

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**TÜRK TELEKOMÜNİKASYON A.Ş.'DE
ELEKTRİK ENERJİSİ TÜKETİMİNİN
YAPAY SİNİR AĞLARI İLE YEREL TAHMİNİ**

Elektrik Mühendisi Yıldıray KAYA

**FBE Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı Sistem Mühendisliği Programında
Hazırlanan**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Danışmanı : Yrd. Doç. Dr. Alev T. GÜMÜŞ

İSTANBUL, 2010

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ	v
KISALTMA LİSTESİ	vi
ŞEKİL LİSTESİ	ix
ÇİZELGE LİSTESİ	xi
ÖNSÖZ	xiii
ÖZET	xiv
ABSTRACT	xv
1. GİRİŞ	1
2. ENERJİ VE TELEKOMÜNİKASYON SEKTÖRÜ	3
2.1 Enerji Sektörü	3
2.1.1 Enerjinin Tanımı	3
2.1.1.1 Potansiyel Enerji:	3
2.1.1.2 Kinetik Enerji:	4
2.1.2 Dünyada Enerji Sektörü	4
2.1.3 Türkiye’de Enerji Sektörü	7
2.1.4 Türkiye’de Enerji Sektöründe Kurumsal Yapılanma	10
2.1.4.1 Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı (ETKB)	10
2.1.4.2 Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu (EPDK)	10
2.1.4.3 Elektrik İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğü (EİE)	10
2.1.4.4 Türkiye Elektrik İletim A.Ş. Genel Müdürlüğü (TEİAŞ)	10
2.1.4.5 Elektrik Üretim A.Ş. Genel Müdürlüğü (EÜAŞ)	11
2.1.4.6 Türkiye Elektrik Ticaret ve Taahhüt A.Ş. Genel Müdürlüğü (TETAŞ)	11
2.1.4.7 Türkiye Elektrik Dağıtım A.Ş. Genel Müdürlüğü (TEDAŞ)	11
2.1.4.8 Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü (DSİ)	11
2.1.4.9 Türkiye Kömür İşletmeleri Kurumu Genel Müdürlüğü (TKİ)	11
2.1.4.10 Türkiye Taşkömürü Kurumu Genel Müdürlüğü (TTK)	11
2.1.4.11 Türkiye Petrolleri Anonim Ortaklığı Genel Müdürlüğü (TPAO)	11
2.1.4.12 Boru Hatları İle Petrol Taşımacılığı A. Ş Genel Müdürlüğü (BOTAŞ)	12
2.1.4.13 Türkiye Petrol Rafinerileri A.Ş. Genel Müdürlüğü (TÜPRAŞ)	12
2.1.4.14 Türkiye Atom Enerjisi Kurumu Başkanlığı (TAEK)	12
2.1.4.15 Petrol İşleri Genel Müdürlüğü (PİGM)	12
2.1.4.16 Maden Tetkik Arama Genel Müdürlüğü (MTA)	12
2.1.4.17 Devlet Planlama Teşkilatı Müsteşarlığı	12
2.1.4.18 Hazine Müsteşarlığı	13
2.2 Telekomünikasyon Sektörü	13
2.2.1 Telekomünikasyonun Tanımı	13
2.2.2 Dünyada Telekomünikasyon Sektörü	14
2.2.2.1 Özelleştirme, Liberalizasyon, Globalizasyon – Konsolidasyon	15

2.2.2.2	Teknolojik Gelişmeler ve Yeni Ürünler	16
2.2.2.3	Yakınsama (Convergence)	16
2.2.3	Türkiye’de Telekomünikasyon Sektörü	17
2.2.4	Türk Telekomünikasyon Anonim Şirketi’nin Kurumsal Yapısı	19
2.2.5	Türk Telekomünikasyon A.Ş.’nin Vizyonu, Misyonu ve Değerleri	20
2.3	Türk Telekom A.Ş. ve Enerji	21
3.	ELEKTRİK ENERJİSİ TÜKETİM TAHMİNİNİN LİTERATÜR İNCELEMESİ.	23
3.1	Yüksek Enerji Tüketimli Endüstriyel Sektörlerde YSA Kullanarak Yıllık Elektrik Tüketim Tahmini	23
3.2	YSA Kullanarak Türkiye’nin Elektrik Tüketiminin Modellenmesi ve Tahmini ...	25
3.2.1	Ekonomik Ölçütlere Göre Modelleme	26
3.2.2	İthalat-ihracat Oranları ile Modelleme:	26
3.2.3	Zamana Bağlı Modelleme:	27
3.3	Tayvan Elektrik Tüketiminin Lineer ve Non Lineer Tahmininin Karşılaştırılması	27
3.4	Literatürlerin Değerlendirilmesi	28
3.5	Türkiye’de Yapılan Bazı Enerji Talep Tahmin Çalışmaları.....	29
4.	YAPAY SİNİR AĞLARI (YSA) ve REGRESYON ANALİZİ	31
4.1	Yapay Sinir Ağları (YSA)	31
4.1.1	Yapay Sinir Ağlarının Kısa Tarihçesi	32
4.1.2	Yapay Sinir Ağlarının Genel Özellikleri	32
4.1.3	Biyolojik Sinir Ağları ve Nöronun Biyolojik Yapısı.....	33
4.1.4	Nöron Modeli	35
4.1.5	Yapay Sinir Ağlarının Katmanları.....	35
4.1.5.1	Giriş Katmanı	35
4.1.5.2	Ara Katmanı	36
4.1.5.3	Çıkış Katmanı	36
4.1.6	Yapay Sinir Ağlarının Yapısı ve İşlem Elemanı	36
4.1.7	Transfer Fonksiyonları	39
4.1.7.1	Keskin Limitli Transfer Fonksiyonu	39
4.1.7.2	Doğrusal Transfer Fonksiyonu	39
4.1.7.3	Log-Sigmoid Transfer Fonksiyonu	40
4.1.7.4	Hiperbolik Tanjant Sigmoid Transfer Fonksiyonu.....	40
4.1.8	Giriş İşareti Sınıfları	41
4.1.9	Yapay Sinir Ağlarının Sınıflandırılması.....	42
4.1.9.1	Yapılarına Göre Yapay Sinir Ağları	42
4.1.9.2	Öğrenme Algoritmalarına Göre Yapay Sinir Ağları	43
4.1.9.3	Öğrenme Zamanına Göre Yapay Sinir Ağları	44
4.1.10	Yapay Sinir Ağlarında Eğitim	44
4.1.10.1	Eğitim Algoritmaları.....	44
4.1.10.2	Bellek.....	45
4.1.10.3	Hata Toleransı	45
4.1.11	Öğrenme Kuralları.....	46
4.1.12	Perceptron.....	46
4.1.13	Çok Katmanlı Perceptron Ağı (Multi-layer Perceptron-MLP).....	47
4.1.14	Yapay Sinir Ağlarının Üstünlükleri.....	50
4.1.15	Yapay Sinir Ağlarının Dezavantajları	53
4.2	Regresyon Analizi	54

4.2.1	Tek Değişkenli Regresyon Analizi.....	55
4.2.2	Çok Değişkenli Regresyon Analizi	55
4.2.3	Doğrusal Regresyon Analizi.....	57
4.2.4	Doğrusal Olmayan Regresyon Analizi	58
5.	TÜRK TELEKOM A.Ş.'NİN İSTANBUL ANADOLU YAKASI İLİNE AİT ELEKTRİK ENERJİSİ TÜKETİM TAHMİNİ UYGULAMASI.	60
5.1	Enerji Tüketim Tahmininin YSA Uygulaması	60
5.1.1	Uygulama İçin Kullanılan YSA Modelleri.....	61
5.1.2	Uygulama İçin Kullanılan YSA Modellerinin Eğitilmesi ve Eğitim Hataları.....	67
5.1.3	Uygulama İçin Kullanılan YSA Modellerinin Test Edilmesi ve Test Hataları	76
5.2	Regresyon Analizi Uygulaması	83
5.2.1	Altı Yıllık Verilerin Doğrusal Regresyon Analizi.....	84
5.2.1.1	Saçılım Grafikleri	84
5.2.1.2	İkili Regresyon Analizi.....	85
5.2.2	On Yıllık Verilerin Doğrusal Regresyon Analizi	88
5.2.2.1	Saçılım Grafikleri	89
5.2.2.2	İkili Regresyon Analizi.....	90
5.2.3	İkili Regresyon Analizi (Adsl Abone Sayıları ve Sıcaklık Değerleri Bağımsız Değişkenler)	93
5.3	Uygulama ile Elde Edilen Elektrik Tüketim Tahmin Değerleri.....	95
6.	SONUÇLAR ve ÖNERİLER.	98
	KAYNAKLAR.....	101
	ÖZGEÇMİŞ.....	103

SİMGE LİSTESİ

a	Nöronun çıkışını belirtmektedir
b	Nöronun bias değerini
f	Transfer fonksiyonunu
n	Transfer fonksiyonunun girişi
p	ANOVA tablosundaki anlamlılık değeri
r	Korelasyon katsayısı
w	p girişi ile nöron arasındaki ağırlık değerini
X	Bağımsız (açıklayıcı) değişken
Y	Bağımlı (açıklanan; etkilenen; cevap) değişken
α	step size (öğrenme katsayısı)
β	momentum
β_0	$X=0$ olduğunda bağımlı değişkenin alacağı değer (kesim noktası)
β_1	Regresyon katsayısı
ε	Hata terimi
p	Nöronun girişi olan skaler değeri

KISALTMA LİSTESİ

AB	Avrupa Birliği
ADSL	Asymmetric Digital Subscriber Line
ANOVA	Analysis of Variance
ARMA	Autoregressive Moving Average Model
ARMAX	Autoregressive Moving Average Model with Exogenous Inputs Model
ATM	Automated Teller Machine
BOTAŞ	Boru Hatları İle Petrol Taşımacılığı Anonim Şirketi
BPA	Back Propagation Algorithm
BTK	Bilgi Teknolojileri ve İletişim Kurumu
CANFIS	Co-Active Neuro Fuzzy Inference System
CPI	Consumer Price Index
CV	Cross Validation
DEKTMK	Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi
DPT	Devlet Planlama Teşkilatı Müsteşarlığı
DSİ	Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü
EİE	Elektrik İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğü
EPDK	Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu
ETKB	Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı
EÜAŞ	Elektrik Üretim Anonim Şirketi
GDP	Gross of Domestic Production
GPRM	Grey Prediction With Rolling Mechanism
GRNN	Generalized Regression Neural Network
GSM	Global System for Mobile Communications
GSMH	Gayri Safi Mili Hasıla
IPTV	Internet Protocol Television
ITU	International Telecommunication Union
LNG	Liquefied Natural Gas
LNREG	Multiple Log-Linear Resression
LPG	Liquefied Petroleum Gas
MAE	Mean Absolute Error
MAED	Model for Assessment of Energy Demand
MAPE	Mean Absolute Percentage Error
MLP	Multi Layer Perceptron

MSE	Mean Square Error
MTA	Maden Tetkik Arama Genel Müdürlüğü
NI	National Income
NMSE	Normalized Mean Square Error
OECD	Organization for Economic Cooperation and Development
OTAŞ	Ojer Telekomünikasyon Anonim Şirketi
PCA	Principal Component Analysis Network
PİGM	Petrol İşleri Genel Müdürlüğü
PNN	Probabilistic Neural Network
POP	Population
PSTN	Public Switched Telephone Network
PTT	Posta ve Telgraf ve Telefon İdaresi
RBF	Radial Basis Function
RSREG	Response Surface Regression
RMSE	Root Mean Square Error
SBC	Southwestern Bell Telephone Company
SOFM	Self-Organizing Feature Map Network
SPK	Sermaye Piyasası Kurulu
SPSS	Statistical Package for the Social Sciences
SRM	Standart Regresyon Modeli
SVM	Support Vector Machine
TAEK	Türkiye Atom Enerjisi Kurumu Başkanlığı
TEDAŞ	Türkiye Elektrik Dağıtım Anonim Şirketi
TEİAŞ	Türkiye Elektrik İletim Anonim Şirketi
TETAŞ	Türkiye Elektrik Ticaret ve Taahhüt Anonim Şirketi
TKİ	Türkiye Kömür İşletmeleri Kurumu Genel Müdürlüğü
TLRN	Time Lag Recurrent Network
TPAO	Türkiye Petrolleri Anonim Ortaklığı Genel Müdürlüğü
TTK	Türkiye Taşkömürü Kurumu Genel Müdürlüğü
TÜPRAŞ	Türkiye Petrol Rafinerileri
UEA	Uluslararası Enerji Ajansı
UETM	Ulusal Enerji Tasarruf Merkezi
UMTS	Universal Mobile Telecommunications System
VDSL2	Very-High-Speed Digital Subscriber Line 2

VOIP	Voice over Internet Protocol
WiMAX	Worldwide Interoperability for Microwave Access
xDSL	Digital Subscriber Line
YSA	Yapay Sinir Ağları

ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 4.1	Biyolojik nöron/sinir hücresinin şematik yapısı.....34
Şekil 4.2	Yapay Sinir Ağlarının Katmanları35
Şekil 4.3	Tek girişli nöron modeli36
Şekil 4.4	Birden fazla girişli nöron modeli.....37
Şekil 4.5	Nöron modeli.....37
Şekil 4.6	YSA'nın basit ağ yapısı.....38
Şekil 4.7	Genel işlem elemanı yapısı39
Şekil 4.8	Keskin-limitli (hard-limit) transfer fonksiyonunun grafiği39
Şekil 4.9	Doğrusal (linear) transfer fonksiyonunun grafiği.....40
Şekil 4.10	Log-Sigmoid fonksiyonunun grafiği40
Şekil 4.11	Hiperbolik tanjant sigmoid fonksiyonunun grafiği41
Şekil 4.12	Komşu hücrelerin merkez hücreye etkisi41
Şekil 4.13	Tetikleyici ve yasaklanan girişlere sahip bir işlem elemanı.....42
Şekil 4.14	Perceptron modeli47
Şekil 4.15	Geriye yayımlı algoritma49
Şekil 4.16	Üç katmanlı basit bir YSA örneği49
Şekil 4.17	Saçılım grafiğinde gözlemlenebilecek durumlar ve anlamları.....54
Şekil 4.18	Doğrusal olmayan regresyon.....58
Şekil 5.1	MLP ağı.....61
Şekil 5.2	Genelleştirilmiş ileri beslemeli ağ (generalized feed forward network)63
Şekil 5.3	Modüler yapay sinir ağı.....63
Şekil 5.4	Jordan/Elman ağı.....64
Şekil 5.5	PCA ağı64
Şekil 5.6	RBF ağı65
Şekil 5.7	SOFM ağı65
Şekil 5.8	TLRN ağı.....66
Şekil 5.9	Tekrarlanan yapay sinir ağı66
Şekil 5.10	CANFIS ağı.....67
Şekil 5.11	SVM ağı67
Şekil 5.12	MLP ağının eğitim ve çapraz doğrulama MSE grafiği68
Şekil 5.13	Genelleştirilmiş ileri beslemeli ağın eğitim ve çapraz doğrulama MSE grafiği.....68
Şekil 5.14	Modüler sinir ağının eğitim ve çapraz doğrulama MSE grafiği.....69

Şekil 5.15	Jordan/Elman ağıının eğitim ve çapraz doğrulama MSE grafiğı	70
Şekil 5.16	PCA ağıının eğitim ve çapraz doğrulama MSE grafiğı.....	70
Şekil 5.17	RBF ağıının eğitim ve çapraz doğrulama MSE grafiğı	71
Şekil 5.18	SOFM ağıının eğitim ve çapraz doğrulama MSE grafiğı.....	72
Şekil 5.19	TLRN ağıının eğitim ve çapraz doğrulama MSE grafiğı	72
Şekil 5.20	Tekrarlanan ağıın eğitim ve çapraz doğrulama MSE grafiğı	73
Şekil 5.21	CANFIS ağıının eğitim ve çapraz doğrulama MSE grafiğı	74
Şekil 5.22	SVM ağıının eğitim ve çapraz doğrulama MSE grafiğı.....	74
Şekil 5.23	MLP ağıının test verilerinin gerçek değeri ve tahmini değeri grafiğı	76
Şekil 5.24	Genelleştirilmiş ileri beslemeli ağıın test verilerinin gerçek değeri ve tahmini değeri grafiğı	77
Şekil 5.25	Modüler sinir ağıının test verilerinin gerçek değeri ve tahmini değeri grafiğı...	77
Şekil 5.26	Jordan/Elman ağıının test verilerinin gerçek değeri ve tahmini değeri grafiğı ..	78
Şekil 5.27	PCA ağıının test verilerinin gerçek değeri ve tahmini değeri grafiğı.....	79
Şekil 5.28	RBF ağıının test verilerinin gerçek değeri ve tahmini değeri grafiğı	79
Şekil 5.29	SOFM ağıının test verilerinin gerçek değeri ve tahmini değeri grafiğı.....	80
Şekil 5.30	TLRN ağıının test verilerinin gerçek değeri ve tahmini değeri grafiğı	81
Şekil 5.31	Tekrarlanan ağıın test verilerinin gerçek değeri ve tahmini değeri grafiğı	81
Şekil 5.32	CANFIS ağıının test verilerinin gerçek değeri ve tahmini değeri grafiğı	82
Şekil 5.33	SVM ağıının test verilerinin gerçek değeri ve tahmini değeri grafiğı.....	83
Şekil 5.34	SPSS adsl abone sayıları ile elektrik tüketim değeri ve tahmini değeri grafiğı	84
Şekil 5.35	SPSS sıcaklık değeri ve tahmini değeri ile elektrik tüketim değeri ve tahmini değeri grafiğı	85
Şekil 5.36	SPSS adsl abone sayıları ile elektrik tüketim değeri ve tahmini değeri grafiğı	89
Şekil 5.37	SPSS sıcaklık ile elektrik tüketim değeri ve tahmini değeri grafiğı.....	90

ÇİZELGE LİSTESİ

	Sayfa
Çizelge 2.1	Dünyada gerçekleştirilen başlıca Telekom özelleştirmeleri..... 15
Çizelge 2.2	Türk Telekom A.Ş.'nin sermaye yapısı..... 19
Çizelge 3.1	Araştırılan literatürlerdeki YSA modellerinin karşılaştırılması 28
Çizelge 4.1	Geleneksel algoritmalar ile YSA'lar 54
Çizelge 5.1	MLP ağı ile yapılan denemelerden en iyi 20 tanesinin özeti 62
Çizelge 5.2	MLP ağının eğitim ve çapraz doğrulama hataları 68
Çizelge 5.3	Genelleştirilmiş ileri beslemeli ağın eğitim ve çapraz doğrulama hataları 69
Çizelge 5.4	Modüler sinir ağının eğitim ve çapraz doğrulama hataları..... 69
Çizelge 5.5	Jordan/Elman ağının eğitim ve çapraz doğrulama hataları 70
Çizelge 5.6	PCA ağının eğitim ve çapraz doğrulama hataları..... 71
Çizelge 5.7	RBF ağının eğitim ve çapraz doğrulama hataları 71
Çizelge 5.8	SOFM ağının eğitim ve çapraz doğrulama hataları..... 72
Çizelge 5.9	TLRN ağının eğitim ve çapraz doğrulama hataları 73
Çizelge 5.10	Tekrarlanan ağın eğitim ve çapraz doğrulama hataları 73
Çizelge 5.11	CANFIS ağının eğitim ve çapraz doğrulama hataları 74
Çizelge 5.12	SVM ağının eğitim ve çapraz doğrulama hataları..... 75
Çizelge 5.13	YSA modellemelerinin karşılaştırmalı eğitim hataları analizi 75
Çizelge 5.14	MLP ağının test verilerinin hata oranları 76
Çizelge 5.15	Genelleştirilmiş ileri beslemeli ağın test verilerinin hata oranları 77
Çizelge 5.16	Modüler sinir ağının test verilerinin hata oranları..... 78
Çizelge 5.17	Jordan/Elman ağının test verilerinin hata oranları 78
Çizelge 5.18	PCA ağının test verilerinin hata oranları 79
Çizelge 5.19	RBF ağının test verilerinin hata oranları 80
Çizelge 5.20	SOFM ağının test verilerinin hata oranları..... 80
Çizelge 5.21	TLRN ağının test verilerinin hata oranları 81
Çizelge 5.22	Tekrarlanan ağın test verilerinin hata oranları 82
Çizelge 5.23	CANFIS ağının test verilerinin hata oranları 82
Çizelge 5.24	SVM ağının test verilerinin hata oranları 83
Çizelge 5.25	İkili regresyon analizi özeti (adsl abone sayıları bağımsız değişken) 86
Çizelge 5.26	ANOVA çizelgesi (adsl abone sayıları bağımsız değişken) 86
Çizelge 5.27	Katsayı çizelgesi (adsl abone sayıları bağımsız değişken)..... 87
Çizelge 5.28	İkili regresyon analizi özeti (sıcaklık değerleri bağımsız değişken) 87
Çizelge 5.29	ANOVA çizelgesi (sıcaklık değerleri bağımsız değişken)..... 88

Çizelge 5.30	Katsayı çizelgesi (sıcaklık değerleri bağımsız değişken).....	88
Çizelge 5.31	İkili regresyon analizi özeti (adsl abone sayıları bağımsız değişken)	90
Çizelge 5.32	ANOVA çizelgesi (adsl abone sayıları bağımsız değişken)	91
Çizelge 5.33	Katsayı çizelgesi (adsl abone sayıları bağımsız değişken).....	91
Çizelge 5.34	İkili regresyon analizi özeti (sıcaklık değerleri bağımsız değişken)	92
Çizelge 5.35	ANOVA çizelgesi (sıcaklık değerleri bağımsız değişken).....	92
Çizelge 5.36	Katsayı çizelgesi (sıcaklık değerleri bağımsız değişken).....	93
Çizelge 5.37	İkili regresyon analizi özeti (adsl abone sayıları ve sıcaklık değerleri bağımsız değişken).....	93
Çizelge 5.38	ANOVA çizelgesi (adsl abone sayıları bağımsız değişken)	94
Çizelge 5.39	Katsayı çizelgesi (adsl abone sayıları bağımsız değişken).....	94
Çizelge 5.40	Regresyon analizi karşılaştırma çizelgesi.....	95
Çizelge 5.41	2000-2009 yılları arasındaki elektrik tüketim değerleri	96
Çizelge 5.42	2010-2019 yılları arasındaki elektrik tüketim tahmin değerleri.....	97

ÖNSÖZ

Bu tez çalışmasında yapay sinir ağıları kullanılarak Türk Telekomünikasyon A.Ş. için gelecek on yıla ait elektrik enerjisi tüketim tahmini yapılmıştır.

Bu çalışmanın ortaya çıkmasında yardımlarından, katkılarından ve yönlendirmelerinden dolayı değerli hocam Yrd. Doç.Dr. Alev Taşkın GÜMÜŞ başta olmak üzere, tez çalışmam süresince gösterdiği anlayıştan ve katkılarından dolayı Türk Telekomünikasyon A.Ş. İstanbul 2.Bölge Müdürlüğü Enerji ve Soğutma Sistemleri Müdürü Ali AYDIN'a ve son olarak bu tez aşamasında her türlü desteğini esirgemeyen eşim Semra GAVAZ KAYA ile hayatım boyunca gösterdikleri güven, anlayış ve desteklerinden dolayı AİLEME teşekkür ederim.

