

**T.C.
BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**



**DENEY TASARIMI VE YAPAY ZEKA TEKNİKLERİNDEN
YARARLANARAK ÜRÜN KALİTESİNİN GELİŞTİRİLMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ŞEYMA MERCAN

BALIKESİR, MART - 2019

T.C.
BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI



DENEY TASARIMI VE YAPAY ZEKA TEKNİKLERİNDEN
YARARLANARAK ÜRÜN KALİTESİNİN GELİŞTİRİLMESİ

YÜKSEK LISANS TEZİ

ŞEYMA MERCAN

Jüri Üyeleri: Dr. Öğr. Üyesi Ümit YALÇIN (Tez Danışmanı)

Prof. Dr. Ramazan YAMAN

Doç. Dr. Aslan Deniz KARAOĞLAN

BALIKESİR, MART - 2019

KABUL VE ONAY SAYFASI

ŞEYMA MERCAN tarafından hazırlanan “**DENEY TASARIMI VE YAPAY ZEKA TEKNİKLERİNDEN YARARLANILARAK ÜRÜN KALİTESİNİN GELİŞTİRİLMESİ**” adlı tez çalışmasının savunma sınavı 19.03.2019 tarihinde yapılmış olup aşağıda verilen jüri tarafından oy birliği ile Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmza

Danışman
Dr. Öğr. Üyesi Ümit YALÇIN

.....

Üye
Prof. Dr. Ramazan YAMAN

.....

Üye
Doç. Dr. Aslan Deniz KARAOĞLAN

.....

Jüri üyeleri tarafından kabul edilmiş olan bu tez Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulunca onanmıştır.

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

Prof. Dr. Necati ÖZDEMİR

.....

KABUL VE ONAY SAYFASI

ŞEYMA MERCAN tarafından hazırlanan "DENEY TASARIMI VE YAPAY ZEKA TEKNİKLERİNDEN YARARLANILARAK ÜRÜN KALİTESİNİN GELİŞTİRİLMESİ" adlı tez çalışmasının savunma sınavı 19.03.2019 tarihinde yapılmış olup aşağıda verilen jüri tarafından oy birliği ile Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmza

Danışman
Dr. Öğr. Üyesi Ümit YALÇIN

Üye
Prof. Dr. Ramazan YAMAN

Üye
Doç. Dr. Aslan Deniz KARAOĞLAN


.....

.....

.....

Jüri üyeleri tarafından kabul edilmiş olan bu tez Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulunca onanmıştır.

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

Prof. Dr. Necati ÖZDEMİR

.....

ÖZET

**DENEY TASARIMI VE YAPAY ZEKA TEKNİKLERİNDEN
YARARLANARAK ÜRÜN KALİTESİNİN GELİŞTİRİLMESİ
YÜKSEK LİSANS TEZİ
ŞEYMA MERCAN
BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
(TEZ DANIŞMANI: DR. ÖĞR. ÜYESİ ÜMİT YALÇIN)**

BALIKESİR, MART - 2019

Deney Tasarımı metotları, en uygun üretim faktörlerini, süreç ya da sistem girdilerinde değişiklik yaparak sonuçların gözlemlenmesi ve analizi ile bulan etkin istatistiksel metotlardır. Hedeflenen kalite seviyesi için hangi girdilerin hangi seviyelerinin optimum olduğunu belirlemek gerekmektedir. İncelenmesi gereken girdi sayısının artması optimum seviyeyi belirlemeyi zaman ve maliyet açısından oldukça zorlaştırmaktadır. Bu noktada Deney Tasarımı metotlarından olan Taguchi yöntemi, uygulanması gereken deney sayılarını azaltacak ortogonal diziler ile maliyet ve zaman açısından büyük avantaj sağlamaktadır. Deney Tasarımı metotları bu avantajlarıyla sektör için kalite problemleri çözümünde sıklıkla tercih edilir duruma gelmiş ve çalışmamızda da bu metotlardan Taguchi yöntemi kullanılmıştır.

Bu çalışmada plastik enjeksiyon alanında faaliyet gösteren bir firmada; kalitesel problemlerin en sık yaşandığı parçalardan biri ele alınmıştır. İncelenen parçada üretim aşamasından belirli bir süre geçtikten sonra boyutsal küçülmeler meydana gelmekte ve bu nedenle parça montajında sorunlar çıkmaktadır. Parçada yaşanan bu sorunun çözülmesi için soruna neden olan faktörler balık kılçığı analizi yapılarak tespit edilmiştir. Boyutsal küçülme miktarının minimizasyonu için bu faktörlerin uygun seviyelerinin belirlenmesi, Taguchi yönteminden yararlanılarak yapılmıştır. Taguchi ortogonal dizilerinden L18 kullanılarak deneyler tasarlanmış ve uygulanmış, deney sonuçları analiz edilerek faktörlerin uygun seviyeleri belirlenmiştir. Daha sonra aynı faktörler kullanılarak bir Yapay Sinir Ağı modeli oluşturulmuştur. Oluşturulan sinir ağını eğitmek için deneyler sonucunda elde edilen veriler kullanılmıştır. Eğitilen ağ yapısında 4374 adet deney sorgulanarak; problemi minimize eden parametre değerlerine ulaşılmıştır. Çalışma sonunda ise Yapay Sinir Ağından ve Taguchi Yönteminden elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır.

ANAHTAR KELİMELER: Deney tasarımı, yapay sinir ağları, taguchi metodu, plastik enjeksiyon.

ABSTRACT

IMPROVEMENT OF PRODUCT QUALITY BY USING DESIGN OF EXPERIMENT AND ARTIFICIAL INTELLIGENCE TECHNIQUES

MSC THESIS

ŞEYMA MERCAN

BALIKESİR UNIVERSITY INSTITUTE OF SCIENCE

INDUSTRIAL ENGINEERING

(SUPERVISOR: ASSIST. PROF. DR. ÜMİT YALÇIN)

BALIKESİR, MARCH 2019

Experimental design methods are effective statistical methods that find the most appropriate production factors by changing the process or system inputs and observing and analyzing the results. It is necessary to determine which levels of the inputs are optimal for the targeted quality level. Increasing the number of inputs that need to be examined makes it difficult to determine the optimum level in terms of time and cost. At this point, the Taguchi method, which is one of the Experimental Design methods, provides a great advantage in terms of cost and time with orthogonal arrays which will reduce the number of experiments to be applied. Experimental design methods have been preferred to solve quality problems for the sector with these advantages and Taguchi method has been used in our study.

In this study, a company operating in the field of plastic injection; one of the most frequently experienced parts of quality problems. Partial shrinkage occurs after a certain period of time from the production stage in the examined part and therefore there are problems in part assembly. In order to solve this problem in the part, the factors causing the problem were determined by fishbone analysis. The determination of the appropriate levels of these factors for minimization of the dimensional reduction was made by using the Taguchi method. Experiments were conducted using L18 from Taguchi orthogonal arrays and experimental results were analyzed, and appropriate levels of factors were determined. Then an Artificial Neural Network model was created by using the same factors. The data obtained from the experiments were used to train the neural network. 4374 experiments were investigated in the network structure; The parameter values that minimize the problem have been reached. At the end of the study, the results obtained from the Artificial Neural Network and Taguchi Method were compared.

KEYWORDS: Design of experiment, artificial neural networks, taguchi method, plastic injection.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
İÇİNDEKİLER	iii
ŞEKİL LİSTESİ	iv
TABLO LİSTESİ	v
KISALTMA LİSTESİ	vi
ÖNSÖZ	vii
1. GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	5
3. DENEY TASARIMI	15
3.1 Deney Tasarımının Tarihçesi	17
3.2 Deney Tasarımı Metotları	18
3.3 Deney Tasarımı Uygulama Aşamaları	20
3.4 Deney Tasarımının Amaçları	23
4. TAGUCHİ METODU	24
4.1 Taguchi Kalite Sistemi	26
4.1.1 Sistem Tasarımı	30
4.1.2 Parametre Tasarımı	31
4.1.3 Tolerans Tasarımı	33
4.2 Taguchi Ortogonal Diziler.....	36
4.3 Taguchi Kayıp Fonksiyonu	40
4.4 Deney Tasarımına Taguchi Yaklaşımı	42
5. YAPAY SİNİR AĞLARI	44
5.1 Yapay Sinir Hücresinin Çalışma Prensipleri	47
5.2 Yapay Sinir Ağları Tarihçesi.....	48
5.3 Yapay Sinir Ağlarının Özellikleri	49
5.4 Yapay Sinir Ağı Türleri.....	51
5.4.1 Tek Katmanlı Algılayıcılar	52
5.4.2 Çok Katmanlı Algılayıcılar.....	53
5.4.3 LVQ (Linear Vektor Quantization) Modeli.....	55
5.4.4 ART (Adaptive Resonance Theory) Ağları	57
5.5 Yapay Sinir Ağları Kullanım Alanları	58
6. PLASTİK ENJEKSİYON	62
6.1 Enjeksiyon Prosesi	63
6.2 Ürün Kalitesine Etki Eden Makine Kontrol Parametreleri.....	66
6.3 Plastik Enjeksiyonla İmal Edilen Parçalardaki Hatalar ve Önlenmesi.....	69
7. UYGULAMA	72
7.1 Uygulama Yapılan Firma Hakkında Genel Bilgi	72
7.2 Firmada Uygulanan Prosesler	72
7.3 Taguchi Metodu Uygulaması	74
7.4 Yapay Sinir Ağları Uygulaması	82
8. SONUÇ VE ÖNERİLER	88
9. KAYNAKLAR	91
10. EKLER	99

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 3.1: Üç temel yöntemin kalite yönetimine katkısı.....	18
Şekil 3.2: Problemin çözümüne yönelik deney tasarım aşamaları	22
Şekil 4.1: Taguchi ürün-kalite çemberi	28
Şekil 4.2: Taguchi kalite kontrol sistemi	29
Şekil 4.3: Taguchi metodu sistematığı.....	30
Şekil 4.4: Taguchi yönteminin akış şeması	32
Şekil 4.5: Proses optimizasyon hedefine göre S/N hesaplamaları.....	35
Şekil 4.6: 2k tasarımı deney plan.....	36
Şekil 4.7: Taguchi ve tam faktöriyel tasarım için kombinasyonlar	37
Şekil 4.8: Taguchi ortogonal dizi seçim tablosu.....	38
Şekil 4.9: Tedarikçilerin varyasyon kıyaslaması	40
Şekil 4.10: Taguchi kalite kayıp fonksiyonu	41
Şekil 4.11: "Kim Daha İyi Atıcı?" diyagramı.....	42
Şekil 5.1: Biyolojik sinir hücresi	44
Şekil 5.2: Yapay sinir hücresi	45
Şekil 5.3: Sigmoid fonksiyonu	46
Şekil 5.4: Tek katmanlı algılayıcı yapısı	52
Şekil 5.5: Tek katmanlı algılayıcı öğrenme algoritması.....	53
Şekil 5.6: Çok katmanlı algılayıcı yapısı	53
Şekil 5.7: Çok katmanlı algılayıcı çalışma prosedürü	54
Şekil 5.8: LVQ ağ yapısı	56
Şekil 5.9: LVQ çalışma prosedürü.....	57
Şekil 5.10: ART ağının genel yapısı.....	58
Şekil 6.1: Enjeksiyon makinesi bölümleri	62
Şekil 6.2: Vidanın ilerlemesi	63
Şekil 6.3: Vidanın geri yönde hareketi	64
Şekil 6.4: Soğuma aşaması	65
Şekil 6.5: Enjeksiyon prosesi.....	66
Şekil 7.1: Fırın düğmesi iç göbek	74
Şekil 7.2: Fırın iç göbek ölçümleri	75
Şekil 7.3: Balık kılıçığı diyagramı.....	75
Şekil 7.5: Boyutsal küçülme değerleri için S/N sonuç grafiği.....	81
Şekil 7.7: Çok katmanlı YSA yapısı gösterimi.....	83
Şekil 7.8: Oluşturulan YSA modeli	85
Şekil 7.9: YSA eğitim grafiği	86

TABLO LİSTESİ

Sayfa

Tablo 4.1: Geleneksel kalite kontrolü anlayışı ile Taguchi'nin kalite kontrolü anlayışı arasındaki farklar	26
Tablo 4.2: Kalite mühendisliği bileşenleri ve içerikleri	27
Tablo 4.3: L18 ($6^1 3^6$) Taguchi ortogonal dizi kombinasyonu.....	38
Tablo 4.4: L18 ortogonal dizi örnek hesap tablosu.....	39
Tablo 5.1: Toplama fonksiyonu örnekleri	46
Tablo 5.2: Aktivasyon fonksiyon örnekleri	47
Tablo 5.3: YSA ve biyolojik sınır elemanlarının karşılaştırılması	48
Tablo 5.4: YSA tarihsel gelişimi	48
Tablo 5.5: YSA'ların sınıflandırılması	51
Tablo 5.6: YSA kullanım alanları	59
Tablo 6.1: Hata ailelerine göre kusurlar.....	70
Tablo 7.1: Taguchi metodunda incelenen faktörler ve faktör seviyeleri.....	76
Tablo 7.2: L18 ($6^1 3^6$) Taguchi ortogonal dizi kombinasyonu.....	76
Tablo 7.3: Düğme iç göbek parçası L18 ortogonal dizisi deney şartları.....	77
Tablo 7.4: L18 deney düzeneği deneylerinin sonuçları	77
Tablo 7.5: Deney uygulamasından 1 hafta sonra yapılan son ölçüm.....	78
Tablo 7.6: İlk ölçüm ve son ölçüm arasındaki farklar.....	79
Tablo 7.7: İlk ölçüm ve son ölçüm arasındaki fark ortalaması	80
Tablo 7.8: Taguchi minimum boyutsal küçülme değeri ve koşulları.....	81
Tablo 7.9: YSA'da kullanılan değişkenler ve tipleri.....	82
Tablo 7.10: YSA'da kullanılan faktörler ve faktör seviyeleri.....	83
Tablo 7.11: YSA'da kullanılan normalize edilmiş veriler	84
Tablo 7.12: YSA parametreleri ve özellikleri	84
Tablo 7.13: Uygulanan farklı topolojilerin performansları.....	85
Tablo 7.14: Seçilen YSA topolojisinin farklı parametrelerinin performansları.....	86
Tablo 7.15: YSA minimum boyutsal küçülme ve koşulları tahmini	87
Tablo 8.1: Taguchi ve YSA optimum deney kombinasyonları ve sonuçları	89

KISALTMA LİSTESİ

ADALINE: Adaptive Linear Neuron

ART: Adaptive Resonance Theory

AGV: Automated Guided Vehicle

CMT: Cold Metal Transfer

CO: Karbonmonoksit

LVQ: Linear Vektor Quantization

MATLAB: Matrix Laboratory

MSE: Mean Square Error

PLA: Polilaktik asit

PLA- TPU: Polilaktik asit-termoplastik poliüretan

PLA- TPS: Polilaktik asit-termoplastik nişastayı

PP: Polipropilen

PS: Polistiren

S/N: Sinyal/Gürültü

UV: Ultra Viole

YSA: Yapay Sinir Ağı

ÖNSÖZ

Yüksek Lisans eğitimim sürecinde hem mühendislik mesleğine hem de hayata yaklaşımıyla bana örnek olan, bilgisini ve deneyimlerini her zaman çok cömertçe benimle paylaşan tez danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Ümit YALÇIN'a,

Tezimin tamamlanması ve Yapay Sinir Ağları konusundaki değerli katkılarından dolayı İstanbul Rumeli Üniversitesi öğretim üyesi Dr. Öğr. Üyesi Faruk BULUT'a ve mesai arkadaşım Araştırma Görevlisi İslam MAYDA'ya,

Çalışmanın uygulamasının yapılması aşamasında desteklerini esirgemeyen ENKA Plastik çalışanlarına,

Her zaman her konuda yanımda olan ve destek veren aileme sonsuz teşekkür ederim.

Balıkesir, 2019

Şeyma MERCAN

1. GİRİŞ

Artan rekabet şartları ve hızlanan endüstrileşmeye bağlı olarak, firmaların hayatta kalması için müşteri memnuniyetinin sağlanması ve sürekliliğinin korunması oldukça önemli hale gelmiştir. Sahada geniş pazar payı elde etmek isteyen üreticiler artık istenen aralıklarda üretim yapmaktan çok, hedefe en yakın değerlerde üretim yaparak, ürün mükemmelliği yoluyla kaliteyi geliştirmek zorundayken; aynı zamanda maliyeti düşürmek için çalışmalar yapmak ve bu çalışmalarında süreklilik yakalamak zorundadır.

İşletme verimliliği iyileştirilen kalite süreçleri ile doğru orantılı olarak artmaktadır. Verimlilik artışı için kalitenin üretim hattında planlandığı gibi, mamul ve proses tasarımı aşamasında da doğru bir şekilde planlanması gerekir. Bu şekilde evrensel rekabet şartları altında işletmeler için rekabet avantajı sağlanmaktadır. Kalitesel nitelikleri artırmak için kullanılan çeşitli yöntemlerden biri olan deney tasarımında parametre sayısının artması, deneyler için süreyi uzatırken aynı zamanda maliyeti de artırmaktadır.

Kaliteli ürün üretmek müşteri memnuniyetinin ve güveninin sağlanması için işletmeler açısından en önemli faktörlerden birisidir. İşletmeler için her bir kalitesiz ürün müşteri memnuniyeti ve güveni kaybına neden olmakla birlikte aynı zamanda maddi kayıplara da yol açmaktadır. Bu nedenle, ürün geliştirilmesi aşamasında kaliteli ürün üretmek için yapılan uygulamalar, artan rekabet koşullarında firmaların hayatta kalması için son derece önemlidir. Ayrıca bu durum, yüksek kalite standartlarının yanında müşteri memnuniyetinin sağlanmasını da oldukça önemli bir hale getirmiş ve üreticileri bu noktalarda esneklik kazanmayı sağlayacak yöntemler bulmaya zorlamıştır. Tüketici istek ve memnuniyeti doğrultusunda göre firmanın esnek şekilde kendini revize edebilmesi için üretim ve kalite kontrol sistemlerinin otomatik ve değişikliklere uyumlu olması gerekmektedir [1,2].

Üründe kaliteyi yakalamak isteyen imalatçılar artan üretim maliyetlerinden dolayı maliyeti daha fazla artırmadan kalitenin artmasını sağlayacak farklı yöntemler kullanmaya çalışmaktadırlar. Toplam kalite yönetiminin de hedefi olan ürün

kalitesinin çıkış kalite kontrol aşaması yerine ürün tasarım aşamasında sağlanmış olması, kalite maliyetlerini azaltabilmektedir.

Kalite özelliklerinin optimum performansını sağlaması için çok sayıda işlem parametresinin kontrol edilmesini gerektirmekte ve üretici için düşük işletme maliyeti ile yüksek kaliteli bir ürün üretme imkanını zorlaştırmaktadır. Sistematik olmayan deneme yanılma yöntemleri ve hata metodu gibi tekniklerin kullanılması optimal kombinasyon parametrelerini bulmayı oldukça zorlaştırır [3].

İstenen kalite koşullarını ürün tasarım aşamasında ve minimum maliyetle elde etmenin en efektif yöntemlerinden olan Deney Tasarımı yöntemi son yıllarda yaygın bir şekilde çeşitli sektörler tarafından kullanılmaktadır.

Deney tasarımı yöntemlerinin yanında yapay zeka teknikleri de işlem sürelerini kısaltarak istenen hedef için minimum maliyetle çalışmaların yapılmasını sağlayan yöntemler arasındadır. Yapay zeka teknikleri birçok farklı alanda yaygın şekilde kullanılmaktadır ve müşteri istekleri doğrultusunda değişkenlik gösteren kalite özelliklerine firmaların esnek şekilde uyum sağlaması noktasında da etkin çözümler sunmaktadır.

Bir süreç ya da sistemin girdilerinde değişiklik yapılarak çıktıların gözlemlenmesi ve analiz edilmesini sağlayan Deney Tasarımı metotları, en uygun üretim faktörlerini belirlemek için kullanılan etkin istatistiksel metotlardandır [4].

Az deney sayısı ile sonuca ulaşmayı sağlayan Taguchi Metodu, Deney Tasarımı metotlarından biridir. Taguchi Metodu proses parametrelerinin tasarımında deneysel tasarımı kullanarak kalite geliştirme çalışmalarındaki maliyeti azaltan bir yöntemdir. Bu yöntemde kaliteyi sağlamak için yapılan çalışmaları Taguchi çevrim içi ve çevrim dışı olmak üzere iki bölüme ayırmaktadır ve istatistiksel deneysel tasarım çevrim dışı kalite kontrol sistemine dahil edilmiştir.

Taguchi uzun yıllar yaptığı çalışmalar sonucunda çok daha az deney ile ve en az klasik olanı kadar iyi sonuç veren deney dizileri (ortogonal dizi) geliştirmiş ve faktör seviyelerini teker teker değiştirmek yerine eş zamanlı değiştiren ortogonal dizileri kullanmayı uygun görmüştür. Bu sayede kalite maliyetlerinin ve zaman

kaybının önüne geçerek deneysel tasarımın imalat sektöründe kabul görmesini sağlamıştır [5,6].

Kalitesizliğe sebep olan ve kontrol edilemeyen faktörlerin etkilerini kontrol edilebilen faktörlerin ayarlanmasıyla azaltmak, mamul ve prosesi değişkenlik kaynaklarına karşı güçlü (robust) yapmak, kaliteyi geliştirmek için yapılan çalışmaların en önemli aşamalarındandır [6].

Kontrol edilemeyen bir faktörün etkisi kontrol edilebilen bir faktör ayarlanarak azaltılabilir ve bu yolla maliyeti artırmadan kalite geliştirme sağlanmış olur.

Parametre tasarımı aşaması ürün ve süreç tasarımı için, ürünün kalitesini iyileştirmede en etkin çalışmaların yapılabileceği aşamadır. Çoğunlukla klasik deney tasarımlarına dayandırılan çalışmalar parametre sayısının artması ile birlikte uygulama noktasında çeşitli zorluklardan dolayı tercih edilemez duruma gelir. Artan parametre sayısı ile yapılan deneylerin kısa sürede tamamlanması ve sonuçlarının daha sağlıklı değerlendirilmesi için Taguchi deney tasarım metodu tercih edilmektedir [7].

Günümüzde uzman sistemler, bulanık mantık, yapay sinir ağları gibi birçok yapay zekâ tekniği kullanılarak işlem süreleri kısaltılmıştır ve bu sayede firmalar için en önemli parametrelerden biri olan zamandan kazanç sağlanmıştır. Firmaların talep tahmini, üretim planlama, stok yönetimi gibi birçok farklı alanda yararlandıkları yapay zeka teknikleri kalite kontrol alanında da etkin biçimde kullanılmaktadır. Bu noktada karşımıza çıkan yapay sinir ağları birçok kalite kontrol probleminin çözümünde efektif bir yöntem olmuştur.

İnsan beyni ve çalışma prensiplerinin birçok bilim adamı tarafından merak edilmesi sonucunda, insan beyni çalışma şekline benzer çalışma şekline sahip olan makineler üretilmeye başlamış ve böylelikle yapay zeka kavramı gündeme gelmiştir. Bir yapay zeka tekniği olan YSA'lar birçok problem için başarılı çözümler elde eden bir modeldir [2].

YSA'lar insan beynine özgü olan örneklere dayanarak bir öğretici yardımıyla öğrenme, iki benzer şey arasında ayırım yapabilme; öğretici olmadan da benzer örüntüleri gruplayarak sonraki olayları tahmin edebilme gibi özelliklere sahiptir.

YSA'lar insan sinir hücrelerini taklit eden yapıda olan yapay sinir hücrelerinin gruplanması ile meydana gelen yapıdır. YSA yapısı gerçek dünyadan verileri alan nöronların bulunduğu girdi katmanı, ağın ürettiği sonuçları dışarıya veren nöronların bulunduğu çıktı katmanı ve bu katmanlar arasında bulunan gizli katmandan oluşmaktadır. Bahsedilen bu yapıdaki karmaşıklık arttıkça YSA'nın öğrenme süreci artarken performans azalacağı için ağ tasarımında mümkün olduğunca basit bir yapı oluşturmaya dikkat edilmelidir. YSA'lar paralel işlem yapabilme, öğrenebilme ve genelleme yapabilme özellikleri sayesinde öngörü, sınıflandırma, veri birleştirilmesi/ kavramlaştırılması/ süzülmesi, resim veya görüntü işleme gibi birçok alanda uygulamalar yapabilmektedir. Birçok YSA türü vardır fakat uygulamada en sık karşımıza çıkan ileri beslemeli geri yayımlı ağ yapısıdır [8,9].

Bu çalışmada, gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerin endüstriyel problemlerin çözümü için sık ve etkin olarak kullandıkları; kalite ile ilgili problemlere neden olan değişkenliklerin kaynakları tespit edilerek, kalite karakteristiklerinin optimizasyonuna imkan veren Taguchi Yöntemi kullanılmış; yöntemin verdiği sonuçlar ile YSA'nın verdiği sonuçlar kıyaslanmıştır.

Altı bölümden oluşan çalışmanın ilk bölümünde kalite geliştirme yaklaşımlarından biri olan deney tasarımı metodu ile ilgili genel bilgiler verilmiş ve bu yöntemde kullanılan kavramlar kısaca anlatılmıştır. İkinci bölümde, bir deney tasarımı metodu olan Taguchi metodu ile ilgili bilgi verilmiştir. Üçüncü bölümde Yapay Sinir Ağları ile ilgili bilgi verilmiş genel uygulama prosedüründen bahsedilmiştir. Dördüncü bölümde metodların uygulamasının yapıldığı plastik enjeksiyon kalıplama yöntemi hakkında temel bilgiler verilmiştir. Çalışmanın beşinci bölümünde ise uygulamanın yapıldığı firmada en sık kalite problemi yaşanan parça üzerinde yapılan çalışmalar anlatılmıştır. Tezin son bölümünde uygulanan yöntem ve çalışma sonucunda elde edilen sonuçlar analiz edilip yorumlanmıştır.

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Çalışmada ele alınan Taguchi Metodu ve Yapay Sinir Ağları sektörel kısıtlama olmaksızın birçok alanda uygulanmıştır. Bu bölümde ilk olarak Taguchi Metodu ile ilgili literatürde yer alan çalışmaların bazılarına yer verilmiş; sonrasında Yapay Sinir Ağları ile ilgili literatürde yer alan çalışmalardan bahsedilmiştir.

Kimyasal yöntemlerle ürün kalitesinin iyileştirilmesi çalışmalarında Deneysel Tasarımı Taguchi metodu sıklıkla kullanılmıştır. Optimum özelliklere sahip ürün elde etmek için yapılan çalışmalara Şimşek ve Dilmaç [10], Karacan ve Sayılğan [11], Ünel [12], Taylan [5]'nin yaptıkları çalışmalar örnek olarak verilebilir. En iyi şekilde grafen sentezi sağlamaya çalışan Şimşek ve Dilmaç çalışmalarında, Taguchi yöntemi L4 ve L8 ortogonal dizileri ile etanol ve asetilen kullanarak kimyasal buhar çöktürme prosesinin grafen kusurluluğu ve grafen kalınlığı üzerindeki en etkili parametreleri araştırmışlardır. Etanol ile grafen sentezi için, üç ayrı parametre; asetilen ile grafen sentezi için ise yedi ayrı parametre belirlenmiş ve bu parametrelerden istenen yanıt değerleri üzerinde en etkili olanları ve onların seviyelerini bulmuşlardır. Gerekli analizleri yaptıktan sonra daha kaliteli grafen elde etmek için etanol ile grafen sentezi yapılmasının gerektiğini tespit etmişlerdir [10]. Karacan ve Sayılğan, atık alkali pillerden glukonik asit ve hidroklorik asit ile çinko ve mangan elementlerinin solüsyona alınabilirliği incelemek için Taguchi deneysel tasarımı yöntemi kullanmışlardır. Üç seviyeli üç faktör için L9 ortogonal diziler ile oluşturulan deney düzeneğinden elde edilen sonuçları istatistiksel olarak değerlendirmişlerdir. Yaptıkları deneysel çalışmalar sonucunda, asit olarak sadece glukonik asitin kullanıldığı deneysel çalışmalarda, yüksek glukonik asit konsantrasyonlarında mangan gideriminin daha iyi olduğu; bununla birlikte glukonik asit ve hidroklorik asitin birlikte kullanıldığı durumlarda düşük konsantrasyonda glukonik asit ve düşük konsantrasyonlarda hidroklorik asit ile daha iyi giderimler elde edildiğini tespit etmişlerdir [11]. Ünel, yaptığı yüksek lisans tezinde yakıt tasarrufu sağlayan araçlar üreterek enerji tüketimini ve hava kirliliğini azaltmak için hafif konstrüksiyona sahip olan farklı metallere ihtiyaç duyulduğunu belirtmiş ve bu nedenle çelik-alüminyum gibi farklı metallerin birleştirilmesinin zorunlu hale geldiğini vurgulamıştır. Bu zorunluluğun üreticileri soğuk metal transferi (CMT) gibi

yüksek teknolojik kaynak prosesleri geliştirmeye yönlendirdiğini belirtmiş ve kendisi de çalışmasında bu yöntemle yapılan kaynak proses parametrelerini en iyilemeye çalışmıştır. Tezinde Taguchi metodu ile L16 ortogonal dizi kullanarak çelik ve alüminyum alaşımı levhaları robotik CMT kaynak teknolojisi ile birleştirmiştir. Çalışmasının sonunda yaptığı analizlerden yola çıkarak CMT yöntemi ile birleştirilmiş çelik-alüminyum alaşımına ait optimum kaynak parametrelerinin değerlerini bulmuş ve ele alınan 2 metalin bulunduğu proses parametreleri doğrultusunda uygun bir şekilde birleştirilebileceği sonucuna ulaşmıştır [12]. Taylan ise yaptığı çalışmasında, askeri bir fabrikada yakılan üç tip kimyasal maddenin günlük yakılan toplam miktarını maksimize etmeye çalışmış ve problemin çözümü için Taguchi yöntemini kullanmıştır. Üç seviyeli dört faktörü incelendiği çalışmasında Taylan, hedefe uygun faktör ve seviyelere göre L9 ortogonal dizini seçmiş ve deneyleri 3'er kez tekrar ederek elde ettiği deney sonuçları, S/N Oranına göre hesap tablosu uygulanmış varyans analizi ve Taguchi yöntemleri kullanılarak analiz etmiştir [5].

