



T.C.  
NİĞDE ÖMER HALİSDEMİR ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

FARİN DEĞİRMENLERİNİN ANATAHRİK MOTORUNUN HARCADIĞI  
ELEKTRİK GÜCÜNÜN YAPAY SİNİR AĞLARI KULLANILARAK  
TAHMİN EDİLMESİ

OSMAN OZAN YAGIZ

Kasım 2020



T.C.  
NİĞDE ÖMER HALİSDEMİR ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

FARİN DEĞİRMENLERİNİN ANATAHRİK MOTORUNUN HARCADIĞI  
ELEKTRİK GÜCÜNÜN YAPAY SİNİR AĞLARI KULLANILARAK TAHMİN  
EDİLMESİ

OSMAN OZAN YAGIZ

Yüksek Lisans Tezi

Danışman

Dr. Öğr. Üyesi Bekir Sami TEZEKİCİ

Kasım 2020

**Osman Ozan YAGIZ** tarafından **Dr.Öğr.Üyesi Bekir Sami TEZEKİCİ** danışmanlığında hazırlanan “**Farin Değirmenlerinin Anatahrik Motorunun Harcadığı Elektrik Gücünün Yapay Sinir Ağları Kullanılarak Tahmin Edilmesi**” adlı bu çalışma jürimiz tarafından Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Elektrik-Elektronik Mühendisliği** Ana Bilim Dalı’nda Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan: Doç.Dr. Seyfettin Sinan GÜLTEKİN, Konya Teknik Üniversitesi

Üye : Dr.Öğr.Üyesi Kamil Fatih DİLAVER, Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi

Üye : Dr.Öğr.Üyesi Bekir Sami TEZEKİCİ, Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi

**ONAY:**

Bu tez, Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulunca belirlenmiş olan yukarıdaki jüri üyeleri tarafından ....../...../20.... tarihinde uygun görülmüş ve Enstitü Yönetim Kurulu’nun ....../...../20.... tarih ve ..... sayılı kararıyla kabul edilmiştir.

...../...../20...

**Prof. Dr. Murat BARUT**  
**MÜDÜR**

## **TEZ BİLDİRİMİ**

Tez içindeki bütün bilgilerin bilimsel ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

Osman Ozan YAGIZ

## ÖZET

### FARİN DEĞİRMENLERİNİN ANATAHRİK MOTORUNUN HARCADIĞI ELEKTRİK GÜCÜNÜN YAPAY SİNİR AĞLARI KULLANILARAK TAHMİN EDİLMESİ

YAGIZ, Osman Ozan

Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman : Dr. Öğr. Üyesi Bekir Sami TEZEKİCİ

Kasım 2020, 80 sayfa

Çimento üretiminde önemli süreçlerden biri olan farin hazırlama aşamasında klinker üretim prosesinde kullanılan elektrik enerjisinin %30-%40'ı harcanmaktadır. Ortalama büyüklükte bir çimento fabrikasında farin üretimi için kullanılan elektrik enerjisi yaklaşık 4.000 kWh 'tir. Farin üretiminde ihtiyaç olan enerjinin büyük bölümünü farin ana tahrik motoru harcamaktadır. Bu sebeple, en çok enerji harcayan ünitelerden biri olan farin değirmeninin harcamacağı enerjinin üretimden önce hesaplanması fabrikalar için oldukça önemli bir gelişme noktasıdır. Bu tez çalışmasında hem dik hem de yatay farin değirmeninin ana tahrik motorlarının harcadığı elektrik enerjisinin tahmini için ayrı ayrı yapay sinir ağı tasarlanmış ve elde edilen sonuçlarda her iki değirmen tipi için de ana tahrik motorunun harcadığı elektrik enerjisinin tahmin edilebileceği gösterilmiştir. Yatay farin değirmeni ve dik farin değirmeni ana tahrik motorlarının harcadığı gücü etkileyen proses parametreleri ayrı ayrı belirlenmiştir. Yapılan istatistiksel analizlerde deneysel sonuçlar ile ağına verdiği çıktı değerleri kıyaslanmış ve aralarında bir fark olmadığı yani ağı sonuçlarının güvenilir olduğu gösterilmiştir.

*Anahtar sözcükler: Farin, çimento, yapay sinir ağı, enerji tahmini*

## SUMMARY

### ESTIMATION OF THE ELECTRICAL POWER EXPENDED BY MAIN DRIVE MOTOR OF RAW MILLS BY USING ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS

YAGIZ, Osman Ozan

Nigde Ömer Halisdemir University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Electric-Electronic Engineering

Supervisor : Dr. Öğr. Üyesi Bekir Sami TEZEKİCİ

November 2020, 80 pages

In the raw meal preparation phase, which is one of the important processes in cement production, 30-40% of the electrical energy used in the clinker production process is consumed. The electrical energy used for raw meal production in an average sized cement factory is approximately 4,000 kWh. Most of this energy is spent by the raw meal main drive motor. For this reason, the calculation of the energy to be consumed by the raw mill, which is one of the most energy consuming units, before production is a very important development point for factories. However, no study has been found in the literature on the subject. In this thesis study, different neural networks were designed for the estimation of the electrical energy consumed by the main drive motors. It shown the estimation results for consumed electrical energy correctly. Process parameters affecting the power consumed by the main drive motors of horizontal raw mills and vertical raw mills were determined by differently desing. In the statistical analysis, the experimental results and the output values of the network were compared and it was shown that there was no difference between them, that is, the network results were reliable.

*Keywords: Farin, cement, artificial neural networks, energy estimation*

## ÖNSÖZ

Öncelikle, yüksek lisansım süresince bana kendisiyle çalışma fırsatı sunan çok değerli Hocam Dr. Öğrt. Üyesi Bekir Sami Tezekici'ye sonsuz teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca, kendisinden ders almaktan büyük zevk duyduğum ve hiçbir zaman benden yardımlarını esirgemeyen Prof. Dr. Murat Barut'a şükranlarımı sunarım. Vermiş olduğu derslerle akademik hayatıma katkı sağladığı için Dr. Öğrt. Üyesi Kamil Fatih Dilaver'e teşekkürlerimi sunarım.

Yüksek Lisans eğitimim sırasında beni hoşgörüle destekleyen başta Müh. Mustafa Dildari olmak üzere tüm Niğde ÇİMSA Çimento ailesine teşekkür ederim.

Akademik hayatta bana yol gösteren Dr. Hasan Hüseyin Türkmen ve Hilal Türkmen'e ayrıca kızları Asena Merve Türkmen ve Ayça Esra Baltacıoğlu'na da teşekkür etmeyi bir borç bilirim.

Son olarak ilkokuldan itibaren benden emeklerini hiçbir şekilde esirgemeyen babam Mustafa Yagız, annem Sevil Yagız ve kardeşim Ayşenur Yagız'a da minnetlerimi sunarım. Beni yüksek lisans yapmaya teşvik eden ve her zaman yardımlarını cömertçe sunan çok sevgili eşim Ayten Kübra Yagız'a ve hayatımıza neşe getiren canım oğlum Mustafa Atlas Yagız'a da sonsuz teşekkürler.

## İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	iv
SUMMARY.....	v
ÖNSÖZ.....	vi
İÇİNDEKİLER.....	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	x
SİMGE VE KISALTMALAR.....	xiii
BÖLÜM I GİRİŞ.....	1
BÖLÜM II GENEL BİLGİLER.....	4
2.1 Değirmenler Hakkında.....	4
2.1.1 Öğütme.....	5
2.1.2 Boyut küçültme teorileri.....	5
2.2 Çimento Sanayinde Üretim Aşamaları.....	6
2.2.1 Farin değirmeni.....	8
2.2.2 Pişirme (kalsinasyon).....	9
2.2.3 Döner fırın kimyası.....	9
2.2.3.1 Klinkerin bileşimi.....	11
2.3 Farin Değirmeni Üniteleri.....	13
2.3.1 Yatay farin değirmeni.....	14
2.3.2 Dikey farin değirmeni.....	15
2.4 Yapay Sinir Ağları.....	18
BÖLÜM III MATERYAL VE METOT.....	20
3.1 İP-1 Yapay Sinir Ağları Kullanılarak Dik Farin Değirmeni Ana Tahrik Motoru Güç Tahmini.....	20
3.2 İP-2 Yapay Sinir Ağları Kullanılarak Yatay Farin Değirmeni Ana Tahrik Motoru Güç Tahmini.....	21
3.3 Proses Değişkenleri.....	22
3.3.1 Yatay farin değirmeni için proses değişkenleri.....	22
3.3.2 Dik farin değirmeni için proses değişkenleri.....	25

3.4 YSA Uygulaması.....	27
3.4.1 Ağ yapısı.....	27
3.4.1.1 Yatay farin değirmeni ağ yapısı.....	27
3.4.1.2 Dik Farin Değirmeni Ağ Yapısı.....	28
3.4.2 Veri düzenleme .....	29
3.4.3 Ağın optimizasyonu.....	29
BÖLÜM IV BULGULAR VE TARTIŞMA .....	33
4.1 Yatay Farin Değirmeni .....	33
4.1.1 Yatay farin değirmeni ana tahrik motoru harcadığı güç tahmini .....	33
4.2 Dik Farin Değirmeni.....	49
4.2.1 Dik farin değirmeni ana tahrik motoru harcadığı güç tahmini .....	49
4.3 Yatay Farin Değirmeni ve Dik Farin Değirmeni Kıyaslanması.....	67
4.3.1 Verilerin kıyaslanması.....	68
4.3.2 Yapay sinir ağı .....	69
4.3.3 İstatistiksel analiz .....	71
BÖLÜM V SONUÇLAR .....	77
KAYNAKLAR .....	77
ÖZ GEÇMİŞ .....	80

## ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1 Dikey ve yatay değirmenlerinin karşılaştırılması (Celep, 2008).....	17
Çizelge 3.1. Çalışmada kullanılan değişkenler .....	23
Çizelge 3.2. Çalışmada kullanılan ölçüm enstrümanlarının doğrulukları çizelgesi.....	23
Çizelge 3.3. Çalışmada kullanılan değişkenler .....	25
Çizelge 3.4. Çalışmada kullanılan ölçüm Enstrümanlarının doğrulukları çizelgesi .....	26
Çizelge 4.1 Yatay farin değirmeni YSA'nın performansı çizelgesi .....	47
Çizelge 4.2 Dik farin değirmeni YSA'nın performansı çizelgesi.....	67
Çizelge 4.3 Dik farin değirmeni giriş parametreleri .....	68
Çizelge 4.4 Yatay farin değirmeni giriş parametreleri.....	68
Çizelge 4.5 Yapay sinir ağlarının karşılaştırılması .....	69
Çizelge 4.6 Yapay Sinir Ağlarının R Değerleri Karşılaştırılması.....	70
Çizelge 4.7 Yatay farin değirmeni tüm data seti tukey testi karşılaştırılması .....	71
Çizelge 4.8 Yatay farin değirmeni test data seti tukey testi karşılaştırılması.....	72
Çizelge 4.9 Yatay farin değirmeni eğitim data seti tukey testi karşılaştırılması .....	73
Çizelge 4.10 Yatay farin değirmeni doğrulama data seti tukey testi karşılaştırılması ....	73
Çizelge 4.11 Dik farin değirmeni tüm data seti tukey testi karşılaştırılması.....	74
Çizelge 4.12 Dik farin değirmeni tüm data seti tukey testi karşılaştırılması.....	75
Çizelge 4.13 Dik farin değirmeni test veri seti tukey testi karşılaştırılması.....	75
Çizelge 4.14 Dik farin değirmeni eğitim veri seti tukey testi karşılaştırılması .....	76

## ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. Çimento.....	7
Şekil 2.2. Kırıcı ünitesi şematik gösterimi.....	7
Şekil 2.3. Farin-klinker geçişi hammadde mineral faz değişimi grafiği .....	10
Şekil 2.4. Farin-klinker geçiş reaksiyonu formülleri.....	10
Şekil 2.5. Farin yüzey alanını arttırma .....	13
Şekil 2.6. Yatay farin değirmeni yapısı. ....	14
Şekil 2.7. Dikey farin değirmeni yapısı. ....	16
Şekil 2.8. Yapay Sınır Hücresi (Demirkoparan, 2010) .....	18
Şekil 3.1. Yatay farin değirmeni YSA yapısı .....	28
Şekil 3.2. Dik Farin Değirmeni YSA Yapısı .....	29
Şekil 3.3. Ağ Optimizasyonu Akış Şeması.....	31
Şekil 4.1. Kil Tonaj - Kil Dozajlı Besleyici Gerçekleşen Değer Bilgisi (ton/h).....	33
Şekil 4.2. Demir Cevheri Tonaj = Demir Cevheri Dozajlı Besleyici Gerçekleşen Değer (ton/h) .....	34
Şekil 4.3. Marn Tonaj = 1.Marn Dozajlı Besleyici Gerçekleşen Değer Bilgisi (ton/h) ..	35
Şekil 4.4. F.D Falafon = Farin Değirmeni Falafon (%) .....	36
Şekil 4.5. F.D. Vantilatör Motoru = Farin Değirmeni Vantilatör Motoru Hızı (%) .....	37
Şekil 4.6. F.D. Giriş Sıcaklığı = Farin Değirmeni Giriş Sıcaklığı (°C).....	38
Şekil 4.7. Yatay farin değirmeni YSA performansı .....	39
Şekil 4.8. Yatay farin değirmeni YSA'nın eğitim durumu.....	40
Şekil 4.9. Yatay farin değirmeni YSA'nın hata histogramı .....	40
Şekil 4.10. Yatay farin değirmeni YSA'nın eğitim verileri.....	41
Şekil 4.11. Yatay farin değirmeni YSA'nın test verileri .....	41
Şekil 4.12. Yatay farin değirmeni YSA'nın doğrulama verileri .....	42
Şekil 4.13. Yatay farin değirmeni YSA'nın Tüm Verileri .....	42
Şekil 4.14. Yatay farin değirmeni YSA'nın eğitim verilerinin deneysel veriler ile karşılaştırılması .....	43
Şekil 4.15. Yatay farin değirmeni YSA'nın test verilerinin deneysel veriler ile karşılaştırılması .....	44

Şekil 4.16. Yatay farin değirmeni YSA'nın doğrulama verilerinin deneysel veriler ile karşılaştırılması .....	44
Şekil 4.17. Yatay farin değirmeni YSA'nın tüm verilerinin deneysel veriler ile karşılaştırılması .....	45
Şekil 4.18. Yatay farin değirmeni YSA'nın test verilerinin hata grafiği.....	46
Şekil 4.19. Yatay farin değirmeni YSA'nın eğitim verilerinin hata grafiği .....	46
Şekil 4.20. Yatay farin değirmeni YSA'nın doğrulama verilerinin hata grafiği .....	47
Şekil 4.21. Yatay farin değirmeni ysa'nın tüm verilerinin hata grafiği .....	47
Şekil 4.22. Kil Tonaj = Kil dozajlı besleyici gerçekleşen değer bilgisi (ton/h).....	49
Şekil 4.23. Demir Cevheri Tonaj = Demir cevheri dozajlı besleyici gerçekleşen değer bilgisi (ton/h) .....	50
Şekil 4.24. Marn Tonaj = 1.Marn dozajlı Besleyici Gerçekleşen Değer Bilgisi (ton/h) .51	
Şekil 4.25. Büyük Marn Tonaj = 2.Marn dozajlı besleyici gerçekleşen değer bilgisi (ton/h) .....	52
Şekil 4.26. F.D Separator = Farin Değirmeni Seperator Motoru Hızı (%) .....	53
Şekil 4.27. F.D. Vantilatör Motoru = Farin değirmeni vantilatör motoru hızı (%) .....	54
Şekil 4.28. F.D. sıcak gaz jaluzi klap pozisyonu = Farin değirmeni sıcak gaz jaluzi klepe açıklık bilgisi (%) .....	55
Şekil 4.29. F.D. vals ezme basıncı = Farin değirmeni vals ezme basıncı bilgisi (bar)...	56
Şekil 4.30. Dik farin değirmeni YSA performansı .....	58
Şekil 4.31. Dik farin değirmeni YSA'nın eğitim durumu .....	58
Şekil 4.32. Dik farin değirmeni YSA'nın hata histogramı .....	59
Şekil 4.33. Dik farin değirmeni YSA'nın eğitim verileri.....	60
Şekil 4.34. Dik farin değirmeni YSA'nın test verileri .....	60
Şekil 4.35. Dik farin değirmeni YSA'nın doğrulama verileri .....	61
Şekil 4.36. Dik farin değirmeni YSA'nın tüm verileri.....	61
Şekil 4.37. Dik farin değirmeni YSA'nın eğitim verilerinin deneysel veriler ile karşılaştırılması .....	62
Şekil 4.38. Dik farin değirmeni YSA'nın test verilerinin deneysel veriler ile karşılaştırılması .....	63
Şekil 4.39. Dik farin değirmeni YSA'nın Doğrulama Verilerinin Deneysel Veriler ile Karşılaştırılması .....	63
Şekil 4.40. Dik farin değirmeni YSA'nın tüm verilerinin deneysel veriler ile karşılaştırılması .....	64

Şekil 4.41. Dik farin değirmeni YSA'nın test verilerinin hata grafiği .....	65
Şekil 4.42. Dik farin değirmeni YSA'nın eğitim verilerinin hata grafiği .....	65
Şekil 4.43. Dik farin değirmeni YSA'nın doğrulama verilerinin hata grafiği .....	66
Şekil 4.44. Dik farin değirmeni YSA'nın tüm verilerinin hata grafiği .....	66
Şekil 4.45. Giriş parametre sayısı .....	69
Şekil 4.46. % Hata karşılaştırılması (a) Dik farin değirmeni, (b) Yatay farin değirmeni .....	70
Şekil 4.47. Yatay farin değirmeni tüm data seti tukey testi karşılaştırılması .....	71
Şekil 4.48 Yatay farin değirmeni test data seti tukey testi karşılaştırılması .....	72
Şekil 4.49. Yatay farin değirmeni eğitim data seti tukey testi karşılaştırılması .....	72
Şekil 4.50. Yatay farin değirmeni doğrulama data seti tukey testi karşılaştırılması .....	73
Şekil 4.51. Dik farin değirmeni tüm data seti tukey testi karşılaştırılması .....	74
Şekil 4.52. Dik farin değirmeni tüm data seti tukey testi karşılaştırılması .....	74
Şekil 4.53. Dik farin değirmeni test veri seti tukey testi karşılaştırılması .....	75
Şekil 4.54. Dik farin değirmeni eğitim veri seti tukey testi karşılaştırılması .....	76

## SİMGE VE KISALTMALAR

<b>Simgeler</b>	<b>Açıklama</b>
mm	Milimetre
m	Metre
m <sup>2</sup>	Metrekare
m <sup>3</sup>	Metreküp
cm	Santimetre
µm	Mikrometre
kWh	Kilowattsaat
%	Yüzde
t	Ton
sn	Saniye
h	Saat
°C	Derece Santigrad

<b>Kısaltmalar</b>	<b>Açıklama</b>
YSA	Yapay Sinir Ağı
OKH	Ortlama Karesel Hata
LSF	Lime Saturation Factor
SM	Silikat Modülü
AM	Alüminyum Modülü
N	Data Sayısı
Y	Nörün Çıkışı
X	Giriş Sinyali
MTEP	Mega Ton Eş Değer Petrol
ΔE	Harcanan Enerji
E <sub>1</sub>	Kırılmış Tanedeki Enerji
E <sub>2</sub>	Kırılacak Tanedeki Enerji
CaO	Kalsiyum Oksit
MgO	Magnezyum Oksit
SiO <sub>2</sub>	Silisyum di Oksit
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Alüminyum Oksit

$\text{Fe}_2\text{O}_3$	Demir Oksit
$\text{H}_2\text{O}$	Su
C	CaO
S	$\text{SiO}_2$
A	$\text{Al}_2\text{O}_3$
F	$\text{Fe}_2\text{O}_3$
H	$\text{H}_2\text{O}$
$\text{C}_4\text{AF}$	$4\text{CaO}.\text{Al}_2\text{O}_3.\text{Fe}_2\text{O}_3$
$\text{C}_3\text{A}$	$3\text{CaO}.\text{Al}_2\text{O}_3$
$\text{C}_2\text{S}$	$2\text{CaO}.\text{SiO}_2$
$\text{C}_3\text{S}$	$3\text{CaO}.\text{SiO}_2$
VAC	Volt Alternatik Akım
RPM	Rotation Per Minute
n	Nöron Numarası

## BÖLÜM I

### GİRİŞ

Ekonomi ve paralelinde sosyal kalkınma bakımından enerji kaynaklarının önemi büyüktür. Her geçen gün enerji kaynakları talebi artmaktadır. Dünyada üretilen enerjinin yaklaşık %80'i fosil kaynaklardan (petrol, kömür ve doğal gaz) karşılanmaktadır (IEA, 2019). Bu kaynaklar doğada buldukları şekliyle herhangi bir işleme gerek kalmadan kullanılabilen kaynaklar olduğu için birincil enerji kaynakları olarak isimlendirilir (Hepbaşı ve Özgener, 2004).

Türkiye'de nüfus, ekonomik kalkınma, yaşam standartlarında iyileşme etkenleri sebebi ile enerji talebi sürekli artmaktadır. Türkiye'de 2018 yılında enerji arzı 155,5 MTEP seviyesine ulaşmıştır. 2018 yılındaki bu enerjinin 39,7 MTEP' lik kısmını Türkiye'nin kendi kaynakları ile karşılanırken 115,8 MTEP enerji ithalatı gerçekleştirilmiştir (ETKB, 2020).

Türkiye'nin 2018 yılındaki 155,5 MTEP enerji arzının 25,5 MTEP'lik kısmı elektrik enerjisi olarak tüketilmiştir. Türkiye'de üretilen enerji üretiminin %67' si ithal kaynaklardan elde edilmektedir. İthal edilen bu birincil enerji kaynaklarının dağılımı 7,9 MTEP doğalgaz, 9,3 MTEP kömürdür (EPDK, 2018)

Enerji kaynaklarının büyük çoğunluğunu ithal etmek zorunda olan ülkeler için enerji kaynaklarının arz güvenliği kritiktir. Kritik olan enerji arzının sağlanması ulusal güvenlik ile aynı statüde değerlendirilebilir. Bu ülkeler enerji hammadde arz güvenliğini sağlamak için çeşitli yollara başvurmaktadır. Durum böyle olunca enerji hammadde arz güvenliğini sağlamak için bu ülkeler enerji kaynaklarının taşınmasını sağlayan yolların kendi ülkelerinden geçmesi yönünde çalışmalar yapmaktadırlar. Durum doğal sonucu olarak da ülkeler arasında bu hatlara sahip olmak konusunda durmaksızın bir mücadele yaşanmaktadır (Çakır, 2008)

Çimento üretiminde önemli süreçlerden biri olan farin hazırlama aşamasında klinker üretim prosesinde kullanılan elektrik enerjisinin %25-%30'u harcanmaktadır (Tsakalakis and Stamboltzis, 2016). Ortalama büyüklükte bir çimento fabrikasında farin üretimi için kullanılan elektrik enerjisi yaklaşık 4.000 kWh' tir. Orta büyüklükte bir

çimento fabrikasında Farin değirmenleri günlük ortalama 19 saat çalışmaktadır. Günlük enerji karşılığı 76.000 kWh anlamına gelmektedir. Bu enerjinin büyük bölümünü farin ana tahrik motoru harcamaktadır. Bu durum motorun harcadığı enerjinin proses değerleri üzerinden tahmin edilmesini önemli hale getirmektedir. Fabrikaya sağlanacak olan enerji alımlarını doğru tespit etmek, enerji sapma maliyetleri oluşmasının önüne geçilmesini sağlayacaktır. Türkiye enerji ihtiyacını karşılamada %67'nin üzerinde dışa bağlı olduğu için enerji taleplerinin doğru belirlenmesi fazladan enerji alımının önüne geçerek ülke ekonomisine de dolaylı yoldan katkı sağlayacaktır.

Yapılan tez çalışmasında hem dik hem de yatay farin değirmeninin ana tahrik motorlarının harcayacağı gücün yapay sinir ağı modeli ile önceden hesaplanması amaçlanmıştır.

Tahmin yöntemleri, nitel ve nicel tahmin yöntemleri olarak iki temel gruba ayrılır. Her iki tahmin yöntemi de sonuca etki edecek değişkenlerin gözlemine dayanmaktadır.

Nitel tahmin yönteminde, çalışılan konuda uzmanlık almış bir bireyin görüş ve deneyimlediği tecrübeler üzerinden tahmin yapılması prensibine dayanır. Aynı veriler kullanılmasına rağmen farklı kişiler farklı tahminlerde bulunabilir. Bu dezavantajın yanında, uygulama kolaylığı, fazla çaba ve zaman gerektirmemesi uygulanabilirliğini arttırmaktadır. Bu yöntem genellikle ucuzdur. İleri derecede istatistiksel yetkinliklere ihtiyaç duymadığı için tercih sebebi olabilmektedir (Çuhadar, 2006).

Nicel tahmin yöntemleri, matematiksel modelleri baz alan bir yöntemdir. Bu yöntem için yeteri miktarda sayısal bilginin mevcudiyetine ihtiyaç duyulmaktadır. Nicel yöntemler ile tahmin yapıldığında; geçmişe ait bilgi bulunması, bu bilgi sayısal olarak ifade edilebilmesi ve geçmişteki yapının gelecekte de devam ediyor olması şartlarının sağlanması gerekir. Geçmiş verilerin gözlemlenmesi ile sürece katkı sağlayacak ilişkiler belirlenir ve bu belirlemeler doğrultusunda geleceği nasıl şekillendireceği tahmin edilmeye çalışılır. Nicel tahmin yönteminde sebep-sonuç ilişkisi ve zaman serileri analizine dayalı modelleme olmak üzere iki temel yaklaşım kabul edilir (Hamçebi, 2004)

Bu çalışmada, proses değerleri üzerinden sebep-sonuç ilişkisine dayalı tahmin çalışması

gerçekleştirilmiştir. Tahmin çalışmasında nicel bir tahmin metodu olan yapay sinir ağları (YSA) kullanılmıştır.

Doğrusal olmayan problemleri modelleyebilme kabiliyeti ile diğer tahmin yöntemlerinden daha avantajlı olan YSA, tahmin çalışmalarında yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır. Enerji alanında da YSA ile tahmin çalışmaları yapılmaktadır. Bu doğrultuda tez çalışmasının ikinci bölümünde literatür araştırmalarına yer verilmiştir.

Tezin üçüncü bölümünde çalışmada kullanılan YSA ayrıntıları ile açıklanmıştır. Dördüncü bölüm YSA'nın uygulaması ve bulguların elde edilmesi konularını kapsamaktadır. Beşinci bölümde sonuçlar sergilenerek değerlendirmeler yapılmıştır.

## BÖLÜM II

### GENEL BİLGİLER

Enerji tüm ülkelerin kalkınma politikalarının belirlenmesinde önemli bir yere sahip olan etkili bir stratejik araçtır. Günümüzde gelişmiş olarak ülkeler olarak tanımlanan ülkelerin tamamında sanayi önemli bir yere sahip olmakla birlikte sanayinin en büyük girdisi enerjidir. Sürdürülebilir bir kalkınma planı kurgulanmasında enerjinin payı büyüktür. Bu sebeple literatürde enerji talebi ile yapılan çalışmalar yaygındır. Günümüzde de dinamik olarak hali hazırda birçok çalışma yürütülmektedir.

Çimento günümüzde inşaat sektörünün vazgeçilmez ve en önemli girdilerinden birisidir. Bu sebeple çimento üretiminin iyileştirilmesi ve maliyetinin düşürülmesi dolaylı olarak hem inşaat sektörüne hem de tüketiciye büyük fayda sağlayacaktır. Çimento üretiminin en önemli gider kalemlerinden birisi enerjidir. Üretim esnasında enerji talebi ihtiyaca göre önden yapılmakta ve yanlış tahminleri sonucu gereğinden fazla enerji talebi yapılarak hem enerji sarfiyatı hem de maliyet artmaktadır. Bu sebeple enerji tahminin doğru ve güvenilir bir şekilde gerçekleştirilebilir olması maliyetlerinin düşürülmesi açısından oldukça önemlidir. Bir çimento fabrikasında en büyük enerji öğütme aşamasında harcanmaktadır. Öğütme işlemi farklı tip değirmenlerde gerçekleştirilmekte olup her değirmen tipinin enerji ihtiyacı birbirinden farklıdır. Bu sebeple hem değirmeni iyi tanımak hem de değirmene uygun enerji ihtiyacı tahmini yapabilmek üretici açısından büyük önem taşır.

#### 2.1 Değirmenler Hakkında

Türk Dil Kurumu'na göre değirmen; "içinde öğütme işi yapılan yer" olarak tanımlanmaktadır. Sanayi de ise cevherin toz haline getirilmesi için kullanılan sistemlere öğütücü ya da değirmen denmektedir (Hacıfazlıoğlu, 2009). Değirmenlerde malzemeler; darbe, ezme, kesme, sürtünme gibi kuvvetlerin yardımıyla öğütülerek toz haline getirilmektedir (Wills, 1997).

### 2.1.1 Öğütme

25 mm'den daha küçük tane boyutundaki malzemelerin boyut küçültme işlemine öğütme denmektedir (Hacıfazlıoğlu, 2009). Öğütme işleminin üç temel amacı bulunmaktadır;

- Cevherin içeriğinde bulunan farklı mineralleri ayırştırmak,
- Prosesin gerektirdiği boyutu ve yüzey alanını sağlamak,
- Tüketicinin talebi doğrultusunda beklenen boyutu ve yüzey alanını sağlamak.

Öğütme işlemi sonrasında hedeflenen boyut küçüldükçe ihtiyaç duyulan özgül enerji miktarı artmaktadır. Öğütme işlemi sırasında kullanılan enerjinin bir kısmı ses ve ısı enerjisi olarak harcanmaktadır. Bu sebeple ihtiyaç duyulan enerji hedeflenen boyutla yakından ilişkilidir. Öğütme işlemi hedef boyut bakımından kaba, ince ve çok ince öğütme olarak kabaca üçe ayrılır. Malzemelerin öğütülmesi esnasında kırma işlemi için 0.1-2 kWh/t, birinci kademe öğütme işlemi için 2-4 kWh/t, ince öğütme işlemi için 5-20 kWh/t, çok ince öğütmede 20-100 kWh/t ve 10 mikron altındaki öğütme işlemlerinde 100-1000 kWh/t enerji ihtiyacına gereksinim duyulmaktadır (Lynch, 1977).

İhtiyaç duyulan enerji miktarı öğütme aşamasında yapılacak bir takım iyileştirmelerle düşürülebilmektedir. Değirmen tasarımlarındaki değişikliklerle %3-6; sınıflandırıcıların tasarımlarında yapılacak değişikliklerle %9-13, proses kontrolü ile %9, öğütmede katkı maddeleri kullanımıyla %3-6, diğer makine tasarımlarıyla %3 oranlarında enerji tasarrufu sağlanabilmesi mümkündür (Ellerbrock and Mathiak, 1995)

### 2.1.2 Boyut küçültme teorileri

Öğütme işlemi darbe, sıkıştırma, ezme, kesme veya sürtünme kuvvetlerinden biri uygulanarak gerçekleştirilmektedir. Boyut küçültme ile ilgili üç temel prensip bulunmaktadır (Bond, 1961).

**I. Prensip:** Öğütülecek her malzemenin kendine ait bir enerjisi bulunmaktadır ve boyut küçültme işleminin gerçekleştirilebilmesi için bu enerjinin arttırılması gerekmektedir.

$$\Delta E = E_1 - E_2$$

( 2.1)

$\Delta E$ : Harcanan Enerji

$E_1$ : Kırılmış tanedeki enerji

$E_2$ : Kırılacak tanedeki enerji

**II. Prensip:** Öğütülen tanelerin çatlak uzunluklarıyla harcanan faydalı enerji birbiriyle doğru orantılıdır. Kırma veya öğütme işlemi boyunca malzemeye uygulanan enerji bir süre malzeme tarafından absorbe edilir. Bir süre sonra malzeme en zayıf noktasından çatlayarak absorbe ettiği enerji öğütme işine dönüşür. Tane bünyesinde bir reaksiyon zinciri olarak devam eden bu süreç malzemenin daha küçük parçalara bölünmesiyle devam eder.