ÖZET

Sektöründe büyük paya sahip bir şirkette, geleceğe yönelik mali analizlerde önemli bir yer tutan enerji tüketiminin tahmin çalışması yapılarak şirketin enerji politikasını belirlemesi amaçlanmıştır.

Telekomünikasyon ve enerji sektörü ülkelerin kalkınmasında ve gelişmişlik düzeylerinin belirlenmesinde etken olan sektörlerdir. Enerjisiz bir telekomünikasyon günümüzde düşünülemez. Kesintisiz iletişimin sağlanması için her türlü enerjiye ihtiyaç olabilmektedir. Bu bağlamda, elektrik enerjisi en çok ihtiyaç duyulan enerjidir.

Elektrik enerjisi tüketimini etkileyen faktörler adsl abone sayısı ve sıcaklık değerleri olarak belirlenmiştir. Elektrik enerjisi tüketim tahmini için yapay sinir ağları modelleri türetilmiştir. Bu modellerin karşılaştırmalı analizi yapılarak hata oranları bulunmuştur. En iyi sonucu veren yapay sinir ağı olan MLP ile de gelecek on yıla ait tüketim tahmini gerçekleştirilmiştir. Ayrıca, elektrik enerjisi tüketiminin, adsl abone sayıları ile sıcaklık değerlerine ne kadar bağımlı olduğunu araştırmak amacıyla regresyon analizi yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Yapay sinir ağları, telekomünikasyon, enerji, enerji tüketim tahmini

ABSTRACT

To determine the energy policy of the company which has the largest share in its sector, is aimed by predicting electricity consumption which holds an important place in the financial analysis for the future.

Telecommunication and the energy are sectors which have effect on reconstruction of countries and determining their levels of development. Telecommunication without energy is unimaginable nowadays. To provide the uninterrupted communication, every type of energy is necessary. In this context, the electrical energy is most needed energy.

The adsl subscriber numbers and temperature values have determined as factors of electricity consumption. To predict the electricity consumption, artificial neural network models are produced. The error rates were found with comparative analysis of these models. Electricity consumption was estimated for the next ten years with MLP network which provides best result among the artificial neural networks. Also, the regression analysis is used for investigating of the electricity consumption's dependence on the adsl subscriber numbers and the temperature values.

Keywords: The Artificial neural networks, telecommunication, energy, prediction of electricity consumption

1. GİRİŞ

Ulusal ve uluslar arası önem arz eden, ülkemizin kalkınması ve gelişmişlik düzeyini artırması açısından stratejik bir yere sahip olan telekomünikasyon ve enerji sektörlerinin etkin ve verimli bir altyapıya sahip olmaları gerekmektedir. Bu bağlamda teknoloji çağında yaşadığımız 21. yüzyılda, güçlü bir kimliğe sahip olabilmenin temelini kuracak olan geleceğe yönelik tahmin çalışmalarının yapılması, atılması gereken adımların ihtiyaçlarını ve alınması gereken muhtemel önlemleri belirlemede ve verilecek stratejik kararlara ışık tutması açısından önem arz etmektedir.

Enerjinin üretilmesi, dönüştürülmesi, iletilmesi, depolanması, işlenmesi ve kullanılması günümüzde dünyanın en önde gelen teknik, sosyal, ekonomik, siyasal ve savunma konuları arasındadır. Bugün dünya enerji pazarı trilyon dolar mertebesinde olup, enerji alanında yapılan araştırma geliştirme harcamaları büyük ekonomilere sahip ülkelerde milyar doların üzerindedir.

Enerji tahminlerinin amacı, gelecekte ne olacağının açık bir görüntüsünü vermekten çok, ihtiyaç planlarına bağlı olarak, "mümkünler alanı"nı ortaya çıkarmaktır. Tahminlerin sayısının fazlalığı, karar alıcının işini basitleştirmemekte, aksine tartışmaları çoğaltmakta ve zorlaştırmaktadır. Tahmin yapıcının en önde gelen özelliği cesaretli olmasıdır.

Bu çalışma ile literatürler içerisinde pek rastlanmayan tek sektöre ait, hatta tek kuruma ait bir enerji tüketim tahminin ilk kez yapılmış olması muhtemeldir. Çalışmada, ses ve data iletişiminin en büyük altyapısına sahip Türk Telekom A.Ş.'nin Türkiye'deki yıllık toplam enerji tüketiminin yaklaşık %8'lik bir kısmını oluşturan İstanbul Anadolu Yakası'na ait 2000-2009 yılları arasındaki 120 aylık enerji tüketim verileri kullanılarak yapay sinir ağlarının (YSA) çok katmanlı perceptron (Multi Layer Perceptron-MLP) modeli ile 2010 yılından 2019 yılına (dahil) kadar olan 120 aylık enerji tüketim tahmini yapılmıştır. Tahmini etkileyen faktörler, tüketimin %55'lik kısmını oluşturan soğutma sistemlerinin çalışma prensibini etkileyen ve Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü'nden İstanbul iline ait 2000-2009 yılları arasındaki 120 aylık ortalama °C cinsinden sıcaklık değerleri ile tüketimin yaklaşık %40'ını etkileyen abone türlerinden en çok değişimi gösteren ve 2000-2009 yılları arasındaki yine 120 aylık Türk Telekom A.Ş.'nin sahip olduğu adsl abone sayılarıdır.

Tez çalışmasının ikinci bölümünde enerji ve telekomünikasyon sektörleri ele alınmış, temel kavramlar ile sektörlerin dünyada ve Türkiye’deki durumlarına değinilmiştir. İkinci bölümün son kısmında da enerji tüketiminin Türk Telekom A.Ş.’deki yeri konusunda bilgi verilmiştir.

Literatür çalışmalarının incelenip yapay sinir ağları ile elektrik enerjisi tüketim tahmini yapılan literatürler ile Türkiye’de son yıllarda yayımlanan bazı makalelere tez çalışmasının üçüncü bölümünde yer verilmiştir.

Tez çalışmasının dördüncü bölümünde ise tahmin ağını oluşturan yapay sinir ağları ile varyans analiz türü olan regresyon analizi detaylı olarak açıklanmıştır.

Yapılan tüketim tahminlerinin gerek YSA gerekse regresyon analizi ile yapılan uygulamasına ait şekil ve çizelgelere beşinci bölümde yer verilmiştir.

Tez çalışmasının son kısmında ise YSA modellerinin hata oranlarına bakarak performans ölçümü yapılmış, en iyi performansa sahip YSA modeli ile regresyon hata oranları karşılaştırılmış olup 2010-2019 yıllarına ait 120 aylık elektrik enerjisi tüketim tahmin değerleri bulunmaktadır.

2. ENERJİ VE TELEKOMÜNİKASYON SEKTÖRÜ

2.1 Enerji Sektörü

2.1.1 Enerjinin Tanımı

Enerji, bir cisim ya da sistemin iş yapabilme yeteneği anlamındadır. Doğrudan ölçülemeyen bir değer olup fiziksel bir sistemin durumunu değiştirmek için yapılması gereken iş yoluyla veya enerji türüne göre değişik hesaplamalar yoluyla bulunabilir. Sözcük, Eski Yunan dilindeki $\epsilon\nu$ (aktif) ve $\epsilon\rho\gamma\omega\nu$ (iş) kelimelerinden türemiştir, bu açıdan anlam olarak 'işe dönüştürülebilen' bir şey olduğu söylenebilir. Fizikte kullanılmaya başlamadan önce genel anlamda güç kelimesi yerine kullanılmaktaydı.

Enerjinin başka bir tanımı ise, iş ailesinden olup bir fiziksel sistemin ne kadar iş yapabileceğini ya da ne kadar ısı değiş tokuşu yapabileceğini belirleyen bir durum fonksiyonudur. Birimi, iş birimi ile aynıdır.

Enerji çeşitli şekillerde bulunabilir. Fakat bu şekillerin tamamı iki ana başlığa incelenebilir. Bunlar kinetik enerji ve potansiyel enerjidir.

2.1.1.1 Potansiyel Enerji:

Bir nesnenin konumundan dolayı, diğer nesnelere bağlı olan enerjisidir. Depolanmış enerji ısı sebebi ile oluşan enerji olup, aslında molekül ve atomların kinetik enerjisi olarak da adlandırılır.

- Yer çekimi Potansiyel Enerjisi: Bir kütle, bulunduğu yerden düşey konumdaki alt bir noktaya göre yüksekte ise, sahip olduğu enerjiye Yer çekimi Potansiyel Enerjisi denir
- Isı (Termal) Potansiyel Enerji: Kömür, petrol, doğalgaz gibi yakıtların yakılmasıyla ısı enerjisi ortaya çıkmaktadır. Elde edilen ısı enerjisi ilk önce türbinler yardımıyla mekanik enerjiye, daha sonra da jeneratörler yardımıyla elektrik enerjisine dönüştürülebilmektedir. Evlerimizde, kışın ısınmak, mutfak ve banyoda sıcak su elde etmek, yemek pişirmek için ısı enerjisinden sıkça faydalanmaktayız.
- Elektrik Potansiyel Enerjisi: Elektrik yüklemesi sebebi ile ortaya çıkan enerjidir.

- **Kimyasal Potansiyel Enerji:** Kimyasal tepkime sonucunda ortaya çıkan enerjiye kimyasal enerji adı verilmekteyiz. Günlük hayatımızda sıkça kullandığımız pil ve aküler kimyasal enerjiyi elektrik enerjisine dönüştüren düzeneklerdir. Pil ve akülerde elektrik enerjisinin depolanması kimyasal yöntemlerle yapılmaktadır. Kimyasal enerji; mekanik, ısı ve ışık enerjisine dönüştürülebilmektedir.
- **Nükleer Potansiyel Enerji:** Atom çekirdeklerinin kararsızlığı nedeni ile oluşan enerjidir. Bu durumdaki nesne, elektromanyetik dalga veya ışık yaydığı için yayınım enerjisi olarak da adlandırılır. Atom çekirdekleri tarafından depolanmış enerjidir.
- **Manyetik Potansiyel Enerji:** Manyetizasyon manyetik kuvvetinden dolayı oluşan enerjidir.

2.1.1.2 Kinetik Enerji:

Hareketin sebep olduğu enerjidir.

- **Mekanik Enerji:** Faydalı iş yapabilen hareket enerjisidir. Hareket enerjisi (kinetik enerji) bir iş yaptığında mekanik enerji olarak ortaya çıkmaktadır. Elektrik santrallerinde türbine çarpan suyun mekanik enerjiye dönüştüğü gibi pense ile kablo keserken, tornavida ile vida sıkarken vb. durumlarda da mekanik enerji üretilmiş olmaktadır. Elde edilen mekanik enerji ile her hangi bir iş yapılabileceği gibi elektrik enerjisi de üretilmektedir [1].

2.1.2 Dünyada Enerji Sektörü

Enerji, hayat kalitesini iyileştiren, ekonomik ve sosyal ilerlemeyi sağlayan en önemli faktördür. Her geçen gün yenilenerek sürekli gelişim gösteren bir teknoloji ile dolu olan içinde bulunduğumuz çağda, işlevini güvenilir ve düzenli olarak yerine getiren bir enerji sektörü olmadan, uygarlıktan, sosyal ve ekonomik kalkınmadan söz etmek olanaksızlaşmıştır. Bu nedenlerden ötürü enerji sektörü, ülkelerin kalkınma politikaları içinde hayati önem arz eden stratejik bir alan niteliğindedir. [2]

Artan enerji fiyatları, küresel ısınma ve iklim değişikliği konusunda gelişen duyarlılık, dünya enerji talebindeki artışa karşın tükenme eğilimine girmiş olan fosil yakıtlara bağımlılığın yakın gelecekte devam edecek olması, yeni enerji teknolojileri alanındaki gelişmelerin artan talebi karşılayacak ticari olgunluktan henüz uzak oluşu, ülkelerin enerji güvenliği konusundaki kaygılarını her geçen gün daha da artırmaktadır. Bilhassa elektrik enerjisi teknoloji çağı olan günümüzde önemini bir kat daha artırmaktadır (EÜAŞ, 2009).

Bu gelişmelere ilave olarak, 2008 ortalarında ABD’de başlayan finansal ve ekonomik krizin küresel ölçekte talep üzerindeki yansımaları sebebiyle yeni yatırımların neredeyse durma noktasına geldiği, yatırımlar için düşük maliyetli kredi bulma olanaklarının çok zorlaştığı, sürekli dalgalanan petrol, doğal gaz ve malzeme fiyatlarının piyasaya hakim olduğu, sanayi üretimlerinde büyük düşüşlerin yaşandığı bir ortamda yaşanmaktadır. Süregelen pek çok proje yavaşlatılmış, planlanan projelerden bazıları ya ertelenmiş ya da iptal edilmiştir. Enerji talebinde 2009 yılında öngörülen %2’lik düşüş, 1981 yılından beri yaşanan ilk düşüş olmuştur. Bunlara rağmen orta ve uzun vadede, dünyadaki nüfus artışı, sanayileşme ve kentleşme, doğal kaynaklara ve enerjiye olan talebi şüphesiz arttırmaktadır (UEA, 2009).

Dünyada ve Türkiye’deki ekonomik krizin etkileri sadece finansman sektörü ile sınırlı kalmamış; enerji tüketimi azalmış, buna bağlı olarak işsizlik artmış, yatırımlar durmuştur. Özellikle dünyada petrol ve doğal gaz aramalarında gözlenen durgunluk gelecekte arz sıkıntıları ile karşılaşılacağı ve fiyatların daha da artacağına işaret etmektedir.

Uluslararası Enerji Ajansı (2009) tarafından yapılan yansıtımlar, mevcut enerji politikaları ve enerji arzı tercihlerinin devam etmesi durumunda dünya birincil enerji talebinin 2007-2030 yılları arasında %40 oranında artacağına işaret etmektedir. Referans senaryo olarak adlandırılan ve yıllık ortalama %1,5 düzeyinde talep artışına karşılık gelen bu durumda dünya birincil enerji talebi 2007 yılındaki 12 milyar ton petrol eşdeğeri (tep) düzeyinden 2030 yılında 16,8 milyar tep düzeyine ulaşacaktır. Söz konusu talep artışının zamanında ve güvenli bir şekilde karşılanabilmesi açısından, 2030 yılına kadar küresel çapta enerji sektörü arz alt yapısına 26 trilyon dolar tutarında yatırım gerçekleştirilmesi öngörülmekte olup yalnızca elektrik sektörüne üretim, iletim ve dağıtım için 13,7 trilyon dolar yatırım yapılması gerekmektedir.

Enerji sektöründe gerek maliyet ve fiyat artışları, gerekse artan elektrik enerjisi talebi çerçevesinde, birçok ülkede arz güvenliğinin sağlanması konusunda yeni tedbirler alınmakta; mevcut piyasa yapıları ve kuralları, yaşanan deneyimler ve karşılaşılan sorunlar çerçevesinde yenilenmekte; piyasa mekanizmaları arz güvenliğini sağlayacak tedbirlerle güçlendirilmektedir. Bu kapsamda, elektrik enerjisi sektöründe uzun vadeli hedefler ortaya konulmalıdır [3]. Kullanıcıların en verimli şekilde yararlanabileceği ve katılımcılar için fırsata dönüştürülebilecek elektrik piyasa modellerinin oluşturulması görüşü dünya enerji sektöründe benimsenmektedir.

Elektrik enerjisi, gerek su, kömür, petrol, atom, çöp gibi değişik birçok kaynaktan üretiminin sağlanması, gerek günlük hayatın kalitesini istenilen uzaklıklara istenilen güçlerde taşıyabilmesi ve en büyüğünden en küçüğüne kadar milyonlarca tüketiciye iletiminin sağlanabilmesi açısından kullanımındaki kolaylığı ve gerekse önemli özelliklerinden biri olan temizliği nedeniyle diğer enerji türlerine göre bir üstünlüğe sahiptir. Bir ikincil enerji türü olan elektrik enerjisi depo edilememe özelliğinden dolayı talebin olduğu anda talep kadar üretilmek zorunluluğundadır. Dolayısıyla, hem yatırım hem de işletme aşamasında planlamanın önemi ve gerekliliği kaçınılmazdır. Bu nedenledir ki elektrik enerjisi sektörü bir kamu hizmeti olarak kabul edilmektedir (DEKTMK, 2009).

Tüm dünyada son 25 yılda, enerjiye paralel olarak özellikle elektriğe de artan oranda bağımlı hale geldiği gözlemlenmektedir. Elektriğin 2030 yılına kadar en hızlı büyüyen (%2,5) son-kullanıcı enerji formu olması, 2007-2030 döneminde nihai enerji tüketimindeki payının %17'den %22'ye çıkması beklenmektedir. Ancak elektrik sektörü de 2009 yılında finansal zorluklar ve zayıf talep sebebiyle ciddi şekilde etkilenmiştir. Yüzde ikiye yakın gerçekleşmesi öngörülen düşüş miktarı, İkinci Dünya Savaşı'ndan bu yana görülen en büyük yıllık azalmaya işaret etmektedir. Düzelmeye beklenenden uzun sürer ve fosil yakıt fiyatları da düşük seyretmeye devam ederse elektrik sektöründeki yatırımlar, ilk yatırım maliyeti yüksek nükleer ve yenilenebilir enerji kaynaklarından daha çok kömür ve doğal gazla yönelebilir (EÜAŞ, 2009).

Enerji kaynakları açısından incelendiğinde, birincil enerji arzında, petrol, doğal gaz ve kömürden oluşan fosil kaynaklı yakıtların ağırlıklı konumunun önümüzdeki yıllarda da devam etmesi beklenmekte ve talepteki bu artışın yüzde 77'lik bölümünün bu kaynaklardan karşılanması öngörülmektedir. 2030 yılında petrolün birincil enerji arzındaki en büyük paya (%30) sahip olma niteliği devam ederken, doğal gazın ise elektrik üretimi ve sanayinin temel girdileri arasındaki payını koruması ve belirli oranda arttırması (2007'deki %20,9'luk orandan 2030'da %21,2'ye yükselmesi) beklenmektedir. Bu dönemde, elektrik üretiminde ise kömür ve doğal gazın en önemli kaynaklar olmaya devam edeceği, petrolün payının ise 2007'deki %6 seviyesinden 2030'da %2'lere düşeceği öngörülmektedir. Dünya genelinde bir değerlendirme yapıldığında, petrol rezervlerinin 41, doğal gaz rezervlerinin 60, kömür rezervlerinin de 122 yıllık ömre sahip olduğu hesaplanmaktadır [4].

2.1.3 Türkiye’de Enerji Sektörü

Stratejik enerji koridorlarının ortasında ve önemli enerji üretim merkezlerinin kenarında yer alan, ciddi bir enerji tüketimi bulunan, gelişmekte olan bir enerji sektörüne sahip Türkiye’nin, enerji politikalarını stratejik temele oturtması büyük önem arz etmektedir. Enerji talebinin belirlenmesine yönelik çalışmalar çok disiplinli bir niteliğe sahip olup; bu çalışmaların ülkenin küresel politikaları ve hedefleri ile uyumlu olması gerekmektedir. Bu nedenle söz konusu çalışmalar bugüne kadar ülkemizin kalkınma planlarının yapılmasından ve makro ekonomik dengelerinden sorumlu olan Devlet Planlama Teşkilatı Müsteşarlığı (DPT) ile koordinasyon içerisinde, Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı (ETKB) tarafından yürütülmüştür (Orhan, 2007).

Enerjinin ekonomik büyümeyi gerçekleştirecek ve sosyal gelişme hamlelerini destekleyecek şekilde; zamanında, yeterli, güvenilir, rekabet edilebilir fiyatlardan, çevresel etkileri de göz önünde tutularak sağlanması tüm dünyada olduğu gibi ülkemizin de öncelikli hedefidir.

Bu bağlamda 9. kalkınma planı çerçevesinde enerji özel ihtisas komisyonu tarafından 2006 yılında hazırlanan raporuna göre önem arz eden hususlar şu şekilde verilmiştir:

- Enerji arz güvenliğini ve güvenilirliğinin sağlanması,
- Stratejik petrol ve doğal gaz depolama kapasitesinin arttırılması,
- Kaynak ve ülke çeşitlendirilmesi,
- Yerli ve yenilenebilir kaynakların kullanımı ve geliştirilmesine öncelik verilmesi,
- Farklı teknolojilerin kullanımı ve geliştirilmesi ve yerli üretimin artırılması,
- Yatırım ihtiyacının büyüklüğü ve çevresel etkiler dikkate alınarak enerjinin üretiminden tüketimine kadar tüm safhalarında verimliliğin artırılması,
- Yakıt esnekliğinin artırılması (üretimde alternatif enerji kaynağı kullanımına olanak sağlanması),
- Ülkemizin jeostratejik konumundan yararlanarak Enerji koridoru olma potansiyelinden en iyi şekilde yararlanılması ile Orta Doğu ve Hazar petrol ve doğal gazının dünya piyasasına ulaştırılması sürecine her aşamada katılım sağlanması (Rezervden pay, nakil, rafinaj, pazarlama, LNG),

- Enerji sektörünün, işleyen bir piyasa olarak şeffaflığı ve rekabeti esas alacak şekilde yapılandırılması,
- Bölgesel işbirliği projelerine katılım ve entegrasyonun sağlanması,
- Her aşamada çevresel etkilerin göz önünde bulundurulması (DPT, 2006).

1990-2008 döneminde ülkemizde birincil enerji talebi artış hızı yıllık ortalama %4,3 düzeyinde gerçekleşmiştir. Türkiye, OECD ülkeleri içerisinde geçtiğimiz 10 yıllık dönemde enerji talep artışının en hızlı gerçekleştiği ülke durumundadır. Aynı şekilde ülkemiz, dünyada 2000 yılından bu yana elektrik ve doğalgazda Çin'den sonra en fazla talep artışına sahip ikinci büyük ekonomi konumundadır.

Türkiye'nin temel enerji politikaları Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı (ETKB) tarafından:

- Maliyet, zaman ve miktar yönünden enerjinin tüketiciler için erişilebilir olması
- Serbest piyasa uygulamaları içinde kamu ve özel kesim imkanlarının harekete geçirilmesi
- Dışa bağımlılığın azaltılması
- Enerji alanında ülkemizin bölgesel ve küresel etkinliğinin artırılması,
- Kaynak, güzergah ve teknoloji çeşitliliğinin sağlanması
- Yenilenebilir kaynakların azami oranda kullanılmasının sağlanması,
- Enerji verimliliğinin artırılması
- Enerji ve tabii kaynakların üretiminde ve kullanımında çevre üzerindeki olumsuz etkilerin en aza indirilmesi

şeklinde belirlenmiştir.