Aşınma, yüzey pürüzlülüğü vb. kalitesel problemlerin çözümü içinde etkili bir yöntem olan Deney Tasarımı Taguchi metodu Özay vd. [13], Kuş ve Motorcu [14], Akıncioğlu [15], Kadam ve Karthikeyan [16], Aytaç vd. [7], Aytekin 4 ve Yanar [17] tarafından da bu tür problemlerin çözümü için kullanılmıştır. Özay vd. Taguchi deney tasarım yöntemini kullanarak teğetsel silindirik taşlama yöntemi ile sementasyon çeliğinin işlenmesinde kesme parametrelerinin titreşim üzerindeki etkilerini deneysel olarak incelemiştir. Kesme parametreleri olarak talaş derinliği, ilerleme hızı, kesici takım devri ve iş parçası parametrelerinin üç farklı seviyelerini kullanan Özay vd. deney yapısını oluşturmak için L18 ortogonal dizisi kullanmışlardır. Sonuç olarak yaptıkları çalışmada seçilen parametrelerin çoğunun titreşim üzerinde etkili olduğunu tespit etmişler ve teğetsel silindirik taşlama yönteminin geleneksel silindirik taşlama yöntemi ile benzer sonuçlar vermesine rağmen uygulama noktasında teğetsel silindirik taşlama yönteminin belirli üstünlükler getirdiğini tespit etmişlerdir [13]. Kuş ve Motorcu, yaptıkları çalışmada özel bir alaşım türünün tel erozyon yöntemi ile işlenmesinde, kesme parametrelerinin ortalama yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Çalışmada en düşük yüzey pürüzlülük değerlerini veren en uygun kesme parametreleri bulmak için Taguchi Metodu kullanan Kuş ve Motorcu, iki seviyeli bir faktör ve üç seviyeli üç

faktör için L18 ortogonal dizi ile deney düzenini oluşturmuşlardır. Çalışma sonunda çeşitli istatistiksel analizlerden yararlanarak ortalama yüzey pürüzlülüğü üzerinde etkili parametreleri ve bu parametreler için seviyeleri tespit etmişlerdir [14]. Akıncioğlu vd. yaptıkları çalışmada Taguchi metodunu özel bir alaşım yüzey pürüzlülüğünde, dönmedeki kriyojenik işlemde geçirilmiş aletlerin etkisini incelemek için kullanmışlardır. Kriyojenik işlem, kesme hızı ve ilerleme oranı olarak seçtikleri üç farklı parametre için L9 ortogonal dizisi kullanarak deney düzenini oluşturmuşlar ve çeşitli analizlerle yüzey pürüzlülüğünü etkileyen önemli faktörleri tespit etmişlerdir. Yaptıkları analiz sonucunda, % 87.64 oranı ile işleme performansı üzerinde en yüksek etkiye sahip olan parametrenin besleme oranı olduğu sonrasında sırayla etkin parametrelerin kriyojenik işlemde geçirilmiş aletler ve kesme hızı olduğunu tespit etmişlerdir [15]. Benzer şekilde Kadam ve Karthikeyan, yayınladıkları makalelerinde özel bir alaşım çeliğinin aşınmasını araştırmak amacıyla Taguchi metodunu kullanmışlardır. Disk üzerinde Pin konfigürasyonu kullanarak aşınma değerlendirmesi içeren çalışmalarının sonunda karbon bakımından zengin kaplamaların, nitrojenik kaplamalardan daha az aşındığını tespit etmişlerdir [16]. Aytaç vd. ise yaptıkları çalışmada farklı kaplamalara sahip olan malzemelerin hacimsel aşınmalarına etkileyen faktörleri araştırırken aynı zamanda Taguchi ve klasik deney tasarımı metodları arasındaki bazı temel ve kritik farklılıkları ortaya çıkarmışlardır. Değişken parametrelerini taban malzeme, kayma hızı, kayma mesafesi, yük, yüzey durumu ve çalışma ortamı olarak belirlemişler; iki seviyeli beş faktör ve üç seviyeli bir faktör için Taguchi L36 ortogonal dizileri ile deneyleri tasarlamışlardır. Deneyleri belirli standartlarına göre yapmışlar, aşınma deneylerinin planlanması ve elde edilen sonuçların aşınma performansına etkisini değerlendirirken S/N oranı ve grafik yöntemleri kullanmışlardır. Çalışmanın sonunda, Taguchi metodu ile aşınma üzerinde en etkili parametreleri etkin ve kısa sürede bulduklarını ve bu sonuçların klasik metotla elde edilen sonuçlardan farklı olduğunu ifade etmişlerdir [7]. Aytekin ise yaptığı yüksek lisans çalışmasında tüm devre üretimi fotolitografi sürecinin, UV sertleştirme aşamasındaki sıcaklık ve zaman ile ilgili parametrelerin aşınmaya karşı rezist direnci üzerindeki etkilerini tespit etmek için deney tasarımı metodunu benzer şekilde uygulamıştır [4]. Yanar (2008), yaptığı yüksek lisans tezinde kesme parametrelerinin tornalama ve kanal açma operasyonlarında yüzey pürüzlülüğüne etkilerini araştırmak için Taguchi metodunu L16 ortogonal dizileri kullanarak uygulamıştır. Dört farklı kesme parametresi ve her

parametre için iki farklı seviye belirleyen Yanar, her bir deney için ortalama ve S/N oranı değerlerini hesaplamış ve sonuçların farklılıklar gösterdiğini belirtmiştir [17].

Malzemelerin kalitesel özelliklerinin artırılması için içeriğindeki malzeme oranlarının optimum seviyelerinin belirlenmesinde de Taguchi Deney Tasarımı Metodu yaygın şekilde kullanılmaktadır. Bingöl, yaptığı çalışmada, özel bir beton türünün rijit üst yapılarda kullanılabilirliğini araştırmış ve bunun için Taguchi L16 ortogonal dizi setini kullanmıştır. Deney düzeneği için dört seviyeli dört parametre kullanan Bingöl, seçtiği parametrelerin basınç ve eğilme mukavemetleri üzerindeki etkilerini araştırmıştır. Kurduğu deney düzeninde 28 günlük basınç ve eğilme mukavemetlerini veren karışım parametrelerini ve seviyelerini belirlemiştir. Çalışma sonucunda bu özel beton türünün basınç ve eğilme mukavemetleri üzerinde en etkin parametrenin hangisi olduğunu tespit etmiş ve en büyük sorunu düşük eğilme dayanımı olan beton yapılarda bu özel beton türünün kullanılabilir olduğunu tespit etmiştir [18]. Durmaz, kauçuk işletmesinde yedi faktörlü ve iki seviyeli bir üretim prosesi için faktör-seviye kombinasyonunun belirlenmesinde Taguchi metodu kullanarak kauçuğun en önemli kalite karakteristiği olarak belirlenen kopma mukavemetini maksimize etmeye çalışmıştır ve elde ettiği sonuçları benzer istatistiksel yöntemlerle analiz ederek kopma üzerinde etkili olan faktör ve seviyeleri belirlemiştir [19]. Aynı yöntemleri izleyen Şanyılmaz, yaptığı tez çalışmasında buşon gövdesinin basınca karşı mukavemetini en iyileyen faktör seviyelerini tespit etmek için L8 ortogonal dizini kullanarak belirlenen şartlarda yapılan deneyleri tamamlamıştır. Ayrıca aynı faktörlerle sonucu Tam Faktöriyel deney tasarımı kullanan Şanyılmaz, Taguchi yöntemi ile aynı sonuçlara daha az sayıda deneyle ulaşarak Taguchi yönteminin Tam Faktöriyel deney tasarımına göre daha avantajlı olduğunu göstermiştir [20].

Çalışmamızın uygulama kısmının yapıldığı plastik enjeksiyon kaplama prosesleri içinde literatürde birçok çalışma bulunmaktadır. Khavekar ve Modi, plastik enjeksiyon alanında yaptıkları çalışmalarında Taguchi ve Shainin metotlarını çeşitli analizler yaparak karşılaştırmışlardır. Çalışmada deneyleri, parfüm şişesi kapağı üreten bir plastik enjeksiyon firmasında akrilik malzeme kullanılarak yapmışlardır. Üründeki kalitesel hataların temel nedenini bulmak ve ret olan parça sayısını minimum düzeyde tutacak işlem parametrelerini optimize etmek için Taguchi ve Shainin metotlarını kullanarak deneylerini gerçekleştirmişlerdir.

Khavkar ve Modi, oldukça kısa bir süre içinde Deneysel tasarımı metotları ile ret oranını %40'tan %8,75'e düşürmüşler ve ret parça sayısını minimum düzeyde tutmak için etkili olan parametrelerin her iki metotta da aynı olduğunu tespit etmişlerdir. Aynı zamanda etkin faktörlerin aynı olmasına karşın önem sırasına göre bakıldığında 2 metot arasında farklılık olduğunu gözlemlemişlerdir. Çalışmalarının sonunda ise Shainin metodunun daha az karmaşık ve uygulanma açısından kolay olduğunu; Taguchi metodunun Shainin metoduna göre daha fazla sayıda deney ve daha uzun zaman gerektirdiğini belirtmişlerdir. Bunun yanı sıra Taguchi metodunun, proses parametrelerinin optimizasyonu için istatistiksel olarak Shainin metoduna göre daha güvenilir olduğunu belirtmişlerdir [21]. Mehat vd. yaptıkları çalışmada, Taguchi metodu ile plastik dişlilerin büzülme ve gerilme özelliklerini etkileyen önemli proses parametrelerini tespit etmişlerdir. Deney sayısını azaltmak için L18 ortogonal dizileri kullanarak elde edilen sonuçlarının analizini yapmışlardır. Çalışmalarında plastik kalıplı dişlinin boyutsal sabitliğini ve mekanik özelliklerini etkileyen kontrol parametrelerinin erime sıcaklığı, kalıp sıcaklığı, paketleme basıncı, paketleme süresi, soğuma zamanı ve enjeksiyon basıncı olduğunu kabul etmişlerdir [3]. Chen vd. plastik enjeksiyon prosesini optimize etmek için Taguchi metodu ile entegre şekilde Response Surface metodu ve genetik algoritmaları kullandıkları bir çalışma yaparak sistematik bir optimizasyon modeli önermişlerdir. Ele alınan ürünün uzunluk ve çarpıklık kalitesel özelliklerini incelemek için Taguchi metodu ile deneyler tasarlayarak veri analizi yapmışlardır. Plastik enjeksiyon süreci için kontrol faktörlerini erime sıcaklığı, enjeksiyon hızı, enjeksiyon basıncı, ütüleme basıncı, ütüleme zamanı ve soğutma zamanı olarak belirlemişler ve bu parametrelerin kombinasyonunu tespit etmek için sinyal-gürültü (S/N) oranı ve varyans analizi kullanmışlardır. Response Surface metodu ile deneysel verileri oluşturup S/N oranı ve varyans analizi ile gerekli analizleri yapmışlardır. Nihai optimal kombinasyonunu bulmak için elde ettikleri verileri hibrid GA-PSO kullanarak analiz etmişlerdir. Doğrulama deneyleri sonunda önerdikleri modelin sadece kalite karakteristiği olarak belirlenen uzunluk ve çarpıklığı iyileştirdiği değil aynı zamanda plastik enjeksiyon sürecindeki maliyet ve zaman kaybını azalttığını ifade etmişlerdir [22]. Amran vd. deneysel ve benzetim çalışmaları arasındaki ağırlık yüzde farkını tespit etmek ve aynı zamanda plastik parça ağırlığı üzerinde proses parametrelerinin etkisini de araştırmak için bir çalışma yapmışlardır. Çalışmalarında kalıp sıcaklığı, eriyik sıcaklığı, enjeksiyon zamanı ve soğutma süresini üçer seviyeli olarak ele almışlar ve

L9 ortogonal diziler ile deneyleri tasarlamışlardır. Özel bir simülasyon yazılımı ile plastik parçanın simülasyonu yaparken; Taguchi metodu ile de deneyleri tasarlamışlardır. Yaptıkları simülasyon sonucunu deney sonucu ile doğrularak 2 yöntem arasındaki minimum ve maksimum ağırlık yüzdesinin sırasıyla %0,35 ve %1,43 olduğunu tespit etmişlerdir. Ayrıca parça ağırlığını etkileyen en önemli parametrenin kalıp sıcaklığı olduğunu sonrasında sırayla eriyik sıcaklığı, enjeksiyon süresi ve soğuma süresi parametrelerinin geldiğini belirtmişlerdir [23]. Yine plastik parçalarda yaşanan çekme problemini çözmek için Öktem, Taguchi metodunu kullanarak L27 ortogonal dizi tasarımına göre deneylerini tasarlamıştır. Kontrol edilebilir faktör olarak belirttiği kalıp sıcaklığı, eriyik sıcaklığı, enjeksiyon basıncı, enjeksiyon zamanı ve soğuma süresi faktörlerini seçmiş ve süreçlerin optimum düzeyde kalması için varyans analizi ve S/N oranlarını kullanan Öktem, %95 güven aralığında Taguchi yönteminin sağlamlığını ve etkinliğini doğrulamak için faktörlerin optimum kombinasyonlarının doğrulama deneyini gerçekleştirmiştir [24]. Kayı da yine plastik enjeksiyon kalıplama ile üretilen parçalardaki çekme miktarını farklı faktörler kullanarak incelemiştir [25]. Benzer bir çalışmayı Erdem vd. plastik parçalardaki çarpılmayı en aza indirmek için Taguchi L9 ortogonal dizini kullanarak yapmıştır [26].

Taguchi Deney Tasarımı yöntemi uygulanabilir olması nedeniyle hizmetten üretime birçok sektörde farklı problemlerin çözümü için sıklıkla tercih edilmiştir. Zhou vd. çalışmalarında otomatik duvar sıva makineleri için püskürtme homojenliği performansının artırılmasında, daha yüksek sıva kalitesinin ve verimin elde edilmesinde çok önemli olan dairesel olmayan harç nozullarının yapı parametrelerini incelemişlerdir. Uzunluk, genişlik, kalınlık, su-çimento oranı ve giriş hızı olarak seçtikleri beş ayrı faktör için L27 Taguchi ortogonal dizileri kullanmış ve bu faktörlerin özel bir nozul yapısının çıkış hızı homojenliği üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Çalışma sonunda belirlenen 5 faktöründe çıkış hızı üzerinde etkili olduğunu gözlemlemişler; aynı zamanda uzunluk ve kalınlık, uzunluk ve genişlik ile genişlik ve kalınlık arasındaki etkileşim etkilerinin de çıkış hızı bütünlüğü açısından önemli olduğunu tespit etmişlerdir [27]. Baynal ve Taphasanoğlu, deney tasarımının hizmet sektöründe uygulamasını yaptıkları çalışmalarında bin bayan üyesi olan bir spor merkezinde üyelerin büyük çoğunluğun yeterli kilo veremedikleri/incelemedikleri ve kilo verdikten sonra formunu koruyamadıkları

düşüncesi ile aktif üyeliklerini pasif üyeliğe çevirmeleri problemini ele almışlardır. Bu problemin oluşmasına neden olan parametreleri belirlemişler ve problemin çözümü için en uygun parametreleri ve seviyeleri tespit etmişler ve iki seviyeli üç faktör için L8 Taguchi ortogonal dizileri kullanarak deneyleri tasarlamışlardır. Deney sonuçlarını analiz ederek kilo verememe problemi için etkin olan faktörleri ve faktör etkileşimlerini belirlemişlerdir[28]. Çakır doktora tezinde iki farklı alüminyum alaşımlarını dört farklı soğutma yöntemi, dört farklı kesme hızı ve dört farklı ilerleme değerleri kullanarak delik delme işlemine tabi tutmuş ve deliklerin yüzey pürüzlüğü, çaptan, dairesellikten ve silindiriklikten sapma gibi delik kalite karakteristiklerini incelemiştir. Çalışmanın sonunda çıktı parametrelerini en çok soğutma yöntemlerinin etkilediği tespit etmiş, en düşük değerlerin geleneksel soğutma uygulamasında gözlendiğini ifade etmiştir [29]. Yıldırım ise, bir çamaşır makinesi modelinin kalite karakteristiklerine etki eden faktörleri ve her bir faktör için seviyeleri belirlemek için Taguchi yöntemi ile birlikte Çok Kriterli Karar Verme yöntemlerini bir arada kullanmıştır [1].

Deney Tasarımı ve Taguchi metodu ile ilgili olan literatür örneklerinden bazıları yukarıda bahsedildiği gibidir. YSA uygulamalarına bakınca işletme, finans, mühendislik, tıp vb. birçok alanda literatürde yer alan çalışmalar olduğu görülmüştür. Bu nedenle bu kısımda çalışmamızda kullanılan Taguchi-YSA entegre uygulamalar ile ilgili bazı literatür örneklerine yer verilmiştir.

Kaya vd. yaptıkları çalışmada desen tanıma, tahmin, sınıflandırma gibi pek çok kalite kontrol problemi için kullanılan yapay sinir ağları uygulamalarını araştırmışlardır. Çalışmalarında YSA uygulama alanlarını, yöntemin avantaj ve dezavantajlarını belirterek kalite kontrol faaliyetlerinin YSA yaklaşımı ile birlikte daha kolay uygulandığını, maliyetlerin ve muayene sürelerinin minimize edilebildiğini belirtmişlerdir [2].

Plastik enjeksiyon için Taguchi ve YSA metotlarını bir arada kullanan Altan [30] ve Oliaei vd. [31] yaptığı çalışmalarda enjeksiyon parametrelerini farklı faktörler kullanarak benzer şekillerde bulmaya çalışmışlardır. Altan, eriyik halde bulunan Polipropilen (PP) ve polistiren (PS) plastik enjeksiyon kalıplama sürecinde minimum büzülme için optimum enjeksiyon parametrelerini belirlemek için Taguchi L27 ortogonal dizisi kullanarak deneylerini tasarlamıştır. Her biri üç seviye olan

eriyik sıcaklığı, enjeksiyon basıncı, paketleme basıncı ve paketleme süresi parametrelerin optimum seviye kombinasyonunu S/N oranı kullanarak tespit etmiştir. Enjeksiyon basıncının her iki malzemenin büzülmesi üzerinde en az etkiye sahip olduğunu belirtmiştir. İşlem parametrelerinin önem derecesini belirledikten sonra, bir YSA oluşturarak bu ağın büzülme için etkili bir tahmin aracı olduğunu ifade etmiştir [30]. Oliaei vd. ise çalışmalarında polilaktik asit (PLA), polilaktik asit-termoplastik poliüretan (PLA-TPU) ve polilaktik asit-termoplastik nişastayı (PLA-TPS) içeren biyolojik olarak parçalanabilir polimerik sistemler olan üç polimerin enjeksiyon işlenebilirliği hakkında araştırma yapmışlardır. Oliaei vd. kontrol parametrelerinin tüm etkileşim etkilerini dikkate alarak, deney tasarımı ve enjeksiyon kalıplama simülasyonu ile malzeme analizi gerçekleştirmeye çalışmışlardır. Oluşturulan deneyler kombinasyonlarını, Autodesk Mold enjeksiyon kalıplama simülasyonunu kullanarak sistem için çarpıklık ve hacimsel büzülmeyi en aza indiren parametre değerlerini belirleyen soğutma suyu sıcaklığı, paketleme süresi, paketleme basıncı, kalıp sıcaklığı ve eriyik sıcaklığını analiz edilecek parametreler olarak seçmişlerdir. Seçilen üç seviyeli beş faktör için Taguchi'nin L27 ortogonal dizisini kullanarak simüle tasarım için parametre etkileşimlerinin etkilerini incelemiş ve aynı zamanda YSA ile de proses koşullarının revizyonu ile optimizasyona gitmiştir. Taguchi, varyans ve YSA ile yaptığı analizler sonucunda çarpıklık ve hacimsel büzülme üzerinde eriyik sıcaklığı, soğutma suyu sıcaklığı ve paketleme süresinin etkili olduğunu belirten Oliaei vd. seçilen amaç fonksiyonu için YSA optimal seviye seçimi ile Taguchi optimal seviyelerinin örtüşmekte olduğunu ve PLA-TPU bileşiğinin analiz edilen diğer bileşenlere oranla incelenen kalite kusurlarına karşı daha dirençli olduğunu tespit etmiştir [31].

Bagchi vd. Taguchi L9 ortogonal dizisi kullanarak tespit etmişlerdir. Taguchi L9 ortogonal dizisi ile elde edilen deneyleri belli bir yazılım dili ile yapan Bagchi vd. maksimum en boy oranı, minimum tepe sıcaklığı (yanıtlar) için optimize edilmiş parametreleri S/N oranı kullanarak hesaplanmış ve simülasyon sonuçlarını YSA modeli için kullanmıştır [32]. Midilli yaptığı yüksek lisans çalışmasında 'OMU Neural Optimization' adında YSA ve Deneysel Tasarım Metodunu entegre kullandığı bir yazılım geliştirmiştir. Çalışmasında kademeli azalan yöntem ve genetik algoritma ile öğrenen YSA modeline etki eden faktörleri optimize etmeye çalışan Midilli (2018), tütün endüstrisinde önemli bir fiziksel kalite parametresi olan "uç dökülmesi"

tahminini gerçekleştirmiştir. ‘Uç dökülmesi’ kalite parametresi tahmini için ‘Ortalama Mutlak Hata’ ve ‘Öğrenme Süresi’nin minimize edildiği YSA yapısını kullanan Midilli, uyguladığı entegre yaklaşımı benzer tahmin problemlerinde de kullanılabilmesi için programlamıştır [33]. Pontes vd. sertleştirilmiş çeliğin tornalama işleminde yüzey pürüzlülük tahmini için YSA modeli kullanırken bu modelin parametreleri tasarımı için Taguchi ortogonal dizilerinden yararlanmıştır. 4 farklı tasarım parametre kullanan Pontes vd. her deneyden elde edilen en iyi ağın performansını karşılaştırmak için farklı boyutlardaki eğitim setleri kullanmış ve elde edilen yapay sinir ağları (YSA) modellerinin yüzey pürüzlülüğünün doğru, kesin ve uygun bir şekilde tahmin edilebildiğini kanıtlamıştır [34].

Ouyang vd. Taguchi ve YSA yöntemlerini birlikte kullanarak düşük CO konsantrasyonu, yüksek hidrojen konsantrasyonu ve yüksek metanol dönüşüm verimliliği ile metanol buharı yeniden oluşumuna çalışmışlardır. Çalışma için reaksiyon sıcaklığını, buhar-karbonat oranını ve nitrojen taşıyıcı gazın akış hızını parametre olarak seçen Ouyang vd. bu parametrelerin optimum değerlerini bulmuştur. Sonuç olarak Ouyang vd. önerdikleri bu yaklaşım ile incelenen kalite kaybını azaltarak Taguchi-YSA entegre kullanımının etkin sonuçlar verdiğini kanıtlamıştır [35]. Pardeshi vd. Taguchi ve YSA metodunu ileri osmoz (FO) yeraltı suyu desalinasyon işlemi için parametrelerin gerçek optimum durumunu bulmak için kullanmıştır. Çalışmalarında analizi yapılacak parametre olarak besleme çözeltisi hızı, çekme çözeltisi hızı, besleme çözeltisi sıcaklığı ve çekme çözeltisi sıcaklığını seçmişler ve her çalışma parametresi 4 seviyeli olduğu için tasarımda Taguchi L16 ortogonal dizisinden yararlanmışlardır. Sonraki adımda elde ettikleri deney sonuçlarını sinir ağını eğitmek için kullanarak, gerçek optimum parametre seviyelerini eğitilmiş sinir ağları yardımıyla bulmuştur [36]. Lin vd. çalışmalarında absorpsiyon filmi sürekli püskürtme işleminin parametre optimizasyonu için 2 farklı sistematik prosedür uygular. İlk olarak, seçilen parametrelerin optimal kombinasyonu için Taguchi yöntemini kullanan Lin vd. sonrasında geri yayımlı sinir ağları ve genetik algoritmaları entegre şekilde kullanarak en uygun parametre değerlerini bulmuştur. Çalışma sonunda ise geri yayımlı sinir ağları ve genetik algoritmaların entegre şekilde kullanıldığı yaklaşımın performansının, Taguchi yöntemlerinden ve geleneksel yaklaşımdan daha iyi sonuçlar verdiğini tespit etmiştir [37]. Mezgar ve ark. Taguchi ve bilgi tabanlı simülasyon tekniklerini birlikte

kullandıkları yaklaşımlarında YSA'yı tasarım faktörleri ile sistem performansı arasındaki ilişkiyi haritalandırmada kullanmışlardır. Sistemde gerçekleştirilen bir dizi deney ve AGV hızının belirlenmesi ile önerdikleri yaklaşımın uygulanabilirliği analiz edilmiştir bununla birlikte gizli nöron sayısının test desenlerinin tahminindeki etkisini de araştırmışlardır [38]. Tortum vd. hazırladıkları makalede, Taguchi yönteminden yararlanarak YSA'ların tasarım parametrelerinin optimizasyonunu sağlamaya çalışmışlardır. YSA performansını etkileyen parametreleri dikkate alarak Taguchi yöntemi ile YSA performanslarını belirleyen Tortum vd. yaptıkları deneyler ile inceledikleri fonksiyon üzerinde etkili olan parametrelerin optimum seviyelerini belirlemişlerdir. Çalışma sonunda parametre değerlerinin rastgele seçildiği YSA performanslarının Taguchi yöntemi ile uygulanan YSA performanslarına göre daha zayıf olduğunu tespit etmişlerdir [39].

3. DENEY TASARIMI

Her bir sistem unsurunun kabul edebileceği genel geçer bir kalite tanımı yapabilmek zordur. Çünkü kalite kavramı bir tasarımcı için daha iyi yapabilme becerisi iken üretimi için ürün spesifikasyonları içinde üretimi gerçekleştirebilmek; müşteri içinse ihtiyaçlarının karşılanması için kullanıma uygunluk ve yüksek performanstır [40].

Kalite yetersizliğinin meydana gelmesine neden olan ürün ve prosesdeki değişimlerin sebepleri yönetim zayıflığı, kalite sisteminde, ürün ve proses spesifikasyonlarında ve tedarikçi malzemelerinde olan yetersizlikler ve operatör hataları şeklinde sınıflandırılabilir. Meydana gelen bu kalite yetersizliği satış fiyatında %10-25 kayba neden olur. Doğru yapılan tasarımlar ve optimizasyon çalışmalarıyla ürün ve/veya prosesdeki değişimler azaltılarak bu kayıpların önüne geçilebilir [41].

Kuruluşlar ve işletmeler günümüz rekabet koşullarında varlıklarını sürdürebilmek için, bazı ürün ve kalite koşullarını daha da iyileştirmek adına sistematik yaklaşımlarla çalışmaktadırlar. Müşteri beklentilerine göre odaklanmak, kaynak optimizasyonunu müşterinin en belirgin talebini karşılayabilecek şekilde yapmak, iyileştirmeler için kritik proseslere öncelik vermek, performans geçerliliğini analitik tekniklerden yararlanarak korumak, çalışan eğitimi ile yüksek iş gücü oluşturmak, yönetim ve üretim birimleri arasındaki iletişimi sağlamak, üretimi verimli pazar araştırmaları ve bilgileriyle teknoloji kullanarak zenginleştirmek iyileştirmeye çalışılan başlıca koşullardandır [41].

İstenilen kalite düzeyine ulaşmak için ürün ve proses tasarım aşamasında birçoğu etkileşim halinde bulunan çok sayıda faktörün optimum değerlerinin belirlenmesi ve bu değerlerin ayarlanması gerekmektedir. Hedef kalite değerini elde etmeyi sağlayan faktörleri tesadüfen bulmanın aksine değişkenliklere neden olan faktörlerin kontrol altına alınarak seviyelerinin bilinçli şekilde tespit edilmesi aynı kalite seviyesine tekrar ulaşmak için geriye dönük bir çalışmanın yeniden yapılmasının önüne geçer. Bu sayede kalite sürekliliği de sağlanmış olur.

İstatistiksel deney tasarımı yöntemi kontrol edilen ve kontrol edilemeyen bu faktörlerin ürün ve ürün performansına olan etkilerinin tespit edilmesi için en etkili metottur. Ürün geliştirme ve hedef kalite değerlerine ulaşma çalışmalarında faktörlerin optimum değerlerine ulaşmak için kullanılan Deney Tasarımı, kalitesel değişimleri ve değişime neden olan faktörleri araştırıp bu değişkenliği azaltmayı bu sayede sistem güvenilirliğini ve müşteri memnuniyetini artırmayı hedeflemektedir [40-42].

Bir hipotezi doğrulamak veya çürütmek amacıyla ya da ürün, proses ve servis hakkında yeni bilgiler elde etmeye yarayan metot deney olarak tanımlanırken; minimum düzeyde kaynak kullanarak minimum maliyetle yüksek kalite standartlarını elde edebilmek için istenilen bilgiye ulaşmayı sağlayan deneyler ise verimli deney olarak tanımlanır. İstatistiksel deney tasarımı ile verimli deneylerden elde edilen sonuçların anlamlı analizleri yapılabilmektedir [41].

Birçok matematikçi ve istatistikçi tarafından deney sayısını azaltma ve deneylerde etkili olan faktörlerin tek başlarına ve etkileşimleri ile deney sonuçlarını nasıl etkilediğini belirlemek için geliştirilen Deney Tasarımı tekniği, rastgele yapılan deneylerin aksine yüksek verimli deneyleri kullandığı için Ar-Ge çalışmalarında da yoğun olarak kullanılmaktadır [40,41].

Bu yöntem işletmeler için minimum maliyet ve zamanda maksimum fayda sağlayacak bir yaklaşımı oluşturduğu için son derece tercih edilebilir ve kolay uygulanabilir durumdadır.

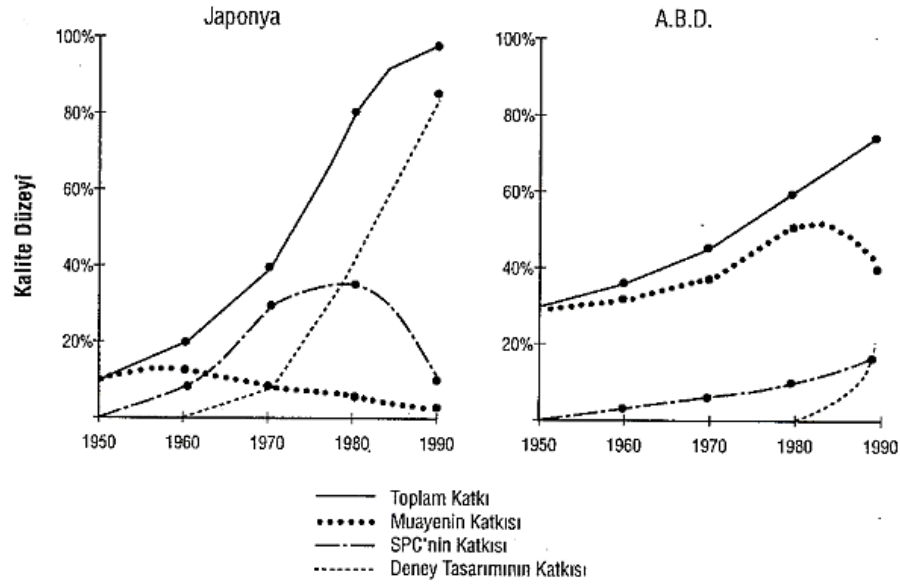
Bilim ve araştırmanın vazgeçilmez unsuru olan deneysel çalışmalar uzun zaman ve ekstra çaba gerektiren çalışmalardır. Doğru deney tasarımının yapılması, parametrelerin doğru şekilde belirlenmesi ve deney sonucundan ne bekleneceğinin doğru olarak bilinmesi deneysel çalışmalarda doğru bir sonuca ulaşabilmek için oldukça önemlidir. Fakat bu durum bile doğru sonuca ulaşmayı garanti edemeyeceğinden aynı deneyi birkaç defa tekrarlamak gerekebilir ki bu durum uzun zaman ihtiyacı doğururken, aynı zamanda maliyet ve harcanan eforu da arttırır [43].

3.1 Deney Tasarımının Tarihçesi

İstatistik biliminin babası sayılan İngiliz istatistikçi Sir Donald Fisher tarafından, tarım ile ilgili araştırmalar yaparken 1920’lerde bulunan Deney Tasarımı, tarım sektörünün geliştirilmesi için Amerika’da kısa sürede yaygın bir şekilde kullanılmaya başlamıştır. Çeşitli gübreler ve bunların dozları, iklim koşulları ve sulama seviyeleri gibi faktörlerin ürünler üzerindeki etkilerinin belirlenmesi için tarım alanında kullanılan bu yöntem Amerika’nın bu alanda dünya lideri olmasına katkı sağlamıştır [1].

Üretim sektöründeki uygulamaları 1970’lere kadar kısıtlı olan deney tasarımı, Amerika tarafından üretim sektörü için 1980’lerin başında Japon kalite sebepleri araştırılırken yeniden keşfedilmiştir. Başlarda kimya ve ilaç sektöründe uygulama alanı bulunan Deney Tasarımı o tarihlerde Profesör Genichi Taguchi tarafından Japonya’da etkili ve yoğun olarak kullanılmaktaydı. Taguchi Deney Tasarımı için köklü değişimler yapmamasına rağmen üretimdeki uygulamalarda yaptığı yenilikler ve aldığı başarılı sonuçlarla Deney Tasarımı’nın üretim sektöründe kabulünü sağlamıştır [42].

K. Bhote kalite gelişimlerine yardımcı olan yöntemlerin 1950-1990 yılları arasında ABD ve Japonya arasındaki karşılaştırmasını “Word Class Quality” isimli kitabında yapmıştır. Motorola firmasının kalite grubunda yer alan K. Bhote, Şekil 3.1’de görüldüğü gibi, geleneksel muayene (kalite kontrol), istatistiksel süreç kontrol ve deney tasarımı yöntemlerini kıyaslamış ve ABD için 1980’den sonra Deney Tasarımı’nın önemli hale geldiğini; Japonya’da ise 1970’den sonra kalite gelişimine en fazla katkıyı sağladığının belirtmiştir [42,44].



Şekil 3.1: Üç temel yöntemin kalite yönetimine katkısı [42].

