



**DEMİR ÇELİK SEKTÖRÜNDE TAGUCHI
DESTEKLİ YAPAY SİNİR AĞI MODELİ İLE SIVI
HAM DEMİR KÜKÜRT İÇERİĞİ TAHMİNİ**

Münire HEKİM

**2022
YÜKSEK LİSANS TEZİ
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ**

**Tez Danışmanı
Dr. Öğr. Üyesi Erkan Sami KÖKTEN**

**DEMİR ÇELİK SEKTÖRÜNDE TAGUCHI DESTEKLİ YAPAY SINIR AĞI
MODELİ İLE SIVI HAM DEMİR KÜKÜRT İÇERİĞİ TAHMİNİ**

Münire HEKİM

**T.C.
Karabük Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalında
Yüksek Lisans Tezi
Olarak Hazırlanmıştır**

**Tez Danışmanı
Dr. Öğr. Üyesi Erkan Sami KÖKTEN**

**KARABÜK
Ağustos 2022**

Münire HEKİM tarafından hazırlanan “DEMİR ÇELİK SEKTÖRÜNDE TAGUCHI DESTEKLİ YAPAY SINIR AĞI MODELİ İLE SIVI HAM DEMİR KÜKÜRT İÇERİĞİ TAHMİNİ” başlıklı bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Dr. Öğr. Üyesi Erkan Sami KÖKTEN
Tez Danışmanı, Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Bu çalışma, jürimiz tarafından Oy Birliği ile Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir. 29/08/2022

<u>Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)</u>	<u>İmzası</u>
Başkan : Dr. Öğr. Üyesi Mümtaz İPEK (SAÜ)
Üye : Dr. Öğr. Üyesi Erkan Sami KÖKTEN (KBÜ)
Üye : Dr. Öğr. Üyesi Tuğrul BAYRAKTAR (KBÜ)

KBÜ Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Yönetim Kurulu, bu tez ile, Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Hasan SOLMAZ
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü

“Bu tezdeki tüm bilgilerin akademik kurallara ve etik ilkelere uygun olarak elde edildiğini ve sunulduğunu; ayrıca bu kuralların ve ilkelerin gerektirdiği şekilde, bu çalışmadan kaynaklanmayan bütün atıfları yaptığımı beyan ederim.”

Münire HEKİM

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

DEMİR ÇELİK SEKTÖRÜNDE TAGUCHI DESTEKLİ YAPAY SINIR AĞI MODELİ İLE SIVI HAM DEMİR KÜKÜRT İÇERİĞİ TAHMİNİ

Münire HEKİM

Karabük Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı:

Dr. Öğr. Üyesi Erkan Sami KÖKTEN

Ağustos 2022, 68 sayfa

Entegre demir çelik tesislerinde demir cevherinden çelik üretimi gerçekleşir. Üretim ile beraber planlamanın da doğru yapılması, demir çelik sektöründe çeliğin kalitesi açısından önemlidir. Sıvı ham demirin üretildiği tesis olan yüksek fırın, planlama çerçevesinde hammadde miktarını istenilen seviyede kullanmaktadır. Hammaddeler sıvı ham demirin kalitesini etkilemektedir. İstenilen özellikteki ürünün takibi her işletmelerin otomasyon ünitelerince dijital platform üzerinde gerçekleştirilip kaydı alınmaktadır.

Son yıllarda, süreç modelleme ve optimizasyon konularında yapay sinir ağları (YSA) kullanımına artan bir ilgi bulunmaktadır. YSA'nın en önemli özelliklerinden doğrusal olmayan yapıları modelleyebilmesi, paralel dağılmış yapısı, öğrenme ve genelleme yapabilme yeteneği, farklı problemlerde uyarlanabilirliği ve hata toleransına sahip olmasıdır. YSA'nın kullanımı model gelişim sürecini kısaltmaktadır. Karmaşık ve

uzun bir süreç olan demir cevherinden sıvı ham demir içerisindeki kükürt oranı tahminlemesi zordur.

Yüksek performanslı bir YSA modeli kullanıcıya birçok avantaj sunmaktadır. Ancak iyi bir YSA modelinin uygun eğitim ve mimari parametrelerinin belirlenmesi gerekmektedir. Gizli katman nöron sayısı, transfer fonksiyonu ve eğitim fonksiyonu gibi parametreler genel olarak, deneme-yanılma prosedürü ile çok sayıda YSA modelinin geliştirilmesi ve karşılaştırılarak en iyi performans gösteren modelin seçilmesi ile belirlenebilmektedir.

Bu çalışmada, entegre demir çelik fabrikası olan Kardemir'de 5. Yüksek Fırın'da üretilen sıvı ham demirin en önemli kalite parametrelerinden biri olan kükürt içeriği ele alınmıştır. Kükürt içeriğinin modellenmesinde YSA yönteminden yararlanılmıştır. YSA'nın eğitiminde literatürde yaygın olarak kullanılan Levenberg Marquardt algoritması tercih edilmiştir.

YSA'nın eğitilmesinde cüruf bazitesi, kükürt girdisi, mangan girdisi, silis girdisi, üfleme sıcaklığı ve tepe basıncı girdi parametreleri olarak kullanılmıştır. Yüksek fırına ait 2019 ve 2021 yılları arasında belirlenen günlük girdi ve çıktı kükürt içeriği üretim verileri YSA için kullanılabilir olması açısından normalize edilmiştir.

Taguchi tabanlı YSA modeli geliştirilmiş ve regresyon analizi ile karşılaştırılmıştır. Sonuçlar oluşturulan ağırlık yüksek doğruluk derecesine sahip olduğunu göstermiştir. Ayrıca Taguchi deney tasarımı yöntemi ile optimum YSA eğitimi ve mimari parametrelerinin sistematik bir şekilde belirlenebileceği ve böylece uzun deneme yanılma yöntemlerinden kaçınılabileceği görülmüştür.

Anahtar Sözcükler : Yapay sinir ağları, Taguchi yöntemi, çoklu regresyon, yüksek fırın, sıvı ham demir, kalite.

Bilim Kodu : 90609

ABSTRACT

M. Sc. Thesis

PREDICTION SULFUR CONTENT OF PIG RAW IRON WITH TAGUCHI SUPPORTED ARTIFICIAL NEURAL NETWORK MODEL IN IRON AND STEEL INDUSTRY

Münire HEKİM

**Karabük University
Institute of Graduate Programs
Department of Industrial Engineering**

Thesis Advisor:

Dr. Erkan Sami KÖKTEN

August 2022, 68 pages

Steel is produced from iron ore in integrated iron and steel plants. Correct planning along with production is important for the quality of steel in the iron and steel industry. The blast furnace, which is the facility where pig raw iron is produced, uses the amount of raw material at the desired level within the framework of planning. The raw materials affects the quality of the pig raw iron. Product control is recorded in automation units with a digital platform.

In recent years, there has been an increasing interest in the use of ANNs in process modeling and optimization. The most important properties of ANN are their ability to model nonlinear structures, their parallel distributed structure, their ability to learn and generalize, their adaptability to different problems, and their error tolerance. The use

of ANN shortens the model development process. It is difficult to estimate the sulfur content in pig raw iron from iron ore, which is a complex and long process.

A high performance ANN model has many advantages. However, the appropriate training and architectural parameters of a good ANN model should be determined. The parameters such as the number of neurons in the hidden layers, transfer function and training function can generally be determined by trial-and-error procedure by developing multiple ANN models and selecting the best model by comparison.

In this study, the sulfur content which is one of the most important quality parameters of the pig raw iron produced in the 5th Blast Furnace of Kardemir that is an integrated iron and steel factory, is discussed. ANN method was used in modeling the sulfur content. Levenberg Marquardt algorithm that is widely used in the literature, was preferred in the training of the ANN.

In the training the ANN, slag basicity, sulfur input, manganese input, silica input, blowing temperature and peak pressure were used as input parameters. The daily input and output sulfur content production data of the blast furnace determined between 2019 and 2021 has been normalized to be usable for ANN.

Taguchi-based ANN model was developed and compared with regression analysis. The results showed that the created network has a high degree of accuracy. In addition, it has been found that the optimum ANN training and architectural parameters can be determined systematically with the Taguchi experimental design method, thus avoiding long trial and error methods.

Key Word : Artificial neural network, Taguchi method, multiple regression, blast furnace, pig raw iron, quality.

Science Code : 90609

TEŞEKKÜR

Bu tez alıőmasının tasarlanması, incelenmesi ve sürdürülmesinde engin bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım, görüş ve yönlendirmeleri ile tezime katkıda bulunan Sayın hocam Dr. Öğr. Üyesi Erkan Sami KÖKTEN'e, uygulama sürecinde gerekli verileri sağlayan Yüksek Fırınlar Müdürü Sayın Fikret FURTUN'a, tez çalışması esnasında desteklerini esirgemeyen Endüstri ve Etüd Proje müdürüm Sayın Zeren KARAARSLAN'a ve Üretim Sistemleri başmühendisim Sayın Neslihan KÖSE'ye sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Sevgili ailem ve çok kıymetli eşim Mert Orkun HEKİM'e desteklerini sürekli olarak hissettirip hiçbir zaman beni yalnız bırakmadıkları, her daim beni güçlü kıldıkları için tüm kalbimle şükranlarımı sunarım.

Bu tez çalıőmamda ihtiyaç duyduğum verileri kullandığım için Kardemir Karabük Demir Çelik Sanayi ve Ticaret A.Ő.'ye teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

KABUL.....	ii
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xi
ÇİZELGELER DİZİNİ	xii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xiii
BÖLÜM 1	1
GİRİŞ	1
BÖLÜM 2	3
LİTERATÜR TARAMASI.....	3
BÖLÜM 3	9
GENEL BİLGİLER	9
3.1. TÜRKİYE’DE DEMİR ÇELİK	10
3.2. ÇELİK ÜRETİM YÖNTEMLERİ.....	11
3.2.1. Entegre Tesisler (BOF).....	11
3.2.2. Elektrik Ark Ocaklı (EAO).....	12
3.3. YÜKSEK FIRIN PROSESİ	12
3.3.1. Yüksek Fırın Tanımı.....	14
3.3.2. Yüksek Fırın Bölümleri	14
3.3.3. Yüksek Fırın Yardımcı Elemanları.....	15
3.3.4. Yüksek Fırın Çalışma Prosesi.....	19
3.3.5. Yüksek Fırın Girdileri.....	21
3.3.6. Yüksek Fırın Çıktıları	28
3.3.7. Yüksek Fırın Proses Parametreleri	30

	<u>Sayfa</u>
3.4. TAGUCHI YÖNTEMİ.....	33
3.4.1. Taguchi Kalite Sistemi	33
3.4.2. Taguchi Ortogonal Diziler	34
3.4.3. Taguchi Kayıp Fonksiyonu	35
3.4.4. Deney Tasarımına Taguchi Yaklaşımı	36
3.4.5. Taguchi Yöntemi Aşamaları.....	37
3.5. YAPAY SİNİR AĞLARI.....	38
3.5.1. Yapay Sinir Ağlarının Tarihçesi.....	41
3.5.2. Yapay Sinir Ağlarının Özellikleri.....	41
3.5.3. Yapay Sinir Ağı Türleri	42
3.5.4. Yapay Sinir Ağının Tasarımı.....	43
3.5.5. Yapay Sinir Ağlarında Öğrenme Algoritmaları	45
3.5.6. Yapay Sinir Ağlarının Uygulama Alanları	46
3.6. REGRESYON ANALİZİ.....	46
3.6.1. Basit Regresyon Modeli	47
3.6.2. Çoklu Regresyon Modeli.....	47
BÖLÜM 4	48
DENEYSEL ÇALIŞMALAR	48
4.1. YSA GİRDİ PARAMETRELERİN BELİRLENMESİ.....	48
4.2. YSA MİMARİSİNİN BELİRLENMESİNDE TAGUCHI YÖNTEMİNİN UYGULANMASI	50
BÖLÜM 5	52
BULGULAR VE TARTIŞMA	52
BÖLÜM 6	60
SONUÇLAR	60
KAYNAKLAR	62
ÖZGEÇMİŞ	68

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Şekil 3.1. Türkiye’de çelik üretimi.	11
Şekil 3.2. Entegre demir çelik üretim akış şeması.	12
Şekil 3.3. Yüksek fırın çalışma prosesi.....	20
Şekil 3.4. Yüksek fırın dökümhane (5 nolu).....	28
Şekil 3.5. Taguchi kalite kayıp fonksiyonu.....	36
Şekil 3.6. Biyolojik sinir hücresi.....	39
Şekil 3.7. Yapay sinir hücresi.	40
Şekil 3.8. İleri beslemeli YSA mimarisi.	43
Şekil 5.1. S/N (sinyal/gürültü oranı) için sonuç grafiği.	54
Şekil 5.2. Optimum parametre seviyelerinde oluşturulan YSA mimarisi.....	56
Şekil 5.3. Taguchi ile optimize edilmiş YSA modelinin performansı.	56
Şekil 5.4. YSA algoritması ve epoch sonucu.	57
Şekil 5.5. YSA çıktı, regresyon çıktı ve hedef değer karşılaştırma.	58

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 3.1. 5 nolu yüksek fırın için maksimum hava debisi, basıncı ve sıcaklığı....	31
Çizelge 3.2. L ₂₇ ortogonal dizi kombinasyonu.	35
Çizelge 3.3. Taguchi yöntemi akış şeması.	37
Çizelge 3.4. YSA ve sinir sistemi elemanlarının karşılaştırılması.....	39
Çizelge 3.5. YSA tarihsel gelişimi.....	41
Çizelge 3.6. YSA'ların sınıflandırılması.....	43
Çizelge 4.1. Girdi ve çıktı parametre örnekleri.....	49
Çizelge 4.2. Veri setinin minimum ve maksimum değerleri.	50
Çizelge 4.3. Taguchi tasarımında kullanılan YSA parametreleri ve seviyeleri.	51
Çizelge 5.1. YSA parametre optimizasyonu için L ₂₇	52
Çizelge 5.2. S/N (sinyal/gürültü oranı) için sonuç grafiği.	53
Çizelge 5.3. S/N oranları için ANOVA sonuçları.....	54
Çizelge 5.4. S/N oranı ve ANOVA sonuçlarının karşılaştırılması.....	55
Çizelge 5.5. Optimum parametre seviyeleri.....	55
Çizelge 5.6. YSA ve Regresyon modeli için MSE, MAPE ve R değerleri karşılaştırması.	59

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

SİMGELER

C	: karbon
O ₂	: oksijen
CO ₂	: karbondioksit
CO	: karbonmonoksit
H ₂	: hidrojen
He	: helyum
°C	: celsius (santigrat derece)
S	: kükürt
Mn	: mangan
Fe	: demir
Si	: silisyum
P	: fosfor
Ti	: titanyum
N ₂	: azot
%	: yüzde
SiO ₂	: silisyum dioksit
mm	: milimetre
kg	: kilogram
CaO	: kalsiyum oksit
MgO	: magnezyum oksit
Fe(OH) ₃	: limonit
K ₂ O	: potasyum oksit
Na ₂ O	: sodyum oksit

KISALTMALAR

BOF	: Bazik Oksijen Fırını
EAO	: Elektrikli Ark Ocağı
YSA	: Yapay Sinir Ağı (ANN)
PCI	: Pulvarize Kömür Enjeksiyonu
LM	: Levenberg Marquardt
BR	: Bayesian
ART	: Adaptive Resonance Theory
RBF	: Radial Basic Function
GNN	: Graph Neural Networks
S/N	: Sinyal/Gürültü Oranı
MSE	: Ortalama Kare Hata (Mean Squared Error)
MAPE	: Ortalama Mutlak Yüzde Hata (Mean Absolute Percentage Error)
ANOVA	: Varyans Analizi (Variance of Analysis)
ANOM	: Ortalamaların Analizi
ÇKKV	: Çok Kriterli Karar Verme
MATLAB	: Matrix Laboratuvarı (Matrix Laboratory)
GRA	: Gri İlişkisel Analiz
TOPSİS	: İdeal Çözümlere Yakınlık Yoluyla Tercihlerin Sıralanması Tekniği
VIKOR	: Çok Kriterli Eniyileme ve Uzlaşık Çözüm
ISO	: International Organization for Standardization
TSHD	: Toplam Sıvı Ham Demir
NFTOOL	: Neural Network Fitting Tool
İSDEMİR	: İsdemir Demir Çelik Fabrikaları
KARDEMİR	: Karabük Demir Çelik Fabrikaları
ERDEMİR	: Ereğli Demir Çelik Fabrikaları

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Demir çelik sektöründe yarı mamulün oluşumunda en etkili tesis yüksek fırınlardır. Entegre tesisin kalbi olan yüksek fırınlarda sıvı ham demir üretimi gerçekleştirilmektedir. Yüksek fırın, hem girdi hem de çıktı açısından önemli bir stratejik konuma sahiptir. Sıvı ham demir üretiminde yan ürün olarak cüruf ve yüksek fırın gazı da önemli çıktılardandır. Sıvı ham demir içerisindeki kimyasal kompozisyonlarından kükürt oranı, ürün karakteristik özelliği ve maden sıcaklığının durumu hakkında önemli bir parametredir. Sıvı ham demir içerisinde bulunan kükürtü, çelikhane tarafından istenilen seviyelerde tutmak gerekmektedir.

Kükürt, malzemenin sünekliliğini ve tokluğunu önemli seviyede azaltmaktadır. Ayrıca kaynaklanabilme özelliğini olumsuz yönde etkilemektedir. Demir ile reaksiyona girerek demir sülfür fazını oluşturmaktadır. Demir sülfür fazı, hadde sıcaklığında kırılabilirliğe sebep olması düşük ergime sıcaklığından dolayıdır. Kükürt tahmin modeli ile yüzde kükürt miktarının önceden tahmin edilmesi sağlanıp belirli adımların atılması ve müdahale edilmesi hususunda birtakım çalışmalar mevcuttur. Ürün kalitesini artırmak, sıvı ham demirin sıcaklık dengesini kontrol etmek ve yakıt maliyetini düşürmek için kükürt içeriğinin tahmin edilmesi önem arz etmektedir.

Sıvı ham demir karakteristiğini belirleyen ölçütlerden biri olan madendeki kükürt miktarı, girdi olarak kullanılan demirli malzemelerin ve yakıtın kükürt içeriğine bağlıdır. Kok, fırına şarj edilen girdi malzemelerin içerisinde kükürt miktarı en yüksek olanıdır. Kükürt girdisinde azalma sağlamak için kok yerine kükürt içeriği daha düşük olan pulvarize kömür enjeksiyonu (PCI) kullanılabilir. Ayrıca sıvı ham demir sıcaklığı PCI bağlı olarak da artar. Pulvarize kömür yüksek sıcaklık bölgesine direkt enjekte edilerek yanma veriminin elverişli olduğu şartlarda, koka göre reaktivitesi daha yüksek olduğundan fırın içi ısı kapasitesini arttırmaktadır. Sıvı ham demir

sıcaklığı arttığında ise kükürt daha fazla cürufa geçer ve yüksek ısı potansiyeli oluşturmaktadır [1].

YSA'nın uygun eğitim ve mimari parametrelerinin belirlenmesi zor bir iştir. Bu parametreler tipik olarak, çok sayıda YSA modelinin geliştirildiği ve birbiriyle karşılaştırıldığı deneme yanılma yöntemiyle belirlenmektedir. Bu çalışmada yüksek fırınlarda üretilen sıvı ham demirin en önemli kalite parametrelerinden biri olan kükürt içeriği Levenberg Marquardt algoritması ile eğitilmiş ileri beslemeli geri yayımlı YSA ile modellenmiştir. Taguchi deney tasarımı yöntemi ile en uygun YSA parametreleri belirlenmiştir. YSA eğitimi ve mimari parametreler L_{27} ortogonal dizisinde düzenlenmiş, deneyler 2 tekrarlı olarak gerçekleştirilmiş ve YSA modelinin tahmin performansı değerlendirilmiştir. Varyans analizi (ANOVA) ile YSA parametre etkileri belirlenmiştir.

BÖLÜM 2

LİTERATÜR TARAMASI

Taylan yapmış olduğu çalışmada, fabrikada günlük tüketilen yakıtın miktarını Taguchi yöntemi ile optimize etmeye çalışmıştır. Her biri üçer seviyeli dört faktörü incelendiği çalışmasında, L₉ ortogonal dizini kullanarak 3 tekrarlı olacak şekilde toplam 27 deney gerçekleştirmiştir [2].

Özay vd. sementasyon çeliğinin işlenmesinde kesme parametrelerinin titreşim üzerindeki sonuçlarını deneysel tasarım yöntemi kullanarak incelemişlerdir. Her biri üçer seviyeli dört parametrenin incelendiği çalışmada L₁₈ ortogonal dizini kullanmışlardır. Deney sonucunda teğetsel silindirik taşlama metodunun daha avantajlı olduğu görülmüştür [3].