Günlük yaşantının ayrılmaz bir parçasını oluşturan enerji, ülkelerin sosyo-ekonomik yapıları içerisindeki yerini ve önemini korurken, enerjinin önemli bir bileşenini oluşturan elektrik enerjisi ağırlığını giderek artan bir oranda geliştirmektedir. 2009 yılı sonu itibariyle, 29333,4 MW'ı termik, 77,2 MW'ı jeotermal, 14553,4 MW'ı hidrolik ve 802,8 MW'ı rüzgar olmak üzere Türkiye toplam kurulu gücü 44766,7 MW'a ulaşmıştır. 2009 yılı sonu itibariyle brüt elektrik enerjisi talebi 193,3 milyar kWh, puant güç talebi ise 29870 MW olarak gerçekleşmiştir. Toplam 194.1 Milyar kWh üretim gerçekleştirilirken 0.8 Milyar kWh ithalat yapılmış, arz edilen toplam elektrik enerjisinden 1,6 Milyar kWh ihracat gerçekleştirilmiştir.

2010 yılında ise elektrik enerjisi talebinin bir önceki yıla göre yaklaşık % 4,9'luk artışla 202,7 milyar kWh olacağı beklenmektedir. Mevcut sistem 2010 yılında, termik santrallardan 195,4 milyar kWh, hidrolik ve rüzgar santrallerinden 51,5 milyar kWh olmak üzere toplam 246,9 milyar kWh proje üretim kapasitesine sahiptir. Proje üretim kapasitesi göz önünde bulundurulduğunda sistemin üretim yedeği %25,0 dolayındadır. 2010 yılında 214,7 milyar kWh olacağı hesaplanan toplam güvenilir üretim kapasitesi ile karşılaştırıldığında talebin %5,9 yedekle karşılanabileceği beklenmektedir. Ülkemiz elektrik enerjisi talebinin sürekli, güvenilir, kaliteli ve ekonomik bir şekilde karşılanabilmesi için elektrik enerjisi üretim ve iletim gelişim planlamaları yapılmaktadır.

Ülkemizin, artan enerji talebini sürdürülebilir bir şekilde karşılayabilmek amacıyla ETKB'nın uzun vadeli planlama çalışmalarında, Cumhuriyetimizin yüzüncü yılı olan 2023 yılında ulaşılması öngörülen hedefler:

- Yerli kömür ve hidrolik kaynak potansiyelimiz tamamen kullanabilmek,
 - Yenilenebilir kaynaklardan azami ölçüde istifade etmek,
 - Nükleer enerjiyi 2020 yılına kadar olan dönemde elektrik üretim kompozisyonuna dâhil etmek,
 - Enerji verimliliğinde AB düzeyine gelecek şekilde hızlı ve sürekli gelişme sağlamak,
- şeklindedir.

2003 yılındaki Enerji ve Doğal Kaynaklar Paneli'nde ise Türkiye'nin 2023 yılına yönelik enerji vizyonunda, dünyanın ileri gelen ülkeleri arasında yer alacak bir gelişmişlik ve gönenc düzeyini yakalamak üzere

- serbest, şeffaf ve istikrarlı piyasa koşulları içinde ulusal kaynaklarına öncelik veren, bu kaynakların aranmasında ve istenen kaliteyle, güvenli ve ekonomik olarak üretiminde ileri teknolojileri kullanan ve geliştirebilen,
- gereksinim duyduğu enerjiyi, güvenli, güvenilir, ekonomik, verimli ve çevreye duyarlı teknolojilerle üreten, ileten, depolayan ve kullanan
- uluslararası enerji pazarında yarışabilecek enerji teknolojileri geliştirebilen ve uluslararası enerji yatırımlarında etkin rol alabilen,

bir Türkiye'nin yer alması gerektiği vurgulanmıştır. [7]

2.1.4 Türkiye’de Enerji Sektöründe Kurumsal Yapılanma

2.1.4.1 Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı (ETKB)

Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, Bağlı ve İlgili Kuruluşları ile birlikte, diğer ilgili kamu ve özel sektör kuruluşlarıyla koordineli bir şekilde Türkiye enerji politikaların tespitine yönelik çalışmalar ile bu politikaların uygulanmasından sorumludur.

Enerji sektöründe yer alan kamu kuruluşlarının görev ve sorumlulukları kısaca aşağıda verilmektedir.

2.1.4.2 Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu (EPDK)

Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu, 4628 sayılı Yasa ile elektrik, 4646 sayılı Doğal Gaz Piyasası Kanunu ile doğal gaz, 5015 sayılı Petrol Piyasası Kanunu ile petrol ve 5307 sayılı Sıvılaştırılmış Petrol Gazları (LPG) Piyasası Kanunu ile de LPG piyasalarının oluşturulması ve bu piyasaların bir düzenlenmesi ve piyasa faaliyetlerinin denetlenmesi ile görevlidir.

2.1.4.3 Elektrik İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğü (EİE)

Ülkenin su kaynaklarını etüt ederek, elektrik enerjisi üretimine elverişli olanlarını belirlemek, baraj ve hidroelektrik santral tesislerinin teknik ve yapılabirlik etütleri ile ilgili projeleri hazırlamak, enerji verimliliği ile ilgili faaliyetleri yürütmek, yeni ve yenilenebilir enerji kaynaklarının geliştirilmesine yönelik faaliyetleri yürütmek bu kuruluşun sorumluluğundadır. Enerji verimliliği ile ilgili çalışmaları yürütmek ve yönlendirmek amacıyla EİE bünyesinde Ulusal Enerji Tasarruf Merkezi, (EİE/UETM) kurulmuştur.

2.1.4.4 Türkiye Elektrik İletim A.Ş. Genel Müdürlüğü (TEİAŞ)

Devletin genel enerji ve ekonomi politikasına uygun olarak elektrik iletim faaliyetlerinde bulunmak bu çerçevede, tüm iletim tesislerini devralmak, mülkiyetindeki tesislerde tüm iletim faaliyetlerini yürütmek, kurulması öngörülen yeni iletim tesislerinin etüt ve planlamasını yapmak, buna bağlı olarak gerekli tesislerin yatırım programına alınarak, yapılmasını sağlamak, ülkenin teknik ve sosyoekonomik gelişim verilerine dayanılarak hazırlanan elektrik enerjisi talep tahminlerini esas alarak ve dağıtım şirketleri tarafından hazırlanan talep tahminlerini de değerlendirerek üretim kapasite projeksiyonunu hazırlamak ve Kurul onayına sunmak TEİAŞ Genel Müdürlüğü’nün sorumluluğundadır.

2.1.4.5 Elektrik Üretim A.Ş. Genel Müdürlüğü (EÜAŞ)

Mülkiyeti kamuya ait, işletme hakları özel sektöre devredilmemiş termik ve hidrolik santrallerin işletilmesi, inşa halindekielerin tamamlanması, DSİ tarafından yeni tesis edilenlerin devir alınarak işletilmesi, Enerji Piyasası Düzenleme Kurulu tarafından onaylanacak yeni üretim tesislerinin kurulması, işletilmesi ve kiralanması EÜAŞ Genel Müdürlüğü'nün sorumluluğundadır.

2.1.4.6 Türkiye Elektrik Ticaret ve Taahhüt A.Ş. Genel Müdürlüğü (TETAŞ)

Devletin genel enerji ve ekonomi politikasına uygun olarak elektrik ticaret ve taahhüt faaliyetlerinde bulunmak TETAŞ Genel Müdürlüğü'nün sorumluluğundadır.

2.1.4.7 Türkiye Elektrik Dağıtım A.Ş. Genel Müdürlüğü (TEDAŞ)

Kamu adına elektrik enerjisi dağıtımı ile ilgili faaliyetleri yürütmek, bu faaliyetlerle ilgili tesisleri yapmak ve işletmek, elektriğin üretici kuruluşlardan alışı, abonelere satışı ve ticaretini yapmak veya yaptırmak bu kuruluşun görev alanıdır.

2.1.4.8 Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü (DSİ)

Sulama tesisleri kurmak, hidrolik santralleri tesis etmek, taşkın sular ve sellere karşı koruyucu tesisler meydana getirmek büyük şehirlere içme, kullanma ve endüstri suyu sağlamak, bu kuruluşun sorumluluğundadır.

2.1.4.9 Türkiye Kömür İşletmeleri Kurumu Genel Müdürlüğü (TKİ)

Yerli kömürlerin (linyit ve asfaltit) araştırılması, çıkarılması ve pazarlamasını yapmak Genel Müdürlüğün ana faaliyetleridir.

2.1.4.10 Türkiye Taşkömürü Kurumu Genel Müdürlüğü (TTK)

Yerli taşkömürünün araştırılması, çıkarılması ve pazarlamasını yapmak bu kuruluşun sorumluluğundadır.

2.1.4.11 Türkiye Petrolleri Anonim Ortaklığı Genel Müdürlüğü (TPAO)

Ülke içinde ve dışında petrol ve gaz kaynaklarının araştırılması, bulunması ve üretimi bu Genel Müdürlüğün ana faaliyetidir.

2.1.4.12 Boru Hatları İle Petrol Taşımacılığı A. Ş Genel Müdürlüğü (BOTAŞ)

Doğal gazın taşınması ve ticareti ile yetkili olan tek kuruluş olarak faaliyetini sürdürmekte olan BOTAŞ Genel Müdürlüğünün, 2 Mayıs 2001’de yürürlüğe giren Doğal Gaz Piyasası Kanunu ile doğal gazın ithalatı, iletimi, dağıtımı, depolanması ve satışı konusundaki tekel konumu sona ermiş, piyasa üçüncü taraflara açılmıştır. Kanunun ana amacı, piyasanın tekel yapısını rekabetçi bir yapıya dönüştürmek, devletin piyasadaki ağırlığını azaltmak, girişimcileri gaz sektörüne yatırım yapmaya teşvik etmektir.

2.1.4.13 Türkiye Petrol Rafinerileri A.Ş. Genel Müdürlüğü (TÜPRAŞ)

Sahip olduğu 4 rafineri ile ham petrolü işlemek ve petrol ürünleri üretmek, bu kuruluşun ana faaliyetleridir.

2.1.4.14 Türkiye Atom Enerjisi Kurumu Başkanlığı (TAEK)

Atom enerjisi konusundaki araştırma ve geliştirme faaliyetlerini yürütmek, radyoaktif malzeme ve araçların kullanımını kontrol etmek ve bunlara ilişkin ruhsat vermek, nükleer santrallerin yer seçimi, inşası ve işletilmesinde yetkili olmak, kurumun sorumluluğundadır.

2.1.4.15 Petrol İşleri Genel Müdürlüğü (PIGM)

Türk ve yabancı şirketlere ülke sınırları içerisinde petrol arama ve üretim ruhsatları vermesinin yanı sıra, ülkedeki rafineri faaliyetleri ile ham petrol ve petrol ürünleri satış fiyatlarını takip etmekten sorumludur. Ayrıca ulusal petrol stok takibine yönelik faaliyetlerin koordinasyonu ve sekreteryaya işlemleri ile görevlidir.

2.1.4.16 Maden Tetkik Arama Genel Müdürlüğü (MTA)

Her türlü mineral kaynakların sistematik olarak araştırılıp, bulunmasından sorumlu en eski kuruluştur.

2.1.4.17 Devlet Planlama Teşkilatı Müsteşarlığı

Tüm kamu kurum ve kuruluşlarında olduğu gibi, enerji sektöründeki kuruluşlarca hazırlanan yıllık yatırım programlarının ülkenin genel ekonomisi çerçevesinde, enerji ihtiyaçlarının da göz önünde bulundurularak değerlendirilip, onaylanmasından ve bu yatırımların takibinden sorumludur.

2.1.4.18 Hazine Müsteşarlığı:

Sermayesi Kamuya ait enerji kuruluşlarının, finansman programları ve mali hedeflerinin genel bütçe prensipleri dahilinde belirlenmesi ve takibinden sorumludur.

2.2 Telekomünikasyon Sektörü

2.2.1 Telekomünikasyonun Tanımı

Telekomünikasyon, Fransızca télécommunication sözcüğünden Türkçeye geçmiştir. Telekomünikasyon kelimesinin kökeni eski Yunancada ‘uzak’ anlamına gelen tele kelimesi ile Latince ‘paylaşmak’ anlamına gelen communicare kelimelerinden türetilmiştir. Türkçede ‘iletişim’ olarak adlandırılan komünikasyon kelimesinin anlamı ise insanlar, yerler veya aygıtlar arasında bilgi (information)/veri (data) iletimi işlemidir. Başka bir deyişle duyum, yazı, resim, simge ya da her çeşit bilginin tel, radyo, optik ile başka elektromanyetik dizgelerle iletilmesi, bunların yayımı ya da alınması anlamına gelir.

Telekomünikasyon sektörü bir noktadan diğerine iletişim hizmetleri sunan bir sektördür. Sektör, esas itibarıyla, telekomünikasyon hizmetleri ve cihazları olmak üzere iki ana gruba ayrılabilir. Telekomünikasyon hizmetleri, bir iletim hattı üzerinden ses, veri ve bilgi aktarılmasına yardımcı olan posta, telefon ve telgraf gibi hizmetler (temel telekomünikasyon hizmetleri) ile temel telekomünikasyon hizmetlerini çeşitli açılardan işleme tabi tutan bilgisayar uygulamalarıyla birleştiren veya iletişim sağlanan farklı iki nokta arasında aktarılan bilgilerin farklılaştırılmasına ve yeniden şekillendirilmesine olanak veren ya da aboneler arasındaki ilişkiyi karşılıklı hale getiren bilgi yoğun hizmetlerden (katma değerli hizmetler) oluşur (İçöz, 2003).

Teknolojide yaşanan gelişmeler sayesinde, başlangıçta tamamı doğal tekel olarak kabul edilen telekomünikasyon sektörünün artık sadece belli bir kısmı doğal tekel olarak kabul edilmektedir. Son yıllara kadar telekomünikasyon terimi bir kablo vasıtasıyla yapılan telefon görüşmeleri ile eş anlamlı olarak kullanılmıştır. Sektörün yapısı da tipik bir regüle edilmiş kamu veya özel sektör tekeli olmuştur. Belirli noktalar arasında data transferi konusunda oluşan talep, şebeke alanında uzmanlaşmış özel sektör teşebbüslerinin ortaya çıkmasına neden olmuştur. Sesle beraber metinlerin ve görüntülerin de iletilebilmesini sağlayan sayısal teknoloji alanında yaşanan gelişmeler, sektördeki rekabetçi şartları oldukça değiştirmiştir. Özellikle hücresel sayısal telefon (cellular digital telephone) alanında yaşanan teknolojik

gelişmeler, sektördeki potansiyel rekabeti artırmıştır. Teknolojik gelişmeler sektörün tekeldi yapısında yıpranmaya neden olduğu gibi, sektörün ekonomik yapısını da değiştirmiştir.

Önceki teknoloji analog sinyaller üzerinden yapılmıştır ve şebeke yatırımları ve şebekeyi destekleme maliyetleri oldukça yüksek olmuştur. Dijital sinyaller, bilgisayar operatör sistemleri, fiber optik kablolar, uydular ve mikro dalga sinyallerinin ulaşımı şebeke destekleme ve şebekeye ulaşım maliyetlerini azaltmıştır. Şu anda şebekeye ulaşım bir çok yerde söz konusu olabilmekte ve uzun mesafe ulaşım maliyetleri yerel ulaşım maliyetlerinden çok fazla pahalı değildir (Erol, 2003).

Katma değerli hizmetler, temel telekomünikasyon hizmetlerinde olduğu gibi, kablolu veya kablosuz ağlar aracılığı ile sunulabilir. Elektronik posta, veri hizmetleri, bankaların ATM hizmetleri, video konferans, etkileşimli televizyon-veri hizmetleri (evden bankacılık, evden alışveriş v.b.), mobil telefon, çağrı cihazı, internet üzerinden telefon hizmeti, sayısal televizyon gibi hizmetleri içeren katma değerli hizmetler yoğun bilgi ve teknolojiye sahiptir.

2.2.2 Dünyada Telekomünikasyon Sektörü

Telekomünikasyon, bilginin etkin bir şekilde taşınması bakımından bilgi toplumunun altyapısını oluşturmaktadır. Ekonomik kalkınmanın en önemli itici güçlerinden birisi olan telekomünikasyon sektöründe, son yıllarda önemli gelişmeler kaydedilmiştir. GSMH (Gayri Safi Milli Hasıla), eğitim, kalifiye insan gücü, dış ticaret hacmi, teşvikler, ulusal stratejiler gibi birçok parametrenin etkili olduğu telekomünikasyon sektöründe, ülkeler ve kıtalar arasında telekomünikasyon altyapısı ve telekomünikasyon hizmetlerinin kullanımında önemli farklılıklar görülmektedir. 2006 yılında dünya nüfusu 6,5 milyarı aşarken, toplam sabit ve mobil hücresel abone sayısı yaklaşık 4 milyara ulaşmıştır.

Katma değerinin yüksek olduğu ve geleceği oldukça parlak bir sektör olan telekomünikasyon sektörü, yüksek hızlı sayısal şebekelerin küreselleşmesine bağlı olarak, ses haberleşmesinin hakim olduğu bir çevreden, tüm ekonomik faaliyetlerin kapsandığı ve bilgi akışının hakim olduğu bir çevreye doğru sürüklenmektedir. Son on yıl içindeki elektronik gelişim ve bilgi değişiminin dünyadaki iş çevrelerini etkilemesi neticesinde, telekomünikasyon şebekelerine sahip ülkelerdeki şirketler, daha önceki kârlarını katlamaya başlamışlardır. Öte yandan, internet gibi bilgi kaynaklarının gelişimi yeni bir dünya yaratmakta ve bu dünyanın içinde, gelişmiş telekomünikasyon hizmetlerine erişimi sağlamış toplumlar yer almaktadır.

Teknolojide yaşanan hızlı değişimler, toplumların birbiriyle etkileşimini hızlandırmış, mesafe ve sınırların önemini azaltmıştır. Bu değişimler sonucunda sosyokültürel hayatta yeni davranış şekilleri ortaya çıkarken, teknolojinin beraberinde getirdiği tercihler, toplumların yaşam biçimleri değiştirmiştir. Yaşanan teknolojik gelişmeler, teknoloji yoğun karaktere sahip telekomünikasyon sektörünü doğrudan etkilerken, bu sektördeki ilerlemeler de ekonomik, politik, sosyal ve kültürel alanlardaki gelişmelerin temelini oluşturmaktadır. Bu nedenle toplumların telekomünikasyon alanındaki ilerlemeleri onların gelişmişlik düzeylerini de belirleyen bir unsur olmaktadır (Erol, 2003).

Sektördeki global eğilimleri üç ana başlık altında toplamak mümkündür:

2.2.2.1 Özelleştirme, Liberalizasyon, Globalizasyon – Konsolidasyon

Ulusal işletmecilerin ilerleyen teknolojik gelişmeler karşısında yetersiz kalmaları ve bu arada hızla ilerleyen liberalizasyon hareketi, sektördeki özelleştirme sürecini hızlandırmıştır. 1984 yılından beri 44 devlet telefon şirketi özelleşmiş, sektörün yapısında küresel değişiklikler yaşanmıştır. Yaşanan özelleştirme hareketleri sonrasında, telekomünikasyon sektöründe devletin işletmeci rolü ve etkinliği sona ererken, regülasyona ilişkin işlevleri daha büyük önem kazanmıştır. Çizelge 2.1’de dünyada gerçekleştirilen başlıca telekom özelleştirmelerinin yüzdelik olarak satılan pay ve bu payın para birimi dolar cinsinden de değeri görülmektedir.

Çizelge 2.1 Dünyada gerçekleştirilen başlıca Telekom özelleştirmeleri (EROL, 2003)

Özelleştirilen Şirket	Satın Alan	Satılan % Pay	Miktar (Milyar USD)
Meksika Telekom	SBC ve France Telekom	20,4	1,7
Macar Telekom	Ameritech ve Deutsche Telekom	67	1,7
Çek Telekom	Hollanda ve İsviçre	27	1,3
Belçika Telekom	Ameritech	49,9	2,4
Danimarka Telekom	Ameritech	41,6	3,2
G. Afrika Telekom	SBC ve Malezya Telekom	30	1,7
Sırp Telekom	Yunan ve İtalyan Telekom	49	0,9
Ermenistan Telekom	Yunan Telekom	90	0,1
Romen Telekom	Yunan Telekom	35	0,7

2.2.2.2 Teknolojik Gelişmeler ve Yeni Ürünler

Teknolojideki büyük gelişim telekomünikasyon sektörünün yapısını değiştirmektedir. Bu çerçevede, bir taraftan pazar sınırları ortadan kalkarken diğer taraftan tüm telekomünikasyon sistemleri de dijital dünya ile bütünleşmiş hale gelmiş, sektördeki ürün yelpazesi genişleyerek telekomünikasyon hizmetleri hayatın vazgeçilmez bir parçası haline gelmiştir. Artan hizmet kalitesi ve genişleyen kullanım alanı çerçevesinde piyasadaki arz ve talep dengeleri yeniden oluşmaktadır.

Telekomünikasyon sektöründeki dönüşüm ve gelişimin en önemli sebeplerinden biri olan dijital teknolojide metin, ses ve video gibi birçok enformasyon biçimi bilgisayarlar tarafından kullanılan ikili kodlar aracılığıyla işlenebilmekte ve iletilebilmektedir. Bu teknoloji ile telekomünikasyon şebekelerinde daha çok trafik daha hızlı bir şekilde aktarılabilmektedir. Bu sayede telekomünikasyon, bilgisayar ve medya sektörleri birbirleriyle bütünleşmiş olmuşlardır.

Günümüzde, hemen hemen her türlü içeriğin her türlü altyapı üzerinden taşındığı ve talebe göre en az maliyetli altyapıdan yararlanma imkânının son kullanıcıya tanındığı bir yapıya geçilmektedir. Kablolı (xDSL) ve kablosuz (WiMAX) genişbant ile paket anahtarlama teknolojisi sayesinde televizyon yayınları evlere ulaştırılabilmekte, VoIP teknolojisi ile ses iletimi kablo TV şebekesi ve PSTN üzerinden ticari olarak sunulabilmektedir. Görüntülü cep telefonu, UMTS ile artık imkân dâhilindedir. Kablolı hizmetlerde fiber teknolojiler ve 3. hatta 4. nesil cep telefonu hizmetleri sayesinde telekomünikasyon altyapılarının kapasiteleri katma değerli hizmet konusunda dinamik etkinliği büyük ölçüde artıracak düzeyde artmıştır.

2.2.2.3 Yakınsama (Convergence)

Uluslararası telekomünikasyon birliğine (ITU) göre yakınsama, geçmişte ayrı teknoloji, piyasa ya da politikalarla tanımlanmış endüstri yapılarını bir araya getiren (entegre eden) kapasitedir. Avrupa komisyonuna göre ise yakınsama, farklı şebeke platformları aracılığıyla benzer hizmet çeşitlerinin taşınması ya da telefon, televizyon ve kişisel bilgisayar gibi tüketici aygıtlarının bir araya getirilmesidir. Sabit-mobil bütünleşmesi olarak da adlandırılan yakınsama, sabit telekomünikasyon sistemlerinin ucuz maliyeti ile mobil sistemlerin esnekliğini birleştirmek suretiyle, mobil ve sabit sistemler arasındaki ayrımı ortadan kaldırmaktadır. Dijital teknoloji sayesinde metin, ses ve video gibi birçok enformasyon biçimi birbiriyle yakınlaşmıştır.