Deney Tasarımı için bilinmesi gereken temel kavramlar aşağıdaki [5]:

Kalite: Ürün/hizmet kullanım uygunluğunu ifade eder.

Kalite İyileştirmesi: Ürün/ hizmet ve üretim/hizmet süreçlerindeki değişkenliğin azaltılmasıdır.

Kalite (Respons) Değişkeni: Deney tasarımı yöntemiyle süreçte incelenerek iyileştirme sağlanması istenen değişkendir.

Faktör: Süreçte kalite değişkeni üzerinde etkisi bulunan kontrol edilebilen ve kontrol edilemeyen değişkenleri ifade eder.

Seviye (Düzye): Hedef kalite değeri üzerinde etkili olan faktörlerin alabileceği değerlerdir.

3.2 Deney Tasarımı Metotları

Kalite çalışmalarında klasik metotların yetersiz kaldığı durumlarda istatistiksel deney tasarımı metotları kurtarıcı olmuştur. Deneysel hataları minimize etmeyi amaçlayan istatistiksel deney tasarımı metotları tam faktöriyel, kesirli faktöriyel ve taguchi metodu olarak üç grupta incelenebilir [43].

Tam Faktöriyel Deney Tasarımı

Tam faktöriyel deney tasarımı, birden fazla faktör ve bu faktörlere ait minimum iki seviyenin olduğu deneylerde seviyelerin birbirleri ile çarpımları ile oluşan kombinasyondur. Bu yöntem faktörlerin birbirleri ile etkileşimde oldukları durumlarda kullanılmaktadır. İncelenen faktörlerin tüm seviye kombinasyonlarının tek tek denendiği bu yöntemde, varyans analizi ile hedef kalite değeri üzerindeki etkili faktörler belirlenirken; regresyon analizi ile faktörlerle elde edilen çıktı değerleri arasında matematiksel bir ilişkinin olup olmadığı tespit edilir [45,43].

Tam faktöriyel tasarıma göre iki seviyeli üç faktörden oluşan sistem için $8(2 \times 2 \times 2)$ deney ile tüm kombinasyonlar denenebilirken; bu seviyeler iki, üç ve beş seviyeli olduğunda ise tüm kombinasyonların denemesi için $30(2 \times 3 \times 5)$ deney gerekmektedir. Faktör veya faktör seviyesi sayısının artması ile birlikte uygulanması gereken deney sayısının da örnekte görüldüğü gibi artması bu yöntemde yaşanan en büyük sorundur.

Kesirli Faktöriyel Deney Tasarımı

Kesirli faktöriyel deney tasarımı, tam faktöriyel deney tasarımında oluşturulan deney sayılarının, araştırmacıların isteğine göre belirli oranda azaltılarak düşürülmesi ile elde edilen deney tasarım türüdür. Buradaki asıl amaç tam faktöriyel deney tasarımı için gerekli olan maksimum zaman ve maliyeti azaltmaktır. İki seviyeli yedi faktörün tüm kombinasyonlarının incelenmesi için tam faktöriyel deney tasarımına göre $128(2^7)$ deney gerekli iken; kesirli faktöriyel deney tasarımı ile bu deney sayısı $\frac{1}{2}$ oranı ile 64, $\frac{1}{4}$ oranı ile 32 ya da $\frac{1}{8}$ oranı ile 16 deneye düşürülebilir [43].

Taguchi Metodu

Birden fazla faktör ve faktör seviyesinden oluşan sistemler için optimum faktör kombinasyonunu veren Taguchi metodu, yararlandığı ortogonal diziler sayesinde yapılması gereken deney sayısını minimum seviyede tutabilmektedir. Maliyet ve zaman açısından sağladığı bu avantaj sayesinde sıklıkla tercih edilen bu metot bizim çalışmamızın da temelini oluşturmakta ve 4.bölümde detaylı bir şekilde anlatılmaktadır.

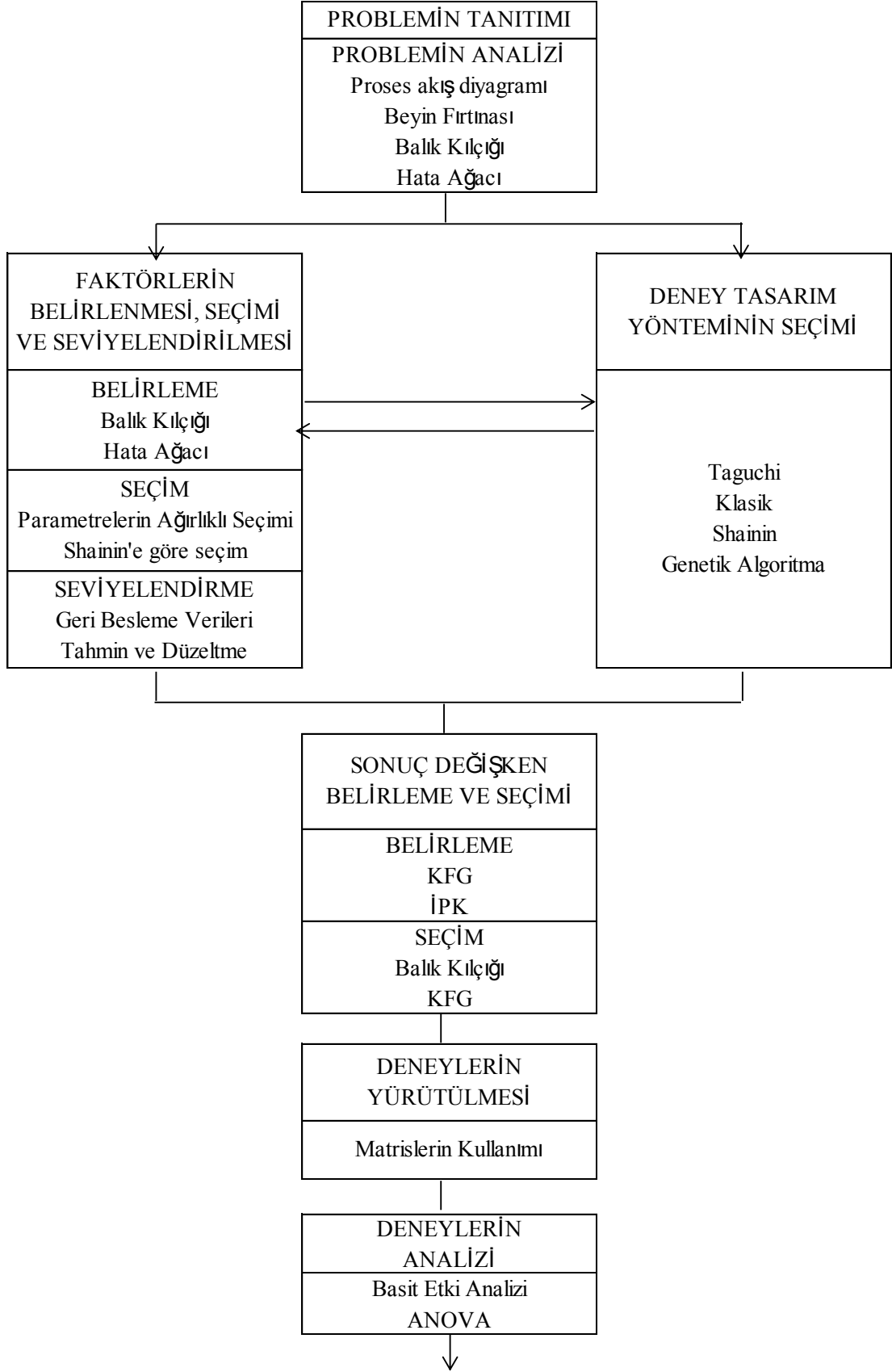
3.3 Deney Tasarımı Uygulama Aşamaları

Deney Tasarımı için uygulama adımları aşağıdaki gibidir [42]:

- İlk olarak incelenecek kalite problemi belirlenmelidir. Deney Tasarımı için deneyler sonrasında çıktı olarak değerlendirmeye alınacak ürünün kalitesel özelliklerini karşılayan ve nicel olan kalite değişkenleri tanımlanmalıdır. Şayet ürünün parlaklığı, boyası vb gibi görsel yani nitel özelliklerle ilgili değişkenler varsa böyle durumlarda birkaç kişinin oluşturduğu ekip tarafından değişkenlerin seçilmesi önerilir.
- Belirlenen problem için hedeflenen amacın ilgili birimlerden bilgi alınarak problem belirlenme aşamasında ifade edilmesi gerekmektedir [20]
- Performans karakteristiği, bir ürünün temel fonksiyonlarının yerine getirilmesi için gerekli olan kalite değişkeni olarak deney tasarımıyla iyileştirmesi istenen olan özelliktir. Amacı ifade ettikten sonra analiz edilen probleme bağlı olarak bir ya da birden fazla performans karakteristiği seçilebilir. Seçilen performans karakteristiği ölçüm ya da özellik belirten bir değişken de olabilir [5].
- Problem belirlendikten sonra kalite değişkenlerini etkilemesi olası tüm faktörler listelenir. İş akış diyagramları, ilgili birim yetkilileri görüşleri vb gibi yöntemlerle etkili faktörlerin doğru bir şekilde tespit edilmesi sağlanabilir. Faktörler arası etkileşim ve faktör sınıflandırması için de balık kılçığı gibi neden sonuç diyagramlarından faydalanılabilir.
- Faktörlerin tespit aşaması tamamlandıktan sonra kontrol edilebilen faktörler nelerdir belirlenir ve deneye değerleri değiştirilebilir olan bu faktörler dahil edilir. Geri kalan faktörlerin deneyde neden incelemeye alınmadıklarının açıklanması gerekir.
- Deney Tasarımı yapan ekip ile birlikte kontrol edilebilen hangi faktörler arasında etkileşimler olduğu ve bu etkileşimlerden hangilerinin inceleneceğini belirlenmelidir.
- Deneyde incelenecek faktör ve etkileşim sayısına bakılarak hangi ortogonal dizinin kullanılacağına karar verilir.

- Seçilen her faktör için alt ve üst düzey seviyeler belirlenir. Seviye belirlenirken seviyeler arasındaki farka dikkat edilmesi gerekmektedir. Seviyeler arası fark çok küçük olursa faktör etkisi gözlenemezken; farkın çok büyük olması da ilgili faktörün diğer faktörlere daha baskın gelerek diğer faktör etkilerinin gözlemlenmesini engeller. Deneye dahil edilmeyen faktörler için ise faktör seviyesi sabit kabul edilir.
- Seçilen ortogonal dizinin kolonlarına belirlenen faktörler ve etkileşimleri yerleştirilir. Ve faktör kombinasyonları oluşturulur.
- Deney uygulaması rassallık, tekrarlı ve bloklama gibi deney tasarımı ilkelerine dikkat edilerek yapılır. Bu aşamada yapılacak deney hataları sonuçların yanıltıcı olmasına neden olacağı için deney geçerliliğinin bozması [20].
- Deney sonrasında gerekli hesaplamaları yaparak etkili faktörlerin optimum seviyeleri belirlenir ve doğrulama deneyi ile Deney Tasarımı doğrulaması elde edilir.

Genel olarak bir problemin çözümü için Deney Tasarımı metodu kullanımının aşamalarını şu şekilde gösterebiliriz:



Şekil 3.2: Problemin çözümüne yönelik deney tasarımı aşamaları [6].

3.4 Deney Tasarımının Amaçları

İşletmeler kalite ve verimlilik konularında kendilerini geliştirmek ve bu gelişimin sürdürülebilir olması noktasında deney tasarımı tekniklerinden yararlanmaktadır. İster sıfırdan ürün üretmek olsun ister var olan ürünün iyileştirilmesi olsun deney tasarımı süreçle ilgili her aşamada yüksek verimlilik, minimize edilmiş değişkenlik, hedef kalite düzeyine daha fazla yakınlık ve kısaltılmış gelişme süresi ve daha az kalite maliyeti gibi avantajlar sağlamak için işletmeler tarafından tercih edilmektedir.

Esas olarak deney tasarımı, hedef değeri en çok etkileyen değişkeni belirlemek, belirlenen değişkenlerin etkisini saptamak, hedef değer üzerinde ufak değişikliklere sebep olan değişkenleri belirlemek ve kontrol edilemeyen değişkenlerin etkilerini minimize etmek için kontrol edilebilen değişkenlerin etkilerini belirlemek; dolayısıyla sürecin optimum şekilde uygulanması için sistemdeki değişkenlikleri azaltmak amacıyla uygulanır [46].

Kısaca ifade edilecek olursa deney tasarımı, temelde minimum zaman, kaynak ve harcama ile deney hatalarını azaltarak maksimum anlamlı verileri elde etmeyi amaçlayan istatistiksel bir metottur [43].

4. TAGUCHİ METODU

Ürüne veya prosese ait parametrelerin optimum seviyesini tespit ederek, çıktı değerlerinde varyasyonu en aza indirmeyi amaçlayan Taguchi Metodu, Dr. Genichi Taguchi tarafından kalitenin sürekliliğinin sağlanabilmesi, ürüne ve prosese ait parametrelerin iyileştirilmesi için geliştirilmiş yöntemdir. Bu metot, ürün/hizmet ve proses için, değişkenliğe neden olan ve kontrol edilemeyen faktörlere karşı, kontrol edilebilen faktör düzeylerini optimize eder. Dolayısıyla ürün/hizmet ve prostesteki değişkenliği en aza indirmeye yardımcı olur [19].

Dr. Genichi Taguchi, Japon telefon sisteminin geliştirilmesi projesinde oldukça başarılı olmuş ve bu projede yaptığı çalışmalardaki başarısıyla adını dünyaya duyurmuştur. İkinci Dünya Savaşı sonrasında Japonya'daki en önemli projelerden birisi olan bu projenin Nippon telefon telgraf araştırma merkezinin AT&T'nin %2'si büyüklüğünde olduğu için 20 yılda tamamlanacağı düşünülmüştür. Taguchi ise Ronald Fisher'in geliştirdiği deney tasarımı yöntemine kattığı yeniliklerle; robust tasarım ve kesirli faktöriyel tasarım yöntemlerini kullanarak projeyi sadece 4 yılda bitirmiştir. Birçok ürün geliştirilmesi için etkin şekilde kullanılan Robust tasarım ile Taguchi 1962'de kalite alanındaki en önemli ödüllerden biri olan Deming ödülüne layık görülmüştür [42].

Deney tasarımı yöntemlerinden biri olan Taguchi deneysel tasarım metodu hedef sonuçlara ulaşmak için yapılması gereken deney sayısını azaltırken aynı zamanda çalışma için gereken süreyi ve çabayı da minimize ederek çok tercih edilen yöntemler arasına girmiştir. Taguchi kaliteyi geliştirmek için ürünün üretimden müşteriye teslimine kadar ki süresinde meydana gelen kayıplar olarak tanımlanan kalite kayıpları üzerinde durmuştur. Hatalı ürün performansı ve azalan güvenilirliğin müşteride yaptığı etkilerden doğan kayıplar, pazar payının düşüşü ile üreticilerin karşılaştığı kayıplar kalite kayıpları kapsamında değerlendirilirken; bu kayıplar, kayıp fonksiyonları ve bunların sürece etkileri şeklinde de açıklanabilmektedir [19].

Temel felsefesi kaliteyi tasarım aşamasında sağlamak olan Taguchi yöntemi, ortogonal dizinleri kullanarak deney sayılarını büyük ölçüde azaltan ve aynı zamanda kontrol edilemeyen faktörlerin etkilerini minimize etmeye çalışan bir deney tasarımı tekniğidir. Taguchi felsefesinin temeline göre kalite, hedef değerden sapmaların toplumda meydana getirdiği kayıplara bağlı olarak ölçülmelidir ve bu yönüyle aslında Taguchi felsefesi bilimsel olmasının yanında felsefi bir nitelikte taşımaktadır. Bu tekniğin felsefesi şu şekilde özetlenebilir [47,48];

1. Ürün kalitesinin önemli bir boyutu da ürünün toplumda meydana getirdiği kayıptır.
2. Kalite anlamında sürekli iyileştirme ve maliyeti azaltma rekabet ortamında işletmelerin kalıcılığını korumak için zorunludur.
3. Sürekli kalite geliştirme programlarının temel amacı ürün hedef değerinden sapmaları sürekli azaltmaktır.
4. Bir ürünün performansındaki bir sapmadan dolayı tüketici de meydana gelen kayıp yaklaşık olarak o sapmanın karesiyle orantılıdır.
5. Ürünün tasarım mühendisliği ve üretim prosesi o ürünün nihai kalitesini ve maliyetini verir.
6. Ürün performansındaki sapmayı azaltmak için performansı etkileyen parametrelerin lineer olmayan etkilerini kontrol altında tutmak gerekir.
7. Ürün veya proseslere ait performans sapmalarını azaltmak için istatistiki olarak tasarlanmış deneyler kullanılır.

Deney tasarım yöntemleri aynı amaca yönelik olmalarına rağmen tasarım noktasındaki farklılıklarından dolayı klasik ve modern tasarım yöntemleri olarak 2 ayrı grupta incelenebilir. Klasik tasarım yöntemleri, bir defada bir faktör, tam faktöriyel ve kısmi faktöriyel olarak 3 ayrı şekilde sınıflandırılırken; modern tasarım yöntemleri, Shainin yöntemi, Taguchi yöntemi olarak 2 sınıfta incelenir [41].

Tablo 4.1: Geleneksel kalite kontrolü anlayışı ile Taguchi'nin kalite kontrolü anlayışı arasındaki farklar [47].

	Geleneksel Kalite Kontrolü Anlayış	Taguchi'nin Kalite Kontrolü Anlayış
1	Kalite maliyeti artırır.	Kalite maliyeti düşürür.
2	Kalite kontrolle sağlanır.	Kalite elde etmek için kontrol en son çaredir.
3	Kalite sadece uzmanların gözetimleri ve iradeleri sayesinde sağlanır.	Kalite tüm personelin ortak ürünüdür.
4	İşletmelerde en iyi üretimi gerçekleştirenler ödüllendirilirken, en kötü üretimi gerçekleştirenler cezalandırılmalıdır.	İşletmelerde en iyi üretimi gerçekleştirenleri ödüllendirmek ve en kötü üretimi gerçekleştirenleri cezalandırmak ilerde işletmedeki ekip çalışmalarının yapılmasını imkânsız hale getirecektir.
5	En ekonomik malzemeyi üreten yan sanayi ile çalışılmalıdır.	Üretim politikası kalite üzerine kurulu olan yan sanayi ile çalışılmalıdır.
6	Kar sağlamak için gelir seviyesi artırılıp, maliyet düşürülmelidir.	Kar sağlamak için ürüne olan talep artırılmalıdır.
7	Kar oranları bir işletmede gelişmenin göstergesidir.	Kar oranları bir işletmede sadece geçmişte sağlanan gelişmenin göstergesidir, gelecek için bir şey ifade etmez.

4.1 Taguchi Kalite Sistemi

Deney Tasarımı sayesinde daha tasarım aşamasındayken hedef kalite değeri için varyasyona sebep olan faktörlerin ürün üzerindeki etkilerinin minimum maliyetle tespit edilmesi ve bu faktörlere karşı önlem alınabilmesi olasıdır ki bu durum Deney Tasarımını Taguchi'nin offline kalite kontrol sisteminde hedef kaliteye ulaşmak için en önemli yöntemlerden birisi haline getirmiştir [42].

Taguchi metodunda kalite geliştirmek için kullanılan istatistik teknikleri mühendislik ve ileri matematik teknikleri ile entegre şekilde olmalıdır. Bu durum kalite mühendisliği kavramının gündeme gelmesine neden olmuştur. Kalite mühendisliği görev tanımlamasına bakıldığında, bir ürünün araştırma geliştirme, proses tasarımı, üretim ve müşteri memnuniyetinin sağlanması işlemlerinin her safhasında bu işlemlerin optimum seviyede yürütülmesi gerektiği görülmektedir. Taguchi metodu sadece hedef değere ulaşmak için yapılan deneylerle ilgili değil aynı zamanda ürün tasarımı, üretim sistemi tasarımı, üretim ve müşteri memnuniyetini esas alan kalite kontrol faaliyetleri ile de ilgili için bu yönüyle Taguchi kalite felsefesi “Kalite Mühendisliği” olarak da adlandırılabilir [41,47].

Tablo 4.2: Kalite mühendisliği bileşenleri ve içerikleri [49].

ÇEVİRİM DIŞI KALİTE KONTROL	<u>1.Aşama:</u> Ürün Tasarımı	<u>Konular</u> 1.Müşteri ihtiyaç ve beklentilerinin belirlenmesi 2. Müşteri ihtiyaç ve beklentisini karşılayacak ve aynı zamanda sürekli ve ekonomik olarak imal edilebilecek ürünün tasarımı	<u>Kalite Aşamaları</u> 1. Sistem Tasarımı 2. Parametre Tasarımı 3. Tolerans Tasarımı
	<u>2.Aşama:</u> Süreç Tasarımı	<u>Konu</u> İmalat için açık ve yeterli standart, spesifikasyon, yöntem, üretim araçlarının tasarımı	<u>Kalite Aşamaları</u> 1. Sistem Tasarımı 2. Parametre Tasarımı 3. Tolerans Tasarımı
ÇEVİRİM İÇİ KALİTE KONTROL	<u>1.Aşama:</u> Üretim	<u>Konu</u> Ürünün daha önce ürün ve süreç tasarım aşamalarında belirlenen standart ve spesifikasyonlara göre üretilmesi	<u>Kalite Aşamaları</u> 1. Süreç Teşhisi 2. Ayarlama 3. Muayene ve ıskartaya ayırma
	<u>2.Aşama:</u> Müşteri İlişkileri	<u>Konu</u> Müşteriye servis hizmetinin verilmesi ve ürünün kullanımı sırasında çıkan problemlerle ilgili bilginin, ürün ve süreç tasarımının gelişmesi için kullanımı	<u>Kalite Aşamaları</u> 1. Tamir, değiştirme 2. Geri besleme bilgisi 3. Ürün, süreç spesifikasyon dizaynının değiştirilmesi

Kalite mühendisliği bileşenlerine bakıldığında, Taguchi'ye göre kalite aşamalarının;

-Offline (Çevrim Dışı) Kalite Kontrol,

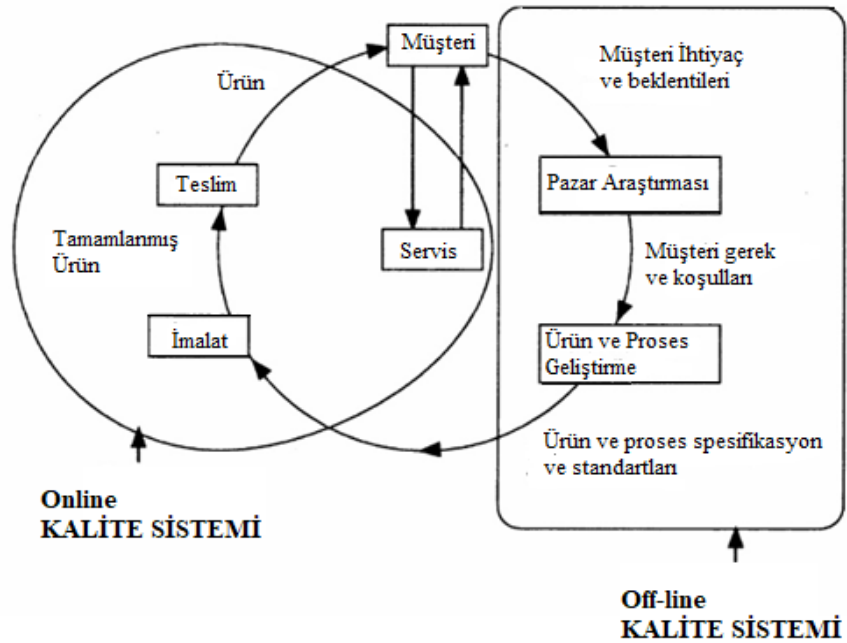
-Online (Çevrim İçi) Kalite Kontrol

olmak üzere iki aşamalı olarak incelendiği görülmektedir [47,50].

Online kalite kontrol ürünün imalatı ve sonrasındaki aşamalarda yürütülen kalitesel faaliyetleri kapsamaktadır. İstatistiksel kalite kontrol, çeşitli muayeneler vs. online kalite kontrol içinde yer almaktadır.

Offline kalite kontrol ise ürüne doğrudan müdahale yerine üretime başlanmadan ürün ve üretim prosesinin tasarım aşamasında yapılan kalite faaliyetleridir.

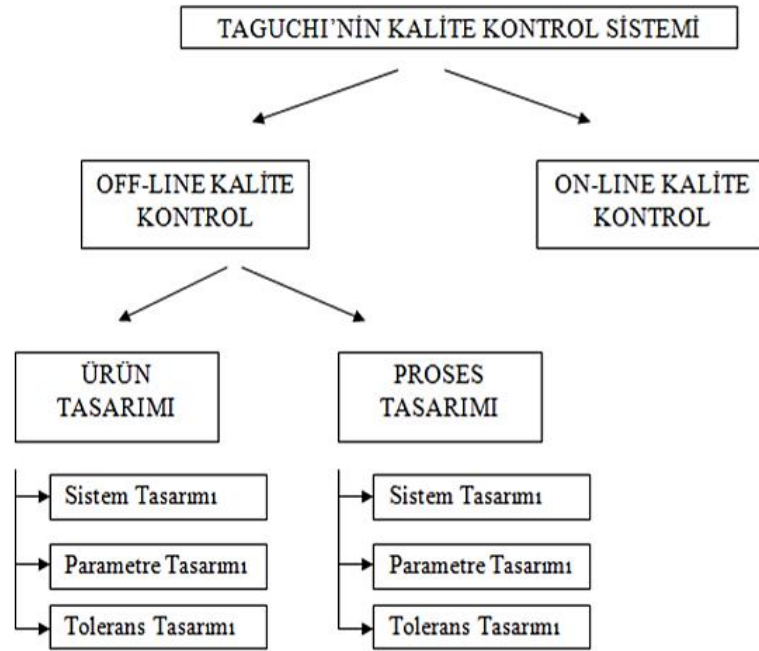
Offline kalite kontrol yöntemleri ürünün kalitesini artırmak ve ürün ömrünü uzatmak için yapılan faaliyetlerin yanı sıra ürün geliştirme maliyetini azaltarak ürünün üretilebilirliğini artıran faaliyetleri de kapsamaktadır.



Şekil 4.1: Taguchi ürün-kalite çemberi [42].

Taguchi üretim/kalite sisteminde istenen kalite düzeyine ulaşmak için yapılan faaliyetleri *offline kalite kontrol* ve *online kalite kontrol* sistemi olarak 2 gruba ayırmıştır. Şekildeki ürün-kalite çemberinde görüldüğü gibi offline kalite kontrol ürünün imalatı öncesindeki süreçleri kapsarken; online kalite kontrol ürün imalatından itibaren istatistiksel süreç kontrolleri, çeşitli kalite faaliyetlerini kapsar. Offline kalite kontrol faaliyetleri ürünün tasarım aşamasındaki faaliyetleri kapsadığı için ürüne doğrudan müdahale edilme durumu yoktur.

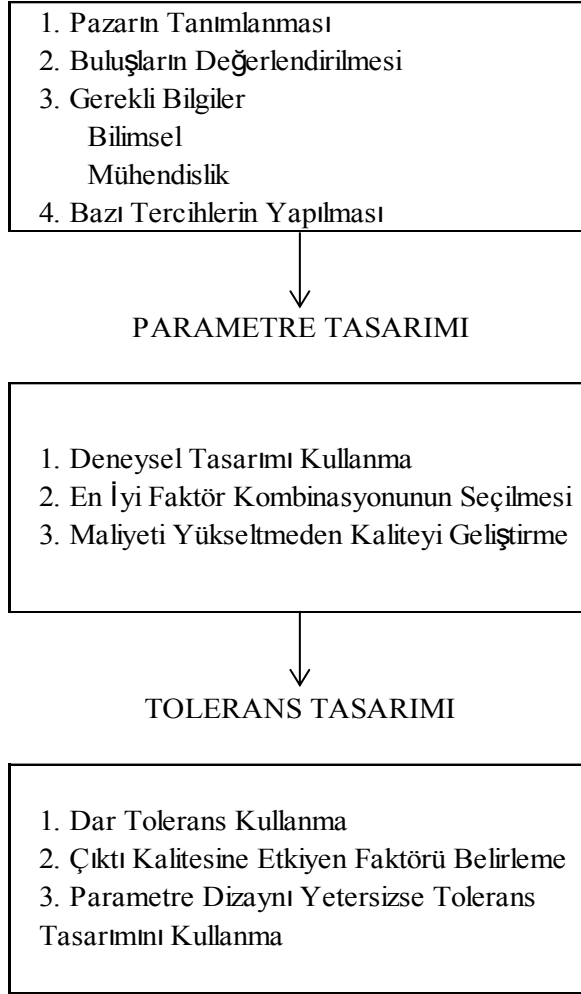
Offline kalite kontrolünü *ürün tasarımı* ve *proses tasarımı* olarak 2 başlığa ayıran Taguchi, kalite sağlama adımlarını da her iki başlık için *sistem tasarımı*, *parametre tasarımı* ve *tolerans tasarımı* şeklinde 3 ayrı kalite aşaması olarak belirlemiştir. Taguchi kalite sisteminde Deney Tasarımı offline kalite kontrol faaliyetlerine dahil edilmektedir [42].



Şekil 4.2: Taguchi kalite kontrol sistemi [49].

Taguchi metodu temellerine bakıldığında sistem, parametre ve tolerans tasarım aşamalarının içerdiği faaliyetler ise Şekil 4.3'te gösterildiği gibidir:

SİSTEM TASARIMI



Şekil 4.3: Taguchi metodu sistematiziği [49].

Analizi doğru yapılan sistemlerde deney tasarımının kolay uygulanabileceğini savunan Taguchi deney tasarımının ön hazırlık aşamasında çok zaman harcamışlardır. Taguchi deney tasarım metodu, müşteri istek ve ihtiyaçlarının her zaman ilk sırada yer aldığı Taguchi kalite anlayışıyla bütünleşen metotlardan bir tanesidir [41].

4.1.1 Sistem Tasarımı

Taguchi metodunun ilk aşaması olan sistem tasarımında, ürünün istenen fonksiyonları yerine getirebilmesi için gerekli teknolojiler incelenir ve ürüne en uygun olan seçilir. Bu aşamada üretilmesi planlanan ürünle ilgili mühendislik ve

bilimsel bilgilerin toplanması, buluşların değerlendirilmesi, hedef pazar tanımlanması, üretimde kullanılacak malzeme ve ekipman seçimleri gibi başlıklar incelenir ve sonuçlar doğrultusunda bir tasarım ortaya konur.

Bu aşamada asıl amaç teknolojik gelişmeler, bilimsel buluşlar ve hedef pazar araştırmalarından yararlanılarak ürünle ilgili spesifik limitler ve toleranslar dahilinde minimum maliyetle üretimi gerçekleştirebilecek sistemi tasarlamaktır. Bu nedenle sistem tasarımı aşaması kalitenin tasarımı ve geliştirilmesi için yapılacak faaliyetlerin yatırıma dönük aşaması olarak da tanımlanabilir.

4.1.2 Parametre Tasarımı

Taguchi'ye göre, parametre tasarımı hem ürün hem de proses tasarımı için ürün kalitesini geliştirmede en etkin çalışmaların yapılabileceği bir aşamadır.

Ürün ile ilgili parametreleri, malzeme türü, çeşitli yüzey özellikleri gibi noktalarda optimum değerlerin belirlenmesi anlamına gelen **ürün parametre tasarımında** amaç ürün kalitesinde yaşanan değişimleri yani varyasyonu azaltarak üretim maliyetlerinin düşürülmesidir [42].

Ürün parametre tasarımı, ürünle ilgili olan malzemelerin, işlemlerin ve doğrudan ürünün parametre değerlerinin tasarımıdır.