Oliaei vd. çalışmalarında üç polimerin enjeksiyon işlenebilirliği hakkında çalışma yapmışlardır. Analizi Taguchi yöntemi ve enjeksiyon kalıplama simülasyonu ile gerçekleştirmeye çalışmışlardır. Parametre değerlerini Autodesk Mold enjeksiyon kalıplama simülasyonunu kullanarak belirlemişlerdir. Her biri üçer seviyeli beş faktör için L₂₇ ortogonal dizisini kullanmışlardır. YSA, Taguchi ve ANOVA'dan faydalanmışlardır. YSA ve Taguchi optimal seviyelerin örtüştüğü ve termoplastik poliüretan bileşiğinin kalite kusurlarına karşı daha dirençli olduğunu tespit etmişlerdir [4].

Midilli, YSA ve Taguchi yöntemini entegre kullandığı bir yazılım geliştirmiştir. YSA modeline etki eden faktörleri optimize etmeye çalışılmıştır. Tütün endüstrisinde önemli bir fiziksel kalite parametresi tahminini gerçekleştirmiş olup YSA yapısını kullanmıştır [5].

Ouyang vd. yüksek hidrojen konsantrasyonu, CO konsantrasyonu, yüksek metanol dönüşüm verimliliği ile metanol buharı yeniden oluşumunu Taguchi ve YSA'yı kullanarak çalışmışlardır. Üç faktörün optimum değerlerini bulmuşlardır. Sonuç olarak bu çalışma ile kalite kaybı azaltılarak etkin sonuçlar vermiştir [6].

Pardeshi vd. ileri ozmoz yeraltı suyu tuzsuzlaştırma işleminde YSA ve Taguchi metodunu kullanmışlardır. Çalışma için dört seviyeli, dört faktörlü L_{16} ortogonal dizisinden yararlanmışlardır. Sonuç olarak YSA yardımıyla optimum parametre seviyeleri tespit edilmiştir [7].

Tortum vd. Taguchi yöntemini kullanarak YSA'ların model parametrelerinin optimizasyonu üzerinde durmuşlardır. Taguchi yöntemi ile YSA performanslarını belirlemişlerdir. Yaptıkları deneyle araştırma yaptıkları fonksiyonda etkili olan parametrelerin optimum seviyeleri bulunmuştur. Böylece Taguchi metodunun uygulanması YSA performansını belirlemede etkili olduğu görülmüştür [8].

Demir çelik sektöründe yüksek fırından alınan veriler ile eğitim sürecinde YSA'da üç farklı öğrenme algoritması kullanılmıştır. MATLAB platformunda tasarlanan YSA Visual Studio platformuna alınmış ve tahmin sonuçları ortalama mutlak yüzde hata ile kıyaslanmıştır [9].

İleri beslemeli, geri yayımlı YSA ile ilgili algoritmalarla bilgi verilerek, bir veri seti ile 13 uygulama yapılmıştır. Deney sonucunda algoritmanın korelasyonu iyi performans göstermiştir. Ara katmandaki nöron sayısının değişmesi ile algoritmanın korelasyonunda değişiklik gösterdiği gözlenmiştir [10].

Plastik enjeksiyon sektöründe bulunan bir işletmede, kalite sorunlarının en çok rastlandığı ekipmanlardan biri alınarak deney tasarımından yararlanılmıştır. Boyutsal küçülme miktarının minimizasyonu için L_{18} ortogonal dizini kullanılmıştır. Uygun seviyeler belirlenerek aynı faktörlerle YSA modeli oluşturulmuştur. Çalışmalar neticesinde ortaya çıkan veriler ile ağ eğitilmiştir. Sorunu en aza indiren parametre değerlerine ulaşılmıştır. Çalışma sonuna gelindiğinde ise YSA ve Taguchi metodundaki neticeler kıyaslanmıştır [11].

Hong vd. çalışmalarında YSA ile fırın tasarımını değerlendirmişlerdir. 3 katmanlı ve 10 bağımsız parametreden YSA modeli oluşmuşlardır. Algoritma olarak Back Propagation (BP) algoritması kullanılmıştır. Değerlendirme sonucu nitel endeksli olup 5 sınıfa ayrılmıştır; mükemmel, iyi, orta, kötü, daha kötü. Alınan 200 verinin 150 adedi öğrenme 50 adedi test için kullanılmıştır. Ağ 60000 kez eğitilmiş yeni ağırlıklar belirlenerek model en az hatayı verecek şekilde tasarlanmıştır. Çalışmanın sonucunda ise 3 adet yüksek fırın modeli tasarlanmış, uzmanlar tarafından bu tasarımların içerisinde 3.şema en uygunu seçilmiştir. Çin'deki bir demir çelik limitet şirketi ise bu şemayı uygulayarak olumlu sonuçlar elde etmişlerdir [12].

Yüksek fırınlarda yakıt olarak tüketilen kok miktarı ile ilgili yapılan uygulamada YSA kullanılmıştır. Kok tüketiminin, üretimi yapılan sıvı ham demir miktarı ile ilişkisi tasarlanmıştır. Tasarımda, yakıt tüketimi ve sıvı ham metal içerisindeki kükürt oranları ele alınmıştır. Modelin üretim sürecinde tesise yardımcı olabileceği yönünde sonuçlar elde edilmiştir [13].

Nervürlü inşaat çeliğinin mukavemet özelliklerinin çoklu doğrusal regresyon ve YSA ile tahminlemesinin yapılması amaçlanmıştır. Kimyasal kompozisyonu oluşturan elementlerden; karbon, mangan ve silisin yanında haddeleme sürecinde mukavemete etki eden diğer parametreler (su debisi, ebat vb.), bağımsız değişkenler olarak belirlenmiştir. Akma mukavemeti ve çekme mukavemeti bağımlı değişken olarak belirlenmiş ve bahsedilen yöntemlerle tahmin edilmiştir [14].

Yüksek fırın, üretim süreci araştırılmış ve parametreleri kullanılarak sıvı ham demir sıcaklığının tahmin edilmesini sağlayacak bir tasarım ortaya atılmıştır. Yüksek fırınlarda YSA'larının, kontrol ve/veya simülasyon amaçlı olarak model geliştirilmesinde kullanılabileceği gösterilmiştir [15].

Sıcak maden içerisindeki silisyum oranı yüksek fırının termal durumu ve ürün kalitesi hakkında önemli bir parametredir. Çalışmada, İskenderun Demir Çelik Fabrikası (İsdemir) 3. yüksek fırını üretim verileri YSA modülü ile kullanılmıştır. Sonuç olarak prosesde bir sonraki dökümün silisyum değeri %83 doğruluk oranıyla tahmin edilmiştir [16].

Tornalamada ortaya çıkan kesme kuvveti modellemesinin sürecini bir vaka çalışması yaklaşımı ile göstermek istenmiştir. Çalışma için üç seviyeli, sekiz faktörlü L_{16} ortogonal dizisinden yararlanılmıştır. YSA modelinin tahmin performansı, ANOVA ve ortalamaların analizi (ANOM) kullanılarak değerlendirilmiştir. YSA modelinin optimizasyonu için Taguchi yöntemi kullanılmıştır [17].

Kastamonu ilinde, meteoroloji ve çevre uygulamalarında başarılı sonuçlar elde edilmiştir. Çeşitli makine öğrenmesi algoritmaları ile hava kirliliğinin tahmininde, bazı meteorolojik değişkenler kullanılarak hava kirliliği tahmini yapacak modeller geliştirilmiştir [18].

Bir dizi ölçümden alınmış deneysel veriyi kullanarak jelatin çözeltilerinin dinamik viskozitesini tahmin etmek üzere geliştirilen çok katmanlı ileri beslemeli bir YSA modeli kullanılmıştır [19].

Çalışmada, özel bir uçağın kara kutusundan gerçek veriler alınarak tahminleme yapılmıştır. Giriş değerleri olarak uçağın hızı, bulunduğu yükseklik ve ortam sıcaklığı belirlenmiştir. YSA'da 8 farklı eğitim algoritması kullanılmış olup farklı model yapıları oluşturulmuştur [20].

Bir kuruyemiş fabrikasında Taguchi yöntemi ile işlem süresinin en küçüklenmesi amaçlanmıştır. İşlem süresine etki eden faktörler belirlenmiş olup L_9 ortogonal dizini 2'şer kez tekrarlı kullanılmıştır. Ortaya çıkan veriler ışığında draje kaplama süreci için optimum parametre değerleri belirlenmiştir. ANOVA ile faktör etkileri belirlenmiştir. Taguchi yöntemi ile işlem süresinde %40 iyileşme sağlanmıştır [21].

Otomotiv sektöründe tampon hammaddesi olarak kullanılan polipropilenin özelliklerinin iyileştirilmesi amacıyla; talk ve kolemanit hibrit katkılı polipropilen homoacı polimer (PPH) kompozitlerin çekme özellikleri Taguchi metoduyla en iyilenmiş ve özellikleri tahminleme olanağı sağlayan bir YSA modeli geliştirilmiştir [22].

Çalışmada alüminyum ekstrüzyon prosesinde malzemenin mekanik davranışlarını etkileyen 5 faktör ele alınmıştır. L_{16} ortogonal dizisi seçilmiştir. Sonuçlar MINITAB 16 istatistiksel paket programında analiz yapılmıştır. Aynı faktörler, çok yanıtlı problem en iyilenmesi yaklaşımı ile araştırılmıştır. İncelenen neticeler, YSA ile ortaya çıkan sonuçlarla da kıyaslanmıştır. MATLAB R2007b programında YSA çalışması yapılmış ve uygun kombinasyon bulunmuştur [23].

Bir çamaşır makinesi modelinin kalite karakteristiklerine etki eden faktörler ve her bir faktör için seviyeler belirlenmiş, ardından faktörlerin hangi seviyelerinde kalite karakteristiklerini en iyilendiği çalışma kapsamında geliştirilen bir deney tasarımı modeli kullanılarak analiz edilmiştir. Son aşamada ise tasarımdan elde edilen sonuçlar doğrultusunda faktörlerin en iyi seviyeleri tespit edilmiştir. Uygulamada kullanılan tasarımın geliştirilmesi ve sonuçların ortaya çıkmasında Taguchi yöntemi ile birlikte Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) yöntemleri olan Gri İlişkisel Analiz (GRA), TOPSIS (İdeal Çözümlere Yakınlık Yoluyla Tercihlerin Sıralanması Tekniği) ve VIKOR (Çok Kriterli Eniyileme ve Uzlaşık Çözüm) metodları birlikte kullanılmıştır. Farklı metodlardan ortaya çıkan sonuçlar birbirleriyle kıyaslanmış ve en iyi faktör kombinasyonları seçilmiştir [24].

İnce boyutlu Zonguldak kömürü, yağ aglomerasyonu tekniği ile verimli hale getirilmektedir. Çeşitli parametrelerle incelenmiştir. Çalışma için dört seviyeli, beş faktörlü L_{16} ortogonal dizisinden yararlanılmıştır. 16 adet aglomerasyon deneyi gerçekleştirilmiştir. Optimizasyon sonucunda doğrulama deneyi yapılmıştır. En yüksek S/N oranına Test 2 ile ulaşılmıştır [25].

Plastik enjeksiyon kalıplama tekniği ile üretilen düğme iç göbek parçası incelenmiş olup üretim aşamasında belirli zaman diliminden sonra çekme meydana gelmiştir. Parça montajında sorunlar gözlenmiş olup çekme miktarının minimizasyonu için toplamda 7 faktör tespit edilmiştir. Bunlardan biri 6 seviyeli 1 faktör diğeri 3 seviyeli 6 faktördür. L_{18} ortogonal dizisi kullanımı sonrası deneyler tasarlanmış ve uygulanmıştır. Sonuçlar analiz edilerek faktörlerin uygun seviyeleri belirlenip geçerliliği doğrulama deneyi yapılarak kesinleştirilmiştir [26].

Bu tez çalışmasında, sıvı ham demirdeki kükürt içeriğini tahmin etmek için Taguchi ile optimize edilmiş bir YSA modeli geliştirmeye çalışılmıştır. Güvenilir YSA modelinin geliştirilmesi için cüruf bazitesi (CaO/SiO_2), kükürt girdisi (kg/tshd), mangan girdisi (kg/tshd), silis girdisi (kg/tshd), üfleme sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$) ve tepe basıncı (bar) parametreleri kullanılmıştır.

BÖLÜM 3

GENEL BİLGİLER

Birçok sektöre girdi sağlayan demir çelik sektörü, ekonomik açıdan büyük öneme sahiptir. Sürdürülebilirlik anlayışının temelinde ihtiyaç duyulan yüksek nitelikli ürünlerin çevresel etkileri azaltılarak, emniyetli ve güvenilir üretimi toplumsal ve ekonomik gelişime katkı sağlar. Ham çelik üretiminde üretilen ürünlerin iç ve dış piyasalarda rekabetçi fiyatlarla kullanıcıya ulaştırılması gerekmektedir.

Cevherden ve hurdadan çelik üretimi gerçekleşmektedir. Bunlardan birincisi bazik oksijen fırını (BOF) ikincisi ise elektrik ark yöntemidir. Bu iki farklı yöntem kullanılan hammadde çeşidiyle birbirleriyle ayrılmaktadır. Yüksek fırın prosesi genel olarak yassı ürünler üretirken elektrikli ark prosesi uzun mamuller üretmektedir. Yüksek fırın prosesi koku yakıt kaynağı olarak kullanırken, pelet ve parça cevherden ham çelik üretimi sağlamaktadır. Elektrikli ark prosesi ise hurda ergitme işlemini elektrik enerjisi ile yapmaktadır. Günümüzdeki ark ocakları da yassı üretim yapabilecek kapasiteleri vardır. Dünyada öncelikli üretim şekli olarak Yüksek fırın-çelikhane prosesi yer almaktadır [27].

Geri dönüştürülebilecek birçok ürünün oluştuğu demir çelik sektöründe geri dönüşüm sürdürülebilirlik açısından önemlidir. Üretim sürecinde ortaya çıkan atıklara karşı önlemler alınarak bu atıkların çevreye karşı olumsuz etkileri asgari seviyeye indirilir. Birçok tesiste ortaya çıkan gazlar ve tozlar temizlenip yan ürün olarak tekrardan üretim sürecine dahil edilir. Baca gazlarının oluşturduğu ısıdan faydalanılarak tesiste yakıttan tasarruf sağlanır. Bir diğer çevresel çalışmalar ise fabrika içerisinde ve dışarısında yapılan ağaçlandırma çalışmaları ve fabrika yollarının asfaltlanmasıdır. En önemli demir çelik atığı olan çelikhane cürufunun ekonomiye kazanımı için çeşitli projeler yapılmaktadır.

3.1. TÜRKİYE'DE DEMİR ÇELİK

1925 yılında İktisat Vekaleti (Hazine ve Maliye Bakanlığı) Demir-Çelik Sanayinin kurulup kurulmayacağı incelemesine başladı. Petrol yatakları, kömür ve demir cevherinin incelenmesi için yurt dışından uzman getirildi. Uzman Dr. Granigg, ülkenin sektör için uygunluğu, maden kömürünün yapısı ve sektörün nereye kurulabileceği ile ilgili çalışmalar yürüttü. 1932 yılına kadar ara verilen çalışmalar Rus Heyeti'nin incelemeleri ile Demir Çelik Sanayisi kurulması çalışmalarına tekrardan başlandı. Ağır demir sanayinin kuruluş yerinin tespiti ve diğer sorunların incelenmesi için Sümerbank ve Erkan-ı Harbiye birlikte incelemelerde bulunarak kesin karar alınmış ve kuruluş yeri olarak Karabük yöresi uygun bulunmuştur. Karabük'ün seçilme nedenleri; kömür madenlerine yakın olması, demiryolu ulaşım imkanının bulunması, yörenin işçileri yerleştirilebilecek şekilde olması ve ağır tesislerin kuruluşuna jeolojik yapının uygunluğundan dolayıdır [28].

1928 yılında savunma sanayinin çelik ihtiyacını karşılamak adına ilk defa çelik üretimi Kırıkkale'de gerçekleştirilmiştir. 1939 yılında açılan ilk entegre demir çelik fabrikası Kardemir'den sonra Türkiye'nin yassı çelik üretim talebi için Ereğli Demir Çelik Fabrikaları (ERDEMİR) faaliyete başlamıştır.

Ardından 1977 yılında Türkiye'nin üçüncü entegre demir çelik fabrikası olan İskenderun Demir Çelik Fabrikaları (İSDEMİR) uzun çelik ürünleri üretmeye başlamıştır [29].



Şekil 3.1. Türkiye’de çelik üretimi.

Türkiye’de 40 adet ham çelik üretim tesisi bulunmaktadır. Şekil 3.1’de görüldüğü üzere 26’sı elektrik ark ocaklı (EAO), 11’i indüksiyon ocaklı ve 3’ü BOF üretim tesisidir [30].

2021 yılında Türkiye’de 40,4 milyon ton çelik üretimi gerçekleşmiştir [30].

2022 yılı Haziran ayında dünya ham çelik üretimi yaklaşık 158 milyon ton’dur. Türkiye, 2022 yılı Haziran ayında yaklaşık 2 milyon ton ham çelik üretmiştir [31].

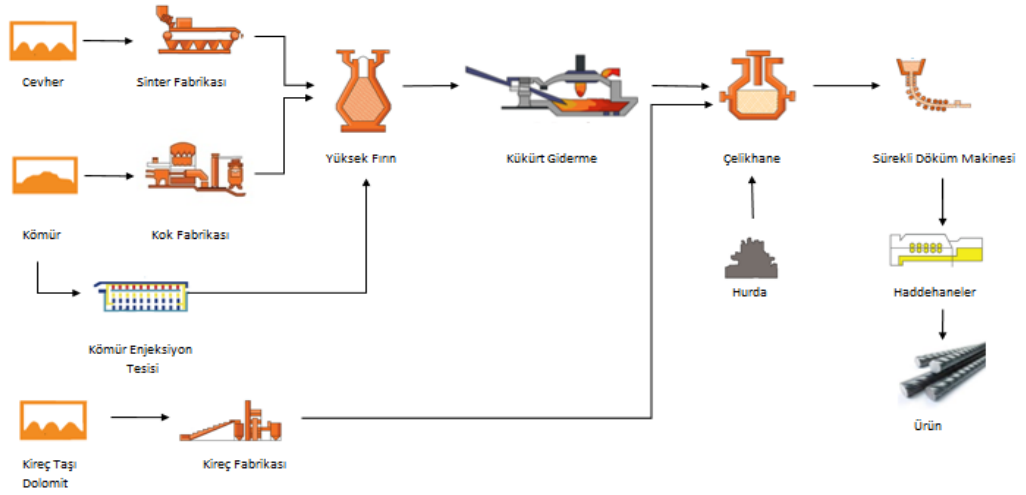
3.2. ÇELİK ÜRETİM YÖNTEMLERİ

Sıvı çelik üretimi, BOF entegre demir çelik tesislerinde ve hurda ile üretim yapan EAO tesislerinde yapılmaktadır.

3.2.1. Entegre Tesisler (BOF)

Kullanımı dünyada çok yaygın bir yöntem olan BOF yöntemi Türkiye’de 3 büyük entegre tesisinde bulunmaktadır.

Doğada bulunan demir cevheri sıvı ham demir üretiminin ana hammaddesidir. Demir cevheri kırma, eleme işlemlerinden geçirilmektedir. Toz demir cevheri ise sinter tesisinde ön işleme tabii tutularak topaklaştırılıp boyut kazandırılır. Yüksek fırının yakıt girdisi olan metalürjik kok, kok fabrikalarında koklaştırılmaktadır. Yüksek fırınlarda üretilen sıvı ham demir, torpidolarla çelikhane tesisine girdi hammaddesi olarak gönderilmektedir. BOF’nda içerisinde katkı malzemeleri katılarak istenilen kalitede çelik elde edilmektedir. Sürekli döküm makinelerinde ise nihai ürün haline dönüştürülmektedir [32].



Şekil 3.2. Entegre demir çelik üretim akış şeması.

3.2.2. Elektrik Ark Ocaklı (EAO)

EAO’lu tesislerinde çelik hurdası kullanılmaktadır. Çelik, hurda ile karıştırılarak elektrikli ark ocağına boşaltılır. Elektrotlardan geçen elektrik bir ark oluşturur ve açığa çıkan ısı hurdayı ertirir. Ergiyen metal, pota fırınlarına alınarak gerekli alaşımlar eklenir. Pota fırınlarında hazırlanan sıvı çelik, sürekli döküm makinelerinden geçirilerek kütük veya slab ürünleri ortaya çıkar [32].

3.3. YÜKSEK FIRIN PROSESİ

Yüksek fırınlar; içerisinde birçok termokimyasal olaylar sonucu, sıvı ham demir elde edilmesini sağlayan dikey izabe fırınlardır. Demir tenörlü malzemelerin, parça

cevherlerin ve sinterin, yakıt olan metalürjik kok kömürüyle indirgenmesi ile sıvı ham demir elde edilmektedir. İstenmeyen elementlerin giderilmesi için çelikhaneye aktarılır. Yüksek fırın prosesinde ergimiş metalin kalitesinde bileşiminin etkisi büyüktür ve sıcaklığında mümkün olduğunca yüksek olması istenmektedir.