**III. Prensip:** II. Prensipde belirtildiği üzere malzeme en zayıf noktasından itibaren çatlamaya başlar. Malzemedeki bu zayıf noktalar yapısal bozukluklarla yakından ilişkilidir. Bu sebeple malzeme içindeki yapısal bozukluk öğütme işlemi için gerekli olan enerji seviyesini belirler.

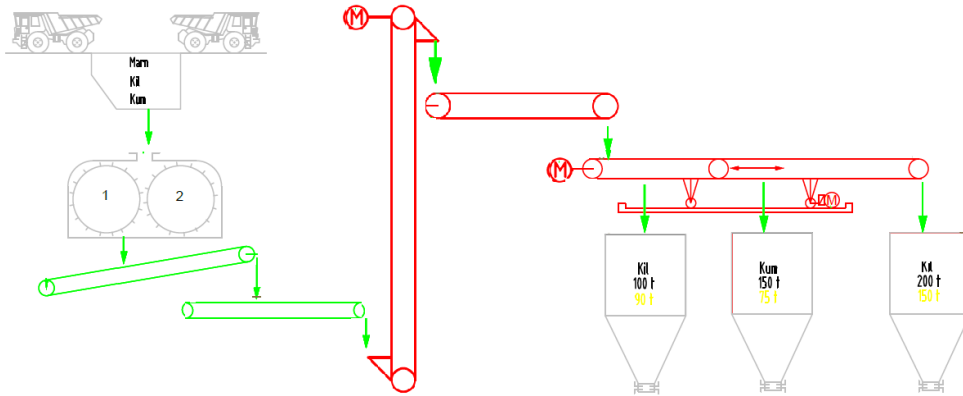
## 2.2 Çimento Sanayinde Üretim Aşamaları

Çimento insanoğlunun geçmişte en çok kullandığı ve gelecekte de kullanmaya devam edeceği bir yapı malzemesidir (Yeniboğanlı, 2004). Çimento, hidrolik bağlayıcı bir malzemedir. Temel olarak doğal kalker taşı ve kil karışımının yüksek sıcaklıkta pişirilmesinden sonra öğütülmesi ile elde edilir. Çimento; su ile tepkimesinde sertleşerek etrafındaki maddeleri birbirine yapıştırma özelliğine sahip olduğu için hidrolik bağlayıcı bir maddedir. Çimento sertleştikten sonra suda çözünmeyen bir hidrolik bağlayıcı maddedir (Akman, 1987). Diğer bağlayıcı maddeler gibi çimentolar da, CaO, MgO gibi alkalın öğeler ve SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ve Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> gibi hidrolik öğelerden oluşur. Alkalın ve hidrolik öğelerin oranları da bağlayıcı maddenin niteliğini belirler (Ertün, 2007). Şekil 2.1’de çimento malzemesinin gösterilmiştir.



Şekil 2.1. Çimento

Çimento üretim prosesinde 3 farklı sistem uygulanabilir. Bunlar; yaş sistem, yarı kuru (Lepol) sistem ve kuru sistemdir. Yaş sistemde hammadde su ile karıştırıldıktan sonra çamur değirmeninde öğütme işlemi yapılır. Yarı kuru sistemde ise su oranı %15 seviyelerindedir. Yarı kuru sistemde hammadde üzerine su püskürtülür. Kuru sistemde ise hammadde kurutularak öğütülür (Deolalkar, 2009). Bugün Türkiye'deki fabrikalarda hemen hemen tümünde kuru sistem uygulanmaktadır. Ocaklardan getirilen hammadde genellikle iki aşamalı olarak tanecik boyutları küçültülür. İlk önce hammadde kırıcıdan geçirilerek küçültülür. Daha sonra farin değirmenine gönderilir (Yeniboğanlı, 2004).



Şekil 2.2. Kırıcı ünitesi şematik gösterimi

Kırıcı ünitesine gelen kireç ve silis, çimento ham hammaddelerinin yüksek hassasiyetle karıştırılması ile elde edilen farinin ana bileşenleridir (Şekil 2.2). Bu iki bileşenden sonra alümin ve demir oksit gelir. Yardımcı malzeme olarak daha düşük oranlarda magnezyum ve alkali oksitler gibi malzemeler de bulunur (Ertün, 2007). Kalker ve marn gibi kalsiyum karbonat içeren kayalarda bulunan kireç, bu malzemelerin prosese katılması ile üretime girer. Silis ( $\text{SiO}_2$ ), Alümin ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) ve demir oksit ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) kilde

elde edilirler. Alumin ve demir oksit prosese ayrıca da ilave edilebilir. CaO, SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, H<sub>2</sub>O oksitleri farin, fırında pişerken serbest hale geçer ve sonra sıcaklık artışı ile doğru orantılı olarak aralarında yeni bileşikler oluştururlar. Kireç miktarının yeterli olması ve ham maddelerin gereken oranlarda birleştirilmesi önemlidir. Bu sebeple farin bileşimi formüllerle izlenerek laboratuvarında sürekli denetim altında tutulur. Kireç standardını örnek verecek olursak;

$$LSF = \frac{100 \cdot C}{(2,8 \cdot S + 1,18 \cdot A + 0,65 \cdot F)}$$

(2.2)

C: CaO, S: SiO<sub>2</sub>, A: Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, F: Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, H: H<sub>2</sub>O

Denklem 2.2'de gösterildiği gibi bir formül oluşturulduğu gözlemlenir. Burada C, S, A ve F oksitlerin bileşimdeki yüzdelere gösterir. Klinkerin hızlı soğuması halinde fırında oluşan kimyasal denge oda sıcaklığında devam eder ve normal dayanımlı bir çimento için kireç standardının 90-93 arasında olması istenir. Daha yüksek değerler ile çimento dayanımı artar. Ancak, 100'ün üzerindeki değerler dengenin bozulduğunu ve tüm kirecin bağlanamayacağını gösterir. Serbest kalan kireç pişirmede ve çimentonun hacim sabitliği ile dayanımı üzerlerinde olumsuz etki yapar. Ham maddeler kendi bileşimleri esas alınarak yapılan bu tür hassas ayarlama ve kontrollerden sonra orantılı olarak birleştirilip öğütülürler ve uygun bileşimde öğütülmüş farin ön ısıtmaya sevk edilir (Yeniboğanlı, 2004).

### 2.2.1 Farin değirmeni

Ham madde karışımı farin, etkin bir şekilde ısıtılıp kalsine edilebilmesi için önce öğütülür. Öğütme işlemi dikey değirmenlerde veya yatay bilyalı değirmenlerde gerçekleştirilir. Farin değirmeni ile ilgili daha ayrıntılı bilgi 2.3 bölümünde anlatılacaktır.

### 2.2.2 Pişirme (kalsinasyon)

Farin pişirme işlemi çimento üretiminin en önemli aşamasıdır. Çimento fabrikalarına karakteristik görünümü veren kuleler ve döner fırın bu aşamada kullanılırlar. Modern çimento fabrikalarında farin enerji tasarrufu amacı ile fırına girmeden önce bir ön ısıtmaya tabi tutulur. Yükseklikleri 60 metreyi geçen ön ısıtma kulelerinde seri halindeki siklonlarda farin taneleri fırından gelen sıcak egzoz gazları içinde savrulur ve ısınırlar ve kısmen kalsine olurlar. Bazı ön ısıtıcılarda kulinin altında ve döner fırından hemen önce bir ön kalsinasyon ünitesi bulunur. Son siklon aşamasından buraya sıcak hava ve yakıtla birlikte giren farin tanelerinde kalsinasyon, ham maddelerden CO<sub>2</sub>'in ayrıştırılması, % 95'e varan ölçüde tamamlanabilir (Deolalkar, 2009).

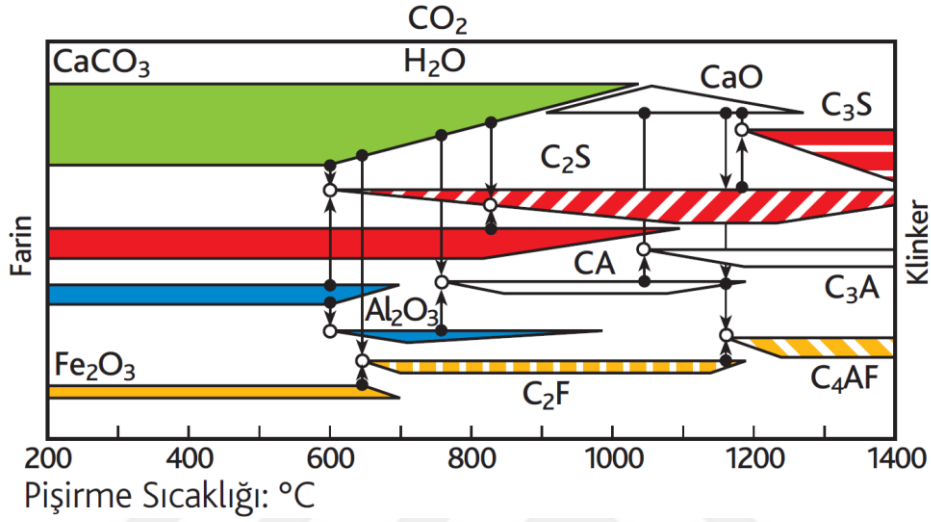
Döner fırın dünyada endüstri tesislerinde bulunan en büyük proses elemanı olarak kabul edilir. Çapı 3-7 m, uzunluğu 50-75 m kadar olup 50 mm kalınlığında çelik saçtan yapılmış, refrakter tuğla astarlı dev bir borudur. Yaklaşık %3-4 eğimli olarak monte edilen fırın dakikada 1.5-4 devir yaparak döner. Ön ısıtıcıdan gelen malzeme fırına yukarı uçtan girer ve fırınla beraber dönerek, yuvarlanarak, kayarak daha sıcak bölgelere, alt uçtaki aleve doğru ilerler. Bu arada geri kalan CO<sub>2</sub>'de malzemedan ayrılır ve ilerde özetlenecek bir dizi kimyasal reaksiyon meydana gelmeye başlar (Deolalkar, 2009).

Döner fırının alt ucunda toz kömür, doğal gaz, fuel oil gibi yakıtların yakılması ile oluşturulan alevin çıktığı boru bulunur. Alev borusundan çıkan beyaz kor halindeki alevin sıcaklığı 1870°C değerine –yani güneş yüzeyindeki sıcaklığın üçte birine– ulaşır. Bu en sıcak bölgede sıcaklığı 1480°C'ye varan kalsine malzeme kısmen ergiyip sıvılaşmaya başlar, ince taneler birbirlerine yapışıp daha büyük boydaki klinker tanelerini oluştururlar. Fırının alt ucundan çıkan klinker üzerinde soğutma işlemi uygulanır (Yeniboğanlı, 2004).

### 2.2.3 Döner fırın kimyası

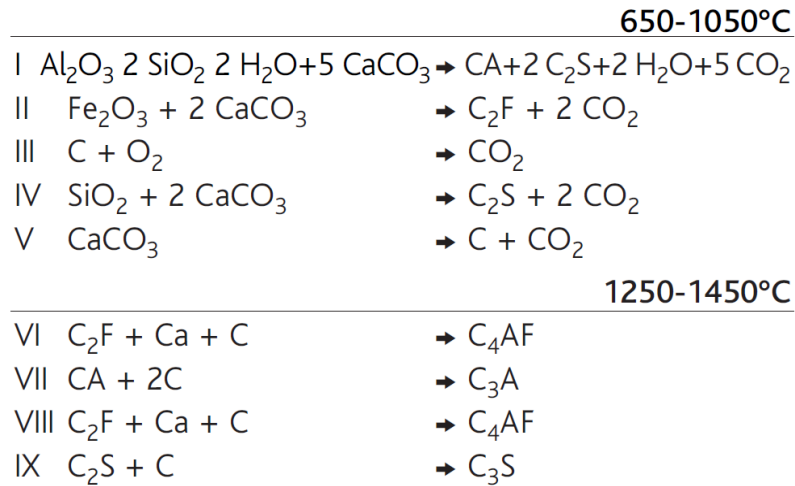
Döner fırında çimento ham maddeleri içindeki kireç, silis ve alumin sıcaklık arttıkça önce serbest hale gelirler, sonra da kendi aralarında birleşip yeni bileşikler meydana getirirler. Ön ısıtmada ve fırının en üst bölgesinde malzemedeki serbest ve kristal sular

buharlaşır, kil ayrışır ve CO<sub>2</sub> kalkerden ayrılmaya başlar. Aşağıya doğru, daha sıcak bölgelerde kalsinasyon tamamlanır, serbest kalan CaO kilden ayrılan SiO<sub>2</sub> ve Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ile birleşerek kalsiyum silikat ve kalsiyum aluminatları meydana getirir. Farinden klinkere geçişte çimento ham maddelerindeki mineral faz değişimleri Şekil 2.3'te gösterilmiştir (Ertün, 2007).



Şekil 2.3. Farin-klinker geçişi hammadde mineral faz değişimi grafiği

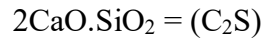
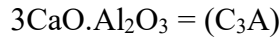
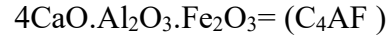
Şekil 2.4'te ise başlıca farin klinker geçiş reaksiyonu formüllerle özetlenmiştir (Yeniboğanlı, 2004).



Şekil 2.4. Farin-klinker geçiş reaksiyonu formülleri

### 2.2.3.1 Klinkerin bileşimi

Tipik bir Çimento klinkerinde bileşimin % 90'ından fazlasını karma oksit formundaki dört ana bileşen oluşturur. Döner fırındaki reaksiyon ifadelerinden de görüleceği gibi bunlar:



Bu dört ana bileşen gerek su ile reaksiyon hızları ve çıkardıkları ısı miktarları, gerekse çimentonun bağlayıcılık değerine katkıları yönlerinden birbirlerinden farklı karakter gösterirler.

**C<sub>4</sub>AF:** Su ile reaksiyonu fazla olmayıp bağlayıcılık değeri azdır.

**C<sub>3</sub>A:** Su ile çok hızlı reaksiyona girip çok fazla ısı açığa çıkarır, çimento hamurunun çok çabuk katılaşmasına neden olur. Etkisini yavaşlatmak için klinker alçıtaşı ile öğütülür. Bağlayıcılık değeri azdır. Sülfatların yıpratıcı etkilerine karşı çimentonun direncini zayıflatır.

**C<sub>2</sub>S:** Su ile reaksiyonu yavaştır, az miktarda ısı açığa çıkarır. Yüksek olan bağlayıcılık özelliği kendini ileri yaşlarda gösterir.

**C<sub>3</sub>S:** Su ile reaksiyonu ve ortaya çıkan ısı orta değerlerdedir. Yüksek bağlayıcılık özelliği ilk yaşlardan itibaren etkilidir.

Kalker ve kil gibi ham maddeler orantılanıp farini oluştururken bu dört ana bileşenin göreceli miktarlarını değiştirmek ve yeni bir ham madde veya katkı kullanmadan elde edilecek çimentoya bazı özellikler kazandırmak mümkün olmaktadır. Örneğin C<sub>3</sub>S miktarını yükselterek erken dayanımı yüksek çimento, C<sub>3</sub>A miktarını azaltarak sülfatlara dayanıklı çimento, C<sub>2</sub>S miktarını arttırıp C<sub>3</sub>S ve C<sub>3</sub>A'yı azaltarak düşük ısılı çimento üretmek mümkün olur. Klinker bileşiminin geri kalan küçük (%10 civarındaki)

bölümü serbest CaO, MgO ile alkali oksitler ve SO<sub>3</sub> bulunur. İlerde çimento ürünlerinde hacim genleşme ve çatlamalara yol açma olasılıklarından dolayı bu oksitlerin miktarları sınırlandırılır (Ertün, 2007; Yeniboğanlı, 2004).

Sonuç olarak tipik çimentolar kimyasal bileşimleri % değerler olarak genellikle aşağıdaki sınırlar arasında değişir:

<b>CaO:</b> 60-67	<b>SiO<sub>2</sub>:</b> 17-25	<b>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>:</b> 3.0-8.0	<b>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>:</b> 0.5-6.0
<b>SO<sub>3</sub>:</b> 1.0-3.0	<b>MgO:</b> 0.1-4.0	<b>Alkaliler:</b> 0.2-1.3	

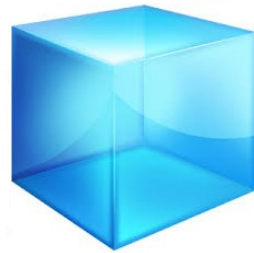
Klinkerler döner fırından yaklaşık 1300°C de çıkarlar. Bu aşamada klinkerin soğutulması ve ortamdaki ısının kazanılması işlemleri ele alınır. Üretimin diğer aşamalarına geçmeden önce klinkerin soğutulması gerekir. Burada en sık kullanılan yöntem ızgara plakalar üzerinde yavaşça ilerleyen klinker tanelerine basınçlı dış hava verilmesidir. Klinker içyapısını etkileyeceği için soğutma hızının kontrollü olması istenir. Ortamdan kazanılan ısı enerjisi klinker üretimi için gerekli olan miktarın üçte birine yakındır. Klinker soğutucusundan gelen sıcak hava tekrar fırının ısıtılmasında ve ön kalsinasyonda kullanılır. Artan sıcak havadan ham maddelerin kurutulması, sıcak su temini ve binaların ısıtılması gibi amaçlar için de yararlanır.

Soğutucudan çıkan klinker çimento üretiminde bir ara ürün sayılır. Çimento, klinkerin bir miktar kalsiyum sülfat ile öğütülmesi sonucu elde edilir. Klinker kalsiyum sülfat ile doğrudan fabrikada öğütülebilir veya bu amaçla başka yerlerdeki öğütme tesislerine gönderilir, hatta yurt dışına ihraç edilebilir. Yaklaşık 2cm çapındaki klinker tanelerinin çimento tanesi inceliğine kadar öğütülmesi gerekir. Çimento tane boyutları genellikle 40 mikronun altında, ortalama 15-20 mikron (0.0015-0.0020 cm) olduğuna göre, bu aşama sonunda klinker tanesinin 1000 kere kadar küçültülmüş olması gerekmektedir. Klinker ve alçının öğütülmesinde daha çok bilyalı değirmenler kullanılır. Yaklaşık 3 m çapında çelik silindir şeklindeki değirmenlerde hacimlerinin üçte birine kadar çelik ezici bilyalarla doldurulmuş bölmeler bulunur. Silindir dönerken bilyalar klinker tanelerine çarparak onları ufalarlar. Son bölmede istenilen incelik elde edilmiş olur.

Klinker doğrudan soğutucudan gelmişse hala 50-100°C arası sıcaklıktadır ve öğütme sırasında değirmen içine basınçlı su verilerek sıcaklığın artması önlenmiş olur. Klinkere öğütme sırasında ağırlıkça % 3-5 arası kalsiyum sülfat katılır. Bu işlem çimentonun su ile karıştırıldığında kimyasal reaksiyonların ve katılma sürecinin kontrolü bakımından zorunludur. Son yıllarda öğütmeyi kolaylaştırıcı bazı kimyasallar da bu aşamada klinkere katılmaktadır. Bu şekilde elde edilen çimento klinker ile kalsiyum sülfatın öğütülmesi sırasında veya ayrıca öğütülmüş olarak bazı mineral katkıları katılarak değişik tipli çimentoların üretilmesi de giderek yaygınlaşan bir uygulamadır (Deolalkar, 2009; Ellerbrock H. G. ; Mathiak, 1995; Lynch, 1977).

### 2.3 Farin Değirmeni Üniteleri

Bu üniteden bir önceki ünite olan kırıcı ünitesinde farin değirmeni girişine hammadde hazırlanmaktadır. Farin Değirmeni Ünitesi olarak isimlendirilen bu bölümde de farin hazırlama işlemi gerçekleştirilecektir. Farin Değirmeni, farinin hazırlandığı yer olarak tanımlanabilir. Farin; kalker, kil ve yardımcı malzemelerin karıştırılması sonucu elde edilen karışımın öğütülmüş halidir. Farin oluşturulmasının temel amacı hammaddenin sonraki ünitelerde uğrayacağı ısı işlemleri için yüzey alanını arttırmaktır (Hacıfazlıoğlu, 2009). İki tip farin değirmeni vardır.



Küp Sayısı	= 1
Küpün Bir Kenarı	= 1 m
Temas Eden Yüzey Alanı	= $6 \times (1 \times 1) = 6 \text{ m}^2$



Küp Sayısı	= 64
Her Bir Küpün Bir Kenarı	= 0,25 m
Her bir küpün yüzey alanı	= $6 \times 0,25 \times 0,25 = 0,375 \text{ m}^2$
Temas Eden Yüzey Alanı	= $64 \times 0,375 = 24 \text{ m}^2$

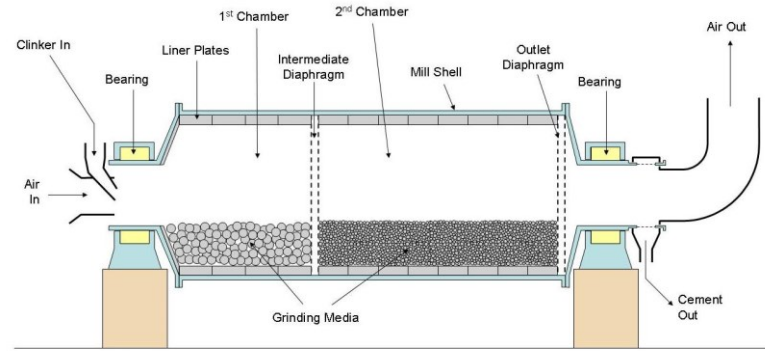
**Şekil 2.5.** Farin yüzey alanını arttırma

Şekil 2.5'te görüldüğü gibi sol taraftaki madde tek parça halindedir ve hacmi 1 m<sup>3</sup>'tür. Sağ tarafta bu maddenin 64 parçaya bölünmüş hali yer almaktadır ve hacmi 1 m<sup>3</sup>'tür. Ancak solda yer alan maddenin yüzey alanı 6 m<sup>2</sup> iken sağdaki parçanın yüzey alanı tam

4 kat artarak 24 m<sup>2</sup> olmuştur. Burada da görüldüğü gibi bir madde ne kadar küçük parçalara ayrılırsa yüzey alanı da o kadar artmaktadır. Hammaddenin küçültülmesi sonucu artan bu yüzey alanı sayesinde maddenin sıcak hava ile temas yüzeyi arttırılmış olur. Bu da bir sonraki ünite de uygulanacak olan ısı işlemin etkinliğini arttıracaktır (Bayraktar, 1975). Tez çalışmasında Yatay farin değirmeni ve dik farin değirmeni üzerinde çalışılmıştır. Bu değirmenlerin genel yapıları hakkında aşağıda bilgi verilmiştir.

### 2.3.1 Yatay farin değirmeni

Yatay farin değirmeni yatay bir düzeneğe sahip olup, içerisinde bulunan bilyeler yardımı ile öğütme işlemini gerçekleştirmektedir (Şekil 2.6).



Şekil 2.6. Yatay farin değirmeni yapısı.

Bunkerler ile farin değirmeni ünitesi süreci başlar. Operatörden alınan bilgilere göre burada yer alan bunkerlerden ikisinden sürekli marın ve kil alınırken, birinden duruma göre yardımcı malzemeler (alçı taşı, demir cevheri, kaolen, Dünderlı kili, tras) alınmaktadır. Laboratuvardan gelen bilgilere göre operatör bant hızını değiştirerek Marn oranını ayarlar. Bu araştırma yapıldığı esnada Marn miktarı 100 birimdir (%78,7). Operatör araştırma yapıldığı sırada demir cevheri oranını 2 birim (%1,6) olarak ayarlamıştır. Bu bunkerden ihtiyaca göre kaolen, alçı, kireç taşı gibi malzemeler de çimento prosesine aktarılır. Operatör araştırma yapıldığı sırada kil oranını 25 birim (%19,7) olarak ayarlamıştır. Kil bunkerini diğer iki banttı farklı olarak paletli banttır. Demir cevheri ve marn bunker altı bantlarından sonra M01 bandına, kil ise M02 bandına dökülür. Daha sonra M01 ve M02 bantları üzerindeki ürünleri M03 bandına aktarırlar. Sonuç olarak kil, marn ve demir cevheri aynı bant üzerine aktarılmış olur.

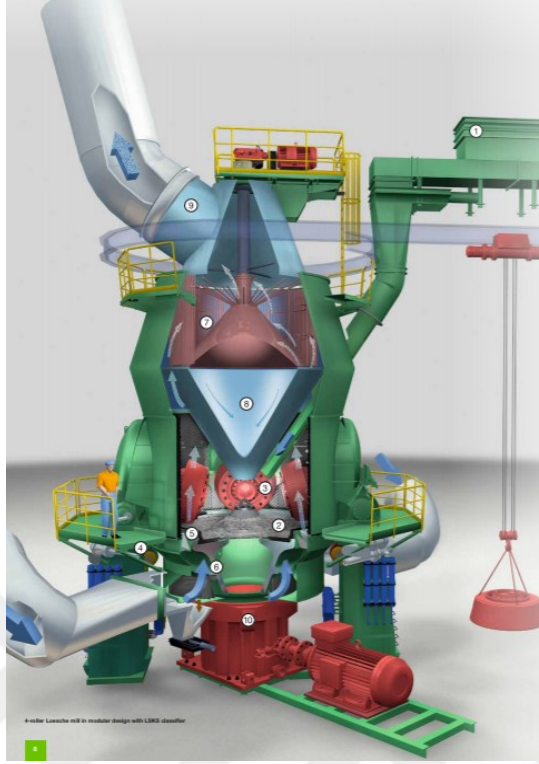
Marn, kil ve yardımcı malzemeler M03 bandı üzerinden elevatöre taşınır. M03 bandı üzerinde yer alan ASYS cihazı ile aktarılan ürünlerin malzeme oranları anlık olarak laboratuvara gönderilir. Laboratuvara gelen bu sonuçlara göre marn, kil ve yardımcı malzemelerin bunker altı bantlarında yer alan motorların devir hızı değiştirilerek banda aktarılan malzeme oranları ayarlanır. M03 bantı sonunda ürünler elevatöre aktarılmış olur. Elevatör yardımı ile M04 bandına aktarılan ürünler sıcak gaza maruz bırakılarak ön kırıcıya aktarılır. Kuru sistem çimento fabrikalarında üretim akışı; hammadde hazırlama, farin hazırlama, yakıt hazırlama, klinker hazırlama, katkı hazırlama, çimento üretimi ve paketleme bölümlerini içermektedir. Isıl enerjilerin çoğu üretim hattı üzerindeki farin, klinker, yakıt ve katkı hazırlama bölümlerinde kullanılmaktadır (Söğüt, 2009). Hammadde hazırlamada kil, kalker vb. doğal hammaddeler; maden sahasından çıkarıldıktan sonra kırıcılardan iki aşamada geçirilerek tane boyları küçültülür ve ham madde silolarına gönderilir. Doğrultucu hammaddeler boksit, demir madeni, kum v.b. ile günümüzde sanayi artığı olarak gelen alternatif hammaddeler ve doğal hammaddeler birleştirilerek ön homojenizasyon sağlanır (Onat, 1997).

Kuru sistemde farin oluşumu; farin değirmeninde hammadde silolarından gelen kalker kil ve piritin önce kurutulması ve sonra öğütülmesi ile sağlanmaktadır. Elde edilen farin; farin depolarına alınır ve burada ortalama 323–333 K'de üretim politikasına göre bekletilir. Farin değirmeni, çimento üretim hattında hammaddenin ısıl işlem ile karşı karşıya kaldığı ilk bölümdür. Uygulama yapılan fabrikadaki farin değirmeni; 3.8 metre çapında 10.5 metre uzunluğunda, karışım ve öğütme olmak üzere iki bölümden oluşmakta ve elektriksel güçle 15 dev/dak. hızla döndürülmektedir. Farin değirmeninin karışım odasında; karışım ve savurma plakaları ile giren ürünlerin karışımı sağlanır. Öğütme odasında ise fırın içinde yer alan çelik bilyeler vasıtasıyla oluşan karışım, istenilen tane büyüklüğünde öğütülür (Dikmen ve Ergün, 2006; Hao, 2006; Toraman, 2015).

### **2.3.2 Dikey farin değirmeni**

Hammaddenin öğütülmesi oldukça yüksek enerji gerektiren bir prosestir. Uzun yıllardır kullanılan yatay değirmenlerin enerji etkinliği dikey değirmenlere göre çok düşüktür. Bu yüzden yatay defarin değirmenlerine alternatif olarak geliştirilen dikey farin değirmenleri yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır (Hacıfazlıoğlu, 2009).

Dikey farin değirmeninin yapısı Şekil 2.7’de gösterilmiştir.



**Şekil 2.7.** Dikey farin değirmeninin yapısı 1: Bunker ve besleme bandı, 2: Tabla, 3: Silindirik vals, 4: Stand, 5: Alt Tabla, 6: Sıcak gaz akışı, 7: Seperatör, 8: Geribesleme sistemi, 9: Sıcak gaz akışı, 10: ana tahrik motoru.

Dikey farin değirmeninde 2, 3, 4 veya 6 silindirik vals ve bir tabla bulunur. Ana tahrik motoru tablayı dönderir. Tablaya baskı yapan üç adet vals tablanın bu hareketiyle dönmeye başlar. Bir hidrolik ünite valsleri sürekli ayarlanan basınç değeriyle hidrolik kuvvet uygulayarak valsın üzerine doğru basınç yapar. Tabla ile vals arasına beslenen hammadde ezilerek öğütülür. Değirmenin üzerinden sistem fanı sürekli emiş yapmaktadır. Bu emiş gücüne karşı koyamayan öğütülmüş malzeme değirmenin üst tarafına doğru hareket eder. Değirmenin üzerinde öğütülen malzemeleri boyutlarına göre sınıflandıran bir seperatör ünitesi bulunmaktadır. Fanın emiş gücü ile yukarı tarafa doğru hareketlenen malzemelerden hafif olanlar seperatör ünitesinden geçebilirken ağır olanlar tekrar değirmene döner. Bu ayırım da seperatördeki fanın dönme hızı ile sağlanır. Değirmenin alt tarafın da bir de ‘reject band’ olarak isimlendirilen bir geri dönüş bandı bulunmaktadır. Tam öğütülememiş malzeme bu bant ile tekrar değirmen girişine doğru yönlendirilerek değirmenin öğütemez hale gelecek kadar dolması engellenir. Sistem

fanı ile hareketine devam eden öğütülmüş malzeme siklonetlere doğru hareket eder. Siklonetler de dalma borularına çarpan malzeme birbirine tutunarak siklonetin alt tarafına birikir. Siklonet altında yer alan helozonlar yardımıyla silolara gönderilir (Loesche, 2016; Misaka, 1986).

Yatay değirmenle benzer şekilde malzeme bunkerlerden beslenir. Yine bir sistem fanı, seperatör, havalı bantlar, lastik bantlar, helozonlar, online analizör, silolar, elevatörler ve tozsuzlaştırma filtreleri kullanılır. Sistem yine sıcak havaya ihtiyaç duyar.