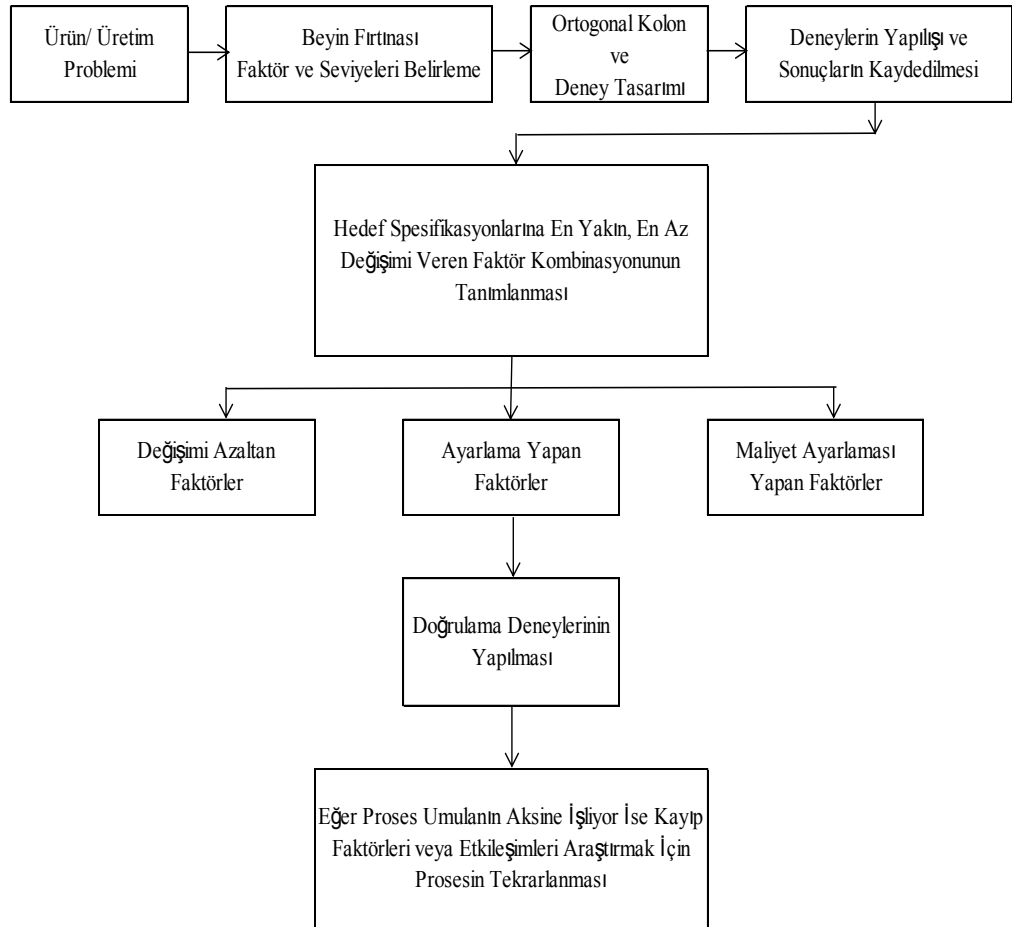
Ürün ve proses için belirlenen kalite standartlarından sapmaya neden olan kontrol edilemeyen faktörlere karşı, kontrol edilebilen faktörlerin değerlerini optimize ederek ürün ve proses meydana gelen varyasyonları minimize etmek parametre tasarımının asıl amacıdır.

Çalışmamızda da kullandığımız üretim süreçlerindeki kontrol edilebilen faktörlerden olan enjeksiyon hızı gibi çeşitli hızların, enjeksiyon sıcaklığı gibi çeşitli sıcaklıkların, enjeksiyon basıncı gibi basınç türlerinin ve soğutma süresi gibi çeşitli sürelerin optimum düzeylerinin tespit edilmesi anlamına gelen proses parametre tasarımında da amaç ürün parametre tasarımında olduğu gibi hedef kalite değerinden sapmanın minimum düzeyde tutulmasıdır. Taguchi bu şekilde elde edilen kontrol edilemeyen faktörlerden minimum düzeyde etkilenecek tasarıma robust tasarım adını vermiştir.

Hedef kalite değerinden sapmanın yani varyansın minimize edilmesi için süreçteki kontrol edilemeyen faktörlere karşı kontrol edilebilen faktörlerin optimum seviyelerinin seçilmesi ile yapılan ürün ve proses tasarımını içeren robust tasarım; ısı, nem, toz gibi çevre koşulları, malzeme farklılıkları ve müşteri uygulamalarındaki farklılıklar gibi kontrol edilemeyen faktörlerden etkilenmeyen yani bu faktörlere karşı duyarsız bir tasarım anlamına gelmektedir [42].

Deney tasarımında robust tasarım kullanılarak kontrol edilemeyen faktörün olumsuz etkisi kontrol edilebilen faktörün değerlerinin ayarlanması ile azaltılabilir. Bu sayede herhangi bir maliyet artışı gözlenmeden kalite de iyileştirme sağlanabilmektedir.

Parametre tasarım aşaması ile eşdeğer kabul edilebilecek olan Taguchi metodu akış şeması Şekil 4.4'de gösterildiği gibidir;



Şekil 4.4: Taguchi yönteminin akış şeması [38].

Yöntemin akış şemasına göre çalışma prensibi olarak her bir faktörün hedef kalite düzeyine ulaşmak için alabileceği değerlerin olabilecek tüm kombinasyonlarının test edilmesini sağlayan Taguchi, test kombinasyonlarının sayısını azaltmak için ortogonal dizileri oluşturmuştur. Geliştirilen ortogonal diziler sayesinde hedef kalite değerini etkileyen faktörler en az sayıda deneyle incelenebilmektedir.

Taguchi deney tasarımına uygun olarak seçilebilecek ortogonal dizileri net bir şekilde tanımlamış ve sonuç analizi için standart metotlar geliştirmiştir. Bu açıdan bakıldığında Taguchi Metodu klasik deney tekniklerinin ve analiz yöntemlerinin kombinasyonu olarak düşünülebilir.

4.1.3 Tolerans Tasarımı

Tolerans tasarımı ürün ve proseste meydana gelen varyasyonları azaltmada parametre tasarımının yetersiz kaldığı durumlarda kullanılır.

Hedef kalite düzeyine ulaşmak için tolerans tasarımında 3 tür kalite değişkeni bulunmaktadır. Bunlar;

- En küçük en iyi: Hedef kalite değerinin negatif yönde bir sapma göstermesi istenmemektedir. Kalite için alt sınırın olmasının yanında tolerans azaldıkça elde edilen sonuçta iyileşmeler sağlanır.
- En büyük en iyi: Bu kalite değişkeninde hedef bir kalite değeri ve kalite değeri için herhangi bir limit yoktur. Elde edilen kalite değeri ne kadar büyükse sonuç o kadar iyi demektir.
- Hedef değer en iyi: Hedef kalite değeri için iki yönlü sapma meydana gelebilir. Bu nedenden dolayı tolerans iki yönlüdür.

Deney tasarımı aşamasında faktörleri ve seviyeleri doğru tespit edebilmek için incelenen ürünle ilgili kapsamlı bilgi sahibi olunması gerekmektedir. Belirlenecek faktörlerin araştırılan çıktı üzerinde etkileri tanımlanırken konuyla ilgili tüm insanlardan fikir alınarak bir beyin fırtınası yapılması Taguchi'nin önemli olarak gördüğü bir noktadır. Taguchi deney dizaynı yapılırken;

- Kontrol edilecek faktör sayısı
- Belirlenen her faktör için seviye sayısı
- Yapılacak deneylerin tekrar sayısı
- Maliyet, zaman, üretebilme gibi diğer faktörler dikkate alınmalıdır.

Kalite değişkenlerinin aldığı değerlere göre tasarımlar statik sonuçlu ve dinamik sonuçlu şeklinde 2 sınıfta incelenir. Statik sonuçlu tasarımda kalite değişkeni sabit bir değer alırken; dinamik sonuçlu tasarımda kalite değişkeni belirli bir aralıktadır.

a) Statik Sonuçlu Deney

Kalite değişkeninin sabit bir değer aldığı bu deney tasarımında Taguchi metodu kullanılmasındaki amaç kalite değişkenini hedef kalite değerine olabildiğince yaklaştırmak ve tasarımdaki hedef değerden sapmayı yani varyansı minimize etmektir.

Kalite değişkenininin sabit seviyeli olduğu statik sonuçlu deneylerde varyansı minimize etmek için Taguchi tarafından Signal/Noise Ratio geliştirilmiştir. Bir değişim ölçüsü olan S/N oranı deneyin amacı doğrultusunda 3 ayrı seçenek sunar. Bunlar; en büyük en iyi, en küçük en iyi ve hedef değer en iyi fonksiyonlarıdır. Hedef değeri ulaşılması istenen amaç seçtiğimizde standart sapmanın azaltılması ya da hem standart sapma hem ortalamasının belli bir değerde tutulması gibi ayrı 2 opsiyon değerlendirilebilir.

Burada seçilen amaç hangisi olursa olsun S/N oranı maksimizasyonu sinyal faktörlerinin etkisini artırırken aynı zamanda varyasyonun azalması anlamına gelmektedir [42].

Seçim	Amaç	Sonuç
En büyük en iyi: $S/N = -10 \left(\log \left(\sum \left(\frac{1}{Y^2} \right) / n \right) \right)$	Sonucun maksimize edilmesi	Pozitif
Her değer en iyi: $S/N = -10 \left(\log \left(s^2 \right) \right)$	Sadece standart sapmanın azaltılması	Pozitif, sıfır ya da negatif
Hedef değer en iyi: $S/N = 10 \left(\log \left(\bar{Y}^2 / s^2 \right) \right)$	Standart sapmanın ve ortalamanın belli bir hedef değerde olması	Ortalama sıfır olduğu zaman standart sapma da sıfır
En küçük en iyi: $S/N = -10 \left(\log \left(\sum Y^2 / n \right) \right)$	Sonucun minimize edilmesi	Pozitif

Şekil 4.5: Proses optimizasyon hedefine göre S/N hesaplamaları.

Optimizasyon hedeflerine göre hesaplamalarda farklılık göstermesine bütün S/N oranları aşağıdaki özelliklere sahiptir [51];

1. S/N oranı, hedef değer üzerinde gürültü faktörlerinin neden olduğu değişkenliği gösterir.
2. Hedef değer değişse bile kalite için önceden yorum yapılmasında faydalı olan S/N oranı ortalamanın ayarlanmasından bağımsızdır.
3. Karşılaştırma amacı doğrultusunda kullanılan S/N kaliteyi nispi oranda ölçer.
4. S/N oranı, birçok faktörün ürün kalitesi üzerindeki etkileri analiz edildiğinde kontrol faktörleri etkileşimi gibi karmaşıklıklar doğurmaz.

b) Dinamik Sonuçlu Deney

Bu tür deneyler gözlenen sistemin sonucu ile işleme başlama anı arasındaki fonksiyonel ilişkileri analiz etmek için kullanılan kalite değişkeninin belirli bir aralıkta yer aldığı deneylerdir.

Bu deney dizaynında ideal görünen işleme başlama anı ile sonuç arasında doğrusal bir ilişkinin olmasıdır. Gürültü faktörleri yüzünden minimum varyasyona ihtiyaç duyan duyarsızlığı elde etmek için çok sayıda deney yapılması gerekmektedir.

4.2 Taguchi Ortogonal Diziler

Taguchi metodu ürün ve üretim sistemlerine ait parametrelerin ve toleransların tasarımı, ortogonal dizilerden faydalanarak oluşturulan deneylerin tasarımını ve ölçüm sistemlerini değerlendirmek için uygulanan metodolojileri kapsarken aynı zamanda kalite kayıp fonksiyonu, çevrimiçi ve çevrimdışı kalite kontrol olgularını da analiz eden uygulamaları içerir [41].

Temel olarak hangi faktör seviyesinin hangi denemede kullanılacağını belirleyen ortogonal diziler ilk kez 1897 de Fransız matematikçi Jacques Hadamard tarafından ortaya konuldu. Birçok faktör incelenmesine olanak sağlayan ortogonal diziler faktör seviyelerinin tek tek değiştirilmesi yerine eş zamanlı değiştirilerek minimum sayıda test ile hedefe ulaşılmasını sağlar.

Normal 2k faktörlü bir deneysel tasarımında tam faktöriyel tasarım gereği 2^k sayısı kadar deney yapılması gerekirken; Taguchi yönteminde eşzamanlı olarak bir kaç faktörün kademeleri değiştirilerek bu deneme sayısı azaltılır [52].

Örneğin 2 seviyeli 7 faktör için tam faktöriyel tasarım gereği 128 deney yapılması gerekirken, Taguchi bu deney sayısını 8'e düşürmektedir. Bu sayede önemli derecede zaman ve maliyet açısından kazanç sağlanmaktadır.

Deneme No	Faktör No						
	1	2	3	4	5	6	7
1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	1	1	1	2
3	1	1	1	1	1	2	1
4	1	1	1	1	1	2	2
5	1	1	1	1	2	1	1
6	1	1	1	1	2	1	2
:	:	:	:	:	:	:	:
128	2	2	2	2	2	2	2

Deneme No	Faktör No						
	1	2	3	4	5	6	7
1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	2	2	2	2
3	1	2	2	1	1	2	2
4	1	2	2	2	2	1	1
5	2	1	2	1	2	1	2
6	2	1	2	2	1	2	1
7	2	2	1	1	2	2	1
8	2	2	1	2	1	1	2

Şekil 4.6: 2k tasarımı deney plan [52].

Her faktör için eşit miktarda farklı seviye bulduran ortogonal dizilerde 2 seviyeliler için en çok kullanılan diziler L4, L8, L16 ve L32 iken; 3 seviyeliler için L9, L18, L27 dizilerdir. L18, L36, L54 dizileri ise her iki seviyenin karışık bulunduğu durumlar için kullanılan dizilerdir [52].

Faktör	Seviye	Deney Sayıları	
		Tam Faktöryel Tasarım	Taguchi Metodu
2	2	$4(2^2)$	4
3	2	$8(2^3)$	4
4	2	$16(2^4)$	8
7	2	$128(2^7)$	8
15	2	$32768(2^{15})$	16
4	3	$81(3^4)$	9

Şekil 4.7: Taguchi ve tam faktöryel tasarım için kombinasyonlar [52].

Uygun dizinin seçilmesi tasarımdaki faktörlerin seviyelerine ve toplam serbestlik derecelerine bağlı olarak yapılır. Toplam serbestlik derecesi her bir faktörün serbestlik dereceleri toplamını ifade eder. Ayrı ayrı her bir faktörün serbestlik dereceleri toplamı bir dizinin toplam serbestlik derecesini verir.

Serbestlik dereceleri aşağıdaki gibi hesaplanır:

V_A : A faktörünün serbestlik derecesi

V_{A*B} : A ile B etkileşiminin serbestlik derecesi

k_A : A faktörü seviye sayısı

Tüm faktör ve faktör etkileşimlerinin serbestlik dereceleri toplamı ise faktör grubunun serbestlik derecesini verir. Toplam yapılacak deney sayısı ise faktör grubunun toplam serbestlik derecesine 1 eklenerek bulunur.

V_T : Dizinin toplam serbestlik derecesi

N: Dizideki toplam deney sayısı

$$N = V_T + 1$$

Serbestlik derecesi belli olan faktörler için uygun ortogonal dizi seçimi kolaylıkla yapılabilir.

		SEVİYE SAYISI											
		2		3		4		5					
PARAMETRE SAYISI	P=2	S=2	L4	P=2	S=3	L9	P=2	S=4	L' 16	P=2	S=5	L25	
	P=3	S=2		P=3	S=3		P=3	S=4		P=3	S=5		
	P=4	S=2		P=4	S=3		P=4	S=4		P=4	S=5		
	P=5	S=2		P=5	S=3		P=5	S=4		P=5	S=5		
	P=6	S=2	L8	P=6	S=3	L18	P=6	S=4	L' 32	P=6	S=5	L50	
	P=7	S=2		P=7	S=3		P=7	S=4		P=7	S=5		
	P=8	S=2		P=8	S=3		P=8	S=4		P=8	S=5		
	P=9	S=2	L11	P=9	S=3	L27	P=9	S=4	L' 32	P=9	S=5	L50	
	P=10	S=2		P=10	S=3		P=10	S=4		P=10	S=5		
	P=11	S=2		P=11	S=3		P=11	S=4		P=11	S=5		
	P=12	S=2	L16	P=12	S=3	L36				P=12	S=5		
	P=13	S=2		P=13	S=3								
	P=14	S=2		P=14	S=3								
	P=15	S=2	L32	P=15	S=3								
	P=16	S=2		P=16	S=3								
	P=17	S=2		P=17	S=3								
	P=18	S=2		P=18	S=3								
	P=19	S=2		P=19	S=3								
	P=20	S=2		P=20	S=3								
	P=21	S=2		P=21	S=3								
	P=22	S=2		P=22	S=3								
	P=23	S=2		P=23	S=3								
	P=24	S=2											
	P=25	S=2											
	P=26	S=2											
	P=27	S=2											
	P=28	S=2											
	P=29	S=2											
	P=30	S=2											
	P=31	S=2											

Şekil 4.8: Taguchi ortogonal dizi seçim tablosu [43].

Çalışmamızda 6 seviyeli 1 faktör ve 3 seviyeli 6 faktör olduğu için L18 ortogonal dizisi seçilmiştir. Bu dizinin kombinasyonu ise Tablo 4.3'de gösterildiği gibidir:

Tablo 4.3: L18 ($6^1 3^6$) Taguchi ortogonal dizi kombinasyonu.

Deney No	Faktör No						
	1	2	3	4	5	6	7
1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	2	2	2	2	2	2
3	1	3	3	3	3	3	3
4	2	1	1	2	2	3	3
5	2	2	2	3	3	1	2

Tablo 4.3 (devam): L18 ($6^1 3^6$) Taguchi ortogonal dizi kombinasyonu.

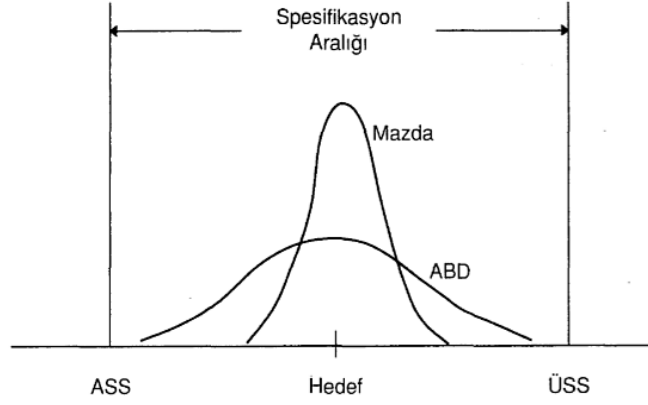
6	2	3	3	1	1	2	1
7	3	1	2	1	3	2	3
8	3	2	3	2	1	3	2
9	3	3	1	3	2	1	1
10	4	1	3	3	2	2	1
11	4	2	1	1	3	3	2
12	4	3	2	2	1	1	3
13	5	1	2	3	1	3	2
14	5	2	3	1	2	1	3
15	5	3	1	2	3	2	1
16	6	1	3	2	3	1	2
17	6	2	1	3	1	2	3
18	6	3	2	1	2	3	1

Tablo 4.4: L18 Ortogonal dizi örnek hesap tablosu.

Standart Sıra	Gözlem Değeri	A						B			C			D			E			F			G		
		1	2	3	4	5	6	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
1																									
2																									
3																									
4																									
5																									
6																									
7																									
8																									
9																									
10																									
11																									
12																									
13																									
14																									
15																									
16																									
17																									
18																									
Toplam																									
Sayı	18	3	3	3	3	3	3	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
Ortalama																									
Etki																									
Sıra																									

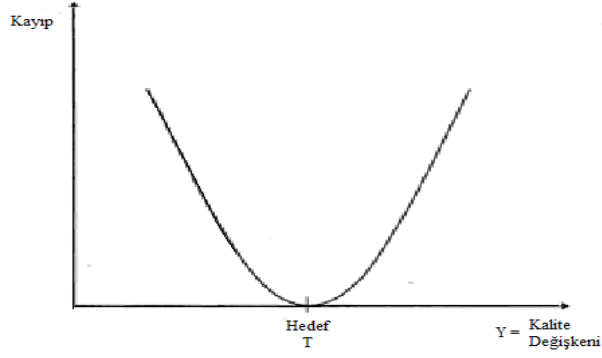
4.3 Taguchi Kayıp Fonksiyonu

Ford ürettiği araçlarda kullanmak için birisi Amerikan diğeri Japon firması olan 2 tedarikçisine şanzıman siparişi vermiştir. Japon tedarikçi Mazda ve Amerikan tedarikçi şanzımanları Ford'un belirlediği kalite spesifikasyonlarına göre üretmelerine rağmen, garanti süreleri içinde yaşanan sorunlardan dolayı garanti talepleri meydana gelmiştir. Üretilen şanzımanların bazı performans kriterlerine göre incelemesini yapan Ford yetkilileri Amerikan firmanın ürettiği şanzımanlarda varyasyonun daha büyük olduğunu tespit etmişlerdir. Şekil 4.9'da da görüldüğü üzere varyasyonu fazla olan firmaya ait şanzımanlar kısa sürede ve yüksek frekanslarla arızalanarak Ford'un maliyetinin artmasına sebep olmaktadır [42].



Şekil 4.9: Tedarikçilerin varyasyon kıyaslaması [42].

Klasik kalite kontrol için parçanın performans değerinin belirlenen spesifikasyonlar içinde olmasına dikkat edilir yani parça eğer hedef sınırlar dahilinde ise ürün kabul edilir değilse reddedilir ya da rework yapılır. Taguchi ise bu klasik yaklaşımın aksine kaybın sapmanın karesiyle orantılı şekilde ifade edilmesinin daha gerçekçi olduğunu savunmuştur. Şekil 4.10'da gösterilen grafikte yatay eksen hedef değerden sapmanın miktarını gösterirken; dikey eksen hedef değerden sapmanın maddi anlamdaki kaybını gösterir [42].



Şekil 4.10: Taguchi kalite kayıp fonksiyonu [42].

Taguchi'ye göre bu kayıp ürünün müşteriye ulaşmasından itibaren meydana gelen retler, yaşanan sorunlara karşı garanti istekleri ve rework işlemleri sırasında oluşan masraflar gibi maliyet kalemlerinin toplamıdır [42].

Fabrika kayıpları ve kalite kayıpları toplamı genel kayıp olarak ifade edilirken, bu genel kayıp üreticilerin belirlenen hedeften sapmaları ne kadar büyük olursa o kadar büyük olacaktır. Ürün için belirlenen kalite hedef değerine hangi faaliyetlerin ulaştıracağını biliniyorsa bu faaliyetin birim başına maliyetinin de ne olduğu bilinir ve bu maliyetten kaçmak hedeften her sapma yaşandığında giderek artan bir harcama riski meydana getirmektedir [53].

Taguchi Kayıp Fonksiyonunda kayıp, parçanın belirlenen kalite performansı için ölçülen değeri (Y) ile bu kalite performansı için hedef değer (T) farkının karesinin sabitle çarpımından elde edilen sonuçtur [42].

$$\text{Kayıp} = k \cdot (Y-T)^2 \quad (4.3.1)$$

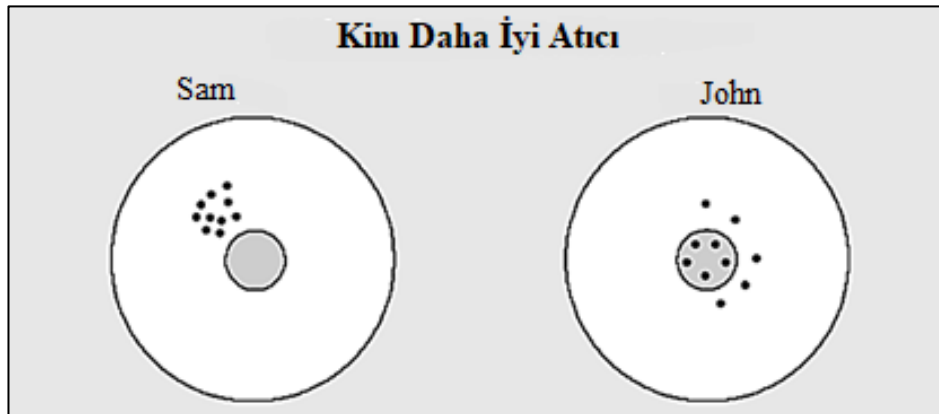
Mühendislerin hedeften sapma kavramını yöneticilerin kullanabileceği basit bir maliyet tahminine çeviren Taguchi Kalite Kayıp Fonksiyonu Taguchi 'ye göre bir doğa kanunu değil, yeni bir ürün tasarlamının ilk aşamaları olan tolerans ayarlama ve hedef kalite değerleri tahmini için yardımcı olan basit bir yaklaşımdır [53].

Kayıp fonksiyonunda artışa sebep olan varyasyonu azaltmak için kullanılacak olan yöntemlerde varyasyonun oluşma sebeplerine göre değişkenlik gösterir. Deming'in sınıflandırmasına göre özel ve olağan olmak üzere 2'ye ayrılan varyasyon nedenlerinin etkilerinin azaltılması için istatistiksel kalite kontrol ya da taguchi

metodu kullanılabilir. Olağan yani sistemsel nedenlerden kaynaklı varyasyonu azaltmak için deney tasarımı yöntemini ilk kullanan kişi Taguchi'dir. Taguchi sistemde varyasyona sebep olan faktörlerin belirlenmesi ile gürültü faktörleri olarak tanımlanan faktörlerden etkilenmeyecek robust tasarımın oluşturulması, sinyal faktörlerinin optimal düzeylerinin seçilmesi ve bu sayede varyasyonun minimize edilebileceği bir deney tasarımı oluşturmuştur. Burada performans kriteri olarak Sinyal/Gürültü oranını analiz edilecek değer olarak tanımlamıştır [42].

4.4 Deney Tasarımına Taguchi Yaklaşımı

Kalite üzerine çalışma yapan birçok uzman kalitesel anlamda hedef değerden sapma olarak tanımlanabilen varyasyonla ilgilenmiştir. Varyasyon tanımı, varyasyon nedenleri ve nasıl azaltılabileceği konularına kendi yaklaşımında çok önem veren Deming varyasyon nedenleri *sistem kaynaklı yani olağan nedenler* ve *özel- olağan dışı nedenler* olarak 2'ye ayırmıştır. Çözümleri için ise olağan dışı nedenlerden kaynaklanan kalite sorunları için istatistiksel proses kontrolü uygulamalarını tavsiye ederken; sistem kaynaklı nedenlerden kaynaklanan kalite sorunlarında üretim sistemlerinin iyileştirilmesi ile varyasyonun azaltılabileceğini söylemiştir. Üretim süreçlerinden, satın alma ve tedarikçilere kadar uzanan tüm aşamaları kapsayan sistem kaynaklı varyasyonun azaltılmasının ancak yönetim eliyle gerçekleştirilebileceğine inanan Deming firmadaki bu birimlerin tek başlarına varyasyonu azaltmada başarılı olamayacaklarını söylemiştir [42].



Şekil 4.11: "Kim Daha İyi Atıcı?" diyagramı [53].

Taguchi Harvard Business Review'deki "Robust Quality" adlı makalesinde "Who's the better shot?" sorusunu sorarak varyasyonla ilgili bazı açıklamalarda bulunmuştur.

Burada Sam ve John sırayla hedef için 10 atış yapıyor ve atışlardan tamamlandıktan sonra hangisinin daha iyi atış yaptığını bulmak için inceleme yapılıyor. Sam atışlarında hedefi tutturamamış fakat atışları hedefin hemen yanında sık bir küme oluşturmuştur. John'un ise 5 atışı hedefi tuttururken geri kalan atışları hedefin etrafında diyagramda (Şekil 4.11) görüldüğü gibi dağılmıştır. Sam'in atışları John'un atışlarına göre daha tutarlı ve tahmin edilebilirdir ve ufak bir düzenlemeyle hedefe ulaşan atışlar elde edilebilir. Sam'in atışlarının sapması yani varyasyonu daha az olduğu için burada Sam daha iyi atıcıdır [53].

Taguchi'nin vermiş olduğu örneği üretim süreçleri için değerlendirdiğimizde varyasyonu az olan bir sistemin sapmasını azaltarak hedef değerlere ulaşmak kolayken; tersi durum için daha fazla maliyet ve çaba gerekmektedir.

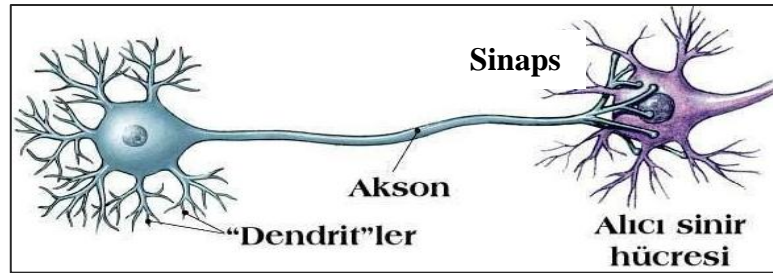
5. YAPAY SINİR AĞLARI

Birçok bilim adamı tarih boyunca sürekli merak edilen insan beyni ve çalışma şekli hakkında araştırmalar yapmış, insan beyninin sırlarını çözmeye çalışmış ve insan beyninin çalışma şekline benzer çalışma prensipleri olan makineler üretmek istemişlerdir. Bunun sonucunda insan beyninin modellenmesine olanak tanıyan yapay zekâ kavramı ortaya çıkmış ve zeki sistemler geliştirilmiştir [2].

Günümüzde uzman sistemler, bulanık mantık, yapay sinir ağları gibi birçok yapay zekâ tekniği kullanılarak işlem süreleri kısaltılmıştır ve bu sayede firmalar için en önemli parametrelerden biri olan zamandan kazanç sağlanmıştır. Firmaların talep tahmini, üretim planlama, stok yönetimi gibi birçok farklı alanda yararlandıkları yapay zeka teknikleri kalite kontrol alanında da etkin biçimde kullanılmaktadır. Bu noktada karşımıza çıkan yapay sinir ağları birçok kalite kontrol probleminin çözümünde efektif bir yöntem olmuştur [2, 9].

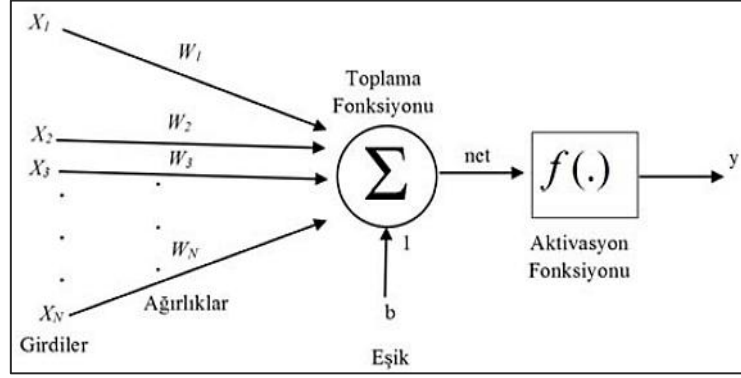
YSA'lar deneme yanılma yoluyla öğrenme ve genelleştirme yapabilen; sınıflandırma, örüntü, tanıma, tahmin, optimizasyon gibi birçok alanda başarılı bir şekilde kullanılan; biyolojik sinir sistemine benzer bir bilgi işleme sistemidir [9]. YSA'lar olaylar arasındaki ilişkileri kendisine verilen örneklerden yola çıkarak öğrenir ve sonrasında hiç karşılaşmadığı olayları örnekler yoluyla elde ettiği bilgileri kullanarak çözümleyen sistemlerdir.

Biyolojik sinir hücrelerinin işleyişini matematiksel olarak modelleyen yapay sinir hücreleri YSA'ların çalışmasını sağlayan en küçük birimlerdir.



Şekil 5.1: Biyolojik sinir hücresi [55].

Şekil 5.1’de görüldüğü gibi insan sinir hücresi çekirdek, hücre gövdesi, dentrit ve aksondan oluşmaktadır. Dentrit adı verilen kısa uzantılar giriş bilgilerini alır, hücre gövdesi bu bilgileri işler ve işlenen bu bilgiler gereken eşik değeri aşarsa aksona iletilir ve akson adındaki uzun uzantılar çıktı bilgilerini diğer sinir hücrelerine taşır.



Şekil 5.2: Yapay sinir hücresi [8].

Yapay sinir hücrelerinin girdiler, ağırlıklar, toplama fonksiyonu, aktivasyon fonksiyonu ve hücre çıktısı olmak üzere 5 ayrı temel elemanı vardır. Bunlar [54];

Girdiler: Yapay sinir hücresine dış dünyadan ya da bir diğer sinir hücresinden gelen ağın öğrenmesi için ağa iletilen bilgilerdir.