Yüksek fırınlarda sıvı ham demir dışında yüksek fırın cürufu ve yüksek fırın gazı gibi yan ürünler de elde edilmektedir. Metale geçemeyen oksitli bileşikler cürufa geçmektedir.

Yüksek fırınlarda sıvı ham demir elde edilmesi için fırın üst bölgesinden, demirli malzemelerden; cevher, pelet ve sinter şarj edilir. Cüruf yapıcı malzemelerden çakmak taşı, dolomit, kireç taşı ve olivin şarj edilir. Enerji kaynağı olarak da metalürjik kok şarj edilir. Fırının alt bölgesinden enerji kaynakları olarak; kömür, katran, fuel oil ve doğalgaz şarj edilir. Kok, fırın alt bölgesine kadar katı ve akkor halinde, diğer malzemeler ise belirli aşamalardan geçerek hazneye sıvı olarak inmektedir.

Hava üretimi, enerji tesisleri bünyesindeki blower tarafından sağlanmaktadır. Sıcaklığı, yaklaşık 150°C'dir. Üretilen hava, yüksek fırın sobalarından geçerek yaklaşık 1100-1200°C olarak tüyer bölgesinden fırın içerisine üflenmektedir. Üflenen hava ile tüyer ön bölgesinde yanma işlemi gerçekleştirilir. Gerçekleşen bu yanma olayında yüksek fırına üflenen hava içerisindeki oksijen ile yakıt olarak kullanılan metalürjik kok reaksiyona girerek karbonmonoksit dönüşmektedir.

Yüksek fırın içerisinde demirin oksitlerinden arındırılması, CO (karbonmonoksit) gazı ile gerçekleşmektedir. Kimyasal reaksiyonlar sonucu açığa çıkan gazlar birçok tepkimeye girer ve sonucunda kirli gaz olarak fırını terk etmektedir. Kirli gaz, önce toz tutucuda yer çekimi etkisiyle büyük toz partiküllerden arındırılır daha sonra gaz temizleme tesisinde işleminden geçerek temiz gaz olarak şebekeye verilmektedir. Temizlenen yüksek fırın gazı, bazı tesislerde yakıt olarak kullanılmaktadır. Aynı zamanda yüksek fırın sobalarının ısıtma işleminde de tüketilmektedir.

3.3.1. Yüksek Fırın Tanımı

Demir çelik üretiminin en önemli proseslerinden birisi olan yüksek fırın; oksitli demir cevherinin indirgeme prensibine göre CO ile reaksiyona girerek sıvı ham demire dönüştüğü, kapasitelerine bağlı olarak da yükseklikleri 30-90 metre arasında değişebilen, dışı çelik zırhtan, iç çeperinde soğutma plakaları ve yüksek sıcaklığa dayanıklı refrakter malzemelerin bulunduğu dikey ergitme fırınlarına verilen isimdir.

3.3.2. Yüksek Fırın Bölümleri

Yüksek fırın, dikey ve konik bir yapıya sahiptir. Yüksek fırının dış gövdesi çelik zırhla çevrili olup fırının içerisinde oluşan reaksiyonlar sonucunda açığa çıkan ısının fırın gövdesinde bulunan saca zarar vermemesi için soğutucu plakalar ve refrakter tuğlalar ile kaplanarak korunmaktadır.

Yüksek fırın 5 kısımdan oluşmaktadır. Bunlar;

1. Boğaz (Throat)
2. Gövde (Shaft)
3. Bel (Belly)
4. Karın (Bosh)
5. Hazne (Hearth)

Boğaz (Throat)

Fırında şarjın yapıldığı ve açığa çıkan gazların borularla dışarıya atıldığı kısımdır. Bu kısımda çan ve basınçlı sistem olarak bilinen tepe sistemi bulunmaktadır. Şarj malzemeleri fırında tepe sisteminden içeri doğrudan alınır.

Gövde (Shaft)

Malzemelerin ve gazın ısınması ile hacimlerin artması sonucu malzemelerin rahat hareket edebilmeleri için fırının uzun ve aşağıya doğru genişleyen kısmıdır.

Bu bölümde katmanlı halde bulunan kok ve demir cevheri karışımı aşağıya doğru hareket eder. Gövde bölgesi cevherin ısıtıldığı ve redüksiyonun başladığı bölgedir. Yüklenen şarj, yaklaşık 8 saatlik bir sürede yayılmaktadır.

Bel (Belly)

Dikey ekseninde çapı sabittir ve yüksek fırının en geniş bölgesidir. Cüruf ve metalin erimesi sonrası hacim azalışı bu bölgede başlamaktadır.

Karın (Bosh)

Ters koni şeklindedir. Üstünde bel alt kısmında hazne ile birleşir. Redüksiyonun tamamlandığı ve ergimenin gerçekleştiği bölgedir. Fırının altından yeniden daralmaya başlar. Bu kısımdaki hacmin küçültülmesi kısmi ergimenin sağlanması içindir. Bu bölgede eriyen metal ve cüruf dikey ekseninde sabit çaplı hazne bölgesinde birikir.

Hazne (Hearth)

Ergimiş demirin biriktiği ve dökümün alındığı bölgedir. Fırının altında silindirik bir şekle sahip olup içerisine sıvı demir ve cüruf toplanır. Haznenin üst kısmında fırının büyüklüğüne göre değişen bakırdan yapılmış, sıcak havanın üflendiği tüyer olarak adlandırılan delikler bulunur. Bu kısımlar su ile soğutulmaktadır. Haznenin en altında ham demirin ve cürufun alınabilmesi için döküm deliği bulunmaktadır. Dökümler matkap motoru ile açılmakta olup haznedeki maden ve cüruf yeterli seviyede alındıktan sonra yüksek sıcaklıklara dayanıklı olan refrakter malzeme ile tekrardan kapatılmaktadır [34].

3.3.3. Yüksek Fırın Yardımcı Elemanları

1. Hammadde besleme tesisleri (Şarj)
2. Sobalar
3. Kömür enjeksiyon sistemi
4. Dökümhane

5. Kontrol odası
6. Soğutma sistemi ve refrakterler
7. Fırın üstü şarj sistemi [34].

1. Hammadde Besleme Sistemi: Yüksek fırında kullanılacak olan hammaddelerin stoklandığı, kullanıma hazır hale getirildiği ve fırına gönderildiği ünedir. Bu ünite de aşağıdaki bölümler bulunur [33,34]:

1. Hammadde siloları
2. Besleyiciler
3. Konveyörler
4. Tartı hazneleri
5. Malzeme kovaları

2. Sobalar: Körük sistemi, atmosferden alınan havayı sıkıştırarak sıcaklığını yaklaşık 150°C'ye kadar çıkarmaktadır. Elde edilen soğuk hava fırın devresindeki sobadan geçerken sıcaklık 1100-1200°C'ye ulaşmaktadır ve yüksek fırınlarda kokun yanmasını sağlayacak olan sıcak havanın elde edilmesi sağlanır. Üç adet soba bulunmaktadır. Sobalar tek tek çalışmakta olup biri yüksek fırını beslerken diğerleri ise gaz devresinde ısıtmakta ve hazır hale getirilmektedir [34].

3. Kömür Enjeksiyon Sistemi (PCI): PCI, enjeksiyon tesislerinde hazırlanan büyük hacimlerdeki toz kömürün fırına sıcak hava ile birlikte üfleme yoluyla verilen bir prosestir. PCI ile kok kullanımında düşüş ve metalik demir üretim miktarında artış gözlenir. Pulvarize kömürün kullanımındaki amaç yakıt oranını düşürmektir [34].

Tüyerler: Sobalarda ısıtılan basınçlı sıcak havanın ve enjeksiyon tesisinde hazırlanan pulvarize kömürün fırın içerisine üflendiği yerdir. Tüyerler fırının haznede döküm deliğinin 30-35 cm üzerinde fırın duvarına yerleştirilmiştir. Tüyerler, bakır malzemedan olup ara soğutucular demir alaşımli dökümden yapılmıştır [33]. Fırınlardaki tüyer sayısı fırın boyutuna göre değişkenlik göstermektedir. Demirli malzemenin ergiyebilmesi için kok gazının yanması gerekir. Kok gazının yanması için ise tüyerlerden basınçlı sıcak havanın üflenmesi gerekmektedir.

4. Dökümhane: Dökümhane sıvı ham demirin ve cürufun alındığı yerlerdir. Yüksek fırın kapasitesine göre dökümhanelerde bulunan ekipmanlar şunlardır [34].

1. Döküm ve cüruf delikleri
2. Ergiyik demir ve cüruf kanalları
3. Dökümhane vinci
4. Döküm açma matkabı
5. Döküm kapatma çamur topu

Döküm ve cüruf delikleri: Sıvı pik demirin ve cürufun fırından tahliye edildiği deliktir. Döküm deliği fırının boyutuna bağlı olarak değişmektedir. Yüksek üretkenlikteki modern fırınlarda 2 ila 4 döküm deliği bulunabilmektedir. 2 ve daha fazla döküm deliği bulunan fırınlarda döküm sıra ile alınır. Bu döküm delikleri refrakter malzeme ile yapılmaktadır.

Döküm geldiğinde refrakter malzeme matkap yardımı ile delinerek döküm alınır. Döküm bittiğinde fırının içerisinden hava gelmeye başlaması ile haznenin boşaldığı anlaşılır. Döküm deliği tekrardan refrakter malzeme ile kapatılır. Yoğunluk farkından dolayı cüruf, pik demirin üzerinde kalır [35].

Ergiyik demir ve cüruf kanalları: Bazı fırınlarda fırın haznesindeki cüruf ve pik demirin tahliyesi ayrı deliklerden yapılırken bazı fırınlarda ise tek bir delikten pik ve cüruf aynı kanala akmaktadır. Aynı döküm deliğinden alınan metal ve cüruf birbirine karışmaz ve ana maden kanalında yoğunluk farkından dolayı cüruf, metalin üzerinde kalmaktadır. Kanalın son kısmında sifon bölgesi bulunmaktadır. Sıvı ham demir, sifon altından geçerek maden kanalına ulaşır ve torpidoya tahliyesi gerçekleşmektedir. Cüruf ise sifondan geçemeyerek kanal seviyesinin yükselmesi ile cüruf kanalına yönelmektedir. Proses durumuna göre parça cüruf veya granüle cüruf olarak alınmaktadır. Bu kanallar yüksek sıcaklık ve aşınmaya dayanıklı olan refrakter malzemeler ile hazırlanmaktadır. [33,34,35].

Dökümhane vinci: Dökümhanedeki malzemelerin dökümhane içine nakledilmesinde kullanılan ekipmandır.

Döküm açma matkabı: Döküm geldiği zaman döküm deliğinin tekrardan açılması için kullanılan pistonlu ekipmana döküm açma matkabı denir. Döküm deliğinin açılması her zaman aynı noktadan yapılmalıdır. Asi takdirde çamur topu ile yapılan döküm kapatma işleminde daha az çamur topu kullanılır bu durum döküm deliğinin kısılmasına sebep olur. Aynı zamanda ekipmanın yanma riski artar [35].

Döküm kapatma çamur topu: Haznedeki cürufun ve sıvı ham demirin tahliyesinden sonra dökümün bittiği fırına üflenmiş havanın döküm deliğinden çıkması ile anlaşılır. Bu döküm deliğinin kapanma vaktinin geldiğinin göstergesidir. Döküm deliğini kapatmak için kullanılan refrakter malzeme yüksek sıcaklığı gördüğünde hızlı bir şekilde sertleşebilen reçine bazlı refrakterdir. Çamur topunu rahat hareket edebilmesi için döküm deliğinin temiz tutulması önemlidir. Çamur topunun pistonlarının hızı ve piston basıncının ayarlanması önemlidir. Eğer çamur topu, refrakteri deliği kısmi olarak doldurursa bir sonraki dökümün deliğini açmak daha zor olacaktır çünkü buna demir parçaları engel olacaktır.

Kontrol Odası: Yüksek fırınlarda gerçekleşen süreçlerin otomasyonel olarak takip edilmesini sağlayan bölümdür.

Soğutma Sistemi ve Refrakterler: Yüksek fırında cevher ve kokun reaksiyona girmesi sonucu açığa çıkan yüksek ısı tüyerlerde yaklaşık 2100-2300°C'de olurken fırının üstünde ise (hammadenin fırına şarj edildiği yerde) yaklaşık 150°C'dir [1].

Fırın Üstü Şarj Sistemi: Malzemenin fırına doldurulması için kullanılan sistem fırın üstü şarj sistemidir. Çan sistemi ve çansız tepe sistemi olarak iki çeşit şarj sistemi bulunmaktadır.

Çanlı Sistemi: Büyük ve küçük çan olarak adlandırılan çanların senkronize bir şekilde çalışması ile şarj malzemesi fırına şarj edilir. Fırından dışarıya gaz kaçıışı önlenmek için çanlar sıra ile açılır. Şarj malzemesi fırın üzerine getirilerek ilk önce küçük çanın üzerine dökülerek homojen olacak şekilde yayılır. Büyük çan kapalı iken küçük çan açılır ve küçük çandaki malzemeler büyük çana dökülmüş olur ve küçük çan kapatılır. Büyük ve küçük çan arasındaki basınç aynı olduğunda büyük çan açar ve şarj

malzemesi fırına aktarılmış olur. Şarj dökme işleminin bitmesi ile büyük çan kapanır ve küçük çanın tekrar açılabilmesi için iki çanın basıncının eşitlenmesi gerekmektedir [34,36].

Çansız Tepe Sistemi: En yeni şarj sistemi çansız tepe sistemidir. Bu sistem fırın üstü siloları, sızdırmaz valfler, eşitleme ve tahliye valfleri, dişli kutusu, malzeme kapısı ve döner oluktan oluşmaktadır. Şarj edilecek olan malzemeler silolara boşaltılır. Silo hazır olduğunda sızdırmazlık valfi kapanır ve silo ile fırın iç basıncı eşitlenir. Eşitleme bittiğinde sızdırmazlık valfi ile malzeme kapısı açılır ve malzeme kendi ekseninde etrafında 360° dönebilen döner oluk vasıtasıyla fırın içerisine çepeçevre dökülür. Bu sayede malzeme fırının duvar kısmından merkezine doğru dağıtılır [34,36].

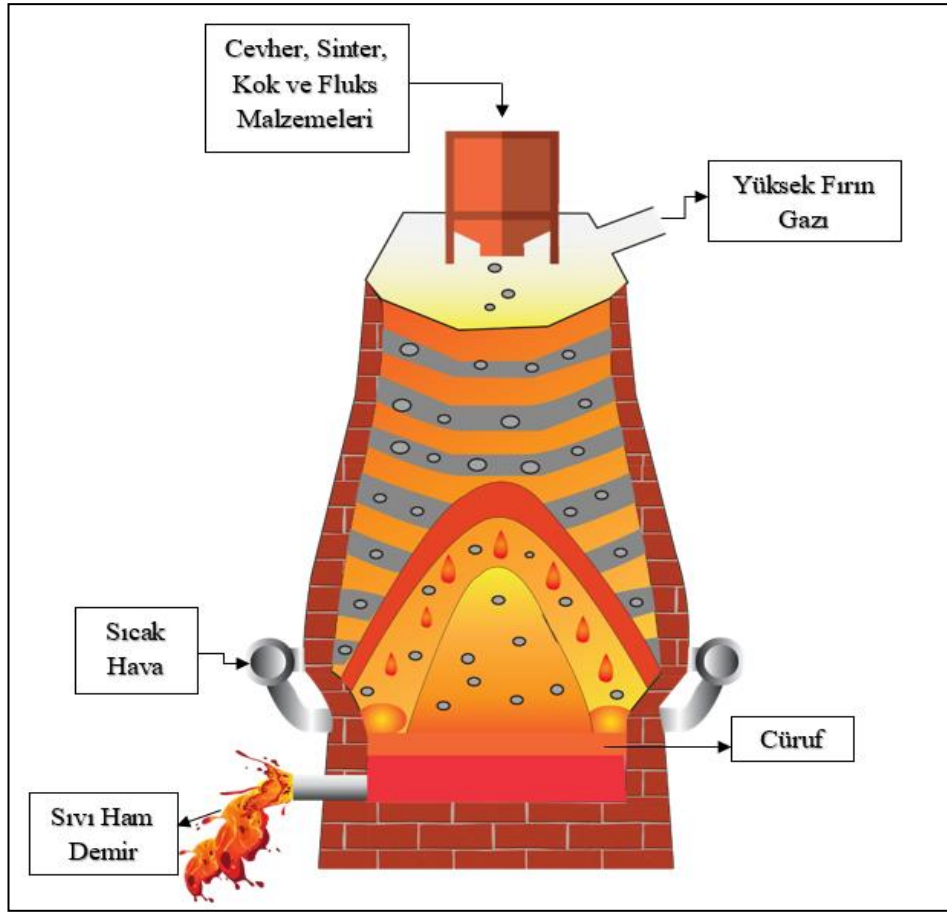
3.3.4. Yüksek Fırın Çalışma Prosesi

Demir cevherinin çeşitli kimyasal reaksiyonlar ile sıcak maden haline getirildiği bir termokimyasal prosesdir. Yüksek fırında kullanılan malzemelerin ana başlıkları; demirli malzemeler (demir cevherleri), yardımcı cüruf yapıcı malzemeler, redüktantlar ve metalürjik koktur.

Yüksek fırın için sinter fabrikasında yüksek fırınlarda kullanılacak boyutlara gelen sinter, pelet, parça cevher ve ithal edilen kömürün yakılması ile elde edilen kok, taşıma bantları yardımı ile yüksek fırınlara gelmektedir. Taşıma bantları kok ve sinter fabrikalarından gelen hammaddeleri bunkerlere doldurur. Daha sonra bunkerlerdeki malzemeler istenilen boyutları elde etmek amacıyla elekler vasıtasıyla elenir. Burada elenen ince taneli malzemeler sinter fabrikasına tekrar yüksek fırın girdisi olmak için gönderilir. Bazı fırınlarda şarj sistemi direkt olarak konveyörler vasıtasıyla yapılmakta iken günümüz fırınlarında genellikle skip arabaları ile yapılmaktadır. Silolardan sırasıyla doldurulan demirli cevher ile metalürjik kok bir raylı sistemde hareket eden skip arabası ile fırına şarj edilir. Bu şarj işleminde sıralama önemlidir yani hepsi bir anda dökülmek istenmez. Fırına yüklenen şarj, fırın içerisine katmanlı olacak şekilde gönderilir. Bunun sebebi tane boyutunda olduğu gibi fırın içerisindeki gaz geçirgenliğini sağlayıp reaksiyon hızını arttırmaktır.

Fırının karın bölgesinde bulunan tüyerlerden yaklaşık 900-1200°C arasında bulunan oksijen ve yardımcı redüktant malzeme içeren basınçlı sıcak hava fırın içerisine üflenir. Bu enjekte edilen indirgeyici gazlar fırın içerisinde ters akım oluşmasını sağlar. Hava akımı redüktant maddeler ile tepkimeye girerek öncelikle karbon monoksiti oluşturur. Daha sonra açığa çıkan karbon monoksit fırın içerisinde yükselerek demir oksitin indirgenmesini sağlar.

Oluşan sıvı ham demir yüksek fırın haznesine yan ürün olan cürufu birlikte akmaya başlar. Döküm geldiğinde yüksek fırın döküm deliği döküm açma matkabı ile açılmaktadır. Fırın ağzı açıldığında sıvı ham demir ve cüruf döküm kanalına doğru akar. Cürufun yoğunluğu sıvı ham demirden daha az olduğu için sıvı demirin üzerinde yüzmektedir. Bu sayede cüruf sıvı ham demirden kanal sonunda ayrılarak cüruf kanalına oradan da cüruf sahasına giderek granüle olmaktadır. Sıvı ham demir ise torpidolara boşaltılır ve çelik üretimi için çelikhaneye gönderilir.



Şekil 3.3. Yüksek fırın çalışma prosesi [35].

Dökümün bittiği, tüyerlerden gelen havanın fırın ağzından çıkması ile anlaşılır. Fırının döküm deliğini tekrardan kapatmak için çamur topu kullanılmaktadır. İçerisine yumuşak refrakter çamuru doldurulan çamur topu, refrakteri macun kıvamına getirir. Çamur topu, içerisindeki yumuşak refrakteri döküm deliğine piston yardımı ile sıkar. Refrakter malzeme, yüksek sıcaklık gördüğünde katılaşır ve döküm deliğini kapatır.

Reaksiyonlar sonucu açığa çıkan gaz, toz tutucu ve gaz temizleme tesislerinde temizlendikten sonra başta yüksek fırınlarda olmak üzere fabrikanın değişik ünitelerinde (haddehane, kok fabrikaları, enerji tesisleri vs.) enerji kaynağı olarak kullanılmaktadır.