**Çizelge 2.1.** Dikey ve yatay değirmenlerinin karşılaştırılması (Celep, 2008)

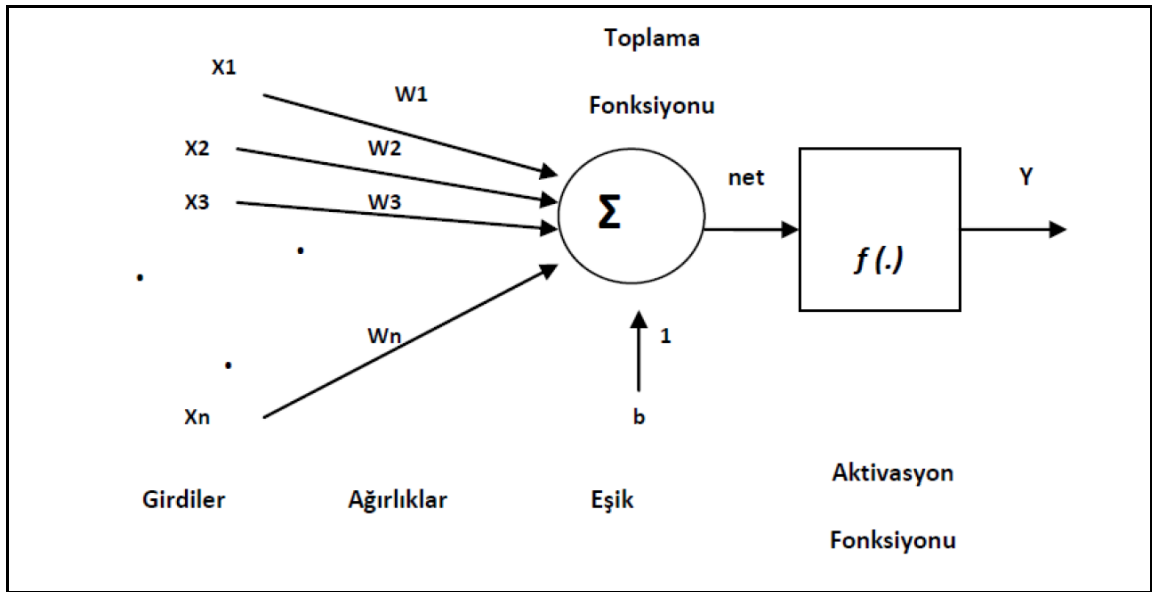
Parametre	Dik Değirmenler		Yatay Değirmen
	Tower/Verti Mill	Pin Stierre Mill	
Güç, kW/m <sup>3</sup>	20-40	50-100	300-1000
Ürün boyutu, P <sub>80</sub> , µm	15-30	10-20	2-15
Katı akış, t/h	≅ 100	az	az
Ortam boyutu, mm	9-20, ortalama 12,	3-9	0,6-5
Su soğutma	yok	var	Var
Sınıflandırma	Gerekli, hidrosiklon	Tercihen	Gerekli değil
Şaft dönme hızı, m/sn	3-düşük	11-orta	20-yüksek
Besleme tane boyutu	< 3 mm	< 50 µm	30-300 µm

Çizelge 2.1.'de de belirtildiği üzere dikey değirmenlerin enerji ihtiyacı yatay değirmenlere göre oldukça düşüktür. Ayrıca dikey olarak tasarlandıkları için kapladıkları alan daha küçüktür. Bu da fabrika alanının daha verimli kullanılmasını sağlar.

## 2.4 Yapay Sinir Ağları

Yapay sinir ağları beyin nöronlarının taklit kabiliyetleri taklit edilerek öğrenme, genelleme gibi özelliklerini edinmeye çalışan bir bilgi işleme sistemi olarak tanımlanabilir.

Yapay sinir ağı, yapay sinir hücresi olarak tanımlanan küçük birimlerden meydana gelir. Temel bir yapay sinir hücresinin elemanları; girdiler, çıktılar, aktivasyon fonksiyonu, ağırlıklar, birleştirme fonksiyonudur. Aşağıdaki Şekil 2.8'de bu yapı görülmektedir.



Şekil 2.8. Yapay Sinir Hücresi (Demirkoparan, 2010)

Yapay sinir ağları herhangi bir programlamaya gereksiniz duymaz. Öğrenme kabiliyetleri vardır. Ayrıca ilişkilendirme, tahmin etme, ezberleme gibi özellikleri vardır. Çok yaygın çeşidi olan yapay sinir ağlarının bazı çeşitleri diğerlerine göre yaygın kullanım alanına sahiptir. Tahmin ve sınıflandırma amacıyla kullanıldıklarında diğer tiplere göre daha iyi sonuç veren geriye yayımlı yapay sinir ağı modeli bilinmektedir. (Öztemel, 2003)

Yapay sinir ağı yapısında nöronlar biribine ağırlıklar aracılığı ile bağlanır. Bir YSA öğrenme algoritmalarından yararlanarak kendisi içerisinde işletilen verileri derleyebilir,

öğrenme eylemini gerçekleştirebilir, öğrenmeler sonucunda nöron ağırlıkları üzerinde hafıza oluşturabilir ve bütün veri uzayı üzerinde genelleme yapabilir. (Yurtoğlu, 2012)

Yapay sinir ağları sınıflandırma, tahmin, modelleme gibi uygulamalarda daha sıklıkla kullanılırlar. Uygulamalar incelendiğinde, YSA'lar gürültüden etkilenmemektedir. Kesin olmayan, eksik veri içeren, kusurlu girdileri olan, hata katsayısı yüksek sensörlerle elde edilen verilerin ayıklanması gibi uygulamalarda yaygın kullanılmaktadırlar. Ayrıca matematik modelin oluşturulamadığı uygulamalarda yaygın kullanılıp etkin sonuçlar vermektedir.



## BÖLÜM III

### MATERYAL VE METOT

Tez çalışması iki iş paketi (İP) altında gerçekleştirilmiştir. İP-1 Yapay Sinir Ağları kullanılarak dik farin değirmeni ana tahrik motoru güç tahmini, İP-2 Yapay Sinir Ağları kullanılarak yatay farin değirmeni ana tahrik motoru güç tahmini ile dik ve yatay farin değirmenleri için oluşturulan yapay sinir ağı modellerinin karşılaştırılması.

#### 3.1 İP-1 Yapay Sinir Ağları Kullanılarak Dik Farin Değirmeni Ana Tahrik Motoru Güç Tahmini

ÇİMSA Niğde Çimento Fabrikası'nda yer alan Pfeiffer marka MVR 3750 R-3 Tip Çanak Valsli Dik Değirmen proses değerleri üzerinde çalışılmıştır. Değirmene ait Siemens marka 2000 kW gücünde 6300 VAC gerilim ile çalışan ve sulu yol verici kullanan bir motorun proses verilerine göre harcadığı güç tahmini yapılmıştır.

Proses girdileri olarak;

- Kil Dozajlı Besleyici Gerçekleşen Tonaj Bilgisi (ton/saat)
- Demir Cevheri Dozajlı Besleyici Gerçekleşen Tonaj Bilgisi (ton/saat)
- 1.Marn Dozajlı Besleyici Gerçekleşen Tonaj Bilgisi (ton/saat)
- 2.Marn Dozajlı Besleyici Gerçekleşen Tonaj Bilgisi (ton/saat)
- Farin Değirmeni Seperatör Motor Hızı (%), maksimum hız 1500 rpm
- Farin Değirmeni Vantilatör Motor Hızı (%), maksimum hız 1000 rpm
- Farin Değirmeni Sıcak Gaz Jaluzi Klepes Açıklık Bilgisi (%)

- Farin Değirmeni Vals Ezme Basıncı Set Değeri (bar)

Yukarıda yer alan 8 adet proses değeri kullanılmıştır. Bu değerler ile farin değirmeni ana tahrik motorunun harcadığı g arasındaki ilişki incelenerek sonuç tahmin edilmiştir.

Verilerin toplanmasında otomasyon sisteminden yararlanılmıştır. ECS scada sistemi üzerinden izlenebilen proses verileri için Qualist Bridge isimli yazılım ile veriler çekilmiş ve her bir veri aynı zaman dilimini gösterecek şekilde saatlik ortalamalar alınmıştır. Değirmenin alışıyor olduğu zamanlardaki veriler incelenmiştir.

Qualist Bridge yazılımı üzerinden veriler çekilmiş; ağın eğitimi, ağın test edilmesi ve ağın doğrulanması için kullanılmıştır. Yapay sinir ağının modellenmesi ve ağ performanslarının değerlendirilmesinde Matlab programından faydalanılmıştır.

### **3.2 İP-2 Yapay Sinir Ağları Kullanılarak Yatay Farin Değirmeni Ana Tahrik Motoru Güç Tahmini**

ÇİMSA Niğde imento Fabrikası'nda 2017 yılına kadar kullanılan Humbold marka Bilyalı Yatay Değirmen proses değerleri üzerinde çalışılmıştır. Değirmene ait Siemens marka 1600 kW gücünde 6300 VAC gerilim ile çalışan ve 10 kademeli dirençli yol verici kullanan bir motorun proses verilerine göre harcadığı güç tahmin edilmiştir.

Proses girdileri olarak;

- Kil Dozajlı Besleyici Gerçekleşen Tonaj Bilgisi (ton/saat)
- Demir Cevheri Dozajlı Besleyici Gerçekleşen Tonaj Bilgisi (ton/saat)
- 1.Marn Dozajlı Besleyici Gerçekleşen Tonaj Bilgisi (ton/saat)
- Farin Değirmeni Falafon % (0-100)
- Farin Değirmeni Seperatör Motor Hızı (%), maksimum hız 1500 rpm

- Farin Değirmeni Vantilatör Motor Hızı (%), maksimum hız 1000 rpm

Toplam yukarıda yer alan 6 adet proses değeri kullanılmıştır. Bu değerler ile farin değirmeni ana tahrik motorunun harcadığı güç arasındaki ilişki incelenmiş ve sonuç tahmin edilmiştir.

Verilerin toplanmasında otomasyon sisteminden yararlanılmıştır. RSView32 scada sistemi üzerinden izlenebilen proses verileri için Qualist Bridge isimli yazılım ile veriler çekilmiş ve her bir veri aynı zaman dilimini gösterecek şekilde saatlik ortalamalar alınmıştır. 2016 yılında değirmenin çalışıyor olduğu zamanlardaki veriler incelenmiştir.

Qualist Bridge yazılımı üzerinden veriler çekilmiş; ağın eğitimi, ağın test edilmesi ve ağın doğrulanması için kullanılmıştır. Yapay sinir ağının modellenmesi ve ağ performanslarının değerlendirilmesinde Matlab programından faydalanılmıştır.

İP-1 ve İP-2'den elde edilen performans sonuçları Minitab'18 programı kullanılarak Tukey testi yardımıyla karşılaştırılarak her iki değirmen tipi için yapay sinir ağı modelinin kullanılabilirliği gösterilmiştir.

### **3.3 Proses Değişkenleri**

#### **3.3.1 Yatay farin değirmeni için proses değişkenleri**

Doğru tahmin sonucunu oluşturabilmek için modele en uygun bağımsız değişkenler belirlenmiştir. Bu belirleme safhasında prosesin tüm değişkenleri incelenmiş, ana tahrik motorunun gücüne etki eden değişkenler seçilerek çalışmaya başlanmıştır. Yatay farin değirmeninde YSA için 6 adet geçmiş gözlem değeri yeterli görülmüştür. Bağımsız değişkenler Çizelge 3.1'de gösterilmektedir.

**Çizelge 3.1.** Çalışmada kullanılan değişkenler

<b>Değişken Sembolü</b>	<b>Değişken Adı</b>	<b>Birimi</b>
X1	Kil Dozajlı Besleyici Gerçekleşen Değer Bilgisi	ton/saat
X2	Demir Cevheri Dozajlı Besleyici Gerçekleşen Değer Bilgisi	ton/saat
X3	1. Marn Dozajlı Besleyici Gerçekleşen Değer Bilgisi	ton/saat
X4	Farin Değirmeni Falafon	%, (0-100)
X5	Farin Değirmeni Giriş Sıcaklık Bilgisi	°C (-70...+500)
X6	Farin Değirmen Fanı	%, (0-1000 rpm)
Y	Farin Değirmeni Harcadığı Anlık Güç Bilgisi	kWh

Bağımlı ve bağımsız verilerin toplanması için PLC üzerinden 24 saat kesintisiz veri izlemesi yapan ve bu verileri kaydeden bir yazılım kullanılmıştır. Qualist Bridge yazılımı, Allen-Bradley Logix 500™ controller üzerinden IP haberleşme protokolü ile verileri anlık olarak kaydetmektedir. Örnekleme aralığı 1 saniyedir.

**Çizelge 3.2.** Çalışmada kullanılan ölçüm enstrümanlarının doğrulukları çizelgesi

<b>Ölçüm Enstrüman Adı</b>	<b>Marka</b>	<b>Ölçüm Aralığı</b>	<b>Doğruluk</b>
Yük Hücresi #1	HBM	20...100000 g	±0.02 %
Motor Sürücü#1	ABB ACS 800	0...50 Hz	±0.01 %
Potansiyometre#1	AUMA	0...100 %	± 0.01 %
PT 100	Elimko K Tipi	-200...1200 °C	± 0.0004 %
FALAFON	FLSmith BA 01	0...100	±0.01 %
Akım Transformatörü#1	SIEMENS	0...250 A	± 0.75 %

Toplam 6 adet proses değeri kullanılmıştır. Bu değerler ile farin değirmeni anatahrik motorunun harcadığı güç arasındaki ilişki incelenmiş ve sonuç tahmini çalışması gerçekleştirilmiştir.

Verilerin toplanmasında otomasyon sisteminden yararlanılmıştır. Scada sistemi üzerinden izlenebilen proses verileri için veri kayıt yazılımı ile veriler çekilmiş ve her bir veri aynı zaman dilimlerine ayrılacak şekilde saatlik ortalamalar alınmıştır. Mart 2016 – Aralık 2016 tarihleri arasında değirmenin çalışıyor olduğu zamanlardaki veriler incelenmiştir. Yatay farin değirmeni ana tahrik motorunun harcadığı gücü hesaplamak için geliştirilen yapay sinir ağında kullanılan 6 adet veri toplama noktasının doğruluk değerleri Çizelge Çizelge 3.2 'de gösterilmiştir.

Kil Dozajlı Besleyici Gerçekleşen Değer Bilgisi (ton/h) değeri Kil Dozajlı Besleyici analog haberleşme modülü üzerinden alınmıştır. Kil Dozajlı Besleyici, PW16C3 100 kg loadcell kullanmaktadır ve doğruluğu  $\pm \%0,02$  'dir. Demir Cevheri Dozajlı Besleyici (ton/h) Demir Cevheri Besleyici analog haberleşme modülü üzerinden alınmıştır. Demir Cevheri Besleyici, PW16C3 100 kg loadcell kullanmaktadır ve doğruluğu  $\pm \%0,02$  'dir. 1.Marn Dozajlı Besleyici Gerçekleşen Değer Bilgisi (ton/h) değeri 1.Marn Dozajlı Besleyici analog haberleşme modülü üzerinden alınmıştır. 1.Marn Dozajlı Besleyici, PW16C3 100 kg loadcell kullanmaktadır ve doğruluğu  $\pm \%0,02$  'dir. Kil, Demir Cevheri ve 1.Marn Dozajlı Besleyiciler Elimko marka.

Farin Değirmeni Vantilatörü Motor Hızı (%) değerleri ABB ACS800 serisi motor sürücü üzerinden 4-20 mA sinyal olarak kablo ile elde edilmektedir. Motor sürücülerin doğruluk oranları  $\pm \%0,01$  'dir. Farin Değirmeni giriş sıcaklığı bilgisi (%) değeri Elimko K serisi PT 100 ile analog haberleşme modülü üzerinden elde edilmektedir. PT100, doğruluk oranı  $\pm \%0,0004$  'tür. Farin değirmeni doluluk oranını falafon üzerinden alınmaktadır. FLSmith marka 0-100 değerlerini veren bir ses mikrofونunun analog haberleşme modülü üzerinden 4...20mA ile elde edilmektedir. Farin Değirmeni Ana Tahrik Motoru Güç Bilgisi (kWh) verisi SIEMENS marka devre kesici üzerinde yer alan SIEMENS marka 5SV8704-0KK tip akım trafosu kullanılmaktadır. Bu akım trafosu IEC 61869-2 standardında 0.5s standardında ölçüm yapmaktadır. Doğruluk oranı  $\pm \%0,75$  'tir.

### 3.3.2 Dik farin değirmeni için proses değişkenleri

Doğru tahmin sonucunu oluşturabilmek için modele en uygun bağımsız değişkenler belirlenmiştir. Bu belirleme safhasında prosesin tüm değişkenleri incelenmiş, ana tahrik motorunun gücüne etki eden değişkenler seçilerek çalışmaya başlanmıştır. Dik farin değirmeninde YSA için 8 adet geçmiş gözlem değeri yeterli görülmüştür. Bağımsız değişkenler Çizelge 3.3’de gösterilmektedir.

**Çizelge 3.3.** Çalışmada kullanılan değişkenler

<b>Değişken Sembolü</b>	<b>Değişken Adı</b>	<b>Birimi</b>
X1	Kil Dozajlı Besleyici Gerçekleşen Değer Bilgisi	ton/saat
X2	Demir Cevheri Dozajlı Besleyici Gerçekleşen Değer Bilgisi	ton/saat
X3	1. Marn Dozajlı Besleyici Gerçekleşen Değer Bilgisi	ton/saat
X4	2. Marn Dozajlı Besleyici Gerçekleşen Değer Bilgisi	ton/saat
X5	Farin Değirmeni Seperatör Motor Hızı	%, (0-1500 rpm)
X6	Farin Değirmeni Sıcak Gaz Jaluzi Klepe Açıklık Bilgisi	%, (0-1000 rpm)
X7	Farin Değirmeni Vals Ezme Basıncı Set Değeri	bar
X8	Farin Değirmeni Seperatör Motor Hızı	%, (0-1500 rpm)
Y	Farin Değirmeni Harcadığı Anlık Güç Bilgisi	kWh

Bağımlı ve bağımsız verilerin toplanması için PLC üzerinden 24 saat kesintisiz veri izlemesi yapan ve bu verileri kaydeden bir yazılım kullanılmıştır. Qualist Bridge yazılımı, Allen-Bradley Logix 5000™ controller üzerinden IP haberleşme protokolü ile verileri anlık olarak kaydetmektedir. Örnekleme aralığı 1 saniyedir.

**Çizelge 3.4.** Çalışmada kullanılan ölçüm Enstrümanlarının doğrulukları çizelgesi

<b>Ölçüm Enstrüman</b>	<b>Marka</b>	<b>Ölçüm Aralığı</b>	<b>Doğruluk</b>
Yük Hücresi #1	HBM	20...100000 g	±0.02 %
Yük Hücresi #2	SCHENCK	20...100000 g	±0.02 %
Motor Sürücü#1	SIEMENS Sinamics	0...50 Hz	±0.01 %
Potansiyometre #1	AUMA	0...100 %	± 0.01 %
Basınç Sensörü#1	HYDAC	0...600 bar	± 0.125 %
Akım Transformatörü	ALCE	0...2500 A	± 0.75 %

Toplam 8 adet proses değeri kullanılmıştır. Bu değerler ile farin değirmeni anatahrik motorunun harcadığı güç arasındaki ilişki incelenmiş ve sonuç tahmini çalışması gerçekleştirilmiştir.

Verilerin toplanmasında otomasyon sisteminden yararlanılmıştır. Scada sistemi üzerinden izlenebilen proses verileri için veri kayıt yazılımı ile veriler çekilmiş ve her bir veri aynı zaman dilimlerine ayrılacak şekilde saatlik ortalamalar alınmıştır. Ocak 2018 –Mayıs 2018 tarihleri arasında değirmenin çalışıyor olduğu zamanlardaki veriler incelenmiştir. Yatay farin değirmeni ana tahrik motorunun harcadığı gücü hesaplamak için geliştirilen yapay sinir ağında kullanılan 6 adet veri toplama noktasının doğruluk değerleri Çizelge 3.2 Çizelge 3.4’de gösterilmiştir.

Kil Dozajlı Besleyici Gerçekleşen Değer Bilgisi (ton/h) değeri Kil Dozajlı Besleyici analog haberleşme modülü üzerinden alınmıştır. Kil Dozajlı Besleyici, PW16C3 100 kg loadcell kullanmaktadır ve doğruluğu  $\pm \%0,02$  ‘dir. Demir Cevheri Dozajlı Besleyici

(ton/h) Demir Cevheri Besleyici analog haberleşme modülü üzerinden alınmıştır Demir Cevheri Besleyici, PW16C3 100 kg loadcell kullanmaktadır ve doğruluğu  $\pm \%0,02$  'dir. 1.Marn Dozajlı Besleyici Gerçekleşen Değer Bilgisi (ton/h) değeri 1.Marn Dozajlı Besleyici analog haberleşme modülü üzerinden alınmıştır. 1.Marn Dozajlı Besleyici, PW16C3 100 kg loadcell kullanmaktadır ve doğruluğu  $\pm \%0,02$  'dir. 2.Marn Dozajlı Besleyici Gerçekleşen Değer Bilgisi (ton/h) değeri 2.Marn Dozajlı Besleyici analog haberleşme modülü üzerinden alınmıştır. 2.Marn Dozajlı Besleyici, PWS/100 kg 350R loadcell kullanmaktadır ve doğruluğu  $\pm \%0,02$ 'dir. Kil, Demir Cevheri ve 1.Marn Dozajlı Besleyiciler Elimko marka, 2.Marn Dozajlı Besleyici Schenck markadır.

Farin Değirmeni Seperatör Motoru Hızı (%) ve Farin Değirmeni Vantilatörü Motor Hızı (%) değerleri Siemens Sinamics serisi motor sürücü üzerinden profibus ile elde edilmektedir. Motor sürücülerin doğruluk oranları  $\pm \%0,01$ 'dir.

Farin Değirmeni sıcak gaz jaluzi klepe açıklık bilgisi (%) değeri AUMA marka klape analog haberleşme modülü üzerinden elde edilmektedir. Klape, doğruluk oranı  $\pm \%0,3$ 'tür. Farin Değirmeni Vals Ezme Basuncı Bilgisi (bar) verisi hidrolik ünitenin Siemens S7-300 PLC kullanmaktadır ve basınç verisini doğruluk oranı  $\pm \%0,125$  olan HYDAC marka HDA 4844 basınç ölçer ile elde etmektedir.

Farin Değirmeni Ana Tahrik Motoru Güç Bilgisi (kWh) verisi ABB marka devre kesici üzerinde yer alan ALCE marka AB12-B13L tip akım trafosu kullanılmaktadır. Bu akım trafosu IEC 61869-2 standardında 0.5s standardında ölçüm yapmaktadır. Doğruluk oranı  $\pm \%0,75$ 'tir.

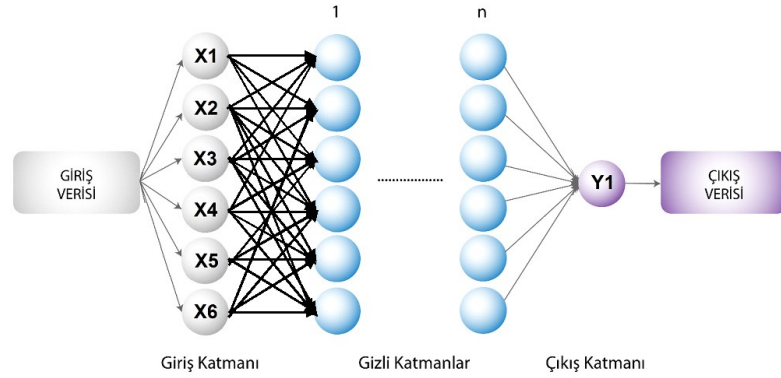
### **3.4 YSA Uygulaması**

#### **3.4.1 Ağ yapısı**

##### **3.4.1.1 Yatay farin değirmeni ağ yapısı**

Geliştirilen sinir ağının giriş katmanında 6 giriş değeri tanımlanmış ve gizli katmanda 20 nöron kullanılmıştır. Gizli katmandaki nöron sayısı, ideal tahmin değerleri elde

etmek için farklı deneylerle optimize edilmiştir. Yapay sinir ağının ayrıntılı topolojisi Şekil 3.1’de gösterilmiştir.



X1: Kil Dozajlı Besleyici Gerçekleşen Değer Bilgisi

X2: Demir Cevheri Dozajlı Besleyici Gerçekleşen Değer Bilgisi

X3: 1. Marn Dozajlı Besleyici Gerçekleşen Değer Bilgisi

X4: 2. Marn Dozajlı Besleyici Gerçekleşen Değer Bilgisi

X6: Farin Değirmeni Sıcak Gaz Jaluzi Klepe Açıklık Bilgisi

X7: Farin Değirmeni Vals Ezme Basıncı Set Değeri

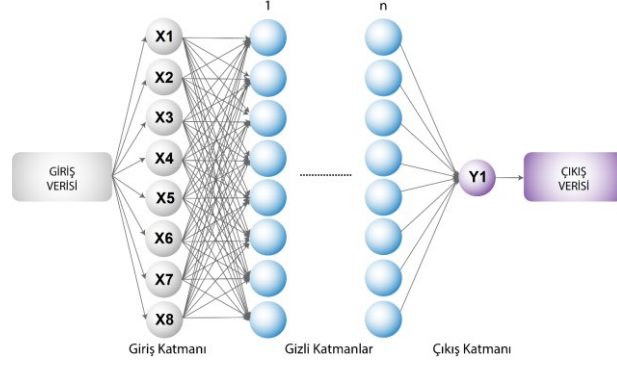
X8: Farin Değirmeni Separatör Motor Hızı

O1: Farin Değirmeni Harcadığı Anlık Güç Bilgisi

**Şekil 3.1.** Yatay farin değirmeni YSA yapısı

### 3.4.1.2 Dik Farin Değirmeni Ağ Yapısı

Geliştirilen sinir ağının giriş katmanında 8 giriş değeri tanımlanmış ve gizli katmanda 20 nöron kullanılmıştır. Gizli katmandaki nöron sayısı, ideal tahmin değerleri elde etmek için farklı deneylerle optimize edilmiştir. Yapay sinir ağının ayrıntılı topolojisi Şekil 3.2’de gösterilmiştir.



X1: Kil Dozajlı Besleyici Gerçekleşen Değer Bilgisi

X2: Demir Cevheri Dozajlı Besleyici Gerçekleşen Değer Bilgisi

X3: 1. Marn Dozajlı Besleyici Gerçekleşen Değer Bilgisi

X4: 2. Marn Dozajlı Besleyici Gerçekleşen Değer Bilgisi

X6: Farin Değirmeni Sıcak Gaz Jaluzi Klepe Açıklık Bilgisi

X7: Farin Değirmeni Vals Ezme Basıncı Set Değeri

X8: Farin Değirmeni Seperatör Motor Hızı

O1: Farin Değirmeni Harcadığı Anlık Güç Bilgisi

**Şekil 3.2. Dik Farin Değirmeni YSA Yapısı**

### 3.4.2 Veri düzenleme

Hem yatay farin değirmeni ana tahrik motorunun harcadığı gücü tahmin etmek için geliştirilen hem de dik farin değirmeni ana tahrik motorunun harcadığı gücü tahmin etmek için geliştirilen yapay sinir ağında verilen %70'i ağı eğitmek için, %20'si ağı test etmek için ve %10'u ağı doğrulamasını yapmak için kullanılmıştır.

Yatay farin değirmeni ana tahrik motorunun harcadığı gücü tahmin etmek için geliştirilen ağda 178 adet veri ağı eğitmek için, 51 adet veri ağı test etmek için ve 25 adet veri ağı doğrulamasını yapmak için kullanılmıştır.

Dik farin değirmeni ana tahrik motorunun harcadığı gücü tahmin etmek için geliştirilen ağda 132 adet veri ağı eğitmek için, 36 adet veri ağı test etmek için ve 18 adet veri ağı doğrulamasını yapmak için kullanılmıştır.

### 3.4.3 Ağı optimizasyonu

Yapay sinir ağları, insan beyninin biyolojik yapısına ilham vererek geliştirilen ve doğrusal olmayan, karmaşık fonksiyonları çözebilen güçlü matematiksel modellerdir.

Yapay sinir ağlarında en sık kullanılan modellerden biri olan çok katmanlı algı (MLP) modeli, doğrusal olmayan yapıların tahmininde tatmin edici bir performansa sahiptir. Bir giriş katmanı, en az bir gizli katman ve bir çıkış katmanından oluşan bu yapay sinir ağında, her katman bir sonrakine tamamen bağlı olan hesaplama elemanlarından oluşur. Yapay sinir ağının temel işleme elemanı olan nöron, ağırlıklar (w), sapma (b) ve bir transfer fonksiyonundan (f) oluşur. Rasgele bir sayı üretici kullanılarak ayarlanan ağırlıklar, her bir nöron ile çarpılır ve elde edilen sonuçlar, bir denklemle nöron çıktılarına dönüştürülür. Kullanılan denklem (3.1) aşağıda verilmiştir:

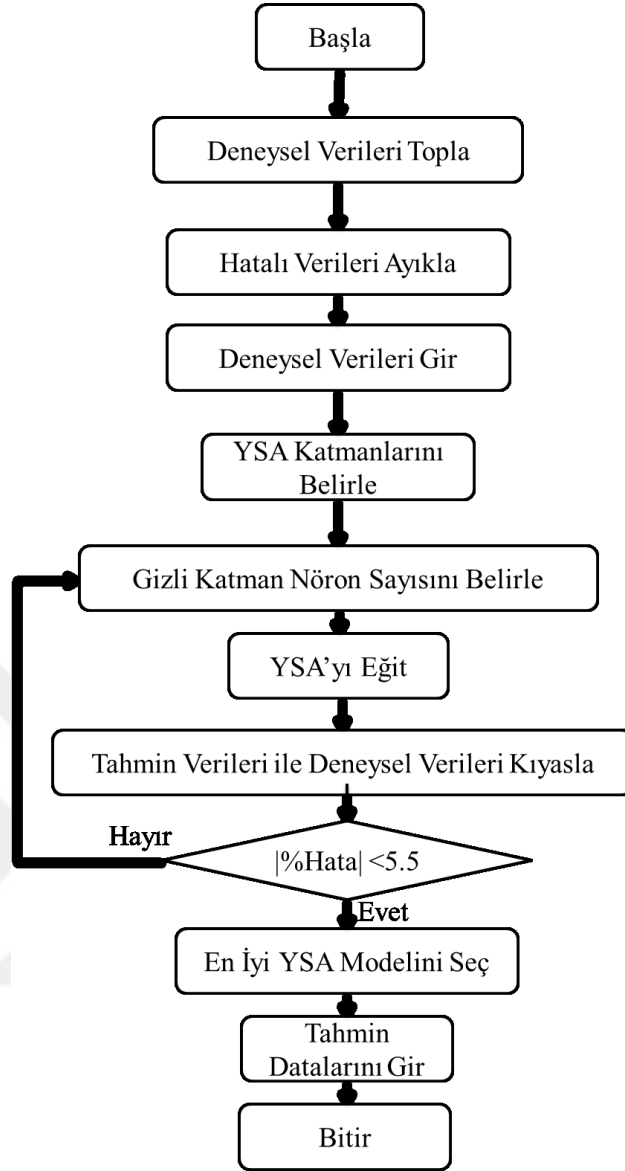
$$Y_j = f \left( \sum_{i=1}^n W_{ji} x_i + b_j \right)$$

(3.1)

Y nöron çıkışı olduğunda, x gelen sinyallerdir ve n, j. nörona bağlanan nöron sayısıdır.

Yapay sinir ağlarının eğitiminde bazı sorunlarla karşılaşmak mümkündür. Yapay sinir ağı sisteminin tahmin hatasına neden olan faktörlerden biri aşırı veri miktarıdır (Sayyad, 2014). Bu gibi durumlarda, erken durdurma tekniği ağın genelleme kapasitesini optimize etmenin ve aşırı yüklenmeyi önlemenin ideal yollarından biridir (Ariana, 2015). Bu yöntemde, ağın doğruluğunu ve genelleştirilmesini sağlamak için üç bölümde gruplandırılmış veri kümesi kullanılır. Doğrulama aşamasındaki hata oranları arttığında, ağın eğitim süreci durdurulur ve test aşaması başlatılır (Ahmadloo, 2016; Jung, 2013). İdeal yapay sinir ağı optimizasyonunun akış şeması Şekil 3.3.'te verilmiştir.