2.2.3 Türkiye’de Telekomünikasyon Sektörü

Türkiye’de telekomünikasyonun sektörünün tarihi Osmanlı döneminde, 23 Ekim 1840 tarihinde Sultan Abdülmecit tarafından Postahane-i Amirane’nin kurulması ile başlamaktadır. Telgraf Nezaretinin 1855 yılında kurulmasından sonra 1871’de Posta ve Telgraf nezaretleri birleştirilerek, Posta ve Telgraf Nezaretine dönüştürülmüştür.

Telefon hizmeti ise ilk olarak, Temmuz 1881’de İstanbul Soğukçeşme’deki Posta ve Telgraf Nezareti binasıyla Yeni Cami’deki postane arasına çekilen tek telli bir telefon ile verilmiştir.

Türkiye’de ilk telefon sistemi İstanbul’da, 1911 yılında American Western Electric şirketine tanınan 30 yıllık bir imtiyaz karşılığında, bu şirket adına faaliyet göstermek amacıyla oluşturulan Dersaadet Telefon Anonim Şirketi tarafından kurulmuştur. I. Dünya Savaşı sırasında devlet tarafından el konulan şirket, 1935’e kadar İstanbul ve civarında telefon hizmetlerini sağlamaya devam etmiştir. Cumhuriyetin ilanından sonra da 1936 800.000 İngiliz Lirası bedel ile satın alınmıştır.

Cumhuriyetin ilanından sonraki dönemde ise, 1924 Telgraf ve Telefon Kanunu ile Osmanlı devletinden devralınan ve özel şirketler eliyle yürütülen telgraf ve telefon iletişimi yeniden düzenlenmiştir. Posta ve Telgraf ve Telefon İdaresi (PTT) 1936’da kurulmuş ve ülke çapında telekomünikasyon hizmetlerini sağlamakla görevlendirilmiştir. PTT İdaresi, 1939’da Ulaştırma Bakanlığına bağlanmış, 1953 yılında iktisadi devlet teşekkülü olarak yeniden yapılandırılmıştır.

1983 yılında işbaşına gelen hükümetin izlediği ekonomik model ve devletin ekonomideki ağırlığının azaltılması politikası çerçevesinde, kamu kesiminin imalat sanayi yatırımları kısılmış, haberleşme, enerji ve ulaştırma gibi altyapı yatırımlarına ağırlık verilmiştir. Bu dönemde hız kazanan altyapı yatırımları çerçevesinde, özellikle telekomünikasyon sektöründe büyük gelişmeler yaşanmış, 1982-1992 döneminde Türkiye, ITU üyesi Avrupa ülkeleri arasında ana hat sayısı artışında en yüksek gelişme hızını gösteren ülke olmuştur [5].

PTT tarafından yürütülen telekomünikasyon ve posta hizmetlerinin ayrılması sonucu 24 Nisan 1995’de ayrı bir tüzel kuruluş olarak kurulmuş ve PTT’nin telekomünikasyon hizmetleri ile ilgili tüm personel, varlık ve yükümlülükleri, hisselerinin tamamı Türkiye Cumhuriyeti Başbakanlık Hazine Müsteşarlığı’na (“Hazine”) ait olan Türk Telekomünikasyon A.Ş.’ye transfer olmuştur.

Türk Telekomünikasyon A.Ş.’nin özelleştirilmesi kapsamında 24 Ağustos 2005 tarihinde Oger Telekomünikasyon A.Ş. (“OTAŞ”) Türk Telekom’un %55 payını almak için 24 Ağustos 2005 tarihinde Özelleştirme İdaresi Yönetimi ile Hisse Devir Anlaşması imzalamıştır. Bu çerçevede Türk Telekomünikasyon A.Ş.’nin hisselerinin %55’lik kısmının blok satışıyla ilgili olarak Ortaklık Anlaşması ve Hisse Rehin Sözleşmesi 14 Kasım 2005 tarihinde Hazine ve OTAŞ arasında imzalanmış ve bu tarihten sonra OTAŞ, Türk Telekomünikasyon A.Ş.’nin ana ortağı olmuştur. Türk Telekomünikasyon A.Ş.’nin %55 hissesine sahip olan OTAŞ hisselerinin %99’una da Oger Telecom Limited (“Oger Telecom”) sahiptir.

Sermaye Piyasası Kurulu (“SPK”) ’nun Kurul kaydına alınmasına dair 22/256 sayılı izin belgesi ile Türk Telekomünikasyon A.Ş.’nin 3.500.000 TL nominal değerli sermayesinin %15’ine karşılık gelen ve Hazine’ye ait 525.000 TL nominal değerli sermayesini temsil eden hisse senetleri İstanbul Menkul Kıymetler Borsası Başkanlığı’nın izni ile 15 Mayıs 2008 tarihinde halka arz olunmuştur.

30 Haziran 2010 ve 31 Aralık 2009 tarihleri itibariyle Türk Telekomünikasyon A.Ş.’yi kontrol eden nihai ortak Oger Telecom’un ana ortağı olan Saudi Oger Ltd. (“Saudi Oger”) ’dir. Türk Telekomünikasyon A.Ş. ve Türk Telekomünikasyon Kurumu (yeni adıyla Bilgi Teknolojileri ve İletişim Kurumu (“BTK”)) arasında 14 Kasım 2005 tarihinde imzalanmış bir imtiyaz sözleşmesi (“İmtiyaz Sözleşmesi”) bulunmaktadır. Bu İmtiyaz Sözleşmesi kapsamında Türk Telekomünikasyon A.Ş.’ye 28 Şubat 2001 tarihinden başlamak üzere 25 yıl süre ile her türlü telekomünikasyon hizmetinin sağlanması, gerekli telekomünikasyon tesislerinin kurulması, bu tesislerin diğer lisanslı operatörler tarafından kullanılması ve telekomünikasyon hizmetlerinin pazarlaması ve tedariki hakları sunulmaktadır [6].

Türkiye’de GSM temelli mobil iletişim ise, Şubat 1994’te Türkcell’in hizmete girmesiyle başlamıştır. 1998’de T.C. Ulaştırma Bakanlığı operatör firmalar ile ilk GSM lisans anlaşmalarını imzalamıştır. Türkiye son 10 senede GSM sektörünün dünyada en hızlı geliştiği ülkelerin içindedir. Gelişmekte olan bir ülke olarak Türkiye için rekabetçi bir telekomünikasyon sektörü ekonomik gelişmenin çok önemli bir parçasıdır. Türkiye’nin dünya pazarlarında rekabet gücünü sağlamlaştırması için sağlam bir hukuki zemine sahip, teknolojiyi takip eden bir telekomünikasyon sektörü olmazsa olmaz koşul olarak kabul edilmelidir.

Türkiye telekomünikasyon sektöründe, 2001 yılı itibari ile mobil abone sayısında yaşanan hızlı artış sonucunda, toplam (sabit ve mobil) telefon abone sayısı 2007 yılında 80 milyonun üzerinde gerçekleşmiş ve toplam telefon abone sayısı penetrasyonu %114 seviyesini yakalamıştır. 2007 yılı sonu itibari ile 62 milyona ulaşan mobil abone sayısı sayesinde, toplam telefon penetrasyonu olumlu yönde ilerlemektedir. Sabit telefon toplam nüfusa göre 1998 yılında ulaştığı %26 penetrasyonu devam ettirmektedir. Bununla birlikte hemen hemen her hanede sabit telefon hizmetinden yararlanılabilmektedir. İnternet kullanıcı penetrasyonu ise kararlı bir şekilde yükselmekte olup, kısa ve orta vadede düzenli bir artış oranına sahip olması beklenmektedir (TK, 2008).

2.2.4 Türk Telekomünikasyon Anonim Şirketi'nin Kurumsal Yapısı

Türk Telekom, sabit hat ve GSM'den geniş bant internete kadar bütünleşmiş telekomünikasyon hizmetleri sunmaktadır. Türk Telekom grup şirketlerinin 30 Haziran 2010 itibariyle 16,3 milyon sabit hat, 6,5 milyon ADSL hattı ve 11,5 milyon GSM abonesi bulunmaktadır. Şirket, tüm ülkeyi kapsayan modern şebeke altyapısıyla Türkiye genelindeki bireysel ve kurumsal müşterilerine geniş bir hizmet yelpazesi sunmaktadır. TTnet, Argela, Innova, Sebit, Sobee ve AssisTT şirketlerinin % 99,9'una sahip olan Türk Telekom, aynı zamanda Türkiye'deki üç GSM operatöründen biri olan Avea'nın hisselerinin %81'ine de sahiptir. Bunun yanı sıra Türk Telekom, Arnavutluk'taki yerleşik telekom operatörü Albtelecom şirketinde de azınlık hissesine sahiptir.

Çizelge 2.2 Türk Telekom A.Ş.'nin sermaye yapısı [9]

GRUBU	ORTAK ADI	SERMAYE MİKTARI (TL)	PAYI (%)
A	Ojer Telekomünikasyon A.Ş.	1.925.000.000,00	55
B	T.C. Hazine Müsteşarlığı	971.249.999,99	30
C		0,01	
D		78.750.000,00	
D	Halka açık	525.000.000,00	15
	Toplam	3.500.000.000,00	100

Çizelge 2.2’de görüldüğü gibi Türk Telekomünikasyon A.Ş.’nin hisselerinin % 55’i Ojer Telekomünikasyon A.Ş. ve %30’u Türkiye Hazine Müsteşarlığı’na aittir. Geriye kalan % 15’lik hissesi de halka arz edilmiştir. Türk Telekom hisseleri, Mayıs 2008 itibarıyla İMKB’de işlem görmektedir. Yine çizelge 2.2’de belirtildiği üzere, T.C Hazine Müsteşarlığı, C Grubu hisseyi elinde bulundurmaktadır. C Grubu hisseye, Yönetim Kurulu’na 1 kişiyi Yönetim Kurulu Üyesi olarak aday gösterme hakkı ile Ana Sözleşme’nin 6. Maddesi’nde belirtilen aşağıdaki haklar tanınmıştır.

“Ekonomi ve güvenlik ile ilgili olarak milli menfaatin korunması amacıyla aşağıdaki konular ister Yönetim Kurulu’nda ister Genel Kurul’da onaylansın, C Grubu İmtiyazlı Hissenin olumlu oyu olmaksızın gerçekleştirilemez. Aksi takdirde yapılan işlemler yok sayılır.

- a) Ana Sözleşme değişiklikleri;
- b) Yönetim kontrolünü etkileyecek oranlardaki nama yazılı hisselerin devri;
- c) Nama yazılı hisselerin devrinin pay defterine işlenmesi” [9].

Şirket, 18 Mayıs 2010 tarihinde Invitel Holdings A/S ile Invitel International AG (tüm iştirakleri ile birlikte), AT-INVITEL GmbH, Invitel International Hungary Kft ve S.C. Euroweb Romania S.A. şirketlerinin (“Invitel Grup”) hisselerinin %100’ünün 221 milyon Euro şirket değeri üzerinden satın alınmasına ilişkin bir hisse alım anlaşması imzalamıştır. Sözleşme gereği, Şirket bu alım için hisse bedeli olarak 130,1 milyon Euro ödeyecek, ayrıca Invitel şirketlerinin mevcut ortaklarına olan borçlarının ödenmesini sağlamak üzere Invitel Grup şirketlerine 67,3 milyon Euro finansman sağlayacaktır.

2.2.5 Türk Telekomünikasyon A.Ş.’nin Vizyonu, Misyonu ve Değerleri

Türk Telekom’un amacı her zaman ve her yerde müşteri odaklı, bütünleşmiş iletişim çözümleri ile müşterilerine hızlı, kaliteli, ekonomik hizmetler sunmaktır.

Türk Telekom’un varlık sebebini ve müşterileri için hangi değerlerin üretildiğini tanımlayan misyonu, müşteri odaklı bütünleşmiş iletişim çözümleri sağlayarak her zaman ve her yerde müşterilerine hızlı, kaliteli, ekonomik hizmetler sunmaktır.

Türk Telekom’un kurmak istediği geleceği ve şirketin ulaşmayı amaçladığı noktayı ifade eden vizyonu, iletişimde müşterilerini geleceğe taşıyan en doğru adres olmaktır.

Şirketi eşsiz kılan inançlar dizisini ve şirketin karakterini tanımlayan kültürel özellikleri temsil eden değerleri ise müşteri odaklı, güvenilir, yenilikçi, sorumlu ve özverili olması ile gücü, dayanışma ve takım ruhuna dayanmaktadır [8].

2.3 Türk Telekom A.Ş. ve Enerji

Telekomünikasyon sektörü katma değerin yüksek olduğu ve geleceği oldukça parlak bir sektördür. Bir altyapı sektörü olan telekomünikasyon sektöründe elde edilecek etkinlik artışlarının diğer sektörlerle doğrudan yansımaları, uluslararası rekabet ve ülke vatandaşlarının refahı açısından bu sektörü politik önceliklerin üst sırasına yerleştirmektedir (DPT, 2007).

Türkiye’de altyapısı en güçlü kurumlarından biri olan, iletişim, bilişim ve teknoloji devi olarak anılan Türk Telekom A.Ş.’de enerji, 7 gün 24 saat kesintisiz kaliteli bir iletişimin verilebilmesi ve en son teknolojik ürünlerin (videofon, IPTV, VDSL2 vb.) son kullanıcılar tarafından kesintisiz kullanılabilmesi için kritik bir önem arz etmektedir. Bu bağlamda enerjinin etkin ve verimli kullanımı açısından enerji tüketim tahmininin yapılması ve gerektiği durumlarda yinelenen enerji kaynaklarına (güneş enerjisi, rüzgar enerjisi vb.) yönelmenin gerekliliğini ortaya koymaktadır.

Tüm Türkiye’de 760 milyon kWh’lik gibi yüksek sayılabilecek bir enerji tüketimine sahip olan Türk Telekom A.Ş.’de İstanbul ili Anadolu Yakası enerji tüketimi yıllık 60 milyon kWh’tir. Bu da Türk Telekom A.Ş.’nin Türkiye’de tükettiği enerjinin yaklaşık % 8’ine tekabül etmektedir. Türk Telekom A.Ş.’nin İstanbul Anadolu Yakası’nda hali hazırda 169 merkezde dahili (indoor) santral merkezi ile yaklaşık 1000 adette dış (outdoor) santral kabinleri bulunmaktadır.

Elektrik enerjisi tüketiminin ortalama %55 lik kısmı, soğutma sistemlerine aittir. Santral merkezlerinde bulunan her türlü sisteme ait cihazların sağlıklı çalışma sıcaklığının 22°C olması gereklidir. Dolayısıyla iklimler yaz aylarında daha fazla çalışmak zorunda olup enerji tüketimini artırıcı yönde bir etki yapmaktadır. 1°C’lik sıcaklık artışı bir günde %1 daha fazla enerji tüketimini gerçekleştirdiği öngörülmektedir.

Tüketimin yaklaşık %40’lık bir kısmı telefon ve data abonelerinin getirdiği yüküdür. İstanbul Anadolu Yakası’nda toplam 1,6 milyon sabit telefon abone sayısı ile sürekli artan ve abone sayısı 600 bini geçen adsl abone sayısı, bu %40’lık tüketimin çok büyük bir kısmını

oluşturmaktadır. Sabit telefon abone sayısındaki artışın adsl abone sayısına göre düşük kalması nedeniyle tüketimi etkileyen faktörlerin dışında tutulmuştur.

Kış aylarında ise gün ışığından yararlanma süresinin azlığı nedeniyle aydınlatma sistemlerinin enerji tüketiminin arttığı tespit edilmiştir. Ancak tüm aydınlatma sistemlerinin yıllık tüketimine bakıldığında toplam tüketimin yaklaşık %5 lik bir kısmına tekabül etmekte ve kayda değer bir değişim göstermemektedir. Ancak son teknolojileri müşterilere sağlıklı ve kaliteli verebilmek için gün geçtikçe santral sayıları artmakta, neredeyse her siteye bir telefon santrali yapılmaktadır. Ancak bu santrallerin küçük ve arıza ile bakım dışında kimsenin bulunmaması sebebiyle aydınlatma tüketimi düşüktür.

Elektrik tüketiminin çok az bir kısmı da, Türk Telekom A.Ş.'nin Türkiye'deki haberleşme altyapısının büyük bir kısmını oluşturması sebebiyle, iletişim rekabetinin sağlanması açısından diğer firmaların belli bir usul ve esaslara dayanarak Türk Telekom A.Ş.'nin santral merkezlerinin belli yerlerini kiralayarak çalıştırdığı çeşitli sistemlere ait cihazların tükettiği enerjidir. Her santral merkezinde olmadığından bu etkende tüketimi etkileyen faktörler dışında tutulmuştur.

3. ELEKTRİK ENERJİSİ TÜKETİM TAHMİNİNİN LİTERATÜR İNCELEMESİ

Bu bölümde bu tez çalışması ile ilgili en yakın konuları içeren birçok literatür incelenmiştir. İncelenen literatürlerden, içerisinde yapay sinir ağları (YSA) kullanılarak elektrik tüketim tahmini yapılan 3 literatüre detaylıca değinilmektedir.

Özetleri bu tez çalışmasında verilen literatürlerden ilki Azadeh vd., (2008) taraflarından yapılan YSA ile modellenen algoritma kullanılarak elektrik tüketim tahmin çalışmasıdır. İran'da yüksek enerji tüketimine sahip endüstriyel sektörlerdeki elektrik tüketim verileri kullanılarak tahmin yapılmıştır. Çalışmada YSA ve varyans analizi (ANOVA) yapılarak hata oranları bulunup karşılaştırılarak çalışmanın öngörüsü desteklenmiştir.

İkinci literatürde ise Türkiye'nin 1975-2006 yılları arasındaki tüketim verilerinden 2027 yılına kadar elektrik tüketim tahmini yapılmıştır (Kavaklıoğlu vd., 2009). Burada YSA kullanılarak farklı giriş çıkış alternatifleri denenmiş ve bu alternatifler sonucunda hata oranları karşılaştırılarak en iyi sonucu veren modellemeye göre elektrik tüketim tahmini yapılmıştır.

İncelenen son literatür, Hsiao-Tien Pao (2004) tarafından yapılan lineer ve non-lineer modellemelerle karşılaştırma yapılarak elektrik tüketim tahmin çalışmasıdır. Bu çalışmada Tayvan'ın 1990-2002 yılları arasındaki elektrik tüketim verileri kullanılarak YSA ve regresyon analizi ile hata oranları tespit edilmiştir. En iyi sonucu veren ağ modeli ile de elektrik tüketim tahmini gerçekleştirilmiştir.

3.1 Yüksek Enerji Tüketimli Endüstriyel Sektörlerde YSA Kullanarak Yıllık Elektrik Tüketim Tahmini

Bu çalışmada İran'ın Endüstriyel Sektörlerinde 1979-2003 yıllarına ait elektrik tüketiminin gerçek verileri kullanılarak öğreticili (supervised) çok katmanlı perceptron (multilayer perceptron=MLP) kullanarak tahminler yapılmıştır. Sonuçlar ve gerçek veriler ANOVA adı verilen varyans analizi ile karşılaştırılarak YSA'nın geleneksel regresyon modellerinden daha iyi sonuç verdiği kanaatine varılmıştır.

Tahmin için enerji tüketen sektörlerden yüksek enerjili verilere sahip sektörler kullanılmıştır. Zira tüketim doğrusal değildir ve YSA'nın kullanılmasına elverişlidir. Daha önceleri YSA kullanılarak kısa süreli tahminler yapılmasına rağmen bu çalışma ile ilk defa uzun süreli tahmin yapılmıştır. Sonuçların doğruluğu ANOVA ve Duncan araştırması ile test edilmiştir.

YSA algoritması elektrik tüketimini modellemek için kullanılmıştır. İlk önce MLP kullanarak en iyi ağ tanımlanmıştır. En iyi ağı seçmek için MAPE (mean absolute percentage error) kullanılarak gerçek test verileri ile karşılaştırılmış ve yine MAPE kullanarak regresyon yapılmıştır. Sonunda da ANOVA ve Duncan testleri ile veriler doğrulanıp onaylanmıştır (verification and validation).

Algoritma adımları aşağıdaki gibidir:

- Modelin giriş ve çıkış değerlerini belirleme
- Bütün periyotlarda giriş-çıkış ilişkisini sağlayan data setleri toplamak (s)
- S'yi ikiye ayırmak:
 - a. Eğitim –s1
 - b. Test –s2

Bu yaklaşım test datalarından en iyi ağı sağlayan datayı üretmeyi amaçlar. Bunun için eğitim dataları kullanarak test dataları elde edilir. Test dataları rastgele seçilebilir, ama YSA'da hesaplanarak seçilir. Yani bir önceki periyotta mevcut periyot için onaylama dataları hesaplanır.

- Eğitim veri seti için regresyon modeli üretilmiştir. Böylece test periyodu için elektrik tüketim tahmini yapılmıştır.
- Giriş ve çıkış arasındaki ilişkiyi tahmin etmek için YSA kullanılmıştır.

En uygun gizli katman sayısını bulmak için ağın değişik yapıları ve değişik eğitim parametreleri ile yukarıdaki adımlar tekrarlanmıştır.

Eğer gizli katman sayısı opsiyonel ise algoritma şu şekilde çalışmaktadır:

1. Ağ yapısını ve eğitim parametrelerini seç
2. S1 kullanarak modeli eğit
3. S2 kullanarak modeli değerlendir
4. Test veriden istenilen hataya bakarak en iyi ağ yapısını (YSA) seç
5. YSA sonuçlarının doğrulanıp onaylanması için test datalara ANOVA'yı uygula.

Doğru sonucu almak için çok fazla veriye ihtiyaç duyulmaktadır. Bu verilerin bazıları test bazıları eğitim için kullanılmaktadır. Ayrıca veriler $[0,1]$ aralığında normalize edilmektedir. Normalize edilmiş veri üzerinde işlem yapılmaktadır.

YSA algoritmasını çalıştırma: İran'daki elektrik tüketimi yüksek olan endüstrilerin tükettiği yıllık veriler (1979-2003) algoritma için kullanılmıştır. Bu 25 yıllık verilerin 21 yılı eğitim (1979-1999 yılları), 4 yılı da test (2000-2003) olarak alınmıştır.

Bir sürü MLP ağı üretilip test edilmiş, en iyi sonuç veren 5 model özetlenmiştir. Bu sonuçlar 4 yıllık test verilerinden elde edilmiştir.

Elde edilen sonuçlar regresyon ile karşılaştırılmış ve MLP'nin regresyona göre çıkışlarının daha az hatalı olduğu görülmüştür.

