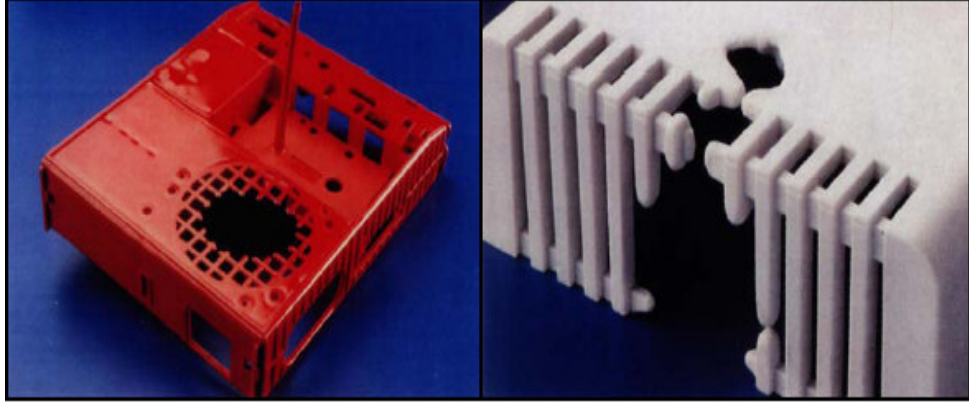
Gerilim beyazlamasına (çatlaması) içeriden ve dışarıdan gerilimler sebep olur. Gerilmeye maruz kalan bölge beyaz renge döner. Gerilim çatlaması, baskının kalıptan çıkması yönünde çatlağa benzer bir aşınmadır ve sık olarak üretimden birkaç gün sonra veya haftalar sonra ortaya çıkar.

Gerilim beyazlaması veya çatlaması, maksimum deformasyon oranı aşıldığı zaman oluşur. Örnek: Aşırı harici gerilim veya eğilme. Maksimum deformasyon (bozukluk) oranı, kullanılan malzemeye (hammaddeye), moleküler yapıya, hammaddenin işlenmesine ve baskının bulunduğu hava şartlarına bağlıdır. Dahili ve harici gerilme, baskı kuvvetini, zamana ve sıcaklığa bağlı fiziksel işlemle azaltabilir. Bu durumda moleküller arasındaki bağlantı kuvvetleri gerilim beyazlaması, yayılması ve baskının şişmesi işlemi ile azalır. Harici genişleme gerilimi, baskı basınç altındayken malın aniden kalıptan çıkarılıp atmosfer basıncına çıktığı zaman oluşur. Sonuç olarak baskının iç tabakası dış tabakası üzerine gerilim yapar. Yetersiz kalıp boyutlaması ve/veya yüksek kalıp içi basınç altındaki baskının kalıptan çıkarılması hatanın ana nedenidir.

Tamamen Dolmamış Baskı

Dış kısımları tamamen oluşmamış parçalara tamamen dolmamış parçalar denilir. Bu tip hata yolluk geçidinden çok uzak bir yerde eğer akma mesafesi uzunsa ortaya çıkar. Parçanın tamamen dolmaması için birkaç sebep vardır. Bunlar; enjeksiyon yapılan hammadde hacminin çok az olması, erimiş plastiğin havalandırma probleminden dolayı baskıyı doldurmaması, enjeksiyon basıncının yetersiz olması ve enjeksiyon hızının

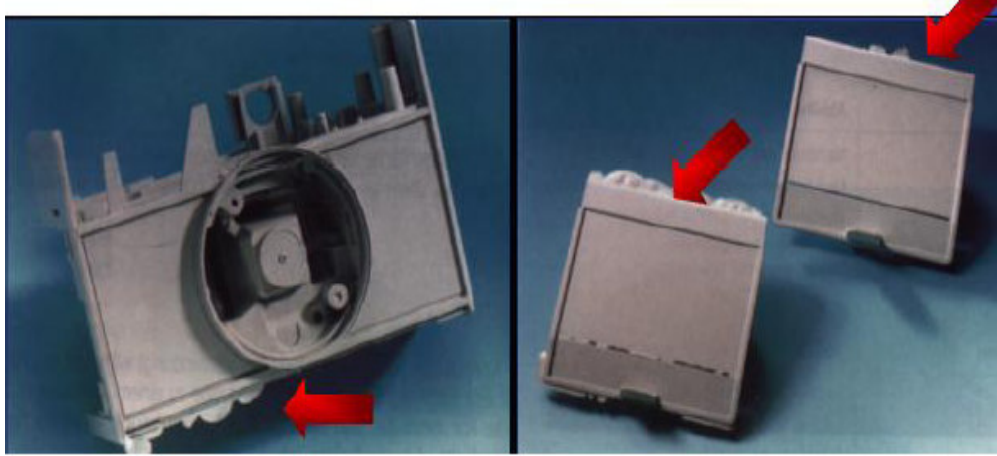
düşük olması dolayısıyla kanallarda plastiğin zamanından önce dolması olarak sıralanabilir. Tamamen dolmamış baskı örnekleri Şekil 3.3'te yer almaktadır.



Şekil 3.3: Tam Doldurulmamış Parçalar

Çapaklı Parça

Çapak, paçanın kenarında filme benzer oluşmuş fazlalıklardır ve genellikle kalıp ayırım çizgilerinde, havalandırma kanalında ve iticilerde oluşur. Çok ince çapak bazen hemen görünmeyebilir. Geniş alanda kalın çapak nominal görünüşün üzerinde birkaç cm uzunluktadır. Çapak, kalıpta müsaade edilen açıklığın aşılmasından, makinenin kilitleme gücünün yetersiz veya çok aşağı bir değere ayarlanmış olmasından, dahili kalıp basıncının aşırı yüksek olmasından, hammaddenin viskozitesinin aşırı düşük olmasından, yüksek kalıp içi basınçtan veya düşük akma direncinden dolayı oluşabilmektedir. Şekil 3.4'te çapaklı parça örneği yer almaktadır.



Şekil 3.4: Çapaklı Parçalar

Baskı Yüzeyinde Kabuklanma

Malzemenin tabakaları homojen olarak birbirine bağlanmamıştır ve sonuçta kabuklanma başlar. Bu kabuklanma, yolluk geçidinde veya baskı yüzeyinde oluşur ve yoğunluğa bağlı olarak çok büyük veya çok ufak ve incedir.

Yüzeydeki kabuklanma, birbirine yakın tabakaların arasındaki yeterli yapışmanın oluşmamasından kaynaklanmaktadır. Farklı tabakalar, farklı akma etkisi ve soğuma şartlarıyla baskıda oluşur. Yüzeysel ve sürtünme gerilimi ile homojensizlik öyle bir dereceye gelir ki yüzeydeki tek tabaka kabuklanır. Gerilim, yüksek enjeksiyon hızı ve yüksek erime sıcaklığından dolayı gerçekleşirken; homojensizlik, granülün saf olmamasından, uyum sağlamayan boya kullanımından, nemden ve iyi eritilmemiş hammaddeden kaynaklanmaktadır.

Baskıda Hava Kabarcıkları

Baskı içinde veya üzerinde hava kabarcıkları veya gazın sebep olduğu boşluklar kaçınılmazdır. Vakum boşluğu ile karşılaştırıldığında bu gazın yakalanması kalıp duvarlarında da oluşabilir.

Enjeksiyon esnasında hava erimiş plastik tarafından yakalanır ve bu hava baskı içinde boşluk şeklinde görülür. Temelde bu hata, basınç azaltılmasının çok yüksek ve hızlı olmasından ve ocağın performansının çok düşük olmasından kaynaklanmaktadır. Baskıda hava kabarcıkları Şekil 3.5'te görülmektedir.



Şekil 3.5: Hava Kabarcıklarına Örnekler

Yolluğa Yakın Soluk Noktalar

Yolluğun çevresinde oluşan bir halkadır ve sıkça çok ufak soluk renk halkası olarak görülür. Ufak yolluk geçidi kullanılmasından ve enjeksiyon hızının yüksek oluşundan kaynaklanabilmektedir.

Enjeksiyon esnasında yüksek enjeksiyon hızı ve ufak yolluk geçidi kullanılması nedeniyle, bu yolluk girişinin arkasında moleküller akma yönünde yönlenir. Kapının arkasında bu moleküllerin eski haline gelmesi için yeterli zamana sahip değildir. Bundan dolayı yönlenmiş halde soğurlar. Bu plastik tabaka minimum oranda çekilip uzatılabilir ve yüksek yüzeysel kuvvet altında çatlar. Plastik akıntının içindeki sıcak plastik kalıp duvarına doğru akar ve çok ufak yarıklar, çentikler oluşturur. Bu bölgedeki parlak olmayan görünüş, bu bölgenin ışığı çok geniş bir şekilde yansıtmasından dolayıdır.

Baskı Boyutlarında Sapma

1. Baskı Boyutları Büyük

Enjeksiyon basıncının yüksek olması durumunda kalıp basıncı fazla olacağı için çekme oranı azalacak ve baskı boyutları büyüyecektir. Kalıp sıcaklığı düşük

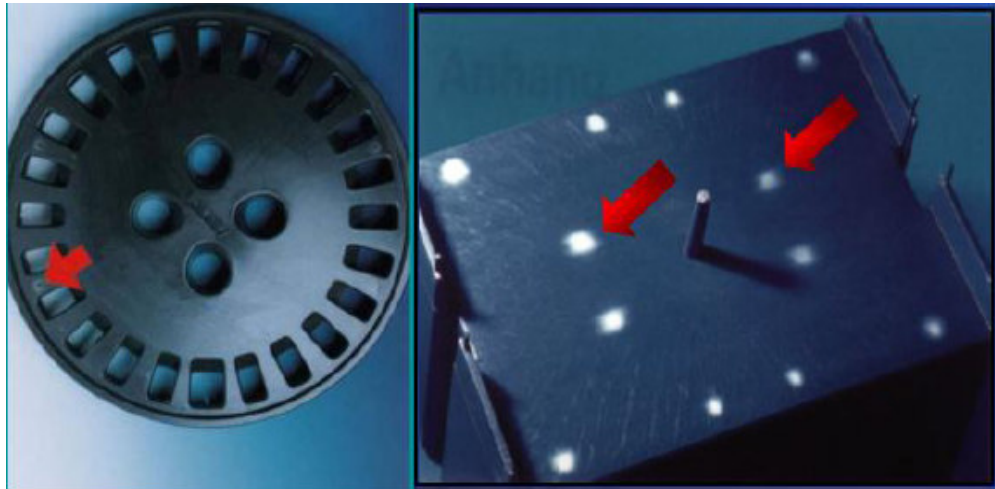
olduğunda ise sıcaklık ve basınç etkisiyle açılmış moleküllerin tabii durumlarına gelemenden soğudukları görülecektir. Bunun neticesinde ısıtılmış plastik molekülleri ayrılacak ve soğutulduklarında kendilerini birbirlerine kilitleyeceklerdir. Moleküller, kısmi açılmış durumda daha fazla hacim kaparlar ve daha büyük boyutlu baskıya sebep olurlar.

2. Baskı Boyutları Küçük

Enjeksiyon basıncının düşük olması durumunda çekme oranı artacak ve baskı boyutları küçülecektir. Kalıp sıcaklığı yüksek olduğunda ise daha yüksek çekme görülecektir. Çünkü kalıp ve plastik malzeme genişletilmiş durumdadır. Baskı kalıptan çıktığında daha fazla çekecek ve baskı boyutları küçülecektir.

Görülebilir İtici İzleri

Basılmış parçanın iticilerinin olduğu yerin basınç altında kalması veya yükselmesidir. Bu şekilde oluşan parça et kalınlığı farklılığı, baskının görülebilir yüzeyinde parlaklık farkı ve gerilime sebep olur. İtici izi bulunan parçalar Şekil 3.6'da yer almaktadır.



Şekil 3.6: İtici İzleri

Bu hata tipi; ürünün yeterince soğuyup sertleşmeden kalıptan çıkarılması veya uygun olmayan makine ayarından dolayı çok yüksek itici kuvvetinin olması gibi prosese

bağlı sebeplerden dolayı, iticiyi yanlış takmak veya yanlış itici uzunluğu gibi geometrik sebeplerden dolayı, hatalı boyutlandırma ve kalıp tasarımı, parça ve itici sistemi gibi mekanik sebeplerden dolayı ve iticiler ve kalp duvarları arasındaki yüksek sıcaklık farkı gibi termal sebeplerden dolayı gerçekleşebilmektedir.

Baskının Kalıptan Çıkması Esnasında Deformasyonu

Baskıya yapılan zarara bağlı hatayı sınıflandırdığımızda kalıptan dışarı atılma izi çatlak, kırılma, iticilerin bulunduğu yerdeki çok fazla gerilimle aşırı çekilip uzaması olarak sınıflandırılır. Parçanın kalıptan çıkarılmasında uygulanan kuvvetten ve çıkarma hareketindeki hatalardan dolayı deformasyon oluşabilmektedir.

Kalıptan parça çıkarma için gerekli uygulanan kuvvet ufak tutulmalıdır. Diğer faktörlere ilaveten basılan parçanın çekmesinin kalıptan ürün çıkarmaya (itici kuvvetlere) direkt etkisi vardır. Çekme ve itici kuvvetleri, proses parametreleri (sıcaklık, soğuma vb.) ile dikkate değer şekilde etkilenir. Ayrıca basılan parçanın geometrisi etkili bir faktördür. Genel olarak, kutu şeklinde ve yuvarlak ürün için düşük çekme oranı arzu edilir çünkü baskı erkek kısmın üzerine çekerek takılır. Ürünün erkek kısma yapışmasının sebebi ise plastiğin sıcaklık genleşme katsayısının metalden çok yüksek olmasıdır.

Cold Slugs (Plastiğin bir bölümünün sıcaklığının diğer bölümden az olması)

Memeden gelen soğuk erimiş plastiğin ön kısmının biraz daha soğuk olması ve kalıp içine akması iz bırakır. Cold slug aynı zamanda yollukta sıkışınca kaynak izine sebep olur. Çünkü erimiş plastiğin ikiye ayrılarak akıp tekrar birleşmesine sebep olur.

Cold slug, enjeksiyondan evvel erimiş plastiğin yolluk geçidi veya memede sertleşerek oluşmasıdır. Cold slug her baskıda kalıbın içine girer. Eğer cold slug tekrar erimezse kuyruğa benzer iz sebep olur. Bunlar baskının tamamına yayılır. Ayrıca cold slug yollukta sıkışarak akan plastiğin ikiye ayrılmasına sebep olur. Bu akan plastik tekrar kalıp içinde birleşerek kaynak izi gibi yüzey hatası oluşturur. Cold slug

çoğunlukla yanlış basınç kontrolünden dolayı olur veya ocağın geri gelmesindeki gecikmeden dolayıdır. Ufak meme çapı problem üzerinde negatif etki yapar.

Koyu Noktalar

Baskı yüzeyinde oluşan koyu veya siyah noktalar ocak eskimesi, termal yanma veya kirden dolayıdır.

Koyu noktaların oluşmasına yüksek erime sıcaklığı, plastiğin ocakta kalma süresinin uzunluğu veya sıcak yolluk sistemindeki yanlış sıcaklık dağılımı gibi proses ile ilgili sebepler, kirli yolluk geçidi sistemi kullanımı, eskime veya sıcak yolluk sisteminde keskin köşeler bulunması gibi kalıba balı sebepler, kirli ve eskimiş vida ve ocak kullanımı gibi makineye bağlı sebepler ve granülün temiz olmaması veya uygun olmayan boya ve masterbatch kullanımı gibi polimer ve boyayla ilgili sebepler etki etmektedir.

Termoplastik malzemelerin plastik enjeksiyonu süreci ile ilgili literatür araştırması yapıldığında, süreçte yukarıda bahsi geçen 18 farklı hata tipine ek olarak başka hataların da ortaya çıkabileceği belirlenmiştir. Bununla birlikte uygulamanın gerçekleştirildiği ve uzman sistem bilgilerinin büyük çoğunluğunun elde edildiği otomotiv yan sanayi firmasında en sık görülen hatalar ele alınmıştır. Hata listesi oluşturulduktan sonra her bir hata için bazı sorular sorulmuş ve alınan cevaba göre ya ilgili aksiyon hemen önerilmiş ya da yeni sorularla diğer aksiyonlara ulaşılması sağlanmıştır. Bu aşamada en önemli nokta, operatörün yapay sinir ağından elde edilecek olan ürüne ait uygunsuzluk göstergelerinin ilerleyen aşamalarda ne gibi problemlere yol açabileceğini belirleyebilmesidir. Gerek konu ile ilgili akademik çalışmalar gerek ilgili işletmede görülen hatalar taranarak elde edilen 18 adet kalite problemi, yapay sinir ağından elde edilen uygunsuzlukları tam olarak karşılayabilecektir.

4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

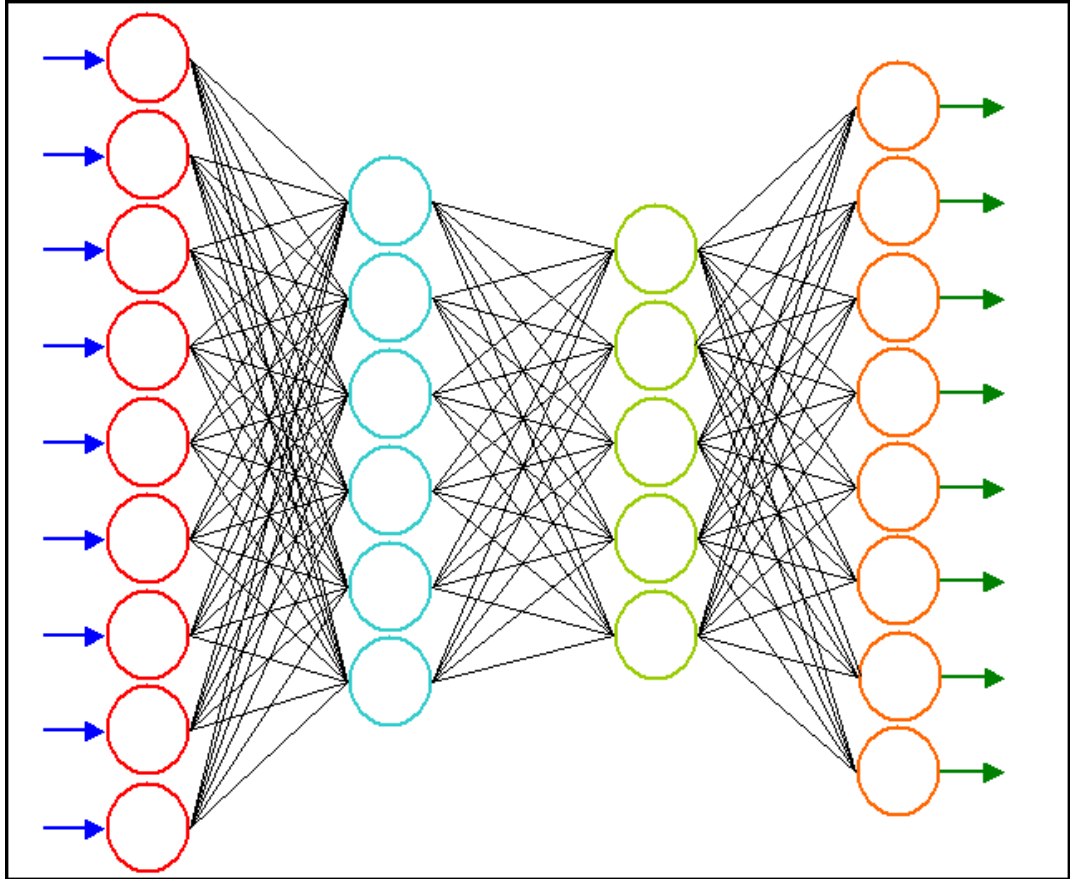
4.1. Uygun Olmayan (Kalitesiz) Parçaların Tespiti İçin Ağ Mekanizmasının Seçimi

Kalite Problemi bulunan, bundan dolayı uygun olmayan parçaların tespiti için oluşturulan ağın tasarımı ve eğitimi için MATLAB programının Neural Network Toolbox'ında yer alan Backpropagation modülündeki fonksiyonlar kullanılmıştır. MATLAB programında ileri beslemeli ağın oluşturulması için “newff” fonksiyonu, ağın eğitimi için ise geri yayılma algoritmasında momentumu kullanarak gradyan azaltma tekniğini uygulayan “traingdm” fonksiyonu kullanılmıştır. Ayrıca “traingdm” fonksiyonu, öğrenme parametresi ve momentum değerlerinin değiştirilmesine de imkan vermektedir. Traingdm fonksiyonun girdileri aşağıda belirtilmiştir:

Eğitim ve doğrulama verileri: Eğitim ve doğrulama verileri için Ek-1 ve Ek2’de yer alan tablolardaki veriler kullanılmıştır. Bu tablolarda 9 adet parametre girdi değişkenleri olarak, 8 adet performans göstergesi ise çıktı değişkenleri olarak yer almaktadır. Girdi değişkenleri parametrelerin reel değeri üzerinden ağa girilmekte iken, çıktı değişkenleri ise performans göstergelerinin uygun olup olmamasına göre 0 veya 1 değerini almaktadır.