Sonucu hedeflenen sisteme ait veriler toplanır. Mevcut veriler içerisinde yer alan hatalı veriler ayıklanır. Deneysel verilerden ağın giriş ve çıkışı için uygun olan veriler girilir. Yapay sinir ağının katmanları belirlenir. Gizli katman nöron sayıları belirlenir. Yapay sinir ağı eğitilir ve sonuçları ile deneysel veri sonuçları kıyaslanır. Mutlak % hata 5,5 değerinin altına inene kadar nöron belirleme işlemine devam edilir. Mutlak % hata 5,5 değerinin altına inen en iyi yapay sinir ağı modeli belirlenmiş olur. Tahmin dataları girilir ve akış tamamlanır. Ağ optimizasyonu yapılmış olur.



**Şekil 3.3.** Ağ Optimizasyonu Akış Şeması

Bu çalışmada, ham değirmen tarafından tüketilen elektrik enerjisi, çimento fabrikasından elde edilen deneysel veriler kullanılarak geliştirilen çok katmanlı algı yapay sinir ağı kullanılarak tahmin edilmektedir.

254 deneysel veri kullanılarak yatay farin değirmeni ana tahrik motorunun harcadığı gücü tahmin etmek için geliştirilen yapay sinir ağına 6 giriş değeri kullanılmış ve gizli tabakada 20 nöron belirlenmiştir. Veri setinin %70'i (178) eğitim için, %20'si (51) test için ve %10'u (25) doğrulama için kullanılmıştır. Yapay sinir ağının optimizasyon kriteri olarak sırasıyla (3) ve (4) denklemlerinde verilen ortalama kare hatası (MSE) ve R denklemleri kullanılmıştır.

186 deneysel veri kullanılarak yatay farin değirmeni ana tahrik motorunun harcadığı gücü tahmin etmek için geliştirilen yapay sinir ağında 6 giriş değeri kullanılmış ve gizli tabakada 20 nöron belirlenmiştir. Veri setinin %70'i (132) eğitim için, %20'si (36) test için ve %10'u (18) doğrulama için kullanılmıştır. Yapay sinir ağının optimizasyon kriteri olarak sırasıyla (3.2) ve (3.3) denklemlerinde verilen ortalama kare hatası (MSE) ve R denklemleri kullanılmıştır.

$$MSE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (Q_{exp}(i) - Q_{ANN}(i))^2 \quad (3.2)$$

$$R = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (Q_{exp}(i) - Q_{ANN}(i))^2}{\sum_{i=1}^N (Q_{exp}(i))^2}} \quad (3.3)$$

N'nin veri noktası sayısı olduğu durumlarda,  $Q_{ANN}$  yapay sinir ağından elde edilen elektrik enerjisi değeridir ve  $Q_{exp}$  fabrikadan elde edilen deneysel elektrik enerjisi değeridir.

Fabrikadan elde edilen deneysel veriler ile yapay sinir ağı kullanılarak yapılan tahminlerden elde edilen çıktılar arasındaki hata payı denklem (3.4) ile hesaplanmıştır (Khodadadi, 2019):

$$Sapma Payı = \left[ \frac{Q_{exp} - Q_{YSA}}{Q_{exp}} \right] \times 100 \quad (3.4)$$

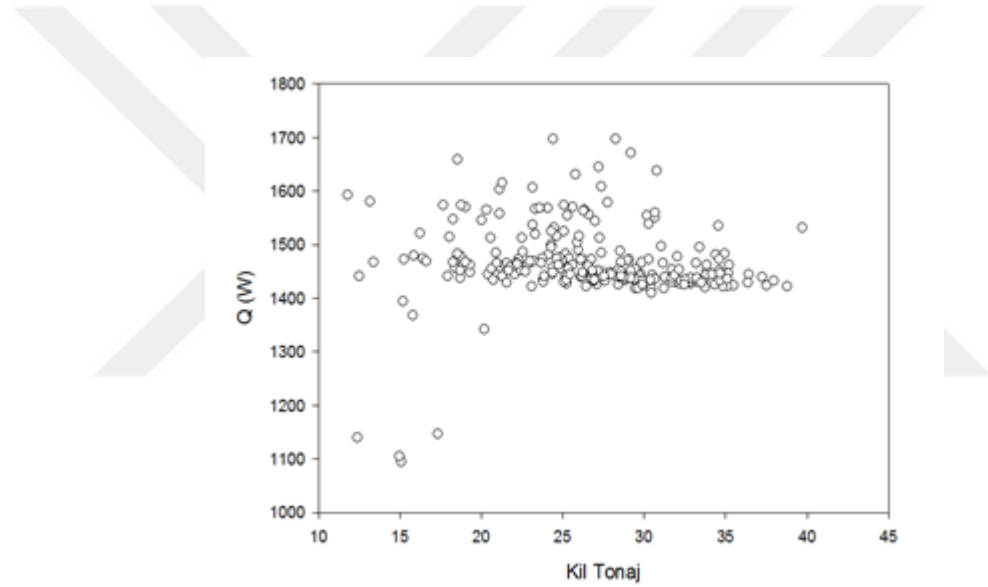
## BÖLÜM IV

### BULGULAR VE TARTIŞMA

#### 4.1 Yatay Farin Değirmeni

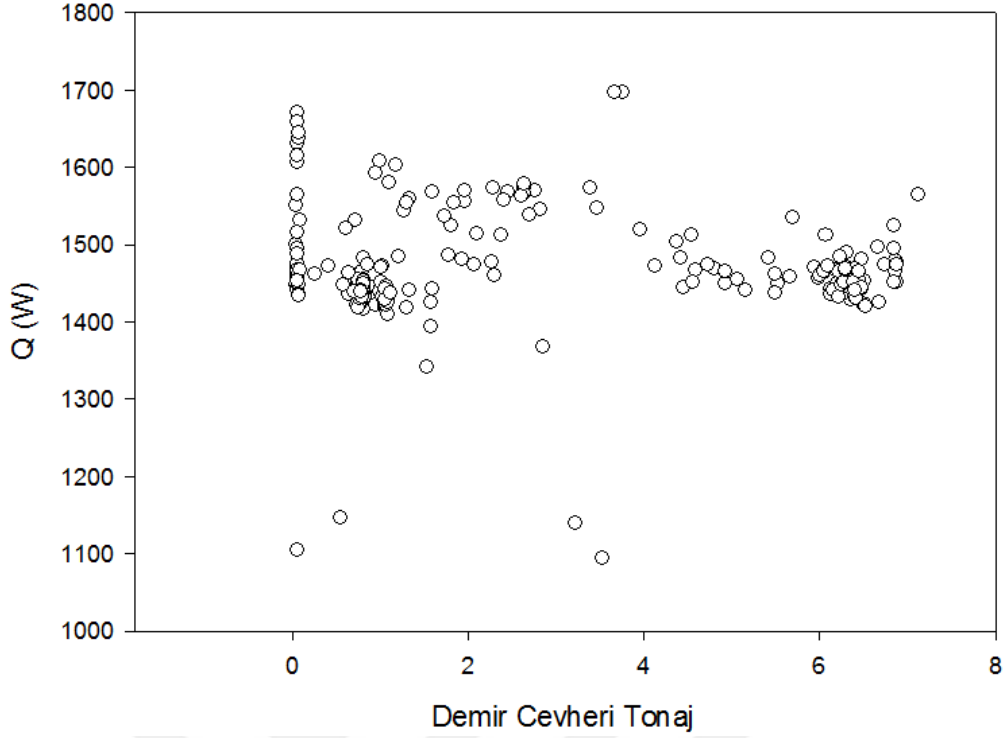
##### 4.1.1 Yatay farin değirmeni ana tahrik motoru harcadığı güç tahmini

Bu bölümde yatay farin değirmeni ana tahrik motorunun harcadığı gücü tahmin etmek için yapılan çalışmanın bulguları paylaşılmıştır. Aşağıda her bir girdinin deneysel veri seti ile deneysel çıkış veri seti grafiklerle gösterilmiştir.



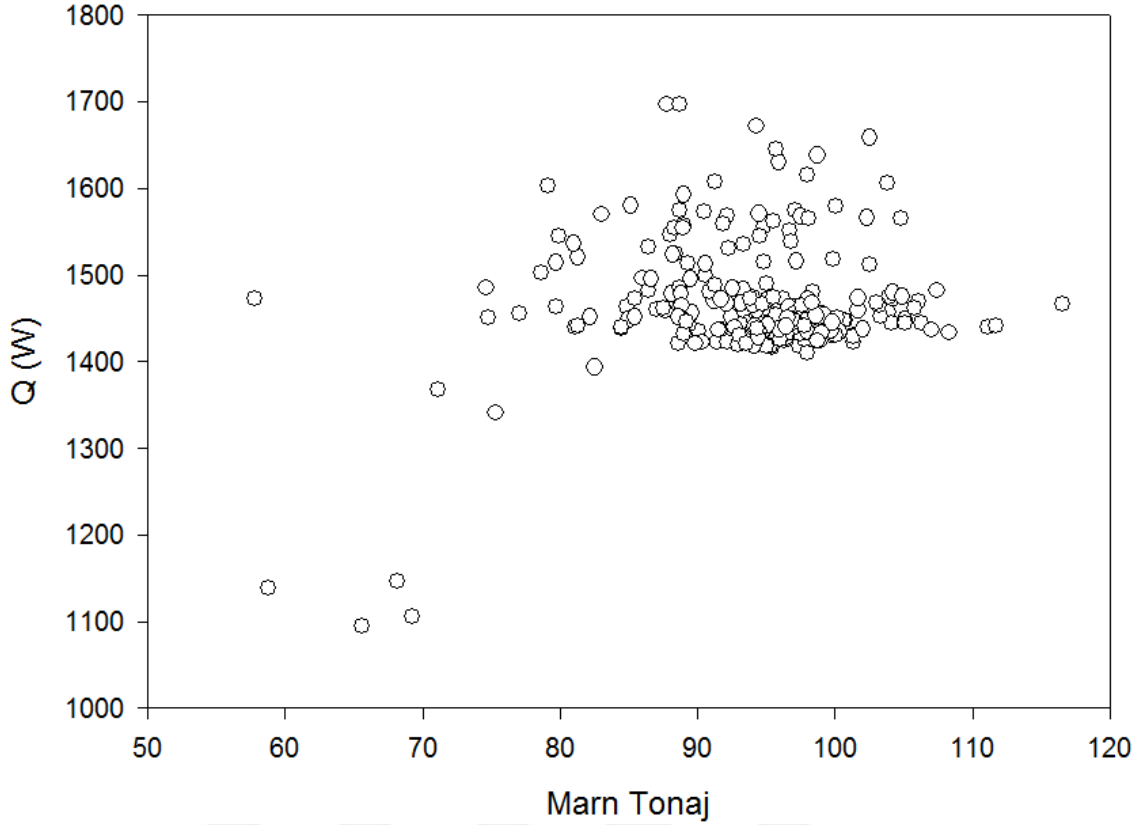
**Şekil 4.1.** Kil Tonaj - Kil Dozajlı Besleyici Gerçekleşen Değer Bilgisi (ton/h)

Şekil 4.1’de Kil Dozajlı Besleyici Gerçekleşen Değer Bilgisi (ton/h) ve Farin Değirmeni Ana Tahrik Motoru Güç Bilgisi (kWh) ilişkisi grafiği yer almaktadır. Kil Dozajlı Besleyici Gerçekleşen Değer Bilgisi (ton/h) ve Farin Değirmeni Ana Tahrik Motoru Güç Bilgisi (kWh) arasında lineer bir ilişki olması beklenmektedir. Değirmen ana tahrik motoru, bir şaft yardımı ile fener dişli üzerinden değirmeni döndürmektedir. Değirmen içerisindeki malzeme ne kadar çok olursa Farin Değirmeni Ana Tahrik Motoru Güç Bilgisi (kWh) değeri de doğru orantılı artmaktadır. İki değer arasında yukarıdaki değerler ile korelasyon ilişkisi kontrol edilirse korelasyon değeri 0,593 olarak hesaplanmıştır.



**Şekil 4.2.** Demir Cevheri Tonaj = Demir cevheri dozajlı besleyici gerçekleşen değer (ton/h)

Şekil 4.2 Demir Cevheri Dozajlı Besleyici Gerçekleşen Değer Bilgisi (ton/h) ve Farin Değirmeni Ana Tahrik Motoru Güç Bilgisi (kWh) ilişkisi grafiği yer almaktadır. Demir Cevheri Dozajlı Besleyici Gerçekleşen Değer Bilgisi (ton/h) ve Farin Değirmeni Ana Tahrik Motoru Güç Bilgisi (kWh) arasında lineer bir ilişki olması beklenmektedir. Değirmen ana tahrik motoru, bir şaft yardımı ile fener dişli üzerinden değirmeni döndürmektedir. Değirmen içerisindeki malzeme ne kadar çok olursa Farin Değirmeni Ana Tahrik Motoru Güç Bilgisi (kWh) değeri de doğru orantılı artmaktadır. Yukarıdaki grafikte de bu ilişki net olarak görülmektedir. İki değer arasında yukarıdaki değerler ile korelasyon ilişkisi kontrol edilirse korelasyon değeri 0,739 olarak hesaplanmıştır.

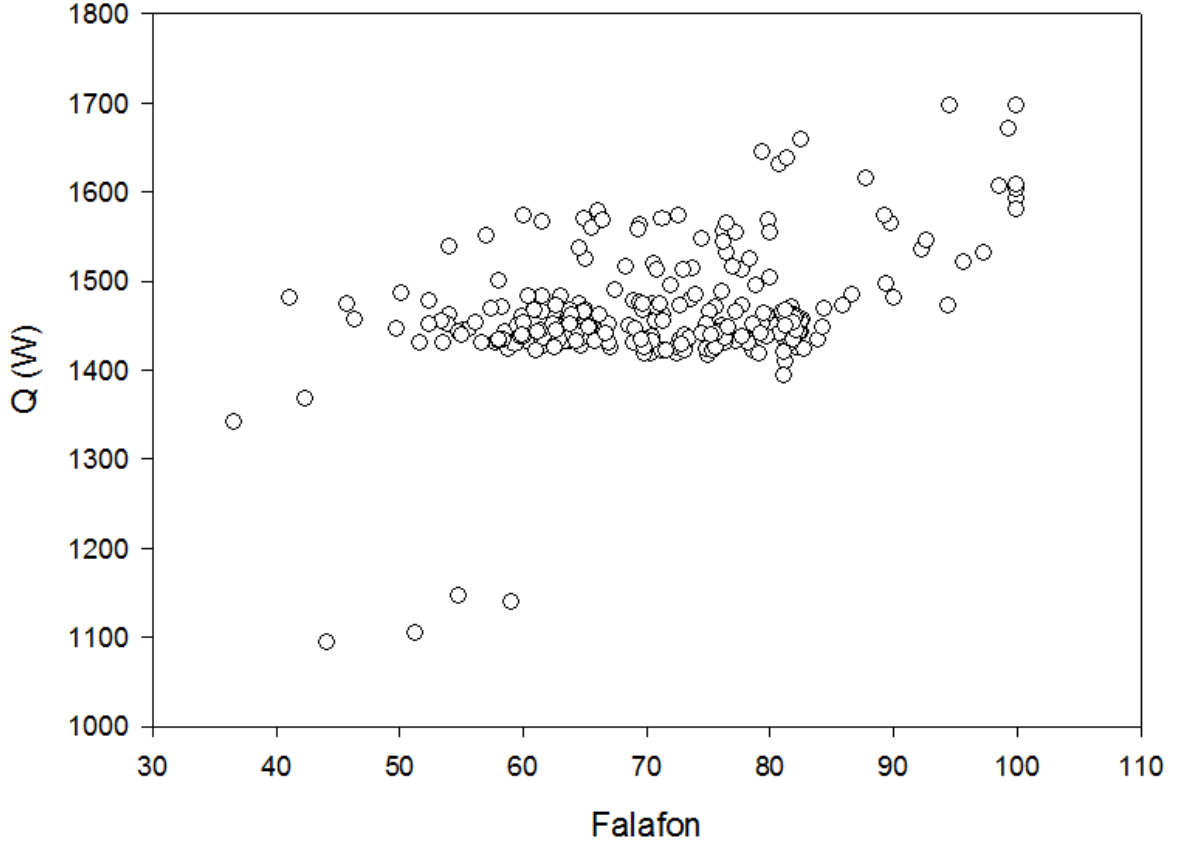


**Şekil 4.3.** Marn Tonaj = 1.Marn dozajlı besleyici gerçekleşen değer bilgisi (ton/h)

Şekil 4.3'te 1.Marn Dozajlı Besleyici Gerçekleşen Değer Bilgisi (ton/h) ve Farin Değirmeni Ana Tahrik Motoru Güç Bilgisi (kWh) ilişkisi grafiği yer amaktadır. 1.Marn Dozajlı Besleyici Gerçekleşen Değer Bilgisi (ton/h) ve Farin Değirmeni Ana Tahrik Motoru Güç Bilgisi (kWh) arasında lineer bir ilişki olması beklenmektedir. Değirmen ana tahrik motoru, bir şaft yardımı ile fener dişli üzerinden değirmeni döndürmektedir. Değirmen içerisindeki malzeme ne kadar çok olursa Farin Değirmeni Ana Tahrik Motoru Güç Bilgisi (kWh) değeri de doğru orantılı artmaktadır. Ancak değirmen geri dönüşü, öğünme süresi ve operatör kontrollü besleme gerçekleştiği için bu orantı net görülememektedir.

Yukarıdaki 3 grafikte yer alan değerlerde bazı noktalarda aynı x ekseninin aynı değerine karşılık y ekseninin farklı değer gözlenmesinin sebebi dış etkenlerden tamamen bağımsız bir deney ortamının oluşturulamamasıdır. Beslenen malzeme temelde aynı olsa da nem, yapışkanlık gibi fiziksel özellikleri değirmen gücünü etkilemektedir. Grafikte bazı bölgelerde verilerin kümelendiği gözlemlenmektedir. Bunun sebebi de deney ortamının üretim hedeflerinden bağımsız oluşturulamaması sebebi ile değirmenin

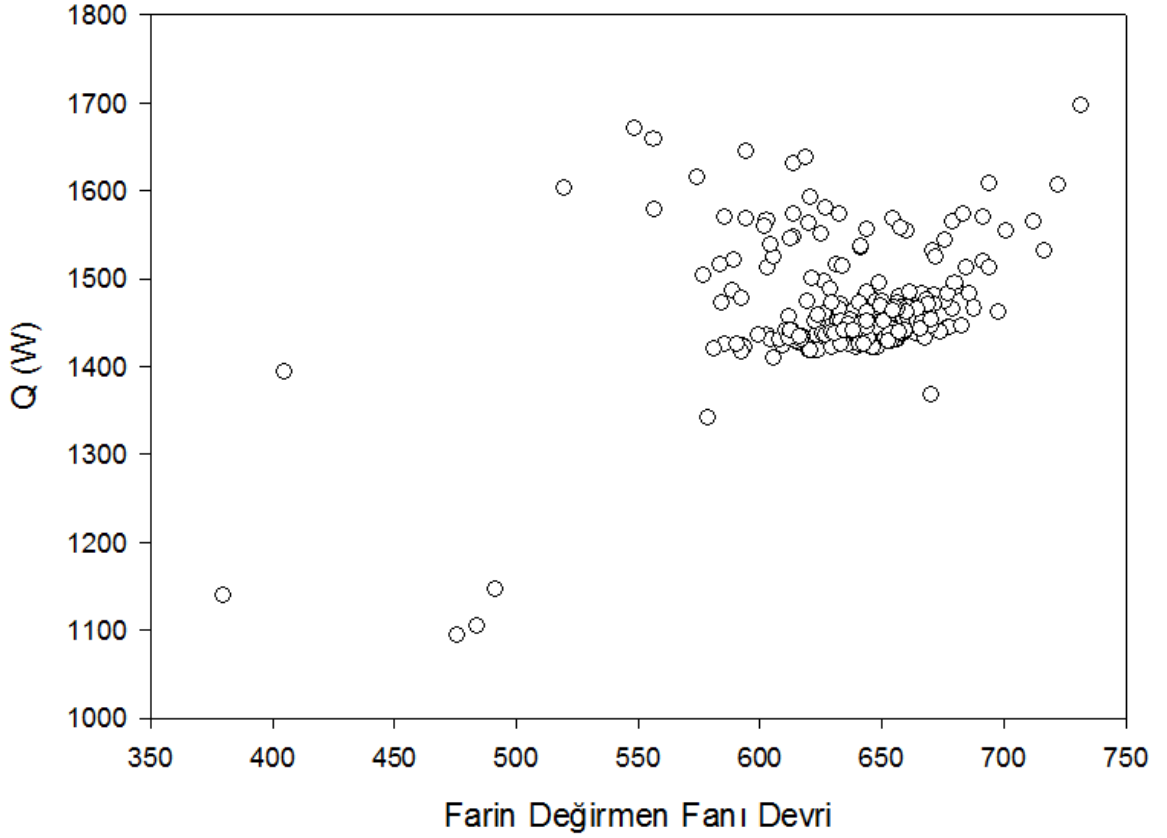
olağan çalışma düzenine uyulmak durumunda kalınmasından kaynaklanmıştır. İşletme şartlarındaki bu durumlar çıktı sonuçlarını kısıtlamakta ancak yanlış sonuçlar oluşmasına sebep olmamaktadır.



**Şekil 4.4.** F.D Falafon = Farin değirmeni falafon (%)

Şekil 4.4'te Farin Değirmeni Falafon (%) ve Farin Değirmeni Ana Tahrik Motoru Güç Bilgisi (kWh) ilişkisi yer almaktadır. Farin Değirmeni Falafon (%) ve Farin Değirmeni Ana Tahrik Motoru Güç Bilgisi (kWh) arasında düşük lineer bir ilişki olması beklenmektedir. Yukarıdaki grafikte de bu lineer ilişkinin orta olduğu görülmektedir. Bunun sebebi ses ölçümünün dış ortamlardan da etkilenmesidir.

Yukarıdaki grafikte yer alan değerlerde bazı noktalarda aynı x ekseninin aynı değerine karşılık y ekseninin farklı değer gözlenmesinin sebebi deney ortamının üretim hedeflerinden bağımsız oluşturulamaması ve değirmenin olağan çalışma düzenine uyulmak durumunda kalınmasından kaynaklanmıştır. İşletme şartlarındaki bu durumlar falafon girdisinin farklı değerleri için gözlem yapılmasını engellediği için YSA çıktısındaki ağırlığını da azaltmıştır. Sonuçların yanlış çıkmasına sebep olmamaktadır.

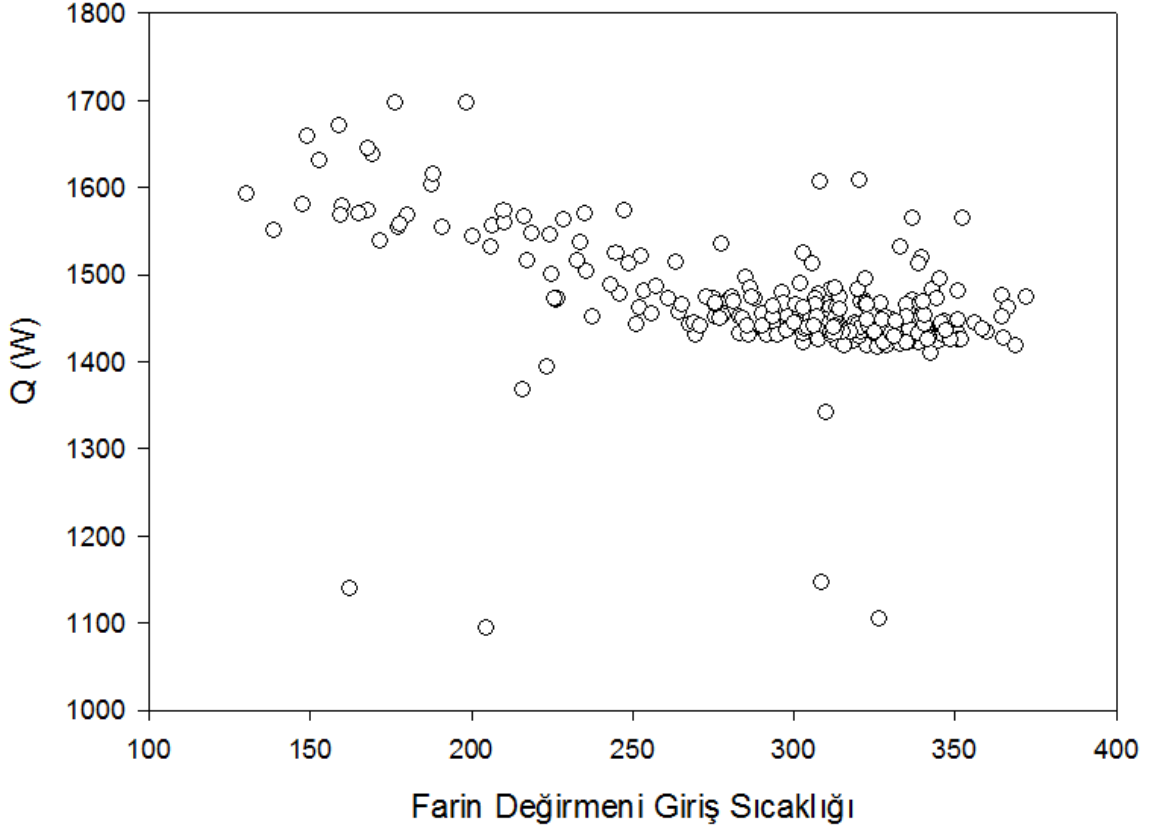


**Şekil 4.5.** F.D. Vantilatör Motoru = Farin değirmeni vantilatör motoru hızı (%)

Şekil 4.5'te Farin Değirmeni Vantilatör Motoru Hızı (%) ve Farin Değirmeni Ana Tahrik Motoru Güç Bilgisi (kWh) arasındaki ilişki gösterilmiştir. Farin Değirmeni Vantilatör Motoru Hızı (%) ve Farin Değirmeni Ana Tahrik Motoru Güç Bilgisi (kWh) arasında lineer bir ilişki olması beklenmektedir. Yukarıdaki grafikte de bu lineer ilişki net gözlemlenmemektedir. Bunun sebebi farin değirmeni fanının sürekli olarak operatörün alışa gelmiş seviyesinde çalıştırmasından kaynaklıdır. Bu grafik fanın ihtiyaçtan fazla çalıştırıldığını göstermektedir. Farin Değirmeni Vantilatör Motoru Hızı (%) değeri değirmene beslenen malzeme miktarı ile doğru orantılı olması gerekirken, operatör fazladan devir vererek çalıştırmıştır. Farin değirmeni çıkışındaki ürüne paralel artmalı ve azalması gerekmektedir. Çünkü farin değirmeni çıkışında oluşan ürün farin değirmen fanının emiş gücü ile taşınmaktadır.

Yukarıdaki grafikte yer alan değerlerde bazı noktalarda aynı x ekseninin aynı değerine karşılık y ekseninin farklı değer gözlenmesinin sebebi deney ortamının üretim hedeflerinden bağımsız oluşturulamaması ve değirmenin olağan çalışma düzenine uyulmak durumunda kalınmasından kaynaklanmıştır. İşletme şartlarındaki bu durumlar

Raw Mill Ventilator Motor Speed (%) girdisinin etkisinin özellikle 600-700 arasında kümelenmesinin sebebi değirmenin tam kapasite çalıştırılması hedefi ile çalışılması olarak yorumlanabilir. Bu durum deney sonuçlarını kısıtlamakta ancak sonuçların yanlış çıkmasına sebep olmamaktadır.



**Şekil 4.6.** F.D. Giriş Sıcaklığı = Farin değirmeni giriş sıcaklığı (°C)

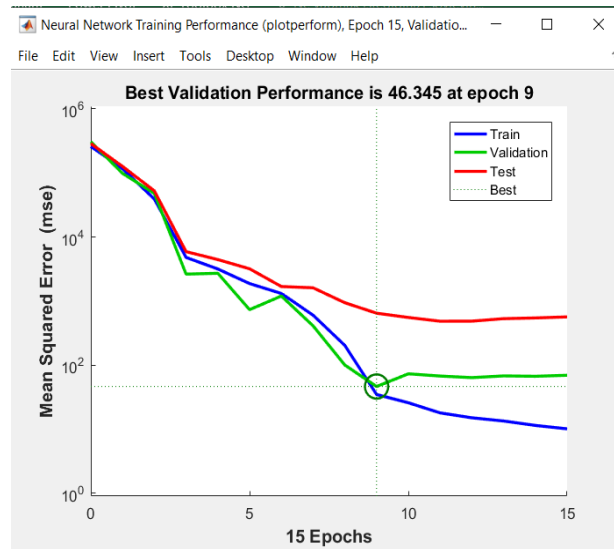
Şekil 4.6’da Farin Değirmeni giriş sıcaklığı bilgisi (%) ve Farin Değirmeni Ana Tahrik Motoru Güç Bilgisi (kWh) arasındaki ilişki gösterilmiştir. Farin Değirmeni giriş sıcaklığı bilgisi (%) ve Farin Değirmeni Ana Tahrik Motoru Güç Bilgisi (kWh) arasında lineer bir ilişki olması beklenmektedir. Farin Değirmeni giriş sıcaklığı bilgisi (%) değeri değirmene beslenen malzeme miktarı ile doğru orantılı olacaktır. Çünkü farin değirmeni içerisindeki malzemenin öğünebilmesi için malzeme içerisindeki nemin uzaklaştırılması gerekir. Bu işlem için de sıcak gaz kullanılmaktadır. Değirmen tablasındaki malzeme ne kadar fazla olursa değirmenin ihtiyaç duyduğu sıcak gaz miktarı da o kadar fazla olacaktır. Ancak operatör maksimum sıcaklıkta çalışmak istediği için ve bunun kontrolü de operatörün elinde olduğu için yukarıdaki grafik oluşmuştur. Sıcaklık artışı ile farin

değirmeni ana tahrik motorunun harcadığı enerjinin düşmesinin sebebi değirmen içinde yüke sebep olacak nemin sıcak gaz yardımı ile uzaklaştırılmasıdır.

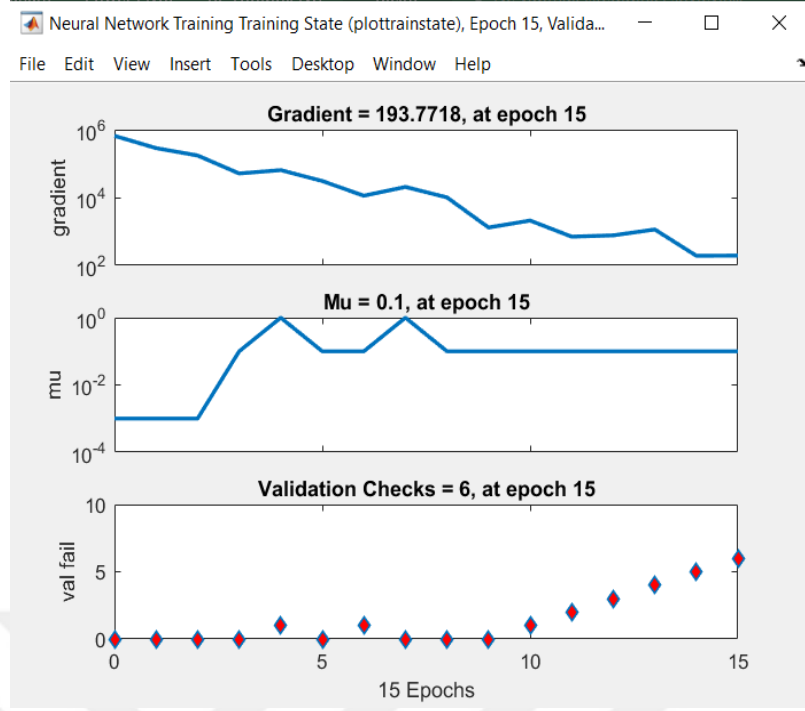
Yukarıdaki grafikte yer alan değerlerde bazı noktalarda aynı x ekseninin aynı değerine karşılık y ekseninin farklı değer gözlenmesinin sebebi dış etkenlerden tamamen bağımsız bir deney ortamının oluşturulamamasıdır. Beslenen sıcak havanın özelliği ortam sıcaklığına, döner fırının (rotary kiln) çalışma şartlarına, değirmene beslenen malzemenin sıcak gaz ihtiyacına göre değişmektedir. İşletme şartlarındaki bu durum çıktı sonuçlarını kısıtlamakta ancak yanlış sonuçlar oluşmasına sebep olmamaktadır.