3.3.5. Yüksek Fırın Girdileri

Yüksek fırınlarda sıvı ham demir eldesi için sinter, pelet, parça cevher, cüruf yapıcı maddeler, metalürjik kok, toz kömür ve sıcak hava kullanılmaktadır. Parça cevher doğadan hazır halde elde edilirken sinter ve pelet yüksek fırın prosesine uygun hale gelebilmek için belirli işlemlerden geçmektedir. Yüksek fırınlarda reaksiyonların gerçekleşebilmesi için gerekli ısıyı ve gazı sağlayan pulvarize kömür, kömürün toz hale getirilmesi ile elde edilir.

Demir, yer kabuğunda en çok bulunan dördüncü elementtir. Demir, doğada saf halde bulunmamaktadır. Daha çok demir oksit ve gang mineralleri ile birlikte bulunur. Başlıca demir mineralleri; manyetit (Fe_3O_4), hematit (Fe_2O_3) ve limonittir $Fe(OH)_3$ [33].

Demir madeni ekonomik olarak kullanılabilir bir miktarda olması halinde demir cevheri olarak isimlendirilir. Yüksek fırın verimi için yüksek oranda demir içeren malzeme çok önemlidir.

Parça Cevher

Parça cevher, doğadan hazır olarak elde edilen demir içeriği bakımında zengin olan bir malzemedir. Yüksek fırınlarda madenden çıkarıldığı şekilde kullanılmaktadır. Üretime girmeden önce elekten geçirilerek yüksek fırın prosesi için uygun boyutlara

getirilmektedir. Eleme işleminden arta kalan ince taneli malzemeler ise sinter üretiminde kullanılmaktadır.

Sinter

Sinterleme prosesi demir cevherine iyi özellikler kazandırılması ile doğrudan yüksek fırında kullanılmayacak olan yüksek fırın tozlarının, haddehanelerde oluşan tufallerin ve tesislerde açığa çıkan baca tozları gibi atık durumdaki demir içeren maddelerin sıvı ham demir üretimi için yüksek fırınlarda kullanılabilmesi sağlanır [37].

Sinterleme prosesi esnasında sinter, yüksek fırın için sahip olması gereken özellikleri kazanır. Sinterleme işlemi ısı gerektirmektedir. Sinterleme sözcüğünü ISO 3252 toz metalürjisi sözlüğündeki tanıma göre; toz veya kompakta ait ana bileşenin ergime noktasının altındaki sıcaklığın altında parçacıkların bir araya gelerek bağlanması ile dayanımının arttırıldığı ısı işlemidir [38].

Sinter prosesinin amacı; elenmiş olan ince taneli demir cevherlerinin, yüksek fırın ve diğer tesislerde oluşan baca tozlarının, haddehanelerde oluşmuş olan atıkların tekrardan yüksek fırında kullanılmasını ve toz demir cevherinin prosese uygun boyuta getirilmesini sağlamaktır.

Yüksek fırın çalışma şartlarında rahat kullanılacak şekillerde mukavemetli ve redüksiyon parçalanmasına dayanıklı malzeme elde edilmektedir. Sinterdeki redüksiyon parçalanması hematitten manyetite geçiş esnasında oluşur. Bir diğer amaç ise demir cevheri içerisindeki kükürdün oksitlenerek çelik üretiminde istenmeyen kükürt oranının azaltılmasını sağlamaktır.

Sinterleme prosesi, sinter harmanında harmanlanmış olan demirli maddeler ve demir cevherinin yine harmanda bulunan kok tozunun yanması ile kısmi olarak ergiyerek bloklar haline (aglomerasyon işlemi) gelmesi olayıdır. Aglomerasyon, yüksek fırın malzemelerinin yüksek fırında kullanılacak boyutlara getirilme işlemidir. Harmanda gerçekleşen yanma sonucunda partikül yüzeyleri ergime sıcaklığına ulaşmakta ve gang bileşenleri yarı sıvı cüruf oluşturmaktadır. Aynı zamanda

sinterlemenin reaksiyonları da bu sırada gerçekleşmektedir. Proseste gerçekleşen reaksiyon yalnızca koktaki karbonun yanması değil aynı zamanda sinter harmanındaki nemin buharlaşması, karbonatların parçalanması, sülfür içeren bileşiklerin oksitlenmesi ile kükürdün yanarak sistemden uzaklaştırılmasıdır [37].

Aglomerasyon, cevherin yüksek fırına girmeden önce topaklaştırılıp sertliğinin dolayısı ile gaz geçirgenliğinin artırılması işlemine denir.

Pelet

Demir cevheri tozları yüksek fırınlarda bazı direkt redüksiyon prosesinde şarj olarak kabul edilemeyebilir ama topaklanma işlemi ile bu sorun çözülebilir. Kırılmış olan cevherin eleme veya cevher zenginleştirme prosesinden gelen konsantreden ve toz halindeki madenlerde benimsenen yöntemdir.

Peletleme, demir yönünden zengin ince taneli malzemelerin yüksek fırın şartlarına uygun sert ve küresel hale getirilmesidir. Peletleme işlemi aglomerasyon ve sertleşme ile gerçekleşir [39].

Yapısı bilye şeklindedir. Bu sayede düşük tenörlü cevherlerin veya yüksek fırında direkt olarak kullanılmayacak kadar küçük ve yüksek tenörlü demir cevherlerinin oluşması sağlanmış olur.

Cüruf Yapıcı Malzemeler

Doğada saf halde bulunmayan demir, demir oksit bileşikleri ve gang denilen empüriteler ile birlikte bulunur. Demir cevherinin içerisinde bulunan bu gang mineralleri yüksek ergime sıcaklıklarına sahip ve ergitilebilmesi bir hayli zordur. Bu yüzden yüksek fırının içerisine demir cevheri ve metalürjik kok haricinde flaks adında cüruf yapıcı malzemeler katılmaktadır.

Cüruf, içerisinde CaO, MgO, SiO₂ ve Al₂O₃ bulunan ve demirden daha yüksek ergime sıcaklığına sahip olan yan üründür.

Yüksek fırın sıvı metalinin istenilen özelliklerde olabilmesi için cürufların kimyasal ve fiziksel özelliklerinin önemli bir rolü vardır. Cüruf, sıvı metaldeki istenmeyen empüriteleri kendi bünyesinde toplar. Cürufun bu şartı yerine getirecek şekilde olması gerekmektedir [40].

Kireç Taşı

Yüksek fırında kullanılacak olan kireç taşının belirli kalitede olması gerekmektedir. Kaliteli çelik üretimi cürufun iyi özelliklere sahip olmasına; iyi bir cüruf, kaliteli kireç taşı kullanımına bağlıdır. Kaliteli kireç, yüksek fırında kullanıma uygun büyüklükte olup düşük CaO oranına sahip olması gerekirken kükürt, fosfor ve alkali oranı yüksek olan kireç taşıdır. Yüksek reaktiviteli kireç taşı kullanımı sıcak maden içerisindeki S, P ve Si oranını düşürür. Diğer taraftan kaliteli kireç taşı kullanımı yüksek fırında kullanılan kireç taşı miktarını da azaltır [41].

Dolomit

Kalsiyum ve magnezyumun çift karbonat bileşiği olan dolomitin kimyasal formülüdür. Dolomitin kimyasal gösterimi $CaMg(CO_3)_2$ şeklindedir [42]. Demir çelik sektöründe flaks malzeme olarak kullanılan dolomit, cüruf yapıcı özelliğinin yanı sıra istenmeyen empüritelerin (örneğin kükürt) cürufa geçmesini sağlaması ile önemli bir hammadde özelliğindedir.

Yakma Havası

Körük sistemi ile atmosferden alınan soğuk hava sobalarda ısıtılmaktadır ve sıcaklığı 1200°C kadar getirilmektedir. Isıtılan hava fırının duvarlarında bulunan tüyerlerden üflenmektedir. Yakma havasının fırına verilmeden önce sobalarda ısıtılması proses ve enerji tasarrufu açısından önemlidir.

Metalürjik Kok

Yüksek fırınlarda reaksiyonların gerçekleşmesi ve ergimenin sağlanması için gereken ısı kaynağıdır. Kok fabrikaları bataryalarında üretimi gerçekleştirilip, yüksek fırınlarda tüketilmektedir. Kokun fırın içindeki rolü büyüktür. Bu faktörleri kısaca özetlersek;

1. Yüksek fırın içindeki taşıyıcı yük görevi görmektedir.
2. Yüksek fırın içerisinde tüm geçirgenliği sağlamaktadır (Yukarı yönde gaz geçişi ve aşağı yönde sıvı maden geçişi).
3. Yüksek fırın içerisindeki CO kaynağıdır. İyi bir redükleyici olma görevi üstlenmektedir.

Kokta istenmeyen emrüteler olan rutubet, kül, kükürt ve alkaliler kabul edilen sınırlar içinde ve sabit değerlerde olmalıdır. Kokun hücre yapısı, parça büyüklüğü ve sürtünmeye karşı olan mukavemetinin yanında porozitesinin de iyi olması gerekir.

Yüksek fırınların düzenli bir şekilde çalıştırılması için, kokun temel özellikleri;

1. Nem: %5 (max.)
2. Kül: %12 (max.)
3. Mukavemet (M40): %75 (min.)
4. Kükürt: %0,55 (max.) olması gerekir.
5. Diğer özelliklerinin de kararlı ve değişken olmaması gerekir. Alkali ($K_2O + NaO_2$) %2 (max.)

Fırınlara şarj alımı genellikle üst taraftan yapılır. Isıtma işlemi ise kok ve yüksek fırın gazı kullanılarak fırının dışından sağlanmaktadır. Koklaşma işlemi yaklaşık 18 saat sürer. Proses bittiğinde kok önce söndürme kulelerinde sulanır daha sonra kırma eleme işlemine tabi tutularak metalürjik kok elde edilir. Eleme işleminden sonra arta kalan ince taneli malzemeler elek altı veya kok tozu olarak adlandırılır ve sinter fabrikasına gönderilir. Kok fabrikalarında proses sonucu kok gazı vasıtası ile yan ürünler çıkmaktadır. Bunlar; katran, ham benzol, amonyum sülfat ve kok gazıdır. Kok gazı, diğer ünitelerde doğalgaza ikame olarak kullanılmaktadır [43].

Kok malzemesinin ortalama boyutu cevhere oranla daha fazladır ve kok yüksek fırın prosesi boyunca katı halde kalmaktadır. Yüksek fırın prosesinde kokun en önemli fonksiyonları aşağıdaki gibidir:

1. Yüksek fırın içerisindeki gaz akışını yönlendirerek malzeme yükü içerisinde gaz akışını sağlar. 2000°C üzerinde katı halini korur ve ergime bölgesinin altında katı halde kalan tek malzemedir.
2. Cevherin eriyebilmesi için gerekli olan ısıyı üretir.
3. Redükleyici gaz üretir.
4. Ergimiş metalin karbürizasyonu için karbon sağlar.
5. Kurum ve toz için filtre görevi görür [35].

Kok görünüş itibari ile gözenekli bir yapıya sahiptir. Kimyasal ve fiziksel yapıları kullanılan kömür cinsine ve koklaşma sıcaklığına bağlıdır. İdeal metalürjik kok harmanlanan bitümlü kömürlerin homojen bir şekilde yüksek sıcaklıklarda ısıtılması ile elde edilir. Kokun yüksek fırınlara nakliyesi sırasında parçalanmayacak biçimde mukavemete sahip olması yüksek fırın içerisindeki ağır şarjın altında ezilmeyecek kadar sağlam olması istenir [44].

Kok kalitesi yüksek fırının parametreleri tarafından belirlenmektedir. Özellikle kokun stabil bir davranış göstermesi beklenir. Kok şu özelliklerde olmalıdır;

1. Dar boyutta dağıtım bandında büyük ve stabilize parçalardan oluşmalı.
2. Hacimsel kırılmalara karşı mukavemetli olmalı
3. Kimyasal etkilere karşı açık olmamalı. (Karbondioksit ve alkali)
4. Kimyasal etki sonrası yüksek mukavemetini korumalı.
5. Yeterli karbürizasyonu özelliğine sahip olmalı [35].

Pulvarize Kömür

Demir üretiminde maliyeti düşürmek için kullanılan kok malzemesinin oranını azaltacak alternatif yöntemler ihtiyaç duyulmaktadır. Genel olarak bu ihtiyaç

tüyerlerden PCI ile sağlanmaktadır. Maliyet açısından önemli bir yere sahip olan kok kömürü sıvı ham demirin üretiminde çok büyük rol oynamaktadır.

1979 yılında yaşanmış olan ikinci petrol krizinden sonra dünya demir çelik sektöründe kritik düzeyde yer alan şirketler yüksek fırınlarda yakıt alternatif olacak bir sistem geliştirmişlerdir. Çünkü sıvı yakıt enjeksiyonu fazla maliyetli olması nedeni ile yüksek fırınlarda olumsuzluklara sebebiyet vermiştir. Bu olumsuzluklar; alev sıcaklığında artış, kenar bölgelerdeki sıcaklık artışı, kok miktarındaki artış, gaz geçirgenliğindeki azalmalar dolayısı ile fırının çalışmasının bozulmasıdır. Çelik üretiminde en fazla enerjinin kullanıldığı yüksek fırınlarda maliyet ve çevre etkileri üzerinde durulmuştur. Bu nedenle kullanılan yeni teknolojilerden PCI, yüksek fırın içerisinde kullanılan kokun optimum bir şekilde azaltılması ile yerine daha düşük maliyetli pulvarize kömürün gelmesi sonucu yüksek fırın yakıtı ve cevher ihtiyacını azaltmak amacı ile kullanılmıştır [45]. PCI'da temel amaç, yüksek fırında kullanılan koku azaltıp maliyeti düşürmek içindir.

Kokun optimum seviyesinden kasıt, kullanılan kok miktarının yüksek fırın içerisinde gerçekleşen proses şartlarını bozmayacak şekilde düşürülebilecek minimum seviyedir. Kok, yüksek fırında yalnızca yakıt olarak kullanılmaz aynı zamanda gaz geçirgenliğini sağlayacak olan gözenekli bir yapı oluşturmak, şarj dağılımını düzenlemek, oluşacak termal stresleri ortadan kaldırmak ve fırının içerisinde oluşan basıncı düzenlemek gibi görevleri de vardır. Bu nedenle kok kullanımı tamamen ortadan kaldırılamaz fakat PCI ile kullanılan kokun miktarı azaltılabilir [46].

Fırın içerisindeki gaz geçirgenliğinin sağlanması ısı kayıplarının da düşürülmesiyle maksimum miktarda PCI kullanılabilir. Tüyerler vasıtası ile fırına şarj edilen kömür taneciklerinin kok parçalarına çarpması, kokun parçalanmasına neden olur [47].

Fırın gaz geçirgenliği açısından PCI ile kok miktarının azaltılması olumsuz bir durumdur. Fakat bu olumsuz durumu gidermek için merkeze kok şarjı yapılması, fırının içerisindeki şarj yükü dağılımının iyi bir şekilde sağlanması, kullanılan ham maddelerin özelliklerinin iyileştirilmesi ve en önemlisi kömürün yanma veriminin artırılması gerekir [47].

3.3.6. Yüksek Fırın Çıktıları

Yüksek fırında oluşan termo kimyasal olaylar sonucunda ana ürün olan sıvı ham demir, yan ürün olan cüruf ve yüksek fırın gazı oluşmaktadır.

Sıvı Ham Demir

Şarj tesisinde istenilen tane boyutlarına göre hazırlanan sinter, pelet, kalibre cevher ve metalürjik kokun, fırın içerisine şarjı boğaz bölgesinden konveyör bantlar veya vagonetler vasıtasıyla yapılır. Tüyer bölgesindeki deliklerden üflenen sıcak hava ile metalürjik kokun yanması sonucu açığa çıkan redükleyici gaz, demiri oksitlerinden arındırır ve haznede sıvı ham demir birikmesini sağlar. Sıvı ham demir; %95 demirden, %5'lik kısmı ise silisyum, mangan, karbon, fosfor ve kükürtten oluşmaktadır. Sıvı ham demir içeriğinde, kükürtün kabul kriteri maksimum %0,250'dir.



Şekil 3.4. Yüksek fırın dökümhane (5 nolu).

Yüksek fırınlarda demirli cevherin redüklenmesi sonucu ortaya çıkan sıvı ham demir, döküm açma matkabı ile döküm ağızı açılıp çelikhaneye sevk edilmek üzere torpidolara alınır. İyi bir sıvı çelik üretimi için iyi bir sıvı ham demire ihtiyaç duyulmaktadır.

Bu nedenle elik üretiminde dikkat edilecek hususları Őyle sıralayabiliriz;

1. İstikrarlı bir kalitenin sağlanması gerekmektedir.
2. Sıvı metalin sıcaklığı ve bileşenleri konverter prosesi ve cüruf oluŐumu için önemlidir.
3. Sıvı ham demir üretimi sırasında var olan fosfor %97-98 oranında sıcak metale geçmektedir. Sıvı metalin içerisindeki fosfor, elik üretim prosesi için önemlidir.
4. Sıvı elik kükürt içeriği aralık değerleri, istenilen elik kalitesine göre farklılık göstermektedir. Kalite standartlarına göre sıvı elik kükürt içeriği kabul kriteri %0,008-0,050 aralığındadır.

Cüruf

Crular yüksek fırın prosesinde yer alan çeşitli demir oksitler, silikatlar, alüminatlar veya boratlardan oluşan yapılardır. Demir elik üretiminde crular, üretim yöntemine göre yüksek fırın cürufu, pota cürufu ve elikhane cürufu olmak üzere üç ayrılmaktadır. elikhane eritilen metalin eritilmesi sırasında çeliğin üzerinde oluşan yapıya elikhane cürufu denir. Pota fırını ikincil metalürjik olarak bilinir. Pota cürufu, pota fırınlarında yapılan kükürt giderme, oksijen giderme, alaŐımlama gibi iŐlemler sonunda oluşmuş olan cüruftur [40].

Cürufun birincil görevi sıvı metalin içerisinde istenmeyen kükürt veya fosfor gibi metalik veya metalik olmayan safsız maddeleri kendi bünyesine almaktır. Aynı zamanda cüruf sıvı metalin bulunduğu ortam ile arasında bir tabaka oluŐturup metalin hem kirlenmesini hem de ısı kaybını önler. Ayrıca cürufun üzerine ilave edilmiş olan katkıların sıvı ham demire ulaŐmasını sağlar. Sıvı metalin üzerinde yüzen cüruf, daha düşük yoğunluğa ve ergime sıcaklığına sahiptir. Cüruf yoğunluğunun düşük olması sayesinde sıvı metal üzerinde toplanarak ara yüz oluşturur ve erime sıcaklığının düşük olması nedeniyle metalin tüm yüzeyini kaplar. Cürufun hacminin düşük olması istenir nknn hacim arttıka gerekten ısı miktarı artmaktadır. Yüksek fırın cürufunun içerisindeki en önemli kimyasal elementler; kireç, silis, alüminyum, demir ve kkrttir [48].

Yüksek Fırın Gazı

Yüksek fırında oluşan termo kimyasal olaylar sonucu oluşan, fırının tepesinden fırını terk eden baca gazının kompozisyonları; N_2 , H_2 , O_2 , CO ve CO_2 şeklindedir. Tepe gazı fırını üç şekilde terk eder; birincisi hidrojene bağlanarak, ikincisi karbona bağlanarak (CO), üçüncüsü karbona bağlanarak (CO_2) [35].

Yüksek fırın gazı, gaz ve toz tutucu filtreleme sisteminden geçtikten sonra tozlar sinter fabrikasına gönderilir. Tozlarından ayrılan yüksek fırın gazı kendisine sıcak hava sağlayan sobaları ve diğer tesisleri besler.

3.3.7. Yüksek Fırın Proses Parametreleri

Fırınlara üflenen havanın maksimum debi ve basıncı yüksek fırınların körüklerinin maksimum kapasiteleriyle ilgilidir. Hava miktarının (debinin) ne kadar olacağı fırın proses parametreleri, fırın yan tesislerinin üflenen hava miktarına cevap verebilirliği (fırına üflenen hava arttıkça fırın üretim seviyesi arttığı için şarj tesisleri, gaz temizleme tesisi, pota torpido manipülasyonu hızlanmalıdır) ve çelikhanenin ihtiyacı olan sıvı metal ihtiyacına bağlı olarak belirlenir. Fırın basıncı, üflenen hava miktarı ve fırın malzeme geçirgenliğine bağlı olarak oluşan bir parametredir.

Fırın Hava Debisi, Basıncı ve Sıcaklığı

Körükten gelen hava debisi ve basıncı sürekli olarak operatör tarafından takip edilir ve saat başı işletme raporuna yazılır. Aynı zamanda ilgili scada sayfalarında anlık ve trend değerleri kayıt edilmektedir. Hava debisi ve basıncı minimum ve maksimum değerlerin dışında olması halinde scada sistemi sesli ve görsel uyarı vermektedir. Körük havasının düşmeye başlaması halinde hemen körük operatörü ile acil hattan iletişime geçilir. Hava miktarının ölçüm ekipmanlarından kaynaklanıp kaynaklanmadığı basınç değerleri ile kıyaslanarak kontrol edilir. Hava miktarı fiilen kesildiği durumlarda döküm kapalı ise hemen açılır, enjeksiyon sistemi kontrol edilir ve açık kalan olursa kapatılır. Tüyerler kontrol edilir ve soğuk hava hattı kapatılır, blöf valfi açılır, baca kapakları açılır, filtre girişleri kapatılır ve şebekeden ayrılarak fırın

güvenli duruşa alınır. Ölçüm sistemi arızasında fırın basınç değerlerine ve körükte bulunan ölçüm değerlerine göre çalışılmaya devam edilmektedir.