Gizli katman seçimi: Gizli katman tasarımı, yapılan deneyler sonucu belirlenmiştir. Deneyler, tek gizli katman ile başlamış ve her bir denemede gizli katmanda yer alan nöron sayıları değiştirilmiştir. Öncelikle tek gizli katman (nöron sayıları değiştirilerek) için çeşitli denemeler yapılmış daha sonra gizli katman sayısı ikiye çıkarılarak denemelere devam edilmiştir. Gizli katman sayısı ve her gizli katmandaki nöron sayısı belirlenirken literatürde anlatılmış olan yöntemler dikkate alınmıştır. Yapılan denemeler sonucunda iki gizli katmana sahip, birinci gizli katmanda altı nöron, ikinci gizli katmanda beş nörona sahip ağ yapısı en iyi sonucu vermiştir.

Deneyler sonucunda elde edilen ağ yapısı Şekil 4.1’de görülmektedir:



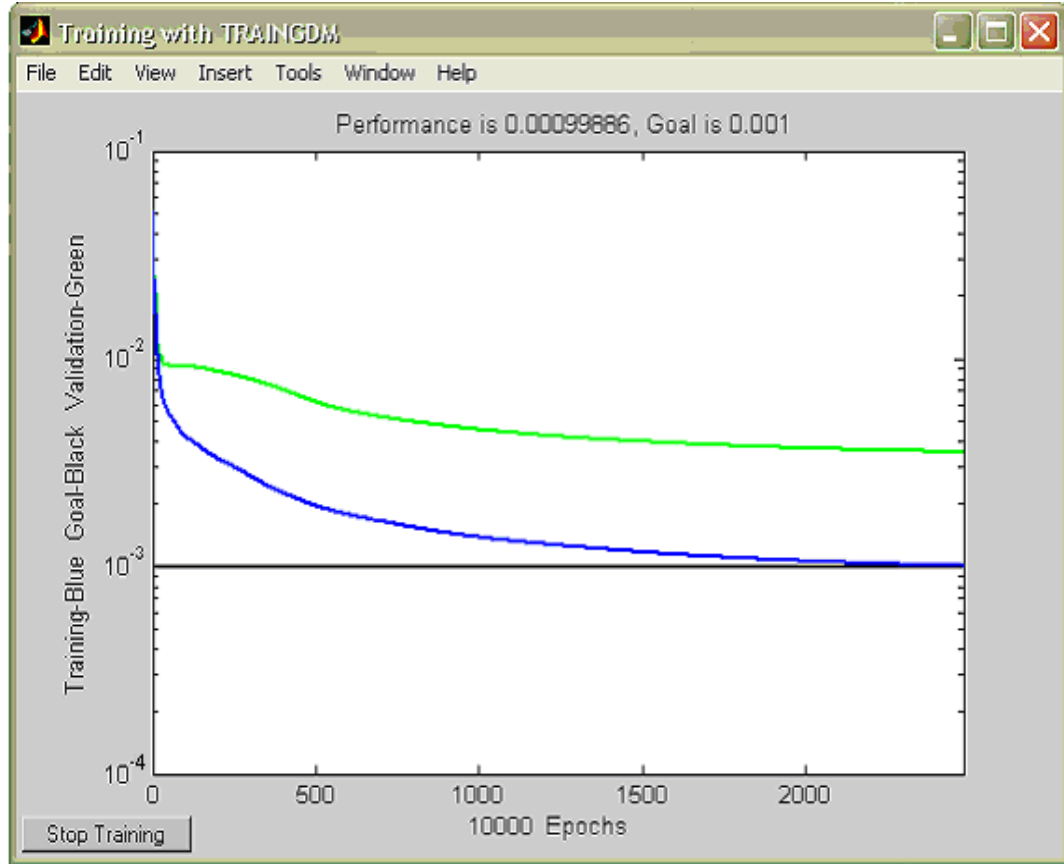
Şekil 4.1: Uygun olmayan parçaların tespiti çalışması için deneyler sonucu elde edilen yapay sinir ağı yapısı

Ağ parametrelerinin belirlenmesi: Hedef hata değeri, öğrenme oranı, momentum, iterasyon sayısı ve parametre gösterge değeri gibi ağ parametreleri yapılan denemeler sonucunda belirlenmiştir.

Hedef hata değeri olarak 0.001, maksimum iterasyon sayısı 10000, parametre gösterge değeri olarak da 3000 alınmıştır. Yapılan denemelerle ilgili tablo Ek-3'te görülmektedir. Yapılan deneyler sonucunda, momentumun 0,7 ve öğrenme oranının 0,3 olduğu durum için ağdan en iyi sonuç elde edilmiştir.

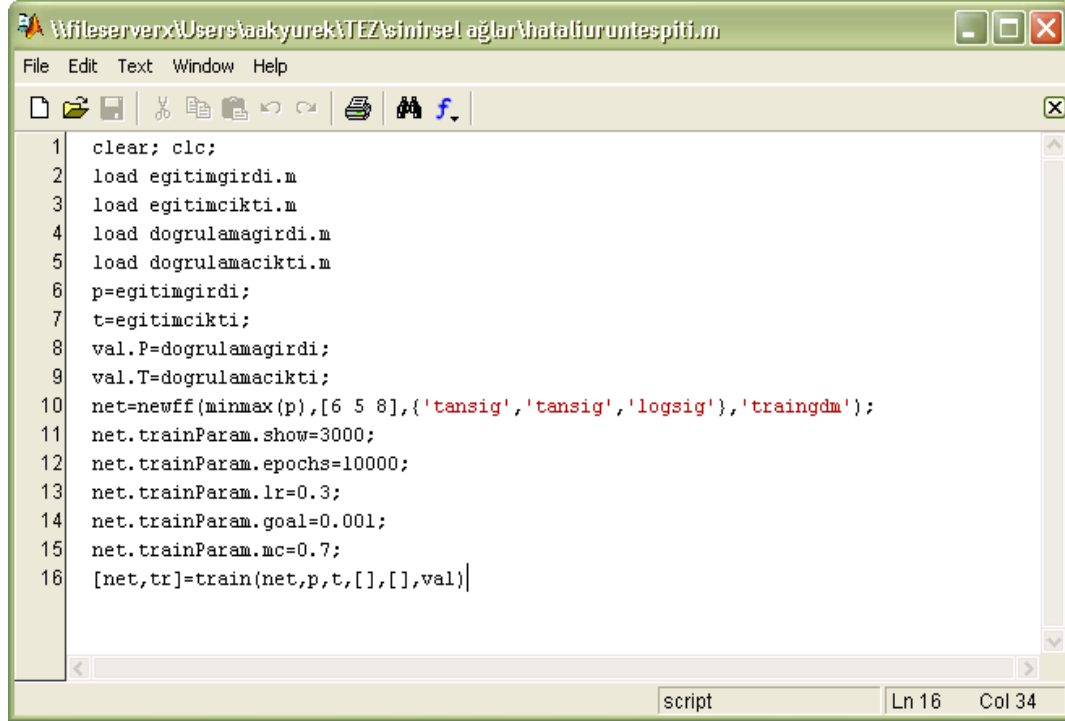
YSA eğitilirken, öğrenme ile ezberleme arasındaki sınırın belirlenmesi gerekmektedir. YSA, toplam karesel hata sifıra çok yakın olacak şekilde eğitilebilir; fakat bununla birlikte eğitim kümesinde bulunmayan bir veri girildiğinde çok yüksek tahmin hataları ortaya çıkabilir. Bu nedenle ağı eğitim kümesi verilerine verdiği cevapların yanında, doğrulama kümesi verileri için de verdiği cevaplar değerlendirilmelidir. Bunun için, MATLAB programında bulunan “early stopping” eğitim kuralı kullanılmıştır. Bu kuralda, eğitim kümesi, eğitim hesaplamasında ve ağı ağırlıkları ile eşik değerlerinin güncellenmesinde kullanılır. Ağı eğitilmesi sırasında doğrulama kümesindeki hata da gözlenmektedir. Eğitimin ilk aşamalarında doğrulama kümesindeki hata da eğitim kümesindeki hata ile birlikte düşmekteyken zamanla, doğrulama kümesi için hata değeri artış gösterebilmektedir. Belli bir iterasyon sayısında doğrulama hatası artmaya başladığında eğitim durdurulur. Eğitim kümesinin hatası minimum değere doğrulama kümesinden çok farklı bir iterasyon değerinde ulaşırsa, bu durum veri kümelerinin yanlış seçildiğini gösterir.

Ağın en iyi değeri için eğitim ve doğrulama kümesi hatalarının değişimlerinin yer aldığı grafik Şekil 4.2'de görülmektedir:



Şekil 4.2: Eğitim ve Doğrulama Kümesi Hataları Değişim Grafiği

Uygun olmayan (kalitesiz) parçaların tespiti için Matlab programında yazılan bildirim Şekil 4.3’de görülmektedir.



Şekil 4.3: Uygun olmayan parçaların tespiti için yazılan MATLAB bildirimi

4.2. Kalite Problemi Bulunan Parçalardaki Kalite Hatalarının Giderilmesi İçin Oluşturulan Uzman Sistem

Yapay Sinir Ağı çıktılarına göre kalite problemi tespit edilen parçalardaki hataları giderecek şekilde bir uzman sistem tasarımı yapılmıştır.

Kalite problemine sahip parçalar için hata listesi oluşturulduktan sonra her bir hata için bazı sorular sorulmuş ve alınan cevaba göre ya ilgili aksiyon hemen önerilmiş ya da yeni sorularla diğer aksiyonlara ulaşılması sağlanmıştır. Termoplastik ürünlerin yeni ürün devreye alma sürecinde karşılaşılabilen hatalar, bunlar için uzman sistemin kullanıcıya soracağı sorular ve uzman sistemin önerileri Ek-4'te verilmektedir:

Sistemde, hatanın ne olduğuna karar verildikten sonra onun kaynağına inilebilmesi amacıyla kullanıcıya bir takım sorular yöneltilmektedir. Kullanıcının soruya cevabı evet olduğu takdirde uzman sistem ona hemen öneri sunmaktadır. Ancak kullanıcının cevabı

hayır olduğunda ise hatanın sebebinin ne olduğunu anlamak için yeni sorular sormaktadır ve bu sistem bir “IF - THEN” yapısı içinde işlemektedir.

Örneğin; karşılaşılan hata baskıda çökme hatası ise aşağıdaki gibi bir sistematik takip edilmektedir:

EĞER Hata baskıda çökme ise
VE

EĞER Vida önünde toplanan erimiş plastik miktarı aşırı küçükse;

O HALDE

{

- Enjeksiyon vidasının ileri geri hareket miktarını arttır.

VEYA

- Tek yönlü valfli roketi kontrol et.

}

EĞER Çökme izi kapıya veya kalın baskı duvarına yakınsa;

O HALDE

{

- Ütüleme basınç süresini arttır.

VEYA

- Kalıp yüzeyinin sıcaklığını azalt.

VEYA

- Erimiş plastiğin sıcaklığını azalt.

VEYA

- Enjeksiyon hızını azalt.

}

EĞER Çökme izi kapıdan uzakta veya baskının ince duvarlarında ise;

O HALDE

{

- Arka basınç süresini arttır.

VEYA

- Enjeksiyon hızını arttır.

VEYA

- Erimiş plastiğin sıcaklığını arttır.

VEYA

- Kalıp sıcaklığını arttır.

}

EĞER Çökme, baskı kalıptan çıktıktan sonra oluyorsa;

O HALDE

{

- Kalıp havalandırmasını kontrol et.

VEYA

- Kalıp ısı kontrol cihazı kullan.

VEYA

- Baskının farklı yerlerindeki kalınlık farkını azalt.

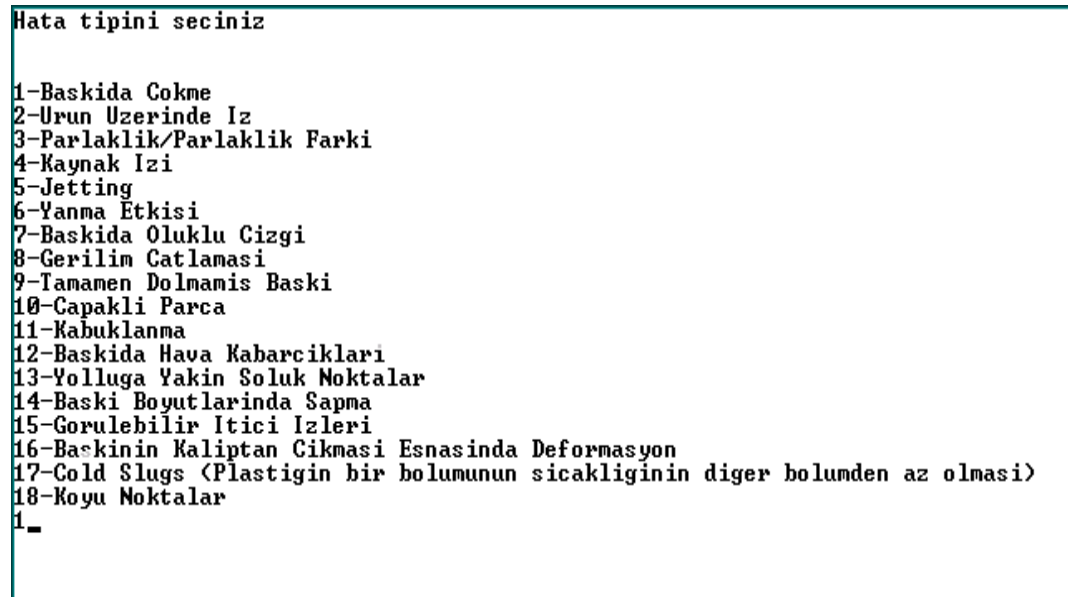
VEYA

```

- Çekme oranı düşük plastik kullan.
VEYA
- Gaz yapan katkı maddesi koy.
}
EĞER değilse
O HALDE
{
- Soğuma süresini arttır.
}

```

Uzman sistemin kural tabanı C++ dilinde yazılmış ve otomotiv yan sanayi firmasında denenmiştir. Yapılan denemelerden biri olan, baskıda çökme hatası için ekran görüntüleri aşağıda verilmiştir. Şekil 4.4'te uzman sistem kullanıcı ara yüzü görülmektedir. Örnekte hata tipi olarak baskıda çökme hatasının seçilmesi amacıyla 1'e basılmıştır.



Şekil 4.4: Uzman sistem kullanıcı ara yüzü

Baskıda çökme hatası seçildikten sonra, uzman sistem kullanıcıya bu hata ile ilgili sorular sormuştur. Kullanıcı, problemle ilgili sorulan ilk üç soruya “hayır”, son soruya ise “evet ” cevabını vermiştir. Sonuçta, uzman sistem problemin çözümlenmesi için kullanıcıya öneriler sunmuştur. Uzman sistemin örnek problemle ilgili önerileri Şekil 4.5'te verilmiştir.

```

Uida onunde toplanan erimis plastik miktarı asiri kucuk mu?
h
Cokme izi kapiya veya kalın baski duvarına yakın mı?
h
Cokme izi kapıdan uzakta veya baskinin ince duvarlarında mı?
h
Cokme baski kalıptan ciktikten sonra mı oluyor?
e
1-KALIP HAVALANDIRMASINI KONTROL ET
2-KALIP ISI KONTROL CİHAZI KULLAN
3-BASKININ FARKLI YERLERİNDEKİ KALINLIK FARKINI AZALT
4-CEKME ORANI DUSUK PLASTİK KULLAN
5-GAZ YAPAN KATKI MADDESİ KOY
Press any key to continue_

```

Şekil 4.5: Uzman sistem sonuç ekranı

4.3. Uygun Olmayan (Kalitesiz) Ürünlerin Tespiti Ve Kalite Hatalarının Giderilmesi Çalışması İçin Örnek Bir Uygulama

Yapay Sinir Ağları ile hatalı ürün tespiti ve Uzman Sistem ile bu hatanın giderilmesi için aksiyonlar üretilmesi konulu tez çalışması için oluşturulan programların etkinliğinin saptanabilmesi amacıyla örnek bir ürün üzerinde çalışma gerçekleştirilmiştir. Örnek parça olarak otomotiv yan sanayi firmasında bulunan PEM 150 enjeksiyon makinesinde üretilmeye başlanacak olan Motor Üst Kaplama Ön ürünü seçilmiştir. Ürün ile ilgili Operasyon Kontrol Planı Ek-5, Ek-6 ve Ek-7’de sunulmuştur. Verilen eklerin çalışmada herhangi bir fonksiyonu bulunmamaktadır. Bilgi amacıyla verilmiştir.

Seçilen ürünün görüntüsü Şekil 4.6’da görülmektedir. L84 Motor Üst Kaplama Ön Parçası ve üretildiği makine olan PEM 150 için çalışmada kullanılacak olan parametreler Tablo 4.1’de görülmektedir.



Şekil 4.6: Motor Üst Kaplama Ön Parçasının Görünümü

Çalışmada öncelikle Tablo 4.1’de yer alan değerler oluşturulan yapay sinir ağına girdi olarak verilmiştir. Ağdan elde edilen çıktı değerlerine göre bu ürünün tespit edilen kalite göstergeleri bazında uygun olup olmadığı incelenmiştir. Ürünün her bir gösterge bakımından uygunluk kriteri 0,85 değerine göre belirlenmiştir. Bir gösterge için 0,85 değerinin altında bir değer ile karşılaşılnca, ürünün bahsi geçen göstergeye göre uygun olmadığı sonucuna varılmıştır. 0,85 değerinin belirlenmesinde çalışmanın yapıldığı firmada daha önce yapılmış olan yapay sinir ağı uygulaması referans alınmış ve her hangi bir gösterge için ağdan 0,85 ve üstünde bir değer alınınca, ürünün o özellik bakımından kaliteli olduğu yargısına varılmıştır. Ürünün uygunsuz olduğu tüm göstergeler tespit edildikten sonra operatör veya formen devreye girerek, bu uygunsuzlukların hangi kalite problemlerine neden olabileceğini belirlemiştir. Bu noktada uzman sistem devreye girerek belirlenen her bir kalite problemi için aksiyonlar önermiştir. Aksiyonlar uygulanıp yeni değerler elde edilince, bu değerler ağı tekrar set edilmiş ve ürünün tüm kalite göstergeleri yeniden gözlenmiştir. Süreç tüm göstergelerin (parça gramajı, parlaklık, akışkanlık, yanma karakteristiği, ölçüm sonuçları, parçada çarpıklık, parça kırılgenliği, renk) uygun (1) olduğu görülünceye kadar devam etmektedir.