Deneysel veriler üzerinden girdi ve çıktı ilişkileri gösterildikten sonra aşağıda tasarımı gerçekleştirilen yapay sinir ağının sonuçlarına yer verilmiştir.

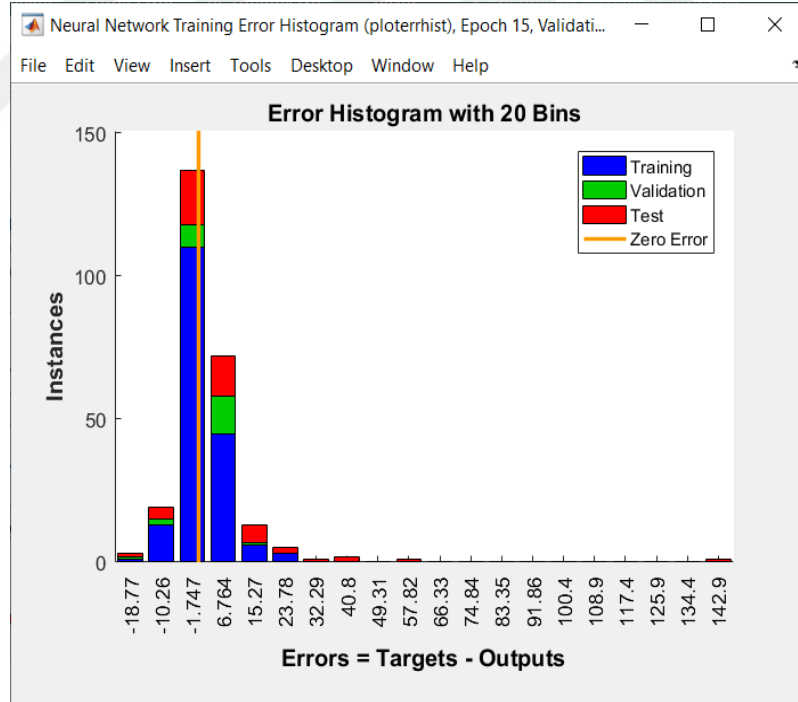
Şekil 4.7'de görülebileceği gibi, grafiğin başlangıçtaki eğiminde de anlaşılacağı gibi ortalama karesel hata değeri başlangıçta yüksek iken 9. yinelemede 46,345'ten sonra ideal değere ulaşmıştır. En düşük değer olarak belirlenen bu sonuç, ağın 9. yineleme sonrasında optimum eğitim performansına ulaştığını göstermektedir. Yapay sinir ağının eğitim performansının bir diğer grafiği Şekil 2'de verilmiştir. Grafikte de görülebileceği gibi eğitim sürecinde meydana gelen hatalar 9. yinelemeden sonra tekrarlanmış ve 15. yineleme sonunda (Bkz.Şekil 4.8) durmuştur. Bu durum 9. dönemden beri yinelenen verilerin iyi durumda olduğunun bir göstergesidir. Şekil 4.7'de gösterilmiştir.



Şekil 4.7. Yatay farin değirmeni YSA performansı



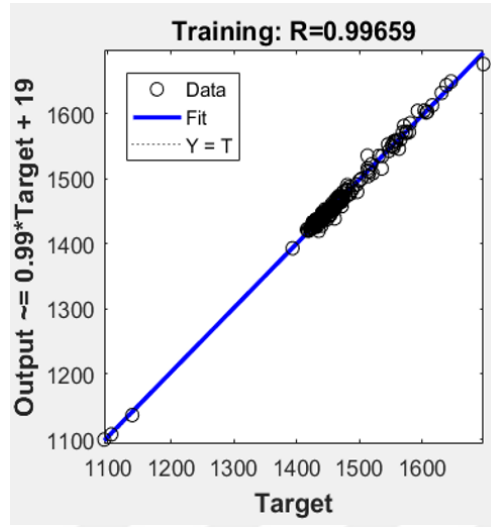
Şekil 4.8. Yatay farin değirmeni YSA'nın eğitim durumu



Şekil 4.9. Yatay farin değirmeni YSA'nın hata histogramı

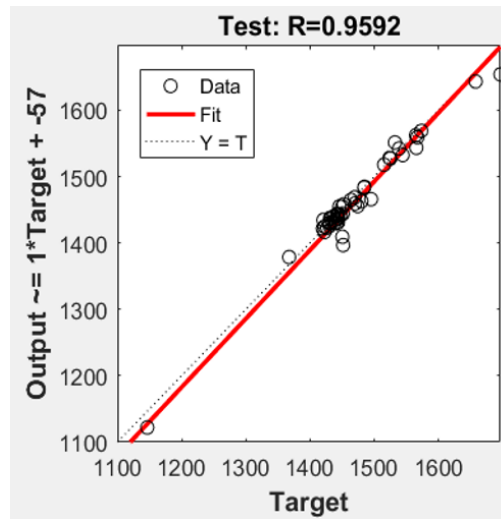
Yapay sinir ağının eğitimi, doğrulanması ve test edilmesinin hata histogramı Şekil 4.9'da gösterilmektedir. Hata yoğunluğunun her üç veri seti için sıfır çizgisinin

yakınında bulunması, geliştirilen yapay sinir ağının elektrik tüketim değerlerini kabul edilebilir bir hata payı ile tahmin edebileceğini göstermektedir.



Şekil 4.10. Yatay farin değirmeni YSA'nın eğitim verileri

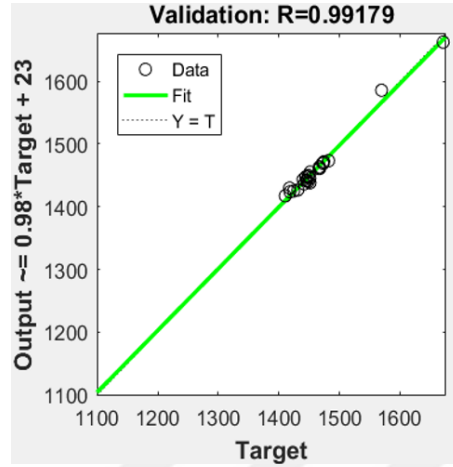
Şekil 4.10, yapay sinir ağını eğitmek için veri seti ile çimento fabrikasından elde edilen deneysel verilerin bir karşılaştırmasını göstermektedir. Veri noktalarının eşitlik çizgisi çevresinde yer alması ve R değerinin 0,99659 olması, yapay sinir ağının eğitim aşamasının başarıyla tamamlandığını göstermektedir.



Şekil 4.11. Yatay farin değirmeni YSA'nın test verileri

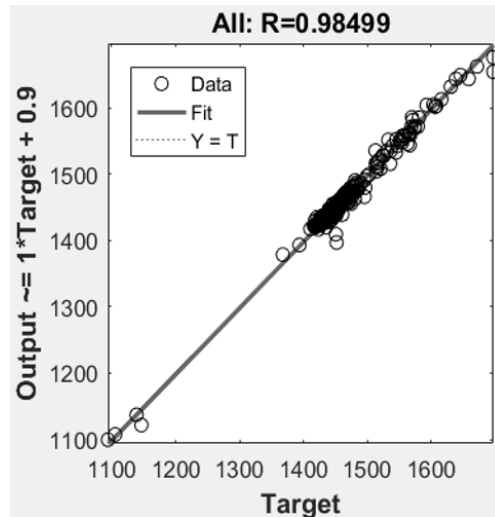
Yapay sinir ağının test verilerinin deneysel verilerle karşılaştırılması Şekil 4.11'de gösterilmektedir. Yapay sinir ağının test aşaması için kullanılan verilerin eşitlik

çizgisine yakın bölgede olması, test sürecinin R değerinin 0.9592 olması, ağın test aşamasının doğru tamamlandığının göstergesidir.



**Şekil 4.12.** Yatay farin değirmeni YSA'nın doğrulama verileri

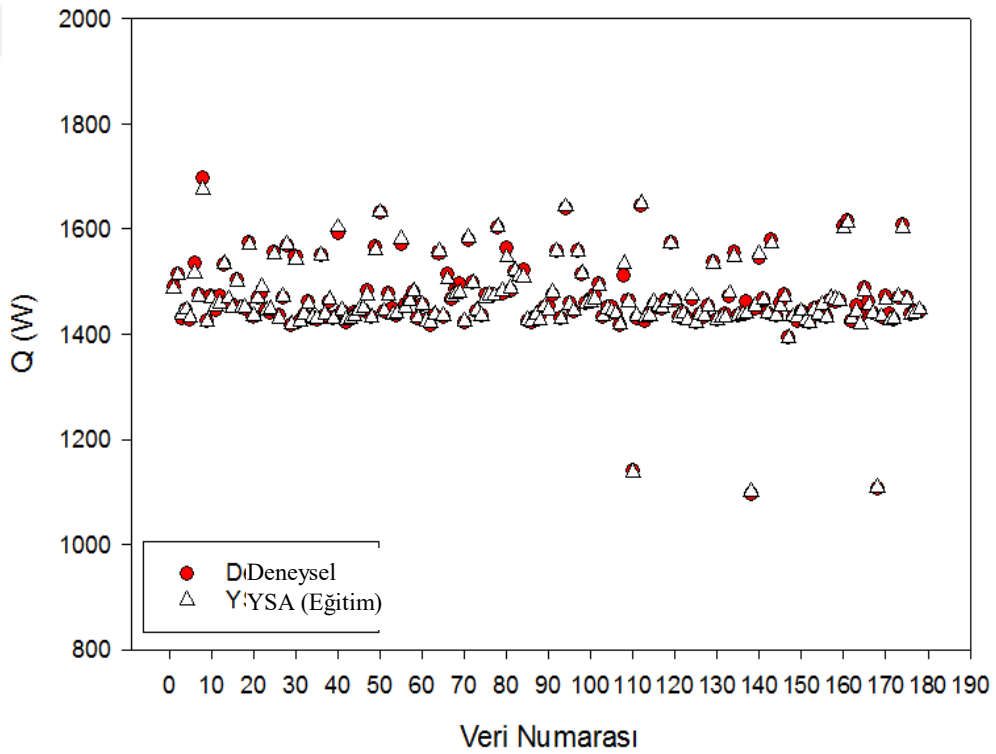
Şekil 4.12.'de deneysel verilerin doğrulanması için kullanılan veri seti ile yapay sinir ağından elde edilen değerlerin bir karşılaştırması verilmiştir. Yapay sinir ağının doğrulanması için kullanılan verinin R değerinin 0.99179 olması ve verilerin eşitlik çizgisine yakın olması, doğrulama aşamasının uygun şekilde sonuçlandırıldığı anlamına gelmektedir.



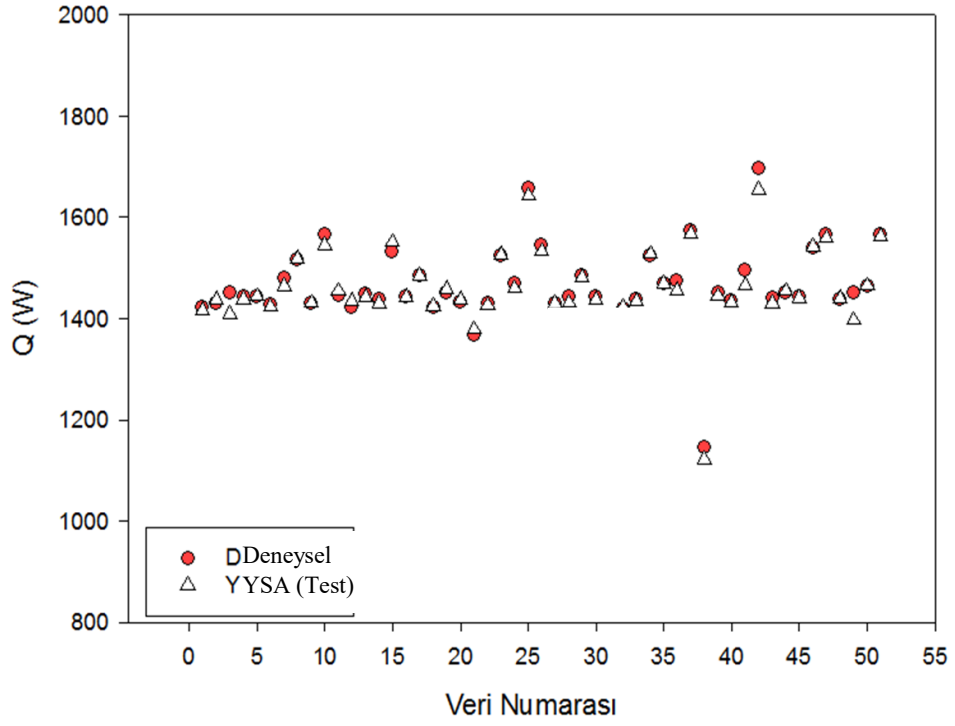
**Şekil 4.13.** Yatay farin değirmeni YSA'nın Tüm Verileri

Şekil 4.13, yapay sinir ağının geliştirilmesi için kullanılan toplam 254 deneysel verinin sinir ağından elde edilen verilerle karşılaştırmasını göstermektedir. Tüm veri

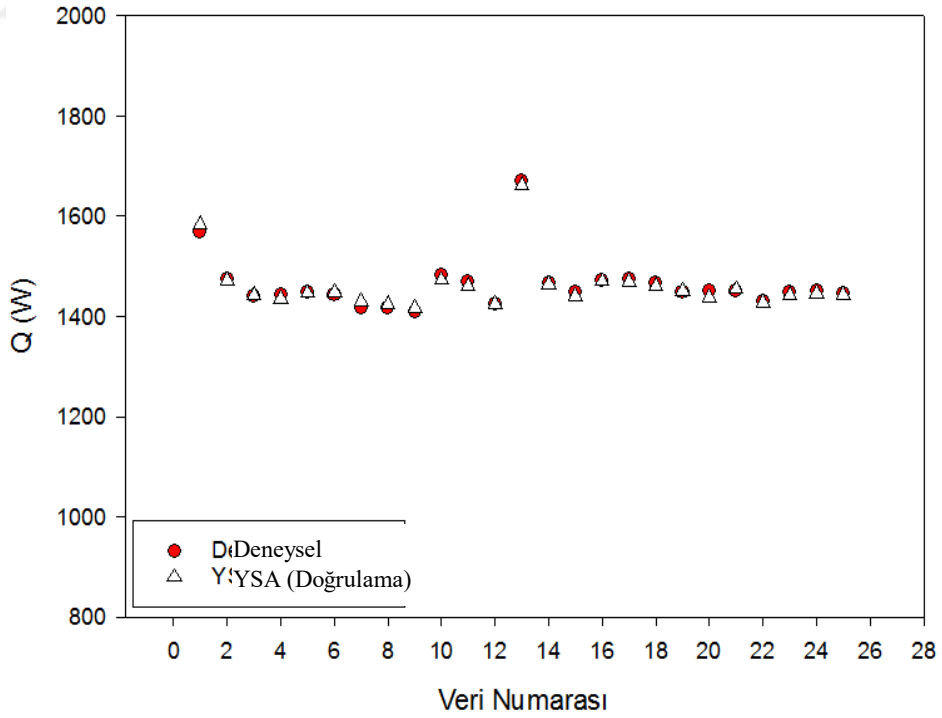
noktalarının diğere üç veri setine benzer şekilde eşitlik çizgisi etrafında yer alması ve R değerinin 0.98499 olarak elde edilmesi, yapay sinir ağının eğitim, test ve doğrulama süreçlerinin ideal olarak tamamlandığını göstermektedir. Yapay sinir ağından elde edilen elektrik enerjisi tüketim değerlerinin tahmini ile çimento fabrikasından elde edilen değerler veri seti sayısı ve tüm veri sayısı için ayrı ayrı karşılaştırılmıştır. Yapay sinir ağından elde edilen değerlerin deneysel veri noktalarına çok yakın konumlandırılması, yapay sinir ağının doğruluğunun kabul edilebilir olduğunu göstermektedir. Şekil 4.14, Şekil 4.15, Şekil 4.16 ve Şekil 4.17 yapay sinir ağları ile eğitim, test, doğrulama ve tüm değerler için deneysel sonuçların karşılaştırmasını göstermektedir.



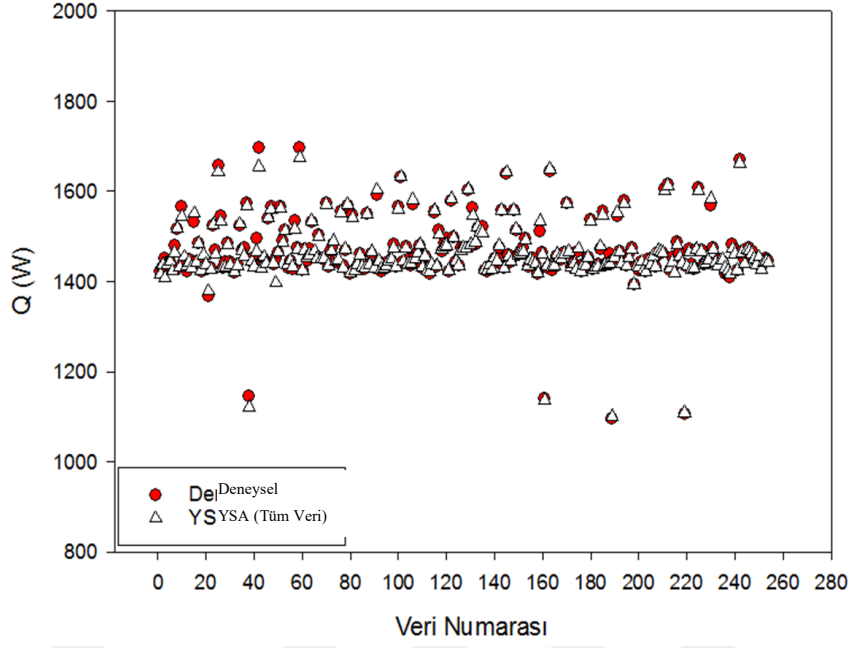
Şekil 4.14. Yatay farin değirmeni YSA'nın eğitim verilerinin deneysel veriler ile karşılaştırılması



Şekil 4.15. Yatay farin değirmi YSA'nın test verilerinin deneysel veriler ile karşılaştırılması

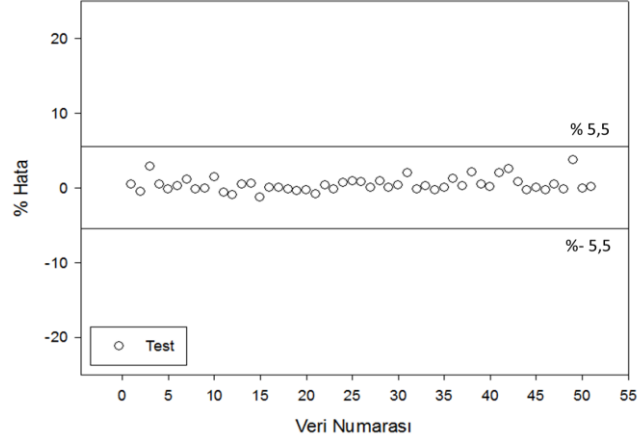


Şekil 4.16. Yatay farin değirmi YSA'nın doğrulama verilerinin deneysel veriler ile karşılaştırılması

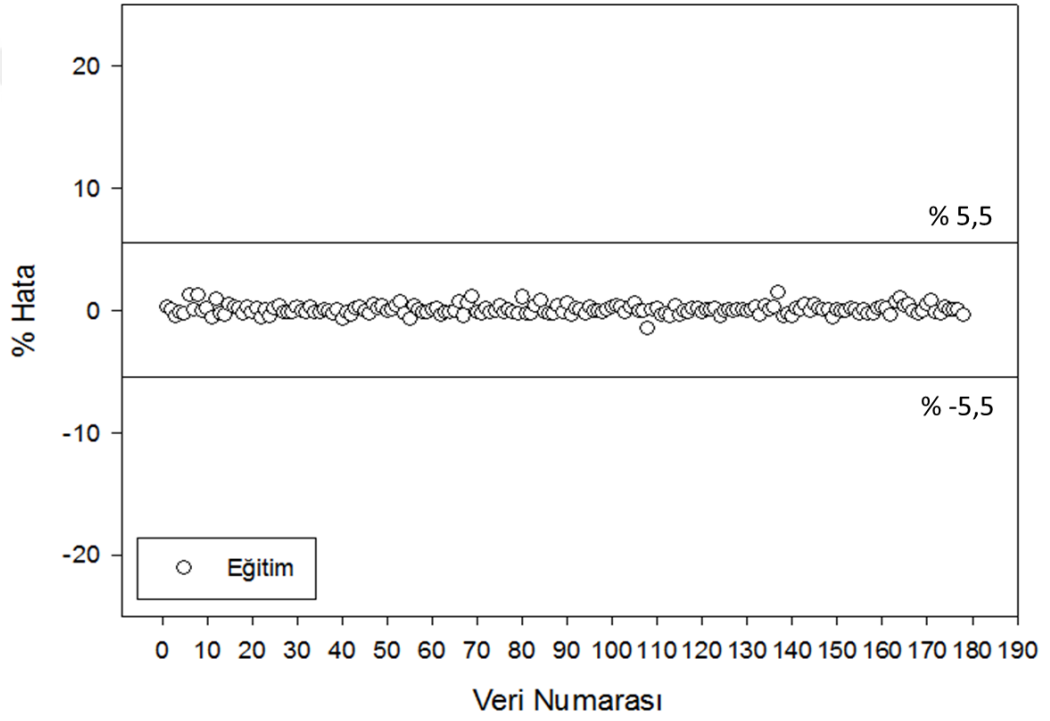


**Şekil 4.17.** Yatay farin değirmeni YSA'nın tüm verilerinin deneysel veriler ile karşılaştırılması

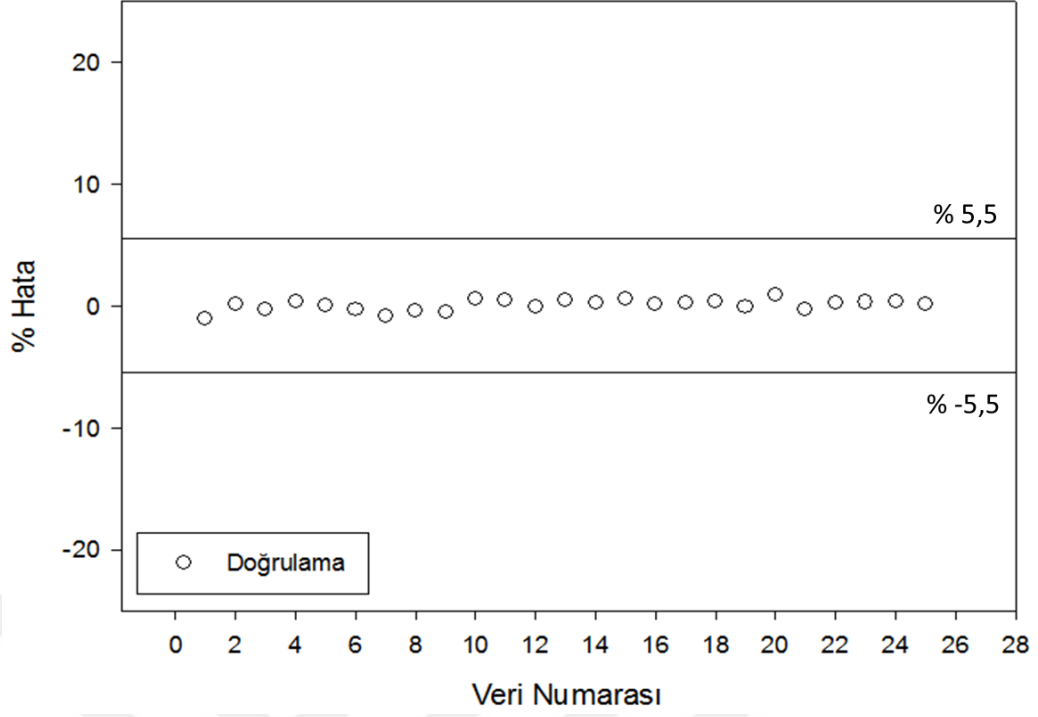
Yapay sinir ağının performans analizini yapabilmek için öncelikle sapma miktarının belirlenmesi gerekmektedir. Yapay sinir ağlarının kestirimsel doğruluğunu değerlendirmek ve yapay sinir ağlarının performansını ölçmek için yapay sinir ağı çıktılarının hata oranları deneysel verilerle ölçülür. Yapay sinir ağının hata oranları her veri seti için %-1,52 ila %3,77 aralığındadır. Kabul edilebilir hata oranlarına sahip olan yapay sinir ağının, çimento fabrikasının elektrik enerjisi tüketim değerlerini ideal doğrulukla tahmin edebildiği söylenebilir. Şekil 4.18, Şekil 4.19, Şekil 4.20 ve Şekil 4.21 incelendiğinde görülebilir.



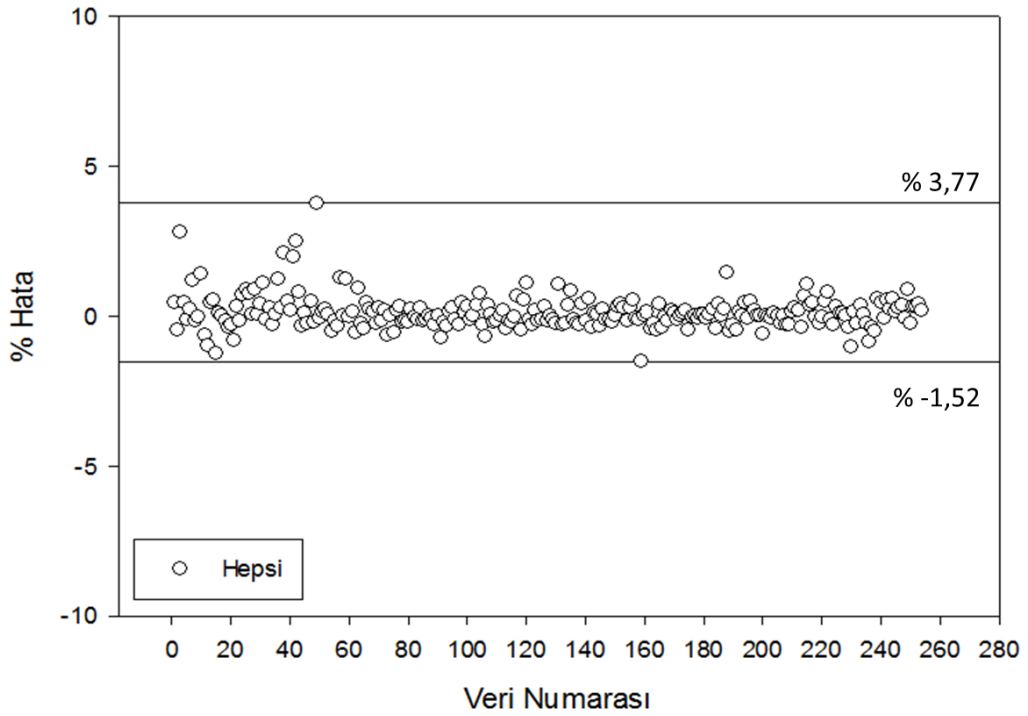
Şekil 4.18. Yatay farin değirmeni YSA'nın test verilerinin hata grafiği



Şekil 4.19. Yatay farin değirmeni YSA'nın eğitim verilerinin hata grafiği



Şekil 4.20. Yatay farin değirmeni YSA'nın doğrulama verilerinin hata grafiği



Şekil 4.21. Yatay farin değirmeni ysa'nın tüm verilerinin hata grafiği

Çizelge 4.1. Yatay farin değirmeni YSA'nın performansı çizelgesi

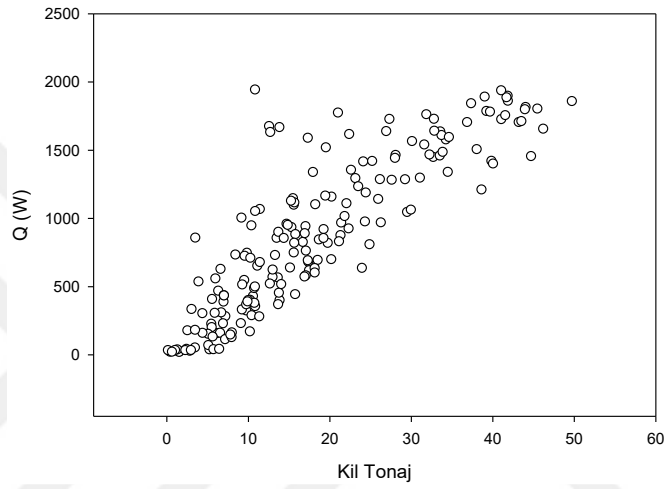
Veri Seti	OKH	R	Veri Sayısı
Eğitim	3,5E+01	0.96591	178
Doğrulama	4,63E+01	0.99178	51
Test	6,46E+02	0.95920	25
Hepsi	4,63E+01	0.99381	254

Bu çalışmada, imento fabrikasındaki farin değirmininin elektrik tuketim değerlerini tahmin etmek için yapay bir sinir ağı geliştirilmiştir. Deneysel veriler kullanılarak geliştirilen yapay sinir ağında transfer fonksiyonu olarak Levenberg-Marquardt algoritması tercih edilmiştir. Çok katmanlı algı ileri beslemeli, geri yayılımlı olarak geliştirilen yapay sinir ağının giriş katmanı 6 giriş değerine sahiptir. Gizli katmanda 20 noron bulunan yapay sinir ağının veri seti  bölüme ayrılmıştır. Toplam 254 veri kullanılarak geliştirilen yapay sinir ağında verilerin %70'i eğitim, %20'si test ve %10'u doğrulama için kullanıldı. 6 girdi değişkenine göre geliştirilen yapay sinir ağından imento fabrikasındaki farin değirmininin elektrik tuketim değerleri tahmin edildi. Yapay sinir ağı ıktıları deneysel verilerle karşılaştırılmış ve hata payları hesaplanmıştır. Sonuçlar, R değerı 0,99381 olarak hesaplanan yapay sinir ağının, ortalama %0,06 sapma ile %0,06 kabul edilebilir hata oranıyla elektrik enerjisi tuketim değerlerini tahmin edebileceğini gösterdi. Çizelge 4.1 YSA'nın ortalama karesel hataları ve r değerlerini göstermektedir. Fabrikaya verilecek enerji alımlarının doğru belirlenmesi, enerji sapma maliyetlerinin önüne geçecektir. Türkiye'nin enerji ihtiyacını karşılamak için %70'in üzerinde dışarıya bağlanan enerji talebinin doğru belirlenmesi ülke ekonomisine dolaylı olarak katkı sağlayacak ekstra enerji alımının önüne geçmektedir. Çalışmada, yapay sinir ağlarının, değerminin temel işlem girdileri aracılığıyla motor tarafından tuketilen elektrik enerjisini tahmin etmek için ideal bir araç olduğunu gösterildi.