Ani hava kesilmesinden dolayı üfleme sistemi cüruf ile dolması halinde üfleme boruları kontrol edilir ve yenileri ile değiştirilir. Körüğün arızası süresine göre işletme şartları ayarlanır, yol verme süresine göre hazırlık yapılmaktadır.

Çizelge 3.1. 5 nolu yüksek fırın için maksimum hava debisi, basıncı ve sıcaklığı.

	Birimi	Maksimum	Minimum
Hava Debisi	m ³ /saat	240.000	120.000
Hava Basıncı	bar	3	1,25
Hava Sıcaklığı	°C	1.200	800

Cüruf Bazitesi

Cürufun en önemli parametresidir. Fırın içinde indirgenemeyen bazik karakterli oksitler ile asidik karakterli oksitlerin birbirine oranıdır. İki farklı bazite hesabı vardır.

B2: CaO/SiO₂

B4: CaO+MgO / SiO₂+Al₂O₃

Yüksek fırına şarj edilen hammaddelere göre (alkali yükü) ve çelikhanenin istediği sıvı ham demir içindeki kükürt miktarını ayarlayabilmek için zaman zaman çalışma aralığı değişse de her iki bazite de 0,7-1,0 aralığında olmalıdır.

Sıvı Ham Demir Kükürt İçeriği

Kükürt içeriği genel olarak cüruf bazitesi ile ilişkilidir. Cüruf bazitesi stabil olduğu durumlarda kükürt içeriği artıyor ise fırının soğuma eğiliminde olduğu yorumlanmaktadır.

Kükürt içeriğinin artması; fırın ısı potansiyeli, cüruf bazitesi, S girdi miktarı ve Mn girdi miktarının yetersizliği ile ilgilidir. Kükürtün arttığı durumlarda;

1. Fırının soğuması ile ilgili tedbirler alınır. Hava sıcaklığı artma payı varsa arttırılır. Soğuma devam ederse pulvarize kömür enjeksiyon miktarı eğer pay varsa arttırılır.
2. Cüruf bazitesi, yeterli alkali tahliyesine engel olmayacak şekilde şarj hesabında kontrol edilerek baziklik artırıcı cüruf yapıcı (kireç taşı) artırılır veya (şarjda varsa) çakmaktaşı azaltılmaktadır.
3. Şarj hesabında gerekli görülürse cüruf yapıcılardan çakmak taşı ve kireçtaşı uygun oranlarda beraber artırılarak cüruf hacmi yükseltilmektedir.
4. Mn girdi miktarının yetersizliği söz konusu ise şarj hesabından kontrol edilerek yeterli manganlı cevher veya manganez cevheri ilave edilir.
5. Kükürt girdisini artıran hammaddelerin alımının azaltılması gerekir (bu nokta fabrika malzeme alım politikaları ve şartlarıyla ilgili olup, neticesi uzun vadeli bir tedbirdir).

Kükürt elementi sıvı ham demir içerisine, yüksek fırına şarj edilen girdi malzemeleri ile gelmektedir. Sabit cüruf bazitesi ve fırın ısı potansiyelinde kükürt girdi miktarının fazla olması, mangan girdisinin yetersizliği sıvı ham demirdeki kükürt içeriğini arttırmaktadır. Gerçekleşen fırın içi tepkimeleri sonucu açığa çıkan karbonmonoksit ile kükürt tepkimeye girmekte olup yüksek fırın gazı bünyesine dahil olmaktadır. Fırın içerisindeki gaz akışı, yukarı yönde hareket eğilimindedir. Gaz içerisindeki kükürtün bir kısmı cüruf yapıcı kireç ile bir kısımda demir ile birleşmektedir. Demir ile tepkimeye giren kükürt, yüksek sıcaklıklarda giderilmektedir. Bu durumda kükürtün giderilmesi, cüruf bazitesi ve hazne sıcaklığı ile ilişkilidir.

Sıvı ham demir, çelik üretiminin hammaddesidir. Sıvı ham demirin çeliğe dönüştürülmeden önce içeriğindeki kükürt, silis ve fosfor gibi istenmeyen elementlerden arındırılması gerekmektedir. Çelikhanenin istediği değerler dışında, yani yüksek kükürt ile karşılaşıldığında ise yüksek fırın tarafında harmana müdahale edilmektedir. Harman müdahaleleri dökümlerde alınan ürünlerin kimyasal analizine göre yapılmaktadır. Yapılan müdahalenin ürüne yansması yaklaşık 8 saat

sürmektedir. Bu süre içeriğinde elde edilen yüksek kükürtlü ürünler, kükürt giderme tesisine gönderilmektedir. Kalsiyum karbür veya magnezyum karbür gibi katkı malzemeleri kullanılmaktadır. Kükürt, cüruf içerisine hapsedilerek uzaklaştırılmaktadır. Bu durum; çelik üretimi için sürecin uzaması, maliyetin atması gibi dezavantajlar ortaya çıkarmaktadır. Kükürt içeriğinin fazla olması, malzemenin tokluğuna ve yüzde uzamasına etki etmektedir. Tokluğunu ve sünekliğini önemli ölçüde azaltmaktadır. Kaynaklanabilirliği kötü yönde etkilemektedir. Kükürt, demirle birleşerek oluşturduğu faz sonucu haddeleme sırasında sıcak kırılma eğilimine sebebiyet vermektedir. Yukarıda belirtilen istenmeyen olumsuz özellikleri nedeniyle kükürt içeriği kontrol edilmelidir.

3.4. TAGUCHI YÖNTEMİ

Genichi Taguchi tarafından önerilen ve istatistiksel bir metot olan Taguchi yöntemi ile ürün üretimi ve proses gelişimi, son dönemlerde birçok alanda oldukça yaygınlaşmıştır [49].

Ürün veya prosesde değişkenliğe sebep olan ve kontrol edilemeyen faktörlere karşı, kontrol edilebilen faktörlerin seviyelerinin uygun kombinasyonunu seçerek değişkenliği en aza indirmeye çalışan deneysel tasarım metodudur [50].

Taguchi deneysel tasarım metodu uygulanan deney sayısını azaltırken süreyi de verimli kullanmaktadır. Kaliteyi geliştirmek için Taguchi, ürünün üretiminden müşteriye teslimatına kadar geçen süreçte kayıp olarak bilinen kalite kayıplarına da yer vermiştir.

3.4.1. Taguchi Kalite Sistemi

Deneysel tasarım yöntemi kalite kontrol sisteminde istenilen hedefe zamanında ulaşmak için kullanılan en yaygın yöntemlerden birisidir [51].

3.4.2. Taguchi Ortogonal Diziler

Taguchi metodu; ürün ve prose a ait parametrelerin ortogonal dizilerden faydalanarak deneylerin tasarımı ve ölçüm sistemlerini değerlendirmektedir [52].

Faktör seviyeleri eş zamanlı değiştirilir ve hedefe ulaşmak için en az sayıda deneme gerçekleşir. Normal $2k$ faktörlü bir deneysel tasarımı tam faktöriyel tasarım gereği 2^k sayısı kadar deney yapılması gerekirken; Taguchi yönteminde aynı zamanda birkaç faktörün kademeleri değiştirilerek deneme sayısı azaltılabilir [53].

Her faktör için eşit miktarda farklı seviye bulunduran ortogonal dizilerde 2 seviyeliler için en çok kullanılan diziler L_4 , L_8 , L_{16} ve L_{32} iken; 3 seviyeliler için L_9 , L_{18} , L_{27} dizilerdir [53].

Faktörlerin seviyeleri ve toplam serbestlik derecesine göre uygun dizi seçimi yapılır. Ortogonal dizi seçiminin kolaylıkla yapılabilmesi için faktörlerin serbestlik derecesinin belli olması gerekir.

Çalışmada her biri 3 seviyeli 5 faktörlü L_{27} ortogonal dizisi seçilmiştir. Bu dizinin kombinasyonu ise Çizelge 3.2’de gösterildiği gibidir.

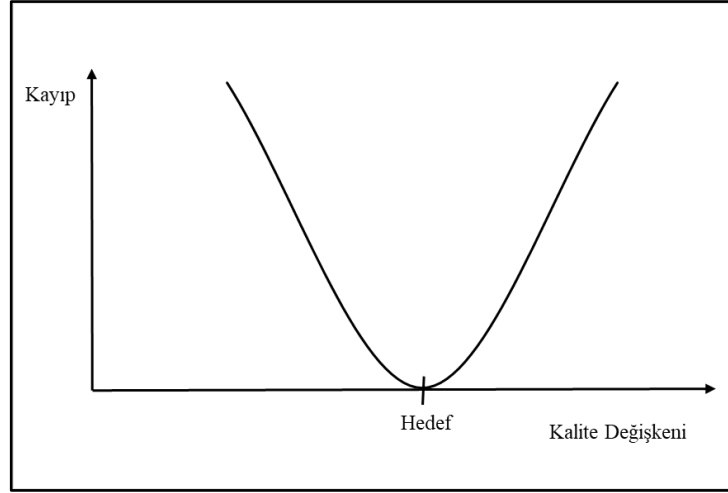
Çizelge 3.2. L₂₇ ortogonal dizi kombinasyonu.

L ₂₇	A	B	C	D	E
1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	1	2
3	1	1	1	1	3
4	1	2	2	2	1
5	1	2	2	2	2
6	1	2	2	2	3
7	1	3	3	3	1
8	1	3	3	3	2
9	1	3	3	3	3
10	2	1	2	3	1
11	2	1	2	3	2
12	2	1	2	3	3
13	2	2	3	1	1
14	2	2	3	1	2
15	2	2	3	1	3
16	2	3	1	2	1
17	2	3	1	2	2
18	2	3	1	2	3
19	3	1	3	2	1
20	3	1	3	2	2
21	3	1	3	2	3
22	3	2	1	3	1
23	3	2	1	3	2
24	3	2	1	3	3
25	3	3	2	1	1
26	3	3	2	1	2
27	3	3	2	1	3

3.4.3. Taguchi Kayıp Fonksiyonu

Ford, şanzıman tedariki için Amerikan ve Japon firmasına sipariş vermiştir. Ford istediği kalite özelliğinde üretim yapmalarını istemiştir. Üretilen şanzımanlar performans kriterine göre incelendiğinde Amerikan firmanın ürettiği şanzımanlarda varyasyonun daha büyük olduğunu gözlemlemişlerdir. Varyasyonu büyük olan şanzımanlar kısa sürede ve yüksek frekansla arızaya sebep olduğu için maliyette artış gözlenmiştir [51].

Gereken parçanın belirlenen spesifikasyonlar içerisinde olması önemlidir. Eğer parça hedef sınırlar içerisinde ise ürün kabul edilir değilse kabul edilmez ya da yeniden yapılır [51]. Şekil 3.5’de Taguchi kalite kayıp fonksiyonu grafiği verilmiştir.



Şekil 3.5. Taguchi kalite kayıp fonksiyonu.

Taguchi kayıp fonksiyonunda kayıp, parçanın belirlenen kalite performansı için ölçülen değeri (Y) ile bu kalite performansı için hedef değerin (T) farkının karesinin sabitle çarpımından elde edilen neticedir [51]. Eşitlik 3.1’de kayıp fonksiyonu hesaplaması verilmiştir.

$$\text{Kayıp} = k \cdot (Y - T)^2 \quad (3.1)$$

Kalite kayıp fonksiyonu Taguchi’ye göre yeni bir ürün tasarlamak için tolerans ayarlama ve kalite değerlerinin tahminini yapmaktır [54].

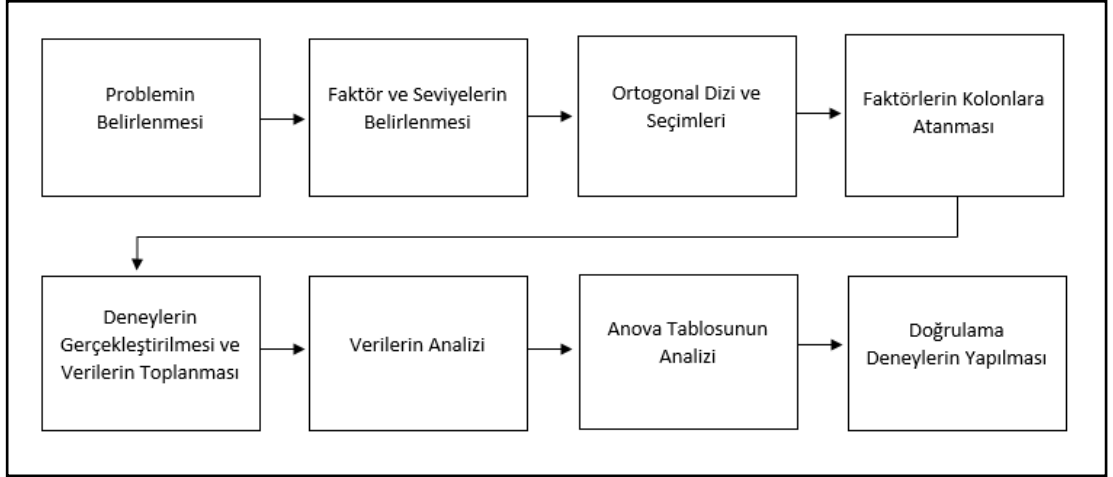
3.4.4. Deney Tasarımına Taguchi Yaklaşımı

Deming varyasyon nedenlerini ikiye ayırmış olup bunlardan biri sistem kaynaklı diğeri özel-olağan dışı nedenlerdir. Olağan dışı nedenlerden kaynaklanan kalite sorunlarını istatistiksel proses kontrolü uygulamaları ile sistem kaynaklı nedenlerden kaynaklanan kalite sorunlarını ise sistemlerin iyileştirilmesi ile varyasyonun azaltılabileceğini söylemiştir. Varyasyonu çok olan bir üretim sürecinde maliyet ve zaman kaybı yaşanmaktadır [51].

3.4.5. Taguchi Yöntemi Aşamaları

Taguchi yöntemi, az deneyle optimum sonuca ulaşmayı hedeflemektedir. Kalite aşamaları; sistem tasarımı, parametre tasarımı ve tolerans tasarımıdır.

Çizelge 3.3. Taguchi yöntemi akış şeması.



Taguchi yönteminde S/N oranı (S/N-Signal/Noise ratio) veya kayıp fonksiyonu olarak bilinen 3 farklı amaca uygun fonksiyon bulunmaktadır. Buna göre amacın “en küçük en iyi”, “en büyük en iyi” ve “nominal en iyi” olmasına göre aşağıdaki eşitlikler kullanılarak S/N oranları hesaplanmaktadır.

En düşük (küçük) en iyi olduğu durumda: Eşitlik 3.2’de matematiksel gösterimi verilmiştir.

$$S/N = -10 \log \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2 \right) \quad (3.2)$$

En büyük en iyi olduğu durumda: Eşitlik 3.3’de matematiksel gösterimi verilmiştir.

$$S/N = -10 \log \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{y_i^2} \right) \quad (3.3)$$

Nominal en iyi olduğu durumda: S/N oranı Eşitlik 3.4’de matematiksel gösterimi verilmiştir. S/N oranı hesaplaması yapılırken \bar{y} formülü ile S^2 formülü kullanılır. \bar{y}

gözlem değerinin ortalaması Eşitlik 3.5’de, S^2 gözlem değerinin varyansı Eşitlik 3.6’da matematiksel gösterimi verilmiştir.

$$S/N = 10 \log\left(\frac{\bar{y}^2}{S^2}\right) \quad (3.4)$$

$$\bar{y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i \quad (3.5)$$

$$S^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2 \quad (3.6)$$

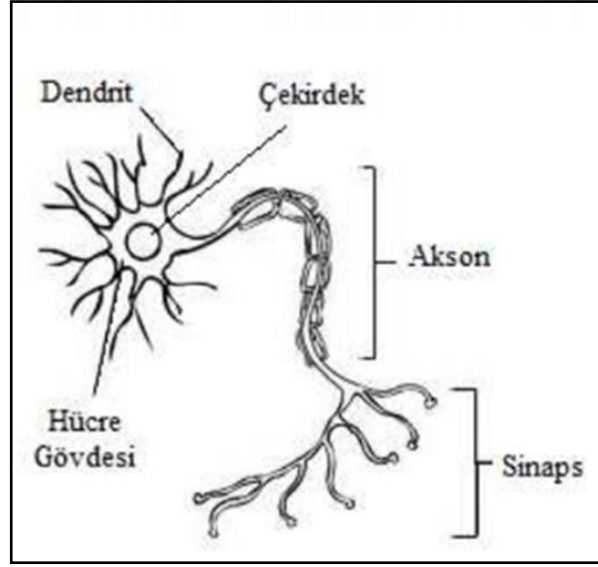
Eşitliklerde y_i : Performans yanıtının, i. gözlem değeri, n: Bir denemdeki test sayısı, \bar{y} : Gözlem değerinin ortalaması ve S^2 : Gözlem değerinin varyansını ifade etmektedir [49].

3.5. YAPAY SİNİR AĞLARI

İnsan beyninin çalışma şekli hakkında bilim adamları birçok incelemelerde bulunmuş, bu çalışma sistematığıne uygun benzerlikte cihazlar ortaya çıkarmak istemişlerdir. Yapılan araştırmalar sonucunda beyin modellemesine eş olarak yapay zekâ yönetmi ön plana çıkmış ve geliştirilmiştir [55].

Yaşadığımız bu dönemde zeki sistemler, bulanık mantık, YSA gibi bir takım yapay zekâ sistematığı kullanılarak zamandan tasarruf sağlanmaktadır. Firmalar birçok alanda bu teknikten yararlanmaktadır. Gelineen noktada YSA kalite kontrol alanında da etkin olarak kullanılmakta olup tercih edilen bir çözüm yöntemi olmuştur [55,56].

YSA’lar birçok alanda kullanılan bir bilgi işleme sistemidir [56]. YSA’lar aldıkları verileri tanır, öğrenir ve eğitir. Yapay sinir hücreleri, biyolojik sinir hücrelerini matematiksel olarak modeller.

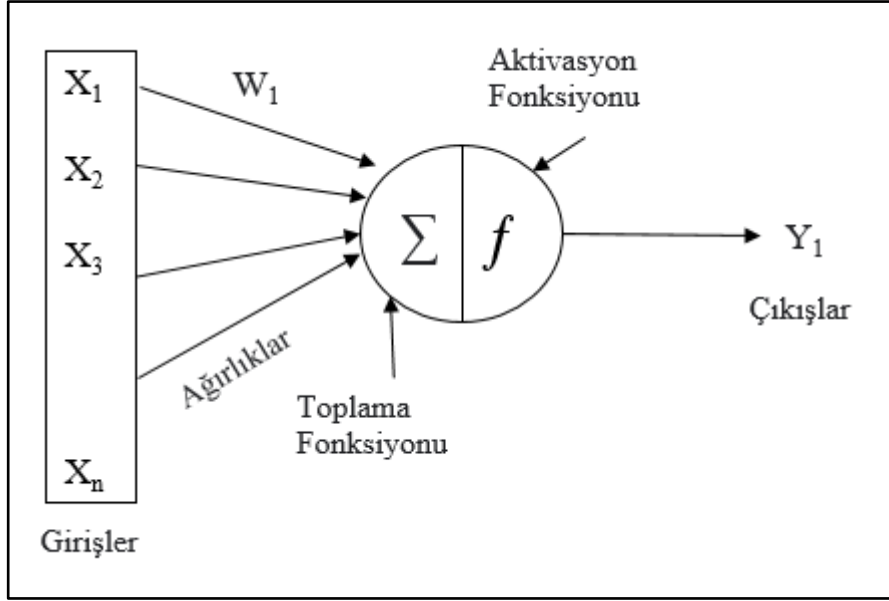


Şekil 3.6. Biyolojik sinir hücresi [57].

Şekil 3.6'daki insan sinir hücresi; çekirdek, hücre gövdesi, dendrit ve aksondan oluşmaktadır. Giriş bilgilerini dendrit alır. Alınan bilgileri hücre gövdesi işleyip aksona iletir ve akson da çıktı bilgilerini diğer sinir hücrelerine aktarır. Bu bileşenlerin YSA'daki karşılığı Çizelge 3.4'te verilmiştir.

Çizelge 3.4. YSA ve sinir sistemi elemanlarının karşılaştırılması [23].

Sinir Sistemi Elemanları	Yapay Sinir Ağı Elemanları
Sinir	Yapay sinir hücresi
Sinaps	Ağırlıklar
Dendrit	Toplama fonksiyonu
Hücre gövdesi	Transfer fonksiyonu
Aksonlar	Leman çıkışı



Şekil 3.7. Yapay sinir hücresi.