Ağırlıklar: Yapay sinir hücresine gelen bilgilerin hücre için önemini ve bu bilginin ağ üzerindeki etkisini ifade eder. Her bir girdi için ağırlık değeri vardır ve bu ağırlıklar büyük ya da küçük olmasına göre önemli yada önemsiz şeklinde nitelendirilemezler.

Toplama Fonksiyonu: Hücreye iletilen net girdinin hesaplandığı fonksiyondur. En yaygın olarak ağırlıklı toplam fonksiyonu seçilse de incelenen problem türüne göre kullanılan fonksiyon türü değişiklik gösterebilir.

Formülü 5.1’de gösterilen ağırlıklı toplam bulma fonksiyonunda; ağa gelen her girdi kendi ağırlığı ile çarpılarak toplanır ve ağa gelen net girdi hesaplanmış olur.

$$NET = \sum_i^n X_i W_i \quad (5.1)$$

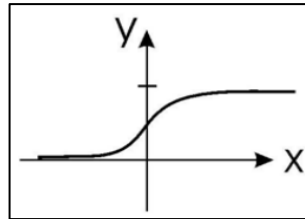
YSA'da tüm problemler için bu fonksiyonun kullanılması şartı yoktur. Deneme yanılma yoluyla seçilen toplama fonksiyonu tasarımcının öngörüsüne göre tercih edilir. Literatürde kullanılan bazı toplama fonksiyonu örnekleri Tablo 5.1'de gösterilmiştir.

Tablo 5.1: Toplama fonksiyonu örnekleri [54].

Toplam $Net = \sum_{i=1}^N X_i * W_i$	Ağırlık değerleri girdiler ile çarpılır ve bulunan değerler birbiri ile toplanarak Net girdi hesaplanır.
Çarpım $Net = \prod_{i=1}^N X_i * W_i$	Ağırlık değerleri girdiler ile çarpılır ve bulunan değerler birbiri ile çarpılarak Net girdi hesaplanır.
Maksimum $Net = \text{Max}(X_i * W_i)$	n adet girdi içinden ağırlıklar girdilerle çarpıldıktan sonra içlerinden en büyüğü net girdi olarak kabul edilir.
Minimum $Net = \text{Min}(X_i * W_i)$	n adet girdi içinden ağırlıklar girdilerle çarpıldıktan sonra içlerinden en küçüğü Net girdi olarak kabul edilir.
Çoğunluk $Net = \sum_{i=1}^N \text{Sgn}(X_i * W_i)$	n adet girdi içinden girdilerle ağırlıklar çarpıldıktan sonra pozitif ve negatif sayısı bulunur ve büyük olan hücrenin Net girdisi kabul edilir.
Kümülatif Toplam $Net = \text{Net}(\text{eski}) + \sum_{i=1}^N X_i * W_i$	Hücreye gelen bilgiler ağırlıklı olarak toplanır. Daha önce hücreye gelen bilgilere yeni hesaplanan girdi değerleri eklenerek hücrenin Net girdisi hesaplanır.

Aktivasyon Fonksiyonu: YSA'ya gelen girdilerin işlenmesi ile o girdilere ait çıktıların üretilmesini sağlayan fonksiyondur. Seçimi tasarımcıya bağlı olan birçok farklı aktivasyon fonksiyonu mevcuttur. Bunun yanında çok katmanlı algılayıcılar gibi bazı modeller fonksiyon seçimi için kendi kısıtlarını oluştururlar.

Çalışmamızda da kullanılan çok katmanlı algılayıcılarda genellikle sigmoid fonksiyonu kullanılmaktadır. Sigmoid fonksiyonun grafiksel gösterimi Şekil 5.3'te; formülü ise (5.2) belirtilmiştir.



Şekil 5.3: Sigmoid fonksiyonu.

$$F(\text{NET}) = \frac{1}{1+e^{-NET}} \quad (5.2)$$

YSA modeline ve tasarımcının tercihinine göre seçilebilecek olan aktivasyon fonksiyon türleri Tablo 5.2’de verilmiştir.

Tablo 5.2: Aktivasyon fonksiyon örnekleri [54].

Aktivasyon Fonksiyonu	Açıklama
Doğrusal Fonksiyon $f(\text{Net}) = \text{Net}$	Gelen girdiler olduğu gibi hücrenin çıkışı olarak kabul edilir.
Step Fonksiyonu $f(\text{Net}) = \begin{cases} 1 & \text{eğer Net} > \text{eşik değeri} \\ 0 & \text{eğer Net} \leq \text{eşik değeri} \end{cases}$	Gelen Net girdi değeri belirlenen bir eşik değerinin altında veya üstünde olmasına göre hücrenin çıkışı 1 veya 0 değerini alır.
Doyumlu Doğrusal Fonksiyon $f(\text{Net}) = \begin{cases} 1 & \text{eğer Net} > 1 \\ \text{Net} & \text{eğer } -1 < \text{Net} < 1 \\ -1 & \text{eğer Net} \leq -1 \end{cases}$	Gelen bilgilerin 0 veya 1’den büyük veya küçük olmasına göre 0 veya 1 değerini alır. 0 ve 1 arasında ise Net girdi çıkışa gönderilir.
Sinüs Fonksiyonu $F(\text{Net}) = \sin(\text{Net})$	Öğrenilmesi düşünülen olayların sinüs fonksiyonuna uygun dağılım gösterdiği durumlarda kullanılır.
Hiperbolik Tanjant Fonksiyonu $F(\text{Net}) = \frac{e^{\text{Net}} - e^{-\text{Net}}}{e^{\text{Net}} + e^{-\text{Net}}}$	Gelen Net girdi değeri tanjant fonksiyonundan geçirilerek hesaplanır.

Hücre Çıktısı: Yapay sinir hücresinin dış dünyaya ya da başka bir sinir hücresine ilettiği aktivasyon fonksiyonun çıktı değeridir.

5.1 Yapay Sinir Hücresinin Çalışma Prensibi

Şekil 5.2’de gösterilen yapay sinir hücresinde X_i ile gösterilen girdiler sinir hücresine geldiklerinde ilgili bağlantı ağırlıkları W_i ile çarpılır ve genellikle toplama fonksiyonu olan birleştirme fonksiyonu ile birleştirilerek nöronun net girdisi elde edilir. Elde edilen net girdi aktivasyon fonksiyonuyla işlenerek nöronun net çıktısı Y_i oluşturulur. YSA’ların öğrenme yetenekleri ağırlıkların (W_i) değiştirilmesi ile sağlanır ve elde edilen bilgilerde bu ağırlıklar tarafından depolanır.

Yapay sinir hücreleri için belli varsayımlar şu şekildedir [9];

1. Nöronlar bilgi işleme sürecinin meydana geldiği basit elemanlardır.
2. Nöronlar arasındaki bağlantılar ile sinyaller iletilir.
3. Nöronlar arasındaki her bağlantının bir ağırlık değeri vardır.
4. Her bir nöron için net çıktı net girdinin aktivasyon fonksiyonunda işlenmesinden sonra oluşur.

Tablo 5.3: YSA ve biyolojik sinir elemanlarının karşılaştırılması [55].

Biyolojik Sinir Sistemi	Yapay Sinir Sistemi
Hücre	Birim
Sinaps	Ağırlıklar
Dentrit	Toplama Fonksiyonu
Hücre Gövdesi	Transfer Fonksiyonu
Akson	Eleman çıkışı

5.2 Yapay Sinir Ağları Tarihçesi

YSA'lar konusunda ilk çalışmalar 19.yy sonları ve 20.yy başlarında yapılmıştır. YSA çalışmaları genel olarak tarihçesine bakıldığında 1970 öncesi ve sonrası şeklinde iki ayrı gruba ayrılabilir. Günümüze kadar YSA'ların tarihsel gelişimi Tablo 5.4'te verilmiştir.

Tablo 5.4: YSA tarihsel gelişimi [9,56].

Yıl	Çalışma
1880	İnsan beyni yapısı ve fonksiyonları ile ilgili ilk yazı yazıldı
1911	İnsan beyninin sinir hücrelerinden oluştuğu kabul edildi
1938	Rashevski, sinirsel alan teorisi olarak bilinen nörodinamik çalışmalarını başlattı
1943	McCulloch ve Pitts, biyolojik sinir hücresinin ilk yapay modelini gösterdi
1943	Yapay sinir hücrelerinin hesaplama teorisi ortaya atıldı
1948	Wiener, kontrol, iletişim ve istatistiksel sinyal işleme kavramlarını anlattığı kitabını yayınladı
1949	Hebb 'Davranış Organizasyonu' adlı kitabını yazdı
	Öğrenme prosedürü bilgisayarlar tarafından gerçekleştirilecek şekilde geliştirildi
1954	Minsky, 'Sinirsel-Analog Destekleyici Sistemler Teorisi ve Beyin-Model Problemlere Uygulanması' başlıklı doktora tezini yayınladı
	Gabor 'Gradient Descent' algoritmasını kullanan öğrenme süzgecini icat etti

Tablo 5.4 (devam): YSA tarihsel gelişimi [9,56].

1956	Öğrenme algoritmasını test eden ilk bilgisayar simülasyonu gerçekleştirildi
1958	Rosenblatt, McCulloch ve Pitts nöron modeli için perceptronları icat etti
1960	Widrow ve Hoff, ADALİNE (hata kareleri ortalamalarını minimize eden basit ağ yapısı)'ı tanıttı
1962	Çok katmanlı ağ yapıları eğitimi için geri yayılım hareket planı önerildi
1965	İlk makine öğrenmesi kitabı yayınlandı
1967	Kredi tayin problemleri için Amari, çok katmanlı ağ ağırlıklarının öğrenme kuralı belirlenmesinde kullanılacak matematiksel bir model geliştirdi.
1969	Basit algılayıcı modelin sınırları gösterildi
	Korelasyon matris belleği geliştirildi
1974	Geriye yayılım modeli geliştirildi
1978	ART modeli geliştirildi
1982	Çok katmanlı algılayıcılar geliştirildi
1984	Boltzman makinesi geliştirildi
1988	RBF modeli geliştirildi
1991	GNNN modeli geliştirildi

5.3 Yapay Sinir Ağlarının Özellikleri

Günümüzde birçok alanda yaygın şekilde kullanılan YSA'lar için doğrusal olmayan yapıları modelleyebilme, paralel dağılmış yapı, öğrenme ve genelleme yapma yeteneği, birçok farklı probleme uyarlanabilme ve hata toleransına sahip olma gibi ortak özellikler vardır. Bunun dışında kalan özellikler ise YSA karakteristiğine göre değişkenlik göstermektedir. Tüm YSA'lar için geçerli özellikler aşağıda kısaca açıklanmıştır.

Doğrusal Olmama

Yapay Sinir Hücresinin aktivasyon fonksiyonu seçilerek YSA'nın doğrusal ya da doğrusal olmayan problemleri çözebilecek bir şekil alması sağlanabilir. Bu özelliği sayesinde YSA günlük yaşamda karşılaşılan birçok probleme uyumludur ve bu YSA kullanımı için oldukça önemli bir tercih sebebidir.

Öğrenme

Bir makine öğrenmesi gerçekleştiren YSA'lar insan sinir sisteminin çalışma sistemini taklit eder. YSA ağının öğrenmesi incelenen probleme ait verileri

kullanarak veri yapısında bulunan saklı ilişkilerin ortaya çıkmasıdır. Probleme ilişkin olayları öğrenen YSA benzer problemlere karşı benzer kararlar verebilmektedir.

Genelleme

YSA genelleştirme yeteneği sayesinde olayları öğrenmesi için verilen örnekleri kullanarak farklı olaylar için anlamlı sonuçlar üretebilir. Tahmin, örüntü tanıma, sinyal işleme gibi birçok alanda genelleme özelliği sayesinde başarı elde eden YSA'nın genelleme yeteneğinin olmaması ağırlıklı olarak anlamsızlaşması olarak yorumlanabilir.

Uyarlanabilirlik

Belirli bir problem için eğitilen YSA, problem değiştiğinde yeni probleme göre revize edilerek yeniden eğitilebilir. Eğitimi yapılan YSA'lar yeni örneklerle karşılaştıklarında eksik bilgileri olsa bile sonuç üretebilirler.

Hata Toleransı

Paralel dağılmış Yapay Sinir Hücrelerinin bağlanmaları ile oluşan YSA'ların öğrenmesi bu bağlantı ağırlıklarının belirlenmesi ile şekillenmektedir. Ağırlıklı olarak eğitilmesi için kullanılan eğitim setinde herhangi bir yanlışlık olursa bu dağılan yapı ve ağırlık nedeniyle YSA'nın tamamına bu yanlışlık dağılır. Bu sayede meydana gelen yanlışlık tüm ağırlıklara dağıtılarak etkisi azalmış dolayısıyla YSA hata toleransı artmıştır.

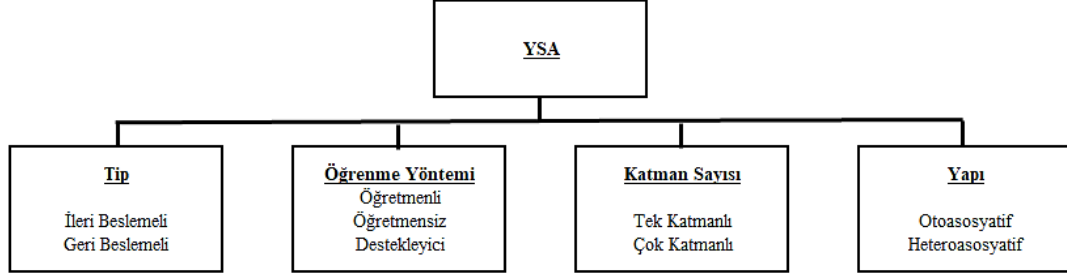
Bütün bu özelliklere ek olarak bütün YSA'lar için geçerli aşağıdaki niteliklerden de bahsedilebilir [54];

- YSA'lar bilgileri ağırlıklı olarak depolar ve bu bilgilerin açığa çıkarılıp yorumlanması oldukça zordur.
- Tüm YSA'ların güvenle çalışması için öncesinde örneklerin ağırlıklı olarak tek tek verilip örnekler arasındaki ilişkiyi çözerek eğitilmesi ve performansının test edilmiş olması gerekmektedir.
- YSA'lar dağınık bir belleğe sahip oldukları için ağırlıklı olarak bilgilerini hücrelerin birbirleri ile bağlantılarının değerleri oluşturur yani bir bağlantı tek başına anlamsızdır.
- Tüm YSA'lar sembolik ifadeler yerine sadece sayısal bilgilerle çalışırlar.

5.4 Yapay Sinir Ağı Türleri

YSA'lar birçok farklı şekilde sınıflandırmaya tabi tutulabilirler. Genel olarak YSA tipleri, öğrenme yöntemi, katman sayısı ve yapılarına göre ayrılabilir [9].

Tablo 5.5: YSA'ların sınıflandırılması.



YSA'lar bağlantı yapılarının tipine göre ileri beslemeli ve geri beslemeli olarak ikiye ayrılırlar. Verilerin girdi birimlerden çıktı birimlerine ileri doğru aktığı YSA'lar ileri beslemeli olarak adlandırılırken; veri akışının sadece ileri doğru değil geriye doğru da olduğu ağlar geri beslemeli olarak adlandırılır.

Öğrenme yöntemlerine göre bir sınıflandırma yapıldığında YSA'lar 3 ayrı başlıkta incelenebilir. Ağ eğitimi için çıktılar istenen değerleri ağa tanıtılabiliyorsa bu tip ağlar öğretmenli; ağ eğitiminde çıktılar istenen değerleri ağa tanıtılamıyorsa bu tip ağlar öğretmensiz ağlar olarak isimlendirilir. Ağ eğitiminin bir öğretmenin girdi vektörüne karşı ürettiği sinyaller ile sağlandığı ağlar ise destekleyici öğrenmeye sahip ağlardır.

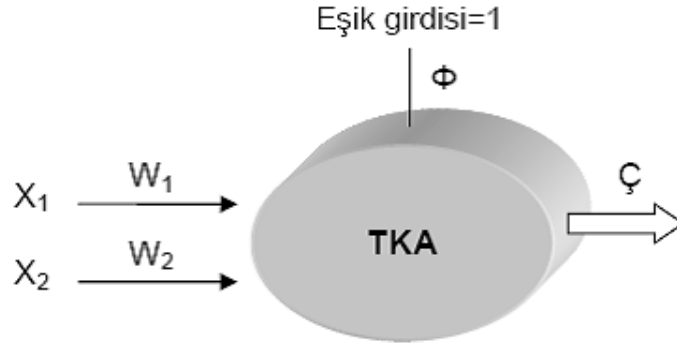
Katman sayısına göre YSA'lar tek katmanlı ve çok katmanlı olarak ikiye ayrılır. Katman adı verilen kavram benzer özellikleri gösteren yapay sinir hücrelerinin oluşturduğu yapıdır ve girdi sinir hücreleri girdi katmanını oluştururken çıktı katmanı çıktı sinir hücrelerinden oluşur. YSA yapısında tek bir katman bulundursa tek katmanlı, birden fazla katman bulundursa çok katmanlı olarak adlandırılır.

Son olarak yapısal sınıflandırma yapıldığında YSA'lar iki grupta incelenir. Girdi ve çıktı nöronlarının aynı olduğu ağlar otoasosyatif ağ olarak isimlendirilirken; farklı girdi ve çıktı nöronları bulunan ağlar heteroasosyatif ağlar olarak isimlendirilir.

5.4.1 Tek Katmanlı Algılayıcılar

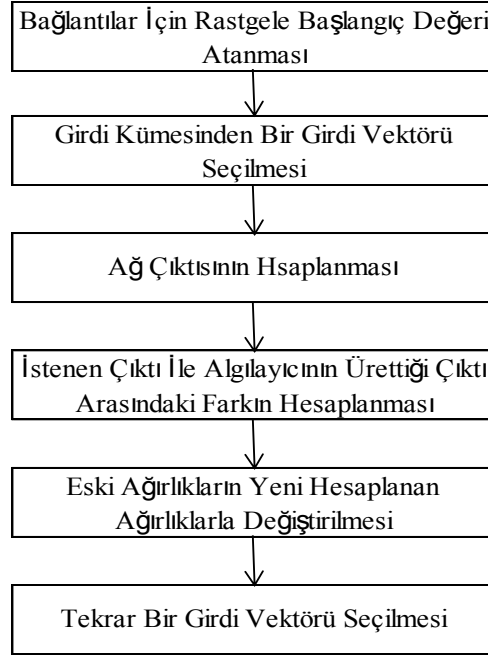
Sadece girdi ve çıktı katmanından oluşan YSA'lara tek katmanlı algılayıcılar denir. Bu yapıda her ağın bir veya birden fazla girdi ve çıktısı vardır. Tüm çıktı üniteleri girdi ünitelerine farklı ağırlıklarla bağlıdır. Bu ağırlıklar nöron için girdi kombinasyonuna nasıl tepki verileceğini belirleyen kilit yapılarıdır.

İki girdi bir çıktıdan oluşan en basit şekliyle tek katmanlı algılayıcı yapısı Şekil 5.4'te gösterilmiştir. Tek katmanlı algılayıcılar için perceptron ve ADALINE/MADALINE ünitesi olmak üzere iki önemli yapı vardır. Perceptronlar birden fazla girdi ile tek bir çıktı oluşturan yapılarıdır. ADALINE (Adaptive Linear Neuron) yapısı ise çıktıları en küçük ortalamaların karesi yöntemine dayanarak üretir. MADALINE yapısı birden fazla ADALINE yapısının bir araya gelmesi ile oluşan yapılarıdır [54].



Şekil 5.4: Tek katmanlı algılayıcı yapısı [54].

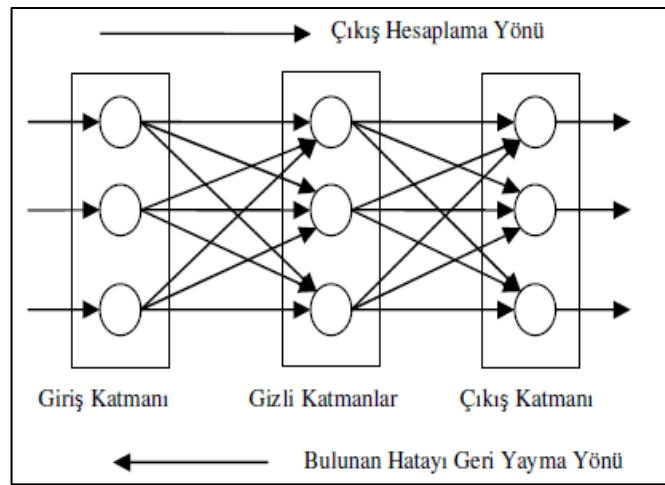
Tek katmanlı algılayıcılar için öğrenme algoritması Şekil 5.5'de belirtildiği gibidir. Ağırlıklı girdi değerlerinin eşik değeri ile toplanması sonucu ağ çıktısı elde edilir. Buradaki eşik değerinin girdisi daima 1'dir ve bu sayede ağ çıktısı ve proses elemanlarının 0 olmasını engeller [9,54].



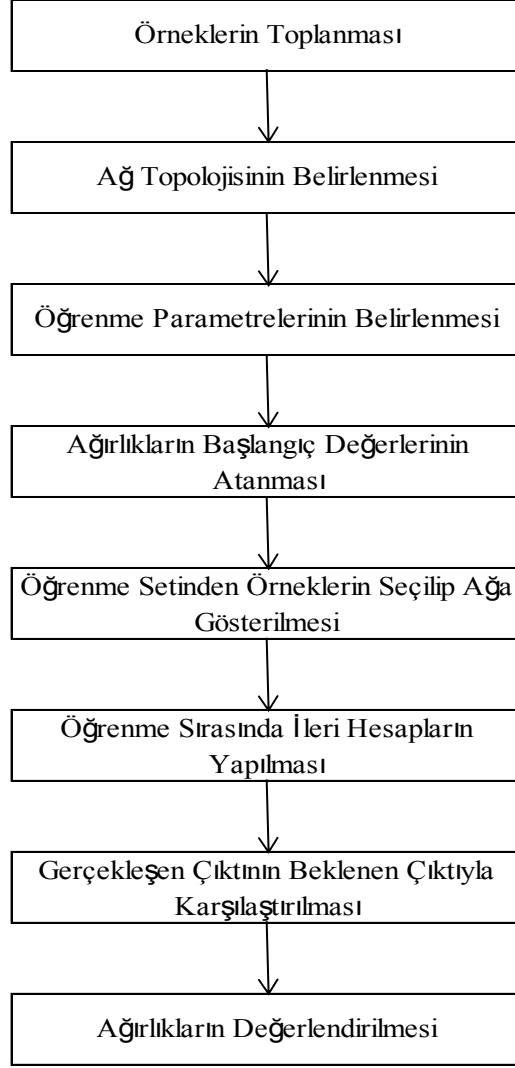
Şekil 5.5: Tek katmanlı algılayıcı öğrenme algoritması [9].

5.4.2 Çok Katmanlı Algılayıcılar

Tahmin modellerinde sıklıkla kullanılan çok katmanlı algılayıcılar, girdi katmanı, çıktı katmanı ve bu iki katman arasında 1 ya da birden fazla katmandan oluşur. İleri beslemeli yapıya sahip olan ağ öğrenme algoritması olarak geri yayılım öğrenme algoritmasını kullanmaktadır [9].



Şekil 5.6: Çok katmanlı algılayıcı yapısı.



Şekil 5.7: Çok katmanlı algılayıcı çalışma prosedürü [54].

Şekil 5.7’de çalışma prosedürü verilen çok katmanlı algılayıcı için geri yayılım algoritması ile eğitim 3 aşamada gerçekleşir. İlk olarak ağa verilen girdi, girdi katmanından çıktı katmanına doğru ilerler; çıktı katmanına ulaşan girdinin çıktı birimlerinde hataları hesaplanır ve geriye doğru yayılır, son olarak geriye doğru yayılan hatalara göre ağırlıklar değiştirilerek eğitim tamamlanır. Bu eğitim ağı ürettiği çıktılar ile beklenen çıktılar arasındaki hatalar kabul edilir düzeye gelene kadar devam eder. Üretilen hataların belli bir düzeyin altına düşmesi ağı durdurulması için bir kriter oluşturmaktadır. Eğitimi tamamlanan çok katmanlı algılayıcı ileri doğru çalışır ve eğitilmiş ağ yeni girdiler için oldukça hızlı şekilde çözüm üretir [9,54].

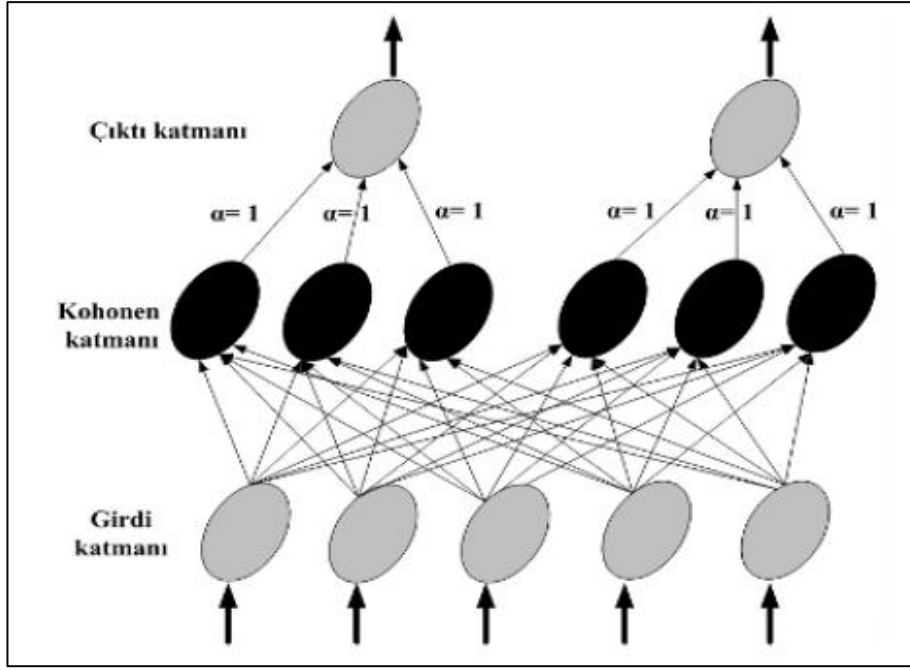
Çok katmanlı algılayıcı yapısına sahip YSA'ların başarı durumunu bağlantı ağırlıklarının başlangıç değerleri, ağ eğitim süresi, eğitim kümesinin büyüklüğü, ağırlık değiştirme sıklığı ve öğrenme parametreleri etkiler [9].

Aritmetiksel ve mantıksal fonksiyonları çözmek için geliştirilen fakat bu konuda başarı sağlayamayan tek katmanlı algılayıcılar, doğrusal fonksiyonları çözebilmektedirler. Tek katmandan oluşan bir algılayıcı doğrusal olmayan fonksiyonlar için yetersiz kalmaktadır. Tek katmanlı algılayıcıların karşılaştıkları bu sorun giriş ve çıkış katmanı arasında gizli katmanlara sahip olan ileri beslemeli çok katmanlı algılayıcılar geliştirilerek ortadan kaldırılmıştır.

5.4.3 LVQ (Linear Vektor Quantization) Modeli

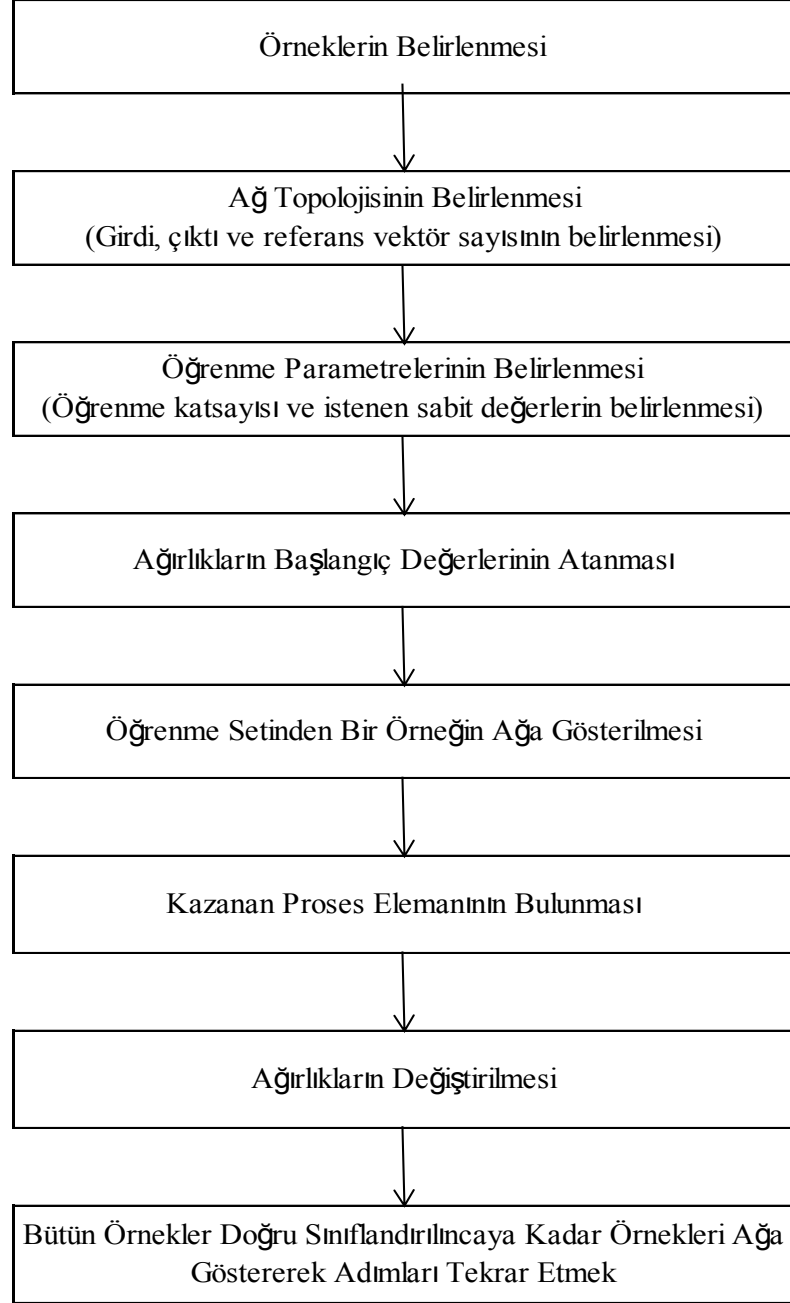
Yapay sinir ağına çıktının ne olduğu verilemediği fakat ağ tarafından üretilen çıktının doğru veya yanlış olduğunun belirtilebildiği durumlarda, doğrusal vektör parçalama modeli de denilebilen LVQ ağ modeli kullanılmaktadır.

Destekli öğrenme stratejisini kullanan bu model genel olarak sınıflandırma problemlerinin çözümü için kullanılmaktadır. Girdi vektörünün hangi vektör seti ile temsil edilmesi gerektiğinin belirlenmesi ağın öğrenmesini ifade eder. Ağ tarafından üretilen çıktılar sadece 0 ya da 1 değerlerini alabilirler. Ağ sonucunun 1 olması durumunda verilen girdi çıktının temsil ettiği sınıfa aittir. LVQ modeli Çok Katmanlı Algılayıcı yapısında olduğu gibi 3 farklı katmandan oluşur. Şekil 5.8'de belirtildiği gibi bu katmanlar girdi, kohonen ve çıktı katmanlarıdır. Dış dünyadan alınan bilgilerin ağa iletildiği girdi katmanında bilgi işleme faaliyeti olmaz. Bu katmana gelen bilgiler girdi vektörünü oluşturmaktadır ve katmanın her proses elemanı kohonen katmanındaki her proses elemanı ile ilişkilidir. Ara katmanda denilebilen kohonen katmanında ise girdi setine en yakın olan ağırlık vektörü belirlenir. Bu katmandaki her bir proses elemanı bir referans vektörünü göstermektedir ve referans vektöründeki eleman sayısı girdi katmanındaki eleman sayısına eşittir. Girdi değerleri ise girdi katmanı ve kohonen katmanındaki proses elemanlarının birbirleriyle olan bağlantıların ağırlık değerlerinden oluşmaktadır [54,57].