## 4.2 Dik Farin Değirmeni

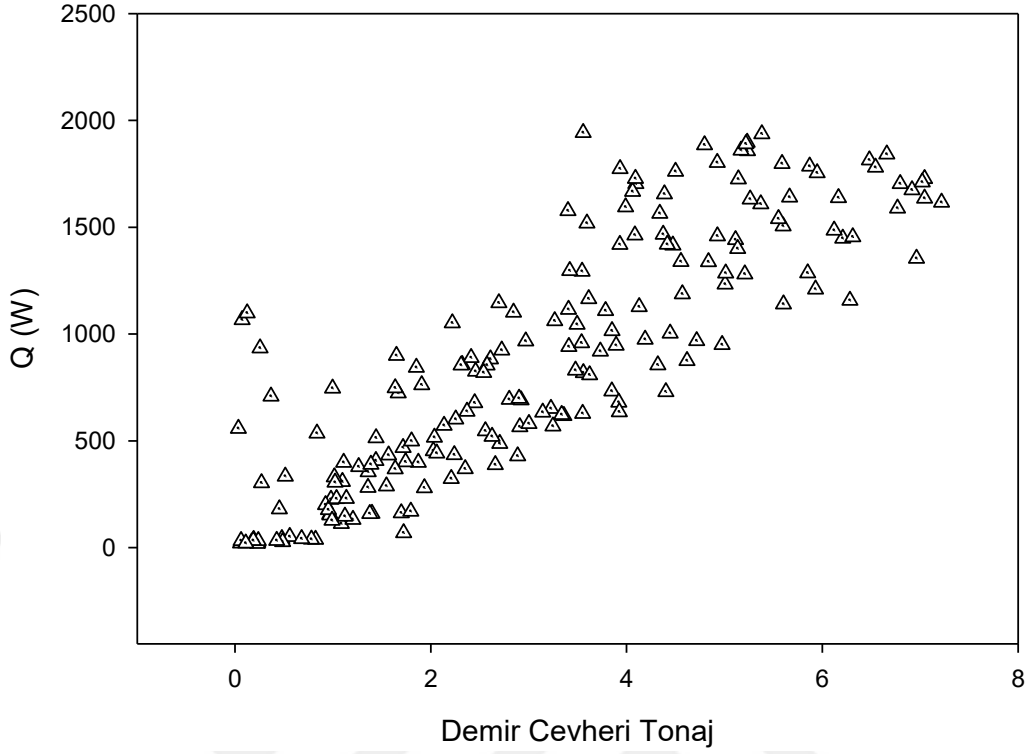
### 4.2.1 Dik farin değirmeni ana tahrik motoru harcadığı güç tahmini

Bu bölümde dik farin değirmeni ana tahrik motorunun harcadığı gücü tahmin etmek için yapılan çalışmanın bulguları paylaşılmıştır. Aşağıda her bir girdinin deneysel veri seti ile deneysel çıkış veri seti grafiklerle gösterilmiştir.



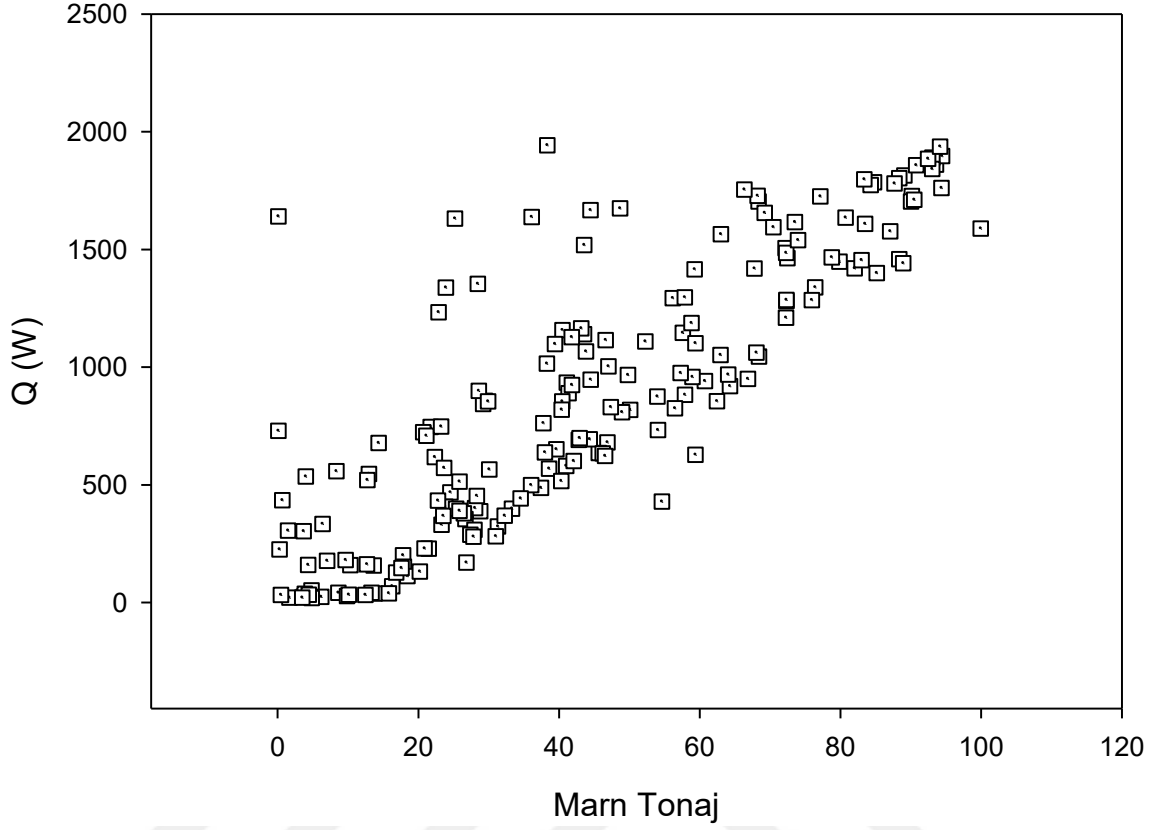
Şekil 4.22. Kil Tonaj = Kil dozajlı besleyici gerçekleşen değer bilgisi (ton/h)

Şekil 4.22’de Kil Dozajlı Besleyici Gerçekleşen Değer Bilgisi (ton/h) ve Farin Değirmeni Ana Tahrik Motoru Güç Bilgisi (kWh) arasındaki ilişki gösterilmiştir. Kil Dozajlı Besleyici Gerçekleşen Değer Bilgisi (ton/h) ve Farin Değirmeni Ana Tahrik Motoru Güç Bilgisi (kWh) arasında lineer bir ilişki olması beklenmektedir. Değirmen ana tahrik motoru, değirmen tabanında yer alan bir tablayı döndürmektedir. Bu tabla üzerindeki malzeme ne kadar çok olursa Farin Değirmeni Ana Tahrik Motoru Güç Bilgisi (kWh) değeri de doğru orantılı artmaktadır. Yukarıdaki grafikte de bu ilişki net olarak görülmektedir. İki değer arasında yukarıdaki değerler ile korelasyon ilişkisi kontrol edilirse korelasyon değeri 0,867 olarak hesaplanmıştır.



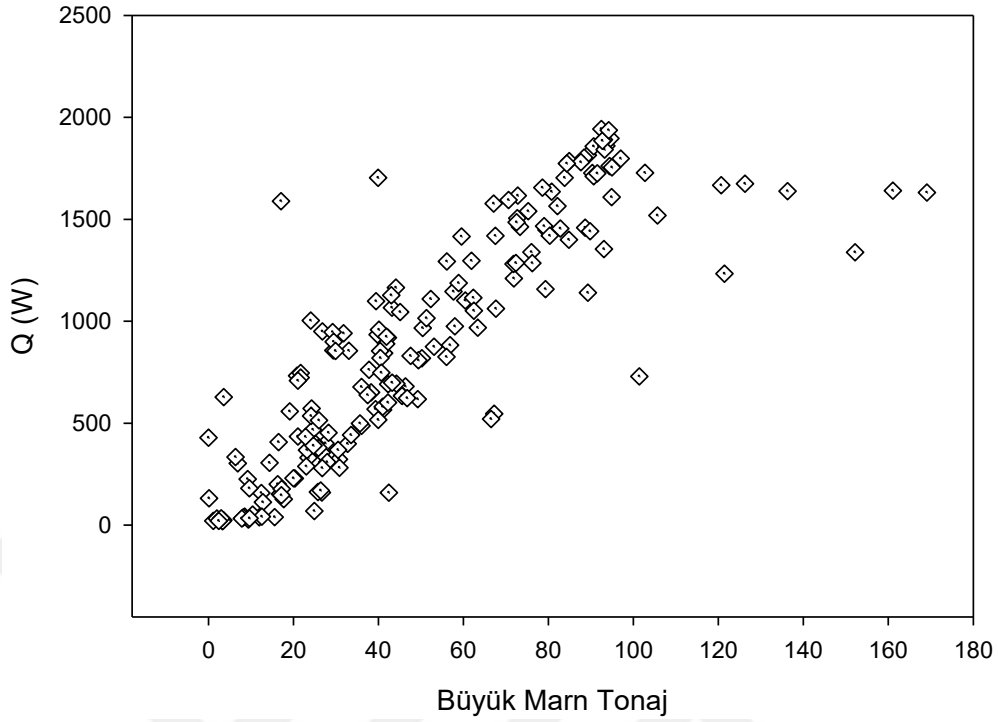
**Şekil 4.23.** Demir Cevheri Tonaj = Demir cevheri dozajlı besleyici gerçekleşen değer bilgisi (ton/h)

Şekil 4.23 Demir Cevheri Dozajlı Besleyici Gerçekleşen Değer Bilgisi (ton/h) ve Farin Değirmeni Ana Tahrik Motoru Güç Bilgisi (kWh) arasındaki ilişki gösterilmiştir. Demir Cevheri Dozajlı Besleyici Gerçekleşen Değer Bilgisi (ton/h) ve Farin Değirmeni Ana Tahrik Motoru Güç Bilgisi (kWh) arasında lineer bir ilişki olması beklenmektedir. Değirmen ana tahrik motoru, değirmen tabanında yer alan bir tablayı döndürmektedir. Bu tabla üzerindeki malzeme ne kadar çok olursa Farin Değirmeni Ana Tahrik Motoru Güç Bilgisi (kWh) değeri de doğru orantılı artmaktadır. Yukarıdaki grafikte de bu ilişki net olarak görülmektedir. İki değer arasında yukarıdaki değerler ile korelasyon ilişkisi kontrol edilirse korelasyon değeri 0,855 olarak hesaplanmıştır.



**Şekil 4.24.** Marn Tonaj = 1.Marn dozajlı Besleyici Gerçekleşen Değer Bilgisi (ton/h)

Şekil 4.24'te 1.Marn Dozajlı Besleyici Gerçekleşen Değer Bilgisi (ton/h) ve Farin Değirmeni Ana Tahrik Motoru Güç Bilgisi (kWh) ilişkisi gösterilmiştir. 1.Marn Dozajlı Besleyici Gerçekleşen Değer Bilgisi (ton/h) ve Farin Değirmeni Ana Tahrik Motoru Güç Bilgisi (kWh) arasında lineer bir ilişki olması beklenmektedir. Değirmen ana tahrik motoru, değirmen tabanında yer alan bir tablayı döndürmektedir. Bu tabla üzerindeki malzeme ne kadar çok olursa Farin Değirmeni Ana Tahrik Motoru Güç Bilgisi (kWh) değeri de doğru orantılı artmaktadır. Yukarıdaki grafikte de bu ilişki net olarak görülmektedir. İki değer arasında yukarıdaki değerler ile korelasyon ilişkisi kontrol edilirse korelasyon değeri 0,842 olarak hesaplanmıştır.

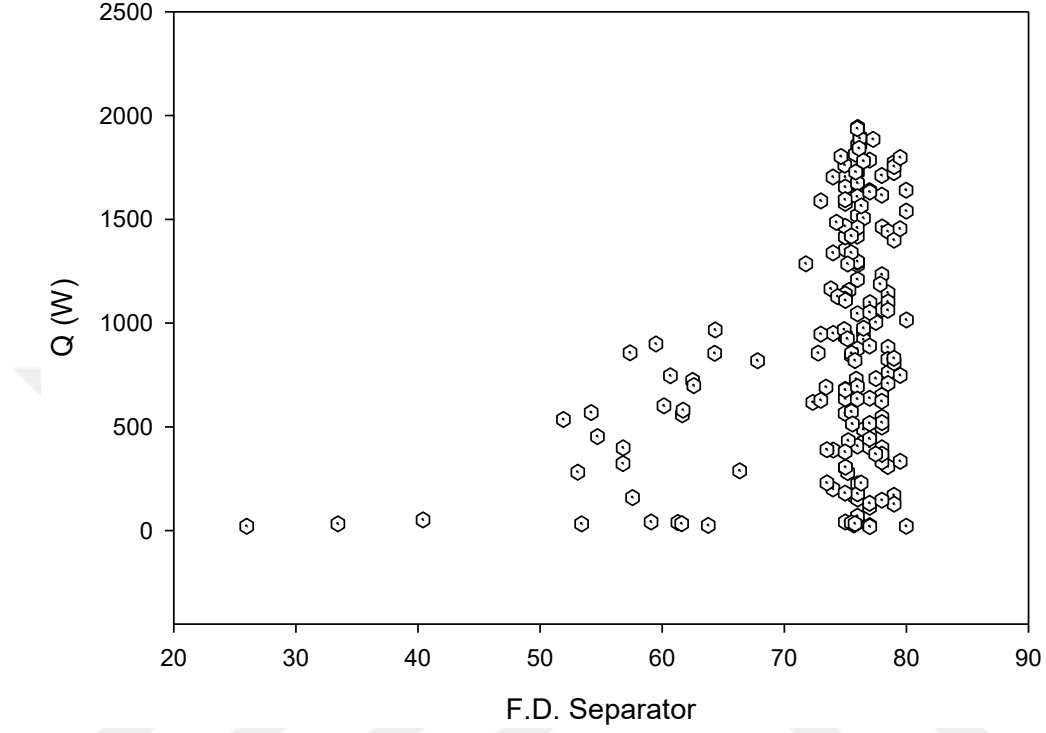


**Şekil 4.25.** Büyük Marn Tonaj = 2.Marn dozajlı besleyici gerçekleşen değer bilgisi (ton/h)

Şekil 4.25 2.Marn Dozajlı Besleyici Gerçekleşen Değer Bilgisi (ton/h) ve Farin Değirmeni Ana Tahrik Motoru Güç Bilgisi (kWh) ilişkisi gösterilmiştir. 2.Marn Dozajlı Besleyici Gerçekleşen Değer Bilgisi (ton/h) ve Farin Değirmeni Ana Tahrik Motoru Güç Bilgisi (kWh) arasında lineer bir ilişki olması beklenmektedir. Değirmen ana tahrik motoru, değirmen tabanında yer alan bir tablayı döndürmektedir. Bu tabla üzerindeki malzeme ne kadar çok olursa Farin Değirmeni Ana Tahrik Motoru Güç Bilgisi (kWh) değeri de doğru orantılı artmaktadır. Yukarıdaki grafikte de bu ilişki net olarak görülmektedir. İki değer arasında yukarıdaki değerler ile korelasyon ilişkisi kontrol edilirse korelasyon değeri 0,848 olarak hesaplanmıştır.

Yukarıdaki 4 grafikte yer alan değerlerde bazı noktalarda aynı x ekseninin aynı değerine karşılık y ekseninin farklı değer gözlenmesinin sebebi dış etkenlerden tamamen bağımsız bir deney ortamının oluşturulamamasıdır. Beslenen malzeme temelde aynı olsa da nem, yapışkanlık gibi fiziksel özellikleri değirmen gücünü etkilemektedir. Grafikte bazı bölgelerde verilerin kümelendiği gözlemlenmektedir. Bunun sebebi de deney ortamının üretim hedeflerinden bağımsız oluşturulamaması sebebi ile değirmenin

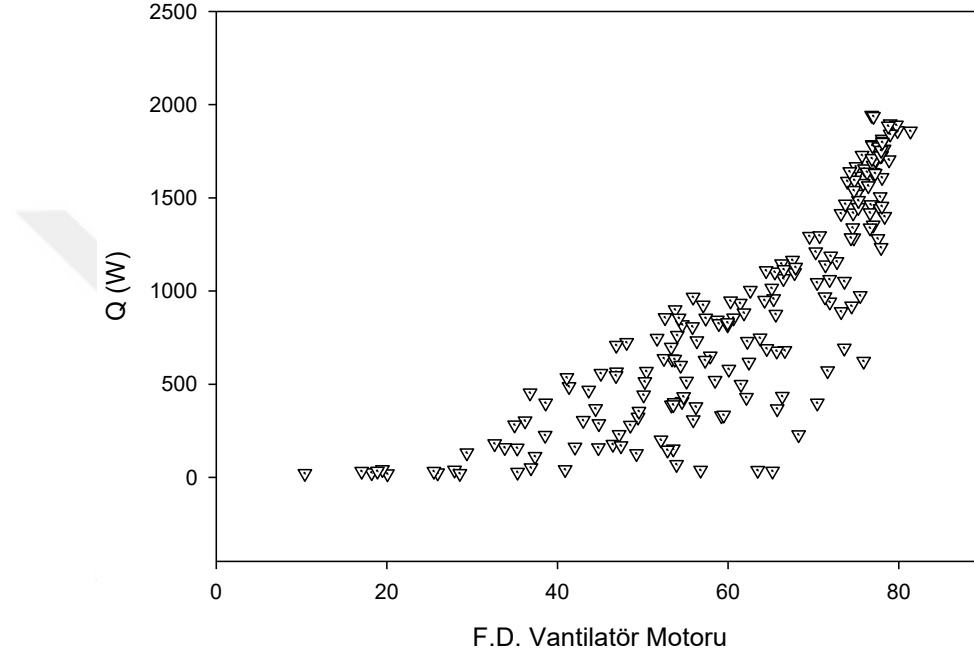
olağan çalışma düzenine uyulmak durumunda kalınmasından kaynaklanmıştır. İşletme şartlarındaki bu durumlar çıktı sonuçlarını kısıtlamakta ancak yanlış sonuçlar oluşmasına sebep olmamaktadır.



**Şekil 4.26.** F.D Separator = Farin değirmeni seperatör motoru hızı (%)

Şekil 4.26 Farin Değirmeni Seperatör Motoru Hızı (%) ve Farin Değirmeni Ana Tahrik Motoru Güç Bilgisi (kWh) ilişkisi gösterilmiştir. Farin Değirmeni Seperatör Motoru Hızı (%) ve Farin Değirmeni Ana Tahrik Motoru Güç Bilgisi (kWh) arasında düşük lineer bir ilişki olması beklenmektedir. Yukarıdaki grafikte de bu lineer ilişkinin orta olduğu görülmektedir. İki değer arasında yukarıdaki değerler ile korelasyon ilişkisi kontrol edildiğinde korelasyon değeri 0,322 olarak hesaplanmıştır. Seperatör devrini kalite hedefleri belirlemektedir. Seperatör devri malzemenin değirmen içerisindeki sürkülasyon miktarını etkiler. Seperatör devri ne kadar yüksek olursa öğütme o kadar uzun sürecektir. Tabladaki yüke doğrudan etkisi yoktur. Bu sebeple yukarıdaki grafikte farklı Farin Değirmeni Ana Tahrik Motoru Güç Bilgisi (kWh) değerleri için seperatör devrinin %70-80 arasında kümelenmesi gözlemlenmiştir.

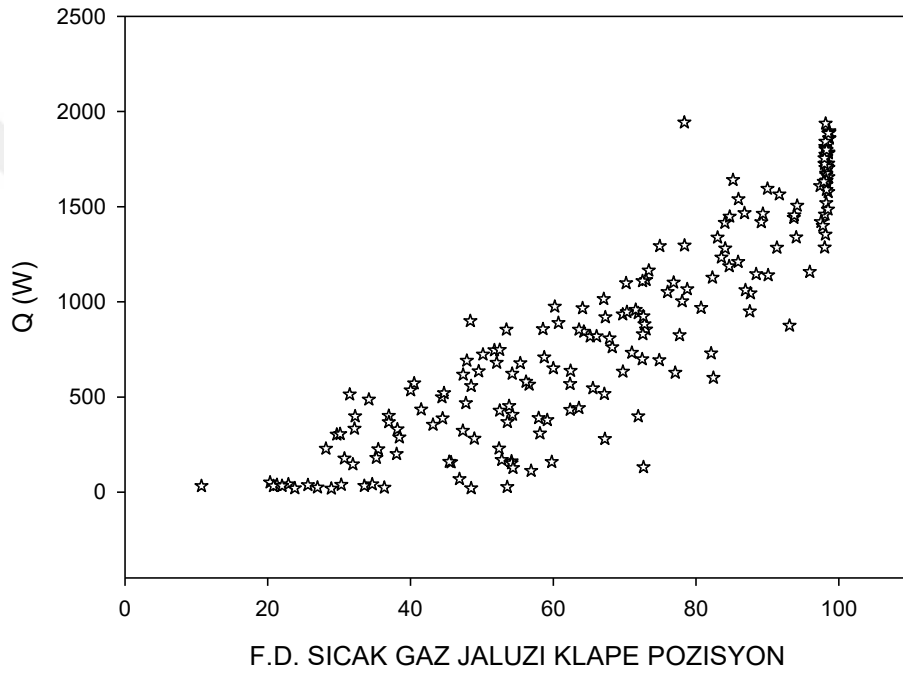
Yukarıdaki grafikte yer alan değerlerde bazı noktalarda aynı x ekseninin aynı değerine karşılık y ekseninin farklı değer gözlenmesinin sebebi deney ortamının üretim hedeflerinden bağımsız oluşturulamaması ve değirmenin olağan çalışma düzenine uyulmak durumunda kalınmasından kaynaklanmıştır. İşletme şartlarındaki bu durumlar separatör girdisinin farklı değerleri için gözlem yapılmasını engellediği için YSA çıktısındaki ağırlığını da azaltmıştır. Sonuçların yanlış çıkmasına sebep olmamaktadır.



**Şekil 4.27.** F.D. Vantilatör Motoru = Farin değirmeni vantilatör motoru hızı (%)

Şekil 4.27 Farin Değirmeni Vantilatör Motoru Hızı (%) ve Farin Değirmeni Ana Tahrik Motoru Güç Bilgisi (kWh) arasındaki ilişki gösterilmiştir. Farin Değirmeni Vantilatör Motoru Hızı (%) ve Farin Değirmeni Ana Tahrik Motoru Güç Bilgisi (kWh) arasında lineer bir ilişki olması beklenmektedir. Yukarıdaki grafikte de bu lineer ilişkinin olduğu görülmektedir. İki değer arasında yukarıdaki değerler ile korelasyon ilişkisi kontrol edildiğinde korelasyon değeri 0,844 olarak hesaplanmıştır. Farin Değirmeni Vantilatör Motoru Hızı (%) değeri değirmene beslenen malzeme miktarı ile doğru orantılı olacaktır. Çünkü farin değirmeni çıkışınsa oluşan ürün farin değirmen fanının emiş gücü ile taşınmaktadır. Değirmen tablasındaki malzeme ne kadar fazla olursa değirmenin ürettiği ürün de o kadar fazla olacaktır. Doğal olarak ürünü taşımak için emiş gücü de fazla olması beklenir. Grafikteki lineer ilişkinin görülmesinin sebebi de budur.

Yukarıdaki grafikte yer alan değerlerde bazı noktalarda aynı x ekseninin aynı değerine karşılık y ekseninin farklı değer gözlenmesinin sebebi deney ortamının üretim hedeflerinden bağımsız oluşturulamaması ve değirmenin olağan çalışma düzenine uyulmak durumunda kalınmasından kaynaklanmıştır. İşletme şartlarındaki bu durumlar Raw Mill Ventilator Motor Speed (%) girdisinin etkisinin özellikle 70-80 arasında kümelenmesinin sebebi değirmenin tam kapasite çalıştırılması hedefi ile çalışılması olarak yorumlanabilir. Bu durum deney sonuçlarını kısıtlamakta ancak sonuçların yanlış çıkmasına sebep olmamaktadır.

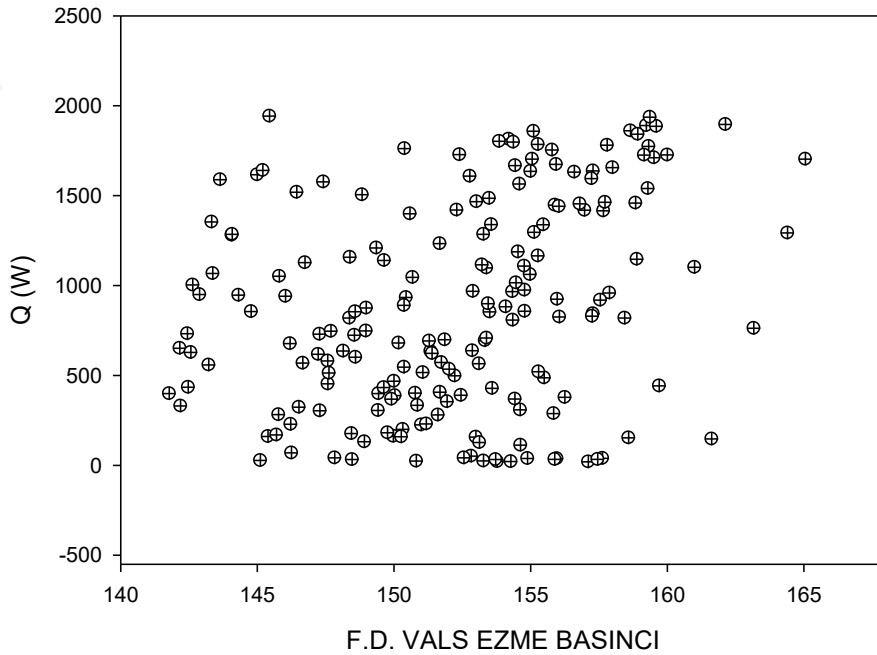


**Şekil 4.28.** F.D. sıcak gaz jaluzi klapesi pozisyonu = Farin değirmeni sıcak gaz jaluzi klapesi açıklık bilgisi (%)

Şekil 4.28 Farin Değirmeni sıcak gaz jaluzi klapesi açıklık bilgisi (%) ve Farin Değirmeni Ana Tahrik Motoru Güç Bilgisi (kWh) arasındaki ilişki gösterilmiştir. Farin Değirmeni sıcak gaz jaluzi klapesi açıklık bilgisi (%) ve Farin Değirmeni Ana Tahrik Motoru Güç Bilgisi (kWh) arasında lineer bir ilişki olması beklenmektedir. Yukarıdaki grafikte de bu lineer ilişkinin olduğu görülmektedir. İki değer arasında yukarıdaki değerler ile korelasyon ilişkisi kontrol edildiğinde korelasyon değeri 0,903 olarak hesaplanmıştır. Farin Değirmeni sıcak gaz jaluzi klapesi açıklık bilgisi (%) değeri değirmene beslenen malzeme miktarı ile doğru orantılı olacaktır. Çünkü farin değirmeni içerisindeki

malzemenin öğünebilmesi için malzeme içerisindeki nemin uzaklaştırılması gerekir. Bu işlem için de sıcak gaz kullanılmaktadır. Değirmen tablasındaki malzeme ne kadar fazla olursa değirmenin ihtiyaç duyduğu sıcak gaz miktarı da o kadar fazla olacaktır. Değirmenin sıcak gaz ihtiyacı Farin Değirmeni sıcak gaz jaluzi klepe açıklığı ile sağlandığı için malzeme ne kadar fazla ise sıcak gaz ihtiyacı da o kadar fazla olacaktır. Grafikteki lineer ilişkinin görülmesinin sebebi de budur.

Yukarıdaki grafikte yer alan değerlerde bazı noktalarda aynı x ekseninin aynı değerine karşılık y ekseninin farklı değer gözlenmesinin sebebi dış etkenlerden tamamen bağımsız bir deney ortamının oluşturulamamasıdır. Beslenen sıcak havanın özelliği ortam sıcaklığına, döner fırının (rotary kiln) çalışma şartlarına, değirmene beslenen malzemenin sıcak gaz ihtiyacına göre değişmektedir. Grafikte 100 değeri üstünde görülen veriler değirmenin daha fazla sıcak gaza ihtiyaç duyması olarak yorumlanabilir. İşletme şartlarındaki bu durum çıktı sonuçlarını kısıtlamakta ancak yanlış sonuçlar oluşmasına sebep olmamaktadır.



**Şekil 4.29.** F.D. vals ezme basıncı = Farin değirmeni vals ezme basıncı bilgisi (bar)

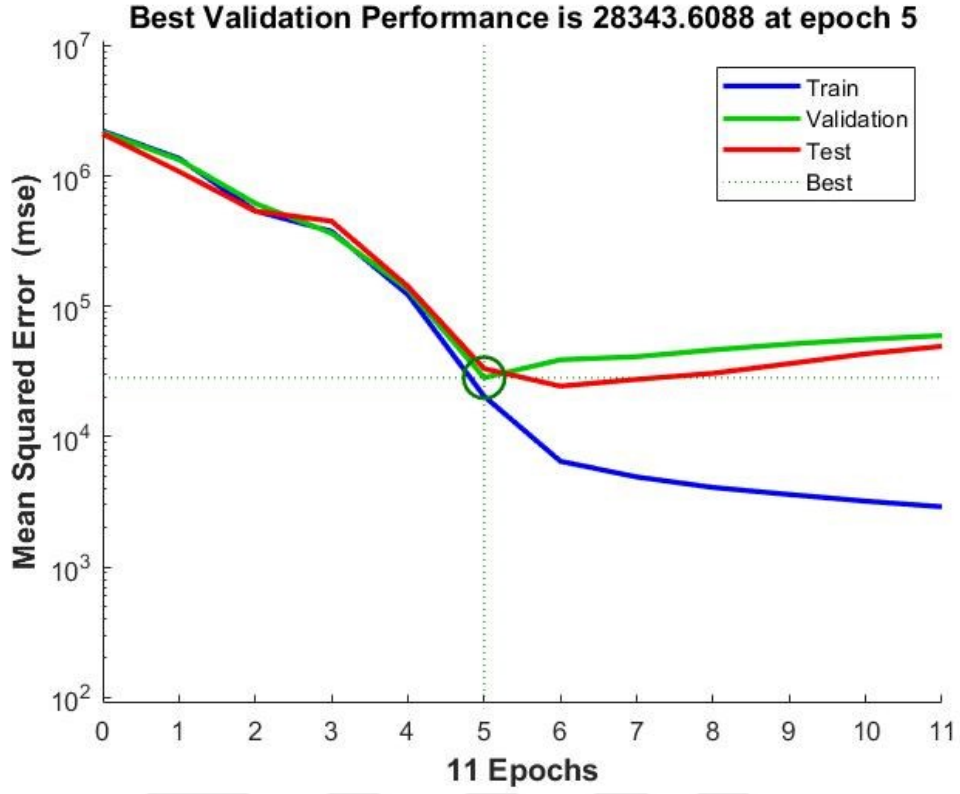
Şekil 4.29 Farin Değirmeni Vals Ezme Basıncı Bilgisi (bar) ve Farin Değirmeni Ana Tahrik Motoru Güç Bilgisi (kWh) arasındaki ilişki gösterilmiştir. Farin Değirmeni Vals Ezme Basıncı Bilgisi (bar) ve Farin Değirmeni Ana Tahrik Motoru Güç Bilgisi (kWh)

arasında düşük lineer bir ilişki olması beklenmektedir. Yukarıdaki grafikte de bu lineer ilişkinin orta olduğu görülmektedir. İki değer arasında yukarıdaki değerler ile korelasyon ilişkisi kontrol edildiğinde korelasyon değeri 0,294 olarak hesaplanmıştır. Farin Değirmeni Vals Ezme Basıncı Bilgisi (bar) değeri operatörün verdiği ezme basıncı ile oluşmaktadır. Operatör tamamen kendi deneyimleri ile bu değeri ayarlamaktadır. Değirmen içerisine geri dönen malzeme miktarına göre ayarlandığı için grafikteki değerler belli bir noktada kümelenmemiştir

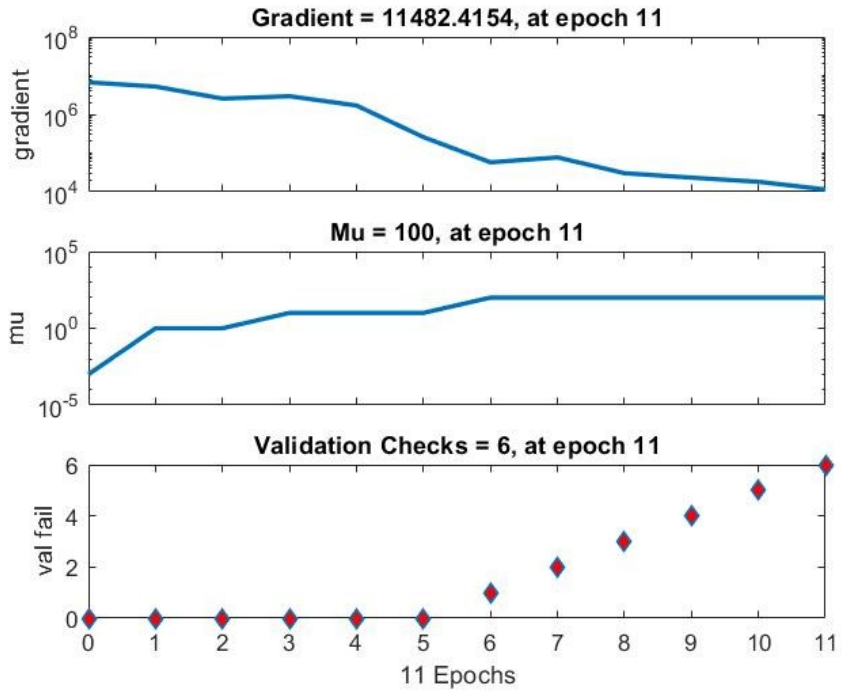
Yukarıdaki grafikte yer alan değerlerde bazı noktalarda aynı x ekseninin aynı değerine karşılık y ekseninin farklı değer gözlenmesinin sebebi dış etkenlerden tamamen bağımsız bir deney ortamının oluşturulamamasıdır. İşletme şartlarındaki bu durum çıktı sonuçlarını kısıtlamakta ancak yanlış sonuçlar oluşmasına sebep olmamaktadır.