Yapay sinir hücrelerinin temel elemanları; girdiler, ağırlıklar, toplama fonksiyonu, aktivasyon ve hücre çıktısıdır [58].

Girdiler: Sinir hücre ağına iletilen bilgilerdir.

Ağırlıklar: Girdiler için ağırlık değerleri vardır. Bu ağırlıkların büyük ya da küçük olması önem arz etmez.

Toplama Fonksiyonu (Birleştirme Fonksiyonu): Hücreye aktarılan net girdiyi hesaplar. Çeşitli fonksiyonlar vardır. Problem tipine göre farklılık gösterebilir.

Formülü 3.7’de gösterilen ağırlıklı toplam bulma fonksiyonunda, net girdi hesaplanması; her girdinin kendi ağırlığı ile çarpılarak toplanması ile elde edilmiş olur.

$$NET = \sum_i^n X_i * w_i \quad (3.7)$$

YSA’da deneme yanılma yoluyla seçilen toplama fonksiyonu kullanıcının tercihinin bırakılır. Tüm problemler için bu fonksiyonun seçilmesi şart değildir.

Aktivasyon (Etkinlik) Fonksiyonu: Gelen girdinin işlenmesi ve girdiye ait çıktıların oluşturulmasını sağlamaktadır. Kullanıcıya bağlı olan birçok farklı etkinlik fonksiyonu mevcuttur. Buna ilave olarak bazı tasarımlar, fonksiyonun belirlenmesi için kendi sınırlarını oluştururlar.

Hücre Çıktısı: YSA hücresine gelen girdi değerleri uygun ağırlıklar ile çarpılarak toplanır. Bu işlem sonucu elde edilen net girdinin, uygun transfer fonksiyonu ile işlem görmesi sonrası çıktı elde edilir. Bir nörona birçok giriş olabilirken çıkış değerleri tektir. Üretilen çıktı sıradaki hücreye aktarılır ya da yapay sinir çözümünü oluşturmaktadır [40].

3.5.1. Yapay Sinir Ağlarının Tarihçesi

YSA'lar hakkında ilk araştırmaların 19.yy sonu ve 20.yy başlarında yapıldığı söz konusudur. Geçmişten günümüze kadar YSA'ların önemli kronolojik gelişim durumu Çizelge 3.5'te verilmiştir.

Çizelge 3.5. YSA tarihsel gelişimi [56].

Yıl	Çalışma
1943	Mcculloch ve Pitts MP adında bir model ortaya koymuşlardır.
1949	Hebb çalışmasında hücrelerden oluşan YSA yapısının öğrenme ile ilişkili olduğunu tespit etmiştir.
1954	Gabor 'Gradient Descent' algoritmasını kullanan öğrenme ağını icat etmiştir.
1956	Öğrenme algoritmasını test eden ilk bilgisayar simülasyonu gerçekleştirilmiştir.
1965	İlk makine öğrenimi için kitap yayınlanmıştır.
1974	Geriye yayılım modeli geliştirilmiştir.
1982	Çok katmanlı algılayıcılar geliştirilmiştir.
1988	Radyal tabanlı fonksiyonlar modeli geliştirilmiştir.
1991	Specht tarafından, genel regrasyon ağları geliştirilmiştir.

3.5.2. Yapay Sinir Ağlarının Özellikleri

Yaygın olarak kullanılan YSA'lar birçok ortak özelliklere sahiptir. Tüm YSA'lar için geçerli olan özellikler aşağıda özetlenmiştir [59].

Doğrusal Olmama

YSA'da aktivasyon fonksiyonu seçilir ve doğrusal ya da doğrusal olmayan problemleri çözebilecek bir duruma gelinebilir. Böylece birçok problemde kullanımı tercih edilir.

Öğrenme

YSA'ları, insan sinir sistemini taklit eder. YSA'lar ağını inceler ve öğrenir. İncelediği verileri öğrenen YSA, benzer probleme karşı benzer kararlar verebilir.

Genelleme

YSA'ların genelleme yetenekleri vardır. Bu yetenek sayesinde tahminde, örüntü tanımada vb. birçok alanda başarı elde edinebilir.

Uyarlanabilirlik

Problem için eğilmiş YSA, problem değiştiğinde de eğitilebilir. Eğitilen YSA'lar yeni örneklerle karşılaştıklarında yeni sonuçlar üretebilirler.

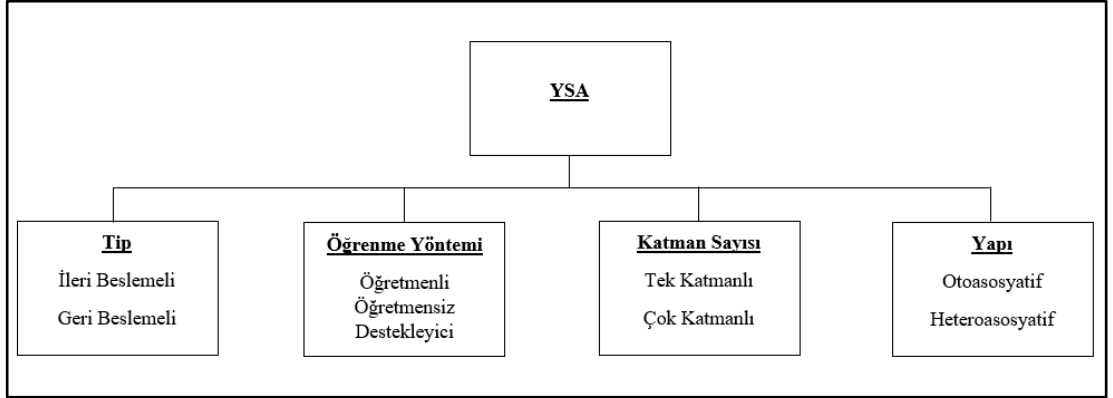
Hata Toleransı

YSA'ların eğitilmesi, bağlantı ağırlıklarının seçilmesi ile ortaya çıkmaktadır. Ağın eğitilmesi esnasında oluşan bir yanlış YSA'nın tümünü etkiler. Tüm YSA'lar için geçerli nitelikler aşağıda verilmiştir [59].

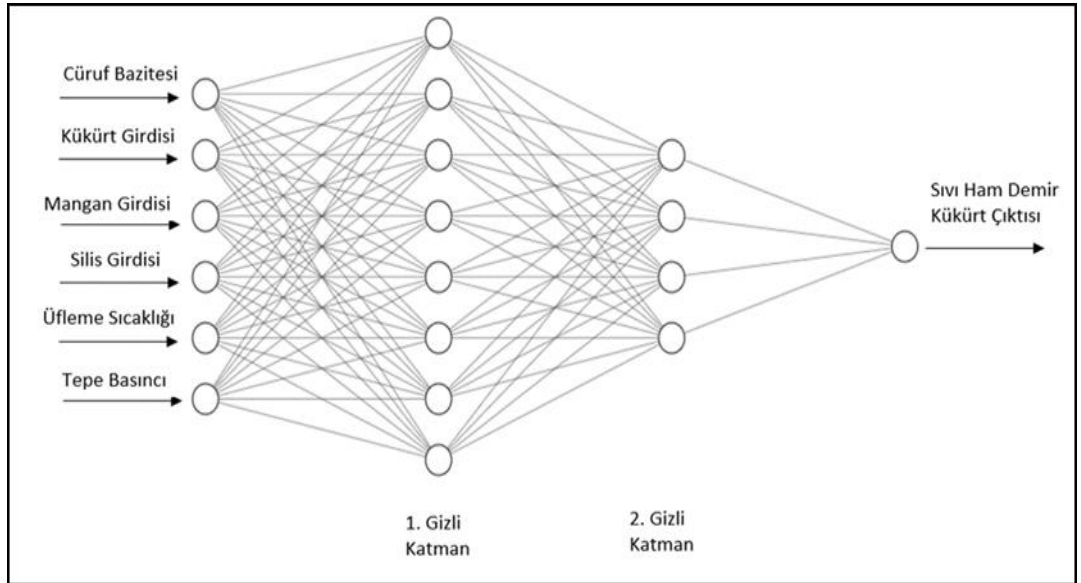
3.5.3. Yapay Sinir Ağı Türleri

YSA'ları genel olarak dört farklı türde sınıflandırılırlar [56].

Çizelge 3.6. YSA 'ların sınıflandırılması.



İleri beslemeli YSA, bir giriş, bir veya birçok gizli katman ve bir çıkış katmanından oluşur. Bilgi akış yönü, girişten çıkışa doğrudur. Şekil 3.8’de yapılan tez çalışmasının ileri beslemeli geri yayımlı bir YSA mimarisi yer almaktadır.



Şekil 3.8. İleri beslemeli YSA mimarisi.

3.5.4. Yapay Sinir Ağının Tasarımı

YSA tasarımını öne sürebilmek için etkinlik fonksiyonu, nöron sayısı ve öğrenme teknikleri önceden seçilmelidir. YSA tasarımında kullanılacak verilerin ve ağın amacına uygun olması bu tasarımda temel adımlardır. Ağın tasarlanması için izlenecek adımlar aşağıda verilmiştir [58].

1. Nöron tasarımından başlanarak katman sayısı, öğrenme katsayısı gibi özelliklerin belirlenmesi,
2. Etkinlik fonksiyonları incelenerek uygunluğun belirlenmesi,
3. Verilerin tespiti,
4. Eğitim ve test veri setlerinin tespit edilen verilere göre oluşturulması.

Ağın tasarlanması için izlenecek olan adımlar geçerli değil ise beklenti karşılanamayacaktır. Aynı zamanda eğitim süresi ve sistem karmaşıklığı artacaktır.

Nöron ve Katman Sayısının Belirlenmesi

Deneme–yanılma metodu YSA’da, kullanılacak olan nöron sayısı ve katman sayısını belirlemede yaygın kullanılan yöntemlerden biridir. Ara katman ve bu katmanda yer alan nöron sayıları üzerinde değişiklik yapılarak sinir ağının performansı ölçülmektedir [19].

Aktivasyon Fonksiyonu Seçimi

YSA’da kullanılan nöronların doğru sonuç üretebilmesi için aktivasyon fonksiyonun seçimi bu hususda önemlidir. Bu seçimde verilerin türü ve hizmete edeceği amaca uygun olmalıdır [60].

Normalizasyon

YSA’da kullanılacak olan verilerin uygun hale getirilme işlemidir. Uygun hale getirilmesindeki amaç; zaman kaybı ve performans düşüklüğünü engellemektir. Bu sayede veriler arasında farkın ve salınımların önüne geçilmiş olunur.

Veriler, genel olarak uygulamalarda $[0,1]$ veya $[-1,1]$ değer aralığında ölçeklendirilir. Böylece hem veri kalitesi artırılır hem de veriler arasındaki salınımların önüne geçilir [61].

Min-Max Normalizasyonu

YSA'ların eğitiminde verileri normalleştirme işlemi yapılmaktadır. Min-Max normalizasyon yöntemi genellikle mühendislik problemlerinde kullanılan en yaygın yöntemdir. Veriyi [0-1] aralığına getirmek için aşağıdaki Eşitlik 3.8'de kullanılmaktadır.

$$x_i' = \frac{x_i - x_{min}}{x_{max} - x_{min}} \quad (3.8)$$

x_i' = Normalize edilmiş değer

x_i = Normalize edilmemiş değer

x_{min} = İlgili girdi setinin minimum değeri

x_{max} = İlgili girdi setinin maksimum değeri

olarak ifade etmekte olup bu tez çalışmasında üretimin gerçekleştiği işletme sahasından alınan kalite verilerinin min-max normalizasyonu yapılmıştır.

Momentum ve Öğrenme Katsayısı

Öğrenme katsayısı; nöronlar arasındaki ağırlıkların ne oranda değişeceğini belirleyen değişkendir. En az hataya sahip olan noktadan en çok hataya sahip olan noktaya ilerleyebilmek için momentum değişkeni kullanılır. Bütün YSA'larda öğrenme katsayısı vardır fakat momentum katsayısı yoktur [62].

3.5.5. Yapay Sinir Ağlarında Öğrenme Algoritmaları

YSA'nın yapısı, öğrenme kuralları ile yakından ilişkilidir. Bu kurallarla öğrenme işlemi daha anlayışlı hale gelmektedir [63].

Levenberg Marquardt Algoritması

Levenberg Marquardt algoritması, geri yayılım algoritmasının dezavantajlarından dolayı yüksek başarı oranı sağlar [44].

3.5.6. Yapay Sinir Ağlarının Uygulama Alanları

Veri madenciliği, bankalar, robotlar, güvenlik sistemleri, kalite kontrol, iş çizelgeleme, radar sistemleri ve hastaneler gibi birçok alanda YSA yaygın olarak kullanılmaktadır [59].

3.6. REGRESYON ANALİZİ

Regresyon analizi, iki ya da daha çok değişken arasındaki ilişkiyi ölçmek için kullanılan analiz yöntemidir. Değişkenler arasında istatistiksel model kurma tekniği olarak da kullanılır. Modelin kurulmasında kontrol edilmesi gereken ön şartlar aşağıda verilmiştir.

1. Bağımlı değişken, eşit aralıklı veya eşit oranlı ölçme düzeyinde ve sürekli değişken olmalıdır. Bağımsız değişkenlerinde aynı olmasını isteriz ancak kategorik de olabilirler.
2. Değişkenlerin tamamı normal dağılıma sahip olmalıdır.
3. Değişkenler arasında doğrusal ilişki olmalıdır.
4. Bağımsız değişkenler arasında çoklu bağlantılılık olmamalıdır.
5. Gözlem değerler içinde uç değerler olmamalıdır.
6. Tahminlere ait hatalar normal dağılmalıdır.
7. Eş varyanslılık olmalıdır.
8. Hatalar birbirinden bağımsız olmalıdır.

En çok kullanılan regresyon türleri, basit ve çoklu regresyondur.

3.6.1. Basit Regresyon Modeli

Bir bağımlı değişken ile bir bağımsız değişken arasındaki ilişki modelidir. İki değişken arasındaki doğrusal ilişkiyi veren matematiksel işlev aşağıdaki Eşitlik 3.9'da verilmiştir.

$$Y = \alpha + \beta x + \varepsilon \quad (3.9)$$

Y bağımlı, x bağımsız değişkendir. α sabit bir sayıdır, β ise regresyon katsayısı olup, X'in kendi birimi cinsinden 1 birim değişmesine karşılık Y'de kendi birimi cinsinden meydana gelecek değişme miktarını ifade eder. ε hata terimidir.

3.6.2. Çoklu Regresyon Modeli

Bir bağımlı değişken ile birçok bağımsız değişken arasındaki ilişki modelidir. Birden çok bağımsız değişken içeren bir model kullanıldığında Eşitlik 3.10'da verilmiştir.

$$Y = \alpha + \beta_1 x_1 + \dots + \beta_n x_n + \varepsilon \quad (3.10)$$

4 çeşit çoklu regresyon modeli çeşidi vardır. Enter metodu, ileri doğru seçim metodu, geriye doğru eleme metodu ve adım adım seçme metodudur. Enter metodu en çok kullanılan metoddur.

BÖLÜM 4

DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Kardemir, entegre demir çelik tesisidir. Yüksek fırınlarda; demir cevheri, sinter, pelet, metalürjik kok ve enjeksiyon kömürü gibi hammaddeler kullanılmaktadır. Demir oksitli malzemelerin indirgenme reaksiyonları sonucunda sıvı ham demir elde edilmektedir. Üretilen sıvı ham demir, istenilen kalite özelliklerinde çelikhane tesisine gönderilir. Torpidolarla gelen sıvı ham demir çelikhane tesisinde maden aktarma çukurlarına boşaltılır. Çukurlardaki sıcak maden potalarla konverterlere boşaltılır ve burada hurda eklenir, oksijen üflenir ve belirli işlemlerden geçtikten sonra konverterlerden sıvı çelik olarak çıkar. Sıvı çelik pota fırınlarında işlenir. Sürekli döküm makinelerinde ham çelik olarak istenilen özellikte ürünler üretilir. Ham çelik, yarı mamul olarak tanımlanabilir.

Bu bölümde YSA'da çalıştırılmak üzere kükürt içeriğinin girdi parametreleri belirlenmiştir. YSA mimarisinin tasarlanmasında ise Taguchi yöntemi uygulanmıştır.

4.1. YSA GİRDİ PARAMETRELERİN BELİRLENMESİ

Demir çelik sektöründe yapılan deneyin en büyük avantajı, yüksek fırında üretilen sıvı ham demirin kalitesine göre çelikhaneye kükürt içeriğinin istenilen değerler arasında gönderilmesidir. Karabük'teki bir demir çelik şirketinde 2019 ve 2021 yılları arasında yüksek fırın sıvı ham demir üretiminde kükürt içeriğinin girdi ve hedef verileri kullanılmıştır. Çizelge 4.1'de kükürt içeriğini etkileyen girdi parametre örnekleri verilmiştir.

Çizelge 4.1. Girdi ve çıktı parametre örnekleri.

GİRĐİ						ÇIKTI
Cüruf Bazitesi (CaO/SiO ₂)	Kükürt Girdisi (kg/tshd)	Mangan Girdisi (kg/tshd)	Silis Girdisi (kg/tshd)	Üfleme Sıcaklığı (°C)	Tepe Basıncı (bar)	S Kükürt İçeriği
0,786	4,192	9,889	68,873	1062,125	1,162	0,143
0,725	4,157	10,680	68,125	1046,833	1,160	0,167
0,736	4,202	10,779	66,552	1060,083	1,154	0,171
0,757	4,325	11,023	68,510	1039,583	1,145	0,150
0,742	4,143	10,746	68,036	1057,792	1,290	0,160
0,805	4,094	9,954	66,984	1023,917	1,018	0,149
0,797	4,213	10,100	68,843	1057,500	1,153	0,163
0,799	4,049	10,148	68,605	1027,333	1,105	0,135
0,789	3,821	9,760	67,791	1057,792	1,272	0,142
0,741	3,715	12,747	66,822	1068,583	1,314	0,161
0,764	3,907	11,939	66,183	1064,083	1,291	0,155
0,783	3,564	11,580	65,344	1052,458	1,283	0,165
0,800	3,907	11,517	63,684	1050,250	1,238	0,159
0,762	3,844	11,977	62,454	1048,208	1,301	0,171
0,751	4,003	11,661	61,670	1041,708	1,270	0,173
0,761	3,921	11,409	61,954	1049,833	1,128	0,163
0,766	3,923	11,565	61,676	1047,583	1,306	0,168
0,731	3,942	11,667	63,586	1045,792	1,288	0,180
0,705	3,250	9,441	60,104	1061,250	1,301	0,138
0,724	3,241	9,268	60,481	1035,458	1,335	0,123

YSA modelini oluşturmak için; yüksek fırındaki sıvı ham demir üretiminin girdi ve hedef verileri kullanılmıştır. Kükürt içeriğini en önemli derecede etkileyen parametreler arasında; cüruf bazitesi (CaO/SiO₂), kükürt girdisi (kg/tshd), mangan girdisi (kg/tshd), silis girdisi (kg/tshd), üfleme sıcaklığı (°C) ve tepe basıncı (bar)'dır. İlk 20 deney için değerler verilmiştir.

Veriler, min-max normalizasyonuna tabii tutulmuştur. Çizelge 4.2'de YSA'da kullanılan (175 veri) materyallerin minimum ve maksimum değerleri verilmiştir.

Çizelge 4.2. Veri setinin minimum ve maksimum değerleri.

Değer/ Meteryal	Cüruf Bazitesi (CaO/SiO ₂)	Kükürt Girdisi (kg/tshd)	Mangan Girdisi (kg/tshd)	Silis Girdisi (kg/tshd)	Üfleme Sıcaklığı (°C)	Tepe Basıncı (bar)	S Kükürt İçeriği
Minimum	0,703	2,791	8,088	56,130	940,042	0,867	0,100
Maksimum	0,894	4,765	12,747	68,873	1083,708	1,388	0,192

Cüruf bazitesinin minimum değeri Çizelge 4.2’de görüldüğü gibi 0,703 (CaO/SiO₂) olarak hesaplanmıştır.

Tek katmanlı YSA’lar genelde doğrusal (lineer) olarak ayrılabilen sınıflandırma problemlerinde kullanıyor iken çok katmanlı YSA’lar ise doğrusal olmayan (non-linear) sistemlerini çözerken iyi sonuçlar üretir. Sonucun iyiliği; ağın yapısı, kullanılan gizli katman sayısı ve kullanılan aktivasyon fonksiyonlarına göre değişiklik gösterebilir [64]. Bu çalışmada YSA, tek gizli katmanla kullanılmış olup iyi sonuçlar elde edilemediğinden iki gizli katman ile ağ çalıştırılmıştır. MATLAB R2007b programında YSA çalışması yapılmıştır. YSA modelleme algoritmaları, ileri beslemeli geri yayımlımlı ağlara dayanmaktadır. Test edilen YSA mimarileri bir giriş katmanı, iki gizli katman ve bir çıkış katmanından oluşmaktadır. Sinir ağı modelinde öğrenme algoritması olarak Levenberg-Marquardt kullanılmıştır. Modellerin güvenilirliğini incelemek için korelasyon katsayısı (R), ortalama kare hata (MSE), ortalama mutlak yüzde hata (MAPE) ve sinyal/gürültü (S/N) oranı gibi uygun indeksler dikkate alınmıştır.