Şekil 5.8: LVQ ağ yapısı [54].

Temel işlevi öğrenme yolu ile vektör seti şeklinde ifade edilen girdi vektörlerinin üyesine karşılık gelecek vektör sınıfını oluşturmak olan LVQ ağının çalışma prosedürü Şekil 5.9'da gösterildiği gibidir.

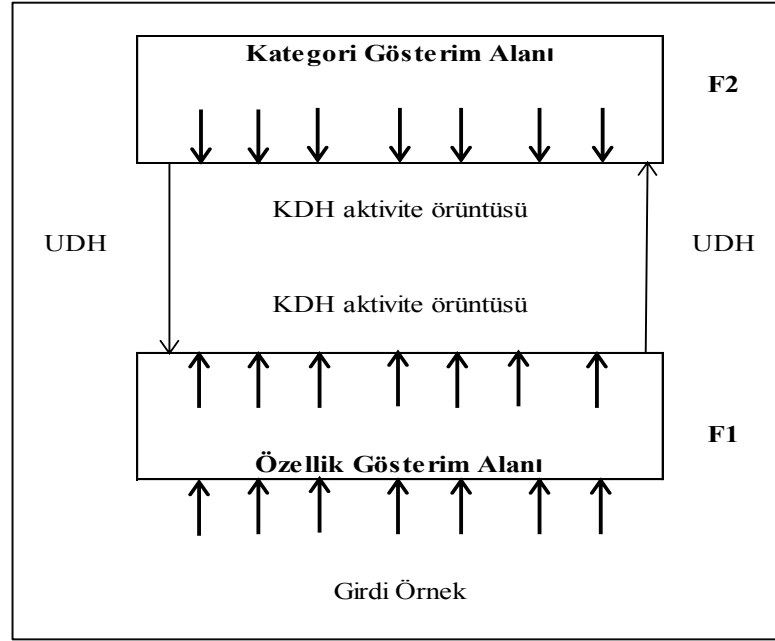


Şekil 5.9: LVQ çalışma prosedürü [54].

5.4.4 ART (Adaptive Resonance Theory) Ağları

Sınıflandırma problemleri için kullanılan ART ağlarında öğrenme, doğru bilgilerin belirlenerek hafızaya alınmasıdır. Sınıflandırma için kullanılan LVQ modelinden farkı ise ağa sınıflandırma ile ilgili herhangi bir bilginin verilmeden ağı sınıflandırma işlemini kendi başına yapmasıdır. ART ağları kendisine verilen örneklerden bilgiler öğrenir ve sonrasında karşılaştığı görülmemiş örnekler hakkında yorumlar üretebilir. ART ağları bilgileri geçici olarak tutmak isterse kısa dönemli

hafızayı kullanırken; sürekli tutmak istediği bilgileri uzun dönemli hafızayı kullanarak saklamaktadır. Şekil 5.10'da yapısı verilen ART ağlarının en temel 3 özelliği normalizasyon, ayrıştırma ve ayrıntıları saklayabilme yeteneği olan kısa dönemli hafızadır [54].



Şekil 5.10: ART ağının genel yapısı [54].

Birçok farklı problem için farklı yapılarda YSA'lar mevcuttur. Konuşma anlama ve ses tanıma gibi problemlerde yaygın şekilde kullanılan ve ağın proses elemanlarının oluşturduğu çıktılarını aynı ağa gönderilerek girdi olarak kullanıldığı Geri Dönüşümlü Ağlar; veri ilişkilendirme amacıyla kullanılan ve proses elemanlarının tamamının aynı zamanda hem girdi hem çıktı elemanları olduğu Hopfield ağları bunlara örnek verilebilir.

5.5 Yapay Sinir Ağları Kullanım Alanları

Gerçek hayatta karşılaşılan doğrusal olmayan çoğu problemin çözümünde bilgi sınıflandırma, yorumlama ve bu bilgiyi işleyerek analiz edebilen YSA'lar etkin şekilde kullanılmıştır. İş hayatı, finans, endüstri, eğitim gibi karmaşık problemleri olan alanlarda efektif çözümler sunan YSA'ların kullanıldığı bazı alanları şu şekilde sıralayabiliriz [8];

- Optik karakter tanıma ve çek okuma
- Kredi müracaatlarını değerlendirme
- Kredi kartı hilelerini saptama
- Zeki araç ve robotların optimum rotalarının belirlenmesi
- Robot hareket mekanizmalarının kontrol edilmesi
- Güvenlik sistemleri için konuşma ve parmak izi tanımlama
- İletişim kanallarındaki geçersiz ekoların filtrelenmesi
- İletişim kanallarındaki trafik yoğunluğunu kontrol etme ve anahtarlama
- Kalite kontrolü
- İş çizelgeleme ve iş sıralama
- Üretim planlama ve çizelgeleme
- Kan hücreleri reaksiyonları ve kan analizlerini sınıflandırma
- Kanseri saptanması, kalp krizi tedavisi
- Beyin modellenmesi çalışmaları

Kaya vd. (2005) yaptıkları çalışmalarında literatürde proses kontrol alanında, kontrol diyagramlarında ve diğer kalite kontrol uygulamalarında YSA'nın olduğunu belirlemişlerdir [2]. Tablo 5.6'da gösterildiği gibi YSA uygulamaları çeşitli amaçlar için farklı alanlarda kullanılmıştır.

Tablo 5.6: YSA kullanım alanları [2].

GENEL KAPSAM	UYGULAMA ALANI	ALT ALAN
Kalite Kontrol Uygulamaları ve YSA	Deney Tasarımı	
	Online Kalite Kontrol Kabul Örnekleme HMEA Diğer Kalite Problemleri	
Kontrol Diyagramları ve YSA	Kontrol Diyagramları	İzleme Desen Tanıma Oluşturma Yorumlama
		Tahmin Sınıflandırma Veri Sıkıştırma

Tablo 5.6 (devam): YSA kullanım alanları [2].

Proses Kontrolü ve YSA	Proses Kontrolü	Parametre Tasarımı
		Parametre Tahmini
		Parametre Belirleme
		Proses Modelleme
		Proses Değerlendirme
		Veri Sınıflandırma
Proses Kontrolü ve YSA	Proses Kontrolü	Veri Modelleme
		Veri Analizi
		Kalite Tahmini
		Model Formüle Etme
		Hesaplama Problemi
		Otomatik Kontrol
Proses Kontrolü ve YSA	Proses Kontrolü	Durum Tahmini
		Hata Bulma
		Desen Tanıma

Yapılan çalışmalar incelendiğinde YSA'lar ile ilgili olarak aşağıdaki sonuçlara ulaşılabılır [2];

- Kalite problemleri için YSA'lar başarılı bir şekilde uygulanmıştır,
- YSA'lar ile elde edilen sonuçların doğruluk düzeyi yüksektir,
- YSA'lar zaman faktörü açısından işletmeye pek çok kazanım sağlar,
- YSA kullanımını maliyetleri minimize etmeye de yardımcıdır,
- Bir problem çözümü için tek bir yapay zeka tekniği kullanmak yerine, iki veya daha fazla yapay zeka tekniğinin birlikte kullanılması daha yararlıdır.

Öğrenme yetenekleri, uyarlanabilme, herhangi bir matematiksel modele ihtiyaç duymama, eksik/ normal olamayan/ belirsiz bilgileri işleme gücü, uygun maliyet ve zaman koşulları altında en uygun çözümü sunmaları, kural tabanı gerektirmemeleri ve farklı öğrenme algoritmaları kullanılabilmeleri YSA'ların büyük avantajları arasındadır.

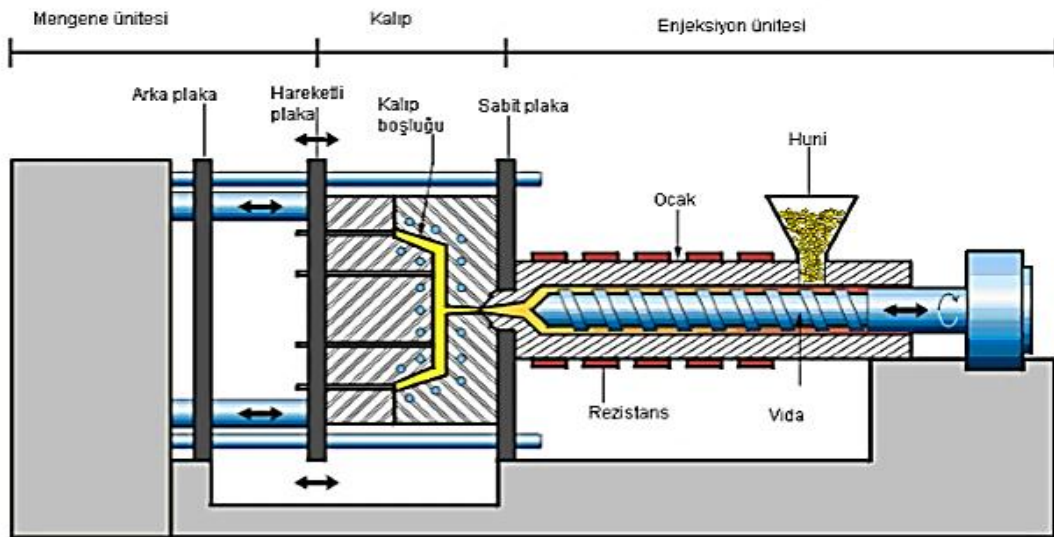
Birçok farklı problem çözümünde başarılı sonuçlar vermesine rağmen YSA'ların da bazı dezavantajları bulunmaktadır. En önemli dezavantajlarından bir tanesi resmi sistematik bir model oluşturma yaklaşımının olmamasıdır. Probleme uygun ağ yapısı deneme yanılma yolu ile belirlenir. Ağlarda parametre değerlerinin

belirlenmesinde belirli bir kural yoktur. Ağ eğitiminin ne zaman bitirileceğine karar vermek için bir yöntem yoktur ve oluşturulan ağın davranışlarını açıklamak mümkün değildir.

6. PLASTİK ENJEKSİYON

İnsanoğlu yaradılıştan bu yana ihtiyaçları doğrultusunda kullanabileceği ürünleri üretmeye çalışmış ve bu ürünlerin üretimi için yeni yeni malzeme bulma çalışmaları hep devam etmiştir. Bu noktada plastik malzemeler günümüzde en yaygın kullanıma sahip malzemeler arasında karşımıza çıkmaktadır. Gündelik yaşamdan uçak sanayine, tıp, otomotiv gibi birçok alanda plastik malzemelerin kullanıldığı görülmektedir. Plastik malzemelerin bu kadar yaygın kullanılması, içinde bulunan özel katkı malzemeleri ile kullanım yerine göre istenilen biçimlerde kolaylıkla üretilmesi, kolay şekil alabilmesi, izolasyon gücü, temizliğinin kolaylığı ve tekrar tekrar kullanılabilme özellikleri kazanması sayesinde gerçekleşmiştir.

Plastik parçaların üretilmesinde kullanılan en önemli yöntemlerden birisi olan plastik enjeksiyon yöntemi, plastik endüstrisindeki hızlı gelişmeler ile büyük bir ilerleme sağlanmış, bu ilerleme sadece ürün üretimi ile sınırlı kalmamış, ürün tasarımından malzeme ve makina seçimine kadar her alanda kendini göstermiştir [58].



Şekil 6.1: Enjeksiyon makinesi bölümleri [59].

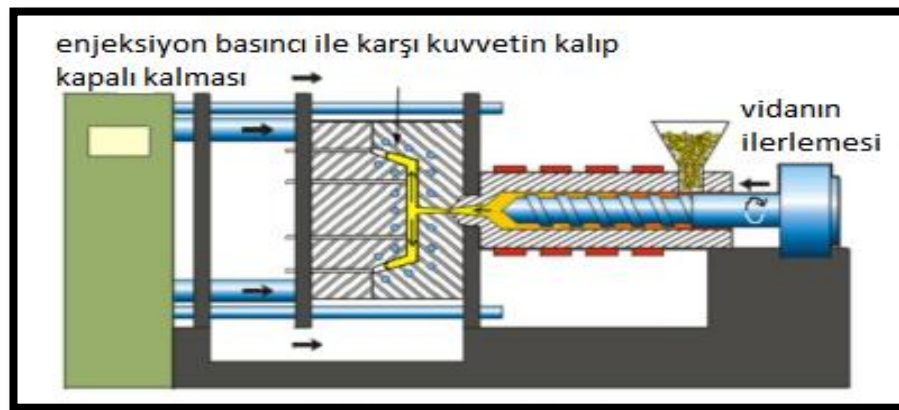
6.1 Enjeksiyon Prosesi

Enjeksiyon prosesi kalıplanacak plastik malzemenin homojen olarak kalıplama sıcaklığına kadar ısıtılıp ve piston yardımı ile meme ve yolluk sisteminden geçirilerek ısıtılmış kalıp boşluğuna basınçla enjekte edilme sürecidir. Toz veya granül halinde bulunan plastik malzemeyi ısıtıp, masterbatch gibi diğer katkı maddelerini homojen şekilde karıştırarak istenen şekilde ürün üretilmesini sağlayan enjeksiyonla kalıplama yöntemi tüm plastik malzemelere uygulanabilir [60].

Ürün kalitesi üzerinde malzeme özelliklerinin ve ürün geometrisinin etkisi olduğu gibi enjeksiyon prosesinin de önemli etkisi vardır. Enjeksiyon prosesi çeşitli aşamalardan oluşur ve her aşamanın ürün üzerindeki etkisi farklıdır. Meydana gelen çeşitli hataların prosese olan etkileri azaltılarak istenen kalitede ürün elde edilebilir [59].

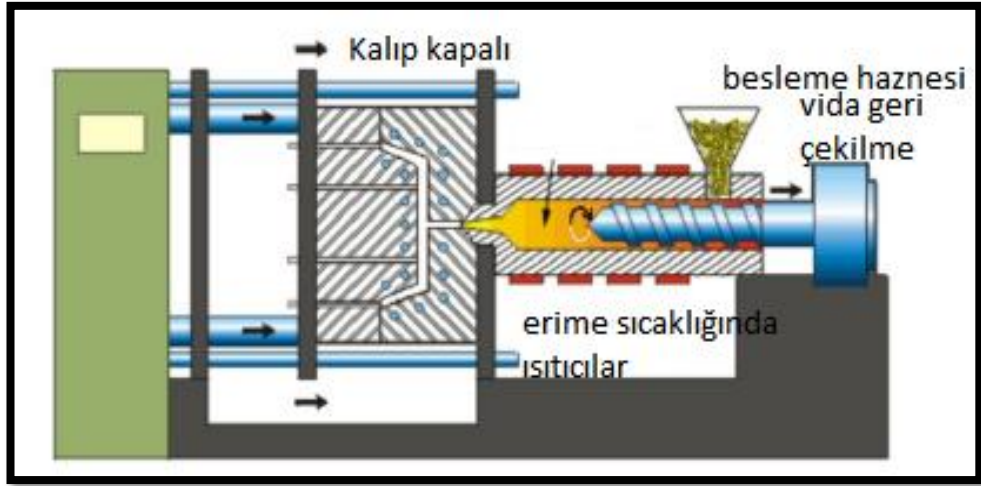
Şekil 6.1’de gösterilen makinelerde yapılan enjeksiyon prosesinin birbirinden keskin çizgilerle ayrılamayan aşamaları aşağıdaki gibi ifade edilebilir [59]:

1. Plastikasyonun başlaması: Bu aşamada plastik hammadde malzeme hunisinden kovanın içine vida dönüşü ile alınır. Aynı zamanda erimeye başlayan malzeme kovana alınan malzeme sayesinde ileri, meme boşluğuna doğru itilir. Bu işlem sırasında vida eksen hizasında dönerek geriye doğru hareket eder.



Şekil 6.2: Vidanın ilerlemesi [59].

2. Plastikasyonun bitmesi: Memede enjeksiyon yapacak kadar eriyik hammaddenin bulunduğu bu aşamada vidanın dönmesi durur.
3. Kalıbın kapanması: Kalıp yarımları mengene sayesinde tam olarak üst üste gelecek şekilde sıkıca kapatılır.
4. Enjeksiyon grubunun ileri gitmesi: Enjeksiyon memesi ile kalıp yolluk elemanlarının yüzeyleri oturuncaya kadar enjeksiyon grubu ileri doğru hareket eder.
5. Enjeksiyonun başlaması: Bu aşamada eriyik hammadde eksen hizasında dönmeyen ileri hareket eden vida sayesinde kalıp boşluğuna itilir yani enjekte edilmiş olur.
6. Enjeksiyonun bitmesi: Eriyik hammaddenin kalıp boşluklarını tam olarak doldurduğu bu aşamada kalıba enjekte edilen eriyik hammadde daha düşük sıcaklıktaki kalıba temas eder etmez soğumaya başlar ve çökme yapar yani büzülür. Ütülme ya da tutma basıncı safhası adı verilen bu aşamada çökmeyi engellemek için biraz daha eriyik hammadde kalıba gönderilir.

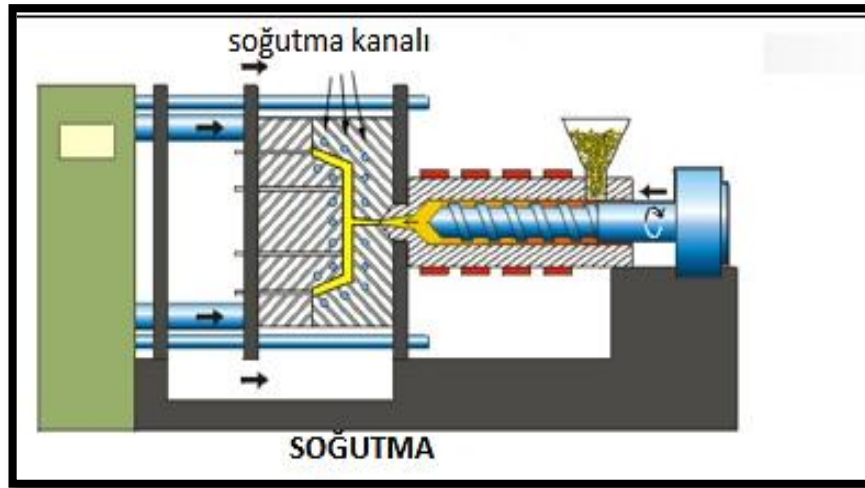


Şekil 6.3: Vidanın geri yönde hareketi [59].

Yani toplam enjeksiyon işlemi normal enjeksiyon ve ütülme şeklinde iki safhadan meydana gelir denilebilir.

- Normal enjeksiyon: Kalıba eriyik hammaddenin belli bir basınç ve değişik hızlarla enjekte edildiği aşamadır.

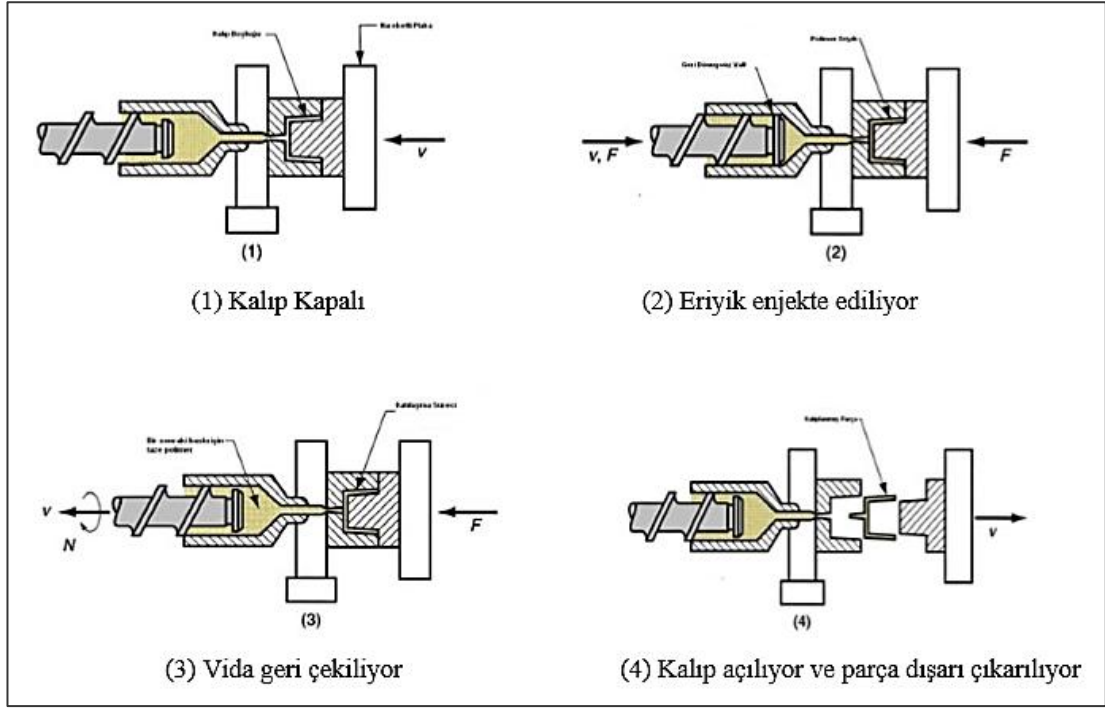
- **Ütüleme işlemi:** Kalıpta olan malzemenin çökmesini ve çapaklanmasını engellemek için bir konumdan itibaren malzemeye birden çok farklı değerlerde basınç uygulandığı ve belli bir hızla enjeksiyon işleminin devam ettiği aşamadır.
7. **Soğuma:** Bu aşama kalıba dolan eriyik hammaddenin kendisinden daha soğuk olan kalıp duvarına değerek soğur yani enjeksiyon işlemi başlar başlamaz meydana gelir. Üretilen malzemenin, kalıptan deformasyona uğramadan çıkarılabilmesi için tutma basınçları aşamasından sonra da bir müddet daha soğumaya devam etmesi gerekmektedir. Soğuma süreci başlaması ile birlikte ikinci çevrim için plastikasyon aşaması da başlar. Üretime uygun bir makine ile plastikasyon aşaması daha ürünün soğuması işlemi bitmeden sona erer. Bu noktada hangi aşamanın daha önce biteceği, ürünün et kalınlığına ve plastikasyona uğrayan malzemenin miktarına bağlı olarak değişir. Makine plastikasyon performansına bağlı olarak çevrim süresi değişkenlik gösterir.



Şekil 6.4: Soğuma aşaması [59].

8. **Ürünün kalıptan dışarı atılması:** Kalıplanan malzeme yeterli sıcaklığa ulaştığında kalıp açılır ve ürün, itici denem sistem yardımıyla kalıptan dışarı atılır.

Genel olarak bir enjeksiyon prosesini kısaca Şekil 6.5'te gösterildiği gibi özetlemek mümkündür.



Şekil 6.5: Enjeksiyon süreci [25].

6.2 Ürün Kalitesine Etki Eden Makine Kontrol Parametreleri

Plastik enjeksiyon kalıplama, karmaşık geometrileri tek bir üretim aşaması ile elde etme imkanı sağlar ve bu nedenle seri üretim ürünleri için oldukça uygun bir yöntemdir. Fakat işlemler için optimum koşulların belirlenmesi zordur. Optimal düzeyde belirlenemeyen işlem koşulları parçalarda büzülme, çekme, çarpılma gibi kalitesel kusurlara neden olabilir [30].

Ürün kalitesine etki eden makine kontrol parametreleri plastik enjeksiyon için 9 maddeden oluşmaktadır. Bunlar şu aşağıdaki gibi açıklanabilir:

Enjeksiyon Zamanı

Enjeksiyon zamanı, kalıba malzemenin dolmaya başladığı anla tutma basınçlarının uygulanmaya başladığı an arasındaki aşamayı ifade etmektedir. Diğer işlem parametrelerinde de olduğu gibi bu aşamada da hız parçaya göre ayarlanarak

kontrollü şekilde gerçekleştirilir. Genelde enjeksiyon düşük hızla başlar, çevrim süresini kısaltmak için hız artırılır ve kalıp boşluğu tam dolmadan hız tekrar azaltılır. Başlarken ve biterken enjeksiyon yapılan hızların düşük tutulması ile kalıba herhangi bir zarar gelmesi önlenir. Her malzeme, makine ve ürün/kalıp için optimal enjeksiyon zaman aralıkları vardır ve işletme finansı açısından bu zaman oldukça önemlidir [60].

Enjeksiyon zamanının çok kısa tutulması birim zamanda daha büyük miktarda hacim akışı gerektirdiği için; çok uzun tutulması ise, kalıp duvarına yakın eriyiğin katılaşmaya başlamasından dolayı serbest kanal kesit alanını azalttığı için yüksek basınç kayıplarına neden olur. Dolayısıyla minimum basınç kaybı olacak şekilde enjeksiyon zamanının ayarlanması gerekir. Enjeksiyon zamanı kısa tutulursa, malzeme akış yolunun sonundaki (uç noktasındaki) sıcaklık, malzemenin ilerleyişi sırasında meydana gelen iç sürtünmeden dolayı enjeksiyon sıcaklığından daha yüksek olur yani kalıp boşluğunda akan malzemenin maruz kaldığı sürtünme, sıcaklığını artırır. Tam aksine enjeksiyon zamanı uzun tutulursa akış çizgisinin uç noktasının sıcaklığı enjeksiyon sıcaklığından düşük olabilir. Kalıp içindeki malzemenin ortalama sıcaklığının kalıbın her tarafında sabit tutulması ürünün boyutsal kararlılığı açısından önemli olduğundan enjeksiyon zamanının buna göre doğru olarak belirlenmesi gerekmektedir [60].

Enjeksiyon Hızı

Kalıp doldurma anında ayarlanabilen enjeksiyon hızı, vidanın piston mantığı ile hareket edip kalıbı doldurması için geçen süre olarak tanımlanabilir. Enjeksiyon hızı parçanın istenen kalite düzeyinde üretilebilmesi için parça yapısına göre yüksek ya da düşük olarak ayarlanmaktadır. Yüksek enjeksiyon hızı ince kısımları olan parçalarda plastik donmadan kalıbın dolmasını sağlamak için kullanılırken; düşük enjeksiyon hızı da kalın kısımları olan parçalarda daha iyi yüzey kalitesi elde etmek için kullanılmaktadır [58].

Enjeksiyon Basıncı

Kalıbın yüksek hızla doldurulması için yüksek basınca ihtiyaç duyulur fakat kalıp dolduktan sonra böyle bir yüksek basınç ihtiyacı kalmaz. Asetal, naylon gibi bazı yarı kristal malzemelerin baskısı dışında birçok baskıda yüksek olan ilk basıncı

ütüleme basıncı adı verilen düşük ikinci basınç takip eder. Yarı kristal termoplastiklerde ani basınç değişiklikleri yapıda deformasyona neden olacağı için ütüleme basıncı tercih edilmeyebilir [58].

Ütüleme Basıncı ve Zamanı

Parça ağırlığı, boyutsal hassasiyet ve iç yapı gibi parçayla ilgili birçok özelliğe etki eden ütüleme basıncı enjeksiyon basıncının hemen ardından, kalıpla enjeksiyon memesi temas halindeyken uygulanır. Bu noktada soğuk kalıp duvarına değen erimiş plastik malzemenin hemen büzülmemesi için eriyik malzeme farklı basınç değerlerinde enjekte edilmeye devam eder [25].

Ütüleme zamanı ütüleme basıncının uygulandığı zaman dilimidir ve ürün kalitesi ütüleme zamanı ile doğru orantılıdır [25]. Ütüleme basıncı malzemede termal büzülme (çekme)den dolayı meydana gelmesi muhtemel hava boşluğu ve kanal izlerine, kasılma ve yamulmalara (çarpıklıklara) engel olabileceği için ütüleme basıncı uygulanan ütüleme zamanı da doğru şekilde ayarlanmalıdır.

Eriyik Sıcaklığı

Enjeksiyon makinasında besleme haznesinde yer alan sert plastik granüller enjeksiyon ünitesindeki vida yardımıyla içeri alınarak bu granüllere, ocak duvarlarından ısı verilir. Vidanın dönmesi de ilave bir ısı sağlanarak ve plastik malzeme ısınır. Ocak duvarları ve vida dönme hızıyla elde edilen ısı parça yüzey görünümü üzerinde büyük etkiye sahip olan eriyik ısını oluşturur. Eriyik sıcaklığı da ütüleme basıncı gibi ürün kalitesi ile doğru orantılıdır. Eriyik sıcaklığı düşük olan malzemeler parçanın erken soğumasına sebep olduğu için istenen kalite düzeyine çıkılmasını engellerken; yüksek eriyik sıcaklığı kalıp içerisinde parçanın geç soğumasını sağlayarak kalitenin artmasına katkıda bulunur [25].

Kullanılan çoğu malzeme için uygun sıcaklık aralıkları üreticiler tarafından belirtilir. Kalıp sıcaklığı ve yüzey parlaklığı eriyik sıcaklığı ne kadar yüksekse o kadar fazla olur. Çoğu üretici, materyallerin her biri için uygun bir sıcaklık aralığını belirtir. Genellikle eriyik sıcaklığı ne kadar yüksek olursa, kalıp sıcaklığı o kadar yüksek ve yüzey parlaklığı o derece iyi olur. İyi kalitede ürün elde etmek için eriyik sıcaklığını çok fazla artırmak parçalarda çukurlukların meydana gelmesine neden olabilirken düşük sıcaklıkta parça ağırlığının düşük olmasına neden olur. Bu nedenle

malzeme için tavsiye edilen aralıklardaki sıcaklık değerlerinin takip edilmesi en uygun tercihtir [25].

Kalıp Sıcaklığı

Parça kalitesi, işlem ekonomikliğı ve boyut hassasiyeti için oldukça önemli olan kalıp cidar sıcaklığı, kalıp sıcaklığı olarak kabul edilmekte ve mevzii sıcaklık değışimleri dikkate alınmamaktadır [60].

Sıcak Yolluklar ve Sıcaklıkları

Önemli ölçüde enerji, malzeme, işçilik kazançları gibi birçok kazanç sağlayan sıcak yolluk sistemleri, enjeksiyon silindirinden kalıp gözüne kadar eriyik malzemenin sıcaklık ve basınç kaybına uğramadan iletilmesini sağlar [25].

Mengene Ünitesi ve Basıncı

Enjeksiyon sırasında yüksek basınçta plastik enjekte edilirken ve ütüleme basıncı uygulanırken kalıbın kapalı konumda tutulması mengene sayesinde olur. Kapalı konumda durması beklenen kalıbın açılması halinde parça da çapaklar meydana gelebilir [60].

İtici ve Sıyırıcı Sistemler

Kalıp içinde soğuyan plastik ürün kalıp boşluğunda soğuduktan ve kalıp açıldıktan sonra ürünün kalıptan çıkarılması itici ve sıyırıcı sistemler sayesinde yapılır. Ürün yapısına göre ürünü kalıptan çıkarmak için itici kullanmak yerine elle veya robot sayesinde ürünü kalıptan çıkarmak faydalı olabilir [25].

6.3 Plastik Enjeksiyonla İmal Edilen Parçalardaki Hatalar ve Önlenmesi

Plastik enjeksiyon kalıplama işlemleri için optimum koşulların belirlenmesinin zorluğu parçalarda büzülme, çekme, çarpılma gibi kalitesel kusurlara neden olabilir. Bu bölümde kalitesel kusurlar hata aileleri şeklinde gruplandırılarak önlenmesi için yapılacak çalışmalar kısaca açıklanmıştır [59].

Tablo 6.1: Hata ailelerine göre kusurlar.