Tablo 4.1: Hatalı Ürün Tespiti Uygulamasında Kullanılan Örnek Ürüne Ait Değerler (1)

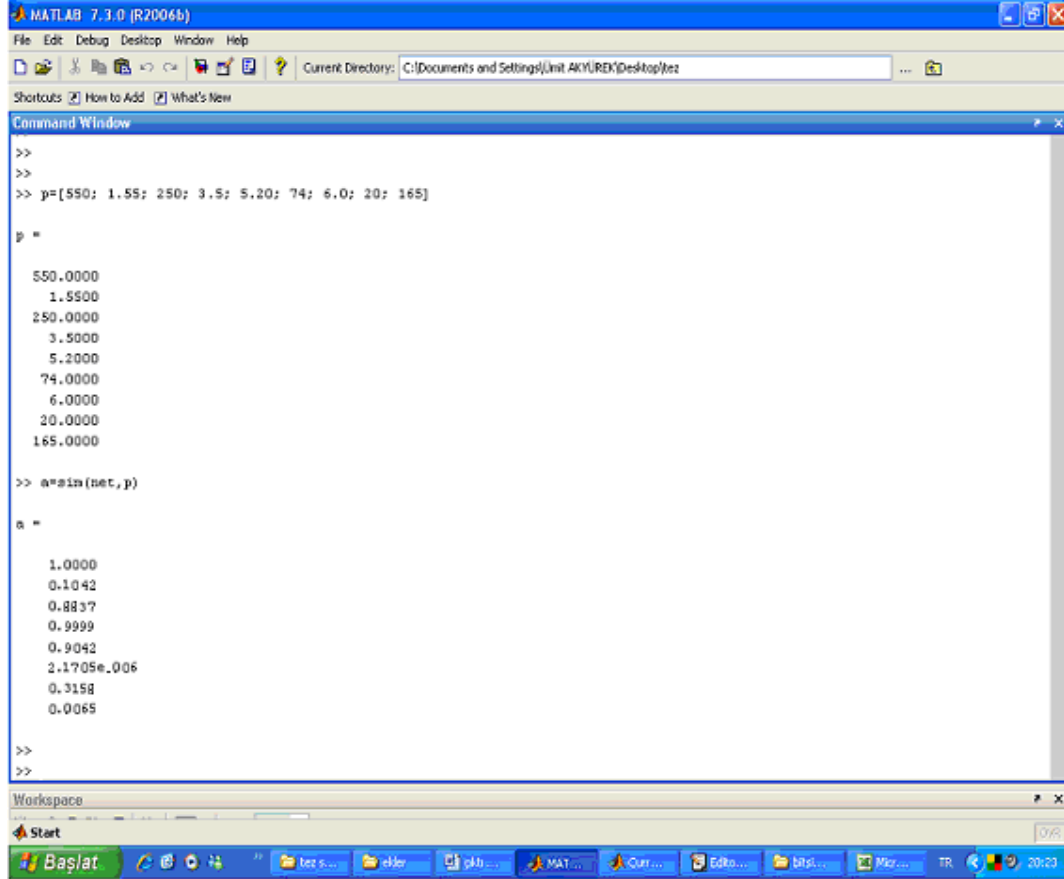
Girdi No	Girdi	Değer
1	Parça Gramajı	550 gram
2	Yoğunluk	1,55 gram/cm ³
3	Hammadde Erime Sıcaklığı	250 °C
4	Parça Et Kalınlığı	3,5 milimetre
5	Enjeksiyon Süresi	5,20 saniye
6	Ütüleme Mesafesi	74 milimetre
7	Ütüleme Süresi	6,0 saniye
8	Soğuma Zamanı	20 saniye
9	Mal Alma Mesafesi	165 milimetre

İlgili parametre değerleri ağa girildiğinde parçanın bazı kalite göstergeleri bakımından (parça gramajı, akışkanlık, yanma karakteristiği, ölçüm sonuçları) uygun olduğu halde, bazı kalite göstergelerinde (parlaklık, parçada çarpıklık, parça kırılgenliği, renk) uygunluk aralığını tutturamadığı tespit edilmiştir. Tablo 4.1’de verilen değerler ağa girildikten sonra elde edilen çıktı değerleri ve uygunluk durumları Tablo 4.2’de gösterilmiştir.

Tablo 4.2: Ağdan elde edilen çıktı değerleri ve uygunluk durumları (1)

Parametre	Değer	Durum
Parça Gramajı	1.0000	Uygun
Parlaklık	0,1042	Uygun Değil
Akışkanlık	0,8837	Uygun
Yanma Karakteristiği	0,9999	Uygun
Ölçüm Sonuçları	0,9042	Uygun
Parçada Çarpıklık	$2,17 \cdot 10^6$	Uygun Değil
Parça Kırılgenliği	0,3158	Uygun Değil
Renk	0,0065	Uygun Değil

Hatalı ürün tespiti uygulamasında örnek olarak incelenen L84 Motor Üst Kaplama Ön Parçası için elde edilen MATLAB ekranı Şekil 4.7’de görülmektedir.



Şekil 4.7: Örnek Parça İçin Elde Edilen MATLAB Ekranı (1)

Bu çalışmada oluşturulan YSA' dan elde edilen sonuçlara göre üretilen ürünün parlaklık, çarpıklık, kırılganlık ve renk özellikleri bakımından uygun olmadığı ve bu şartlar altında kaliteli ürün olarak adlandırılmayacağı tespit edilmiştir. Tespit edilen problemlerin ise ilk etapta baskıda parlaklık, baskıda gerilim çatlaması ve kabuklanma hatalarını beraberinde getireceği otomotiv yan sanayi firması tarafından bildirilmiştir.

Karşılaşılan parlaklık, gerilim çatlaması, baskı yüzeyinde kabuklanma hatalarının hızlı bir şekilde giderilmesi için, tasarımılanan uzman sisteme başvurmak gerekmektedir. Kabuklanma hatası için aşağıdaki gibi bir sistematik takip edilerek kalite problemi giderilmiştir.

EĞER Hata Kabuklanma ise

VE

EĞER Malzeme veya renk değişikliğinde hata oluşuyorsa;

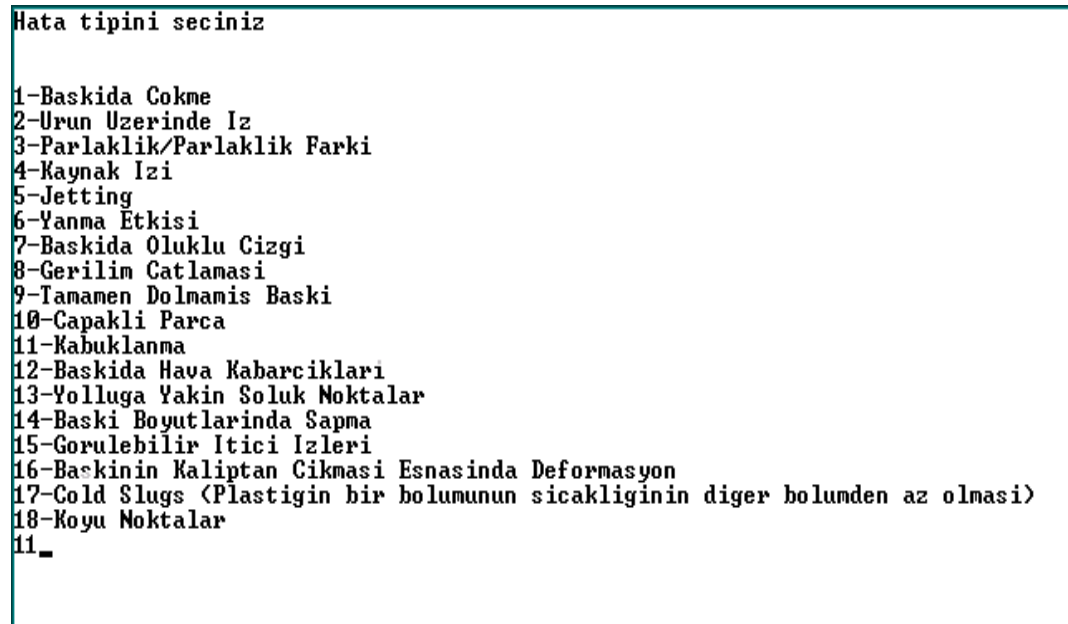
O HALDE

```

{
- Granülün saflığını kontrol et.
VEYA
- Nem oranını kontrol et.
VEYA
- Erimiş plastik homojenitesini ve ocağın eritme performansını
kontrol et.
}
EĞER değilse
O HALDE
{
- Enjeksiyon hızını azalt.
VEYA
- Erime sıcaklığını azalt.
VEYA
- Kalıp sıcaklığını artır.
}

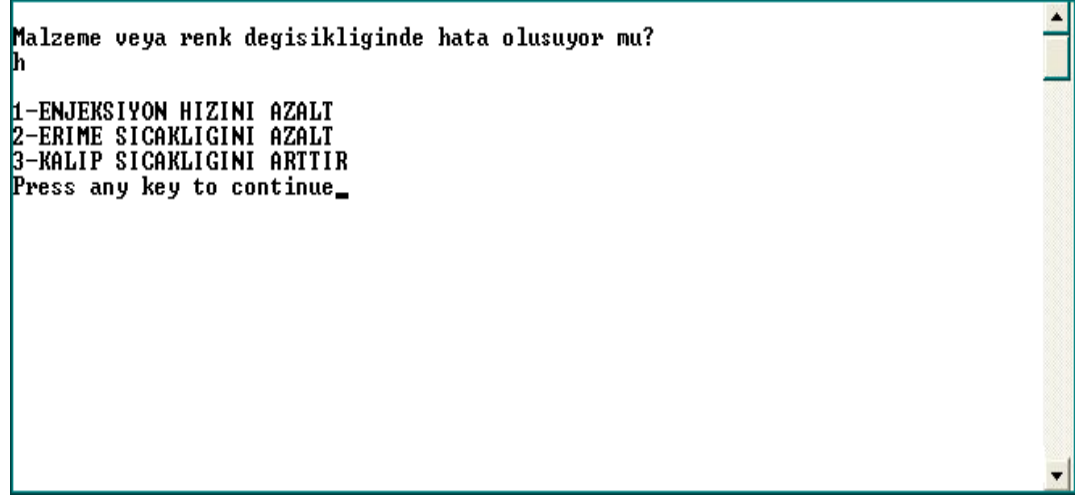
```

Kalite probleminin giderilebilmesi amacıyla uzman sistem çalıştırıldığında karşılaşılan soruya PEM 150 makinesi operatörü cevap vermiş ve yönergeleri uygulamıştır. Baskı yüzeyinde kabuklanma, parlaklık ve gerilim çatlaması hataları için bazı ekran görüntüleri elde edilmiştir. Şekil 4.8’de uzman sistem kullanıcı ara yüzü görülmektedir. Belirtildiği üzere hata tipi olarak kabuklanma hatasının seçilmesi amacıyla 11’e basılmıştır.



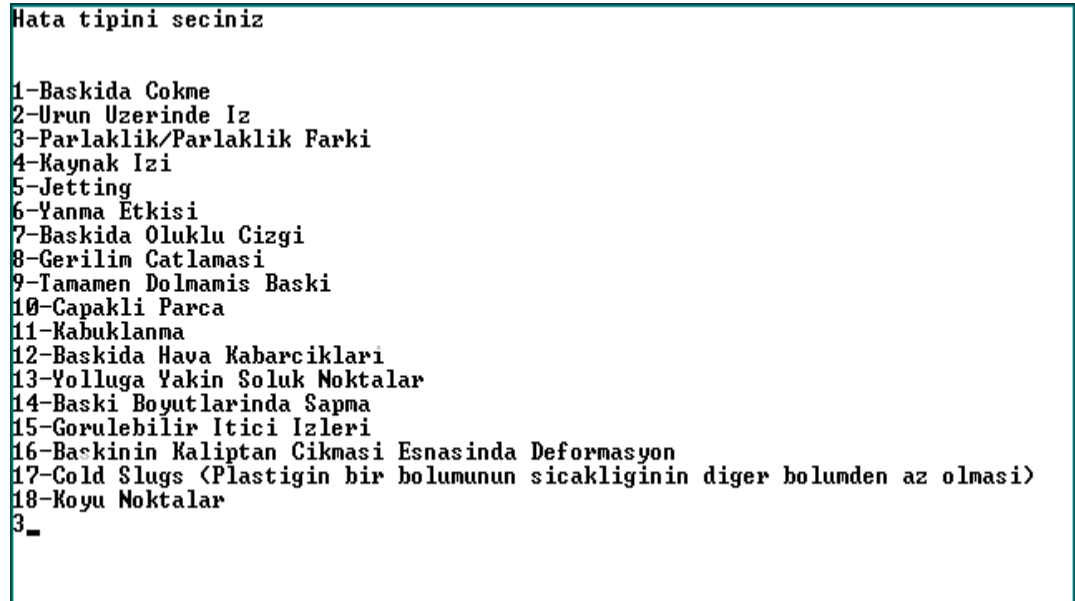
Şekil 4.8: Kabuklanma Hatası için Uzman Sistem kullanıcı ara yüzü

Kabuklanma hatası seçildikten sonra, uzman sistem kullanıcıya bu hata ile ilgili soruyu sormuştur. Kullanıcı, problemle ilgili sorulan soruya “hayır” cevabını vermiştir. Sonuçta, uzman sistem problemin çözümlenmesi için kullanıcıya öneriler sunmuştur. Uzman sistemin örnek problemle ilgili önerileri Şekil 4.9’da verilmiştir.



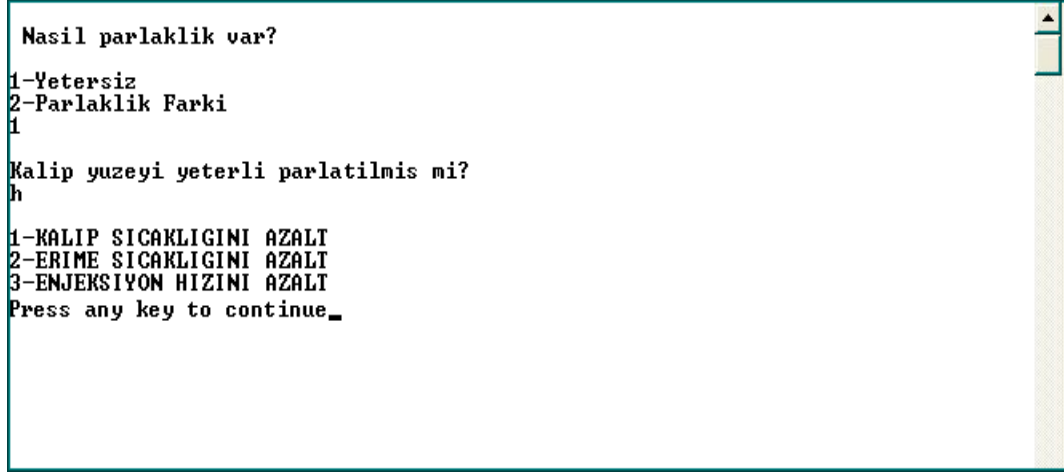
Şekil 4.9: Kabuklanma Hatası İçin Uzman sistem sonuç ekranı

Benzer biçimde parlaklık hatası için uzman sistem kullanıcı ara yüzü ile sonuç ekranı Şekil 4.10 ile Şekil 4.11’de görülmektedir. Hata tipi olarak parlaklık hatasının seçilmesi amacıyla 3’e basılmıştır.



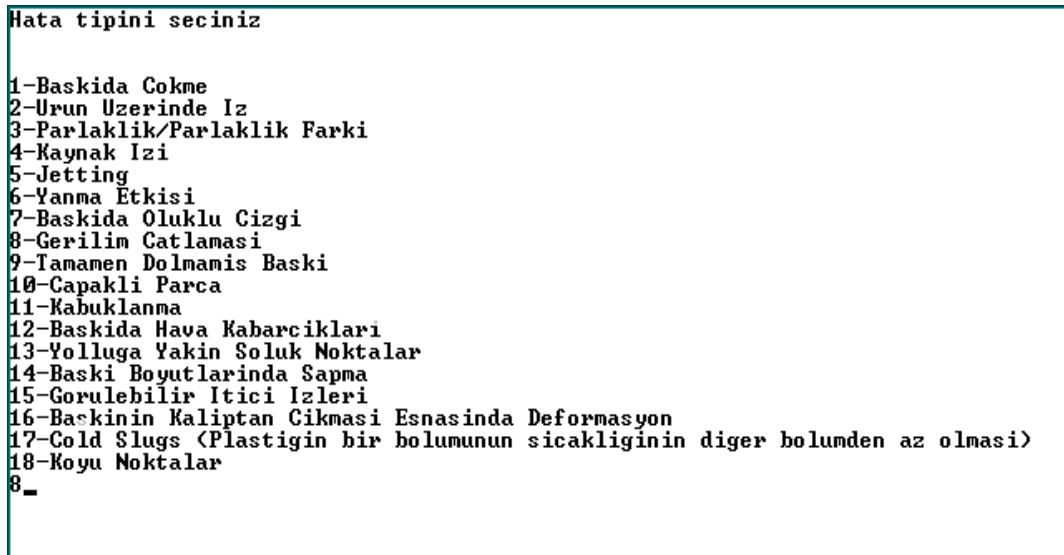
Şekil 4.10: Parlaklık Hatası için Uzman Sistem kullanıcı ara yüzü

Hata olarak 3 numara ile temsil edilen parlaklık hatası seçildiğinde uzman sistem kullanıcıya hatanın “yetersiz parlaklık” veya “parlaklık farkı” hatalarından hangisine dahil olduğunu sormuştur. Kullanıcı yetersiz parlaklık cevabını vermek için 1’e bastığında ise yeni bir soruyla karşılaşmış ve bu soruyu “hayır” şeklinde cevaplandırmıştır.



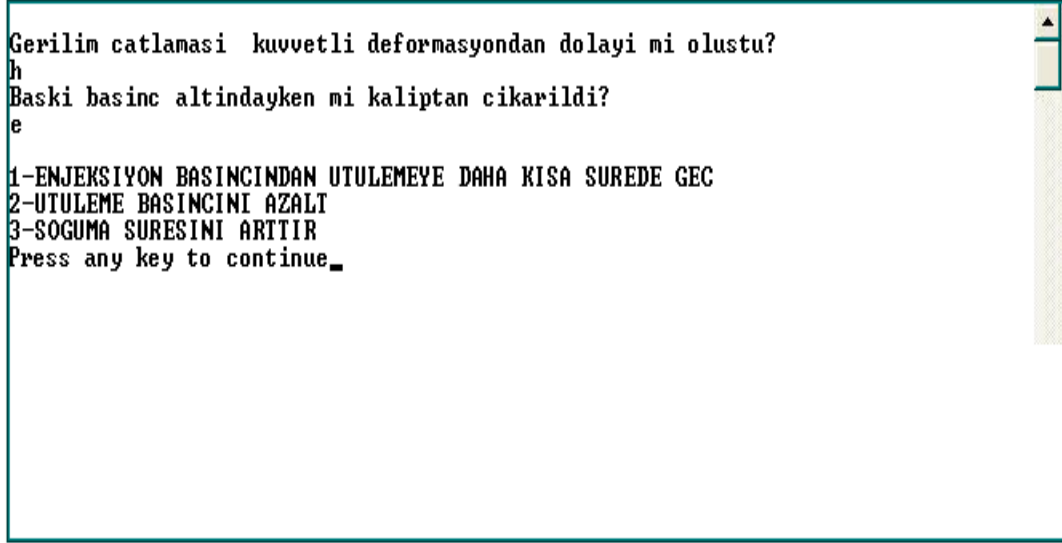
Şekil 4.11: Parlaklık Hatası İçin Uzman sistem sonuç ekranı

Gerilim çatlaması hatası içinse uzman sistem kullanıcı ara yüzü ile sonuç ekranı Şekil 4.12 ile Şekil 4.13’te görülmektedir. Hata tipi olarak gerilim çatlaması hatasının seçilmesi amacıyla 8’e basılmıştır.



Şekil 4.12: Gerilim Çatlaması Hatası için Uzman Sistem kullanıcı ara yüzü

Operatör hata olarak 8 numara ile temsil edilen gerilim çatlaması hatasını seçtiğinde uzman sistem, hatanın giderilebilmesi amacıyla aksiyon üretebilmek için gerilim çatlamasının nedenine dair soru sormuştur. Operatör karşılaştığı soruya yanıt olarak “hayır” seçeneğini seçmiştir. Bunun üzerine yeni bir soru soran uzman sisteme “evet” cevabını veren operatör daha sonra ilgili aksiyonları elde etmiştir.