4.2. YSA MİMARİSİNİN BELİRLENMESİNDE TAGUCHI YÖNTEMİNİN UYGULANMASI

YSA modelini belirlemek amacıyla YSA model parametreleri; en az deneme ile en iyi performans gösteren Taguchi yöntemi kullanılarak optimize edilmiştir. MINITAB17 paket programı kullanılmıştır.

Problemin belirlenmesiyle beyin fırtınası yapılarak problemin temeline inilmiş ve kalite parametrelerindeki değişkenlikle kontrol edilemeyen faktörlere karşı kontrol edilebilen faktörler belirlenmiştir.

Bu çalışmada, Taguchi tabanlı optimizasyonun temel amacı güvenilir YSA modeli geliştirmektir. YSA modellerinin performansları S/N oranı, MSE, MAPE ve R kullanılarak değerlendirilmiştir. MSE bir regresyon eğrisinin bir dizi noktaya ne kadar yakın olduğunu gösterir. MAPE ise tahminlerin doğruluğunu ölçmek için kullanılmaktadır. MSE değeri Eşitlik 4.1’de, MAPE değeri Eşitlik 4.2’de kullanılarak hesaplanmıştır.

$$MSE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (T_i - P_i)^2 \quad (4.1)$$

$$MAPE = \frac{100}{N} \sum_{i=1}^N \frac{|T_i - P_i|}{T_i} \quad (4.2)$$

Eşitlikte yer alan T_i i. gerçek değeri, T ortalama gerçek değeri, P_i i. tahmin edilen değeri ve N örnek büyüklüğünü göstermektedir.

Taguchi tasarımında kullanılan YSA parametreleri ve seviyeleri Çizelge 4.3’te verilmiştir. Buna göre güvenilir YSA modeli oluşturmak amacıyla her biri 3 seviyeli (düşük, orta ve yüksek), 5 faktör seçilmiştir ve L_{27} ortogonal dizisi kullanılmıştır. MSE’yi minimize etmek için kullanılan bu 5 parametreler; birinci gizli katmandaki nöron sayısı, ikinci gizli katmandaki nöron sayısı, birinci gizli katman transfer fonksiyonu, ikinci gizli katman transfer fonksiyonu ve eğitim fonksiyonudur.

Çizelge 4.3. Taguchi tasarımında kullanılan YSA parametreleri ve seviyeleri.

Parametre	Tanım	Seviye-1	Seviye-2	Seviye-3
A	1. gizli katmandaki nöron sayısı	12	15	18
B	2. gizli katmandaki nöron sayısı	4	8	12
C	1. gizli katman transfer fonksiyonu	tansig	logsig	purelin
D	2. gizli katman transfer fonksiyonu	tansig	logsig	purelin
E	Eğitim fonksiyonu	trainlm	trainbfg	traingdm

BÖLÜM 5

BULGULAR VE TARTIŞMA

Test edilen YSA modellerinin sayısı, iki tekrarlı L_{27} ortogonal dizisi kullanılarak önemli ölçüde azaltılmıştır. Buna göre YSA performansını değerlendirmek için 54 test yapılmıştır. L_{27} test sonuçları ve her bir testin S/N oranları Çizelge 5.1’de verilmiştir.

Çizelge 5.1. YSA parametre optimizasyonu için L_{27} .

Deneme no	A	B	C	D	E	MSE_1	MSE_2	S/N	Ortalama
1	12	4	tansig	tansig	trainlm	0,0146	0,0146	36,7129	0,0146
2	12	4	tansig	tansig	trainbfg	0,0144	0,0144	36,8328	0,0144
3	12	4	tansig	tansig	traingdm	0,0495	0,0451	26,4934	0,0473
4	12	8	logsig	logsig	trainlm	0,0113	0,0113	38,9384	0,0113
5	12	8	logsig	logsig	trainbfg	0,0196	0,0143	35,3117	0,01695
6	12	8	logsig	logsig	traingdm	0,0477	0,0196	28,7624	0,03365
7	12	12	purelin	purelin	trainlm	0,0314	0,0314	30,0614	0,0314
8	12	12	purelin	purelin	trainbfg	0,0315	0,0315	30,0338	0,0315
9	12	12	purelin	purelin	traingdm	0,0319	0,0315	29,9786	0,0317
10	15	4	logsig	purelin	trainlm	0,0146	0,0146	36,7129	0,0146
11	15	4	logsig	purelin	trainbfg	0,0117	0,0313	32,5314	0,0215
12	15	4	logsig	purelin	traingdm	0,049	0,0115	28,9735	0,03025
13	15	8	purelin	tansig	trainlm	0,0146	0,0146	36,7129	0,0146
14	15	8	purelin	tansig	trainbfg	0,0261	0,0146	33,4951	0,02035
15	15	8	purelin	tansig	traingdm	0,0422	0,0165	29,8862	0,02935
16	15	12	tansig	logsig	trainlm	0,0194	0,0194	34,244	0,0194
17	15	12	tansig	logsig	trainbfg	0,0194	0,0194	34,244	0,0194
18	15	12	tansig	logsig	traingdm	0,0502	0,0146	28,6436	0,0324
19	18	4	purelin	logsig	trainlm	0,0256	0,0154	33,5041	0,0205
20	18	4	purelin	logsig	trainbfg	0,0168	0,0166	35,5455	0,0167
21	18	4	purelin	logsig	traingdm	0,0541	0,0152	28,0164	0,03465
22	18	8	tansig	purelin	trainlm	0,0115	0,0115	38,786	0,0115
23	18	8	tansig	purelin	trainbfg	0,0333	0,0115	32,0721	0,0224
24	18	8	tansig	purelin	traingdm	0,0179	0,0179	34,9429	0,0179
25	18	12	logsig	tansig	trainlm	0,0133	0,0133	37,523	0,0133
26	18	12	logsig	tansig	trainbfg	0,0133	0,0133	37,523	0,0133
27	18	12	logsig	tansig	traingdm	0,0362	0,0362	28,8258	0,0362

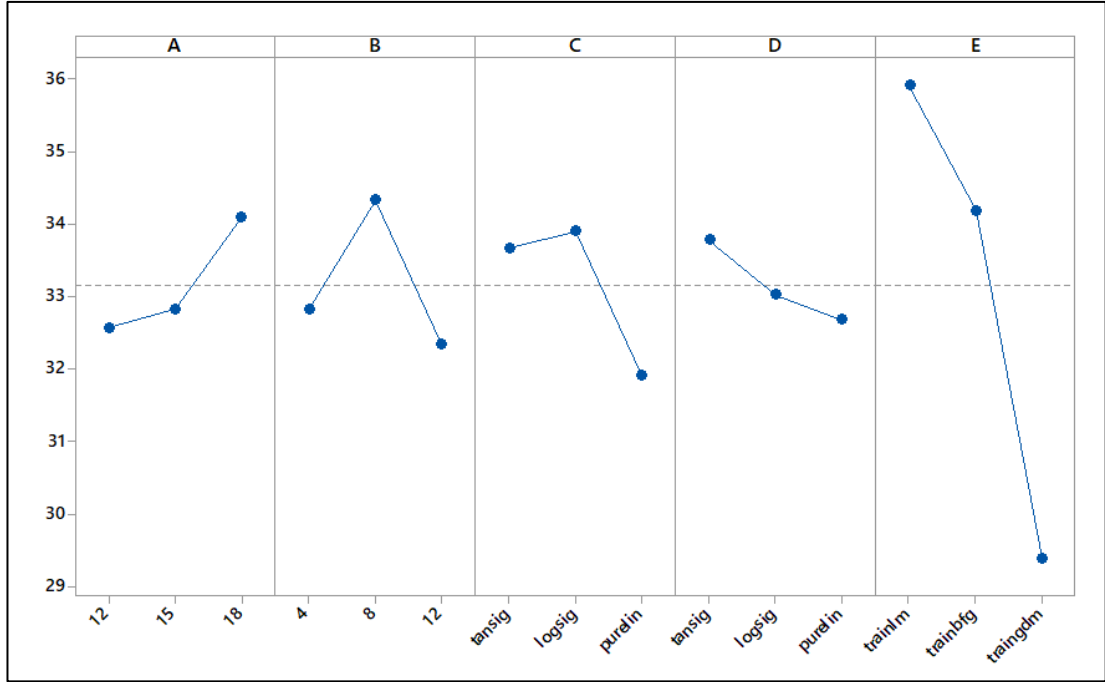
Çizelge 5.1’de S/N oranları “en küçük en iyi” kriterini (Eşitlik 3.2) kullanan değerleri temsil etmektedir. S/N oranlarına göre, parametrelerin MSE üzerindeki etki derecesini belirlemek mümkündür. Her parametrenin etkisi Çizelge 5.2’de verilmiştir.

Çizelge 5.2. S/N (sinyal/gürültü oranı) için sonuç grafiği.

Seviye	A	B	C	D	E
1	32,57	32,81	33,66	33,78	35,91
2	32,83	34,32	33,90	33,02	34,18
3	34,08	32,34	31,91	32,68	29,39
Delta	1,51	1,98	1,99	1,10	6,52
Rank	4	3	2	5	1
En İyi	A3	B2	C2	D1	E1

Çizelge 5.2’de daha büyük bir S/N oranı, ilgili faktörün daha iyi performansını ifade etmektedir. En etkili parametrenin “E” parametresi olduğu görülmektedir.

Taguchi tasarım yönteminde “en büyük en iyi” ya da “en küçük en iyi” problem tiplerine bakılmaksızın, S/N oranı grafiğinde faktör seviyelerini belirlemede maksimum noktası göz önüne alınmaktadır.



Şekil 5.1. S/N (sinyal/gürültü oranı) için sonuç grafiği.

Şekil 5.1’de “eğitim fonksiyonu” S/N oranı üzerinde en önemli etkiye sahip olduğunu göstermektedir. Sonuçlar, sırasıyla A3-B2-C2-D1-E1 seviyeleri olarak optimal koşulları göstermiştir.

ANOVA, her parametrenin önem derecesini tanımlar. S/N oranları kullanılarak gözlemlenen ANOVA sonuçları Çizelge 5.3’de gösterilmiştir.

Çizelge 5.3. S/N oranları için ANOVA sonuçları.

Parametre	DF	SS	MS	F	Katkı (%)
A	2	11,788	5,894	0,98	3,28
B	2	19,278	9,639	1,60	5,37
C	2	21,166	10,583	1,76	5,89
D	2	5,709	2,855	0,48	1,59
E	2	205,214	102,607	17,08	57,12
Hata	16	96,139	6,009		26,76
Toplam	26	359,294			100,00

Çizelge 5.3'deki ANOVA sonuçlarına göre B, C ve E parametreleri YSA performansındaki toplam varyasyonun % 68,38'ine katkıda bulunmaktadır. Eğitim fonksiyonu, % 57,12 oranı ile ağın MSE'si üzerinde en önemli etkiye sahiptir.

Çizelge 5.4. S/N oranı ve ANOVA sonuçlarının karşılaştırılması.

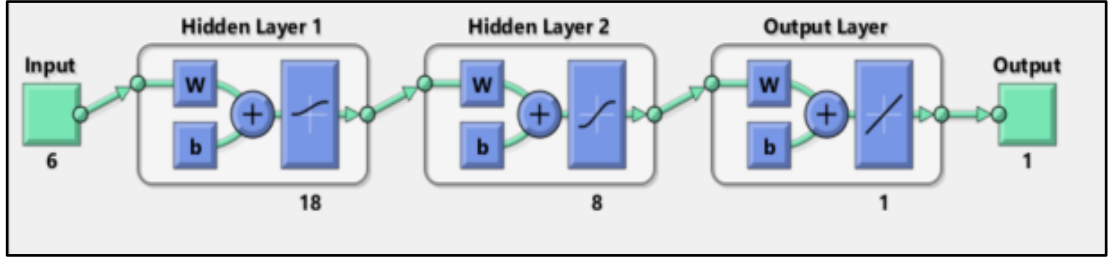
Faktörler	S/N Oranları		ANOVA	
	Delta	Etki Derecesi	Katkı %	Etki Derecesi
A	1,51	4.	3,28	4.
B	1,98	3.	5,37	3.
C	1,99	2.	5,89	2.
D	1,10	5.	1,59	5.
E	6,52	1.	57,12	1.

Çizelge 5.4'de S/N oranları ve ANOVA sonuçları birbirini desteklemektedir. Faktörlerin etki derecesi birbirine benzer ve en önemli etkiye sahip fonksiyonun “eğitim fonksiyonu” olduğu, en az etki derecesine sahip fonksiyonun da “2. gizli katman transfer fonksiyonu” olduğu görülmüştür. Bu koşullarda; Taguchi deneysel tasarım yöntemi ile YSA modelinin optimum parametre seviyeleri oluşturulmuş olup Çizelge 5.5'de verilmiştir. Bu optimal koşullar; birinci gizli katmandaki nöron sayısı 18, ikinci gizli katmandaki nöron sayısı 8, birinci gizli katman transfer fonksiyonu logsig, ikinci gizli katman transfer fonksiyonu tansig ve eğitim fonksiyonu trainlm'dir.

Çizelge 5.5. Optimum parametre seviyeleri.

1. gizli katmandaki nöron sayısı	2. gizli katmandaki nöron sayısı	1. gizli katman transfer fonksiyonu	2. gizli katman transfer fonksiyonu	Eğitim fonksiyonu	MSE
18	8	logsig	tansig	trainlm	0.0072

Optimum parametre seviyelerinde oluşturulan YSA mimarisi Şekil 5.2'de verilmiştir.

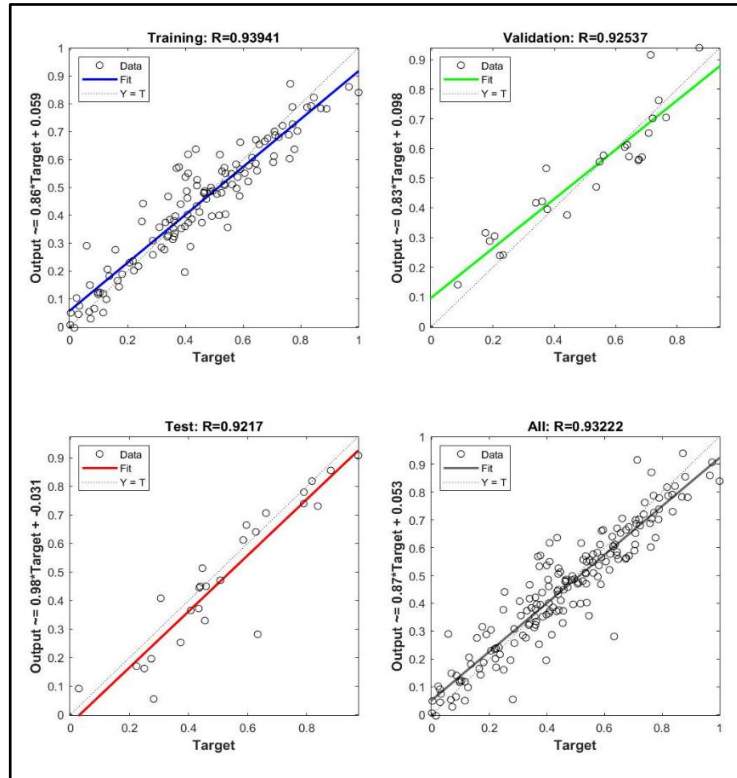


Şekil 5.2. Optimum parametre seviyelerinde oluşturulan YSA mimarisi.

Sonuçlar, sırasıyla A3-B2-C2-D1-E1 seviyeleri olarak optimal koşulları göstermiştir. En iyi faktör ve seviye kombinasyonunun doğruluğu ortogonal dizide test edilmediğinden kükürt içeriğini tahmin etmek için MSE değeri kullanılmıştır. Test sonucuna göre A3-B2-C2-D1-E1 kombinasyonunun MSE değeri 0,0072 hata ile tahmin edilmiştir.

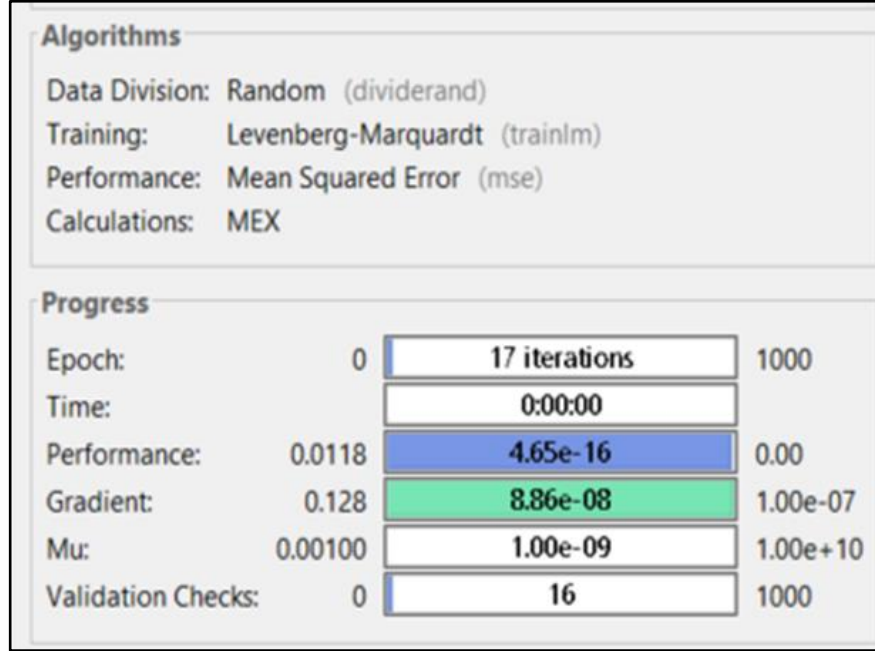
Taguchi ile optimize edilmiş YSA modeli Şekil 5.3’de görüldüğü gibi memnun edici performans göstermiştir.

Şekil 5.3. Taguchi ile optimize edilmiş YSA modelinin performansı.

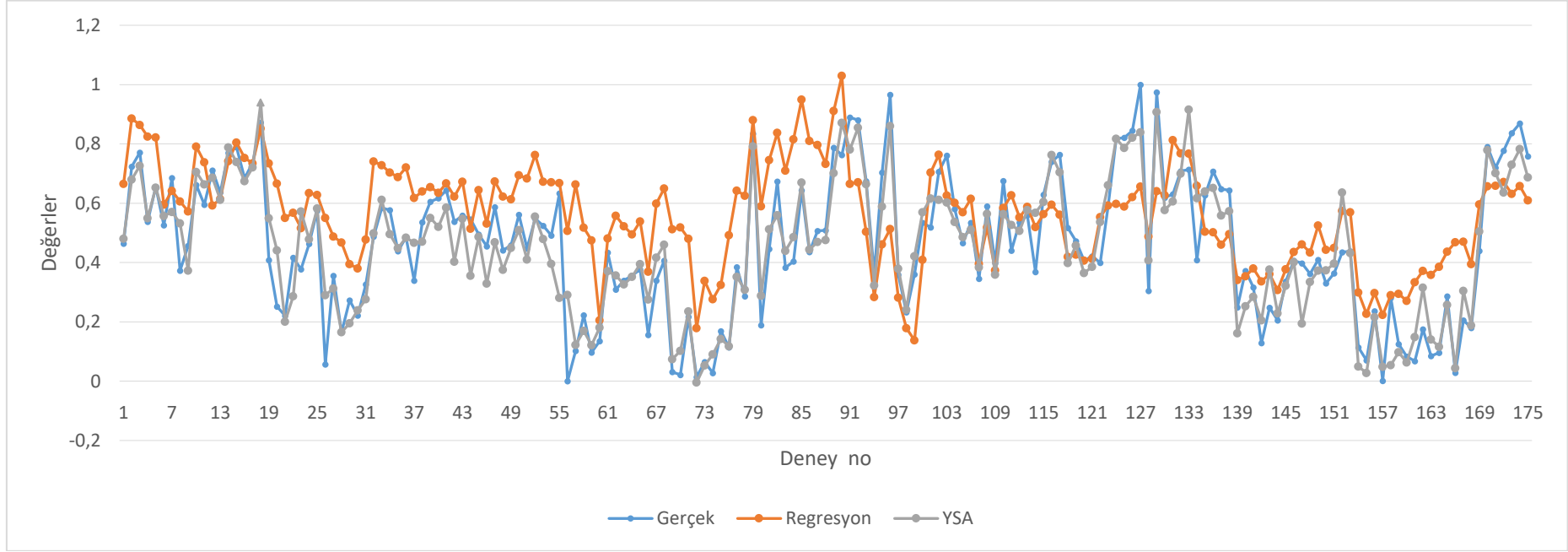


Şekil 5.4’de görüldüğü gibi optimum YSA modeli Levenberg Marquardt eğitim fonksiyonu ile elde edilmiştir. 175 verinin rastgele seçilen %70’i eğitim, %30’u ağ yapısını test etmek için kullanılmıştır. 1000 iterasyonla çalıştırılmış olup 17. iterasyonda en iyi sonuca ulaşılmıştır.