Deneysel veriler üzerinden girdi ve çıktı ilişkileri gösterildikten sonra aşağıda tasarımı gerçekleştirilen yapay sinir ağının sonuçlarına yer verilmiştir.

Şekil 4.30'da görülebileceği gibi, grafiğin başlangıçtaki eğiminde de anlaşılacağı gibi ortalama karesel hata değeri başlangıçta yüksek iken 5. yinelemede 28.343,6088'den sonra ideal değere ulaşmıştır. En düşük değer olarak belirlenen bu sonuç, ağın 5. yineleme sonrasında optimum eğitim performansına ulaştığını göstermektedir. Yapay sinir ağının eğitim performansının bir diğer grafiği Şekil 2'de verilmiştir. Grafikte de görülebileceği gibi eğitim sürecinde meydana gelen hatalar 5. yinelemeden sonra tekrarlanmış ve 11. yineleme sonunda durmuştur (Bkz. Şekil 4.31). Bu durum 5. dönemden beri yinelenen verilerin iyi durumda olduğunun bir göstergesidir.

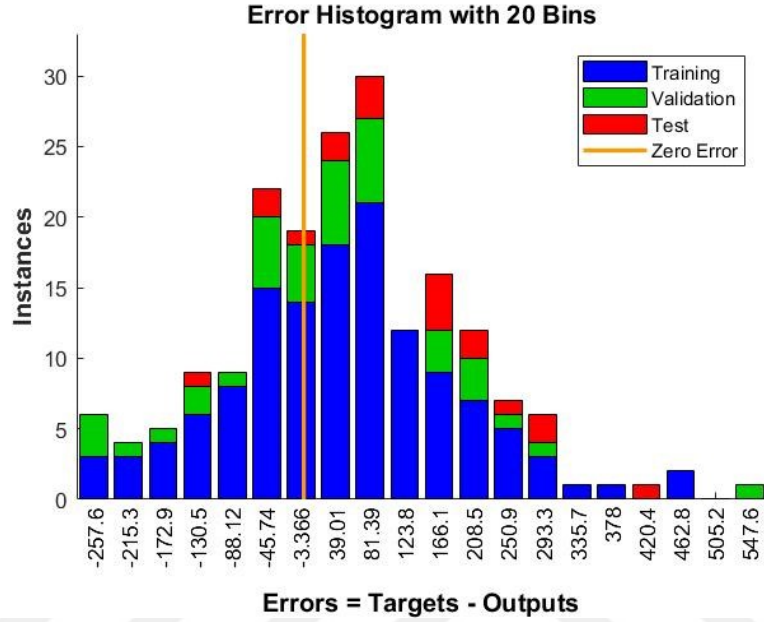


Şekil 4.30. Dik farin değirmi YSA performansı



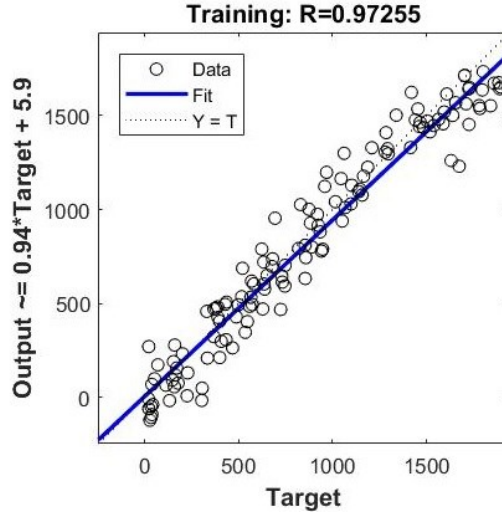
Şekil 4.31. Dik farin değirmi YSA'nın eğitim durumu

Yapay sinir ağının eğitimi, doğrulanması ve test edilmesinin hata histogramı Şekil 4.32'de gösterilmektedir. Her üç veri seti için hata yoğunluğunun sıfır çizgisine yakın olması, geliştirilen yapay sinir ağının elektriksel gücü tahmin edebileceğini göstermektedir. Kabul edilebilir bir hata payı ile tüketim değerleri.



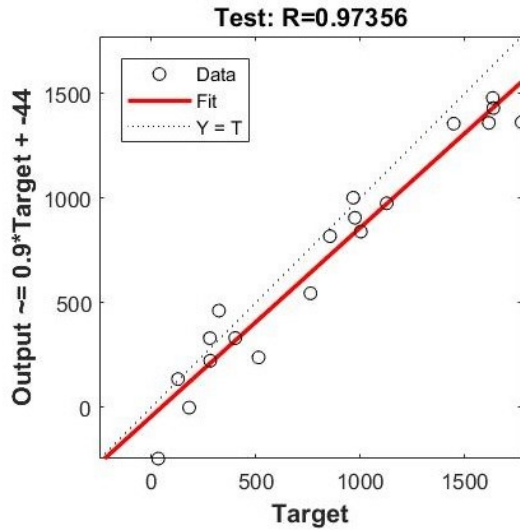
Şekil 4.32. Dik farin değirmeni YSA'nın hata histogramı

Yapay sinir ağının eğitimi, doğrulanması ve test edilmesinin hata histogramı Şekil 4.32'te gösterilmektedir. Hata yoğunluğunun her üç veri seti için sıfır çizgisinin yakınında bulunması, geliştirilen yapay sinir ağının elektrik tüketim değerlerini kabul edilebilir bir hata payı ile tahmin edebileceğini göstermektedir.



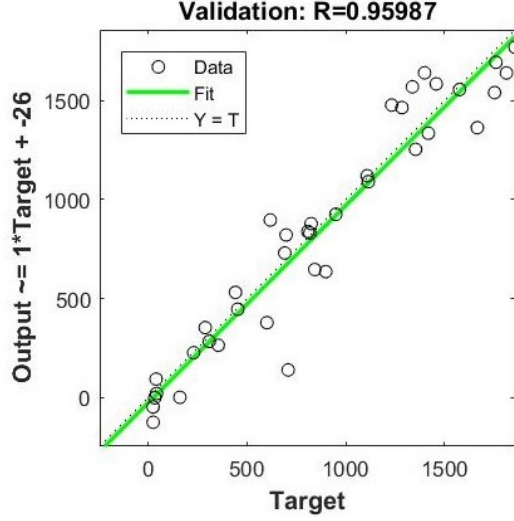
**Şekil 4.33.** Dik farin değirmeni YSA'nın eğitim verileri

Şekil 4.33, yapay sinir ağını eğitmek için veri seti ile çimento fabrikasından elde edilen deneysel verilerin bir karşılaştırmasını göstermektedir. Veri noktalarının eşitlik çizgisi çevresinde yer alması ve R değerinin 0,97255 olması, yapay sinir ağına eğitiminin başarıyla tamamlandığını göstermektedir.



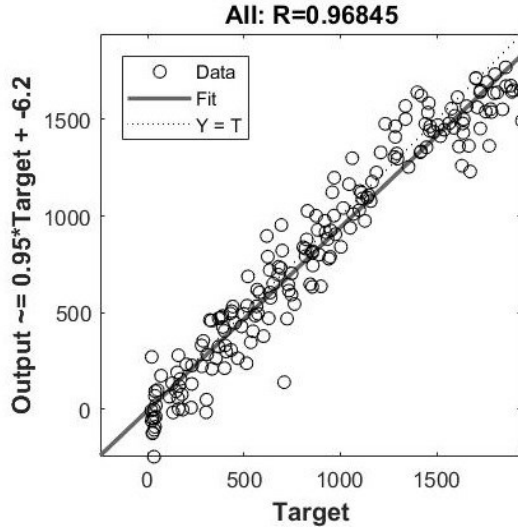
**Şekil 4.34.** Dik farin değirmeni YSA'nın test verileri

Yapay sinir ağına test verilerinin deneysel verilerle karşılaştırılması Şekil 4.34'te gösterilmektedir. Yapay sinir ağına test aşaması için kullanılan verilerin eşitlik çizgisine yakın bölgede olması, test sürecinin R değerinin 0.97356 olması, ağına test aşamasının doğru tamamlandığını göstermektedir.



**Şekil 4.35.** Dik farin değirmeni YSA'nın doğrulama verileri

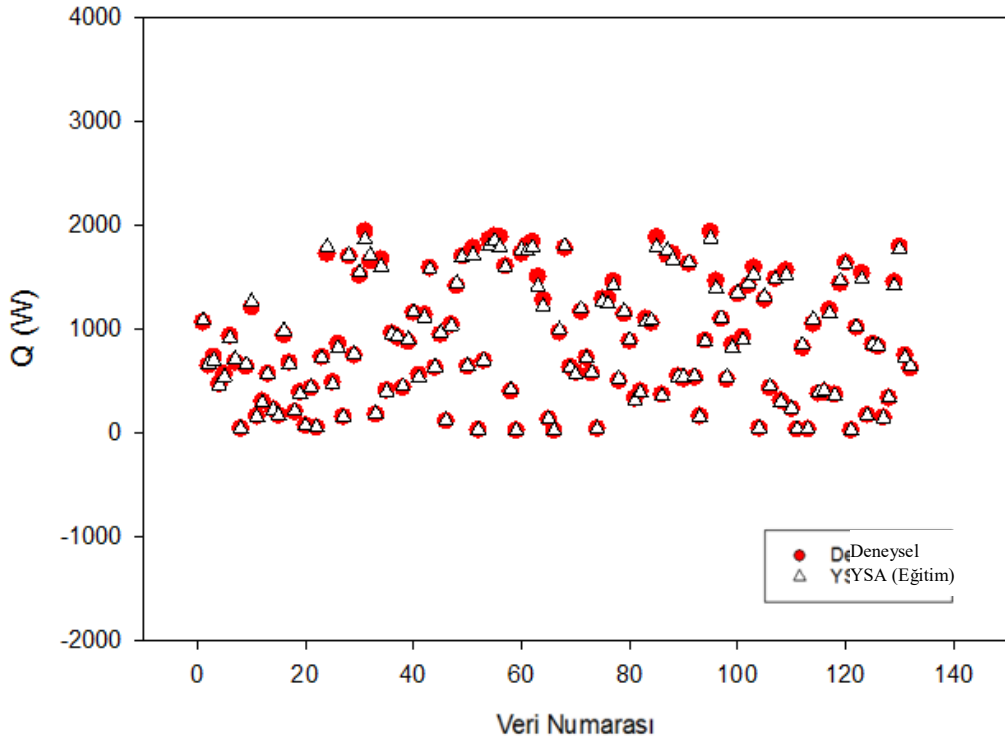
Şekil 4.35'da deneysel verilerin doğrulanması için kullanılan veri seti ile yapay sinir ağından elde edilen değerlerin bir karşılaştırması verilmiştir. Yapay sinir ağının doğrulanması için kullanılan verinin R değerinin 0.95987 olması ve verilerin eşitlik çizgisine yakın olması, doğrulama aşamasının uygun şekilde sonuçlandırıldığı anlamına gelmektedir.



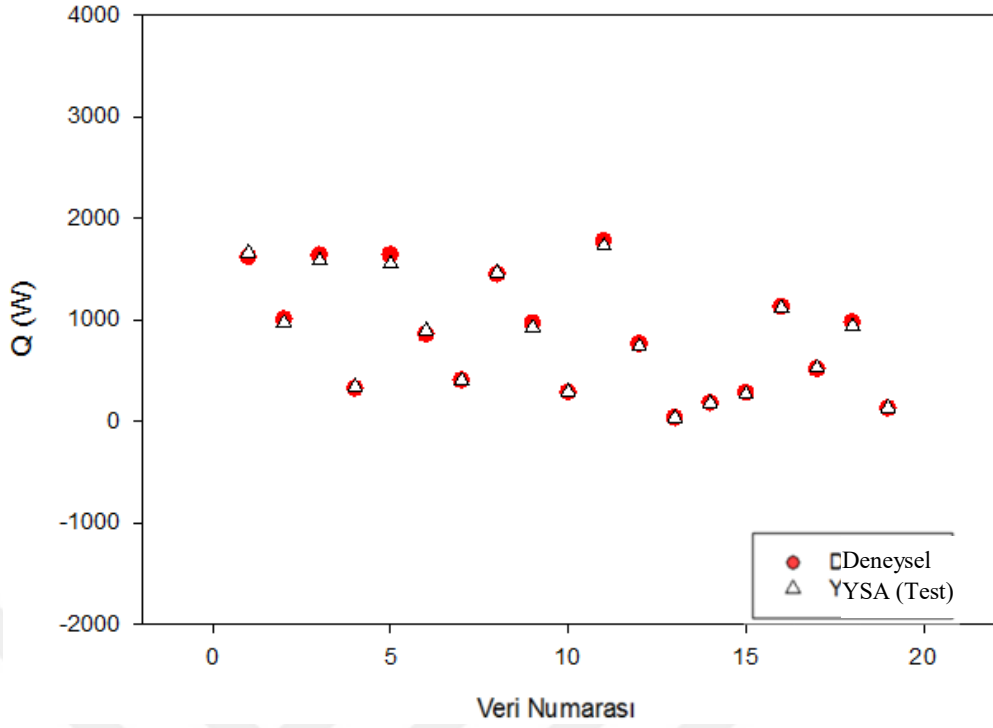
**Şekil 4.36.** Dik farin değirmeni YSA'nın tüm verileri

Şekil 4.36, yapay sinir ağının geliştirilmesi için kullanılan toplam 189 deneysel verinin sinir ağından elde edilen verilerle karşılaştırmasını göstermektedir. Tüm veri noktalarının diğer üç veri setine benzer şekilde eşitlik çizgisi etrafında yer alması ve R değerinin 0.96845 olarak elde edilmesi, yapay sinir ağının eğitim, test ve doğrulama

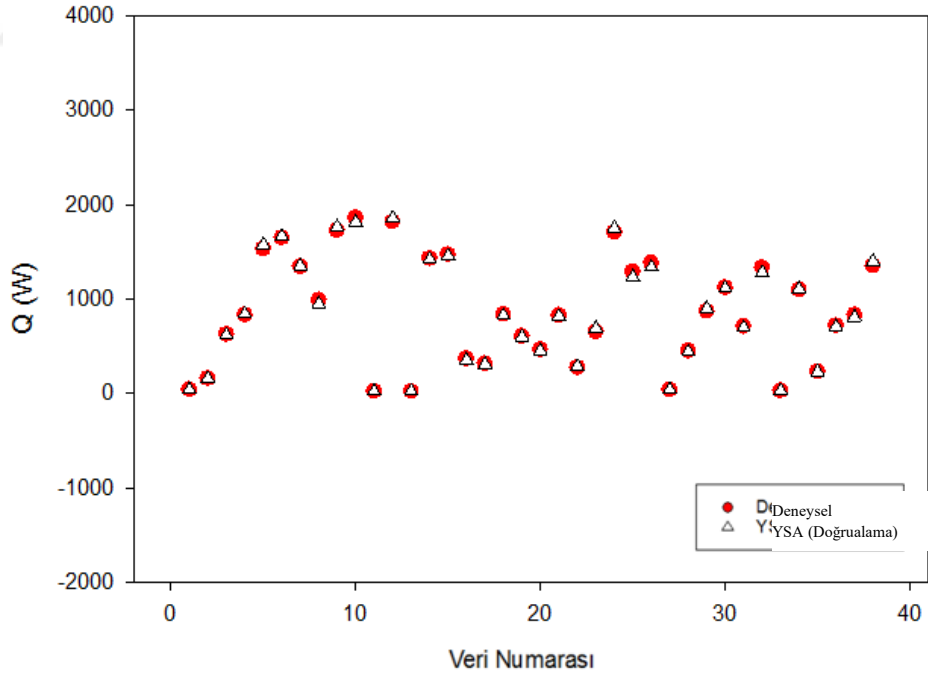
süreçlerinin ideal olarak tamamlandığını göstermektedir. Yapay sinir ağından elde edilen elektrik enerjisi tüketim değerlerinin tahmini ile çimento fabrikasından elde edilen değerler veri seti sayısı ve tüm veri sayısı için ayrı ayrı karşılaştırılmıştır. Yapay sinir ağından elde edilen değerlerin deneysel veri noktalarına çok yakın konumlandırılması, yapay sinir ağının doğruluğunun kabul edilebilir olduğunu göstermektedir. Şekil 4.37, Şekil 4.38, Şekil 4.39 ve Şekil 4.40 yapay sinir ağları ile eğitim, test, doğrulama ve tüm değerler için deneysel sonuçların karşılaştırmasını göstermektedir.



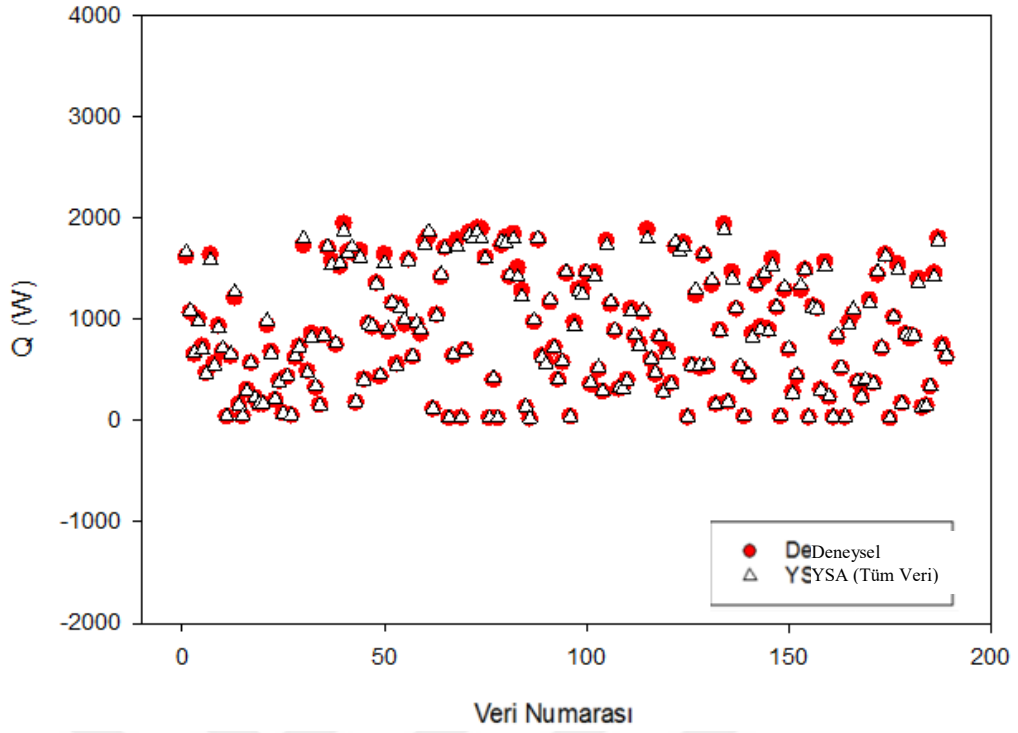
**Şekil 4.37.** Dik farin değirmeni YSA'nın eğitim verilerinin deneysel veriler ile karşılaştırılması



**Şekil 4.38.** Dik farin değirmeni YSA'nın test verilerinin deneysel veriler ile karşılaştırılması

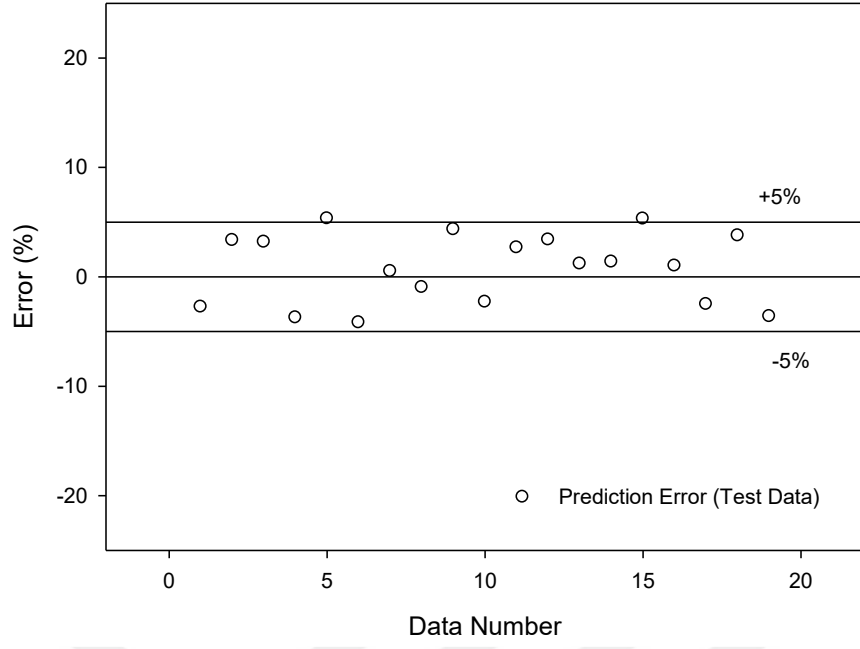


**Şekil 4.39.** Dik farin değirmeni YSA'nın Doğrulama Verilerinin Deneysel Veriler ile Karşılaştırılması

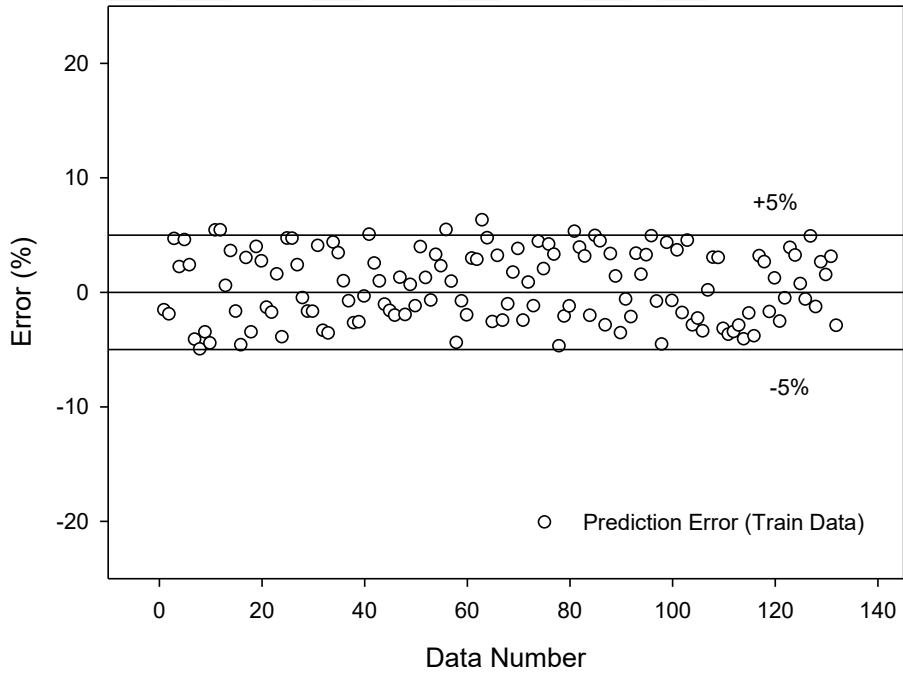


**Şekil 4.40.** Dik farin değirmeni YSA'nın tüm verilerinin deneysel veriler ile karşılaştırılması

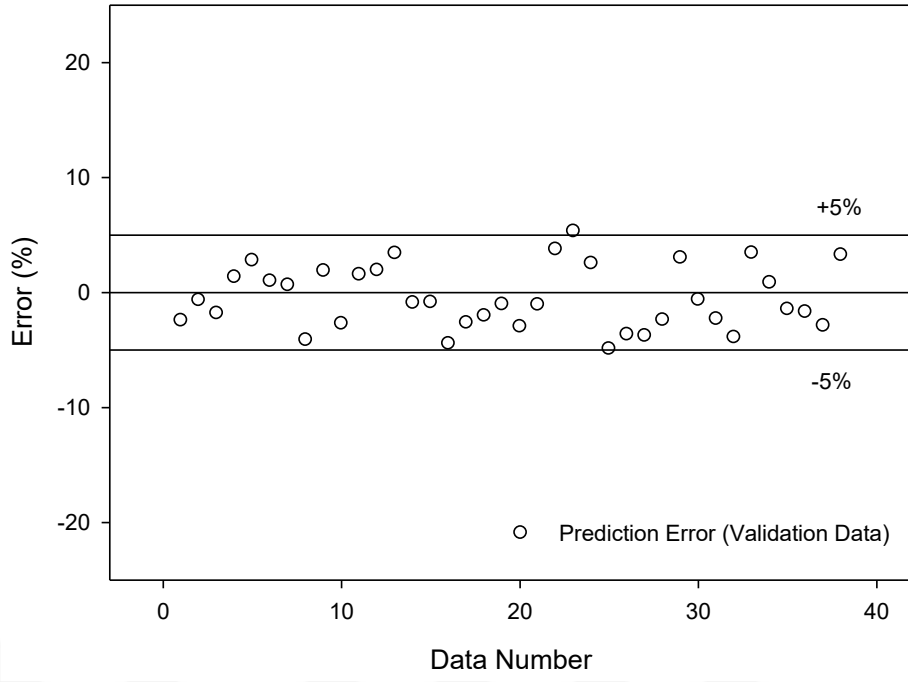
Yapay sinir ağının performans analizini yapabilmek için öncelikle sapma miktarının belirlenmesi gerekmektedir. Yapay sinir ağlarının kestirimsel doğruluğunu değerlendirmek ve yapay sinir ağlarının performansını ölçmek için yapay sinir ağı çıktılarının hata oranları deneysel verilerle ölçülür. Yapay sinir ağının hata oranları her veri seti için % -4,9 ila %5,42 aralığındadır. Kabul edilebilir hata oranlarına sahip olan yapay sinir ağının, çimento fabrikasının elektrik enerjisi tüketim değerlerini ideal doğrulukla tahmin edebildiği söylenebilir. Şekil 4.41, Şekil 4.42, Şekil 4.43 ve Şekil 4.44 incelendiğinde hata değerleri görülebilir.



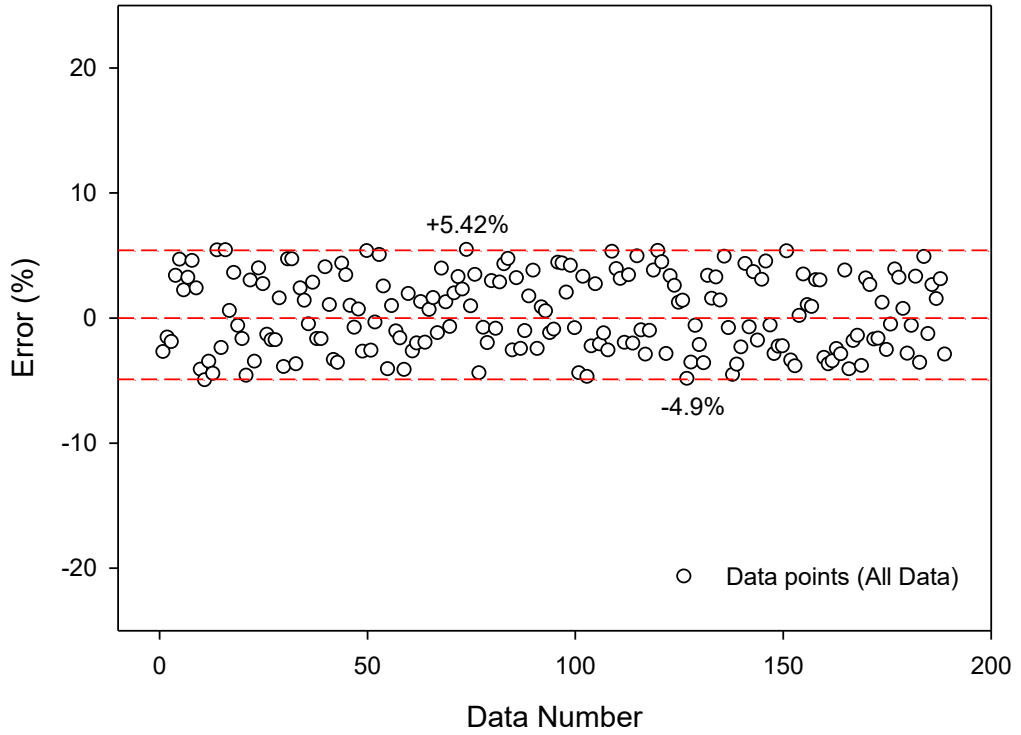
Şekil 4.41. Dik farin değirmeni YSA'nın test verilerinin hata grafiği



Şekil 4.42. Dik farin değirmeni YSA'nın eğitim verilerinin hata grafiği



Şekil 4.43. Dik farin değirmeni YSA'nın doğrulama verilerinin hata grafiği



Şekil 4.44. Dik farin değirmeni YSA'nın tüm verilerinin hata grafiği

**Çizelge 4.2.** Dik farin değirmeni YSA'nın performansı çizelgesi

Veri Seti	EKH	R	Veri Sayısı
Eğitim	6,87E+02	0,97255	132
Doğrulama	1,14E+03	0,95987	38
Test	1,05E+03	0,97356	19
Hepsi	9,83E+02	0,96845	189

Bu çalışmada, çimento fabrikasındaki farin değirmeninin elektrik tüketim değerlerini tahmin etmek için yapay bir sinir ağı geliştirilmiştir. Deneysel veriler kullanılarak geliştirilen yapay sinir ağında transfer fonksiyonu olarak Levenberg-Marquardt algoritması tercih edilmiştir. Çok katmanlı algı ileri beslemeli, geri yayımlı olarak geliştirilen yapay sinir ağının giriş katmanı 8 giriş değerine sahiptir. Gizli katmanda 20 nöron bulunan yapay sinir ağının veri seti üç bölüme ayrılmıştır. Toplam 189 veri kullanılarak geliştirilen yapay sinir ağında verilerin %70'i eğitim, %20'si test ve %10'u doğrulama için kullanıldı. 8 girdi değişkenine göre geliştirilen yapay sinir ağından çimento fabrikasındaki farin değirmeninin elektrik tüketim değerleri tahmin edildi. Yapay sinir ağı çıktıları deneysel verilerle karşılaştırılmış ve hata payları hesaplanmıştır. Sonuçlar, R değeri 0,96845 olarak hesaplanan yapay sinir ağının, ortalama %0,33 sapma ile %0,33 kabul edilebilir hata oranıyla elektrik enerjisi tüketim değerlerini tahmin edebileceğini gösterdi. Çizelge 4.2. Dik farin değirmeni YSA'nın performansı YSA'nın ortalama karesel hataları ve r değerlerini göstermektedir. Fabrikaya verilecek enerji alımlarının doğru belirlenmesi, enerji sapma maliyetlerinin önüne geçecektir. Türkiye'nin enerji ihtiyacını karşılamak için %70'in üzerinde dışarıya bağlanan enerji talebinin doğru belirlenmesi ülke ekonomisine dolaylı olarak katkı sağlayacak ekstra enerji alımının önüne geçmektedir. Çalışmada, yapay sinir ağlarının, değirmenin temel işlem girdileri aracılığıyla motor tarafından tüketilen elektrik enerjisini tahmin etmek için ideal bir araç olduğunu gösterildi.