Şekil 4.13: Gerilim Çatlaması Hatası İçin Uzman sistem sonuç ekranı

Tez çalışmasının başında da hedeflendiği gibi uzman sistemden kısa bir sürede birden çok öneri alınabilmiş ve yeni ürün geliştirme ekibinin kararı gerekmeksizin operatörün inisiyatifi kullanması ile hemen uygulamaya geçilebilmiştir. Üstelik bir sonraki ürün için aksiyonlar tek tek uygulanıp yeniden sonuç alınması yerine birden fazla aksiyon aynı anda uygulanmış ve kaybedilen zaman azaltılmıştır.

Karşılaşılan hataların giderilebilmesi için ilk olarak yapılması gereken aksiyonlar erime sıcaklığının ve enjeksiyon hızının azaltılması ile soğuma süresinin arttırılmasıdır. Erime sıcaklığı değeri ilk durumda 250°C olarak tespit edilmiş iken, kalite probleminin giderilmesi amacıyla düşürülmesi gerektiği için 240°C seviyesine çekilmiştir. Kabul edilen parametrelerde enjeksiyon hızına karşılık gelen parametre enjeksiyon Süresi olarak belirlenmiştir. Enjeksiyon süresi değeri ilk durumda 5,20 saniye olarak tespit edilmiş iken, kalite probleminin giderilmesi amacıyla düşürülmesi gerektiği için 5,05 saniye seviyesine çekilmiştir. Uygulanması gerekli bir diğer aksiyon olan soğuma

süresinin arttırılması içinse soğuma süresi değeri ilk durumdaki 20 saniye değerinden kalite probleminin giderilebilmesi amacıyla 22 saniye seviyesine çıkarılmıştır. Burada dikkat edilmesi gereken en önemli aşama ilgili parametre değerlerindeki artış veya azalış değerlerinin nasıl tespit edildiğidir. Operatör ilgili parametrelerin değişim miktarını, her bir parametre için öngörölmüş olan tolerans aralığı içerisinde belirlemektedir. Burada, tez çalışmasının belirli bölümlerinde de belirtildiği üzere makine operatörünün makine ve ürün hakkındaki bilgisi rol oynamaktadır. Ancak yeterince tecrübeye sahip olmayan bir operatör bile yeni ürün devreye alma ekibine danışmadan uzman sistemi kullanabilecek ve değişimin hangi parametrede ve ne yönde olacağını öğrenebilecektir. Bu bakımdan uzman sistem oldukça pratik olarak kullanılabilecektir.

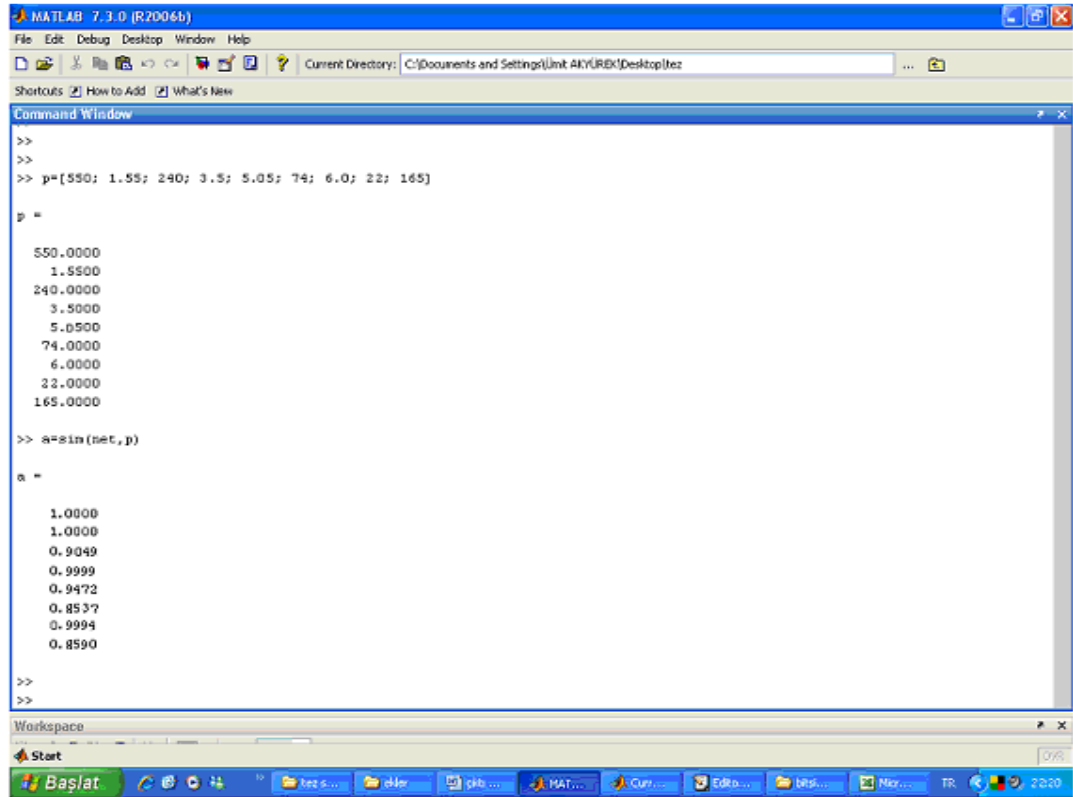
Tablo 4.3: Hatalı Ürün Tespiti Uygulamasında Kullanılan Örnek Ürüne Ait Değerler (2)

Girdi No	Girdi	Değer
1	Parça Gramajı	550 gram
2	Yoğunluk	1,55 gram/cm ³
3	Hammadde Erime Sıcaklığı	240 °C
4	Parça Et Kalınlığı	3,5 milimetre
5	Enjeksiyon Süresi	5,05 saniye
6	Ütüleme Mesafesi	74 milimetre
7	Ütüleme Süresi	6,0 saniye
8	Soğuma Zamanı	22 saniye
9	Mal Alma Mesafesi	165 milimetre

Parametrelerin yeni değerlerine göre yapay sinir ağı yeniden çalıştırılmış ve ağdan yeni bir sonuç elde edilmiştir. Tablo 4.3'te yeni deneme için kullanılan değerler bulunmakta iken, örnek ürün için ağdan elde edilen MATLAB ekranı ise Şekil 4.14'te yer almaktadır. Tablo 4.3'te verilen değerler ağa girildikten sonra elde edilen çıktı değerleri ve uygunluk durumları Tablo 4.4'te gösterilmiştir.

Tablo 4.4: Ağdan elde edilen çıktı değerleri ve uygunluk durumları (2)

Parametre	Değer	Durum
Parça Gramajı	1.0000	Uygun
Parlaklık	1.0000	Uygun
Akışkanlık	0,9049	Uygun
Yanma Karakteristiği	0,9999	Uygun
Ölçüm Sonuçları	0,9472	Uygun
Parçada Çarpıklık	0,8537	Uygun
Parça Kırılabilirliği	0,9994	Uygun
Renk	0,8590	Uygun

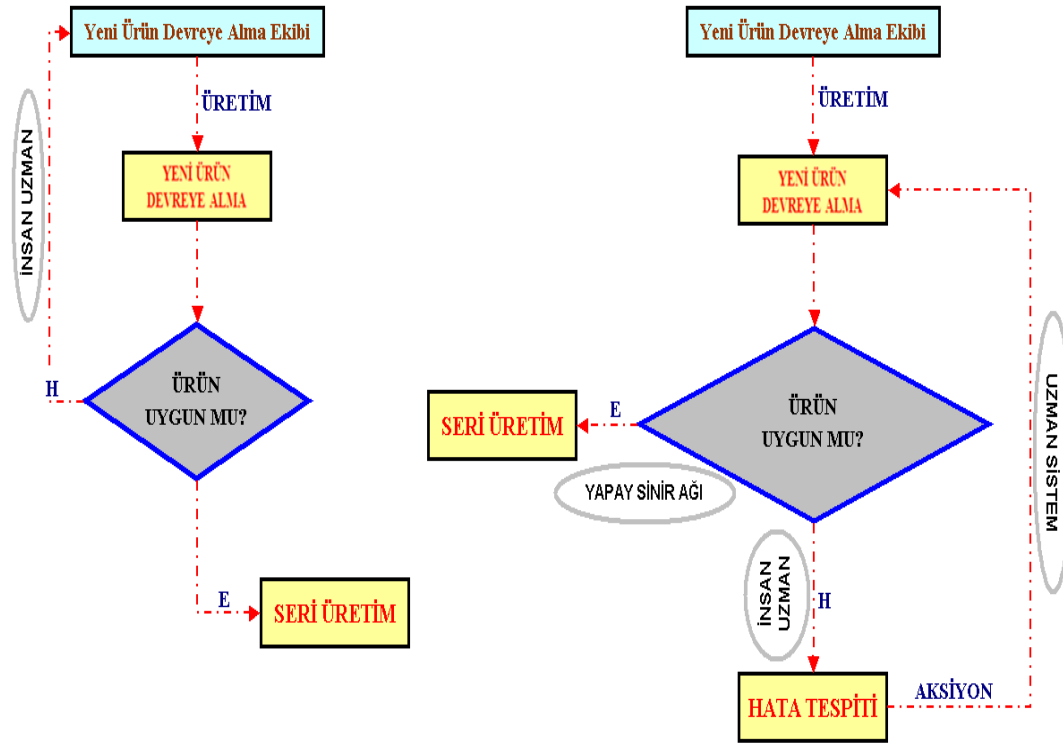


Şekil 4.14: Örnek Parça İçin Elde Edilen MATLAB Ekranı (2)

Ekran görüntüsü incelendiği zaman PEM 150 makinesinde deneme üretimi veya devreye alma süreci devam eden L84 Motor Üst Kaplama Ön ürünü için uzman sistemin ürettiği aksiyonlar gerçekleştirilince ilk duruma göre kalite bazında ciddi

anlamda bir iyileşme sağlandığı ve tüm göstergelerde uygunsuzlukların giderildiği görülmektedir.

Yapılan görüşmeler neticesinde kullanılan yaklaşımın mevcut duruma göre çok daha hızlı ve güvenilir olarak yeni ürün devreye alma sürecinde ortaya çıkabilecek hataların tespiti ve giderilmesi amacıyla kullanılabileceği sonucuna varılmıştır. Üstelik sunulan yaklaşımda süreç adım adım ilerlemekte ve iyileştirmeler kaldığı yerden devam etmektedir. İnsana bağlı olan mevcut sistemde bir değişiklik yapıldığında, o değişikliğin kaydı tutulmadığı için, elde edilen ürün uygun olmadığı zaman denemelere baştan başlanmaktadır. Dolayısıyla süreç rassal denemelerle sürmektedir. Şekil 4.15'te yeni ürün devreye alma sürecinin mevcut akışı ile tez çalışmasında önerilen yapay sinir ağı ve uzman sistem kullanılarak oluşturulan yeni sürecin akışı görülmektedir. Yapay sinir ağı ve uzman sistem arasında oluşturulabilecek yeni bir model, program veya uygulama ile insan uzmanın süreçten uzaklaştırılmasına yönelik çalışmalara devam edilerek sürecin daha da kısaltılmasını sağlamak mümkün olabilecektir.



Şekil 4.15: Yeni Ürün Devreye Alma Sürecinin Mevcut Akışı ve Önerilen Yaklaşımda Ortaya Çıkacak Yeni Akış

5. SONUÇ

Globalleşen dünyada ülkemizin dışa açılma çabaları özellikle son yıllarda önemli ölçüde ivme kazanmıştır. Bu dışa açılma süreci ile birlikte Batı ve Uzak Doğu ile ciddi bir rekabetle karşı karşıya kalınmıştır. Batıdan gelen rekabet ileri teknoloji kullanımı ile ortaya çıkmaktayken, Uzak Doğu rekabeti hammadde ve işçilik giderlerinin düşüklüğü şeklinde kendini göstermekte ve sanayicileri içinden çıkılmaz bir darboğaza sürüklemektedir. Bu darboğazın aşılmasında anahtar faktör olarak verimlilik kavramı ortaya çıkmakta ve verimlilik artışı birçok işletme için ulaşılması gereken bir hedef olmaktadır. Bu da üretimin her aşamasında tasarrufu ön planda tutan titiz bir çalışmayı gerektirmektedir.

Türk plastik sektörü oldukça uzun sayılabilecek bir geçmişe sahiptir. Bu sektör çok sayıda alt sektörleri bünyesinde barındırmakla birlikte plastiklerin enjeksiyonla şekillendirilmesi kilit bir sektör olarak karşımıza çıkmaktadır. Plastik malzemelerin çok önemli bir kısmı bu yöntemle şekillendirilmektedir. Rekabetin ciddi boyutlara ulaştığı günümüzde kalitenin ve özellikle düşük maliyetle ulaşılabilir yüksek kalitenin ülkemizin rekabet gücüne katkıda bulunacağı tartışmasız bir gerçektir. Bu üretim metodunda verimliliğin artırılmasının yollarının başında bir defada üretilen parça sayısının artırılması gelmektedir.

Plastik enjeksiyon sürecinde yeni ürün devreye alma süreci önemli ölçüde zaman almaktadır. Bu süreci kısaltan firmalar bunu bir rekabet silahı olarak kullanabilirken, bu süreyi kısaltamayan firmalar müşteri kaybetme riskiyle karşılaşır. Tez çalışmada da plastik enjeksiyon prosesinde önemli bir sac ayağı durumunda bulunan yeni ürün devreye alma süresini kısaltabilme amacı doğrultusunda çalışılmıştır. Oluşturulan modeller ile en kısa zaman dilimi içerisinde kalite problemi bulunmayan uygun parçaların elde edilmesi istenmektedir.

Mevcut işleyişte yeni ürün devreye alma sürecinin uzunluğunu tamamıyla işletmelerde çalışan formen ve operatörler belirlemektedir. İşletme bünyesindeki formenler ne ölçüde bilgi ve tecrübeye sahip iseler kaliteli parça elde etme süresi de o

oranda kısalmaktadır. Formenlerin kişisel yanılğı ve öngöröleri ile yeni ürün devreye alma süresi uzayabilmektedir. Dolayısıyla insan uzmanların (formen veya operatör) işten ayrılmalrı ya da hayatlarını kaybetmeleri ile ortaya çıkabilecek rekabet ve üretim dezavantajları işletmeleri zor duruma düşürebilecektir.

Sunulan tez çalışmasında, plastik enjeksiyon yönteminde yeni ürün devreye alma sürecinde elde edilen ürünlerin kalite problemine sahip olup olmadıklarının tespiti konusunda Matlab programında oluşturulan çok katmanlı yapay sinir ağı, elde edilen ürünün kalite problemine sahip olması durumunda bunun giderilmesi için yapılması gereken aksiyonları üretip ilgili operatör veya formene sunan ve C++ programında kodlanmış olan uzman sistem kullanılmıştır. Yapay sinir ağlarının öğrenme kabiliyeti sayesinde formenlerin bilgi ve tecrübesinin ağ içinde depolanması sağlanabilmektedir. Uzman sistemler ise hızlı ve güvenilir biçimde uzmanlık bilgisi üretebilmesi ve ulaştığı sonuca nasıl vardığını açıklayabilmesi sayesinde, her zaman konu ile ilgili bir uzman bulabilmenin mümkün olmaması ve insanların içinde bulundukları duruma göre hatalı kararlar verebilecek olmaları yönünden de değerlendirilerek oldukça önemli bir araç olarak kullanılmaktadır.

Otomotiv yan sanayi firması bünyesinde yürütölen çalışmalarda örnek olarak PEM 150 makinesi üzerinde devreye alınan L84 Motor Üst Kaplama ÖN parçası için optimum makine ve ürün parametrelerine çok kısa ve sürekli iyileşen bir şekilde ulaşılmıştır. Çünkü tamamen formenlere bağılı olan yeni ürün devreye alma sürecinde deneme yanılma yönteminin kullanılması her yeni denemenin hatalı olma riskini beraberinde getirecektir. Bununla birlikte, tez çalışmasında kullanılan yaklaşım ile makine ve ürün parametreleri üzerinde yapılacak olan her değışiklik kullanıcıyı daha iyi olan bir ürüne yöneltecektir.

Uygulanan yöntem ile yeni ürün devreye alma ekibinin daha sağlıklı bir şekilde denemeler yapması sağlanarak geçmişte 15 saatin altına inmeyen zamanlar (ortalama 24 – 30 saat) 3 saate kadar düşmüş ve süreç % 75 - % 80 oranında kısaltılmıştır. Tez çalışmasında önerilen yapay sinir ağı ve uzman sistem tabanlı yeni yaklaşım firmada 3500 parça için uygulanmış ve iyileşmeler kaydedilmiştir. 3500 ürün elde ettikten sonra gözlemlenen değerler ile geçmiş veriler karşılaştırılarak bazı genel sonuçlara varılmıştır.

Yapılan bu çalışmanın otomotiv yan sanayi firmasında uygulanmasıyla parça kalitesinin ve birim zamanda elde edilen parça sayısının % 30 artacağı, birim üretim başına elektrik sarfiyatının % 15 azalacağı, kalıp ömrünün de bunlara paralel olarak % 8 - % 10 artacağı, karmaşık şekilli ürünlerin daha rahat üretilebileceği ve hurda miktarının asgariye (şimdiki hurda miktarının % 25'i) indirileceği öngörülmektedir.

Tez çalışmasında ortaya konulan YSA – US yaklaşımı, yeni ürün devreye alma sürecini kısaltarak, makine kullanım süresini, işgücü kullanım süresini, fire ve hurda miktarlarını ve genel üretim maliyetlerini azaltacak; ayrıca birim zamanda üretilen parça sayısını arttırarak rekabette üstünlük sağlayacaktır.

Özellikle uzman sistemin etkin ve doğru biçimde kullanılabilmesi ve ağa parametre değerlerinin eksiksiz olarak girilebilmesi için sektörde çalışanların kurs vb. değişik etkinliklerle bilgilerinin artırılması ve bilinçlendirilmesi oldukça önemlidir. Çünkü önerilen yaklaşımda hem yapay sinir ağı hem de uzman sistem plastik enjeksiyon verileri, parametre değerleri, performans göstergeleri, görülebilecek hatalar ve çözüm önerileri ile donatılmıştır. Bu sebeple, makine başındaki kullanıcılar program komutlarını ve yapılmak istenileni daha kolay anlayabilecek ve uygulama yapabilecektir. Ayrıca önerilen yaklaşımda yapay zeka tekniklerinin yanında insan uzmana da iş düşmektedir. Yapay sinir ağına girilen parametre değerleri neticesinde ağdan alınan performans göstergelerinin uygun olup olamamalarına göre ne tip problemler doğuracağını operatörler belirlemektedir. Tahmin veya tespit ettikleri hatalar için uzman sisteme başvurduktan sonra sorulacak sorulara da cevap verebilmelidirler. Bununla birlikte, operatörlerin mevcut kalite sistemlerine göre daha fazla inisiyatif ve sorumluluk alabilmeleri için de mesleki bilgi, yetenek ve sosyal faaliyetlerini arttırmaları gerekmektedir.

KAYNAKLAR

AKINCIOĞLU, U., 2006. “Doğrusal Olmayan Süreç Denetim Tasarımına Yapay Sinir Ağlarının Uygulanması”. Ankara Üniversitesi Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı.

AKKURT, S. , 1991. “Plastik Malzeme Bilgisi”. İTÜ Makine Fakültesi, İstanbul.

AKSOY, A., 2005. “Tam Zamanında Üretim Ortamında Tedarikçi Seçimi ve Değerlendirmesi”. Yüksek Lisans Tezi, Uludağ Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı.

AKSOY, A., ve ÖZTÜRK, N., 2004. “Intelligent Supplier Selection System For JIT Manufacturers”. International Logistics Congress, 307-316, İzmir.

AKYÜREK, A., AKSOY, A., ÖZTÜRK, N., 2008. “Termoplastik Ürünlerin Üretiminde Kalite Problemlerinin Çözümüne Yönelik Bir Uzman Sistem Tasarımı”. 2. Ulusal Sistem Mühendisliği Kongresi, İstanbul.

AKYÜZ, Ö. F., 2001. “Plastikler ve Plastik Enjeksiyon Teknolojisine Giriş”. Pagev Yayınları, İstanbul.