MLP ve regresyonu karşılaştırmak için kullanılan yöntemler, MAE (mean absolute error), MSE (mean square error) ve MAPE (mean absolute percentage error) dir. Bu 3 yöntemdeki MLP hatası regresyon hatasına göre daha az bulunmuştur (Azadeh vd., 2008)

3.2 YSA Kullanarak Türkiye'nin Elektrik Tüketiminin Modellenmesi ve Tahmini

Bu çalışmada Türkiye'nin elektrik tüketiminin tahmini için YSA modeli kullanılmıştır. YSA topolojisi olarak geri yayılım öğrenme algoritması kullanan MLP seçilmiştir. Gizli ve çıkış katmanları verileri için tangent-sigmoid ve pure-lineer transfer fonksiyonları seçilmiştir. Elektrik tüketimi, ekonomik göstergelerin (nüfus, gayri safi milli hasıla (GSMH), ithalat ihracat) fonksiyonu olarak modellenmiştir. Performans ölçümü (üretilen birçok model arasında) gene MAE ve MSE ile yapılmıştır. Türkiye'nin 1975-2006 yılları arasındaki tüketim verilerinden 2027 yılına kadar elektrik tüketimi tahmin edilmiştir. Sonuçlar da elektrik tüketiminin YSA kullanarak modellenebileceğini ve bu üretilen modellerin gelecekteki elektrik tüketiminin tahmin edilebileceğini göstermiştir.

Non-lineer olan elektrik tüketimi YSA kullanarak modellenebilir. Bu çalışmada elektrik tüketiminin modellenmesi için elektrik tüketimine (Türkiye'de) etki eden faktörler ele alınmıştır. Bunlar nüfus, GSMH ve ithalat-ihracat değerleridir. Bu kriterlere göre tüketim artarak veya azalarak non-lineer bir yapı oluşturur. Zaman da önemli bir faktör olarak alınmıştır.

Bu çalışmada geri yayılım algoritması (BPA) kullanılmıştır. En düşük hata için MSE algoritması kullanılmıştır. Bu teknikler gerçek ağ çıktıları ile beklenen çıktıları karşılaştıran algoritmalarıdır.

YSA giriş-çıkış örnekleri ile öğrenmeye inşa edilmiştir. Ağ içinde bilginin saklanması YSA'nın ayrı bir problemidir. Modelin bilgileri tüm bağlantılar arasında dağıtılmaktadır. Bu yüzden bu YSA modelinde ağı bilgileri kaybolmaya karşı toleranslıdır.

Yukarıda adı geçen ekonomik göstergeler elektrik tüketim tahmini için ölçüt olarak belirlenmiştir. Bunlara ait 1975-2006 yılları arası veriler Türkiye Elektrik İletimi Şirketi (TEİAŞ)' nden alınmıştır. Matlab'ın Neural Network Toolbox'ı simülasyon için kullanılmıştır.

3.2.1 Ekonomik Ölçütlere Göre Modelleme

Zamandan bağımsız modellenmiş olup toplam elektrik tüketimini verilen herhangi bir yıl için nüfus, GSMH, ithalat-ihracat ile tahmin edilmiştir. 2 farklı veri seti vardır:

- Deterministik test seti: 1975-2000 yılları arası veriler eğitim, 2001-2006 yılları arası veriler de test verisi olarak seçilmiştir.

3 katmanlı geri yayılım ağı, 4 giriş, 1 gizli, 1 çıkış işlem elemanlarından oluşmaktadır.

- Rastgele test seti: Eğitim ve test verileri rastgele seçilmiştir.

3 katmanlı geri yayılım ağı, 4 giriş, 2 gizli, 1 çıkış işlem elemanlarından oluşmaktadır.

Denemeler sonucunda rastgele olarak seçilen veri setleriyle daha yüksek başarı elde edilmiştir. Hata oranı eğer rastgele eğitim ve test veri setleri seçilirse daha az olarak hesaplanmaktadır.

3.2.2 İthalat-ihracat Oranları ile Modelleme:

3 katmanlı geri yayılım ağı, 3 giriş, 2 gizli, 1 çıkış işlem elemanlarından oluşmaktadır. 1977, 1981, 1994, 1995 ve 2000 yılları rastgele olarak test seti geriye kalan yıllar da eğitim olarak seçilmiştir.

3.2.3 Zamana Bağlı Modelleme:

3 katmanlı geri yayılım ağı, 1 giriş, 2 gizli, 5 çıkış işlem elemanlarından oluşmaktadır. 5 ölçütün hepsi tahmin edilmiştir. Tahminler 1986, 1991, 1993, 1998 ve 1999 yılları rastgele test seti olarak ve geri kalanı da eğitim veri seti olarak seçilerek denemeler yapılmıştır.

Denemeler sonucunda zamana bağımlı olarak oluşturulan modellemedeki veri seti, yani geçen yılları giriş olarak verip 5 ölçütü tahmin etmek en az hatayı sağlamaktadır. Bu çalışmada yapılan uygulamalar neticesinde, zamana bağımlı olarak tasarlanan model en iyi sonucu vermektedir (Kavaklıoğlu vd., 2009).

3.3 Tayvan Elektrik Tüketiminin Lineer ve Non Lineer Tahmininin Karşılaştırılması

Bu çalışmada lineer ve non lineer istatistik modelleri ve YSA kullanılarak 4 ekonomik faktörün (NI-milli gelir, POP-nüfus, GDP-yerli üretim hasılası, CPI-tüketici fiyat endeksi) Tayvan elektrik tüketimine olan etkileri araştırılıp bir ekonomik tahmin modeli üretilmiştir. Tahmin için lineer metotlar ve YSA kullanılmaktadır. Bu çalışmanın neticesinde YSA' nın daha iyi tahmin gerçekleştirdiği ancak tahmin için her 2 yöntemin de kullanılabileceği kanısına varılmıştır.

Tayvan ekonomi veri merkezinden 1990-2002 yıllarına ait 156 aylık veriler alınmış ve aylık sıcaklıklar 25 farklı merkezden toplanmıştır.

Tahmin için 3 lineer model ve 1 nonlinear YSA modeli kullanılmıştır:

1. LNREG- çoklu lineer regresyon metodu (multiple lineer regresyon)
2. RSREG- yanıt yüzey regresyon metodu (response surface regresyon)
3. ARMAX- ARMA hata modeli regresyon
4. YSA

➤ 3 lineer model:

Bu modelde 7 tane log lineer regresyon modeli işlenmiştir. Bunlardan sonra katsayı değerlerini tahmin etmek için standart regresyon modeli (SRM) kullanılarak bazı testler yapılmıştır. Bu testler normallik, düzeltilmiş R^2 (adjusted R^2), F-test ve Durbin-Watson testleridir. Bu tahminler bağımlı değişkenler içinde bağımsız değerlerin etkilerini karşılaştırmak için kullanılmıştır.

➤ YSA modeli:

Model 1 giriş, 1 çıkış ve 1 gizli katmandan oluşmaktadır. Geri yayılım algoritmali MLP modeli kullanılmıştır. Her gizli katman transfer fonksiyonu olarak sigmoid transfer fonksiyonlarını kullanmıştır. Hata oranları ise RMSE (root mean square error), MAE (mean absolute error) ve MAPE (mean absolute percentage error) ile ölçülmüş olup tespit edilmiştir.

Her iki yöntemle yapılan denemeler sonucunda YSA ile oluşturulan modelin lineer regresyon modellerine göre 3 türlü hata ölçme yöntemleriyle de çok daha az hatalı olduğu görülmüştür. Yani YSA modeli lineer olarak elektrik tüketiminin tahminine göre daha başarılı olduğu sonucuna varılmıştır. Denemeler test ve eğitim datalarını hem az hem çok sayıda seçerek yapılmıştır. Her iki sonuçta da YSA daha iyi sonuç vermiştir. Ayrıca 5 kritik faktörün elektrik tüketimine olan etkileri yüksekte düşüğe doğru şu şekilde hesaplanmış: NI,POP, TEMP, CPI, GDP. NI-milli gelir, POP-nüfus, TEMP-Sıcaklık, CPI-tüketici fiyat endeksi, GDP-yerli üretim hasılası (Pao, 2006).

3.4 Literatürlerin Değerlendirilmesi

Çeşitli tahmin yöntemleri ile elektrik tüketim tahminlerinin yapıldığı literatürlerden YSA modellerini kullanan ve yukarıda özetleri verilen 3 literatürde de hata değerlerine bakıldığında en iyi sonucun YSA modellerinin verdiği ve bu modele göre tahmin yapıldığı görülmektedir.

Çizelge 3.1 Araştırılan literatürlerdeki YSA modellerinin karşılaştırılması

Lit. No	Kullanılan YSA modeli	Giriş Katmanı Sayısı	Gizli Katman Sayısı	Çıkış Katmanı Sayısı	Hata Ölçme Yöntemi	Hata Oranı
1	MLP	1	2	1	MAPE	0,0099
2	MLP	1	2	5	RMS	0,0165
3	MLP	1	1	1	MAPE	0,0319

Çizelge 3.1’de bahsi geçen 3 literatürde kullanılan YSA modelleri ve bu modellerin uygulanması sonucunda hesaplanan hata oranları görülmektedir.

Birinci modelde en düşük hata oranına sahip YSA ağı, 1 giriş katmanı, 2 gizli katman, 1 tane de çıkış katmanına sahiptir. MAPE kullanılarak eğitim hata oranları ölçülmüştür. Buna göre hata oranı 0,0099'dur. Aynı zamanda en düşük hata oranında sahip olan modeldir.

İkinci modelde ise YSA ağı 1 giriş katmanı, 2 gizli katman, 5 tane de çıkış katmanına sahiptir. RMS kullanılarak eğitim hata oranları ölçülmüştür. Hata oranı 0,0165'tir.

Üçüncü modelde de YSA ağı 1 giriş katmanı, 1 gizli katman, 1 tane de çıkış katmanına sahiptir. MAPE kullanılarak eğitim hata oranları ölçülmüştür. Hata oranı 0,0319'dur.

Sonuç olarak bu 3 literatür de değerlendirildiğinde, non-lineer bir özelliğe sahip elektrik tüketim değerlerinin tahmini için yapılan tahmin yöntemleri içerisinde en iyi hata oranına sahip modellemenin, YSA modellemelerinin olduğu kanaatine varılmıştır.

3.5 Türkiye’de Yapılan Bazı Enerji Talep Tahmin Çalışmaları

Yapay Sinir Ağları enerji tüketiminin tahmininde önemli bir araçtır. YSA yaklaşımı bir çok araştırmada kullanılmasına rağmen enerji tüketiminin tahmininde literatürde sınırlı sayıda çalışmaya rastlanmaktadır (Ermiş vd., 2007). Enerji tahmininde, klasik istatistiksel teknikler yerini karmaşık problemleri çözebilmelerinden dolayı genetik algoritma ve yapay sinir ağları gibi alternatif tekniklere bırakmaktadır.

Akay ve Atak (2006), Türkiye’nin elektrik talebini yeni bir yaklaşım olan ve eldeki veri sayısı az iken uygulanabilen bir zaman serisi analizi Gri Tahmin Yöntemi (Grey Prediction With Rolling Mechanism - GPRM) metoduyla tahmin etmişlerdir. Türkiye Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığının tahmin sonuçları ile bu çalışmadaki tahmin sonuçları karşılaştırılmış ve önerilen modelin daha az hata verdiği görülmüştür. Çalışmanın sonuçlarına göre 2015 yılında Türkiye’nin toplam elektrik tüketiminin 165,5 TWh olması beklenmektedir.

Yüksek vd. (2006), Türkiye’nin hidroelektrik enerjinin enerji talep tahmini üzerindeki rolünü incelemişlerdir. Tahmin yöntemi olarak bir benzetim modeli olan “Enerji Talebini Değerlendirme Modeli (Model for Assessment of Energy Demand - MAED)” modelini kullanmışlardır. Yapılan tahmin çalışması neticesinde 2020 yılında Türkiye’nin hidroelektrik enerji potansiyeli tüm enerji ihtiyacının %33-46’sını karşılayabilmesi beklenmektedir.

Sözen vd., (2005), çalışmalarında Türkiye'nin net enerji tüketimini yapay sinir ağı ile tahmin etmişlerdir. Yapılan çalışma neticesinde yapay sinir ağının enerji tüketimi tahmininde başarılı

sonuçlar verdiği görülerek enerji tüketim tahmin modeli olarak kullanılması kanaatine varılmıştır.

Öztürk vd., (2005), genetik algoritma yaklaşımı ile Türkiye'nin elektrik tüketimi tahmininde bulunmuşlardır. Bu alışma neticesinde genetik algoritmanın alternatif bir tahmin modeli olacağı yargısına varılmıştır.

Yumurtacı ve Asmaz (2004), Türkiye'nin 2050 yılına kadar olan elektrik talep tahminini yaparlarken çok değişkenli regresyon modeli kullanmışlardır. Tahminler yapılırken alınan veriler 1980-2002 yılları arasındaki Türkiye'nin elektrik tüketim verileridir. Tahmin sonuçlarına göre Türkiye'nin enerji ihtiyaı 2050 yılında 1,173 milyar kWh olacaktır.

4. YAPAY SİNİR AĞLARI (YSA) ve REGRESYON ANALİZİ

4.1 Yapay Sinir Ağları (YSA)

Yapay sinir ağları (YSA), insan beyninin özelliklerinden olan öğrenme yolu ile yeni bilgiler türetebilme, yeni bilgiler oluşturabilme ve keşfedebilme gibi yetenekleri, herhangi bir yardım almadan otomatik olarak gerçekleştirebilmek amacı ile geliştirilen bilgisayar sistemleridir (Öztemel, 2003).

Yapay sinir ağları canlılarda bulunan sinir sisteminin çalışmasını elektronik ortama taşımayı hedefleyen bir programlama yaklaşımıdır. Yapay sinir ağlarının da canlılarda olduğu gibi öğrenme, hatırlama ve öğrendiklerini güncelleme gibi yeteneklerinin olması hedeflenmektedir.

Sinir sisteminin davranışlarını kopyalayabilmek için yapısının da kopyalanması gerektiğini düşünen bilim adamları yapay sinir ağlarını modellerken de sinir sisteminin yapısını örnek almışlardır.

Yapay sinir hücrelerinin birbirine bağlanmasıyla oluşan bir yapay sinir ağı öğrenme algoritmalarından herhangi birini kullanarak öğrenme sürecini tamamladığında kullanıma hazır hale gelir. Yapay sinir ağı çalıştığı sürece öğrenme ve bilgilerini güncelleme yeteneğine de sahiptir [10].

YSA, biyolojik sinir ağlarından esinlenerek modellenmiş olup, onlardan çok daha basit bir yapıya sahiptir. O nedenle de anlaşılması daha kolaydır. Geliştirilen birçok YSA, biyolojik sinir ağlarının bilinen temel birkaç özelliğini (öğrenme kabiliyeti gibi) benzetmek (simulation) üzere geliştirilmiştir. Birtakım özellikler ise nörofizyolojik yaklaşımlar yerine mühendislik yaklaşımı ile geliştirilmektedir.

Bir YSA' nın yapısını belirleyen bazı faktörler vardır. Yapay nöronlar veya mühendislik deyişiyle işlem elemanları, sinir ağının yapısal dağılışı şekli, ağın sahip olduğu öğrenme kuralı ve stratejisi bunların başında gelir. YSA mimarilerinin çeşitliliğine rağmen, benzer kısımlardan oluşurlar.

Bir sinir ağının genel formunda, nörona benzeyen birime “işlem elemanı” denilmektedir. Ağ, bu elemanların bir araya gelmeleriyle meydana gelmektedir. Bu elemanlar genellikle tamamen veya kısmen bağlı sıralı katmanlar şeklinde düzenlenmişlerdir.

YSA, paralel dağılmış bir bilgi işleme sistemidir. Bu sistem genellikle tek yönlü işaret kanalları (bağlantılar) ile birbirine bağlanan işlem elemanlarından oluşur. Çıkış işareti bir tane olup isteğe göre çoğaltılabilir. YSA yaklaşımının temel düşüncesiyle, insan beyninin fonksiyonları arasında benzerlik vardır. Bu yüzden YSA sistemine “insan beyninin modeli” denilebilir. YSA çevre şartlarına göre davranışlarını şekillendirebilir. Girişler ve istenen çıkışların sisteme verilmesi ile kendisini farklı cevaplar verebilecek şekilde ayarlayabilir. Ancak son derece karmaşık bir içyapısı vardır [11].

4.1.1 Yapay Sinir Ağlarının Kısa Tarihçesi

İlk yapay nöron, 1943 yılında nöropsikiyatrist Warren McCulloch ve bilim adamı Walter Pitts tarafından üretilmiştir. Ancak dönemin kısıtlı olanakları nedeniyle, bu alanda çok gelişme sağlanamamıştır. Bundan sonra 1969’da Minsky ve Papert bir kitap yayınlayarak, yapay sinir ağları alanında duyulan etik kaygıları da ortadan kaldırmış ve bu yeni teknolojiye giden yolu açmışlardır. İlk gözle görülür gelişmeler ise 1990’lı yıllara dayanmaktadır [12].

4.1.2 Yapay Sinir Ağlarının Genel Özellikleri

Yapay sinir ağları genel olarak canlı beyninin yapısını gerçekleştirmeyi hedefler. Aşağıdaki işlemleri gerçekleştirebilir:

- Öğrenme
- İlişkilendirme
- Sınıflandırma
- Genelleme
- Tahmin
- Özellik belirleme
- Optimizasyon

Bu işlemleri yapan sinir ağlarının ortak noktası ise bir müdahale yapılmaksızın, elinde bulunan bilgilere göre sonuç üretebilmesidir.

Yapay sinir ağları öğrenme işlemi sırasında verilen bilgiler ile kendini düzenleyerek daha sonraki girdiler için doğru kararlar verebilme yeteneğine sahiptir [10].

Yapay sinir ağı (YSA), insan beyninin bilgi işleme teknolojisinden esinlenerek geliştirilmiş bir bilgi işlem teknolojisidir. YSA ile basit biyolojik sinir sisteminin çalışma şekli simüle edilir (benzetilir). Simüle edilen sinir hücreleri nöronlar içerirler ve bu nöronlar çeşitli şekillerde birbirlerine bağlanarak ağı oluştururlar. Bu ağlar öğrenme, hafızaya alma ve veriler arasındaki ilişkiyi ortaya çıkarma kapasitesine sahiptirler. Diğer bir ifadeyle, YSA'lar, normalde bir insanın düşünme ve gözlemlemeye yönelik doğal yeteneklerini gerektiren problemlere çözüm üretmektedir. Bir insanın, düşünme ve gözlemleme yeteneklerini gerektiren problemlere yönelik çözümler üretebilmesinin temel sebebi ise insan beyninin ve dolayısıyla insanın sahip olduğu yaşayarak veya deneyerek öğrenme yeteneğidir.

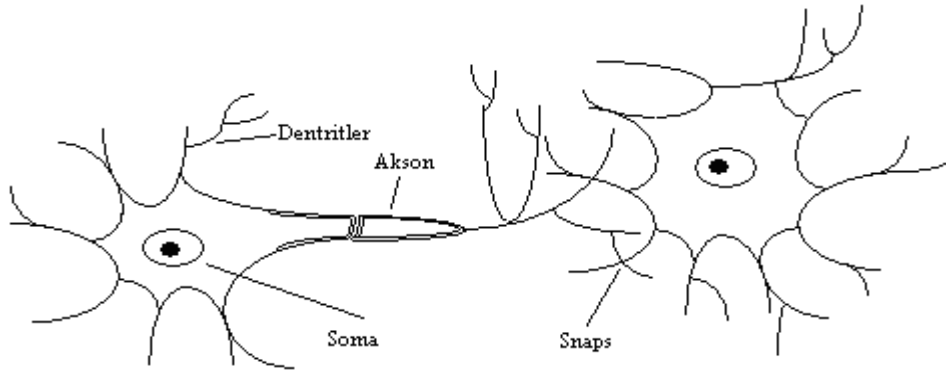
Biyolojik sistemlerde öğrenme, nöronlar arasındaki sinaptik (synaptic) bağlantıların ayarlanması ile olur. Yani, insanlar doğumlarından itibaren bir *yaşayarak öğrenme* süreci içerisine girerler. Bu süreç içinde beyin sürekli bir gelişme göstermektedir. Yaşayıp tecrübe ettikçe sinaptik bağlantılar ayarlanır ve hatta yeni bağlantılar oluşur. Bu sayede öğrenme gerçekleşir. Bu durum YSA için de geçerlidir. Öğrenme, eğitme yoluyla örnekler kullanarak olur; başka bir deyişle, gerçekleşme girdi/çıkış verilerinin işlenmesiyle, yani eğitme algoritmasının bu verileri kullanarak bağlantı ağırlıklarını (weights of the synapses) bir yakınsama sağlanana kadar, tekrar tekrar ayarlamasıyla olur [13].

4.1.3 Biyolojik Sinir Ağları ve Nöronun Biyolojik Yapısı

Biyolojik sinir ağları başlangıçta sadece nörofizyolojistler tarafından araştırılmıştır. Araştırmaların konusu, genel olarak her bir nöronun yapısı ve birbirleri ile nasıl ilişkide bulundukları üzerine olmuştur. Yapay sinir ağlarının oluşturulmasında bu çalışmaların faydası inkar edilemez. Sinir sisteminin en basit yapısı olan bir nöronun analizi bu nedenle önem arz eder. Nöron, sinir ağlarının en temel elemanlarından birisi olup sinir sistemi içerisindeki fonksiyon ve görevlerine göre değişik şekil ve büyüklükte olabilir. Bütün nöronların ortak bazı özellikleri bulunmaktadır (Şekil 4.1). Nöron, soma adı verilen hücre gövdesi, bir ucunda bir grup liflere benzer “dendrit” adı verilen ve hücreye diğer hücrelerden veya dış dünyadan bilgiler (sinyaller) getiren bağlantı elemanları, diğer ucunda ise tek bir life benzer “akson” adı verilen ve hücrelerden diğerlerine veya dış dünyaya bilgiler taşıyan bağlantı elemanından müteşekkildir. Bu akson daha sonra diğer hücrelerle birleşme esnasında dağınık dallara ayrılmaktadır. Bu iki uçtaki bağlantı noktalarının elektrofizyolojik olarak hücrelerdeki bilgileri işlemede önemli yeri vardır. Dendrit tarafından alınan sinyaller hücrede birleştirilerek

bir çıkış darbesi üretilip üretilmeyeceğine karar verilir. Eğer bir iş yapılacaksa üretilen çıkış darbesi aksonlar tarafından taşınarak diğer nöronlarla olan bağlantılara veya terminal organlara iletilir.

Nöronların birbirleri ile elektrik sinyalleri şeklinde haberleştiği belirlenmiştir. Sinyaller bir nöronun aksonundan diğerinin dentritine gönderilir. Bir akson birden fazla dentrit ile ilişkiye girebilir. Bu bağlantının yapıldığı yere “snaps” denir (Şekil 4.1). Nöronlar elektrik sinyalini hücre duvarındaki voltajı değiştirerek üretirler. Bu ise hücrenin içinde ve dışında dağılmış bulunan iyonlar vasıtasıyla olur. Bu iyonlar sodyum, potasyum, kalsiyum ve klor gibi iyonlardır. Potasyum yoğunluğu nöronun içinde sodyum yoğunluğu nöronun dışındadır.