Hata Ailesi	Kusur Adı
Malzeme	Yanık
	Kabarcık/ Sıkışmış Gaz
	Bozulmuş/ Kopmuş Malzeme
	Kalitesiz Renk Dağılımı
	Gümüş İzleri
Proses	Katmanlaşma
	Gaz Yanıkları
	Salyalaşma
	İtici Çubuk İzleri
	Çapak
	Akış Çizgileri
	Boyutsal Değişim
	Matlaşma
	Portakal Yüzeyi Oluşumu
	Kısa Baskılar
	Çöküntüler
Kalıp	Yolluk Girişinde Yüzey Bozukluğu
	Vakumla Şekil Değiştirme
	Yapışan Yollukla
	Kalıba Yapışma
	Çarpılma
	Kurt İzleri, Jetting
Makine	Kayma, vida kayması, dönmesi
	Arka Arkaya Hatalı Baskı

Temel olarak bir parçada meydana gelen problemler ya malzeme tedarik ya da depolama gibi faaliyetleri kapsayan proses öncesinde; ya çevrim sırasındaki çalışma şartlarını kapsayan proses esnasında ya da son işlem, paketleme veya taşıma gibi faaliyetlerin oluşturduğu proses sonrası süreçlerde oluşur. Malzeme kirlenmesi, tozlanma, nemlenme, renk değişikliği gibi problemler genelde proses öncesi ve ya sonrasında kapsar ve bu problemleri gidermek için yapılacak çalışmalar kolaylıkla tespit edilebilir. Fakat makine, kalıp, ortam şartları, malzeme, ürün tasarımı gibi faktörlerin etkili olduğu proses aşamasında meydana gelen problemlerin çözümü nispeten daha zordur ve dikkatle yürütülecek titiz bir çalışma ister. Proses

aşamasında meydana gelen problemlerin çözümü için Bölüm 6.2’de anlatılan ürün kalitesine etkisi olan makine kontrol parametreleri detaylı olarak incelenmelidir [25].

Çevrim sırasında meydana gelen problemler için problem kaynağı problemin makine, kalıp ve malzeme olmasına bağlı olarak bazı soruların sorulması ile tespit edilebilir. Kapama kuvveti ve baskı kapasitesi yeterliliği makine kaynaklı problemler için kontrol edilebilirken; kalıp tasarımı doğruluğu ve kalıp fonksiyonlarının işlevselliği kalıp kaynaklı problemlerin tespiti için kontrol edilebilir. Üretilen parçanın doğru malzeme kullanılarak üretilip üretilmediği ve belirtilen spesifikasyonların verimli çalışma için uygunluğunun kontrolü ile de malzeme kaynaklı problemlerin çözümü bulunabilir [60].

Enjeksiyon prosesinin verimli çalışabilmesi ve enjeksiyon makinesinin, kalıbın ve malzeme performanslarının istenen düzeyde olması zaman, basınç ve sıcaklık değişkenleri ile doğrudan ilişkilidir. Enjeksiyon prosesi aşamasında oluşabilecek problemlerin çoğu birbiri ile bağlantılı olan zaman, basınç ve sıcaklık değişkenlerinin doğru seviyelerinin ayarlanması ile çözülebilir [60].

7. UYGULAMA

Bu bölümde ilk olarak uygulamanın yapıldığı firma hakkında genel bilgiler verilmiş, firma süreçlerinden bahsedilmiştir. Ardından çözümü için Deney Tasarımı ve Yapay Zeka tekniklerinden yararlanılan problem detaylı şekilde anlatılmış, probleme neden olabilecek faktörlerin nasıl tespit edildiğinden bahsedilmiştir. Son olarak çözüm için Taguchi Metodu ve YSA yöntemlerinin uygulaması ve elde edilen sonuçlar açıklanmıştır.

7.1 Uygulama Yapılan Firma Hakkında Genel Bilgi

Bu çalışma plastik enjeksiyon alanında faaliyet gösteren bir firmada gerçekleştirilmiştir. 12.500 metrekare alan üzerinde kurulu yaklaşık 6000 metrekare kapalı alana sahip olan firma beyaz ve kahverengi eşya sektörünün içerisinde. Temel faaliyet alanı enjeksiyon, serigrafi ve montaj olan firma bünyesinde yeni kalıp imalatı ve her türlü tadilat faaliyetlerini de gerçekleştirebilecek bir kalıphanesi ve 100 – 700 ton aralığında 60 enjeksiyon makinesi bulunmaktadır.

Firmada buzdolabı başta olmak üzere, çamaşır makinesi, fırın, set üstü ocak, bulaşık makinesi, şofben, klima gibi cihazların tamamı için görsel ya da fonksiyonel plastik ürünler için enjeksiyon ve ekstrüzyon kalıplarının üretimi yapılmaktadır. Bu kalıpların seri üretime girmesiyle de: 1 gr lık bir butondan 2 kg lık plastik parçaya kadar; montajlı ya da montajsız, serigrafili ya da boyalı her türlü plastik parçanın üretimi firmada gerçekleştirilmektedir.

7.2 Firmada Uygulanan Prosesler

Genel süreç akış diyagramı EK1’de verilen firmada plastik enjeksiyon üretimi, serigrafi baskı, plastik gruplama ve montaj, boya işlemleri yapılmaktadır.

Müşteriden gelen siparişler doğrultusunda planlama bölümü iş emri oluşturur. Satın alınması gereken malzeme varsa satınalma tarafından tedarik gerçekleştirilir ve

giriş kalite kontrol aşamasından geçen hammaddeler plastik enjeksiyon için üretim alanına alınır. Enjeksiyon ayarları yapıldıktan sonra enjeksiyon kalıplama işlemi gerçekleştirilir. Enjeksiyondan elde edilen parçalar için serigrafî, montaj/gruplama, boya gibi ek bir işleme gerek yoksa ürün depoya sevk edilir. Ek işleme gerek olan parçalar ilgili birimdeki işlemler tamamlandıktan sonra depoya sevk edilirler. Parçanın firmadan çıkmadan önce çıkış kalite kontrol işlemi tamamlanarak müşteriye teslimatı yapılır.

Bu çalışma EK2’de akış şeması verilen enjeksiyon prosesinde uygulanmıştır. Ele alınan kalitesel problem için incelenmesi gereken faktör sayıları ve seviyeleri fazladır ve bu nedenle uygulanması gereken deney kombinasyon sayısı da aynı oranda yüksektir. Tüm deney kombinasyonlarının tek tek denendiği Faktöriyel Deney Tasarımı metodunun tasarım için kullanılması durumunda uygulanması gereken deney sayısı $4374(6*3*3*3*3*3*3)$ adettir. Bu metot yerine faktör seviyelerinin eş zamanlı olarak değiştirildiği Taguchi Metodu ortogonal dizilerinden L18 dizisi kullanılarak 4374 deney yerine 18 deney ile sonuç elde edilebilecektir. Çok daha az deney yaparak optimum faktör kombinasyonunu elde etmek amacıyla uygulamada Taguchi Metodu tercih edilmiştir. Bu sayede üretimi aksatmadan yüksek kalite maliyetleri meydana getirmeden kısa zamanda uygulama tamamlanmıştır. Eğer Taguchi yerine diğer metotlardan birisi tercih edilseydi deneyleri yapmak çok daha uzun zaman gerektirecek ve deneyleri yapabilmek için üretime ara verilmesi gerekecekti. Aynı zamanda her deneyin birden fazla tekrarlanarak incelenen parçanın seçilmesi de 4374 deney için düşünüldüğünde daha fazla malzeme maliyeti ve işçilik maliyetleri ortaya çıkaracak ve toplam kalite maliyetini yükseltecekti.

Tüm deney kombinasyonlarının denenmesi için ise tahmin problemleri için etkin çözümler sunan Çok Katmanlı Algılayıcı modeline sahip bir YSA oluşturulmuştur ve çalışmanın sonunda Taguchi ve YSA modeli için elde edilen sonuçlar analiz edilmiştir. Tek Katmanlı Algılayıcı modeli doğrusal problemlerin çözümünde kullanılabilirken, doğrusal olmayan problemlerin çözümünde yetersiz kalmaktadır. Bu çalışmada incelenen problem doğrusal olmadığı için Tek Katmanlı Algılayıcı ile bu problem çözülemez. LVQ modeli ise sınıflandırma problemleri için etkili şekilde sonuçlar vermektedir. Aynı şekilde ART ağları da temel olarak sınıflandırma problemleri için geliştirilmiştir [54]. Çok Katmanlı Algılayıcı modeli ise tahminleme problemlerinin çözümü için kullanılmaktadır. Bu çalışmada

sınıflandırma problemi değil tahmin problemi üzerine çalışıldığı için Çok Katmanlı Algılayıcı modeli tercih edilmiştir.

7.3 Taguchi Metodu Uygulaması

Deney tasarımı yöntemlerinden birisi olan Taguchi Metodunun ilk aşaması olan problem belirleme için firmanın hangi parçalarda kalitesel sıkıntılar yaşadığı incelenmiştir. Yapılan incelemeler sonucunda firmada üretilen parçalardan biri olan Şekil 7.1’de gösterilen iç göbelerde çekme kuvvetine doğrudan etkisi olan; parça çekme değerlerinde meydana gelen değişkenliklerin parçanın hatalı ürün olmasına sebep olduğu ve bu hatalardan dolayı firmanın hatalı üretim oranının arttığı görülmüştür. Ele alınan parçadaki hatalı üretim oranının minimize edilmesi için Taguchi yöntemi aşamaları adım adım uygulanmış ve sonuçlar analiz edilmiştir.



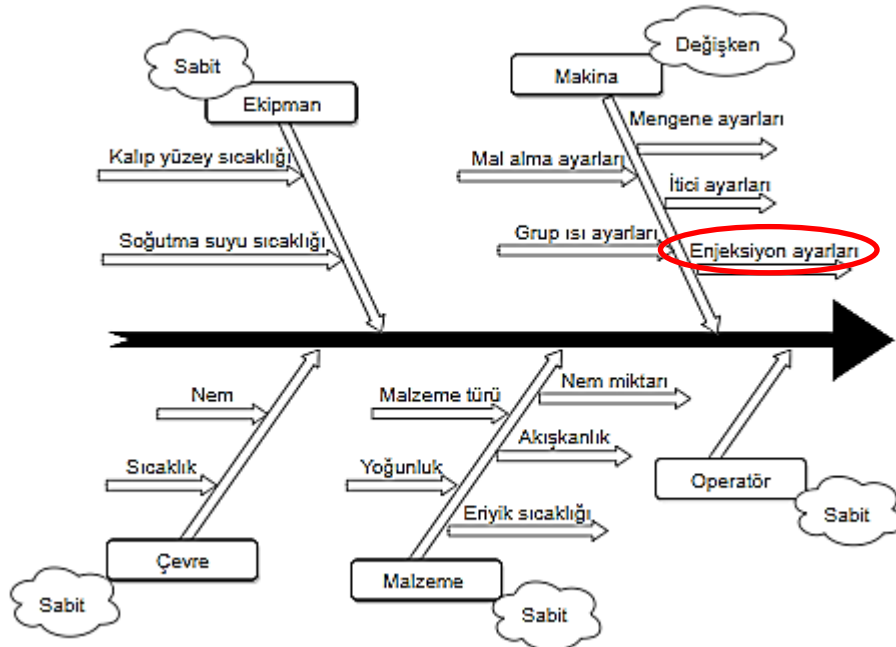
Şekil 7.1: Fırın düğmesi iç göbek.

Taguchi metodu ile iç göbek parçasında meydana gelen küçülme değerleri kontrol edilmiştir. Parça ölçümleri Şekil 7.2’de gösterildiği gibi çap, alt ve üst olarak 3 gruba ayrılarak yapılmıştır.



Şekil 7.2: Fırın iç göbek ölçümleri.

Parçanın küçülmesine neden olan parametreleri belirlemek için firma çalışanları ile beraber yapılan beyin fırtınası ve balık kılçığı analizleri sonucunda etkili olabilecek parametreler Şekil 7.3'te gösterildiği gibi bulunmuştur. Yapılan analizde ekipman, çevre, operatör ve malzeme sabit değişkenler olarak kabul edilmiş; makineye bağlı olan parametreler ise değişken olarak belirlenmiştir. Mal alma, mengene ayarları, itici ayarları, grup ısı ayarları ve enjeksiyon ayarları gibi makine ayarlarından enjeksiyon ayarları Taguchi metodunda değişken parametreler olarak kullanılmıştır.



Şekil 7.3: Balık kılçığı diyagramı.

Değişken olarak seçilen enjeksiyon ayar parametrelerinden birisi 6 seviyeli diğerleri 3 seviyeli olmak üzere 7 tanesi uygulamada incelenmiştir. Bu parametreler ve seviyeleri Tablo 7.1’de gösterildiği gibidir.

Tablo 7.1: Taguchi metodunda incelenen faktörler ve faktör seviyeleri.

Faktörler	Seviyeler					
	45	55	65	75	80	85
Enjeksiyon Basıncı (bar):	45	55	65	75	80	85
Enjeksiyon Hızı (mm/sn):	10	20	30	40	50	60
Enjeksiyon Pozisyonu (mm):	13	18	23	28	33	38
Ütülleme Basıncı (bar):	30	40	50	60	70	80
Ütülleme Hızı (mm/sn):	10	15	20	25	30	35
Ütülleme Zamanı (sn):	0,5	1	1,5	2	2,5	3
Soğuma Zamanı (sn):	25	30	35	40	45	50

Tablo 7.1’de belirlenen parametre ve seviyelere uygun deney serisi Minitab programı kullanılarak Taguchi Metodu L18 ($6^1 3^6$) ortogonal dizisi seçilerek Tablo 7.2’de oluşturulmuştur.

Tablo 7.2: L18 ($6^1 3^6$) Taguchi ortogonal dizi kombinasyonu.

Deney No	Faktör No						
	1	2	3	4	5	6	7
1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	2	2	2	2	2	2
3	1	3	3	3	3	3	3
4	2	1	1	2	2	3	3
5	2	2	2	3	3	1	2
6	2	3	3	1	1	2	1
7	3	1	2	1	3	2	3
8	3	2	3	2	1	3	2
9	3	3	1	3	2	1	1
10	4	1	3	3	2	2	1
11	4	2	1	1	3	3	2
12	4	3	2	2	1	1	3
13	5	1	2	3	1	3	2
14	5	2	3	1	2	1	3
15	5	3	1	2	3	2	1
16	6	1	3	2	3	1	2
17	6	2	1	3	1	2	3
18	6	3	2	1	2	3	1

Tablo 7.3: Düğme iç göbek parçası L18 ortogonal dizisi deney şartları.

Deney Sayısı	Enjeksiyon Basıncı (bar)	Enjeksiyon Hızı (mm/sn)	Enjeksiyon Pozisyonu (mm)	Ütüleme Basıncı (bar)	Ütüleme Hızı (mm/sn)	Ütüleme Zamanı (sn)	Soğuma Zamanı (sn)
1	45	10	13	30	10	0,5	25
2	45	20	18	40	15	1	30
3	45	60	25	50	20	2	35
4	55	10	13	40	15	2	35
5	55	20	18	50	20	0,5	25
6	55	60	25	30	10	1	30
7	65	10	18	30	20	1	35
8	65	20	25	40	10	2	25
9	65	60	13	50	15	0,5	30
10	75	10	25	50	15	1	25
11	75	20	13	30	20	2	30
12	75	60	18	40	10	0,5	35
13	80	10	18	50	10	2	30
14	80	20	25	30	15	0,5	35
15	80	60	13	40	20	1	25
16	85	10	25	40	20	0,5	30
17	85	20	13	50	10	1	35
18	85	60	18	30	15	2	25

Tablo 7.3’de gösterilen deney şartları oluşturulduktan sonra üretim gerçekleştirilmiştir. Üretim esnasında her bir deney şartının sağlıklı sonuçlar vermesi için, her deney 10 defa tekrarlandıktan sonraki numuneler seçilmiştir. Her deney için alınan numuneler ayrı ayrı tasniflenerek soğumaya bırakılmış ve soğuma süresi bittikten sonra belirtilen noktalardaki ölçümler 1/100 mm hassasiyetinde dijital kumpas ile tecrübeli kalite personeli desteği alınarak yapılmıştır.

Bu deney şartları uygulandıktan sonra yapılan 3 ölçüm grubu için yapılan ilk ölçümler Tablo 7.4’te verildiği gibidir.

Tablo 7.4: L18 deney düzeneği deneylerinin sonuçları.

Deney No	Deney Sonrası Yapılan İlk Ölçümler								
	1. Kalıp Gözü			2. Kalıp Gözü			4. Kalıp Gözü		
	Çap (mm)	Boy1 (mm)	Boy2 (mm)	Çap (mm)	Boy1 (mm)	Boy2 (mm)	Çap (mm)	Boy1 (mm)	Boy2 (mm)
1	4,62	13,77	13,23	4,61	13,7	13,2	4,62	13,79	13,22
2	4,68	13,72	13,25	4,65	13,72	13,24	4,58	13,82	13,23
3	4,65	13,79	13,29	4,65	13,74	13,28	4,63	13,8	13,28

Tablo 7.4 (devam): L18 deney düzeneği deneylerinin sonuçları.

4	4,66	13,79	13,33	4,65	13,79	13,3	4,66	13,8	13,32
5	4,59	13,77	13,33	4,61	13,71	13,22	4,62	13,76	13,23
6	4,63	13,77	13,25	4,67	13,73	13,23	4,6	13,79	13,21
7	4,66	13,76	13,25	4,67	13,74	13,23	4,61	13,82	13,25
8	4,64	13,8	13,23	4,63	13,76	13,24	4,65	13,8	13,26
9	4,6	13,77	13,24	4,63	13,72	13,23	4,63	13,74	13,26
10	4,63	13,74	13,22	4,65	13,68	13,23	4,64	13,76	13,23
11	4,64	13,76	13,29	4,64	13,74	13,3	4,62	13,78	13,32
12	4,7	13,74	13,2	4,68	13,7	13,27	4,64	13,79	13,24
13	4,63	13,8	13,27	4,66	13,75	13,28	4,67	13,83	13,29
14	4,65	13,82	13,18	4,64	13,89	13,14	4,64	13,78	13,18
15	4,61	13,83	13,23	4,65	13,73	13,22	4,63	13,76	13,25
16	4,65	13,8	13,15	4,65	13,78	13,17	4,67	13,78	13,22
17	4,66	13,75	13,25	4,65	13,68	13,24	4,68	13,8	13,26
18	4,68	13,73	13,28	4,66	13,82	13,26	4,63	13,74	13,27

İlk ölçümler yapıldıktan 1 hafta sonra parçaların boyutunda ne kadar bir değişim yaşandığı tespit edebilmek için 2.ölçümler yapılmış ve elde edilen sonuçlar Tablo 7.5'te verilmiştir.

Tablo 7.5: Deney uygulamasından 1 hafta sonra yapılan son ölçüm.

Deney No	Deney Sonrası Yapılan Son Ölçümler								
	1. Kalıp Gözü			2. Kalıp Gözü			4. Kalıp Gözü		
	Çap (mm)	Boy1 (mm)	Boy2 (mm)	Çap (mm)	Boy1 (mm)	Boy2 (mm)	Çap (mm)	Boy1 (mm)	Boy2 (mm)
1	4,52	13,76	13,21	4,61	13,69	13,19	4,55	13,73	13,22
2	4,61	13,72	13,23	4,63	13,72	13,22	4,56	13,77	13,22
3	4,63	13,78	13,28	4,57	13,72	13,24	4,6	13,77	13,27
4	4,63	13,77	13,32	4,6	13,74	13,28	4,61	13,8	13,31
5	4,57	13,7	13,23	4,58	13,67	13,21	4,6	13,73	13,23
6	4,63	13,76	13,23	4,63	13,73	13,23	4,59	13,77	13,21
7	4,63	13,73	13,25	4,63	13,73	13,21	4,59	13,79	13,24
8	4,63	13,78	13,23	4,61	13,71	13,23	4,61	13,78	13,26
9	4,6	13,7	13,22	4,61	13,68	13,19	4,6	13,7	13,24
10	4,63	13,69	13,17	4,61	13,64	13,2	4,61	13,72	13,22

Tablo 7.5 (devam): Deney uygulamasından 1 hafta sonra yapılan son ölçüm.

11	4,61	13,75	13,28	4,64	13,73	13,29	4,59	13,77	13,31
12	4,63	13,67	13,19	4,6	13,64	13,23	4,62	13,67	13,22
13	4,63	13,78	13,25	4,65	13,72	13,27	4,66	13,79	13,26
14	4,63	13,74	13,16	4,62	13,88	13,1	4,6	13,72	13,16
15	4,58	13,73	13,21	4,63	13,7	13,21	4,63	13,74	13,24
16	4,63	13,73	13,14	4,59	13,69	13,11	4,64	13,74	13,16
17	4,66	13,72	13,24	4,63	13,67	13,23	4,63	13,78	13,23
18	4,65	13,73	13,25	4,63	13,69	13,22	4,6	13,72	13,26

İlk ölçüm ve son ölçüm arasındaki farklar alınarak küçülme miktarları tablosu Tablo 7.6'da gösterilmiştir.

Tablo 7.6: İlk ölçüm ve son ölçüm arasındaki farklar.

Deney No	Düğme İç Göbek Parçası nda Meydana Gelen Küçülme Miktarı								
	1. Kalıp Gözü			2. Kalıp Gözü			4. Kalıp Gözü		
	Çap (mm)	Boy1 (mm)	Boy2 (mm)	Çap (mm)	Boy1 (mm)	Boy2 (mm)	Çap (mm)	Boy1 (mm)	Boy2 (mm)
1	0,1	0,01	0,02	0	0,01	0,01	0,07	0,06	0
2	0,07	0	0,02	0,02	0	0,02	0,02	0,05	0,01
3	0,02	0,01	0,01	0,08	0,02	0,04	0,03	0,03	0,01
4	0,03	0,02	0,01	0,05	0,05	0,02	0,05	0	0,01
5	0,02	0,07	0,1	0,03	0,04	0,01	0,02	0,03	0
6	0	0,01	0,02	0,04	0	0	0,01	0,02	0
7	0,03	0,03	0	0,04	0,01	0,02	0,02	0,03	0,01
8	0,01	0,02	0	0,02	0,05	0,01	0,04	0,02	0
9	0	0,07	0,02	0,02	0,04	0,04	0,03	0,04	0,02
10	0	0,05	0,05	0,04	0,04	0,03	0,03	0,04	0,01
11	0,03	0,01	0,01	0	0,01	0,01	0,03	0,01	0,01
12	0,07	0,07	0,01	0,08	0,06	0,04	0,02	0,12	0,02
13	0	0,02	0,02	0,01	0,03	0,01	0,01	0,04	0,03
14	0,02	0,08	0,02	0,02	0,01	0,04	0,04	0,06	0,02
15	0,03	0,1	0,02	0,02	0,03	0,01	0	0,02	0,01
16	0,02	0,07	0,01	0,06	0,09	0,06	0,03	0,04	0,06
17	0	0,03	0,01	0,02	0,01	0,01	0,05	0,02	0,03
18	0,03	0	0,03	0,03	0,13	0,04	0,03	0,02	0,01

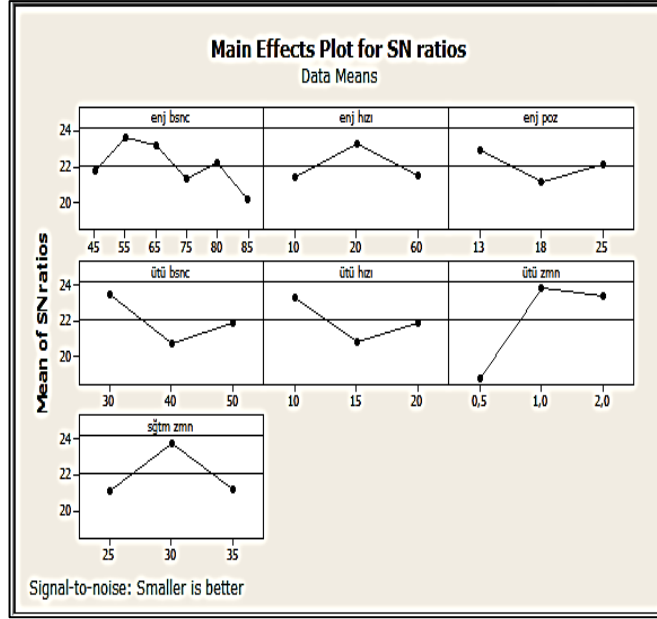
Yapılan deneysel çalışmalar sonrasında tek baskıda alınan 3 göz için 3 ölçüm grubundaki boyutsal küçülme miktarları incelenmiştir. Firma çalışanları ile yapılan görüşmeler sonrasında hangi boyutun düğmenin kolay montajına engel teşkil edeceği tam bilinemediği için 3 grupta ayrı ayrı incelenen boyutsal farkların toplamının tek bir boyutsal küçülme değeri olarak alınmasına karar verilmiştir.

18 ayrı deney koşulunda çekme miktarını tek bir değer olarak ifade etmek için 3 gözün küçülme miktarları ortalaması alınarak Tablo 7.7 elde edilmiş ve Minitab programına elde edilen bu çekme değerleri manuel olarak girilmiştir.

Tablo 7.7: İlk ölçüm ve son ölçüm arasındaki fark ortalaması.

Deney No	Her Bir Deney Koşulu İçin Elde Edilen Toplam Küçülme Miktarları ve Ortalaması			
	1. Kalıp Gözü	2. Kalıp Gözü	4. Kalıp Gözü	Ortalama
1	0,13	0,02	0,13	0,09333
2	0,09	0,04	0,08	0,07000
3	0,04	0,14	0,07	0,08333
4	0,06	0,12	0,06	0,08000
5	0,19	0,08	0,05	0,10667
6	0,03	0,04	0,03	0,03333
7	0,06	0,07	0,06	0,06333
8	0,03	0,08	0,06	0,05667
9	0,09	0,1	0,09	0,09333
10	0,1	0,11	0,08	0,09667
11	0,05	0,02	0,05	0,04000
12	0,15	0,18	0,16	0,16333
13	0,04	0,05	0,08	0,05667
14	0,12	0,07	0,12	0,10333
15	0,15	0,06	0,03	0,08000
16	0,1	0,21	0,13	0,14667
17	0,04	0,04	0,1	0,06000
18	0,06	0,2	0,06	0,10667

Elde edilen küçülme miktarları Minitab programına manuel olarak girilmiştir. Küçülme miktarları girildikten sonra Taguchi Metodu analizleri yapılmış, S/N oranları incelenerek hangi parametrenin hangi seviyesinin optimum kombinasyon oluşturduğu belirlenmiştir. Amaç fonksiyonumuz parçanın boyutsal küçülme miktarını minimize etmek olduğu için S/N değeri grafikleri için “Smaller is better” seçilmiştir.



Şekil 7.4: Boyutsal küçülme değerleri için S/N sonuç grafiği.

S/N sonuç grafiğinde amaç fonksiyonumuz için optimum koşulları sağlayacak olan parametre değerleri maksimum noktalardır. Buradan yola çıkarak incelenen parametreler için minimum küçülme sağlayan deney kombinasyonu Tablo 7.8’de verilmiştir.

Tablo 7.8: Taguchi minimum boyutsal küçülme değeri ve koşulları.

Enjeksiyon Basıncı	55 (bar)
Enjeksiyon Hızı	20(mm/sn)
Enjeksiyon Pozisyonu	13 (mm)
Ütüleme Basıncı	30 (bar)
Ütüleme Hızı	10 (mm/sn)
Ütüleme Zamanı	1 (sn)
Soğuma Zamanı	30 (sn)
Minimum Boyutsal Küçülme	0,01 (mm)

Ayrıca Taguchi Metodu analizinde parça boyutu değişiminde en etkili olan ilk 3 parametrenin sırasıyla ütleme zamanı, enjeksiyon basıncı ve ütleme basıncı olduğu tespit edilmiş ve seçilen parametreler arasında enjeksiyon pozisyonunun parça boyutu değişiminde en az etkiye sahip olduğu görülmüştür.

7.4 Yapay Sinir Ağları Uygulaması

Bu bölümde düğme iç göbek parçasının parça boyutundaki küçülme miktarını incelemek için MATLAB R2007b programı yardımıyla yapay sinir ağı oluşturulmuştur. “Neural Network” nntool toolbox’ında, Taguchi Metodu ile elde edilen 18 deney yapay sinir ağında eğitim ve test seti olarak kullanılmıştır. Bu 18 deneyin 14 tanesi eğitim 4 tanesi test için kullanılarak yapay sinir ağı eğitilmiş ve denenmiştir. Ağın oluşturulması, ağ topolojisinin belirlenmesi ve model seçilmesi için yapay sinir ağlarında belirli bir kural yoktur bu nedenle ağ yapısı tamamen kullanıcının tecrübesine göre şekillendirilmektedir.

Yapay sinir ağında kullanılan sistem parametreleri ve bu parametrelerin değişken tipi Tablo 7.9’deki gibidir;

Tablo 7.9: YSA’da kullanılan değişkenler ve tipleri.

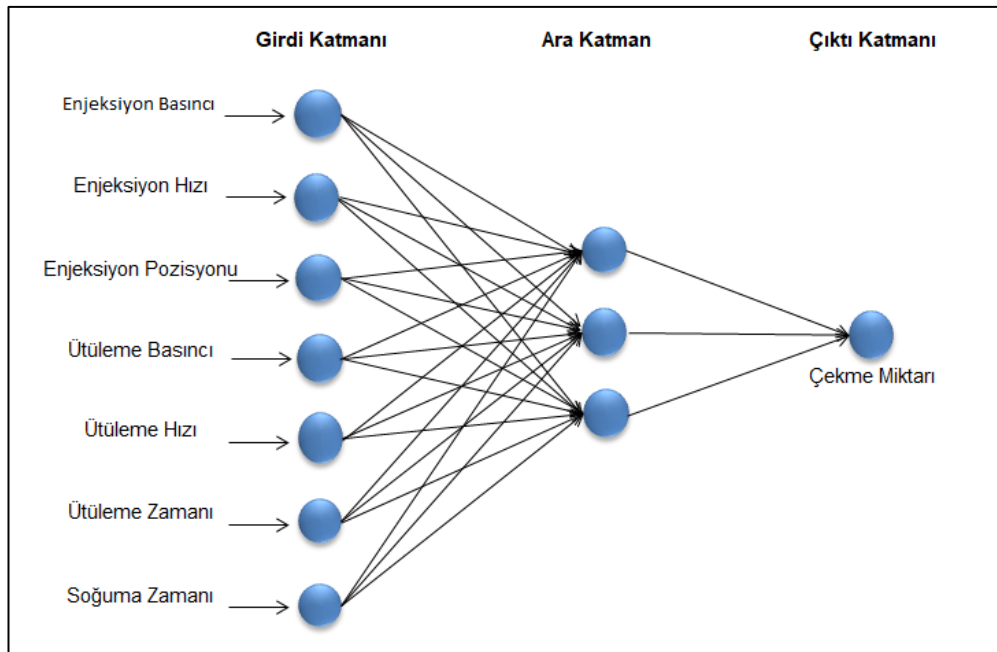
Değişken	Değişken Tipi
Enjeksiyon Basıncı (bar)	Girdi
Enjeksiyon Hızı (mm/sn)	Girdi
Enjeksiyon Pozisyonu (mm)	Girdi
Ütleme Basıncı (bar)	Girdi
Ütleme Hızı (mm/sn)	Girdi
Ütleme Zamanı (sn)	Girdi
Soğuma Zamanı (sn)	Girdi
Çekme Miktarı (mm)	Çıktı

Bu parametrelerin seviyeleri ise Tablo 7.10'da belirtildiği gibidir;

Tablo 7.10: YSA'da kullanılan faktörler ve faktör seviyeleri.

Faktörler	Seviyeler					
Enjeksiyon Basıncı (bar):	45	55	65	75	80	85
Enjeksiyon Hızı (mm/sn):	10		20		60	
Enjeksiyon Pozisyonu (mm):	13		18		25	
Ütuleme Basıncı (bar):	30		40		50	
Ütuleme Hızı (mm/sn):	10		15		20	
Ütuleme Zamanı (sn):	0,5		1		2	
Soğuma Zamanı (sn):	25		30		35	

YSA yapısı daha önceki bölümlerde de belirtildiği üzere sadece sayısal verilerle çalışabilmektedir. Ele aldığımız problemde parametrelerin tamamı için belirlenen seviye değerleri sayısal olduğu için veriler YSA'da doğrudan kullanılabilir.



Şekil 7.5: Çok katmanlı YSA yapısı gösterimi.

Yukarıda yapısı gösterilen çok katmanlı ileri beslemeli geri yayımlı ağ yapısına Taguchi L18 ortogonal dizisi ile elde edilen deney kombinasyonlarının 14

tanisi eğitim için kullanılmış 4 tanesi test seti olarak kullanılmıştır. Kullanılan deney kombinasyonlarındaki parametre seviyeleri normalize edilerek YSA’da kullanılmıştır. Normalizasyon Tablo 7.3’de verilen deney setinde her sütun için sütunun en yüksek değerine tüm sütunların bölünmesi ile yapılmıştır. Normalize edilmiş veriler Tablo 7.11’de verilmiştir.