ALBINO, V., GARAVELLI, A.C., 1998. “A Neural Network Application to Subcontractor Rating in Construction Firms”. International Journal of Project Management. 16, 9-14.

ANDERSON, D., McNeill, G., 1992. “Artificial Neural Networks Technology”. Kaman Sciences Corporation, New York.

BAŞ, N., 2006. “Yapay Sinir Ağları Yaklaşımı ve Bir Uygulama”. Yüksek Lisans Tezi, Mimar Sinan Üniversitesi İstatistik Anabilim Dalı.

BOZDANA, A.T., EYERCİOĞLU, Ö., 2002. “Development of An Expert System for the Determination of Injection Moulding Parameters of Thermoplastic Materials: EX-PIMM”. Journal of Materials Processing Technology, 128, 113–122.

BOZDANA, A.T., YILMAZ, O., YILMAZ, Ü., EYERCİOĞLU, Ö., 2004. “An Interactive Modular Rule-Based Expert System for Plastic Injection Moulding Processes (EX-PIMM) and Its Industrial Application”. IMS’2004, 4th International Symposium on Intelligent Manufacturing Systems, Sakarya University, 141-154.

CHAN, F., T., S., LAU, H., C., W., JIANG, B., 2000. “In-line Process Conditions Monitoring Expert System for Injection Molding”. Journal of Materials Processing Technology, 101, 268-274.

CHANG, P., HWANG, S., LEE, H., HUANG, D., 2007. “Development of an External-Type Microinjection Molding Module for Thermoplastic Polymer”. Journal of Materials Processing Technology, 184, 1-3, 163-172.

CHANGYU, S., LIXIA, W., QIAN, L., 2006. "Optimization of Injection Molding Process Parameters Using Combination of Artificial Neural Network and Genetic Algorithm Method". *Journal of Materials Processing Technology*, 183, 2-3, 412-418.

CHEN, S., H., JAKEMAN, A., J., NORTON, J., P., 2008. "Artificial Intelligence Techniques: An Introduction to Their Use for Modelling Environmental Systems". *Mathematics and Computers in Simulation*, 78, 2-3, 379-400.

CHIANG, Ko-Ta, CHANG, Fu-Ping, 2006. "Application of Grey Fuzzy Logic on the Optimal Process Design of an Injection-Molded Part with a Thin Shell Feature". *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 33, 1, 94-101.

CHIOU, Y., C., 2006. "An Artificial Neural Network Based Expert System for The Appraisal of Two Car Crash Accidents". *Accident Analysis and Prevention*, 38, 4, 777-785.

CHOY, K.L., LEE, W.B., LO, V., 2003. "Design of an Intelligent Supplier Relationship Management System: A Hybrid Case Based Neural Network Approach". *Expert Systems with Applications*, 24, 2, 225-237.

CICHOCKI, A., UNBEHAUEN, R., 1993. "Neural Networks for Optimization and Signal Processing". WILEY.

CURRY, B., MORGAN, P., 1997. "Neural Networks: a Need for Caution". *International Journal of Management Science*, 25, 123-133.

ÇAKIR, Y., ÖZDEMİR, A., GÜLDAŞ, A., 2001. "Plastik Ürünlerde Çekme Miktarına Etki Eden Enjeksiyon Parametrelerinin İncelenmesi". *Teknoloji*, 1-2, 19-29.

ÇINAR, Y., 2005. "Plastik Enjeksiyon Kalıplarında Sıcak Yolluk Sistemleri". Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi Metal Eğitimi Anabilim Dalı.

DALMIŞ, F., 2006. "Ch Robofil 290 CNC Tel Erozyon Tezgahlarındaki Arızaların Tespiti Amacıyla Bir Uzman Sistem Geliştirilmesi". Yüksek Lisans Tezi, Trakya Üniversitesi Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı.

DUBAY, R., 2002. "Self-optimizing MPC of Melt Temperature in Injection Moulding". *ISA Transactions*, 41, 81-94.

EFE, Ö., KAYNAK, O., 2000. "Yapay Sinir Ağları ve Uygulamaları". Bogaziçi Üniversitesi Yayını, İstanbul, 141 S.

ELMAS, Ç., 2003. "Yapay Sinir Ağları (Kuram, Mimari, Eğitim, Uygulama)". Seçkin Yayıncılık, Ankara.

ENSARİOĞLU, C., 2007. "Talaşlı İmalat İşlemlerinde Kesme Parametrelerinin Belirlenmesi İçin Bir Uzman Sistem Yaklaşımı". Yüksek Lisans Tezi, Uludağ Üniversitesi Makine Mühendisliği Anabilim Dalı.

ERZURUMLU, T., ÖZÇELİK, B., 2006. "Minimization of Warpage and Sink Index in Injection Molded Thermoplastic Parts Using Taguchi Optimization Method". *Materials and Design*, 27, 853-861.

ESENLIK, M., 2001. "Plastik Enjeksiyon Kalıpcılığında Karşılaşılan Sorunlar ve Çözüm Önerileri". Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi Makine Mühendisliği Anabilim Dalı.

FREEMAN, J., A., SKAPURA, D., M., 1991. "Neural Networks Algorithm, Applications and Programming Techniques". Addison-Wesley Publishing Company.

FRÖHLICH, J., 1997. "Neural Net Overview".
<http://fbim.fhregensburg.de/~saj39122/jfroehl/diplom/e-1.html>

GROOVER, M. P., 2002. "Fundamentals of Modern Manufacturing 2/e". John Wiley & Sons, Inc..

GUPTA, P., SINHA, N., K., 1999. "An Improved Approach for Nonlinear System Identification Using Neural Networks". *Journal of the Franklin Institute*, 336, 721-734.

GURNEY, K., 1996. "Computers and Symbols versus Nets and Neurons". UCL Draft Papers, No:1, U.K.

HANBAY, D., TÜRKOĞLU, İ., DEMİR, Y., 2007. "An Expert System Based on Wavelet Decomposition and Neural Network for Modelling Chua's Circuit". *Expert Systems with Applications*.

HAYKIN, S., 1994. "Neural Networks". Macmillan College Publishing Company, USA, 696s.

IM, K., H., PARK, S., C., 2007. "Case-based Reasoning and Neural Network Based Expert System for Personalization". *Expert Systems with Applications*, 32, 77-85.

İPEK, R., 1999. "Plastik Malzeme Bilgisi". Cumhuriyet Üniversitesi Yayınevi, Sivas.

JAIN, A., K., MAO, J., 1996. "Artificial Neural Networks: A Tutorial". *IEEE Computer Special Issue on Neural Computing*.

KALIMA, V., PIETARINEN, J., SIITONEN, S., IMMONEN, J., SUVANTO, M., KUITTINEN, M., MONKKONEN K., PAKKANEN T., 2007. "Transparent Thermoplastics: Replication of Diffractive Optical Elements Using Micro-Injection Molding". *Optical Materials*, 30, 2, 285-291.

KARATAŞ, Ç., EREL, C.G., 2003. "Termoplastik Malzemelerin Kalıplanması Esnasında Üründe Oluşan Hatalar ve Giderilme Yöntemleri". *Pagev Plastik*, 66, 84-89.

KARATAŞ, Ç., SÖZEN, A., ARCAKLIOĞLU, E., ERGÜNEY, S., 2007. "Modelling of Yield Length in the Mould of Commercial Plastics Using Artificial Neural Networks". *Materials and Design* 28, 278-286.

KAYI, Y., 2006. "Plastik Enjeksiyon Prosesindeki Parametrelerin Çekme Problemine Etkilerinin Taguchi Metodu İle İncelenmesi". Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Makine Mühendisliği Anabilim Dalı.

KEÇE, A., 2006. "Yapay Sinir Ağları ile Plastik Enjeksiyon Süreci Başlangıç Parametrelerinin Belirlenmesi". Yüksek Lisans Tezi, Uludağ Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı.

KEÇE, A., AKYÜREK, A., ÖZTÜRK, N., 2007. "Yapay Sinir Ağları ile Plastik Enjeksiyon Süreci Başlangıç Parametrelerinin Belirlenmesi". YA/EM 27. Ulusal Kongresi, İzmir.

KROSE, B., P., SMAGT, V., D., 1996. "An introduction to Neural Networks". Artificial Intelligence in Engineering", 46, 3, 1-38.

KROSE, B., SMAGT, P., 1996. "An Introduction to Neural Networks". 8th edition, University of Amsterdam.

KULKARNI, A.D., 1994. "Artificial Neural Networks for Image Understanding". Van Nostrand Reinhold, New York.

KURTARAN, H., ÖZÇELİK, B., ERZURUMLU, T., 2005. "Warpage Optimization of a Bus Ceiling Lamp Base Using Neural Network Model and Genetic Algorithm". Journal of Materials Processing Technology, 169, 314-319.

LAGAROS, N., D., PAPADRAKAKIS, M., 2004. "Learning Improvement of Neural Networks Used in Structural Optimizastion". Advances in Engineering Software, 35, 9-25.

LAU, H., C., W., NING, A., PUN, K., F., CHIN, K., S., 2001. "Neural Network for the Dimensional Control of Molded Parts Based on a Reverse Process Model". Journal of Materials Processing Technology, 117, 89-96.

LI, J., CHENG, X., H., 2008. "Friction and Wear Properties of Surface-Treated Carbon Fiber-Reinforced Thermoplastic Polyimide Composites Under Oil-Lubricated Condition". Materials Chemistry and Physics, 108, 1, 67-72.

MEHROTRA, K., MOHAN, C., K., RANKA, S., 1996. "Elements of Artificial Neural Networks". The MIT Press, London.

MINSKY, M., PAPERT, S., 1969. "Perceptrons". MIT Press, Cambridge.

NABIYEV, V., V., 2003. "Yapay Zeka (Problemler-Yöntemler-Algoritmalar)". Seçkin Yayınları, Ankara.

ÖKTEM, H., ERZURUMLU, T., ERZİNCANLI, F., 2006. "Prediction of Minimum Surface Roughness in End Milling Mold Parts Using Neural Network and Genetic Algorithm". Materials and Design 27, 735-744.

ÖKTEM, H., ERZURUMLU, T., UZMAN, İ., 2007. "Application of Taguchi Optimization Technique in Determining Plastic Injection Molding Process Parameters for a Thin-Shell Part". *Materials and Design*, 28, 1271-1278.

ÖZÇELİK, B., ERZURUMLU, T., 2005. "Determination of effecting Dimensional Parameters on Warpage of Thin Shell Plastic Parts Using İntegrated Response Surface Method and Genetic Algorithm". *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 32, 1085-1094.

ÖZÇELİK, B., ERZURUMLU, T., 2006. "Comparison of the Warpage Optimization in the Plastic Injection Molding Using ANOVA, Neural Network Model and Genetic Algorithm". *Journal of Materials Processing Technology*, 171, 437-445.

ÖZTEMEL, E., 2003. *Yapay Sinir Ağları*. Papatya Yayıncılık, İstanbul.

ÖZTÜRK, N., 2003. "Sinirsel Ağlar ile Parça Ailelerinin Oluşturulması". *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 8, 1, 93-99, Bursa.

PARK., S., S., SEO, K., K., JANG, D., S., 2005. "Expert System Based on Artificial Neural Networks for Content-Based Image Retrieval". *Expert Systems with Applications*, 29, 589-597.

RUSSELL, S., NORVING P., 1995. "Artificial Intelligence A Modern Approach". Prentice- Hall.

SAFOĞLU R. A., 1990. "Malzeme Bilimine Giriş". Birsen Yayınevi , İstanbul.

SAFRAN, D., P., ÖZTÜRK, N., 2004. "Neural Network Approach To Supply Chain Selection". *International Logistics Congress*, 212- 222, İzmir.

SAĞIROĞLU, Ş., BEŞDOK, E., ERLER, M., 2003. "Mühendislikte Yapay Zeka Uygulamaları". *Ufuk Yayıncılık*.

SALEEM, Z., RENNEBAUM, H., PUDEL, F., GRIMM, E., 2008. "Treating Bast Fibres with Pectinase Improves Mechanical Characteristics of Reinforced Thermoplastic Composites". *Composites Science and Technology*, 68, 2, 471-476.

SARAÇ, T., 2004. "Yapay Sinir Ağları", Basılmamış Seminer Projesi. Gazi Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı.

SELÇUK, B., F., 2003. "Bilimsel Araştırmalarda Kullanılan Anketlere Yapay Sinir Ağları Yönteminin Uygulanması". M.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.

SEOW, L., W., LAM, Y., C., 1997. "Optimizing Flow in Plastic Injection Molding". *Journal of Materials Processing Technology*, 72, 333-341.

SHELESH-NEZHAD, K., SIORES, E., 1997. "An Intelligent System for Plastic Injection Molding Process Design". *Journal of Materials Processing Technology*, 63, 458-462.

SHI, F., LOU, Z., L., LU, J., G., ZHANG, Y., Q., 2003. "Optimisation of Plastic Injection Moulding Process with Soft Computing". International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 21, 656-661.

SONG, M., C., LIU, Z., WANG, M., J., YU, T., M., ZHAO, D., Y., 2006. "Research on Effects of Injection Process Parameters on the Molding Process for Ultra Thin Wall Plastic Parts". Journal of Materials Processing Technology.

ŞEKER, C., 1999. "Termoplastiklerin Şekillendirilmesinde Kullanılan Enjeksiyon Kalıplarının İncelenmesi". Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi Makine Mühendisliği Anabilim Dalı.

TANG, S., H., TAN, Y., J., SAPUAN, S., M., SULAIMAN, S., İSMAİL, N., SAMIN, R., 2007. "The Use of Taguchi Method in The Design of Plastic Injection Mould for Reducing Warp". Journal of Materials Processing Technology, 182, 418-426.

TAŞGETİREN, M., F., 2005. "Çok Katmanlı Yapay Sinir Ağları". http://www.bilimbilmek.com/sayfa/Fatih_Tasgetiren-Cok_Katmanli_Yapay_Sinir_Aglari.html

TURAÇLI, H., 2000. "Enjeksiyon Kalıpları İmalatı". Pagev Yayınları, İstanbul.

TURAÇLI, H., 2003. "Enjeksiyoncunun El Kitabı". Pagev Yayınları, İstanbul.

TURAÇLI, H., 2003. "Enjeksiyon Hataları ve Çözümleri". Pagev Yayınları, İstanbul.

UYAROĞLU, R., 2003. "Plastik Enjeksiyon Kalıpcılığında Parça Üstünde Oluşan Kaynak Yeri Probleminin İncelenmesi". Yüksek Lisans Tezi, Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı.

WU, J., D., CHIANG, P., H., CHANG, Y., W., SHIAO., Y., J., 2007. "An Expert System for Fault Diagnosis in Internal Combustion Engines Using Probability Neural Network". Expert Systems with Applications.

YAVUZ, S., 2006. "Performans Arttırmaya Yönelik Paralel Mimarilerin Yapay Sinir Ağları Yaklaşımı ile Değerlendirilmesi". Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı.

YAVUZER, Y., 1996. "Uzman Sistemler ve Yapay Zeka". Harp Akademileri Komutanlığı Yayınevi.

YURCİ, M.E., 1997. Kalıp İmal Tekniği. YTÜ Basım-Yayın Merkezi, İstanbul.

YURTOĞLU, H., 2005. "Yapay Sinir Ağları Metodolojisi İle Öngörü Modellemesi: Bazı Makroekonomik Değişkenler İçin Türkiye Örneği". Uzmanlık Tezi, Ekonomik Modeller ve Stratejik Araştırmalar Genel Müdürlüğü, Ankara.

ZHU, J., CHEN, J., C., 2006. "Fuzzy Neural Network Based in Process Mixed Material Caused Flash Prediction (FNN-IPMFP) in Injection Molding Operations". International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 29, 308-316.

EKLER

Ek – 1: Hatalı Ürün Tespiti Çalışmasında Yapay Sinir Ağının Eğitilmesi Amacıyla Kullanılan Girdi ve Çıktı Verileri

PARÇA NO	GİRDİ										ÇIKTI						
	PARÇA GRAMAJI	YOĞUNLUK	HAMMADDE ERİME SICAKLIĞI	PARÇA ET KALINLIĞI	ENJEKSİYON SÜRESİ	ÜTÜLEME MESAFESİ	ÜTÜLEME SÜRESİ	SOĞUMA ZAMANI	MAL ALMA MESAFESİ	PARÇA GRAMAJI	PARLAKLIK	AKIŞKANLIK	YANMA KARAKTERİSTİĞİ	ÖLÇÜM SONUÇLARI	PARÇADA ÇARPIKLIK	PARÇA KIRILGANLIĞI	RENK
	GRAM	GRAM/CM ³	°C	MİLİMETRE	SANİYE	MİLİMETRE	SANİYE	SANİYE	MİLİMETRE	0 - 1	0 - 1	0 - 1	0 - 1	0 - 1	0 - 1	0 - 1	0 - 1
1	320	1,24	330	3,0	2,98	46	4,0	25	130	1	1	1	1	1	1	1	1
2	879	1,24	195	3,0	4,18	49	10,9	20	177	0	1	0	1	0	0	1	1
3	713	1,42	180	2,5	6,10	112	4,0	25	240	1	1	1	1	1	1	1	1
4	1384	1,04	183	3,5	9,02	49	14,3	31	341	0	1	1	1	0	1	1	1
5	861	1,14	220	3,0	4,05	39	10,1	23	167	0	1	1	1	0	0	1	1
6	701	1,38	200	2,5	6,12	106	4,1	26	234	0	1	1	1	0	0	1	1
7	867	1,16	240	3,0	4,55	42	10,5	23	170	0	0	1	0	0	0	1	0
8	314	1,22	370	3,0	3,50	43	4,5	26	127	0	0	1	0	0	0	1	0
9	1393	1,12	180	4,0	8,72	45	13,7	30	337	1	1	0	1	1	1	0	1
10	321	1,18	315	2,5	2,00	46	5,1	28	130	1	0	0	1	1	1	0	0
11	874	1,12	185	2,5	3,05	45	11,1	25	173	1	0	0	1	1	1	0	0
12	1389	1,09	240	3,0	8,87	50	14,0	30	342	1	1	1	0	1	1	0	1
13	723	1,36	150	3,0	6,34	114	3,5	25	242	0	1	0	0	0	1	0	0
14	871	1,18	205	2,5	3,91	45	9,5	22	173	1	1	1	1	1	1	0	1
15	1391	0,99	185	3,0	8,02	48	15,1	33	340	1	0	0	1	1	1	0	0
16	318	1,24	335	2,5	2,86	46	3,5	25	130	1	1	1	1	1	1	0	1
17	1384	1,00	230	3,5	8,92	48	13,9	28	340	0	0	0	0	0	0	1	0
18	867	1,17	183	3,0	4,05	46	10,3	23	174	0	1	1	1	0	1	1	1
19	326	1,30	325	3,0	3,13	50	4,9	23	134	0	1	0	1	0	0	1	1
20	873	1,18	200	3,0	4,03	45	10,0	22	173	1	1	1	1	1	1	1	1
21	1388	1,05	205	3,0	8,88	48	13,5	30	340	1	1	1	1	1	1	0	1
22	330	1,18	300	3,5	3,22	48	3,5	25	132	0	1	0	0	0	1	0	0
23	876	1,25	180	3,5	3,75	42	9,7	22	170	1	1	0	1	1	1	0	1
24	707	1,40	220	2,5	6,62	109	4,5	26	237	0	0	1	0	0	0	1	0
25	872	1,23	230	3,0	4,65	45	9,6	23	173	1	0	0	0	1	0	1	1

Ek – 1 (devam): Hatalı Ürün Tespiti Çalışmasında Yapay Sinir Ağının Eğitilmesi Amacıyla Kullanılan Girdi ve Çıktı Verileri