Şekil 4.1 Biyolojik nöron/sinir hücresinin şematik yapısı [11]

Bir hücre diğer bir hücreye elektrik enerjisini bu kimyasal iyonlar vasıtasıyla transfer eder. Bazı iyonlar elektrik ve manyetik kutuplaşmaya sebep olurken bazıları kutuplaşmadan kurtulup hücre zarını açarak iyonların somaya geçmesini sağlar. Zaten sinyallerin bir hücreden diğerine akmasını sağlayan da bu kutuplaşmanın azalması olayıdır. Sinyaller hücrenin etkinliğini (dürtüsünü) belirler. Bir hücrenin etkinliği, hücreye gelen snaps sayısı, snapslardaki iyonların konsantrasyonu, snapsın sahip olduğu güç olmak üzere üç faktöre bağlıdır. Bir nöron sahip olduğu dürtü miktarınca diğer hücreleri etkiler. Bazı hücreler diğerlerinin dürtülerini pozitif yönde, bazı hücreler de negatif yönde etkiler. İnsan beyni bu şekilde çalışan milyonlarca nöronun bir araya gelmesinden oluşur. Beyinde korteks denilen bölgede her nöronun bir karşılığı vardır. Bir nöronun çıkışı ona bağlı olan bütün nöronlara iletilir. Fakat korteks, işin yapılabilmesi için hangi nöron harekete geçecekse sadece ona komut gönderir.

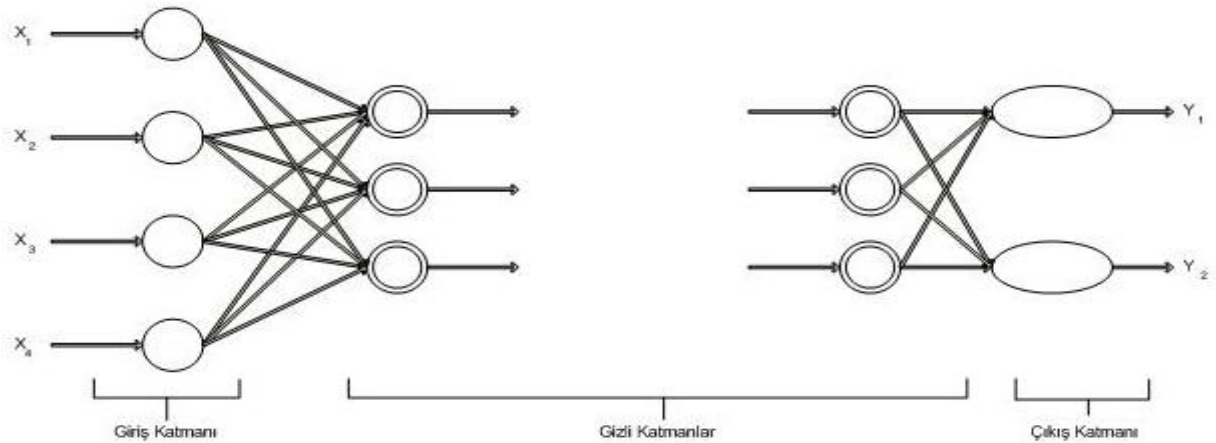
Biyolojik beynin en önemli özelliklerinden birisi de öğrenme olayıdır. İnsanlar ve hayvanlar sürekli olarak içlerinde bulunduğu çevre ile ilişkiler neticesinde bir öğrenme süreci içerisindeyler. Öğrenilen her yeni bilgi, hemen beynin fonksiyonlarını etkileyerek davranışlarda da kendini gösterir. YSA'nın geliştirilmesinde bu özellik esas teşkil eder.

4.1.4 Nöron Modeli

Nöronlar çok sayıda dentritleri vasıtasıyla giriş uyarısını alır. Dentritlerce alınan bir giriş, harekete geçirici (tetikleyici) veya yasaklayıcı olabilir. Girişler toplanır ve nöron gövdesine yerleştirilir. Bu giriş, belirli bir eşik değerini aştığı zaman, hücre diğer hücrelere aksonu vasıtasıyla bir etki iletir. Nöron davranışı bütün yönleriyle anlaşılmaktan uzak olmasına ve bunun yanı sıra, yukarıda tanımlanan temel fonksiyona ait istisnalar mevcut olmasına rağmen, bu basit anlatım yapay nöron için bir model oluşturur [11].

4.1.5 Yapay Sinir Ağlarının Katmanları

Yapay sinir ağları yapay sinir hücrelerinin birbirine bağlanmasıyla oluşan yapılardır. Yapay sinir ağları üç ana bölümde incelenir; giriş, ara (gizli) ve çıkış katmanları. (Şekil 4.2)



Şekil 4.2 Yapay Sinir Ağlarının Katmanları [14]

4.1.5.1 Giriş Katmanı

Yapay sinir ağına dış dünyadan girdilerin geldiği katmandır. Bu katmanda dış dünyadan gelecek giriş sayısı kadar nöron bulunmasına rağmen genelde girdiler herhangi bir işleme uğramadan alt katmanlara iletilmektedir.

4.1.5.2 Ara Katmanı

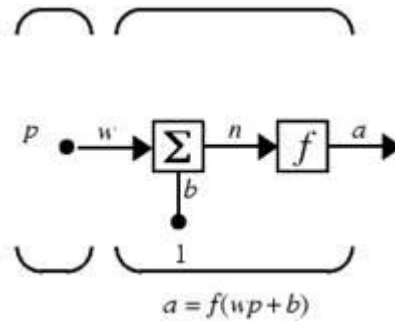
Gizli katman adı da verilen bu katmanda giriş katmanından çıkan bilgiler bu katmana gelir. Ara katman sayısı ağdan ağa değişebilir. Bazı yapay sinir ağlarında ara katman bulunmadığı gibi bazı yapay sinir ağlarında ise birden fazla ara katman bulunmaktadır. Ara katmanlardaki nöron sayıları giriş ve çıkış sayısından bağımsızdır. Birden fazla ara katman olan ağlarda ara katmanların kendi aralarındaki nöron sayıları da farklı olabilir. Ara katmanların ve bu katmanlardaki nöronların sayısının artması hesaplama karmaşıklığını ve süresini arttırmasına rağmen yapay sinir ağının daha karmaşık problemlerin çözümünde de kullanılabilmesini sağlar.

4.1.5.3 Çıkış Katmanı

Ara katmanlardan gelen bilgileri işleyerek ağın girdi katmanından gelen verilere karşılık olan çıktıları üreten katmandır. Bu katmanda üretilen çıktılar dış dünyaya gönderilir. Geri beslemeli ağlarda bu katmanda üretilen çıktı kullanılarak ağın yeni ağırlık değerleri hesaplanır [14].

4.1.6 Yapay Sinir Ağlarının Yapısı ve İşlem Elemanı

Basit bir yapay nöron, bir ya da birden çok skaler girişe ve bir çıkışa sahip olan bir hesaplama elemanıdır. Tek girişli nöron modeli Şekil 4.3'teki gibidir.

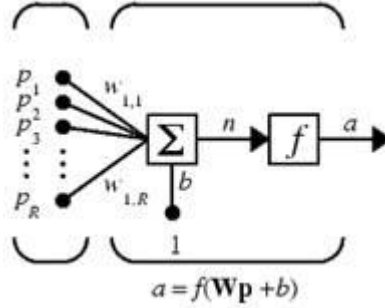


Şekil 4.3 Tek girişli nöron modeli [15]

Burada, p : nöronun girişi olan skaler değeri, w : p girişi ile nöron arasındaki ağırlık değerini, b : nöronun bias değerini, f : transfer fonksiyonunu, a : nöronun çıkışını belirtmektedir. p girişi önce w ağırlığı ile çarpılır. Ardından b bias değeri ile toplanır ve transfer fonksiyonundan geçirilerek a çıkışı hesaplanır. Transfer fonksiyonu doğrusal ya da doğrusal olmayan

türevlenebilir bir fonksiyondur. İşte bu basit nöron modelinde, giriş ile çıkış arasında basit bir matematiksel bağıntı kurulmuştur. Fakat nöronun arzu edilen çıkışı verebilmesi için w ve b ağırlık değerlerinin optimum olacak şekilde ayarlanması gerekmektedir [15].

Birden fazla girişi olan nöron modeli Şekil 4.4'te verilmiştir.

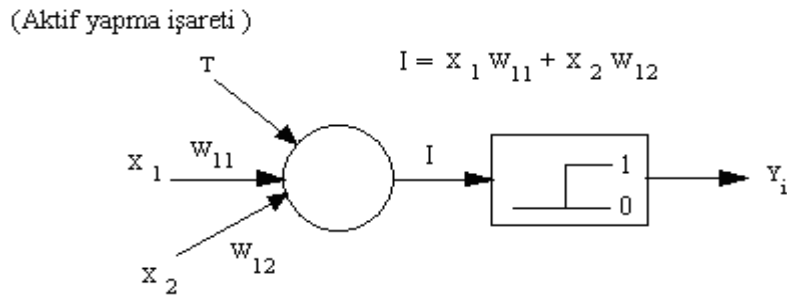


Şekil 4.4 Birden fazla girişli nöron modeli [15]

Burada, R nöronun giriş sayısıdır. Görüleceği üzere giriş sayısı kadar da w ağırlık değeri vardır. Bu durumda yukarıdaki modelin matematiksel ifadesi (4.1)'deki gibi olur

$$a = f(\sum_{i=1}^R w_i p_i + b) \quad (4.1)$$

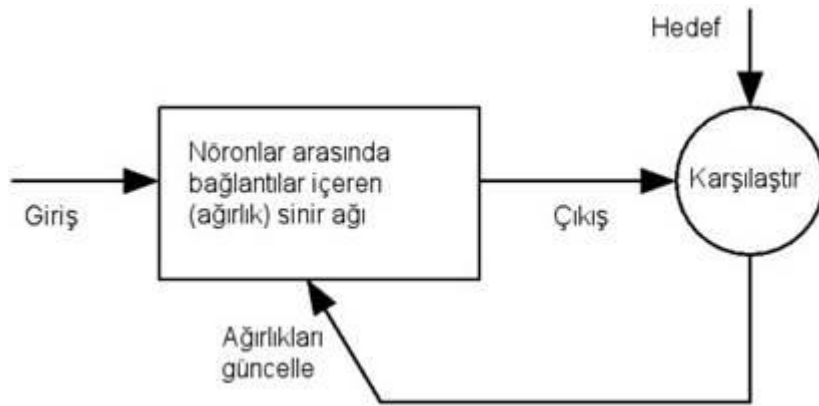
Bir nöron/işlem elemanı (Şekil 4.5), kendine gelen girişleri toplayan ve sadece girişlerin toplamı iç eşik değerini aştığında bir çıkış üreten bir işlem elemanıdır. Bir eşik birimi olarak nöron snapslarındaki işaretleri alır ve hepsini toplar. Eğer toplanan işaret gücü, eşiği geçecek kadar güçlü ise, diğer nöronları ve dentritleri uyarmak üzere akson boyunca bir işaret gönderilir. Kesişen dentritlerde oluşan snapslarca tutulan bütün işaretleri soma toplar. Toplam işaret daha sonra nöronun iç eşik değeri ile karşılaştırılır ve eşik değeri aşmışsa aksona bir işaret yayar. YSA bu basit nöronların (düğümlerin ya da ünitelerin) bağlanarak bir ağa dönüştürülmesiyle meydana getirilir [11].



Şekil 4.5 Nöron modeli [11]

Sinir ağıları, nöron ismi verilen hesaplama elemanlarının paralel bir şekilde çalışmasından meydana gelir. Belirli bir fonksiyonu gerçekleştirmek için bir sinir ağını, elemanlar arasındaki bağlantıların (ağırlıkların) değerlerini ayarlayarak eğitebiliriz.

Genelde, sinir ağıları eğitilerek belirli bir girişe karşılık verilen arzu edilen çıkışı elde ederler. Bu durum aşağıdaki şekilde verilmiştir. Ağın çıkışı arzu edilen hedefe ulaşmaya kadar çıkış ile hedef karşılaştırılarak ağın eğitimi (ağırlık değerlerinin ayarlanması) gerçekleştirilir. En basit tanımıyla yapay sinir ağıları, bilinen en iyi eğri uyurma tekniklerinden birisidir [15].

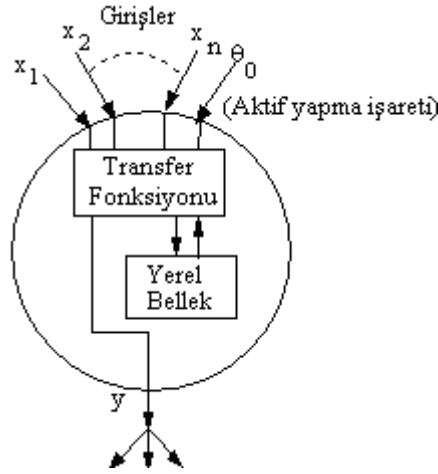


Şekil 4.6 YSA'nın basit ağ yapısı [15]

YSA temel olarak, basit yapıda ve yönlü bir şebeke/ağ biçimindedir (Şekil 4.6). Her bir düğüm, hücre denilen n. dereceden lineer olmayan bir devredir. Düğümler işlem elemanı olarak tanımlanır. Düğümler arasında bağlantılar vardır. Her bağlantı tek yönlü işaret iletim yolu olarak görev yapar. Her işlem elemanı istenildiği sayıda giriş bağlantısı ve tek bir çıkış bağlantısı alabilir. Fakat bu bağlantı kopya edilebilir. Yani bu tek çıkış, birçok hücreyi besleyebilir.

Ağdaki tek gecikme, çıkışları ileten bağlantı yollarındaki iletim gecikmeleridir. İşlem elemanının çıkışı isteğe bağlı olarak sürekli/reel veya iki tabanlı bir değeri olan herhangi bir matematiksel tipte olabilir.

Kısmen sürekli çalışma konumunda “aktif” halde eleman bir çıkış işareti üretir. Giriş işaretleri YSA ya bilgi taşır. Sonuç ise çıkış işaretlerinden alınabilir. Şekil 4.7’te genel bir işlem elemanı gösterilmiştir. YSA transfer fonksiyonu ve yerel bellek elemanı, bir öğrenme kuralı ile giriş çıkış işareti arasındaki bağlantıya göre ayarlanır. Aktif yapma girişi (bias value) için, bir zamanlama fonksiyonu tanımlanması gerekebilir [11].



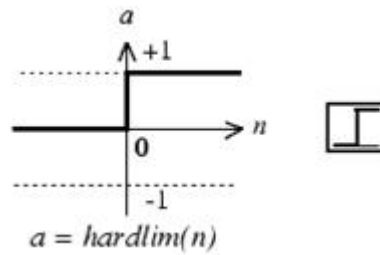
Şekil 4.7 Genel işlem elemanı yapısı [11]

4.1.7 Transfer Fonksiyonları

Bir nöronun çıkışı hesaplanırken çok çeşitli transfer fonksiyonları kullanılabilir. Burada en çok kullanılan 4 transfer fonksiyonu tanıtılacaktır.

4.1.7.1 Keskin Limitli Transfer Fonksiyonu

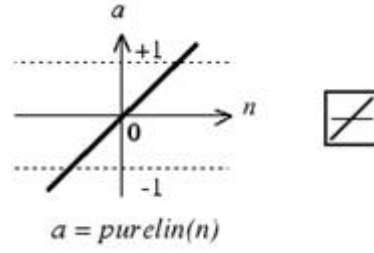
Keskin-limitli (hard-limit) transfer fonksiyonunun grafiği Şekil 4.8’te gösterilmiştir. Burada, n fonksiyonun girişi, a ise çıkışıdır: $a=f(n)$. Bu fonksiyonda, giriş değeri 0 (sıfır)’dan büyükse çıkış değeri 1 (bir), giriş değeri 0 (sıfır)’dan küçükse çıkış değeri 0 (sıfır) olmaktadır. Genelde sınıflandırma uygulamalarında kullanılmaktadır.



Şekil 4.8 Keskin-limitli (hard-limit) transfer fonksiyonunun grafiği [15]

4.1.7.2 Doğrusal Transfer Fonksiyonu

Doğrusal (linear) transfer fonksiyonunun grafiği Şekil 4.9’da verilmiştir. Görüldüğü gibi giriş hiçbir değişikliğe uğramadan aynen çıkmaktadır ($a=n$). Doğrusal süzgeç problemlerinde sıklıkla kullanılmaktadır.

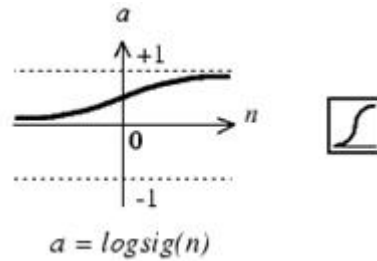


Şekil 4.9 Doğrusal (linear) transfer fonksiyonunun grafiği [15]

4.1.7.3 Log-Sigmoid Transfer Fonksiyonu

Sigmoid fonksiyonunun grafiği Şekil 4.10'daki gibidir. Sigmoid, doğrusal olmayan (non-linear) logaritmik bir fonksiyondur. Giriş değerleri hangi aralıkta olursa olsun, çıkış 0 ile 1 arasında olmaktadır. Türevlenebilir olduğu için geriye yayılım algoritmaları ile kullanılabilir. Doğrusal olmayan problemlerin çözümünde tercih edilmektedir. Matematiksel ifadesi (4.2) şeklindedir.

$$a = \text{logsig}(n) = 1 / (1 + \exp(-n)) \quad (4.2)$$

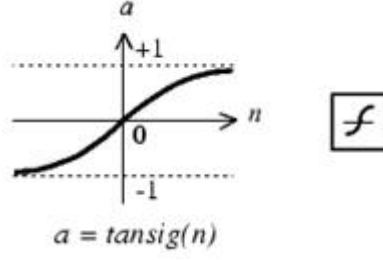


Şekil 4.10 Log-Sigmoid fonksiyonunun grafiği [15]

4.1.7.4 Hiperbolik Tanjant Sigmoid Transfer Fonksiyonu

Hiperbolik tanjant sigmoid fonksiyonunun grafiği Şekil 4.11'de gösterilmiştir. Algoritması (4.3)'te verilmiştir.

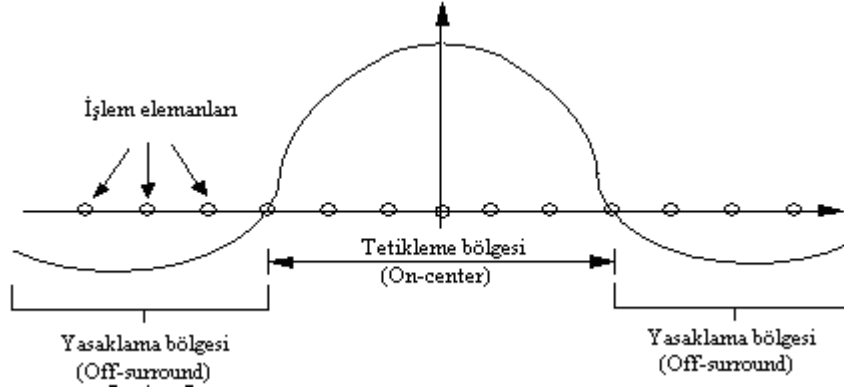
$$a = \text{tansig}(n) = 2 / (1 + \exp(-2*n)) - 1 \quad (4.3)$$



Şekil 4.11 Hiperbolik tanjant sigmoid fonksiyonunun grafiği [15]

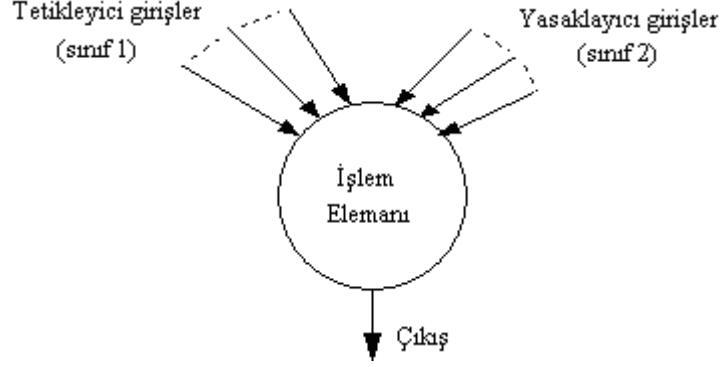
4.1.8 Giriş İşareti Sınıfları

İşlem elemanının transfer fonksiyonu, gelen bütün giriş işaretleri için tanımlanır. Bazen değişik katman davranışlarının farklı olması tabiidir. İşaretlerin hangi bölgelerden geldiğinin bilinmesi gerekir. Değişik bölgelere göre işaretlerin sınıfları tanımlanabilir. Sıkça izlenen bir yapı ise merkezde evet/çevrede hayır (on center/off surround) yapısıdır. Şekil 4.12’de bu yapı gösterilmektedir. Meksika şapkasına benzer bağlantı tipindedir.



Şekil 4.12 Komşu hücrelerin merkez hücreye etkisi [11]

İşlem elemanı tetikleyici girişleri kendine yakın komşu girişlerden, yasaklanan girişleri daha uzaktan alır. Böylece işlem elemanına gelen girişler sınıflarına göre değerlendirilmiş olur. Şekil 4.13 böyle bir işlem elemanını göstermektedir.



Şekil 4.13 Tetikleyici ve yasaklanan girişlere sahip bir işlem elemanı [11]

4.1.9 Yapay Sinir Ağlarının Sınıflandırılması

Yapay sinir ağları işleyiş olarak benzer olmalarına rağmen herhangi bir tasarım ve işleyiş standardı bulunmamaktadır. Nöron dizilimlerine, nöronların ağırlıklarının düzenleme için yapılan hesaplamaların türüne ve zamanına göre yapay sinir ağlarını üç ayrı dalda inceleyebiliriz.

4.1.9.1 Yapılarına Göre Yapay Sinir Ağları

Yapay sinir ağları içerdiği nöronların birbirine bağlantı şekline göre ileri ve geri beslemeli olarak ikiye ayrılır.

a) İleri Beslemeli Ağlar

Her bir katmandaki hücreler sadece önceki katmanın hücrelerince beslenir ve dolayısıyla bilgi akışı sadece ileriye doğrudur. İleri beslemeli ağlarda nöronlar girişten çıkışa doğru düzenli katmanlar şeklindedir. Bir katmandan sadece kendinden sonraki katmanlara bağ bulunmaktadır. Yapay sinir ağına gelen bilgiler giriş katmanına daha sonra sırasıyla ara katmanlardan ve çıkış katmanından işlenerek geçer ve daha sonra dış dünyaya çıkar.

b) Geri Beslemeli Yapay Sinir Ağları

Geri beslemeli yapay sinir ağlarında ileri beslemeli olanların aksine bir nöronun çıktısı sadece kendinden sonra gelen nöron katmanına girdi olarak verilmez. Kendinden önceki katmanda veya kendi katmanında bulunan herhangi bir nörona girdi olarak bağlanabilir. En az bir hücre sonraki katmanlardaki hücrelerce beslenir. Bir katmandan diğerine veya kendisine doğru uzanan ağırlıklar yoluyla geri besleme bağlantılarına izin veren daha genel bir ağ yapısı gösterir.