### 4.3 Yatay Farin Değirmeni ve Dik Farin Değirmeni Kıyaslanması

Bu bölümde yatay farin değirmeni ve dik farin değirmeni ana tahrik motorlarının harcadığı elektrik enerjisinin tahmini için oluşturulan yapay sinir ağlarının kıyaslanması yapılmıştır.

### 4.3.1 Verilerin kıyaslanması

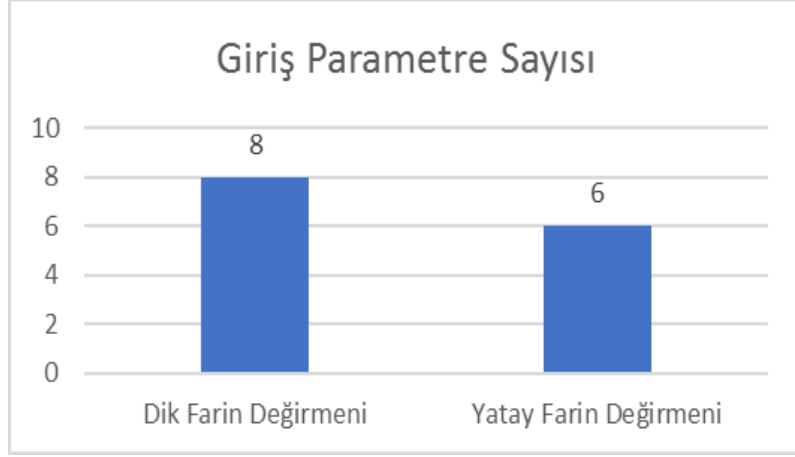
YSA ile yapılan çalışmada Yatay Farin Değirmeni ve Dikey Farin Değirmeni için sisteme özgü girişler belirlenmiştir. Yatay Farin Değirmeni için 6 (Çizelge 4.3), Dikey Farin Değirmeni için 8 (Çizelge 4.4) giriş parametresi belirlenmiştir. Bu parametreler tamamen proses üzerinde tecrübelerle dayalı olarak, uzman kişilerin yönlendirmeleri ile belirlenmiş ve ana tahrik motorunun harcadığı güce etki edecek olan parametreler olarak belirlenmiştir. Parametre sayılarının kıyaslanması Çizelge 4.5'te gösterilmiştir.

**Çizelge 4.3.** Dik farin değirmeni giriş parametreleri

Değişken	Değişken Adı	Birimi
X1	Kil Dozajlı Besleyici Gerçekleşen Değer Bilgisi	ton/saat
X2	Demir Cevheri Dozajlı Besleyici Gerçekleşen Değer Bilgisi	ton/saat
X3	1. Marn Dozajlı Besleyici Gerçekleşen Değer Bilgisi	ton/saat
X4	2. Marn Dozajlı Besleyici Gerçekleşen Değer Bilgisi	ton/saat
X5	Farin Değirmeni Seperatör Motor Hızı	%, (0-1500 rpm)
X6	Farin Değirmeni Sıcak Gaz Jaluzi Klepe Açıklık Bilgisi	%, (0-1000 rpm)
X7	Farin Değirmeni Vals Ezme Basıncı Set Değeri	bar
X8	Farin Değirmeni Seperatör Motor Hızı	%, (0-1500 rpm)

**Çizelge 4.4.** Yatay farin değirmeni giriş parametreleri

Değişken	Değişken Adı	Birimi
X1	Kil Dozajlı Besleyici Gerçekleşen Değer Bilgisi	ton/saat
X2	Demir Cevheri Dozajlı Besleyici Gerçekleşen Değer Bilgisi	ton/saat
X3	1. Marn Dozajlı Besleyici Gerçekleşen Değer Bilgisi	ton/saat
X4	Farin Değirmeni Falafon	%, (0-100)
X5	Farin Değirmeni Giriş Sıcaklık Bilgisi	°C (-70...+500)
X6	Farin Değirmen Fanı	%, (0-1000 rpm)



**Şekil 4.45.** Giriş parametre sayısı

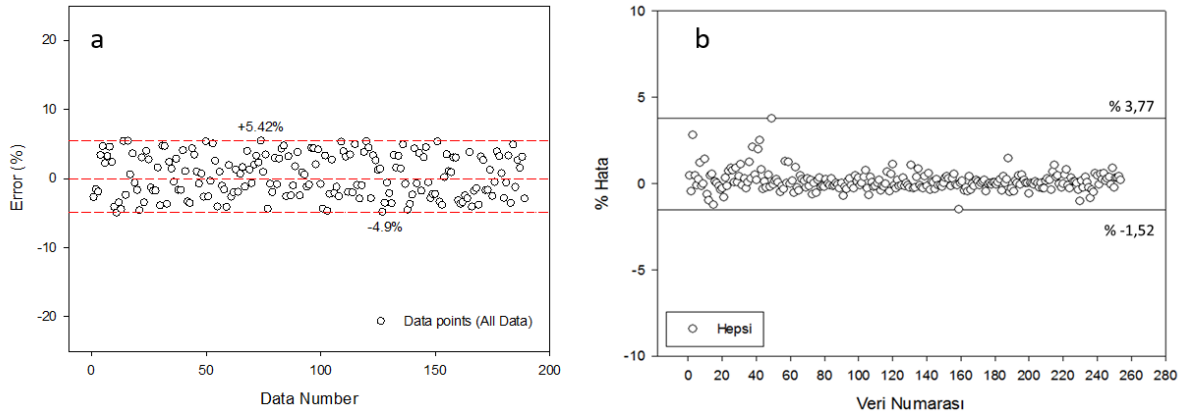
### 4.3.2 Yapay sinir ağı

Yapay sinir ağlarının giriş katmanında yatay farin değirmeni için 6, dik farin değirmeni için 8 giriş değeri kullanılırken her iki yapay sinir ağına da 20 nöron kullanılarak tek çıkış veren yapay sinir ağı modeli kullanılmıştır. Her iki yapay sinir ağına da toplam verinin %70'i ağı eğitilmesinde, %20'si ağı test edilmesinde ve %10'u ağı doğrulanmasında kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan veri sayılarına Çizelge 4.5'ten ulaşılabilir.

**Çizelge 4.5.** Yapay sinir ağlarının karşılaştırılması

Veri Seti	OKH	R	Veri Sayısı	Veri Seti	OKH	R	Veri Sayısı
Eğitim	3,50E+01	0.96591	178	Eğitim	2,04E+04	0.97255	132
Doğrulama	4,63E+01	0.99178	51	Doğrulama	2,83E+04	0.95987	38
Test	6,46E+02	0.95920	75	Test	3,32E+04	0.97356	19
Hepsi	46,345	0.99381	254	Hepsi	27327,046	0.96845	189
Yatay Farin Değirmeni				Dik Farin Değirmeni			

Yatay farin değirmeninin Ortalama Karesel Hata verileri Dik farin değirmenine göre daha iyi performans göstermiştir. Bu durum Şekil 4.46'da açıkça görülmektedir.



**Şekil 4.46.** % Hata karşılaştırılması (a) Dik farin değirmeni, (b) Yatay farin değirmeni

Yatay farin değirmeni % Hata verileri, Dik farin değirmeniye göre daha iyi sonuç vermiştir. Yatay farin değirmeni minimum ve maksimum değerleri arasındaki fark 10,02 iken dik farin değirmeninde 5,29 olarak gerçekleşmiştir.

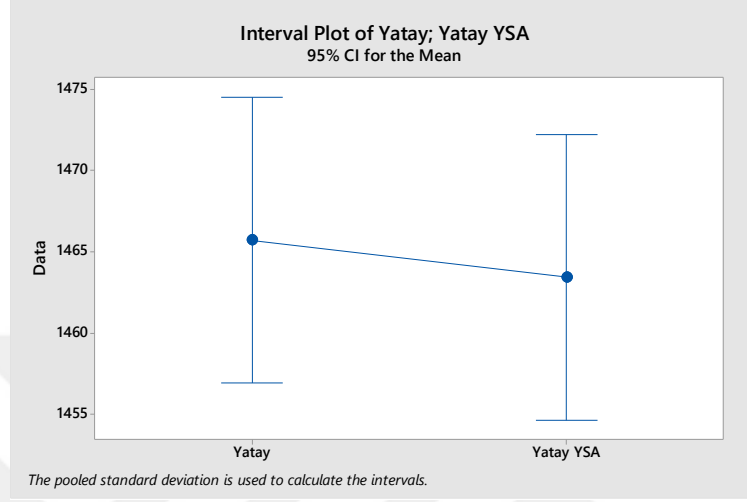
**Çizelge 4.6.** Yapay sinir ağlarının R değerleri karşılaştırılması

R Değeri	Yatay Farin Değirmeni	Dik Farin Değirmeni
<b>Eğitim</b>	0,99659	0,97255
<b>Doğrulama</b>	0,99179	0,97356
<b>Test</b>	0,95920	0,95987
<b>Hepsi</b>	0,98499	0,96845

Yapılan çalışma gösteriyor ki her iki değirmen tipi için de ana tahrik motorunun harcadığı güç yapay sinir ağları ile tahmin edilebilmektedir. Her iki YSA modeli de gösteriyor ki farin değirmeni ana tahrik motorunun harcadığı elektriksel güç, R değerlerinden hareketle ortalama %0,5 sapmanın altında kabul edilebilir hata oranıyla tahmin edebilir. (Bkz: Çizelge 4.6)

### 4.3.3 İstatistiksel analiz

Tukey Metodu kullanılarak her iki ağı da deneysel sonuçlar ile YSA'nın sonuçları karşılaştırılmıştır. Sonuçlar aşağıdaki gibidir.

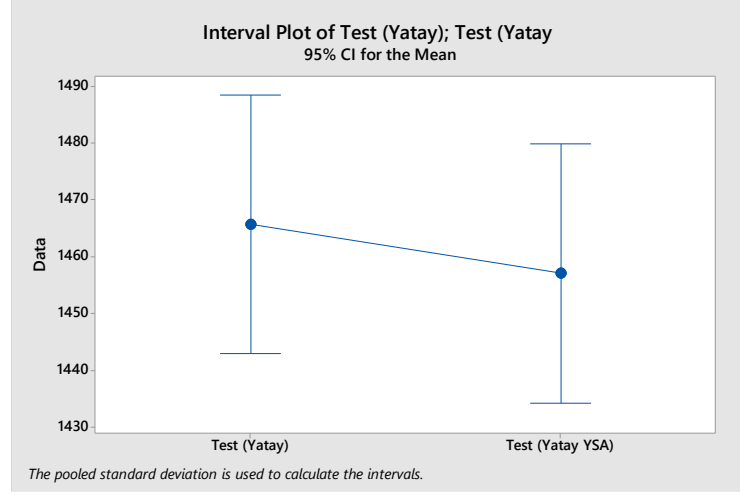


Şekil 4.47. Yatay farin değirmeni tüm data seti tukey testi karşılaştırılması

Çizelge 4.7. Yatay farin değirmeni tüm data seti tukey testi karşılaştırılması

	Yatay Farin	Yatay Farin
Ortalamalar	1465,73	1463,45

Tukey Testi sonrası Yatay Farin Değirmeni deneysel verileri ile Yapay Sinir Ağı sonuçları arasında anlamlı bir fark bulunamamıştır. %95 güvenlilikle bu sonuçlar istatistiksel olarak aynıdır. Sonuçlar Çizelge 4.7 ve Şekil 4.47 üzerinden görülmektedir.

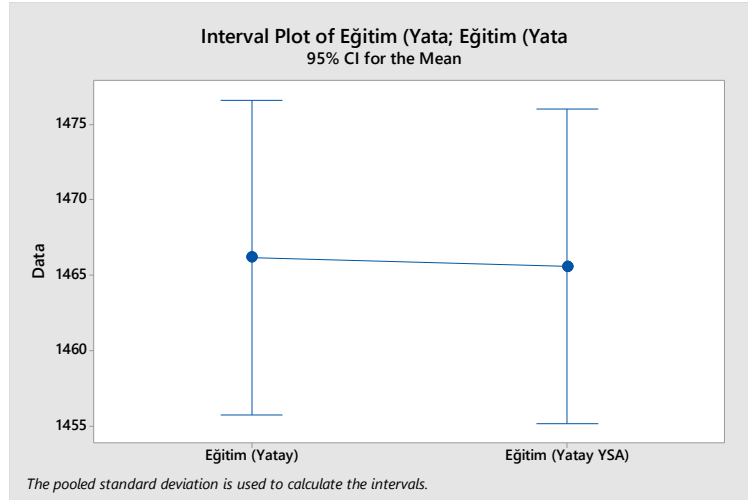


**Şekil 4.48** Yatay farin değirmi test data seti tukey testi karşılaştırılması

**Çizelge 4.8** .Yatay farin değirmi test data seti tukey testi karşılaştırılması

	Yatay Farin	Yatay Farin
Ortalamalar	1465,7	1457,1

Tukey Testi sonrası Test Veri Setinde Yatay Farin Değirmi deneysel verileri ile Yapay Sinir Ağı sonuçları arasında anlamlı bir fark bulunamamıştır. %95 güvenlilikle bu sonuçlar istatistiksel olarak ayındır. Sonuçlar Çizelge 4.8 ve Şekil 4.48 üzerinden görülmektedir.

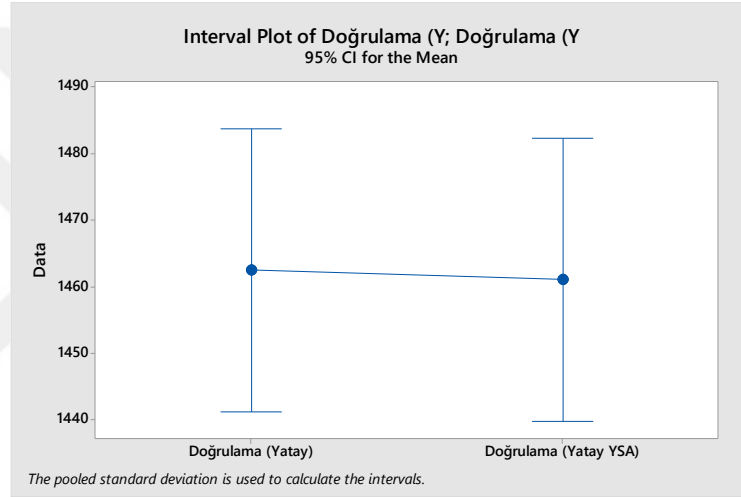


**Şekil 4.49.** Yatay farin değirmi eğitim data seti tukey testi karşılaştırılması

**Çizelge 4.9.** Yatay farin değirmeni eğitim data seti tukey testi karşılaştırılması

	Yatay Farin	Yatay Farin
Ortalamalar	1466,19	1465,61

Tukey Testi sonrası eğitim Veri Setinde Yatay Farin Değirmeni deneysel verileri ile Yapay Sinir Ağı sonuçları arasında anlamlı bir fark bulunamamıştır. %95 güvenlilikle bu sonuçlar istatistiksel olarak aynıdır. Sonuçlar Çizelge 4.9 ve Şekil 4.49 üzerinden görülmektedir.

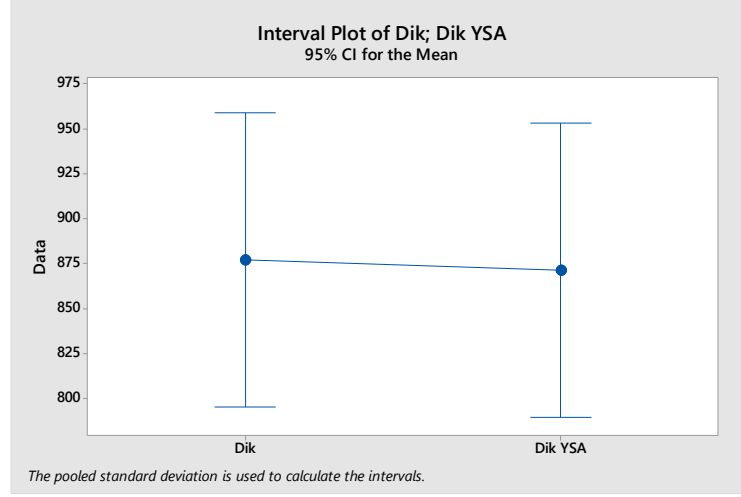


**Şekil 4.50.** Yatay farin değirmeni doğrulama data seti tukey testi karşılaştırılması

**Çizelge 4.10.** Yatay farin değirmeni doğrulama data seti tukey testi karşılaştırılması

	Yatay Farin	Yatay Farin
Ortalamalar	1462,5	1461,1

Tukey Testi sonrası doğrulama veri setinde Yatay Farin Değirmeni deneysel verileri ile Yapay Sinir Ağı sonuçları arasında anlamlı bir fark bulunamamıştır. %95 güvenlilikle bu sonuçlar istatistiksel olarak aynıdır. Sonuçlar Çizelge 4.10 ve Şekil 4.50 üzerinden görülmektedir.

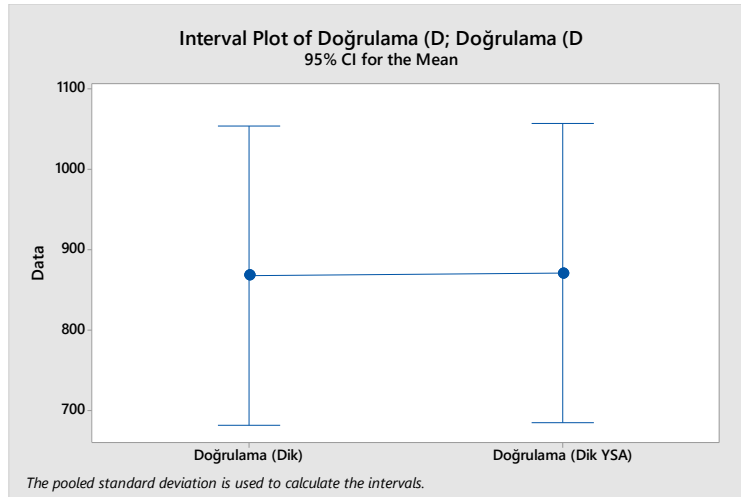


**Şekil 4.51.** Dik farin değirmeni tüm data seti tukey testi karşılaştırılması

**Çizelge 4.11.** Dik farin değirmeni tüm data seti tukey testi karşılaştırılması

	Dik Farin Değirmeni	Dik Farin
Ortalamalar	877,1	871,2

Tukey Testi sonrası tüm Veri Setinde Yatay Farin Değirmeni deneysel verileri ile Yapay Sinir Ağı sonuçları arasında anlamlı bir fark bulunamamıştır. %95 güvenilirlikle bu sonuçlar istatistiksel olarak aynıdır. Sonuçlar Çizelge 4.11 ve Şekil 4.51 üzerinden görülmektedir.

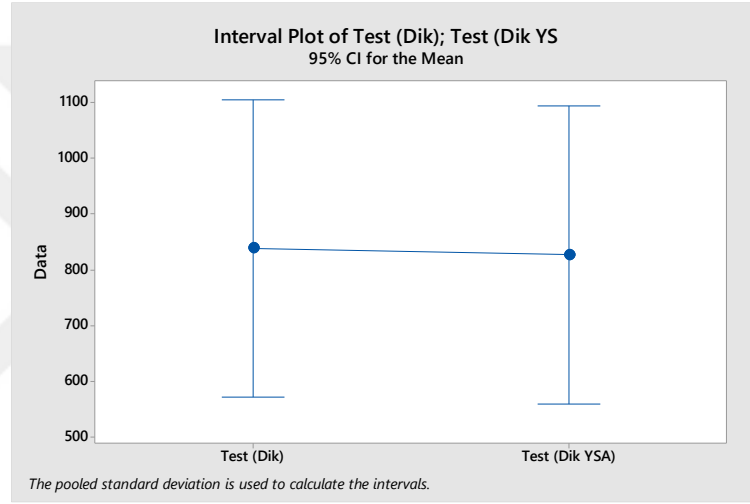


**Şekil 4.52.** Dik farin değirmeni tüm data seti tukey testi karşılaştırılması

**Çizelge 4.12.** Dik farin değirmeni tüm data seti tukey testi karşılaştırılması

	Dik Farin Değirmeni	Dik Farin
Ortalamalar	871,2	868,6

Tukey Testi sonrası doğrulama Veri Setinde Yatay Farin Değirmeni deneysel verileri ile Yapay Sinir Ağı sonuçları arasında anlamlı bir fark bulunamamıştır. %95 güvenilirlikle bu sonuçlar istatistiksel olarak aynıdır. Sonuçlar Çizelge 4.12 ve Şekil 4.52 üzerinden görülmektedir.

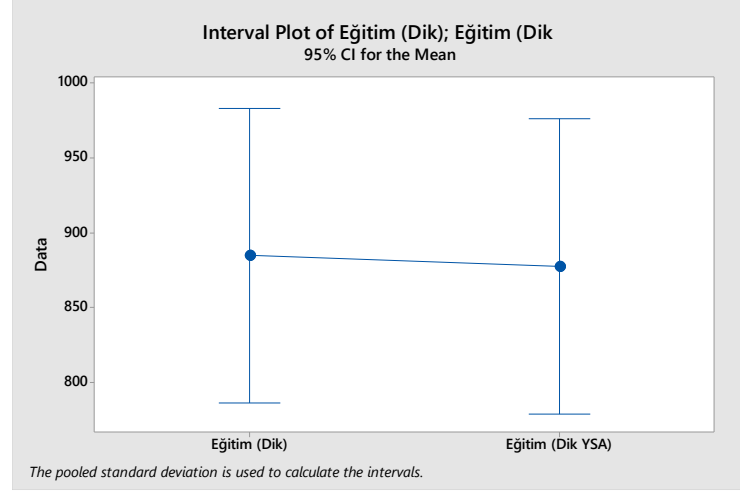


**Şekil 4.53.** Dik farin değirmeni test veri seti tukey testi karşılaştırılması

**Çizelge 4.13.** Dik farin değirmeni test veri seti tukey testi karşılaştırılması

	Dik Farin Değirmeni	Dik Farin
Ortalamalar	839	827

Tukey Testi sonrası test Veri Setinde Yatay Farin Değirmeni deneysel verileri ile Yapay Sinir Ağı sonuçları arasında anlamlı bir fark bulunamamıştır. %95 güvenilirlikle bu sonuçlar istatistiksel olarak aynıdır. Sonuçlar Çizelge 4.13 ve Şekil 4.53 üzerinden görülmektedir.



**Şekil 4.54.** Dik farin değirmeni eğitim veri seti tukey testi karşılaştırılması

**Çizelge 4.14.** Dik farin değirmeni eğitim veri seti tukey testi karşılaştırılması

	Dik Farin Değirmeni	Dik Farin
Ortalamalar	885,0	877,6

Tukey Testi sonrası eğitim Veri Setinde Yatay Farin Değirmeni deneysel verileri ile Yapay Sinir Ağı sonuçları arasında anlamlı bir fark bulunamamıştır. %95 güvenlilikle bu sonuçlar istatistiksel olarak aynıdır. Sonuçlar Çizelge 4.14 ve Şekil 4.54 üzerinden görülmektedir.

Yukarıdaki bütün analiz sonuçlarında deneysel veriler ile YSA çıktıları Tukey metodu ile test edilmiş ve sonuçların tamamı %95 güvenlilikle istatistiksel olarak aynı çıkmıştır. Yani YSA sonuçları deneysel sonuçlar ile istatistiksel olarak farklı değildir. Her iki değirmen için de YSA ile ana tahrik motoru elektriksel harcanan güçleri tahmin edilebilir.

## BÖLÜM V

### SONUÇLAR

Bu çalışmada; yatay farin değirmeni ana tahrik motorunun harcadığı elektrik gücünün yapay sinir ağları ile tahmin edilebileceği, farin değirmeni ana tahrik motorunun harcadığı elektrik gücünün yapay sinir ağları ile tahmin edilebileceği gösterilmiştir. Ayrıca bu iki ağ yapısı kıyaslanarak daha iyi performans veren çalışma gösterilmiştir.

Yapılan gözlemler, alanında uzman operatörlerin önerileri ve sürekli izleme sistemi yardımı ile dik farin değirmeni için tasarlanan ağda sonucu etkileyecek 8 proses değişkeni, yatay farin değirmeni için tasarlanan ağda sonucu etkileyen 6 preses değişkeni belirlenmiştir. Her iki yapay sinir ağında da 20 nöron kullanılarak sonuçların tahmin edilebileceği gösterilmiştir.

R değerleri kıyaslandığında yatay farin değirmeni R değeri 0,98499; dik farin değirmeni R değeri 0,96845 olarak hesaplanmıştır. R değeri daha yüksek olduğu için yatay farin değirmeni sonuçları daha güvenilir olmuştur. Bu bağlamda enerji tahmini daha yüksek doğrulukta hesaplanabileceği için dengesiz enerji alımından kaynaklanacak olan maddi külfetin yatay farin değirmeninde daha az olacağı gösterilmiştir.

Her iki ağ ayrı ayrı analiz edilmiş, tukey metodu kullanılarak deneysel veriler ile yapay sinir ağının çıktıları istatistiksel olarak analiz edilmiş, aralarında anlamlı bir farklılık tespit edilememiştir. Tukey metodu kullanılarak her iki ağ yapısının da %95 güvenilirlikle sonuçları doğru olarak tahmin ettiği ispatlanmıştır.

Yatay farin değirmeninin % hata salınımı 5,29; dik farin değirmeninin 10,02 olarak hesaplanmıştır. Buradan da anlaşıldığı gibi yatay farin değirmeni daha stabil bir sonuç vermiştir.

Yapılan bu tez çalışması ile ana tahrik motorunun harcadığı elektrik gücünün önceden tahmin edilmesinin mümkün olduğu gösterilmiştir. Bu durum kullanılacak enerjinin önceden yüksek doğrulukla tahmin edilerek fazla elektrik alımının önüne geçilmesini ve

işletmelerin fazla veya eksik elektrik tedariklerinden kaynaklanacak olan mali külfetlerinin azaltılmasına doğrudan katkı sağlayacaktır.



## KAYNAKLAR

Akman MS, Yapı Malzemesi. *İTÜ İnşaat Fakültesi Matbaası*, 1987.

Azizi EAS, "Prediction of thermal conductivity of various nanofluids using artificial neural network." *Int Commun Heat Mass Transf* 74,:69–75, 2016.

Background I and Grinding D, "Vertical roller mill for raw materials External circulating system to vertical roller mill." 67–129, 1995.

Bayraktar T, "Kırmada malzeme özellikleri ve kırma mekanizmasının etkisi; enerjinin kullanılması." *Madencilik Derg* 16,:29–34, 1975.

Bond FC, "Crushing and Grinding Calculation." *Allis-Chalmers Ind Pres Dep* 1961.

Çakır AT, "Türkiye'nin Enerji Potansiyeli, Dağılımı, İzlenen Enerji politikaları." *Ankara Üniversitesi Çevre Bilimleri Derg* 2008.

Çuhadar M, Turizm sektöründe talep tahmini için yapay sinir ağlarının kullanımı ve diğer yöntemlerle karşılaştırılmalı analizi, *Süleyman Demirel Üniversitesi*, p., 63–34, 2006.

Demirkoparan F.; Kaynar O., Taştan S., Ham petrol fiyatlarının yapay sinir ağları ile tahmini, *Ege Akademik Bakış*, 559-573, 2010.

Deolalkar SP, Handbook for Designing Cement Plants. BS Publication 2009.

Ellerbrock H. G. ; Mathiak H, Öğütme Teknolojisi ve Enerji Kullanımı. *TCMB*, 1995.

EPDK, Elektrik Piyasası Gelişim Raporu. **T.C. Enerji Piyasası Düzenleme Kurulu** 2018.

Ergün SDŞL, “Karıştırmalı bilyalı değirmenler.” *Madencilik Derg* 4,:3–15, 2006

Ertün T, Çimento Kimyası. *TÇMB*, Ankara, 2007.

ETKB, EIGM Raporları. **T.C. Enerji Piyasası Düzenleme Kurulu** 2020.

Hacıfazlıoğlu H, “İnce ve Çok İnce Öğütme için Alternatif Değirmen Tiplerinin Tanıtılması Introduction of Alternative Mills for Fine and Ultra Fine Grinding.” 01,:17–30, 2009.

Hao Z, Horizontal roller mill. 7, U.S., 2006.

IEA, Key World Energy Statistic. 2019.

Karimi MAABVG, “Prediction of thermal conductivity of alumina water-based nanofluids by artificial neural networks.” *Powder Technol* 278,:1–10, 2015.

Karimipour HKDTA, “Effect of nanoparticles to present astatistical model for the viscosity of MgO-Water nanofluid.” *Powder Technol* 342,:166–180, 2019.

Kutay CHF, “Neural Netwok with Turkey Electricity Consumption Forecast to 2010.” *Gazi Univ Fac Eng Archit J* 19,:227–233, 2004.

Loesche, “Loesche-Mills for solid fuels.” Loesche 2016.

Lynch AJ, “Mineral Crushing and Grinding Cİrcuit.” *Elsevier Sci Publ Com* 1977.

Misaka, T., Furukawa, T., Onuma, E., Obana, H., Fukuyama, K., Tanaka, T., Murata, H. and Shimojima K, No Title. U.S., 1986.

Onat L, Çimentonun Kimyası ve Üretimi. *Balıkesir Çimento Yayınları*, Balıkesir, 1997.

Özgener AHÖ, Turkey’s Renewable Energy Sources Part 1. 2004.

Öztemel E, Yapay Sinir Ağları, Papatya Yayıncılık, 2003.

Rostami HSAKMH, “Application of hybrid neural particle swarm optimization algorithm for prediction of MMP.” *Fuel* 116,:625–633, 2014.

S. Jung SK, “Weighted error functions in artificial neural networks for improved wind energy potential estimation.” *Appl Energy* 111,:778–790, 2013.

Toraman ÖY, “Yatay karıştırılmalı bilyalı değirmen.” *Niğde Üniversitesi Mühendislik Bilim Derg* 2,:99–106, 2015.

Tsakalakis KG and Stamboltzis GA, “Correlation of the Blaine value and the d 80 size of the cement particle size distribution.” 2016.

Türk OCİAT, “İnce öğütme teknolojisinde karıştırılmalı ortam değirmenleri ve cevher hazırlamadaki uygulamaları.” *İstanbul Yerbilim Derg* 2,:66–73, 2008.

Wills BA, No Title. Mineral Processing Technology. *Pregmon International Library*, 1997.

Yeniboğanlı A, Çimento: Yeni Bir Çağın Malzemesi. *TÇMB*, 2004.

Yurtoğlu H, “Yapay sinir ağları metodolojisi ile öngörü modellenmesi: bazı makroekonomik değişkenler için Türkiye örneği”, *DPT Uzmanlık Tezleri*, 2005.

## ÖZ GEÇMİŞ

Osman Ozan Yagız 01.03.1991 tarihinde Niğde’de doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini Niğde’de tamamladı. 2009 yılında, Erciyes Üniversitesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü’nde başladığı lisans programından Haziran 2013’te hem bölüm hem de fakülte birincisi olarak mezun oldu. Lisans eğitimi süresince Türktelekom A.Ş., TAI ve Kayseri Şeker Fabrika’sında stajyerlikler yaptı. Mezun olduktan sonra Ekim 2014’te Niğde ÇİMSA Çimento fabrikası Bakım-Planlama departmanında Elektrik-Elektronik Mühendisi olarak başladığı görevine hala devam etmektedir. Ayrıca, 2017 yılında Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği ABD’de başladığı Yüksek Lisans eğitime de devam etmektedir. Burada da yapay sinir ağları üzerine tez çalışmasını yürütmektedir.