PARÇA NO	GİRDİ									ÇIKTI							
	PARÇA GRAMAJI	YOĞUNLUK	HAMMADDE ERİME SICAKLIĞI	PARÇA ET KALINLIĞI	ENJEKSİYON SÜRESİ	ÜTÜLEME MESAFESİ	ÜTÜLEME SÜRESİ	SOĞUMA ZAMANI	MAL ALMA MESAFESİ	PARÇA GRAMAJI	PARLAKLIK	AKIŞKANLIK	YANMA KARAKTERİSTİĞİ	ÖLÇÜM SONUÇLARI	PARÇADA ÇARPIKLIK	PARÇA KIRILGANLIĞI	RENK
	GRAM	GRAM/CM³	°C	MİLİMETRE	SANİYE	MİLİMETRE	SANİYE	SANİYE	MİLİMETRE	0 - 1	0 - 1	0 - 1	0 - 1	0 - 1	0 - 1	0 - 1	0 - 1
26	319	1,29	360	3,0	3,60	46	3,6	26	130	1	0	0	0	1	0	1	1
27	320	1,25	300	3,0	2,70	50	4,0	27	134	1	1	1	0	1	1	1	0
28	1400	0,99	170	4,0	9,24	50	13,5	30	342	0	1	0	0	0	1	0	0
29	873	1,19	170	3,0	3,75	49	10,0	24	177	1	1	1	0	1	1	1	0
30	326	1,26	315	2,5	2,85	43	3,7	24	127	0	0	1	1	0	0	0	1
31	714	1,36	165	2,0	5,12	112	5,1	28	240	1	0	0	1	1	1	0	0
32	320	1,22	350	3,5	3,15	40	4,1	27	124	1	0	1	0	1	1	0	1
33	1390	1,05	200	3,5	9,00	48	14,0	30	340	1	1	1	1	1	1	1	1
34	879	1,20	185	2,5	3,90	42	9,7	21	170	0	0	1	1	0	0	0	1
35	719	1,40	215	2,5	6,27	116	3,3	25	244	0	1	1	0	0	1	1	0
36	321	1,25	310	3,0	3,00	48	3,8	26	132	1	0	1	1	1	1	1	0
37	871	1,24	195	3,5	4,20	49	9,5	22	177	1	1	0	1	1	0	0	0
38	314	1,18	350	3,0	2,95	46	4,0	28	130	0	1	0	1	0	0	1	0
39	719	1,44	165	2,0	5,97	109	3,7	24	237	0	0	1	1	0	0	0	1
40	323	1,24	300	3,5	3,05	46	4,2	22	130	1	0	1	0	1	1	0	0
41	1378	1,01	220	3,5	9,02	42	14,1	31	334	0	1	1	1	0	0	1	1
42	319	1,28	370	2,5	2,85	48	4,0	25	132	1	1	1	0	1	1	0	1
43	874	1,19	180	3,0	4,05	47	9,8	23	175	1	0	1	1	1	1	1	0
44	326	1,22	365	3,0	3,15	50	3,3	25	134	0	1	1	0	0	1	1	0
45	716	1,49	160	3,0	5,82	109	3,7	25	237	1	1	0	1	1	1	0	1
46	317	1,29	295	3,0	3,00	46	3,7	26	130	1	1	0	0	1	0	1	1
47	876	1,18	170	3,5	4,10	45	10,2	19	173	1	0	1	0	1	1	0	0
48	1396	1,11	195	3,5	9,15	52	14,9	28	344	0	1	0	1	0	0	1	1
49	313	1,18	335	2,5	2,85	43	4,1	22	127	0	0	0	1	0	1	0	1
50	883	1,12	170	3,5	4,27	47	9,5	22	175	0	1	0	0	0	1	0	0

Ek – 1 (devam): Hatalı Ürün Tespiti Çalışmasında Yapay Sinir Ağının Eğitilmesi Amacıyla Kullanılan Girdi ve Çıktı Verileri

PARÇA NO	GİRDİ									ÇIKTI							
	PARÇA GRAMAJI	YOĞUNLUK	HAMMADDE ERİME SICAKLIĞI	PARÇA ET KALINLIĞI	ENJEKSİYON SÜRESİ	ÜTÜLEME MESAFESİ	ÜTÜLEME SÜRESİ	SOĞUMA ZAMANI	MAL ALMA MESAFESİ	PARÇA GRAMAJI	PARLAKLIK	AKIŞKANLIK	YANMA KARAKTERİSTİĞİ	ÖLÇÜM SONUÇLARI	PARÇADA ÇARPIKLIK	PARÇA KIRILGANLIĞI	RENK
	GRAM	GRAM/CM³	°C	MİLİMETRE	SANİYE	MİLİMETRE	SANİYE	SANİYE	MİLİMETRE	0 - 1	0 - 1	0 - 1	0 - 1	0 - 1	0 - 1	0 - 1	0 - 1
51	319	1,20	325	3,0	3,10	49	4,2	25	133	1	1	1	1	1	0	1	0
52	711	1,42	185	2,0	5,98	112	3,5	25	240	1	1	1	1	1	1	0	1
53	872	1,22	240	2,5	3,90	47	10,0	22	175	1	1	1	0	1	1	0	1
54	326	1,30	330	3,5	3,95	48	4,0	26	132	0	1	0	1	0	0	0	1
55	1396	1,07	185	3,0	8,87	45	13,7	29	337	0	0	1	1	0	0	0	1
56	321	1,23	345	3,0	3,00	46	3,9	25	130	1	0	1	1	1	1	1	0
57	870	1,23	165	3,0	4,05	45	9,7	23	173	1	1	0	0	1	0	1	1
58	714	1,41	195	2,5	6,12	112	3,9	25	240	1	0	1	1	1	1	1	0
59	1384	0,99	220	3,5	8,97	48	14,0	33	340	0	1	0	1	0	0	1	0
60	867	1,12	220	3,0	4,00	45	10,0	25	173	0	1	0	1	0	0	1	0
61	308	1,20	350	3,0	3,00	40	4,1	26	124	0	1	1	1	0	0	1	1
62	719	1,48	175	2,5	6,25	116	4,9	23	244	0	1	0	1	0	0	1	1
63	1387	1,10	165	3,5	9,02	48	13,7	31	340	1	1	0	0	1	0	1	1
64	712	1,47	210	2,5	6,72	112	3,6	26	240	1	0	0	0	1	0	1	1
65	314	1,23	313	3,0	3,00	47	4,3	26	131	0	1	1	1	0	1	1	1
66	713	1,43	150	2,5	5,82	116	4,0	27	244	1	1	1	0	1	1	1	0
67	1384	1,03	240	3,5	9,52	45	14,5	31	337	0	0	1	0	0	0	1	0
68	318	1,30	325	3,5	3,15	50	3,5	25	134	1	1	0	1	1	0	0	0
69	866	1,12	205	2,5	3,90	42	10,1	19	170	0	0	0	1	0	1	0	1
70	713	1,40	200	3,0	6,27	106	4,1	27	234	1	0	1	0	1	1	0	1
71	1389	1,10	230	3,5	9,62	48	13,6	31	340	1	0	0	0	1	0	1	1
72	323	1,31	310	3,5	2,70	43	3,7	25	127	1	1	0	1	1	1	0	1
73	872	1,14	195	3,0	4,15	48	10,2	22	176	1	1	1	1	1	0	1	0
74	711	1,48	175	3,0	6,27	116	3,5	25	244	1	1	0	1	1	0	0	0
75	714	1,43	160	2,5	6,12	114	3,8	26	242	1	0	1	1	1	1	1	0

Ek – 1 (devam): Hatalı Ürün Tespiti Çalışmasında Yapay Sinir Ağının Eğitilmesi Amacıyla Kullanılan Girdi ve Çıktı Verileri

PARÇA NO	GİRDİ										ÇIKTI						
	PARÇA GRAMAJI	YOĞUNLUK	HAMMADDE ERİME SICAKLIĞI	PARÇA ET KALINLIĞI	ENJEKSİYON SÜRESİ	ÜTÜLEME MESAFESİ	ÜTÜLEME SÜRESİ	SOĞUMA ZAMANI	MAL ALMA MESAFESİ	PARÇA GRAMAJI	PARLAKLIK	AKIŞKANLIK	YANMA KARAKTERİSTİĞİ	ÖLÇÜM SONUÇLARI	PARÇADA ÇARPIKLIK	PARÇA KIRILGANLIĞI	RENK
	GRAM	GRAM/CM ³	°C	MİLİMETRE	SANİYE	MİLİMETRE	SANİYE	SANİYE	MİLİMETRE	0 - 1	0 - 1	0 - 1	0 - 1	0 - 1	0 - 1	0 - 1	0 - 1
76	1396	1,03	235	3,5	9,17	52	13,3	30	344	0	1	1	0	0	1	1	0
77	314	1,19	360	3,0	2,90	46	3,9	23	130	0	0	0	0	0	0	1	0
78	707	1,36	200	2,5	6,07	112	4,0	28	240	0	1	0	1	0	0	1	0
79	879	1,24	200	3,5	5,00	47	10,0	23	175	0	1	0	1	0	0	0	1
80	1390	1,06	170	3,5	8,72	52	14,0	32	344	1	1	1	0	1	1	1	0
81	716	1,42	150	3,0	6,17	112	4,2	22	240	1	0	1	0	1	1	0	0
82	707	1,41	163	2,5	6,12	113	4,3	26	241	0	1	1	1	0	1	1	1
83	1390	1,03	220	4,0	9,17	42	14,1	32	334	1	0	1	0	1	1	0	1
84	712	1,46	220	2,0	5,97	114	4,0	25	242	1	1	1	0	1	1	0	1
85	1396	1,11	200	4,0	9,97	50	14,0	31	342	0	1	0	1	0	0	0	1
86	710	1,47	145	2,5	6,12	112	3,7	26	240	1	1	0	0	1	0	1	1
87	873	1,16	220	3,5	4,20	39	10,1	24	167	1	0	1	0	1	1	0	1
88	707	1,37	210	2,5	6,02	112	3,9	23	240	0	0	0	0	0	0	1	0
89	1388	1,11	195	4,0	9,17	52	13,5	30	344	1	1	0	1	1	0	0	0
90	706	1,36	185	2,0	5,97	109	4,1	22	237	0	0	0	1	0	1	0	1
91	712	1,38	175	2,5	6,22	115	4,2	25	243	1	1	1	1	1	0	1	0
92	1389	1,01	195	3,5	9,12	51	14,2	30	343	1	1	1	1	1	0	1	0
93	719	1,48	180	3,0	7,07	114	4,0	26	242	0	1	0	1	0	0	0	1
94	879	1,16	235	3,0	4,20	49	9,3	22	177	0	1	1	0	0	1	1	0
95	1391	1,06	180	3,5	9,02	50	13,8	31	342	1	0	1	1	1	1	1	0
96	1393	1,05	170	4,0	9,07	48	14,2	27	340	1	0	1	0	1	1	0	0
97	867	1,13	230	3,0	3,95	45	9,9	20	173	0	0	0	0	0	0	1	0
98	1383	0,99	205	3,0	8,87	45	14,1	27	337	0	0	0	1	0	1	0	1
99	1391	1,04	215	3,5	9,02	48	13,9	30	340	1	0	1	1	1	1	1	0
100	874	1,17	215	3,0	4,05	45	9,9	22	173	1	0	1	1	1	1	1	0

Ek – 2: Hatalı Ürün Tespiti Çalışmasında Yapay Sinir Ağının Doğrulanması Amacıyla Kullanılan Girdi ve Çıktı Verileri

PARÇA NO	GİRDİ										ÇIKTI						
	PARÇA GRAMAJI	YOĞUNLUK	HAMMADDE ERİME SICAKLIĞI	PARÇA ET KALINLIĞI	ENJEKSİYON SÜRESİ	ÜTÜLEME MESAFESİ	ÜTÜLEME SÜRESİ	SOĞUMA ZAMANI	MAL ALMA MESAFESİ	PARÇA GRAMAJI	PARLAKLIK	AKIŞKANLIK	YANMA KARAKTERİSTİĞİ	ÖLÇÜM SONUÇLARI	PARÇADA ÇARPIKLIK	PARÇA KIRILGANLIĞI	RENK
	GRAM	GRAM/CM ³	°C	MİLİMETRE	SANİYE	MİLİMETRE	SANİYE	SANİYE	MİLİMETRE	0 - 1	0 - 1	0 - 1	0 - 1	0 - 1	0 - 1	0 - 1	0 - 1
1	324	1,26	305	2,5	2,90	47	4,1	27	130	0	0	0	0	0	0	0	0
2	1394	1,07	175	3,0	8,92	49	14,1	32	340	0	0	0	0	0	0	0	0
3	1386	1,04	230	3,0	9,23	52	14,0	27	334	0	0	1	0	0	0	0	0
4	320	1,24	355	3,0	3,00	46	4,1	25	130	1	1	1	0	1	0	1	1
5	867	1,13	170	3,0	4,17	42	10,0	25	173	0	1	0	0	0	0	1	1
6	316	1,22	310	3,0	2,50	49	4,0	23	134	0	0	1	1	0	1	1	0
7	709	1,41	210	2,0	6,33	116	4,0	22	234	0	0	1	0	0	0	0	0
8	308	1,29	330	2,5	2,95	50	3,7	24	132	0	1	0	1	0	1	0	1
9	874	1,14	220	3,5	4,1	41	11,0	21	171	1	0	1	1	1	0	0	0
10	321	1,20	350	3,5	3,05	42	5,0	24	128	1	0	1	1	1	0	0	0
11	1390	1,05	225	3,5	9,02	48	14,1	30	340	1	1	1	0	1	0	1	1
12	326	1,24	325	2,5	2,90	46	3,6	25	135	0	0	1	1	0	0	0	0
13	1384	1,00	170	3,5	9,14	45	14,0	33	340	0	1	0	0	0	0	1	1
14	319	1,24	320	3,5	2,85	49	3,5	26	132	1	1	1	1	1	1	0	1
15	871	1,16	170	3,0	4,05	44	10,6	23	170	1	0	1	0	1	1	1	0
16	879	1,18	195	2,5	3,95	45	9,6	22	178	0	0	1	1	0	0	0	0
17	314	1,19	300	3,0	3,12	43	4,0	28	130	0	1	0	0	0	0	1	1
18	709	1,40	160	2,5	5,62	115	4,0	23	244	0	0	1	1	0	1	1	0
19	316	1,23	360	2,5	3,21	50	4,0	22	124	0	0	1	0	0	0	0	0
20	1386	1,03	180	3,5	8,52	51	14,0	28	344	0	0	1	1	0	1	1	0
21	322	1,18	330	2,5	2,76	42	4,2	25	132	1	1	0	1	1	1	0	1
22	872	1,18	190	3,5	3,9	48	9,5	23	175	1	1	1	1	1	1	0	1
23	320	1,30	325	3,0	2,95	46	3,8	24	128	1	0	0	1	1	1	1	0
24	719	1,42	175	2,0	6,02	112	3,6	25	245	0	0	1	1	0	0	0	0
25	712	1,42	170	3,0	5,97	115	3,5	26	242	1	1	1	1	1	1	0	1
26	861	1,23	200	2,5	4,00	49	9,7	21	175	0	1	0	1	0	1	0	1
27	321	1,22	305	3,0	3,00	47	4,3	24	129	1	1	1	0	1	0	1	1
28	1378	1,10	200	3,0	8,97	52	13,7	29	342	0	1	0	1	0	1	0	1
29	1391	1,01	220	4,0	9,07	44	15,0	29	338	1	0	1	1	1	0	0	0
30	324	1,30	340	2,5	3,50	48	4,5	26	134	0	0	0	1	0	0	0	0

Ek – 2 (devam): Hatalı Ürün Tespiti Çalışmasında Yapay Sinir Ağının Doğrulanması Amacıyla Kullanılan Girdi ve Çıktı Verileri

PARÇA NO	GİRDİ										ÇIKTI						
	PARÇA GRAMAJI	YOĞUNLUK	HAMMADDE ERİME SICAKLIĞI	PARÇA ET KALINLIĞI	ENJEKSİYON SÜRESİ	ÜTÜLEME MESAFESİ	ÜTÜLEME SÜRESİ	SOĞUMA ZAMANI	MAL ALMA MESAFESİ	PARÇA GRAMAJI	PARLAKLIK	AKIŞKANLIK	YANMA KARAKTERİSTİĞİ	ÖLÇÜM SONUÇLARI	PARÇADA ÇARPIKLIK	PARÇA KIRILGANLIĞI	RENK
	GRAM	GRAM/CM ³	°C	MİLMETRE	SANİYE	MİLMETRE	SANİYE	SANİYE	MİLMETRE	0 - 1	0 - 1	0 - 1	0 - 1	0 - 1	0 - 1	0 - 1	0 - 1
31	332	1,25	335	3,5	2,90	46	3,9	23	130	0	1	1	1	0	0	0	1
32	877	1,20	175	2,5	3,95	46	10,1	24	173	0	0	0	0	0	0	0	0
33	717	1,44	155	2,0	6,02	113	4,1	27	240	0	0	0	0	0	0	0	0
34	1388	1,03	170	3,5	9,02	47	14,6	31	337	1	0	1	0	1	1	1	0
35	713	1,42	205	2,5	6,12	112	4,1	25	240	1	1	1	0	1	0	1	1
36	873	1,18	225	3,0	4,05	45	10,1	22	173	1	1	1	0	1	0	1	1
37	1396	1,05	195	3,0	8,92	48	13,6	30	345	0	0	1	1	0	0	0	0
38	701	1,47	180	2,0	6,07	116	3,7	24	242	0	1	0	1	0	1	0	1
39	869	1,17	230	2,5	4,26	49	10,0	19	167	0	0	1	0	0	0	0	0
40	714	1,38	200	3,0	6,17	108	5,0	24	238	1	0	1	1	1	0	0	0
41	1389	1,05	190	4,0	8,87	51	13,5	31	342	1	1	1	1	1	1	0	1
42	711	1,40	150	2,5	6,12	111	4,6	26	237	1	0	1	0	1	1	1	0
43	869	1,16	180	3,0	3,55	48	10,0	20	177	0	0	1	1	0	1	1	0
44	1392	0,99	200	3,0	8,78	44	14,2	30	342	1	1	0	1	1	1	0	1
45	707	1,37	150	2,5	6,24	109	4,0	28	240	0	1	0	0	0	0	1	1
46	875	1,12	200	2,5	3,81	41	10,2	22	175	1	1	0	1	1	1	0	1
47	1402	1,06	205	4,0	8,92	48	13,9	28	340	0	1	1	1	0	0	0	1
48	715	1,36	180	2,0	5,88	108	4,2	25	242	1	1	0	1	1	1	0	1
49	873	1,24	195	3,0	4,00	45	9,8	21	171	1	0	0	1	1	1	1	0
50	713	1,48	175	2,5	6,07	112	3,8	24	238	1	0	0	1	1	1	1	0
51	1394	1,11	210	3,0	9,52	50	14,5	31	344	0	0	0	1	0	0	0	0
52	318	1,22	300	3,0	3,00	45	4,6	26	127	1	0	1	0	1	1	1	0
53	714	1,40	155	2,5	6,12	113	4,3	24	239	1	1	1	0	1	0	1	1
54	874	1,16	175	3,0	4,05	46	10,3	21	172	1	1	1	0	1	0	1	1
55	717	1,48	190	2,0	6,62	114	4,5	26	244	0	0	0	1	0	0	0	0
56	1390	1,11	195	3,5	8,97	48	13,8	29	338	1	0	0	1	1	1	1	0
57	725	1,43	185	3,0	6,02	112	3,9	23	240	0	1	1	1	0	0	0	1
58	877	1,24	210	2,5	4,55	47	10,5	23	177	0	0	0	1	0	0	0	0
59	1391	1,03	175	3,5	9,02	49	14,3	29	339	1	1	1	0	1	0	1	1
60	885	1,19	205	3,5	3,95	45	9,9	20	173	0	1	1	1	0	0	0	1