Bu yapısı ile geri beslemeli yapay sinir ağıları doğrusal olmayan dinamik bir davranış göstermektedir. Geri besleme özelliğini kazandıran bağlantıların bağlantı şekline göre geri aynı yapay sinir ağıyla farklı davranışta ve yapıda geri beslemeli yapay sinir ağıları elde edilebilir.

4.1.9.2 Öğrenme Algoritmalarına Göre Yapay Sinir Ağları

Yapay sinir ağlarının verilen girdilere göre çıktı üretebilmesinin yolu ağı öğrenbilmesidir. Bu öğrenme işleminin de birden fazla yöntemi vardır. Yapay sinir ağları öğrenme algoritmalarına göre danışmanlı, danışmansız ve takviyeli öğrenme olarak üçe ayrılır.

a) Danışmanlı Öğrenme

Danışmanlı öğrenme sırasında ağa verilen giriş değerleri için çıktı değerleri de verilir. Ağ verilen girdiler için istenen çıkışları oluşturabilmek için kendi ağırlıklarını günceller. Ağı çıktılar ile beklenen çıktılar arasındaki hata hesaplanarak ağı yeni ağırlıkları bu hata payına göre düzenlenir.

Hata payı hesaplanırken ağı bütün çıktılar ile beklenen çıktılar arasındaki fark hesaplanır ve bu farka göre her nörona düşen hata payı bulunur. Daha sonra her nöron kendine gelen ağırlıkları günceller.

b) Danışmansız Öğrenme

Danışmansız öğrenmede ağa öğrenme sırasında sadece örnek girdiler verilmektedir. Herhangi bir beklenen çıktı bilgisi verilmez. Girişte verilen bilgilere göre ağ her bir örneği kendi arasında sınıflandıracak şekilde kendi kurallarını oluşturur. Ağ bağlantı ağırlıklarını aynı özellikte olan dokuları ayırabilecek şekilde düzenleyerek öğrenme işlemini tamamlar.

c) Destekleyici Öğrenme

Bu öğrenme yaklaşımında ağı her iterasyonu sonucunda elde ettiği sonucun iyi veya kötü olup olmadığına dair bir bilgi verilir. Ağ bu bilgilere göre kendini yeniden düzenler. Bu sayede ağ herhangi bir girdi dizisiyle hem öğrenerek hem de sonuç çıkararak işlemeye devam eder.

Örneğin satranç oynayan bir yapay sinir ağı yaptığı hamlenin iyi veya kötü olduğunu anlık olarak ayırt edememesine rağmen yine de hamleyi yapar. Eğer oyun sonuna geldiğinde

program oyunu kazandıysa yaptığı hamlelerin iyi olduğunu varsayacaktır ve bundan sonraki oyunlarında benzer hamleleri iyi olarak değerlendirerek oynayacaktır.

4.1.9.3 Öğrenme Zamanına Göre Yapay Sinir Ağları

Yapay sinir ağları öğrenme zamanına göre de statik ve dinamik öğrenme olarak ikiye ayrılır.

a) Statik Öğrenme

Statik öğrenme kuralıyla çalışan yapay sinir ağları kullanmadan önce eğitilmektedir. Eğitim tamamlandıktan sonra ağı istenilen şekilde kullanılabilir. Ancak bu kullanım sırasında ağın üzerindeki ağırlıklarda herhangi bir değişiklik olmaz.

b) Dinamik Öğrenme

Dinamik öğrenme kuralı ise yapay sinir ağlarının çalıştığı süre boyunca öğrenmesini öngörerek tasarlanmıştır. Yapay sinir eğitim aşaması bittikten sonra da daha sonraki kullanımlarında çıkışların onaylanmasına göre ağırlıklarını değiştirerek çalışmaya devam eder [16].

4.1.10 Yapay Sinir Ağlarında Eğitim

4.1.10.1 Eğitim algoritmaları

Eğitim algoritmaları YSA'nın ayrılmaz bir parçasıdır. Eğitim algoritması, eldeki problemin özelliğine göre öğrenme kuralının YSA ya nasıl adapte edileceğini belirtir.

Kullanımı yaygın olan üç çeşit eğitim algoritması vardır.

1) Öğreticili eğitim (Supervised training): Öğreticili eğitimde, elde doğru örnekler vardır. Yani eğitim örneklerinin tamamı için $(x_1, x_2, \dots, x_n)$ şeklindeki giriş vektörünün; $(y_1, y_2, \dots, y_n)$ şeklindeki çıkış vektörü, tam ve doğru olarak bilinmektedir. Her bir $(x_1, y_1), (x_2, y_2), \dots, (x_n, y_n)$ çifti için, ağ doğru sonuçları verecek şekilde, seçilen bir öğrenme kuralı yardımıyla eğitilir.

2) Skor ile eğitim (Graded training): Skor ile eğitimde giriş işaretlerine karşılık gelen çıkış işaretleri tam olarak bilinmemektedir. Çıkış işareti yerine skor verilir ve ağı değerlendirme yapılır. Özellikle kontrol uygulamaları için idealdir. Çeşitli maliyet (cost) fonksiyonları kullanılır.

3) Kendini düzenleme ile eğitime (Self-organization training): Probleme ait veri girişlerine karşın çıkışlar mevcut değildir. Bu yüzden bu tür bir eğitime, giriş verilerini gruplandırarak eğittikten sonra verilen herhangi bir girişin eğitime sınıflarından hangi sınıfa ait olduğunu gösterebilir. Kendini düzenleyen ağ, giriş işaretine göre kendini düzenleyerek organize eder. Bu eğitime tipi olasılık yoğunluk fonksiyonlarına, sınıflandırma ve şekil tanıma problemlerine uygulanabilir.

Ne tür eğitime yöntemi kullanılırsa kullanılsın, herhangi bir ağ için gerekli karakteristik özellik, ağırlıkların verilen eğitime örneğine nasıl ayarlanacağını belirtilerek öğrenme kuralının oluşturulmasıdır. Öğrenme kuralının oluşturulması için bir örneğin ağa defalarca tanıtılması gerekebilir. Öğrenme kuralı ile ilişkili parametreler (öğrenme katsayısı vb.) ağın zaman içinde gelişme kaydetmesiyle değişebilir [11].

4.1.10.2 Bellek

YSA'nın önemli bir özelliği bilgiyi saklama şeklidir. YSA'da bellek, birçok yerel bellekler (local memory) oluşturularak dağıtılır, bunlar YSA'nın bağ ağırlıklarıdır. Ağırlıkların sahip olduğu değerler, ağın o andaki bilgi durumunu temsil eder. Örneğin; bir giriş ile istenen çıkış çiftine ait bilgi bloğu ağın içindeki birçok bellek birimine paralel olarak dağıtılmıştır. Bu yüzden eğitilen ağa bir giriş uygulandığında, ağ bu giriş için belleğindeki en yakın çıkışı seçer ve tam girişe bağlı çıkış ortaya çıkar. Eğer YSA oto-ilişkili ise, kısmi giriş vektörlerinin ağa verilmesi ve bu girişlerin tamamlanması ile sonuçlanır.

YSA belleğinin yapısı; eksik, gürültülü ve tam seçilemeyen bir giriş uygulandığı zaman bile, mantıklı çıkış üretmeye uygundur. Bu kurala “genelleme” adı verilir. Bir genellenmenin kalitesi ve anlamı, uygulama çeşidine, ağın tipine ve karmaşıklığına bağlıdır.

Lineer olmayan çok katmanlı ağlar(özellikle geriye yayılım ağları) gizli katmandaki özelliklerden öğrenirler ve bunları çıkış üretmek üzere birleştirirler. Gizli katmandaki bilgi, yeni giriş örneklerine akılcı çözümler oluşturmak veya veri sıkıştırma işlemlerinde kullanılabilir [11].

4.1.10.3 Hata Toleransı

Klasik hesaplama sistemleri çok az bir zarardan bile etkilenirler. Verilerde eğer bir eksiklik söz konusu olursa, klasik yöntemler çalışmazlar. YSA için durum farklıdır. Bu farklılık

YSA'nın hata toleranslı olmasıdır. İyi eğitilmiş ve genelleme kapasitesi yüksek bir sinir ağı kendisine sunulan veriler eksik bile olsa karar verme işlemine devam eder. Aynı şekilde YSA üzerinde birtakım problemler ve bozukluklar olabilir.

İşlem elemanlarının az da olsa zarar görmesi sistemin bütününe etkiler. YSA paralel dağılmış parametrelili bir sistem olduğundan her bir işlem elemanı izole edilmiş bir ada olarak düşünülebilir.

Verilerdeki eksiklik veya YSA'daki yapısal bozukluktan dolayı daha çok işlem elemanının zarar görmesi ile sistemin davranışı biraz daha değişir. Performans düşer ama sistem hiçbir zaman durma noktasına gelmez. YSA sistemlerinin hata toleranslı olmasının nedeni bilginin tek bir yerde saklanmayıp, sisteme dağıtılmasıdır. Bu özellik sistemin durmasının önemli bir zarara neden olacağı uygulamalarda önem kazanır.

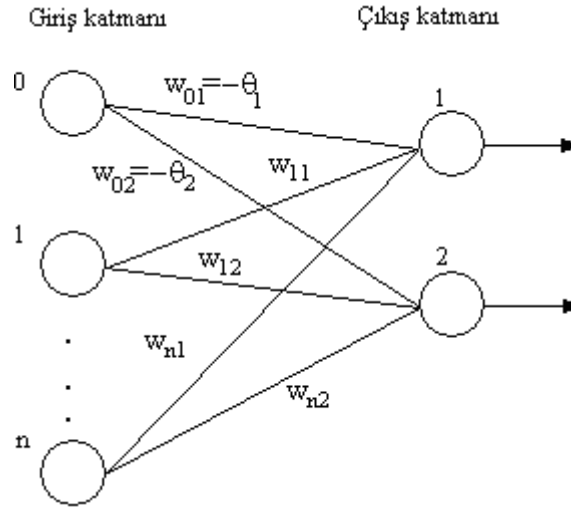
4.1.11 Öğrenme Kuralları

Bilginin kurallar şeklinde açıklandığı klasik uzman sistemlerin tersine, YSA gösterilen örnekten öğrenerek kendi kurallarını oluşturur. Öğrenme; giriş örneklerine veya (tercihen) bu girişlerin çıkışlarına bağlı olarak ağırlık bağlantı ağırlıklarını değiştiren veya ayarlayan öğrenme kuralı ile gerçekleştirilir. Öğreticisiz öğrenmede her giriş işareti için istenen çıkış sisteme tanıtılır ve YSA giriş/çıkış ilişkisini gerçekleştirene kadar kademe kademe kendini ayarlar. Günümüzde kullanılan birçok öğrenme kuralı vardır. Bilinen ve en çok kullanılan öğrenme kuralları şunlardır:

- 1- Rastlantısal (Hebb) öğrenme kuralı
- 2- Performans (Widrow ve ADALİNE) öğrenme kuralı,
- 3- Kompetitif (Kohonen) öğrenme,
- 4- Filtreleme (Grossberg),
- 5- Spotitemporal öğrenme,
- 6- Genelleştirilmiş delta kuralı öğrenme.

4.1.12 Perceptron

Perceptron ağı, ilk defa 1943 yılında Mc Culloch ve Pitts tarafından ortaya atılmıştır. Şekil 4.14'te n boyutlu uzayda, $n-1$ boyutlu bir düzlem belirten perceptron modeli görülmektedir.



Şekil 4.14 Perceptron modeli [11]

Bu basit ağ, ilk defa geliştirildiğinde basit örüntüleri öğrenme kabiliyetlerinden ötürü oldukça ilgi toplamıştır. Bir girişin iki sınıftan (A veya B) hangisine ait olduğuna karar veren bir perceptronda bir tek düğüm giriş elemanlarının ağırlıklı toplamını hesaplar, bir eşik q 'yı çıkarır ve y çıkışı $+1$ veya -1 olacak şekilde sonucu bir süreksizlikten geçirir. Karar verme kuralı ise; çıkış $+1$ ise A sınıfı ile, -1 ise B sınıfı ile gösterilir. Yani bu ilk perceptron modeli, giriş bilgisinin mevcut iki sınıftan hangisine eşit olabileceğini bulacak şekilde eğitilen basit bir ağıdır.

Daha sonra 1960 yıllarında F. Rosenblatt bu ağ tipini biraz daha geliştirmiştir. Fakat Minsky ve Papert, bu tek katmanlı perceptronun XOR işlemini gerçekleştiremediğini ispatlamışlardır. 0'ların bir tarafta, 1'lerin bir tarafta ayrılacağı şekilde bir bölgenin oluşmadığı görülmüştür. XOR gibi 3 veya daha fazla sınıfa ihtiyaç duyulan problemleri çözmek için yapılması gereken işlem ise YSA'ya yeni katmanlar eklemektir. Eşik bağlarıyla oluşturulan karar bölgesi şeklinin karmaşıklığı, sadece eklenmiş olan katmanların sayısı ile sınırlıdır (Pao, 1989).

4.1.13 Çok Katmanlı Perceptron Ağı (Multi-layer Perceptron-MLP)

Yapay sinir ağlarında çok çeşitli ağ yapıları ve modelleri vardır. En çok kullanılan ağ yapılarından birisi çok katmanlı perceptron (MLP)'dir. Çok katmanlı perceptron giriş ve çıkış katmanları arasında birden fazla katmanın kullanıldığı ileri yayımlı (feed-forward) YSA sistemidir. Gizli katman (hidden layer) olarak isimlendirilen bu ara katmanlarda, düğümleri giriş ve çıkış katmanlarına doğrudan bağlı olmayan işlem elemanları vardır.

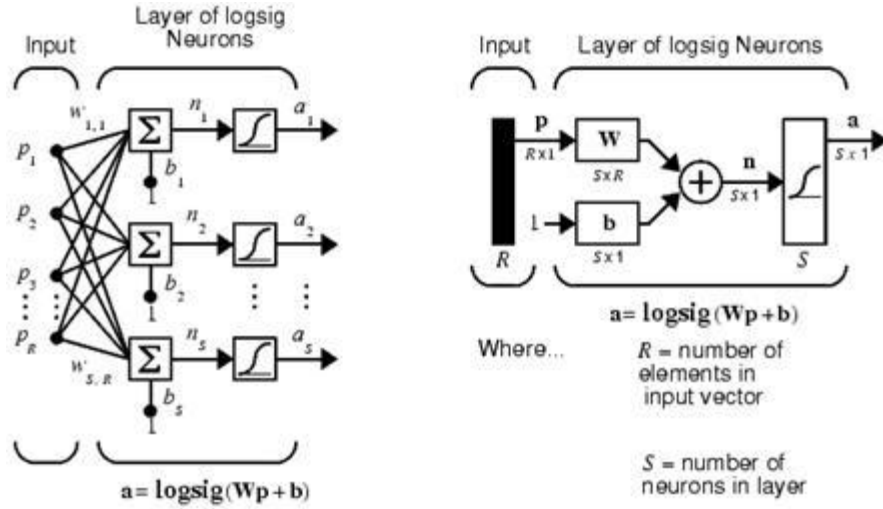
Çok katmanlı ağlarda, veriler giriş katmanı tarafından kabul edilirler. Ağ içinde yapılan işlemler sonucunda çıkış katmanında oluşan sonuç değer, istenen cevap ile karşılaştırılır. Bulunan cevap ile istenen cevap arasında herhangi bir ayrılık varsa, ağırlıklar bu farkı azaltacak şekilde yeniden düzenlenir. Girişteki değer, ağırlıklar uygun noktaya ulaşana kadar değişmez. Hesaplanan çıkışlar, istenilen cevaplarla karşılaştırılarak sonuçta gerekirse hata belirtilir.

Hata işareti gizli işlem elemanlarından çıkış birimine olan ağırlıkları değiştirmekte kullanılır. Ama bunu yaparken giriş katmanından gizli katmana gelenin değiştirilip değiştirilemediğini düşünmek gerekir. Gizli birimlerden ne tür bir çıkış istendiği bilinemeyeceği için gizli birimlerin çıkışında hata işareti verilmesi kolay bir şey değildir. Bunun yerine her birimin çıkış biriminin hatalarına olan etkisi bilinmelidir. Bu ise hatalı birim için gizli birime bağlı olan çıkış birimlerinin hata işaretlerinin toplamı alınarak yapılır.

Çok sayıda gizli katmana sahip sistemlerde, her sistemin hata işaretleri, bir önceki katmanın düzeltilmiş işlemlerinden çıkartılarak işlem tekrarlanır. Sonuç olarak, ağırlık düzeltme işlemi çıkış seviyesine bağlı ağırlıklardan başlar ve işlem ters yönde, giriş seviyesine varana kadar devam eder. Sonuçta sistem hatalar yapar, ama bu hatalardan bir şeyler öğrenip isteneni bulana kadar işleme devam eder. Bu yöntem “hatanın geriye yayılması algoritması” (back-propagation algorithm) denilir (Rumelhart ve McClelland, 1986).

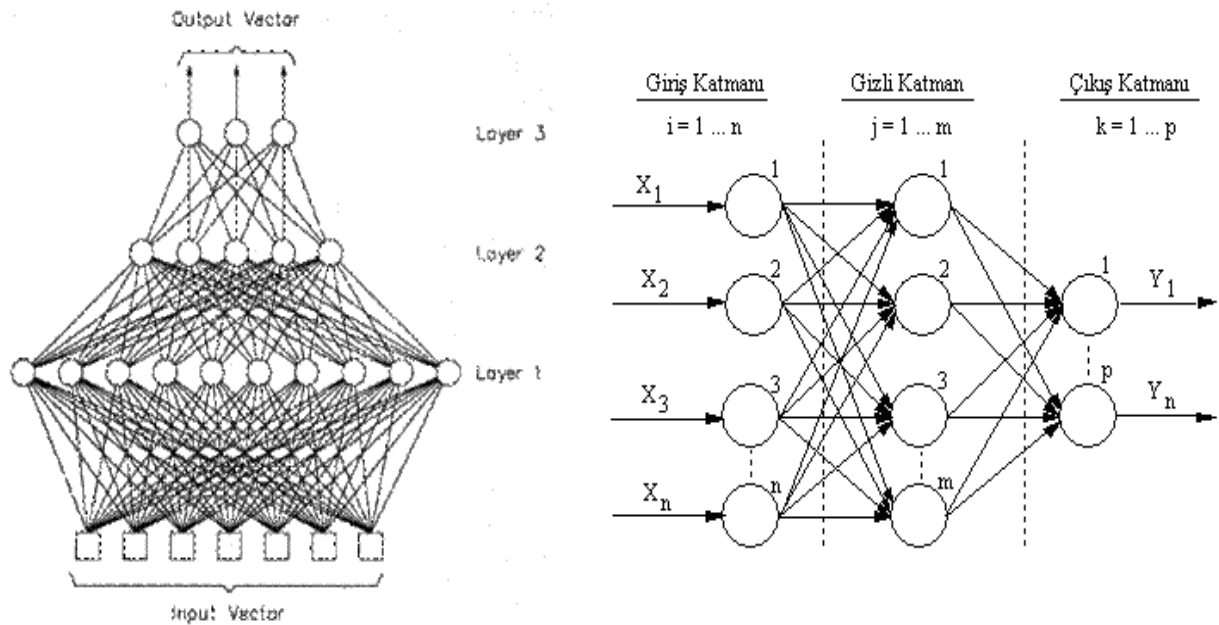
Hatanın geriye yayılması eğitime algoritması, çok katmanlı, ileri yayılımlı bir perceptrondan elde edilen çıkışlar ile eldeki hedef çıkışlar arasındaki hataların karesinin ortalamasını minimum yapmak için geliştirilmiş iteratif bir gradyan algoritmadır ve eğitime işlemi için genelleştirilmiş delta kuralını (Generalized Delta Rule) kullanır (Şekil 4.15).

Bu ağda bilginin akışı ileri yönlüdür. Öğrenme ve eğitime algoritması olarak genelde türeve dayalı geriye yayılım (back propagation) algoritmaları tercih edilir. Burada, Şekil 4.15’te de görüleceği üzere nöronlar katmanlar şeklinde organize edilmiştir. Her bir katmanda en az bir nöron bulunur. Bir önceki katmandaki tüm nöronlar bir sonraki katmandaki nöronlara bağlantı içermektedir. Bu şekilde arzu edildiği kadar katman oluşturulabilir. Yine Şekil 4.15’te, katman transfer fonksiyonu logsig olan bir perseptron katmanı görülmektedir. Burada, giriş sayısı R, katmandaki nöron sayısı da S olarak verilmiştir [15].



Şekil 4.15 Geriye yayımlı algoritma [15]

Şekil 4.16’da ise üç katmanlı bir MLP YSA yapısı verilmiştir. Burada giriş vektörleri, aslında nöron olmamalarına rağmen bir sonraki katmana her biri birer çapraz bağlantı içermektedir. 3 adet nöron katmanı bulunmaktadır. Son katman çıkış katmanı olarak da isimlendirilir. Giriş ile çıkış katmanı arasında yer alan katmanlar gizli katman (hidden layer) olarak da anılmaktadır. Bu durumda giriş ile çıkış arasında paralel bir matematiksel ilişki kurulmuş olur. Uygun bir öğrenme algoritması ile ağırlık değerleri ağıın arzu edilen çıkışını verecek şekilde ayarlanmaktadır.



Şekil 4.16 Üç katmanlı basit bir YSA örneği [15]

4.1.14 Yapay Sinir Ağlarının Üstünlükleri

Yapay sinir ağ modelleri biyolojik sinir ağlarının çalışmasından esinlenerek ortaya çıkarılmıştır. Canlılarda bulunan sinir sisteminin modellenmesi sayesinde yapay sinir ağları biyolojik sinir sisteminin üstünlüklerine sahip olmuştur.

- Yapay sinir ağları doğrusal değildir. Yapay sinir ağları özellikle doğrusal olmayan sistemlerde tahmin yapma açısından istatistik hesaplamalarına göre daha kolay ve doğru sonuç vermesinden dolayı sık kullanılan bir yöntem haline gelmiştir. Özellikle işletmecilik ve finans alanlarında olmak üzere tahmin gerektiren birçok alanda kullanılmaktadır.

Yapay sinir ağlarının temel elemanlarından olan yapay sinir hücrelerinin (nöron) doğrusal sonuçlar vermeyişinden dolayı bu özellik ağa da yansımıştır. Doğrusal olmama özelliğinden dolayı yapay sinir ağları karmaşık problemlerin çözümünde de sıkça kullanılmaktadır.

- Yapay sinir ağları paralel çalışabilir. Klasik problem çözme algoritmalarının aksine yapay sinir ağları paralel çalışmaya uygun bir yapıya sahiptir. Bu özelliği sayesinde çok daha hızlı problem çözebilme yeteneğine sahip olmuştur.

Bilgisayar üzerinde çalışan bir elemanın zarar görüp devre dışı kalması o elemanın içinde bulunduğu sistemin çalışmamasına neden olur. Ancak paralel çalışabilme özelliği ve yapay sinir hücrelerinin bağımsız çalışabilme yapısından dolayı yapay sinir ağında herhangi bir eleman zarar gördüğünde ağın geri kalanı sorunsuz bir şekilde çalışmaya devam eder. İlk olarak yanlış sonuçlar verebilse de daha sonra yeni yapısını öğrenerek eski performansında çalışmaya devam edebilir.