Tablo 7.11: YSA’da kullanılan normalize edilmiş veriler.

Deney No	Enjeksiyon Basıncı	Enjeksiyon Hızı	Enjeksiyon Pozisyonu	Ütuleme Basıncı	Ütuleme Hızı	Ütuleme Zamanı	Soğuma Zamanı	Çekme Miktarı
1	0,52941	0,16667	0,52	0,6	0,5	0,25	0,714	0,0933
2	0,52941	1	1	1	1	1	1	0,0833
3	0,64706	0,16667	0,52	0,8	0,75	1	1	0,0800
4	0,64706	1	1	0,6	0,5	0,5	0,857	0,0333
5	0,76471	0,33333	1	0,8	0,5	1	0,714	0,0567
6	0,76471	1	0,52	1	0,75	0,25	0,857	0,0933
7	0,88235	0,16667	1	1	0,75	0,5	0,714	0,0967
8	0,88235	1	0,72	0,8	0,5	0,25	1	0,1633
9	0,94118	0,16667	0,72	1	0,5	1	0,857	0,0567
10	0,88235	0,33333	0,52	0,6	1	1	0,857	0,0400
11	0,94118	1	0,52	0,8	1	0,5	0,714	0,0800
12	1	0,16667	1	0,8	1	0,25	0,857	0,1467
13	1	0,33333	0,52	1	0,5	0,5	1	0,0600
14	1	1	0,72	0,6	0,75	1	0,714	0,1067
15	0,52941	0,33333	0,72	0,8	0,75	0,5	0,857	0,0700
16	0,64706	0,33333	0,72	1	1	0,25	0,714	0,1067
17	0,76471	0,16667	0,72	0,6	1	0,5	1	0,0633
18	0,94118	0,33333	1	0,6	0,75	0,25	1	0,1033

Çok katmanlı algılayıcı yapıda olan YSA ileri beslemeli geri yayımlı ağ tipine sahiptir ve yapısı ile ilgili bilgiler aşağıdaki tablolarda verilmiştir.

Tablo 7.12: YSA parametreleri ve özellikleri.

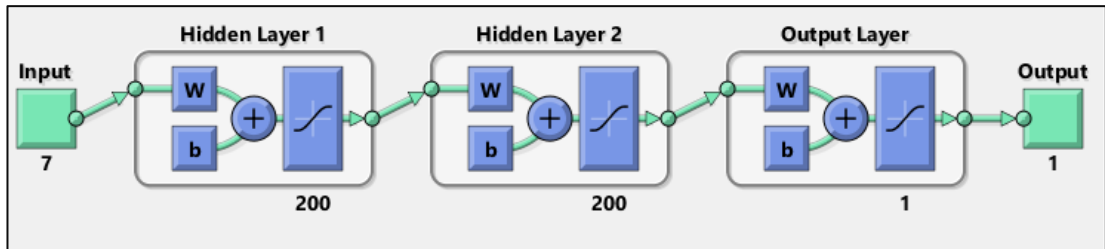
Ağ Parametreleri	Özellikleri
Ağ Tipi	İleri Beslemeli Geri Yayımlı
Eğitim Fonksiyonu	Traingdm
Öğrenme Fonksiyonu	Learngdm
Performans Fonksiyonu	MSE
Transfer Fonksiyonu	Tansig

Farklı nöron sayıları, gizli katman sayıları, öğrenme katsayıları ve momentum katsayıları değiştirilerek çok sayıda deneme yapılmıştır. Bu denemelerden 0.01 öğrenme katsayısı, 0.9 momentum katsayısı ile 10000 iterasyon çalıştırılan bazı ağ topolojileri ve ağların performans karakteristiği olan Mean Square Error (MSE) değerleri Tablo 7.13'te verilmiştir.

Tablo 7.13: Uygulanan farklı topolojilerin performansları.

Topoloji No	Katman Sayısı	Nöron Sayısı	MSE
1	2	50	0,001753590
2	2	100	0,003521247
3	2	150	0,000565455
4	2	200	0,002348056
5	3	50	0,00374993
6	3	100	0,001901371
7	3	150	0,000803775
8	3	200	0,000403787
9	4	100	0,001905972
10	4	50	0,001467387

Farklı topolojiler üzerinde yapılan uygulamalar sonucunda en iyi sonucu veren, her birisi 200 nörondan oluşan 2 gizli katmana sahip YSA topolojisi (8 nolu topoloji) üzerinde farklı öğrenme katsayısı, momentum katsayısı ve iterasyon sayısına göre denemeler yapılmış ve sonuçlar Tablo 7.14'de verilmiştir. Tablo 7.14'de verilen denemelerden en iyi sonucu veren 7. denemedeki parametreler çalışmada 4374 deney kombinasyonuna göre parça boyutsal küçülme tahmini üretmesi için seçilmiştir.

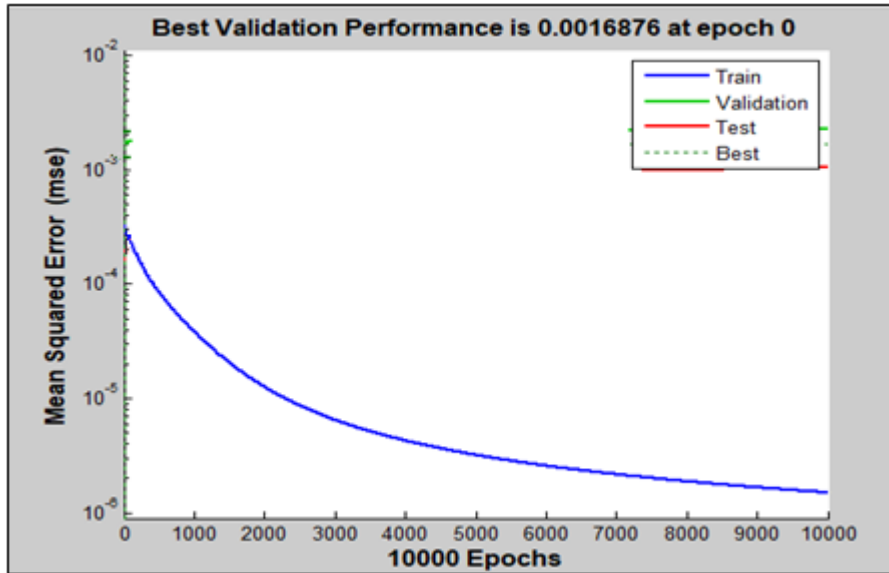


Şekil 7.6: Oluşturulan YSA modeli.

Tablo 7.14: Seçilen YSA topolojisinin farklı parametrelerinin performansları.

Deneme No	Öğrenme Katsayısı	İterasyon Sayısı	Momentum Katsayısı	MSE
1	0,01	10000	0,9	0,000403787
2	0,05	10000	0,9	0,002883752
3	0,1	10000	0,9	0,001201849
4	0,05	10000	0,5	0,001125038
5	0,05	20000	0,5	0,001413585
6	0,05	5000	0,5	0,001351833
7	0,07	10000	0,9	0,000319017
8	0,5	10000	0,5	0,0012078256
9	0,06	20000	0,5	0,002435390
10	0,03	15000	0,7	0,000652675

Şekil 7.6’da gösterildiği gibi MATLAB’da oluşturulan YSA modeli 7 girdi 1 çıktı; her birisi 200 nörona sahip 2 adet gizli katman; 1 çıktı katmanından oluşmaktadır. Ağın öğrenme katsayısı 0,07 ve momentum katsayısı 0,9 olarak ayarlanmış ve 10000 iterasyon çalıştırılmıştır. Modelin eğitimi sonrası elde edilen performans grafiği Şekil 7.7’de gösterilmiştir.



Şekil 7.7: YSA eğitim grafiği.

Oluşturulan YSA modeli en küçük boyutsal çekmeyi 0,034779 mm olarak tahmin etmiştir. Bu değer için kullanılan kombinasyon Tablo 7.15’te verilmiştir.

Tablo 7.15: YSA minimum boyutsal küçülme ve koşulları tahmini.

Enjeksiyon Basıncı	55 (bar)
Enjeksiyon Hızı	60 (mm/sn)
Enjeksiyon Pozisyonu	13 (mm)
Ütüleme Basıncı	30 (bar)
Ütüleme Hızı	20 (mm/sn)
Ütüleme Zamanı	1 (sn)
Soğuma Zamanı	30 (sn)
Minimum Boyutsal Küçülme	0,034779 (mm)

8. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada Deney Tasarımı yöntemlerinden olan Taguchi Metodu ve Yapay Zeka tekniklerinden olan Yapay Sinir Ağları birlikte kullanılmıştır.

Çalışma plastik enjeksiyon alanında faaliyet gösteren bir firmada uygulanmıştır. Ele alınacak kalitesel problemin seçilmesinde firmanın aylık ret raporları incelenmiş ve en çok hata oranına sahip olan “düğme iç göbek parçası” için çalışma yapılmıştır.

Düğme iç göbek parçasının üretim sonrası boyutunda meydana gelen değişimler, parçanın fırına montajını olumsuz şekilde etkilemekte ve bu nedenle montaj hatası veren ürünleri ret oranını artırmaktadır.

Çalışmada incelenen parçanın boyutsal değişimine neden olan parametreler firma çalışanları ile yapılan beyin fırtınası birebir görüşmeler ve balık kılıcı analizleri ile belirlenmiştir. Neticede parçanın boyutsal değişimine neden olan yedi farklı parametre seçilmiş ve bu parametreler için seviyeler belirlenmiştir.

Uygulamada hedef kalite seviyesi üzerinde en etkili olan parametrenin bulunması, istenen kalite düzeyi için parametrelerin hangi seviyelerinin kullanılacağı ve kontrol edilemeyen değişkenlerin etkisini kontrol edilebilen değişkenler yardımıyla minimize edilmesini sağlayacak olan Taguchi metodu kullanılmıştır. Taguchi metodu L18 ortogonal dizisi kullanılarak 4374 (tam faktöriyel deney kombinasyonu sayısı) deney yerine 18 deney ile hem deney maliyeti hem süre açısından kazanç sağlanmıştır.

Taguchi metodunda sonuç olarak boyutsal çekme miktarında en etkili olan ilk üç parametrenin ütüleme zamanı, enjeksiyon basıncı ve ütüleme basıncı olduğu bulunmuş ayrıca enjeksiyon pozisyonunun boyutsal küçülme için en az etkiye sahip olduğu tespit edilmiştir.

Taguchi metodunun verdiği optimum kombinasyon için doğrulama deneyi yapılmış sonucun güvenilirliği için ilk 10 baskıdan sonraki 2 baskı kontrol edilmiştir.

İncelenen numunelerde boyutsal küçülme miktarının ortalamasının 0,03'den 0,01'e düştüğü görülerek sonuçların efektif olduğu tespit edilmiştir.

6 seviyeli 1 parametre ve 3 seviyeli 6 parametrenin tüm kombinasyonlarının uygulanması için yapılması gereken deney sayısı 4374 ($6 \cdot 3^6$)'tür. Bu deneylerin tahmini için yapay sinir ağı oluşturulmuştur. Ağ eğitimi Taguchi L18 ortogonal dizisinden elde edilen deney düzeneği ile yapılmıştır.

Taguchi metodunun optimum deney kombinasyonu ile YSA'nın verdiği optimum deney kombinasyonunda deney parametrelerinden 'Enjeksiyon Hızı' ve 'Ütülleme Hızı' parametre seviyelerinin farklı olduğu görülmüştür. Bu farklılık neticesinde 2 yöntemden elde edilen boyutsal çekme miktarları da farklıdır. Boyutsal küçülme miktarları için yöntemlerden elde edilen sonuçlar Tablo 8.1'de gösterilmiştir.

Tablo 8.1: Taguchi ve YSA optimum deney kombinasyonları ve sonuçları.

Plastik Enjeksiyon Prosesinde İncelenen Kalite Parametreleri	Taguchi Metodu Parametre Seviyeleri	Yapay Sinir Ağları Parametre Seviyeleri
Enjeksiyon Basıncı	55 (bar)	55 (bar)
Enjeksiyon Hızı	20(mm/sn)	60 (mm/sn)
Enjeksiyon Pozisyonu	13 (mm)	13 (mm)
Ütülleme Basıncı	30 (bar)	30 (bar)
Ütülleme Hızı	10 (mm/sn)	20 (mm/sn)
Ütülleme Zamanı	1 (sn)	1 (sn)
Soğuma Zamanı	30 (sn)	30 (sn)
Minimum Boyutsal Küçülme	0,01 (mm)	0,034779 (mm)

Çalışmamızda oluşturulan YSA modeli için kullanılabilir olan eğitim seti incelenen uzay için zayıf kalmaktadır. Taguchi L18 ortogonal dizisinin kombinasyonları kullanıldığı için eğitim seti veri sayısını artırmak mümkün olmamaktadır. Ayrıca oluşturulan YSA modelindeki eğitim setinde verilen boyutsal küçülme miktarlarının en küçük değeri 0,0333'tür. Bu nedenle YSA'nın bu değerden daha küçük bir sonuç vermesi mümkün değildir.

Çalışma sonrasında düğme iç göbek parçası için enjeksiyon parametreleri Taguchi ve YSA'da bulunan değerlere göre ayarlanarak üretime devam edilmiştir. Üretimi takip eden ay için ret tabloları analiz edildiğinde düğme iç göbek parçası için ret oranlarının yaklaşık %7'dan %3'e düştüğü görülmüştür.

Yapılan çalışma plastik enjeksiyon kalıplama yöntemi ile üretilen farklı parçalarda meydana gelen kalite problemlerinin incelenmesinde veya aynı parçada etkili olabilecek diğer enjeksiyon parametrelerinin araştırılmasında da uygulanabilir. Ayrıca Taguchi metodu evet/hayır, var/yok vb. string yapıda değişken tanımlanmasına izin verdiği için sözel yapıda olan parametrelerin incelenmesine de olanak sağlayarak birçok kalitesel probleme uyarlanabilir.

Uygulanacak deney sayısını azaltmak için kullanılan Taguchi Metodu yerine zaman ve maliyet açısından kısıt olmadığı durumlarda Response Surface gibi farklı deney tasarımı yöntemleri kullanılarak optimuma daha yakın sonuçlar elde edilebilir. Keza kullanılan Taguchi metodu ile karar ağaçları, genetik algoritmalar vb. yapay zeka teknikleri entegre edilerek de uygulamalar yapılarak daha iyi sonuçlara ulaşılabilir.

Sonuç olarak Taguchi ve YSA metotlarının sanayide karşılaşılan kalitesel problemler için maliyet ve zaman açısından ekstra kayıplara yol açmadan uygun çözümler sunduğu görülmüştür.

9. KAYNAKLAR

- [1] Yıldırım, S. (2011). Ürün Tasarımı Geliştirilmesi: Taguchi Tasarımı. Yüksek Lisans Tezi, *Başkent Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, Ankara.
- [2] Kaya, i., Oktay, S., Engin, O. (2005). Kalite Kontrol Problemlerinin Çözümünde Yapay Sinir Ağlarının Kullanımı. *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 21 (1-2),92-107.
- [3] Mehat, N. M., Kassim, S. M., Kamaruddin, S. (2017, October). Investigation On The Effects Of Processing Parameters On Shrinkage Behaviour And Tensile Properties Of Injection Moulded Plastic Gear Via The Taguchi Method. In *Journal of Physics: Conference Series* 908 (1),12-49.
- [4] Aytekin, F. G., (2014). Fotolitografi İşleminde UV Sertleştirme Parametrelerinin Deneysel Tasarımı İle Eniyilmesi. Yüksek Lisans Tezi, *Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, Kocaeli.
- [5] Taylan, D. (2009). Taguchi Deneysel Tasarımı Uygulaması. Yüksek Lisans Tezi, *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, Isparta.
- [6] Gencil, İ. (2007). Çok Yanıtlı Problemlerin Optimizasyonunda Taguchi Yönteminin Kullanılması Ve Alkollü İçkiler Sektöründe Bir Uygulama. Yüksek Lisans Tezi, *Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, Kocaeli.
- [7] Aytaç, A., İlivan, M., Öztürk, U. (2016). Taguchi Ve Klasik Deneysel Tasarım Yöntemlerinin Karşılaştırılması: İnce Film Kaplamaların Aşınma Davranışı. *Electronic Journal of Vocational Colleges*, 6(4), 87-96.
- [8] Elmas, Ç. (2010). *Yapay Zeka Uygulamaları*. Ankara: Seçkin Yayıncılık.
- [9] Hamzaçebi, C. (2011). *Yapay Sinir Ağları*. Bursa: Ekin Basım Yayın Dağıtım.

- [10] Şimşek, B., Dilmaç, Ö. F. (2018). Ortogonal Dizinler Kullanarak Kimyasal Buhar Çöktürme Yöntemi İle Büyütülen Grafenin Ana Etkiler Analizi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik- Mimarlık Fakültesi Dergisi*,
- [11] Karacan, G., Sayılğan, E. (2017). Glukonik Asit ve Hidroklorik Asit ile Atık Alkali Pillerden Çinko ve Mangan Gideriminin İncelenmesi: Taguchi Deney Tasarımı. *Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 32(3), 31-38.
- [12] Ünel, E. (2016). Cmt-Mıg Kaynaklı Alüminyum Ve Çelik Bağlantılarının Özellikleri Ve Optimizasyonu. Yüksek Lisans Tezi, *Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı*, Kocaeli.
- [13] Özay, Ç., Ballıkaya, H., Altuğ, M., Savaş, V., Sağlam M. (2018). Teğetsel Silindirik Taşlama Yönteminde İşleme Parametrelerinin Titreşim Üzerindeki Etkilerinin Araştırılması. *Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 30(1), 311-317.
- [14] Kuş, A., Motorcu, A. N. (2017). Nikel Esaslı Waspaloy Alaşımının Tel Erozyon Yöntemiyle İşlenmesinde Taguchi Metodu İle Yüzey Pürüzlülüğü İçin Optimum Kesme Parametrelerinin Tahmini. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 32(1), 217-226.
- [15] Akıncioğlu, S., Gökkaya, H., Uygur, İ. (2016). The Effects Of Cryogenic-Treated Carbide Tools On Tool Wear And Surface Roughness Of Turning Of Hastelloy C22 Based On Taguchi Method. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 82(1-4), 303-314.
- [16] Kadam, N. R., Karthikeyan, G. (2016). Wear Evaluation Of AISI 4140 Alloy Steel With WC/C Lamellar Coatings Sliding Against EN 8 Using Taguchi Method. *Journal of The Institution of Engineers (India): Series C*, 97(4), 547-550.
- [17] Yanar, N. (2008). Hidrolik Silindir İmalatında Yüzey Pürüzlülüğüne Etkili Parametrelerinin Taguchi Yöntemi İle Belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, *Selçuk*

Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, Konya.

- [18] Bingöl, M. Z. (2017). Sifcon İle Üretilen Yol Betonlarının Eğilme Ve Basınç Dayanımının Taguchi Metodu İle Optimizasyonu. Yüksek Lisans Tezi, *Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Erzurum.*
- [19] Öktem, H. (2012). Optimum Process Conditions On Shrinkage Of An Injected-Molded Part Of DVD-ROM Cover Using Taguchi Robust Method. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 61(5-8), 519-528.
- [20] Bhote, K. R. (1988). *World Class Quality*. New York: American Management Association.
- [21] Khavekar, R., Modi, B. (2017). A Comparative Analysis of Taguchi Methodology and Shainin System DOE in the Optimization of Injection Molding Process Parameters. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* 225(1), 012183.
- [22] Tortum, A., Yayla, N., Çelik, C., & Gökdağ, M. (2007). The Investigation Of Model Selection Criteria In Artificial Neural Networks By The Taguchi Method. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 386(1), 446-468.
- [23] Amran, M. M., Idayu, N., Faizal, K. M., Sanusi, M., Izamshah, R., Shahir, M. (2016, November). Part Weight Verification Between Simulation And Experiment Of Plastic Part In Injection Moulding Process. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* (Vol. 160, No. 1, p. 012016). IOP Publishing.
- [24] Öktem, H. (2012). Optimum Process Conditions On Shrinkage Of An Injected-Molded Part Of DVD-ROM Cover Using Taguchi Robust Method. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 61(5-8), 519-528.

- [25] Kayı, Y. (2006). Plastik Enjeksiyon Prosesindeki Parametrelerin Çekme Problemine Etkilerinin Taguchi Metodu İle İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Makina Mühendisliği Anabilim Dalı, Sakarya.
- [26] Erdem, V., Belevi, M., Koçhan, C. (2010). Taguchi Metodu İle Plastik Enjeksiyon Parçalarda Çarpılmanın En Aza İndirilmesi. *DEÜ Mühendislik Fakültesi Fen Ve Mühendislik Dergisi*, 12(2), 17-29.
- [27] Zhou, M., Kong, L., Xie, L., Fu, T., Jiang, G., & Feng, Q. (2017). Design And Optimization Of Non-Circular Mortar Nozzles Using Finite Volume Method And Taguchi Method. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 90(9-12), 3543-3553.
- [28] Baynal, K., Taphasanoğlu, S. (2016). Bayanlara Özel Spor Merkezinde Karşılaşılan Yeterli Kilo Verememe Ve İncelememe Probleminin Deney Tasarımı İle Optimizasyonu. *MANAS Sosyal Araştırmalar Dergisi*, 5(5), 211-227.
- [29] Çakır, A. (2015). AA 7075 Ve AA 2024 Alüminyum Malzemelerine Delik Delinmesinde Soğutma Yöntemlerinin İşleme Performansına Etkilerinin İncelenmesi. Doktora Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Makine Eğitimi Anabilim Dalı, Ankara.
- [30] Altan, M. (2010). Reducing Shrinkage İn Injection Moldings Via The Taguchi, ANOVA And Neural Network Methods. *Materials and Design*, 31 (1), 599-604
- [31] Oliaei, E., Heidari, B. S., Davachi, S. M., Bahrami, M., Davoodi, S., Hejazi, I., & Seyfi, J. (2016). Warpige And Shrinkage Optimization Of Injection-Molded Plastic Spoon Parts For Biodegradable Polymers Using Taguchi, ANOVA And Artificial Neural Network Methods. *Journal of Materials Science & Technology*, 32(8), 710-720.
- [32] Bagchi, A., Saravanan, S., Kumar, G. S., Murugan, G., & Raghukandan, K. (2017). Numerical Simulation And Optimization İn Pulsed Nd: YAG Laser

Welding Of Hastelloy C-276 Through Taguchi Method And Artificial Neural Network. *Optik-International Journal for Light and Electron Optics*, 146, 80-89.

- [33] Midilli., Y. E. (2018). Yapay Sinir Ağları Parametrelerinin Optimizasyonunda Deney Tasarımının Kullanılması Tütün Endüstrisi Örneği. Yüksek Lisans Tezi, *Ondokuz Mayıs Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Akıllı Sistemler Mühendisliği Anabilim Dalı, Samsun.
- [34] Pontes, F. J., de Paiva, A. P., Balestrassi, P. P., Ferreira, J. R., & da Silva, M. B. (2012). Optimization Of Radial Basis Function Neural Network Employed For Prediction Of Surface Roughness In Hard Turning Process Using Taguchi's Orthogonal Arrays. *Expert Systems with Applications*, 39(9), 7776-7787.
- [35] Ouyang, K., Wu, H. W., Huang, S. C., & Wu, S. J. (2017). Optimum Parameter Design For Performance Of Methanol Steam Reformer Combining Taguchi Method With Artificial Neural Network And Genetic Algorithm. *Energy*, 138, 446-458.
- [36] Pardeshi, P. M., Mungray, A. A., & Mungray, A. K. (2016). Determination Of Optimum Conditions In Forward Osmosis Using A Combined Taguchi-Neural Approach. *Chemical Engineering Research and Design*, 109, 215-225.
- [37] Lin, H. C., Su, C. T., Wang, C. C., Chang, B. H., & Juang, R. C. (2012). Parameter Optimization Of Continuous Sputtering Process Based On Taguchi Methods, Neural Networks, Desirability Function, And Genetic Algorithms. *Expert Systems with Applications*, 39(17), 12918-12925.
- [38] Mezgar, I., Egresits Cs., Monostori, L. (1997). Design And Real-Time Reconfiguration Of Robust Manufacturing Systems By Using Design Of Experiments And Artificial Neural Networks. *Computers in Industry*, 33, 61-70
- [39] Tortum, A., Yayla, N., Çelik, C., & Gökdağ, M. (2007). The investigation of model selection criteria in artificial neural networks by the Taguchi method. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 386(1), 446-468.

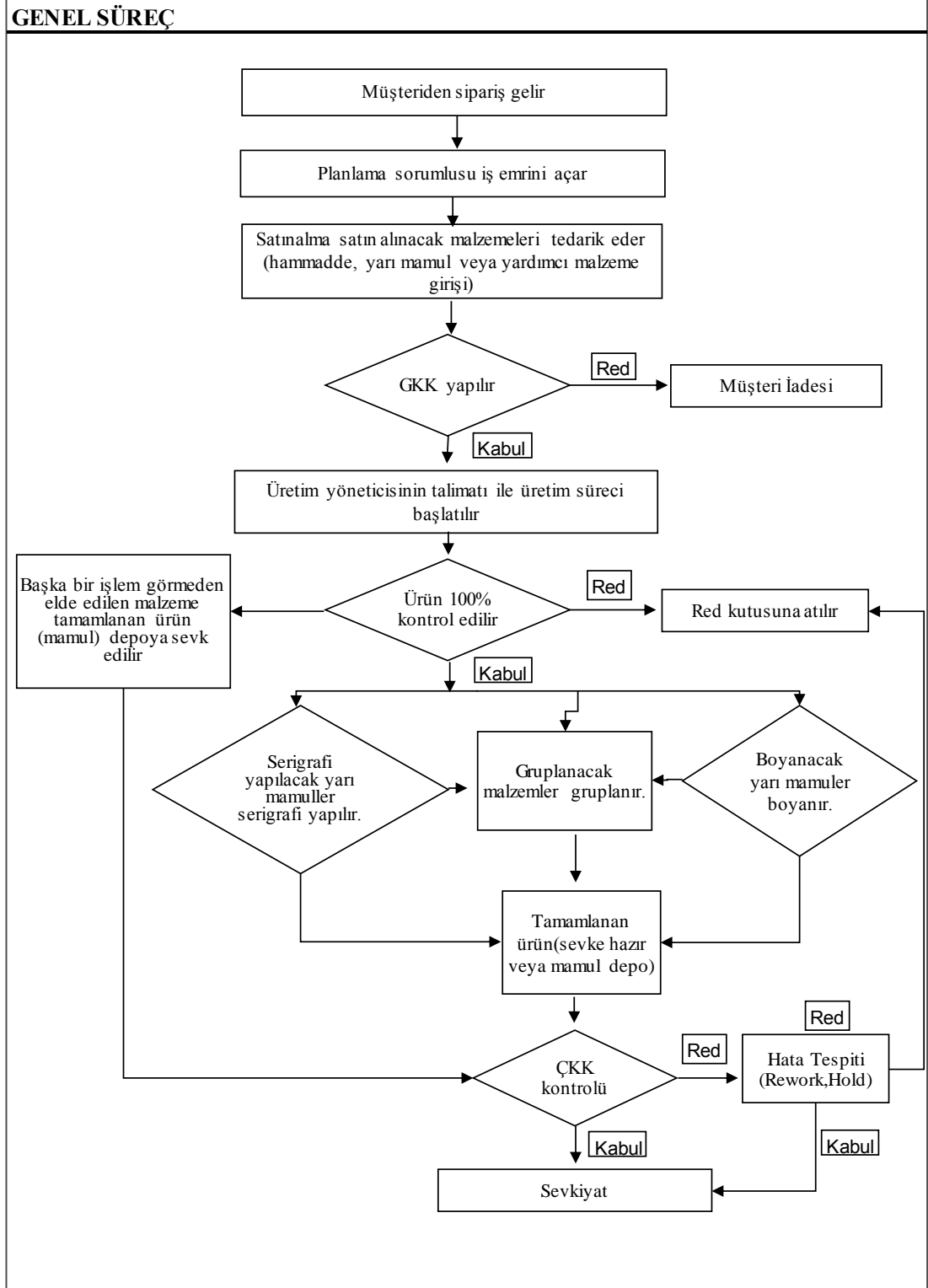
- [40] Karakuş, D. (2001). Kalite Fonksiyonlarını Geliştirme, Olası Hata Türü Etkileri ve Analizi ve Deneylelerin Tasarımı Tekniklerinin Entegre Kullanımı. Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Metalurji Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul.
- [41] Taptık, Y., Keleş, Ö. (1998). *Kalite Savaşı*. İstanbul: Kalder Yayınları.
- [42] Şirvancı, M. (1997). *Kalite İçin Deney Tasarımı "Taguchi Yaklaşımı"*. İstanbul: Literatür Yayıncılık.)
- [43] Gökçe, B., Taşgetiren, S. (2009). Kalite için Deney tasarımı. *Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 6 (1), 71-83.
- [44] Bhote, K. R. (1988). *World Class Quality*. New York: American Management Association.
- [45] Akman, G., Özkan, C. (2011). Sac İmalatında Karşılaşılan Yapışma Probleminin Deney Tasarımı İle Çözümü. *Doğuş Üniversitesi Dergisi*, 12(2), 187-199.
- [46] Montgomery, C.D. (1985). *Statistical Quality Control*. ABD: John Willey&Sons Inc.
- [47] Soylak, M. (2000). Kalite Geliştirmede Deneysel Tasarım ve Taguchi Yöntemi. Yüksek Lisans Tezi, *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Sivil Havacılık Anabilim Dalı, Kayseri.
- [48] Saat, M. (2000). Kalite Denetiminde Taguchi Yaklaşımı. *Gazi Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 2 (3),97-108
- [49] Taguchi, G. (1990). *Introduction to Quality Engineering: Designing Quality into Products and Processes*. Seventh edition, Nordica International Limited
- [50] Lochner, R. H., Matar, J. E. (1990). *Designing For Quality*. New York: Chapman And Hall

- [51] Baynal, K. (2003). Çok Yanıtlı Problemlerin Taguchi Yöntemi İle En İyilenmesi Ve Bir Uygulama. Doktora Tezi, *İstanbul Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü*, İşletme Anabilim Dalı, İstanbul.
- [52] Kamber, Ö. Ş. (2008). Plastik Enjeksiyon Kalıplarında Basınç ve Sıcaklık Parametrelerinin Ürün Kalitesine Etkileri ve Taguchi Yöntemi İle Optimizasyonu. Doktora Tezi, *Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Makine Eğitimi Anabilim Dalı, İstanbul.
- [53] Taguchi, G. ve Clausing, D. (1990). Robust Quality. *Harvard Business Review*, Ocak-Şubat, 65-76.
- [54] Öztemel, Ö. (2012). *Yapay Sinir Ağları*. İstanbul: Papatya Yayıncılık.
- [55] Nابیev, V. V. (2003). *Yapay Zeka*. Ankara: Seçkin Yayıncılık.
- [56] Bilen, M. (2014). Yapay Sinir Ağları için Web Tabanlı Bir Eğitim Yazılımı Geliştirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı, Isparta.
- [57] Yakut, E., Gündüz, M., Demirci, A. (2015). İnsani Kalkınmışlık Düzeyinin Sınıflandırma Başarılarının Karşılaştırılmasında Sıralı Lojistik Regresyon Analizi ve Yapay Sinir Ağları Yöntemlerinin Kullanılması. *İşletme Araştırmaları Dergisi*, 7(4),172-199
- [58] Turaçlı, H. (2003). *Enjeksiyoncunun El Kitabı*. İstanbul: Pagev Yayınları.
- [59] Eker, A. (2008). *Plastik Enjeksiyon Yöntemiyle İmal Edilen Parçalarda Karşılaşılan Problemler Ve Çözümleri*. İstanbul.
- [60] Akyüz, Ö. F. (2001). *Plastikler ve Plastik Enjeksiyon Teknolojisine Giriş*. İstanbul: Pagev Yayınları.
- [61] MEB. (2013). *Plastik Teknolojisi/ Enjeksiyon Makine Ayarları*. Ankara.

EKLER

10. EKLER

EK 1: Uygulama Yapılan Firmanın Genel Süreç Akış Şeması



EK 2: Enjeksiyon Prosesi Akış Şeması