Ek – 3: Hatalı Ürün Tespiti Çalışması İçin Yapılan Denemelerin Sonuçları

Deneme	Gizli Katman Sayısı	Gizli Katmandaki Nöron Sayısı	Momentum	Hedef Hata Değeri	Öğrenme Oranı	İterasyon Sayısı	Hata
1	1	1	0,9	0,001	0,1	6	0,471067
2	1	2	0,9	0,001	0,1	10000	0,39198
3	1	3	0,9	0,001	0,1	3089	0,34153
4	1	4	0,9	0,001	0,1	4746	0,413705
5	1	5	0,9	0,001	0,1	1040	0,306343
6	1	6	0,9	0,001	0,1	10000	0,269334
7	1	7	0,9	0,001	0,1	2011	0,2452
8	1	8	0,9	0,001	0,1	10000	0,269309
9	2	1 - 1	0,9	0,001	0,1	7698	0,489573
10	2	1 - 2	0,9	0,001	0,1	35	0,418306
11	2	1 - 3	0,9	0,001	0,1	6303	0,2452
12	2	1 - 4	0,9	0,001	0,1	1110	0,366533
13	2	1 - 5	0,9	0,001	0,1	10000	0,357103
14	2	1 - 6	0,9	0,001	0,1	10000	0,2452
15	2	1 - 7	0,9	0,001	0,1	1388	0,248081
16	2	1 - 8	0,9	0,001	0,1	2315	0,270294
17	2	2 - 1	0,9	0,001	0,1	10000	0,438936
18	2	2 - 2	0,9	0,001	0,1	10000	0,366351
19	2	2 - 3	0,9	0,001	0,1	51	0,417979
20	2	2 - 4	0,9	0,001	0,1	1033	0,332365
21	2	2 - 5	0,9	0,001	0,1	324	0,385422
22	2	2 - 6	0,9	0,001	0,1	3067	0,267303
23	2	2 - 7	0,9	0,001	0,1	3214	0,314032
24	2	2 - 8	0,9	0,001	0,1	1454	0,304365
25	2	3 - 1	0,9	0,001	0,1	143	0,461245
26	2	3 - 2	0,9	0,001	0,1	6	0,498355
27	2	3 - 3	0,9	0,001	0,1	2692	0,313588
28	2	3 - 4	0,9	0,001	0,1	692	0,322571
29	2	3 - 5	0,9	0,001	0,1	1701	0,285064
30	2	3 - 6	0,9	0,001	0,1	731	0,245326
31	2	3 - 7	0,9	0,001	0,1	36	0,0090733
32	2	3 - 8	0,9	0,001	0,1	251	0,307956
33	2	4 - 1	0,9	0,001	0,1	10000	0,460162
34	2	4 - 2	0,9	0,001	0,1	18	0,41244
35	2	4 - 3	0,9	0,001	0,1	10000	0,293291

Ek – 3 (devam): Hatalı Ürün Tespiti Çalışması İçin Yapılan Denemelerin Sonuçları

Deneme	Gizli Katman Sayısı	Gizli Katmandaki Nöron Sayısı	Momentum	Hedef Hata Değeri	Öğrenme Oranı	İterasyon Sayısı	Hata
36	2	4 - 4	0,9	0,001	0,1	1067	0,366437
37	2	4 - 5	0,9	0,001	0,1	1066	0,285018
38	2	4 - 6	0,9	0,001	0,1	10000	0,2789
39	2	4 - 7	0,9	0,001	0,1	754	0,35617
40	2	4 - 8	0,9	0,001	0,1	10000	0,0069311
41	2	5 - 1	0,9	0,001	0,1	10000	0,507618
42	2	5 - 2	0,9	0,001	0,1	2851	0,435904
43	2	5 - 3	0,9	0,001	0,1	986	0,390147
44	2	5 - 4	0,9	0,001	0,1	1028	0,269816
45	2	5 - 5	0,9	0,001	0,1	4889	0,0152
46	2	5 - 6	0,9	0,001	0,1	693	0,293295
47	2	5 - 7	0,9	0,001	0,1	10000	0,269394
48	2	5 - 8	0,9	0,001	0,1	3100	0,2452
49	2	6 - 1	0,9	0,001	0,1	8716	0,456692
50	2	6 - 2	0,9	0,001	0,1	19	0,422182
51	2	6 - 3	0,9	0,001	0,1	93	0,355116
52	2	6 - 4	0,9	0,001	0,1	10000	0,279953
53	2	6 - 5	0,9	0,001	0,1	301	0,054028
54	2	6 - 6	0,9	0,001	0,1	2582	0,278635
55	2	6 - 7	0,9	0,001	0,1	308	0,312818
56	2	6 - 8	0,9	0,001	0,1	429	0,275232
57	2	7 - 1	0,9	0,001	0,1	10000	0,469589
58	2	7 - 2	0,9	0,001	0,1	369	0,40945
59	2	7 - 3	0,9	0,001	0,1	10000	0,313094
60	2	7 - 4	0,9	0,001	0,1	10000	0,329385
61	2	7 - 5	0,9	0,001	0,1	1125	0,249301
62	2	7 - 6	0,9	0,001	0,1	10000	0,283584
63	2	7 - 7	0,9	0,001	0,1	145	0,268991
64	2	7 - 8	0,9	0,001	0,1	425	0,298483
65	2	8 - 1	0,9	0,001	0,1	7110	0,452968
66	2	8 - 2	0,9	0,001	0,1	3915	0,40273
67	2	8 - 3	0,9	0,001	0,1	10000	0,304333
68	2	8 - 4	0,9	0,001	0,1	578	0,0305353
69	2	8 - 5	0,9	0,001	0,1	46	0,332739
70	2	8 - 6	0,9	0,001	0,1	208	0,328853

Ek – 3 (devam): Hatalı Ürün Tespiti Çalışması İçin Yapılan Denemelerin Sonuçları

Deneme	Gizli Katman Sayısı	Gizli Katmandaki Nöron Sayısı	Momentum	Hedef Hata Değeri	Öğrenme Oranı	İterasyon Sayısı	Hata
71	2	8 - 7	0,9	0,001	0,1	6194	0,2452
72	2	8 - 8	0,9	0,001	0,1	3398	0,2452
73	1	1	0,9	0,001	0,2	359	0,095486
74	1	2	0,9	0,001	0,2	1046	0,18124
75	1	3	0,9	0,001	0,2	288	0,362154
76	1	4	0,9	0,001	0,2	7126	0,248754
77	1	5	0,9	0,001	0,2	3120	0,087962
78	1	6	0,9	0,001	0,2	10000	0,008552
79	1	7	0,9	0,001	0,2	8541	0,3658
80	1	8	0,9	0,001	0,2	10000	0,0778546
81	2	1 - 1	0,9	0,001	0,2	4724	0,146
82	2	1 - 2	0,9	0,001	0,2	10000	0,09104
83	2	1 - 3	0,9	0,001	0,2	3669	0,23112
84	2	1 - 4	0,9	0,001	0,2	8124	0,06897
85	2	1 - 5	0,9	0,001	0,2	628	0,061113
86	2	1 - 6	0,9	0,001	0,2	1746	0,112431
87	2	1 - 7	0,9	0,001	0,2	2771	0,41235
88	2	1 - 8	0,9	0,001	0,2	6932	0,0078652
89	2	2 - 1	0,9	0,001	0,2	4914	0,19876
90	2	2 - 2	0,9	0,001	0,2	516	0,2065
91	2	2 - 3	0,9	0,001	0,2	1275	0,118764
92	2	2 - 4	0,9	0,001	0,2	58	0,30012
93	2	2 - 5	0,9	0,001	0,2	2914	0,15234
94	2	2 - 6	0,9	0,001	0,2	10000	0,009845
95	2	2 - 7	0,9	0,001	0,2	10000	0,054612
96	2	2 - 8	0,9	0,001	0,2	7124	0,18219
97	2	3 - 1	0,9	0,001	0,2	231	0,242415
98	2	3 - 3	0,9	0,001	0,2	514	0,189654
99	2	3 - 5	0,9	0,001	0,2	436	0,153297
100	2	3 - 7	0,9	0,001	0,2	10000	0,008546
101	2	3 - 8	0,9	0,001	0,2	5331	0,162487
102	2	4 - 1	0,9	0,001	0,2	10000	0,0999742
103	2	4 - 2	0,9	0,001	0,2	108	0,2742568
104	2	4 - 3	0,9	0,001	0,2	3260	0,14256
105	2	4 - 4	0,9	0,001	0,2	38	0,201245

Ek – 3 (devam): Hatalı Ürün Tespiti Çalışması İçin Yapılan Denemelerin Sonuçları

Deneme	Gizli Katman Sayısı	Gizli Katmandaki Nöron Sayısı	Momentum	Hedef Hata Değeri	Öğrenme Oranı	İterasyon Sayısı	Hata
106	2	4 - 5	0,9	0,001	0,2	10000	0,197856
107	2	4 - 6	0,9	0,001	0,2	7006	0,13654
108	2	4 - 7	0,9	0,001	0,2	4812	0,245697
109	2	4 - 8	0,9	0,001	0,2	10000	0,003246
110	2	5 - 1	0,9	0,001	0,2	436	0,3621
111	2	5 - 2	0,9	0,001	0,2	1079	0,0984263
112	2	5 - 3	0,9	0,001	0,2	10000	0,0995861
113	2	5 - 4	0,9	0,001	0,2	4423	0,136247
114	2	5 - 5	0,9	0,001	0,2	10000	0,0087645
115	2	5 - 6	0,9	0,001	0,2	498	0,146972
116	2	5 - 7	0,9	0,001	0,2	9014	0,220064
117	2	5 - 8	0,9	0,001	0,2	5612	0,021087
118	2	6 - 2	0,9	0,001	0,2	4215	0,05246
119	2	6 - 4	0,9	0,001	0,2	7861	0,009697
120	2	6 - 5	0,9	0,001	0,2	10000	0,0055641
121	2	6 - 8	0,9	0,001	0,2	321	0,0756846
122	2	7 - 2	0,9	0,001	0,2	10000	0,119647
123	2	7 - 4	0,9	0,001	0,2	8465	0,200364
124	2	7 - 6	0,9	0,001	0,2	1235	0,089756
125	2	7 - 8	0,9	0,001	0,2	38	0,11254
126	2	8 - 1	0,9	0,001	0,2	10000	0,075463
127	2	8 - 3	0,9	0,001	0,2	10000	0,0099654
128	2	8 - 4	0,9	0,001	0,2	10000	0,0069821
129	2	8 - 7	0,9	0,001	0,2	124	0,07862
130	2	4 - 8	0,9	0,001	0,1	10000	0,069311
131	2	4 - 8	0,9	0,001	0,2	10000	0,03246
132	2	4 - 8	0,9	0,001	0,5	2146	0,036547
133	2	4 - 8	0,8	0,001	0,3	10000	0,0097456
134	2	4 - 8	0,8	0,001	0,4	397	0,315469
135	2	4 - 8	0,7	0,001	0,2	10000	0,00099981
136	2	4 - 8	0,7	0,001	0,5	10000	0,0011254
137	2	4 - 8	0,6	0,001	0,3	8142	0,0010024
138	2	4 - 8	0,6	0,001	0,4	1476	0,0068901
139	2	4 - 8	0,5	0,001	0,3	4069	0,2200123
140	2	4 - 8	0,5	0,001	0,5	10000	0,0096485

Ek – 3 (devam): Hatalı Ürün Tespiti Çalışması İçin Yapılan Denemelerin Sonuçları

Deneme	Gizli Katman Sayısı	Gizli Katmandaki Nöron Sayısı	Momentum	Hedef Hata Değeri	Öğrenme Oranı	İterasyon Sayısı	Hata
141	2	5 - 5	0,9	0,001	0,1	4889	0,0152
142	2	5 - 5	0,9	0,001	0,2	10000	0,0087645
143	2	5 - 5	0,9	0,001	0,5	486	0,0096325
144	2	5 - 5	0,8	0,001	0,3	3246	0,085621
145	2	5 - 5	0,8	0,001	0,5	7724	0,007562
146	2	5 - 5	0,7	0,001	0,2	385	0,12368
147	2	5 - 5	0,7	0,001	0,3	10000	0,00099925
148	2	5 - 5	0,7	0,001	0,4	6632	0,11256
149	2	5 - 5	0,6	0,001	0,1	4223	0,0025648
150	2	5 - 5	0,6	0,001	0,3	10000	0,0045869
151	2	5 - 5	0,5	0,001	0,4	302	0,1087456
152	2	6 - 5	0,9	0,001	0,1	301	0,054028
153	2	6 - 5	0,9	0,001	0,2	10000	0,0055641
154	2	6 - 5	0,9	0,001	0,4	876	0,008765
155	2	6 - 5	0,8	0,001	0,3	1246	0,002456
156	2	6 - 5	0,8	0,001	0,5	10000	0,00099911
157	2	6 - 5	0,7	0,001	0,1	112	0,02684188
158	2	6 - 5	0,7	0,001	0,3	10000	0,00099886
159	2	6 - 5	0,7	0,001	0,4	9021	0,00103125
160	2	6 - 5	0,6	0,001	0,2	2099	0,102359
161	2	6 - 5	0,6	0,001	0,5	3698	0,1005689
162	2	6 - 5	0,5	0,001	0,1	10000	0,0047968
163	2	6 - 5	0,5	0,001	0,3	10000	0,0098762
164	2	8 - 4	0,9	0,001	0,1	578	0,0305353
165	2	8 - 4	0,9	0,001	0,2	10000	0,0069821
166	2	8 - 4	0,9	0,001	0,4	158	0,0023654
167	2	8 - 4	0,8	0,001	0,2	10000	0,0045687
168	2	8 - 4	0,8	0,001	0,5	10000	0,00099916
169	2	8 - 4	0,7	0,001	0,1	10000	0,0010256
170	2	8 - 4	0,7	0,001	0,3	5647	0,08796
171	2	8 - 4	0,7	0,001	0,4	2568	0,0124698
172	2	8 - 4	0,6	0,001	0,2	1796	0,024566
173	2	8 - 4	0,6	0,001	0,3	10000	0,0087456
174	2	8 - 4	0,5	0,001	0,2	2476	0,12456
175	2	8 - 4	0,5	0,001	0,5	9210	0,0011245

En uygun ağ mimarisi

Ek – 4: Uzman Sistemin Kullanıcıya Sorduğu Sorular ve Uzman Sistem Önerileri

1- Baskıda Çökme

EĞER Hata baskıda çökme ise

VE

EĞER Vida önünde toplanan erimiş plastik miktarı aşırı küçükse;

O HALDE

{

- Enjeksiyon vidasının ileri geri hareket miktarını arttır.

VEYA

- Tek yönlü valfli roketi kontrol et.

}

EĞER Çökme izi kapıya veya kalın baskı duvarına yakınsa;

O HALDE

{

- Ütuleme basınç süresini arttır.

VEYA

- Kalıp yüzeyinin sıcaklığını azalt.

VEYA

- Erimiş plastiğin sıcaklığını azalt.

VEYA

- Enjeksiyon hızını azalt.

}

EĞER Çökme izi kapıdan uzakta veya baskının ince duvarlarında ise;

O HALDE

{

- Arka basınç süresini arttır.

VEYA

- Enjeksiyon hızını arttır.

VEYA

- Erimiş plastiğin sıcaklığını arttır.

VEYA

- Kalıp sıcaklığını arttır.

}

EĞER Çökme, baskı kalıptan çıktıktan sonra oluyorsa;

O HALDE

{

- Kalıp havalandırmasını kontrol et.

VEYA

- Kalıp ısı kontrol cihazı kullan.

VEYA

- Baskının farklı yerlerindeki kalınlık farkını azalt.

VEYA

- Çekme oranı düşük plastik kullan.

VEYA

- Gaz yapan katkı maddesi koy.

}

EĞER değilse
O HALDE

- {
- Soğuma süresini arttır.
- }

2- Ürün Üzerinde İz

2-1- Yanma İzi

EĞER Hata yanma izi ise
VE

EĞER Erimiş plastiğin sıcaklığı erime sıcaklığının üzerinde ise;
O HALDE

- {
- Sıcaklığı düşür.
- VEYA*
- Ocak sıcaklığını azalt.
- VEYA*
- Arka basıncı azalt.

EĞER Ocakta erimiş plastiğin kalma süresi kritik dereceden uzunsa;
O HALDE

- {
- Baskı süresini kısalt.
- VEYA*
- Plastiğin erime süresini uzat.
- VEYA*
- Hammaddeye konulan kırılmış malzeme miktarını azalt.
- }

EĞER Yanma izi yolluk geçidine yakınsa;
O HALDE

- {
- Enjeksiyon hızını azalt.
- VEYA*
- Yolluk geçidinde keskin köşe olmamasına dikkat et.
- }

EĞER değilse
O HALDE

- {
- Enjeksiyon hızını azalt.
- VEYA*
- Ufak yolluk kullanma.
- VEYA*
- Meme büyüklüğünü kontrol et.
- VEYA*
- Kullanılan kırılmış malzeme miktarını azalt.
- }

2-2- Nem İzi

EĞER Hata nem izi ise

VE

EĞER Kalıp yüzeyinde nem varsa;

O HALDE

{

- Kalıp soğutmada kaçak olup olmadığını kontrol et.

VEYA

- Kalıp sıcaklığını arttır.

VEYA

- Kurutma sistemini kullan.

}

EĞER değilse

O HALDE

{

- Nem oranını düşür.

VEYA

- Plastiği yeterince kurut.

VEYA

- Plastiğin depolanmasını kontrol et.

VEYA

- Malzemenin bekleme hunisindeki bekleme süresini azalt.

VEYA

- Havalandırılmalı ocak kullan.

}

2-3- Hava İzi

EĞER Hata hava izi ise

VE

EĞER Havanın hapsedilmesi problemi varsa;

O HALDE

{

- Enjeksiyon hızını azalt.

VEYA

- Kalıp içindeki keskin geçişlere engel ol.

}

EĞER Hava izi yolluk geçidine yakınsa;

O HALDE

{

- Sıkıştırma esnasındaki vida dönme hızını azalt.

VEYA

- Kapanabilir meme kullan.

}

EĞER değilse

O HALDE

{

- Enjeksiyon hızını düşür.
 - VEYA
 - Arka basıncı arttır.
 - VEYA
 - Memede kaçak olup olmadığını kontrol et.
 - VEYA
 - Yolluk geçidinin yerini değiştir.
- }

3- Baskıda Parlaklık

3-1- Baskıda Yetersiz Parlaklık

EĞER Hata baskıda yetersiz parlaklık ise

VE

EĞER Kalıp yüzeyi yeterli parlatılmışsa;

O HALDE

{

- Kalıp sıcaklığını arttır.

VEYA

- Erime sıcaklığını arttır.

VEYA

- Enjeksiyon hızını arttır.

}

EĞER değilse

O HALDE

{

- Kalıp sıcaklığını azalt.

VEYA

- Erime sıcaklığını azalt.

VEYA

- Enjeksiyon hızını azalt.

}

3-2- Baskı Yüzeyinde Parlaklık Farklılığı

EĞER Hata baskı yüzeyinde parlaklık farklılığı ise

VE

EĞER Parlaklık farkı deliklerde ise;

O HALDE

{

- Delik geometrisini değiştir.

VEYA

- Yolluk geçidinin yerini değiştir.

}

EĞER Parlaklık farkı kaynak çizgisinde ise;

O HALDE

{

- Kalıp sıcaklığını arttır.

VEYA

- Enjeksiyon hızını arttır.

VEYA

- Yolluk geçidinin yerini değiştir.

}

EĞER Parlaklık farkı baskının köşelerinde ise;

O HALDE

{

- Kalıbın hareketli kısmının sıcaklığını düşür.

VEYA

- Kalıbın ısı sistemini değiştir.

}

4- Plastikte Kaynak İzi

EĞER Hata plastikte kaynak izi ise

VE

EĞER Kaynak izine yakın renk değişikliği varsa;

O HALDE

{

- Daha ufak pigment kullan.

VEYA

- Yuvarlak pigment kullan.

VEYA

- Daha hafif malzeme kullan.

}

EĞER değilse

O HALDE

{

- Kalıp sıcaklığını arttır.

VEYA

- Erime sıcaklığını arttır.

VEYA

- Enjeksiyon hızını arttır.

VEYA

- Ütüleme basıncını arttır.

VEYA

- Kalıp havalandırmasını kontrol et.