Şekil 5.4. YSA algoritması ve epoch sonucu.



Şekil 5.5’de çoklu doğrusal regresyon sonucu tahmin edilen, YSA sonucu tahmin edilen ve kükürt hedef değerleri verilmiştir. Kükürt içeriği için tahmin edilen bazı değerler çoklu regresyon ve YSA çıktılarına çok yakın iken, bazı değerler arasında ise çok farklar olduğu görülmektedir. Yine grafik incelendiğinde gerçekleşen kükürt değerleri ve çoklu doğrusal regresyon modelinin yaptığı tahminlerin, YSA modeli sonucu tahmin edilenden biraz daha uzakta olduğu görülmektedir. Yapılan bu görsel tespitler Çizelge 5.6’daki hesaplanan değerlerle de desteklenmektedir.



Şekil 5.5. YSA çıktı, regresyon çıktı ve hedef değer karşılaştırma.

R değerleri çıktıları ve hedefler arasındaki korelasyonu ölçer. R değerinin bir veya bire yakın olması yakın ilişki, sıfır olması rastgele ilişki anlamına gelmektedir. Çoklu regresyon analizi, IBM SPSS Statistica programı ile yapılmıştır. Çoklu regresyon modeli analizi yapılırken dört metot içinden en yaygın kullanılan “Enter” metodu tercih edilmiştir. Çizelge 5.6’da MSE, MAPE ve R değerleri karşılaştırması verilmektedir.

Çizelge 5.6. YSA ve Regresyon modeli için MSE, MAPE ve R değerleri karşılaştırması.

	MSE	MAPE	R
YSA	0,0072	0,1895	0,93
Regresyon	0,0424	0,3319	0,65

MSE; tahminleyicinin performansını ölçer ve her zaman pozitif değerlidir. MSE değeri sıfıra yakın olan tahminleyicilerin daha iyi bir performans gösterir. Her iki yöntem için MSE değerleri incelendiğinde; YSA yöntemi, çoklu regresyona göre daha iyi performans göstermiştir.

MAPE değeri %10’un altında olan modellerin “çok iyi”, %10- %20 arasında olan modellerin “iyi”, %20- %50 arasında olan modellerin “kabul edilebilir” ve %50’den yüksek olan modellerin ise “hatalı ve yanlış” olarak derecelendirilmektedir. MAPE istatistiğinin %10’un altında bir değer alması, elde edilen modelin gerçek değerlere yakın tahmin değerleri ürettiği anlamına gelmektedir [65]. Bu çalışmada; YSA modeli ile regresyon analizinde elde edilen MAPE değerleri karşılaştırıldığında; YSA modelinin MAPE değeri %18 çıkması ile tahmin değeri “iyi” olarak derecelendirilmekte ve daha az tahmin hatası yaptığı görülmektedir.

YSA’da R değeri %90’nın üzerindedir ve tahmin kabul edilebilir sınırlar içerisindedir. Bu değerlere göre YSA modeli, çoklu regresyon yöntemine göre daha başarılıdır.

BÖLÜM 6

SONUÇLAR

Bir sinir ağının parametreleri, ağın performansını tanımlamaktadır. Bu tez çalışmasında, Kardemir’de 5. Yüksek Fırın’da üretilen sıvı ham demir içerisinde en uygun kükürt içerik belirleme modelini oluşturmak için YSA eğitime deneysel tasarım yöntemi olan Taguchi metodu uygulanmıştır. YSA’nın eğitilmesinde kükürt içeriğini etkileyen en önemli 6 girdi parametrelerinden; cüruf bazitesi, kükürt girdisi, mangan girdisi, silis girdisi, üfleme sıcaklığı ve tepe basıncı kullanılmıştır. 2019 ve 2021 yılları arasında gerçekleşen günlük 175 üretim verileri kullanılmış olup YSA için kullanılabilir olması açısından normalize edilmiştir. 6 girdi, 1 çıktı ve 2 gizli katmandan oluşan YSA’nın eğitiminde, literatürde yaygın olarak kullanılan Levenberg Marquardt algoritması tercih edilmiştir. Taguchi deney tasarımı yöntemi ile gizli katman nöron sayısı, transfer fonksiyonu ve eğitim fonksiyonu gibi en uygun YSA parametreleri belirlenmiştir. YSA eğitimi ve mimari parametreler L_{27} ortogonal dizisinde düzenlenmiş, deneyler 2 kez tekrarlı olarak gerçekleştirilmiş ve YSA modelinin tahmin performansı değerlendirilmiştir.

Çalışma kapsamında; Taguchi destekli, optimum parametre seviyelerinde oluşturulan YSA modeli ile sıvı ham demir kükürt içerik tahminini en az denemeyele sonuca ulaşmayı hedeflenmiştir.

Çalışma sonucunda aşağıda verilen maddelere ulaşılmıştır. Buna göre;

1. Test edilen YSA modellerinin sayısı, Taguchi yöntemi kullanılarak azaltılabilir,
2. Taguchi yöntemi, bu çalışmada anlatıldığı gibi ağın performansını değerlendirmek için uygundur,

3. S/N oranlarına dayanarak, parametrelerin ağın performansı üzerindeki etki derecesini belirlemek mümkündür,
4. Veri analizi için S/N oranı ve ANOVA sonuçları karşılaştırıldığında benzer sonuçlar ortaya çıkmıştır,
5. Ağın en iyi performansı birinci katmanda 18 gizli nöron, ikinci katmanda 8 gizli nöron, birinci gizli katmanda “logsig” transfer fonksiyonu, ikinci gizli katmanda “tansig” transfer fonksiyonu ve “trainlm” eğitim fonksiyonu ile elde edilmiştir,
6. “Eğitim fonksiyonu”, ağın MSE'si üzerinde en önemli etkiye sahiptir,
7. YSA modeli, çoklu doğrusal regresyon analizi ile karşılaştırılmış olup YSA'nın daha az hataya sahip bir model olduğu görülmüştür,
8. Geliştirilen YSA modeli, cüruf bazitesi, kükürt girdisi, mangan girdisi, silis girdisi, üfleme sıcaklığı ve tepe basıncı dahil olmak üzere girdiler dikkate alındığında kükürt içeriğini tahmin etmek için yeterlidir.

Çalışma sonucunda ortaya çıkan öneriler aşağıda verilmiştir. Buna göre;

1. YSA ve Taguchi metodunun uygulanması sanayi sektöründe üretim kalitesini bir adım daha ileriye gitmesinde şüphesiz önemli bir rol alacaktır,
2. Bu çalışma ile tahmin edilen kükürt içeriğinin yüksek fırındaki ısı dengeyi korumak adına sıcak hava, yakıt ya da harman değerlerinin ne kadar değiştirilmesi gerektiğini belirleyen akıllı kontrol sistemleri tasarlamak mümkün olacaktır,
3. Çalışmanın ilerleyen aşamalarında sıvı ham demirin diğer önemli kalite parametrelerinden biri baz alınarak benzer bir uygulama yapılabilir.

KAYNAKLAR

1. Dike, Ö., “Pulvarize Kömür Enjeksiyonu Kullanımının Yüksek Fırın Çalışmasına Etkileri”, Yüksek Lisans Tezi, **Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Maden Mühendisliği Ana Bilim Dalı**, Adana (2008).
2. Taylan, D., “Taguchi Deney Tasarımı Uygulaması”, Yüksek Lisans Tezi, **Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı**, Isparta (2009).
3. Özay, Ç., Ballıkaya, H., Altuğ, M., Savaş, V., & Sağlam, M., “Teğetsel Silindirik Taşlama Yönteminde İşleme Parametrelerinin Titreşim Üzerindeki Etkilerinin Araştırılması.”, **Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi**, 30: 311-317 (2018).
4. Oliaei, E., Heidari, B., Davachi, S., Bahrami, M., Davoodi, S., Hejazi, I., & Seyfi, J., “Warp 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**, İran, 32 (8): 710-720 (2016).
5. Midilli, Y., “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 (2018).
6. Ouyang, K., Wu, H. W., Huang, S. C., & Wu, S. J., “Optimum Parameter Design for Performance of Methanol Steam Reformer Combining Taguchi Method with Artificial Neural Network and Genetic Algorithm”, **Energy**, 138:446-458 (2017).
7. Pardeshi, P. M., Mungray, A. A., & Mungray, A. K., “Determination of Optimum Conditions in Forward Osmosis Using a Combined Taguchi–Neural Approach”, **Chemical Engineering Research and Design**, 109, 215-225 (2016).
8. Tortum, A., Yayla, N., Çelik, C., & Gökdağ, M., “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 (2007).
9. Özcan, C., & Köprü, E.Y., “Yapay Sinir Ağları ile Sıvı Ham Demir Tahmini ve 5.Yüksek Fırın Uygulaması”, **Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi**, 155-162 (2020).

10. Aksu, Y., “İleri Beslemeli Geri Yayılımlı Yapay Sinir Ağlarının İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü*, Van (2019).
11. Mercan, Ş., “Deney Tasarımı ve Yapay Zekâ Tekniklerinden Yararlanarak Ürün Kalitesinin İyileştirilmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı*, Balıkesir (2019).
12. Hong, T., Jing-min, L., Bi-Qiang, Y., Hong-fu L., Jin, Y., “Evulation of Sheme Design of Blast Furnace Based on Artificial Neural Network”, *Journal of iron and steel research international*, 15 (3): 01-04 (2008).
13. Assis, P., Carvalho, L., & Irgaliyev, A., “Artificial Neural Network-Based Committee Machine for Predicting Fuel Rate and Sulfur Contents of a Coke Blast Furnace”, *International Journal of Science and Research (IJSR)*, 1492-1495 (2019).
14. Vurşan, H., “Beton Çelik Çubuklarında Mukavemet Özelliklerinin Yapay Sinir Ağları ve Çoklu Regresyon Yöntemleri ile Tahmini”, Yüksek Lisans Tezi, *Karabük Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı*, Karabük (2019).
15. Bozkurt, E., "Yüksek Fırın Analizi ve Yapay Sinir Ağları ile Modellenmesi", Yüksek Lisans Tezi, *Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, (2007).
16. Beşkardeş, A., Türkoğlu, S., & Acı, Ç., "Prediction of the Hot Metal Silicon Content in the Blast Furnace", *24th Signal Processing and Communication Conference (SIU)*, 709-712, Zonguldak (2016).
17. Madić, M. J., & Radovanović, M. R., "Optimal Selection of ANN Training and Architectural Parameters Using Taguchi Method: A Case Study". *FME Transactions*, 39 (2): 79-86 (2011).
18. Gültepe, Y., "Makine Öğrenmesi Algoritmaları ile Hava Kirliliği Tahmini Üzerine Karşılaştırmalı Bir Değerlendirme", *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (16): 8-15 (2019).
19. Demirbay, B., & Karakullukçu, A., "Artificial Neural Network (ANN) Approach for Dynamic Viscosity of Aqueous Gelatin Solutions: A Soft Computing Study", *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 18: 465 - 475 (2020).
20. Toraman, M., "Uçakların İtki Kuvvetinin Yapay Sinir Ağları ile Tahmini", Yüksek Lisans Tezi, *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sivil Havacılık Anabilim Dalı*, Kayseri (2019).
21. Yalçındağ, Y., "Gıda İşletmelerinde Taguchi Yöntemi ile Süreç İyileştirme ve Bir Uygulama", Yüksek Lisans Tezi, *Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Endüstri Mühendisliği AnaBilim Dalı*, Denizli (2021).

22. Şahin, E., " Polipropilen Talk/Kolemanit Hibrit Kompozit Malzemelerin Çekme Özelliklerinin Deneysel Tasarım Yöntemi ile Eniyilenmesi/Yapay Sinir Ağı ile Kestirimi", Yüksek Lisans Tezi, *Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı*, (2018).
23. İncel, E., "Deney Tasarımı ve Yapay Sinir Ağları Yöntemleriyle Alüminyum Ekstrüzyon Prosesinin İyileştirilmesi", *T.C. Balıkesir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı*, (2016).
24. Yusuf Tansel, İ., & Yıldırım, S., "Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleriyle Birlikte Taguchi Yöntemini Kullanarak Bir Ürünün Tasarımının Geliştirilmesi", *Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 27 (2): 447-458 (2012).
25. Düzyol, S.. "Taguchi Deneysel Tasarım Metodu Kullanılarak Karadon (Zonguldak) Kömürünün Yağ Aglomerasyonu Davranışının İncelenmesi", *Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 2 (31), 77-84. (2016).
26. Önal, Ş., "Taguchi Metodu Kullanılarak Plastik Enjeksiyon Kalıplama Tekniğiyle Üretilen Parçadaki Çekme Probleminde Etkili Parametrelerin Optimizasyonu", *Ankara Bilim Üniversitesi*, 1 (01): 48-56 (2021).
27. Geerdes, M., Chaigneau, R., Lingiardi, O., Molenaar, R., & Van Opbergen, R., "Modern Blast Furnace Ironmaking: an Introduction", *Fourth Edition*, (2020).
28. İnternet: Çelik İhracatçıları Birliği, "Dünya Türk Çeliği ile Şekilleniyor", <http://cib.org.tr/files/doc/files/katalog2019TR.pdf> (2021).
29. İnternet: Mühendis ve Makine, "Karabük Demir Çelik Fabrikaları", <https://www.mmo.org.tr>, 55-56 (2019).
30. Ersöz, T., Erkmen, İ. N., "Dünyada ve Türkiye’de Ham Çelik Üretimine Bakış", *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 32 (2): 1-12 (2016).
31. İnternet: Türkiye Çelik Üreticileri Derneği, "Basında TCUD", <http://celik.org.tr/category/basinda-tcud> (2022).
32. T.C. Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı Sanayi ve Verimlilik Genel Müdürlüğü, "Demir Çelik Sektör Raporu", *SATSA*, 8,9 (2020).
33. Özdemir Ö.& Öz Saraç U., "Demir Çelik Metalurjisi Ders Notları", *Sakarya Üniversitesi*, (2015).
34. Yıldız, K., "Demir Çelik Metalurjisi", *Sakarya Üniversitesi*, 14, 2-6, 36, 37, 38-39 (2017).
35. Geerdes, M., Chaigneau, R., Kurunov, I., "Modern Blast Furnace Iron Making an Introduction", *Netherlands*, 1-12, 43-57, 100-105, 58-65 (2015).

36. Bozkurt, E., “Yüksek Fırın Analizi ve Yapay Sinir Ağı ile Modellenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Sakarya, 19,78-85,79-82 (2007).
37. İnternet: Millî Eğitim Bakanlığı, “Metalurji Teknolojisi Sinter Üretimi”, http://megep.meb.gov.tr/mte_program_modul/moduller_pdf/Sinteruretimi.pdf (2011).
38. Kuşoğlu, İ.M., “Demir Esaslı Metal Tozlarından Geleneksel ve Mikro Dalga Sinterleme Yöntemleri İle Malzeme Üretimi ve Özelliklerinin Karşılaştırılması”, Doktora Tezi, *Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İzmir (2011).
39. Yıldız, N., “Demir Cevherinin Peletlenmesi”, *Madencilik*, 29 (1):18 (1990).
40. Alan, E., “Yapay Sinir Ağları Yaklaşımı ile Cürüflarda Fosfor Kapasitelerinin İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 5-29, 1-5, 20 (2013).
41. Yüce, A.E., Gürkan, V., Erdoğan, M., Tarkan, H.M., Girgin, Ş., Kangal, M.O., Oktay, F.Y., “Demir Çelik Kullanım Amaçlı Kireç Taşları için Yeni Bir Tanımlama Önerisi”, *Madencilik*, 41 (4): 22 (2002).
42. İnternet: Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, “Dolomit”, <http://www.mta.gov.tr/v3.0/bilgi-merkezi/dolamit> (2019).
43. İnternet: Türkiye Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, “Entegre Demir Çelik Üretimi Sektörel Uygulama Kılavuzu”, https://webdosya.csb.gov.tr/db/sanayihavarehberi/icerikler/entegre-demir-celik-uretimi_nihai-20190205133452.pdf (2019).
44. Sezer, R., , Metalurjik Yakıtlar ve Refrakter Malzemeler Ders Notları, *Karadeniz Teknik Üniversitesi* (2019).
45. Dike, Ö.S., “Pulvarize Kömür Enjeksiyonu Kullanımının Yüksek Fırın Çalışmasına Etkileri”, Yüksek Lisans Tezi, *Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Adana, 13-16 (2008).
46. Furtun, F., “Pulvarize Kömür Enjeksiyonunun Yüksek Fırın Prosesine Etkileri ve Kardemir 4.Yüksek Fırın Uygulamaları”, Yüksek Lisans Tezi, *Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Karabük, 7 (2013).
47. Yılmaz, K., “Pulvarize Kömür Enjeksiyonunun Yüksek Fırın Prosesine Etkisi”, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 1-2, 21, 22, 93-95 (2003).
48. Doğantepe, G., “Hematik Karakterli Demir Cevherinden ve Yüksek Fırın Baca Gazından Sünger Demir Üretilebilirliğinin Araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, *Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, 24 (2013).

49. İnternet: Kafası M., [www.https://themanhattan.org/taguchi-yontemi-nedir](https://themanhattan.org/taguchi-yontemi-nedir) (2021).
50. Öktem, H., “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 (2012).
51. Şirvancı, M., “Kalite İçin Deney Tasarımı Taguchi Yaklaşımı”, *Literatür Yayıncılık*, İstanbul (1997).
52. Taptık, Y., Keleş, Ö., “Kalite Savaşı,” *Kalder Yayınları*, İstanbul (1998).
53. Kamber, Ö. Ş., “Plastik Enjeksiyon Kalıplarında Basınç ve Sıcaklık Parametrelerinin Ürün Kalitesine Etkileri ve Taguchi Yöntemi ile Optimizasyonu”, Doktora Tezi, *Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Eğitimi Anabilim Dalı*, İstanbul (2008).
54. Taguchi, G. ve Clausing, D., “Robust Quality”, *Harvard Business Review*, Ocak-Şubat, 65-76 (1990).
55. Kaya, İ., Oktay, S., Engin, O., “Kalite Kontrol Problemlerinin Çözümünde Yapay Sinir Ağlarının Kullanımı”, *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 21 (1-2), 92-107 (2005).
56. Hamzaçebi, C., “Yapay Sinir Ağları”, *Ekin Basım Yayın Dağıtım*, Bursa (2011).
57. Nabiye, V., “Yapay Zeka”, *Seçkin Yayıncılık*, Ankara (2003).
58. Bayır, F., “Yapay Sinir Ağları ve Tahmin Modellemesi Üzerine Bir Uygulama, Yüksek Lisans Tezi”, *İstanbul Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü*, İstanbul (2006).
59. Öztemel, Ö., “Yapay Sinir Ağları”, *Papatya Yayıncılık*, İstanbul (2012).
60. Eğrisöğüt, A., “Çimento Hammadde Karışımı Prosesinin Yapay Sinir Ağları ile Matematiksel Modellenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Sakarya (2002).
61. Yavuz S. ve Deveci M., “İstatistiksel Normalizasyon Tekniklerinin Yapay Sinir Ağın Performansına Etkisi”, *Erciyes Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimleri Fakültesi Dergisi*, (40), 167-187 (2012).
62. Hameed A. A. H., “Robust Adaptive Learning Approach of Artificial Neural Networks”, Doktora Tezi, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya (2017).

63. Aşkın, D., İskender İ. ve Mamızadeh A., “Farklı Yapay Sinir Ağları Yöntemlerini Kullanarak Kuru Tip Transformatör Sargısının Termal Analizi”, *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, Ankara, 26 (4): 905-913 (2011).
64. İnternet: Doğan, T., <https://tr.linkedin.com/pulse/yapay-sinir-ağları-ve-tek-katmanlı-ağlarda-öğrenme-tanju-doğan> (2018).
65. Çuhadar M. ve Kervankıran, İ., “Nevşehir İli Konaklama İşletmelerine Yönelik Turizm Talebinin Analizi, Modellemesi ve Tahminleri”, *Ekonomi ve Yönetim Araştırmaları Dergisi*, 5 (2): 49-65 (2016).

ÖZGEÇMİŞ

Münire HEKİM Karabük'te doğdu. Liseden mezun olduktan sonra 2008 yılında Bilgisayar Teknolojisi ve Programlama Bölümü'nü kazandı ve tamamladı. Ardından 2010 yılında Endüstri Mühendisliği Bölümü'nü kazandı. 2014 yılında lisans eğitimini tamamladıktan sonra 2017 yılında Endüstri Mühendisi olarak iş hayatına atıldı. 2019 yılında Endüstri Mühendisliği Anabilim dalında yüksek lisans eğitimine başladı.