}

5- Baskı Yüzeyinde Jetting Oluşumu

EĞER Hata baskı yüzeyinde Jetting oluşumu ise

VE

EĞER Enjeksiyon hızı azaltılabilirse;
O HALDE

- {
- Enjeksiyon hızını azalt.
- }

EĞER Erime sıcaklığı değiştirilebilirse;
O HALDE

- {
- Erime sıcaklığını arttır.
- }

EĞER değilse

O HALDE

- {
- Kalıbın pozisyonunu kontrol et.
- VEYA*
- Yolluk geçidinin çapını arttır.
- VEYA*
- Ocağın ön kısmının sızdırmazlığını sağla.
- }

6- Baskı Yüzeyinde Yanma Etkisi

EĞER Hata baskı yüzeyinde yanma etkisi ise
VE

EĞER Hata üretim esnasında aniden oluşuyorsa;
O HALDE

- {
- Havalandırma kanalında kir kontrolü yap.
- }

EĞER Kapı kilitleme gücü azaltılabilirse;
O HALDE

- {
- Makinanın kilitleme gücünü azalt.
- }

EĞER değilse

O HALDE

- {
- Enjeksiyon hızını düşür.
- VEYA*
- Havalandırmanın yeterli olduğundan emin ol.
- }

7- Baskı Yüzeyinde Oluklu Çizgi

EĞER Hata baskı yüzeyinde oluklu çizgi ise
VE

EĞER Enjeksiyon hızı arttırılabilirse;
O HALDE

```

    {
        - Enjeksiyon hızını arttır.
    }
    EĞER Makimum enjeksiyon hızına ulaşıldıysa;
    O HALDE
    {
        - Enjeksiyon basıncını maksimuma çıkar.
    }
    EĞER değilse
    O HALDE
    {
        - Erime sıcaklığını arttır.
        VEYA
        - Kalıp sıcaklığını arttır.
        VEYA
        - Enjeksiyon hızını arttır.
    }

```

8- Baskıda Gerilim Çatlaması

EĞER Hata baskıda gerilim çatlaması ise

VE

EĞER Gerilim çatlaması kuvvetli deformasyondan dolayı oluşuyorsa;

O HALDE

```

    {
        - Harici gerilimi azalt.
    }

```

EĞER Baskı basınç altındayken kalıptan çıkarıldıysa;

O HALDE

```

    {
        - Enjeksiyon basıncından ütülemeye daha kısa sürede geç.
        VEYA
        - Ütüleme basıncını azalt.
        VEYA
        - Soğuma süresini arttır.
    }

```

EĞER değilse

O HALDE

```

    {
        - Kalıp sıcaklığının sabit olmasını sağla.
        VEYA
        - Kalıbın düzgün dolmasını sağla.
    }

```

9- Tamamen Dolmamış Baskı

EĞER Hata tamamen dolmamış baskı ise

VE

EĞER Vida ocağın çok önünde ise;

O HALDE

{

- Plastik dozajını arttır.

VEYA

- Geri dönüşsüz musluğu kontrol et.

}

EĞER Kalıp durdurma esnasında basınç düşmesi varsa;

O HALDE

{

- Basınç değişim mesafesini arttır.

VEYA

- Basınç değişim süresini arttır..

}

EĞER değilse

O HALDE

{

- Enjeksiyon hızını arttır.

VEYA

- Kalıp sıcaklığını arttır.

VEYA

- Havalandırmayı daha iyi hale getir.

}

10- Çapaklı Parça

EĞER Hata çapaklı parça ise

VE

EĞER Kilitleme kuvveti arttırılabilirse;

O HALDE

{

- Kilitleme kuvvetini arttır.

}

EĞER Kalıp deformasyonu yüksek ise;

O HALDE

{

- Basınç değişim noktasını optimize et.

VEYA

- Ütuleme basıncını düşür.

VEYA

- Kalıbı sertleştir.

}

EĞER değilse

O HALDE

{

- Ütuleme basıncına daha erken geç.

VEYA

- Enjeksiyon hızını düşür.

- VEYA
- Erime sıcaklığını düşür.
- VEYA
- Kalıp sıcaklığını düşür.
- }

11- Baskı Yüzeyinde Kabuklanma

EĞER Hata Kabuklanma ise

VE

EĞER Malzeme veya renk değişikliğinde hata oluşuyorsa;

O HALDE

{

- Granülün saflığını kontrol et.

VEYA

- Nem oranını kontrol et.

VEYA

- Erimiş plastik homojenitesini ve ocağın eritme performansını kontrol et.

}

EĞER değilse

O HALDE

{

- Enjeksiyon hızını azalt.

VEYA

- Erime sıcaklığını azalt.

VEYA

- Kalıp sıcaklığını artır.

}

12- Baskıda Hava Kabarcıkları

EĞER Hata baskıda hava kabarcıkları ise

VE

EĞER Decompression miktarı azaltılabilirse;

O HALDE

{

- Decompression miktarını azalt.

}

EĞER Hata proses esnasında aniden oluşuyorsa;

O HALDE

{

- Beslemeyi kontrol et.

}

EĞER değilse

O HALDE

{

- Arka basıncı artır ve vida hızını bu basınca uygun hale getir.

VEYA
 - Ocağı kontrol et.
 }

13- Yolluğa Yakın Soluk Noktalar

EĞER Hata yolluğa yakın soluk noktalar ise
VE

EĞER Enjeksiyon hızı düşürülebilirse;
O HALDE

{
 - Enjeksiyon hızını azalt ve enjeksiyon profili kullan.
 }

EĞER Yolluk geçidi değiştirilebilirse;
O HALDE

{
 - Kapı çapını arttır.
 VEYA
 - Kapının yerini değiştir.

}
EĞER değilse
O HALDE

{
 - Erime sıcaklığını arttır.
 VEYA
 - Kalıp sıcaklığını azalt.
 }

14- Baskı Boyutlarında Sapma

14-1- Baskı Boyutları Büyük

EĞER Hata baskı boyutlarının büyük olması ise
O HALDE

{
 - Enjeksiyon basıncını azalt.
 VEYA
 - Kalıp sıcaklığını arttır.
 }

14-2- Baskı Boyutları Küçük

EĞER Hata baskı boyutlarının küçük olması ise
O HALDE

{
 - Enjeksiyon basıncını arttır.
 VEYA

- Kalıp sıcaklığını azalt.

15- Görülebilir İtici İzleri

EĞER Hata görülebilir itici izleri ise

VE

EĞER İtici düzgün şekilde yerine oturmuyor veya boşluk kalıyorsa;

O HALDE

{

- İticiyi yerine sıkıca oturt.

VEYA

- İtici başlığının yüzeyini ve iticinin üzerinde boşluklar oluşup oluşmadığını kontrol et.

}

EĞER İtici baskı yüzeyinin üzerine çıkıyorsa;

O HALDE

{

- Daha geniş iticiler kullan.

}

EĞER Baskı yeterince soğumadan kalıptan çıkıyorsa;

O HALDE

{

- Soğuma süresini arttır.

}

EĞER Kalıpta yüksek derecede deformasyon varsa;

O HALDE

{

- Basınç değişim noktasını optimal yap.

VEYA

- Ütuleme basıncını düşür.

VEYA

- Kalıbı sertleştir.

}

EĞER İtici kuvvetleri yüksekse;

O HALDE

{

- Ütuleme basıncını değiştir.

VEYA

- Soğutma süresini değiştir.

VEYA

- Eğim açısı ve maçaları kontrol et.

VEYA

- Havalandırmayı daha iyi hale getir.

}

EĞER değilse

O HALDE

{

- Ütuleme basıncını düşür.
 - VEYA
 - Ütuleme basıncının süresini düşür.
 - VEYA
 - Kalıp sıcaklığını düşür.
- }

16- Baskının Kalıptan Çıkması Esnasında Deformasyonu

EĞER Hata baskının kalıptan çıkması esnasında deformasyonu ise
VE

EĞER Baskı basınç altındayken dışarı atılıyorsa;
O HALDE

- {
- Enjeksiyon basıncından ütülemeye daha erken geç.
 - VEYA
 - Ütuleme basıncını azalt.
 - VEYA
 - Soğutma süresini arttır.
 - VEYA
 - Baskıyı sertleştir.
- }

EĞER İticiler baskıya gömülüyorsa;
O HALDE

- {
- Soğutma süresini arttır.
- }

EĞER Dışarı atılma izi varsa;
O HALDE

- {
- Ütuleme basıncını azalt.
 - VEYA
 - Soğutma süresini arttır.
 - VEYA
 - Kalıp yüzeylerini kontrol et.
- }

EĞER Yüksek itici kuvvetleri gerekliyse;
O HALDE

- {
- Soğutma süresini azalt.
 - VEYA
 - Ütuleme basıncını arttır.
 - VEYA
 - Ütuleme basıncının zamanını optimize et.
- }

EĞER Ürüne çok kaburga konulmuşsa;
O HALDE

{

- Ütüleme basıncını azalt.
- VEYA
- Ütüleme basıncının zamanını azalt.
- VEYA
- Soğutma süresini arttır.

}

EĞER değilse*O HALDE*

{

- Kalıp sıcaklığını değiştir.
- VEYA
- İtici hızını arttır.
- VEYA
- İtici sistemini kontrol et.
- VEYA
- Eğim açısını kontrol et.

}

17- Cold Slugs (Plastiğin bir bölümünün sıcaklığının diğer bölümden az olması)

EĞER Hata cold slugs ise*VE**EĞER* Decompression (basıncı azaltma) miktarı düşürülebilirse;*O HALDE*

{

- Decompressionu düşür.

}

EĞER Ocak ünitesi daha erken geri çekilebilirse;*O HALDE*

{

- Ocağı daha erken geri al.

}

EĞER değilse*O HALDE*

{

- Meme sıcaklığını arttır.
- VEYA
- Meme genişliğini arttır.
- VEYA
- Daha uzun yolluk geçidi kullan.
- VEYA
- Kapanan meme kullan.

}

18- Koyu Noktalar

EĞER Hata koyu noktalar ise

VE

EĞER Granül kirliyse;

O HALDE

{

- Granülü temizle.

}

EĞER Koyu noktalar malzeme değiştiğinde oluşuyorsa;

O HALDE

{

- Ocağı iyice temizle.

}

EĞER Erime sıcaklığı erime sınırlarını aşıyorsa;

O HALDE

{

- Erime sıcaklığını azalt.

VEYA

- Ocak sıcaklığını düşür.

VEYA

- Vida hızını azalt.

VEYA

- Arka basıncı düşür.

}

EĞER Erimiş plastiğin ocakta kalma süresi kritik değerdeyse;

O HALDE

{

- Baskı süresini azalt.

VEYA

- Erime süresini arttır.

VEYA

- Ocağın boyutlarını kontrol et.

}

EĞER değilse

O HALDE

{

- Sıcak yolluk derecesini kontrol et.

VEYA

- Çapak oranını azalt.

VEYA

- Ocağı, yolluk geçit sistemini, sıcak yolluğu ve plastiğin saflığını kontrol et.

}

Ek – 5: L84 Motor Üst Kaplama Ön Parçası İçin Operasyon Kontrol Planı

		OPERASYON KONTROL PLANI				PLAN NO: PLS-11-73 SAYFA NO: 1/3	
PARÇA ADI : L84 MOTOR ÜST KAPLAMA ÖN		PARÇA NO: 3011220800020		RENK : SİYAH			
HAMMADDE : C2P 12T 21N		BOYA :					
MAKİNE NO : PEM 150							



KONTROL EDİLECEK ÖZELLİK	BÖL.	KONTROL YOLU	İSTENEN	ÖZELLİK TANIMI	KONTROL EKİPMANI	SIKLIK-SORUMLULAR -KAYIT YERİ		REAKSİYON PLANI						
						KALİTE KONTROL	OPERATÖR							
GÖRSEL KONTROLLAR (Şahit numuneye uygunluk) (Hat başında asılı olan kontrol yolu parçası üzerinde kontrol yol numaraları tanımlıdır)	A BÖLGESİ	Renk şahit numuneye uygun olmalı			ÖNEMLİ ÖZELLİK	RENK KABİNI	İLK PARÇA ONAYINDA (1 parça) PROSES KONTROL KAYIT FORMU	2 KEZ VARDIYA (1 parça) PROSES KONTROL KAYIT FORMU	- % 100 KAYIT YERİ YOK	HATA DURUMUNDA HATA BİLDİRİM FORMU İLE VARDIYA SORUMLUSUNA BİLDİRİM YAPILIR. (HATALI PARÇALAR AYRILARAK RED KASASINA KONULUR.)				
		1 - 6	EKSİK ENJEKSİYON OLMAYACAK	GÖZ İLE										
		1 - 6	ÇAPAK OLMAYACAK											
		2 - 3 - 4 - 5	DELİKTE ÇAPAK OLMAYACAK											
		2 - 3 - 4 - 5	ÇEKME OLMAYACAK											
	B BÖLGESİ													
Markalama ve Etiketleme Doğru Olmalı														

Yayın Tarihi : 21.03.2007	HAZIRLAYAN : Derya ONUR (Dökümantasyon Sorumlusu)	ONAY: Akın KEÇE (ÜPK Yöneticisi)
Revizyon no: 0	İMZA:	İMZA:

Ek – 6: L84 Motor Üst Kaplama Ön Parçası İçin Operasyon Kontrol Planı

 PLASKAR Radikal Enj. Otomotiv Yedek Parça Tic. A.Ş. İstanbul Üsküdar 391		OPERASYON KONTROL PLANI				PLAN NO: PLO5-11-73 SAYFA NO: 2/3				
PARÇA ADI : L84 MOTOR ÜST KAPLAMA ÖN		PARÇA NO: 301122080020		RENK : SIYAH						
HAMMADDE : C2P 12T 21N		BOYA :								
MAKİNE NO : PEM 150										
KONTROL EDİLECEK ÖZELLİK		İSTENEN		ÖZELLİK TANIMI	KONTROL EKİPMANI	KONTROL SIKLIĞI	SORUMLU	KAYIT YERİ	REAKSİYON PLANI	
MAKİNE PARAMETRE KONTROLLERİ				ÖNEMLİ ÖZELLİK	PEM 150 BİLGİSAYAR EKRANI	2 KEZ/ VARDİYADA İLK ONAYDA 1 KEZ	KALİTE KONTROL	PROSES KONTROL KAYIT FORMU	HATA DURUMUNDA HATA BİLDİRİM FORMU İLE VARDİYA SORUMLUSUNA BİLDİRİM YAPILIR. (HATALI PARÇALAR AYRILARAK RED KASASINA KONULUR.)	
ENEKSİYON	BASINÇ	BAR	± bar							
	YOL	MM	± mm							
	HIZ	%	± %							
	ÜTÜLEME	YOL	MM							± mm
		ZAMAN	SN							± sn
BASINÇ		BAR	± bar							
HIZ	%									
MAL ALMA MESAFESİ		MM	± mm							
GERİ EMİŞ MESAFESİ		MM	± mm							
SİKİŞTİRMA BASINCI		BAR	± bar							
KURUTUCU SICAKLIĞI		° C	± °C							
SOĞUMA ZAMANI		SN	± sn							
TERMOREGÜLATÖR		° C								
TOPLAM ÇEVİRİM SÜRESİ		SN	± sn							
OCAK SICAKLIKLARI (C)	1		± °C							
	2		± °C							
	3		± °C							
	4		± °C							
	5		± °C							
	6		± °C							
KALIP SICAKLIĞI	1		± °C							
	2		± °C							
	3		± °C							
	4		± °C							
	5		± °C							
ÇEVİRİM SÜRESİ										
BOYA DOZAJLAYICI RECETE NO										
Yayın Tarihi : 21.03.2007 Revizyon no: 0		HAZIRLAYAN : Derya ONUR (Dökümantasyon Sorumlusu) İMZA:			ONAY: Akın KEÇE (ÖPK Yöneticisi) İMZA:					

Ek – 7: L84 Motor Üst Kaplama Ön Parçası İçin Operasyon Kontrol Planı

 PLASKAR Plastik Enj. Broomlu Yedek Parça Nak. Amb. Kalıp Ltd. Şti.		OPERASYON KONTROL PLANI				PLAN NO: PLO5-11-73 SAYFA NO: 3/3	
PARÇA ADI : L84 MOTOR ÜST KAPLAMA ÖN		PARÇA NO: 301122080020		 RENK : SİYAH			
HAMMADDE : C2P 12T 21N		BOYA :					
MAKİNE NO : PEM 150							
KONTROL EDİLECEK ÖZELLİK	İSTENEN	ÖZELLİK TANIMI	KONTROL EKİPMANI	KONTROL SIKLIĞI	SORUMLU	KAYIT YERİ	REAKSİYON PLANI
		ÖNEMLİ ÖZELLİK	Kumpas P-KD-2 Kapasite: 200,00 mm Hassasiyet: 0,01 mm	2 KEZ/ VARDİYADA İLK ONAYDA 1 KEZ	KALİTE KONTROL	PROSES KONTROL KAYIT FORMU	HATA DURUMUNDA HATA BİLDİRİM FORMU İLE VARDİYA SORUMLUSUNA BİLDİRİM YAPILIR. HATALI PARÇALAR AYRILARAK RED KASASINA KONULUR. İPK UYGULANMASINDA; İPK ÖNLEM VE TAKİP FORMU KULLANILIR
PARÇA AĞIRLIĞI	1+2 GÖZ = 550 ± 5	ÖNEMLİ ÖZELLİK	TERAZİ Ekipman No: P-TZ-1 Kapasitesi: 10 kg Hassasiyeti: 1 gr	2 PARÇA / 4 SAAT		İPK (X/R KARTI)	
Yayın Tarihi : 21.03.2007 Revizyon no: 0		HAZIRLAYAN : Derya ONUR (Dökümantasyon Sorumlusu) İMZA:		ONAY: Akın KEÇE (ÜPK Yöneticisi) İMZA:			

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimim süresince ve tezin hazırlanması sırasında, çalışmalarımı yönlendiren, akademik çalışmalarıyla ufkumu açan, araştırmalarımın her aşamasında bilgi, öneri ve yardımlarını hiçbir zaman esirgemeyen, yapıcı, yönlendirici ve anlayışlı yaklaşımı ile her zaman bana destek olan danışman hocam Sayın Doç. Dr. Nursel ÖZTÜRK'e, tez çalışmasını PLASKAR A.Ş.'de birlikte yürüttüğümüz Sayın Akın KEÇE'ye, tez çalışmalarım süresince her türlü kolaylığı gösterip destek olan yöneticim Sayın Ali ÇATAL'a ve onun nezdinde ASİL ÇELİK A.Ş.'ye, tez çalışması boyunca sorduğum her soruya sabırla cevap veren, bilgilerini benimle paylaşan, kongre için birlikte bildiri hazırladığımız Araştırma Görevlisi Sayın Aslı AKSOY'a, değerli arkadaşım Cesur COŞKUNER'e, bu süreç içerisinde birçok fedakârlık göstererek en zor zamanda bile hep yanımda olan sevgili eşim ESRA'ya ve mensubu olmakla gurur duyduğum, mutluluk kaynağım aileme ve özellikle de anneme en derin duygularla teşekkür ederim.

Yıllardan beri bilim dünyasına girmek isteyenlerin ve bilim için destek arayanların aklına gelen ilk yer olma amacı doğrultusunda yüksek lisans ve doktora öğrencileri ile akademisyenleri burs, yarışma ve eğitim programları vasıtasıyla yönlendiren ve teşvik eden ve toplumda bilim ve teknoloji kültürünün oluşmasına yardımcı olan TÜBİTAK kurumuna yüksek lisans eğitimim süresince bana vermiş olduğu destekten dolayı sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Ahmet AKYÜREK
BURSA, Şubat 2009

ÖZGEÇMİŞ

Ahmet AKYÜREK, 14.10.1984 tarihinde İstanbul / Bayrampaşa’da doğmuştur. İlköğretimini 1998 yılında Bayrampaşa Prof. Muharrem Ergin İlk Öğretim Okulu’nda, orta öğretimini ise 2002 yılında Bayrampaşa Hüseyin Bürge Anadolu Lisesi’nde tamamlamıştır. 2002 yılında başlamış olduğu Selçuk Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümü’nden yatay geçiş derecesiyle ayrılarak 2003 yılında Uludağ Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümü’ne girmiştir. Uludağ Üniversitesi Endüstri Mühendisliği bölümünden 2006 yılında mezun olan Ahmet AKYÜREK, aynı yıl Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı’nda yüksek lisans eğitimine başlamıştır. Halen ASİL ÇELİK A.Ş. firmasında Endüstri Mühendisi olarak görev yapmaktadır.