- Yapay sinir ağları hata toleransına sahiptirler. Yapay sinir ağlarının eksik bilgilerle çalışabilmeleri ve bazı hücreleri bozulsa dahi çalışabilmeleri, onları hatalara karşı toleranslı yapar.

- Yapay sinir ağları özellikle doğrusal olmayan sistemlerde tahmin yapma açısından istatistik hesaplamalarına göre daha kolay ve doğru sonuç vermesinden dolayı sık kullanılan bir yöntem haline gelmiştir. Özellikle işletmecilik ve finans alanlarında olmak üzere tahmin gerektiren birçok alanda kullanılmaktadır.

- Yapay sinir ağlarına öğrenme uygulanabilir. Klasik algoritmaların çoğu verilen formüllerin hesaplanması ile aynı girdiler için daima aynı çıktıları üretirler. Lineer olan bu algoritmaların aksine yapay sinir ağları sayesinde programlar öğrenme yeteneği de kazanmışlardır.

- Klasik algoritmalarda tam olarak tanımlı bir çözüm yolu olmayan problemler çözülemezken yapay sinir ağları sayesinde problemler çözüm yöntemi hakkında herhangi bir bilgi verilmeksizin çözülebilir. Yapay sinir ağlarının bu tip problemleri çözebilmesi için gereken tek şey örnek girdiler için sonuçların verilmesidir.
- Yapay sinir ağları genelleme yapabilir. Yapay sinir ağları üzerinde çalıştığı probleme göre eğitildikten sonra eğitim sırasında karşılaşmadığı durumlar için de yanıt verebilir. Örneğin bir satranç taşının görüntüsünün tanıtılmasından sonra bu taşın görüntüsünü içeren ancak görüntülü bir görüntü verildiğinde bile yapay sinir ağı bu taşı tanıyabilir.
- Yapay sinir ağları uyarlanabilir. Yapay sinir ağı üzerinde çalıştığı probleme göre kendini düzenleyerek ağırlıklarını belirler. Bir problemi çözmek için eğitilen yapay sinir ağı herhangi bir başka problemde de kolaylıkla kullanılabilir. Bunun için gereken tek şey yeni problemin girdi ve çıktılarıyla ağı tekrar eğitilmesidir.
- Yapay sinir ağları hızlıdır. Yapay sinir ağları paralel yapısı nedeniyle hızlı bir şekilde çalışıp problem çözme yeteneğine sahiptir. Aynı özelliğinden dolayı donanım üzerinde de kolaylıkla gerçekleştirilebilir.
- Yapay sinir ağlarının analizi ve tasarımı kolaydır. Yapay sinir ağlarının temel yapı taşı olan yapay sinir yapısı bütün yapay sinir ağlarında aynıdır. Bundan dolayı yapay sinir hücresinin tasarımından sonra bu temel eleman ile yapay sinir ağları kolaylıkla oluşturulabilir. Yapay sinir ağlarının temel yapısının da aynı olmasından dolayı bu ağlar her türlü problemin çözümünde kullanılabilir.
- Yapay sinir ağları makine öğrenmesi gerçekleştirebilirler. Yapay sinir ağlarının temel işlevi zaten bilgisayarın öğrenmesini sağlamaktır. Olayları öğrenerek benzer olaylar karşısında mantıklı kararlar verebilirler.
- Yapay sinir ağlarında bilgi işleme yöntemleri geleneksel programlamadan farklıdır. Bu nedenle geleneksel programlamanın getirdiği bir çok olumsuzluk ortadan kaldırılabilir.
- Yapay sinir ağlarında bilgiler ağı tamamında saklanır. Geleneksel programlamada olduğu gibi bilgiler veri tabanları ya da dosyalarda belli bir düzende tutulmaz, ağına tamamına yayılarak değerler ile ölçülen ağı bağlantılarında saklanmaktadır. Nöronlardan bazılarının işlevini yitirmesi, anlamlı bilginin kaybolmasına neden olmaz.

- Yapay sinir ağıları örnekleri kullanarak öğrenirler. Yapay sinir ağılarının öğrenebilmesi için örneklerin belirlenmesi, bu örneklerin ağı gösterilerek istenen çıktılara göre ağı eğitilmesi gerekmektedir. Ağı başarısı, seçilen örnekler ile doğru orantılıdır, ağı olay bütün yönleri ile gösterilemezse ağı yanlış çıktılar üretebilir.
- Yapay sinir ağıları daha önce görülmemiş örnekler hakkında bilgi üretebilirler. Yapay sinir ağıları eğitimleri sırasında kendilerine verilen örneklerden genellemeler çıkarırlar ve bu genellemeler ile yeni örnekler hakkında bilgi üretebilirler.
- Yapay sinir ağıları algılamaya yönelik olaylarda kullanılabilirler. Yapay sinir ağılarının en başarılı oldukları alanlar, algılamaya yönelik uygulama alanlarıdır. Bu alanlarda başarıları kanıtlanmıştır.
- Yapay sinir ağıları örüntü (pattern) ilişkilendirme ve sınıflandırma yapabilirler. Yapay sinir ağıları kendilerine örnekler halinde verilen örüntüleri kendisi veya diğerleri ile ilişkilendirebilir. Ayrıca kendisine verilen örneklerin kümelenmesi ile, bir sonraki verinin hangi kümeye dahil olacağının karar verilmesi konusunda kullanılabilirler.
- Yapay sinir ağıları örüntü tamamlama yapabilirler. Ağı eksik bilgileri içeren örüntüler verildiğinde eksik bilgilerin tamamlanması konusunda başarılıdırlar.
- Yapay sinir ağılarının kendi kendine öğrenebilme ve organize etme yetenekleri vardır. Yapay sinir ağıları online olarak öğrenebilirler ve kendi kendilerini eğitebilirler.
- Yapay sinir ağıları eksik bilgi ile çalışabilmektedirler. Geleneksel sistemlerin aksine yapay sinir ağıları eğitildikten sonra veriler eksik bilgi içerse dahi, çıktı üretebilirler. Bu durum bir performans kaybı yaratmaz, performans kaybı eksik bilginin önemine bağlıdır. Burada bilgilerin önem dereceleri eğitim sırasında öğrenilir.
- Yapay sinir ağıları dereceli bozulma (Graceful degradation) gösterirler. Bir ağı, zaman içerisinde yavaş ve göreceli bir bozulmaya uğrar. Ağılar problemin ortaya çıktığı anda hemen bozulmazlar.
- Yapay sinir ağıları dağınık belleğe sahiptirler. Yapay sinir ağılarında bilgi ağı dağılmış bir şekilde tutulur. Hücrelerin bağlantı ve ağırlık dereceleri, ağı bilgisini gösterir. Bu nedenle tek bir bağlantının kendi başına anlamı yoktur [17].

4.1.15 Yapay Sinir Ağlarının Dezavantajları

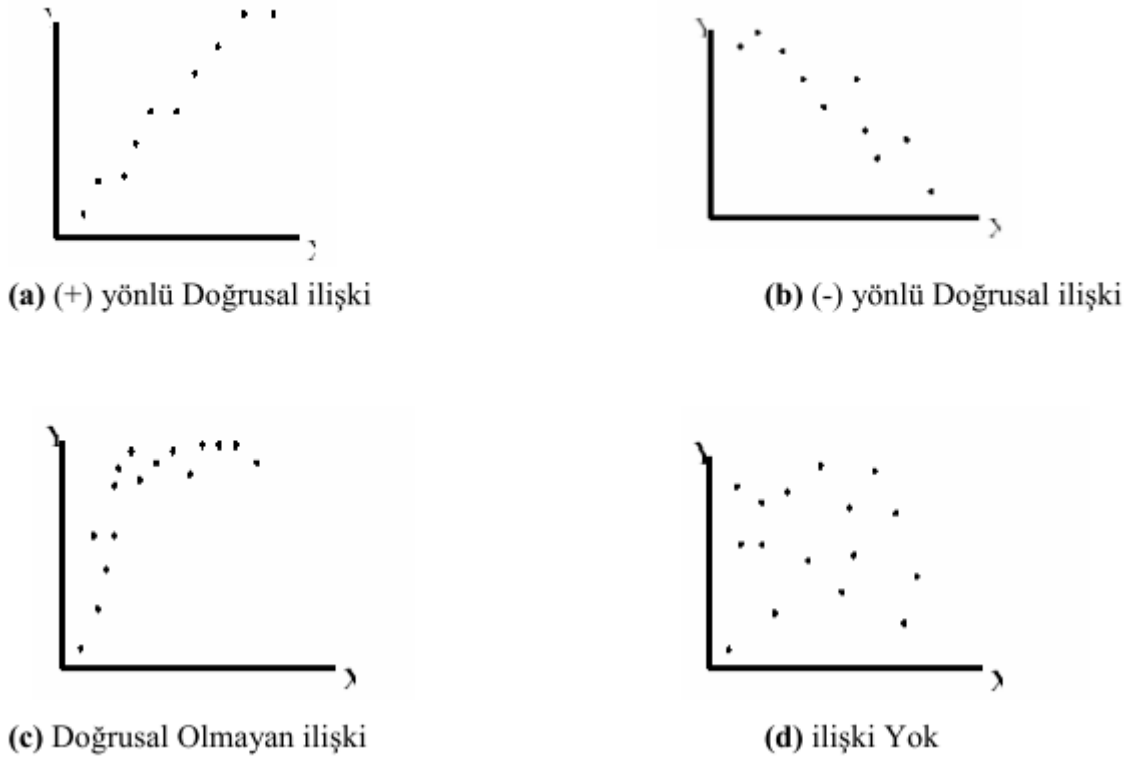
- Yapay sinir ağlarının eğitim süresi uzundur. Yapay sinir ağları oluşturulduklarında hiçbir bilgi içermediğinden dolayı direk olarak kullanılamazlar. Herhangi bir problem çözümünde kullanılacak olan yapay sinir ağının problemde kullanılmadan önce eğitilmesi şarttır. Bu eğitim süresi problemin çözümünden çok daha uzun zaman alabilir.
- Yapay sinir ağları başlangıç koşullarına bağlıdır. Yapay sinir ağları başlangıç koşullarından bağımsız olarak çok kolay dahi olsa herhangi bir problemi çözemezler. Karar verme anında sadece daha önce öğrendiği koşullara göre sonuç üretebilir. Eğitim sırasında verilen örnekler ağın sonraki problemleri çözmesinde de etkilidir [10].
- Yapay sinir ağlarının en önemli sorunu donanım bağımlı olmalarıdır. Yapay sinir ağlarının en önemli özellikleri ve var oluş nedenlerinden birisi olan paralel işlem yapabilme yeteneği, paralel çalışan işlemciler ile performans gösterir.
- Yapay sinir ağlarında probleme uygun ağ yapısının belirlenmesi için geliştirilmiş bir kural yoktur. Uygun ağ yapısı deneyim ve deneme yanılma yolu ile belirlenmektedir.
- Yapay sinir ağlarında öğrenme katsayısı, hücre sayısı, katman sayısı gibi parametrelerin belirlenmesinde belirli bir kural yoktur. Bu değerlerin belirlenmesi için belirli bir standart olmamakla birlikte her problem için farklı bir yaklaşım söz konusu olabilmektedir.
- Öğrenilecek problemin ağa gösterimi önemli bir problemdir. Yapay sinir ağları nümerik bilgiler ile çalışabilmektedirler. Problemler yapay sinir ağlarına tanıtılmadan önce nümerik değerlere çevrilmek zorundadırlar. Burada belirlenecek gösterim mekanizması ağın performansını doğrudan etkileyecektir. Bu da kullanıcının yeteneğine bağlıdır.
- Ağın eğitiminin ne zaman bitirilmesi gerektiğine ilişkin belli bir yöntem yoktur. Ağın örnekler üzerindeki hatasının belirli bir değerin altına indirilmesi eğitimin tamamlandığı anlamına gelmektedir. Burada optimum neticeler veren bir mekanizma henüz yoktur ve yapay sinir ağları ile ilgili araştırmaların önemli bir kolunu oluşturmaktadır.
- Yapay sinir ağlarında, ağın davranışlarını açıklanamamaktadır. Bu sorun yapay sinir ağlarının en önemli sorunudur. Yapay sinir ağları bir probleme çözüm ürettiği zaman, bunun neden ve nasıl olduğuna ilişkin bir ipucu vermez. Bu durum ağa olan güveni azaltıcı bir unsurdur.

Çizelge 4.1 Geleneksel algoritmalar ile YSA'lar [17]

Geleneksel Algoritmalar	Yapay Sinir Ağları
Çıkışlar, koyulan kurallara girişlerin uygulanması ile elde edilir.	Öğrenme esnasında giriş çıkış bilgileri verilerek, kurallar koyulur.
Hesaplama; merkezi, eş zamanlı ve ardışıldır.	Hesaplama; toplu, eş zamansız ve öğrenmeden sonra paraleldir.
Bellek paketlenmiş ve hazır bilgi depolanmıştır.	Bellek ayrılmış ve ağa yayılmıştır. Dahilidir.
Hata toleransı yoktur.	Hata toleransı vardır.
Nispeten hızlıdır.	Yavaş ve donanıma bağımlıdır.
Bilgiler ve algoritmalar kesindir.	Deneyimden yararlanır.

4.2 Regresyon Analizi

Regresyon analizi bağımlı değişken ile bir veya daha çok bağımsız değişken arasındaki ilişkiyi incelemek amacıyla kullanılan bir analiz yöntemidir [18].



Şekil 4.17 Saçılım grafiğinde gözlemlenebilecek durumlar ve anlamları

Değişkenler arasındaki ilişki doğrusal olabilir ya da olmayabilir. Bu nedenle saçılım grafiği analizi yapılmalıdır. Böylece değişkenler arasındaki korelasyonun durumu belirlenerek hangi regresyon analizinin yapılacağına karar verilir. Şekil 4.17'deki saçılım grafiğine bakarak değişkenler arasında ilişki olup olmadığı varsa nasıl bir ilişki olduğu görülerek yapılacak olan regresyon analizine karar verilebilir.

Regresyon analizi,

Bağımsız değişken sayısına göre;

1. Basit regresyon analizi (Tek bağımsız değişken),
2. Çoklu regresyon analizi (Birden çok bağımsız değişken),

Fonksiyon tipine göre;

1. Doğrusal regresyon analizi,
2. Doğrusal olmayan regresyon analizi (Eğrisel),

Verilerin kaynağına göre;

1. Ana kütle verileriyle regresyon analizi,
2. Örnek verileri ile regresyon analizi,
3. Zaman serilerinde regresyon analizi (Eşleştirilmiş zaman serileri) şeklinde gruplandırılır.

4.2.1 Tek Değişkenli Regresyon Analizi

Tek değişkenli regresyon analizi bir bağımlı değişken ve bir bağımsız değişken arasındaki ilişkiyi inceler. Tek değişkenli regresyon analizi ile bağımlı ve bağımsız değişkenler arasındaki doğrusal ilişkiyi temsil eden bir doğrunun denklemi formüle edilir.

4.2.2 Çok Değişkenli Regresyon Analizi

İçinde bir adet bağımlı değişken ve birden fazla bağımsız değişkenin bulunduğu regresyon modelleri çok değişkenli regresyon analizi olarak bilinir.

➤ Çoklu Regresyon Metodları

- Enter metodu: Bağımsız değişkenleri bir blok olarak tek adımda girilip değerlendirildiği metot.

- İleri Doğru Seçim Metodu (Forward selection): Bağımlı değişken ile en yüksek Pozitif veya negatif korelasyonu olan bağımsız değişken ilkönce seçilir. Daha sonra girilen değişkenin katsayısının 0 olduğu hipotezi F testi ile yoklanır. Burada elde edilen F değeri, SPSS'in (Statistical Package for the Social Sciences) öngörülen F değerleri ile karşılaştırılır. SPSS'in iki F ölçütü vardır.

1. F değeri sizin belirleyeceğiniz minimum bir F değeri ile karşılaştırılır. (F-to-enter, FIN). Normal ayar 3,84'tür. (Bunun ayar yeri "Linear regression" penceresinden "options" anahtarı ile geçilen pencerede "Use F Value" kısmındadır).

2. F istatistiği ile bağlantılı ihtimalin ayarlanması (Probability of F-to-enter,PIN). Bunun normal ayarı da 0,05'tir.

Eğer elde edilen F değeri bu ölçütlere eşit veya küçükse, o bağımsız değişken regresyon değerlendirmesine alınır ve seçim ileri doğru devam eder; yoksa işlem orada durdurulur. Bir değişken seçilip işleme alındığında, geride kalan bağımsız değişkenlerle bağımlı değişken arasındaki korelasyonlara bakılır ve en yüksek korelasyona sahip bağımsız değişken bir sonraki aday olur. Bu, aynı zamanda en geniş F değerine sahip değişkenin de seçimi olur.

- Geriye Doğru Eleme (Backward Elimination) Metodu: İleri doğru seçimin tersine,burada önce bütün bağımsız değişkenler seçilir;sonra sıra ile belli ölçütlere göre eleme yapılır.SPSS ; eleme için iki ölçüt koymaktadır.

1. Değişkenin formülde kalabilmesi için en küçük kareler F değeri (F-to-remove, FOUT). Normal ayar 2,71'dir.

2. En büyük F ihtimali (Probabability of F-to-remove, POUT). Bunun normal ayarı da 0,10'dur.

İlk önce en küçük kısmi korelasyon katsayısına sahip değişken incelenir. Öngörülen değerlerden, büyük değere sahip değişken elenir.

- Adım Adım Seçme (Stepwise Selection) Metodu: İlk olarak bağımsız değişken seçilir; eğer bu –ileri doğru seçmedeki- FIN veya PIN gereklerini yerine getirirse ikinci değişken seçilir; yoksa işlem orada biter. İkinci değişken olarak en yüksek kısmi korelasyona sahip değişken alınır. Seçimler yüksek korelasyondan düşüğe doğru yapılır. Bağımsız değişkenler ölçütlere uyarsa regresyon analizine başlanır. İlk değişken seçildikten sonra Adım adım seçme, ileri doğru seçmeden farklılaşır. İlk değişkenin, geriye doğru elemadaki gibi FOUT veya POUT

ölçütlerine uyup uymadığı kontrol edilir. Yani adım adım seçmede, hem ileri doğru seçme hem de geriye doğru eleme işlemleri yapılır [21].

4.2.3 Doğrusal Regresyon Analizi

Regresyon Analizinde, değişkenler arasındaki ilişkiyi fonksiyonel olarak açıklamak ve bu ilişkiyi bir modelle tanımlayabilmek amaçlanmaktadır.

Bir kitlede gözlenen X ve Y değişkenleri arasındaki doğrusal ilişki (4.4)'te gösterildiği üzere "Doğrusal Regresyon Modeli" ile verilebilir;

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X + \varepsilon \quad (4.4)$$

Burada;

X: Bağımsız (Açıklayıcı) Değişken

Y: Bağımlı (Açıklanan; Etkilenen; Cevap) Değişken

β_0 : X=0 olduğunda bağımlı değişkenin alacağı değer (kesim noktası)

β_1 : Regresyon Katsayısı

ε : Hata terimi (Ortalaması=0 ve Varyansı= σ^2 'dir)

Regresyon Katsayısı (β_1) : Bağımsız değişkendeki bir birimlik değişimin, bağımlı değişkendeki yaratacağı ortalama değişimi göstermektedir.

ε (Hata terimi): Her bir gözlem çiftindeki bağımlı değişkene ilişkin gerçek değer ile modelden tahmin edilen değer arasındaki farktır. (4.5)

$$\varepsilon_i = (\beta_0 + \beta_1 X) - Y_i \quad (4.5)$$

Tanımlanan Regresyon Modeli:

Kitleden seçilen n gözlemler için (4.6) kullanılmaktadır.

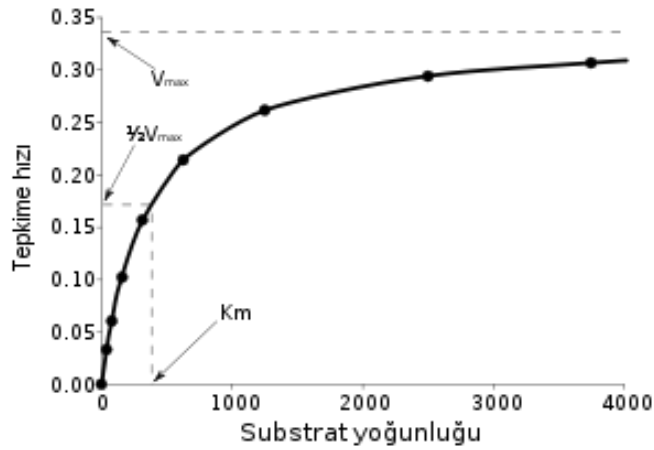
$$\hat{Y} = b_0 + b_1 X \quad (4.6)$$

Yukarıdaki Doğrusal Regresyon Modeli Gözlemler için (4.7) kullanılmaktadır [19].

$$\hat{y}_i = b_0 + b_1 x_i + e_i \quad i = 1, \dots, n \quad (4.7)$$

4.2.4 Doğrusal Olmayan Regresyon Modeli

Doğrusal olmayan regresyon istatistik bilimde gözlemi yapılan verilerin bir veya birden fazla bağımsız değişkenin model parametrelerinin doğrusal olmayan bileşimi olan ve bir veya daha çok sayıda bağımsız ihtiva eden bir fonksiyonla modellenmesini içeren bir regresyon (bağlanım) analizi türüdür. Veriler arka-arkaya yapılan yaklaşımlarla kurulan modele uydurularak çözümleme yapılır.



Şekil 4.18 Doğrusal olmayan regresyon

Bazı doğrusal olmayan regresyon problemleri modelin uygun olan dönüştürmesiyle bir doğrusal çerçeveye geçirilebilir.

Örneğin, (hataları ele almadan) (4.8)'deki doğrusal olmayan regresyon modelini ele alınır.

$$y = ae^{bx} \quad (4.8)$$

Eşitliğin her iki tarafının logaritmaları alınırsa, model (4.9)'daki yeni sekle dönüşür.

$$\ln(y) = \ln(a) + bx \quad (4.9)$$

Bu şekildeki model bilinmeyen katsayılarının kestirimi için bağımlı değişkeni $\ln(y)$ ve bağımlı değişkeni x olan bir doğrusal regresyon modelidir ve tekrarlanan en uygun şekle sokma yöntemi kullanılması istemeden; doğru doğruya en alade en küçük kareler regresyon yöntemi ile yapılabilir. Fakat doğrusal dönüşüm kullanılmasının çok dikkatle yapılması gerekir.

Dönüşümlü modeller için kullanılan veri değerleri başkadır, hatalar bünyesi ve kestirimler üzerinde çıkarımsal sonuçlar da değişik olduğu iyi bilmesi gerekir. Bunlar istenilmeyen

sonuçların elde edilmesine yol açabilir. Diğer taraftan, hataların en yüksek kaynağının ne olduğuna bağlı olarak, bir doğrusal dönüşüm hataların normal dağılım göstermesine sonuç olabilir. Bu nedenle bir doğrusal dönüşüm kullanmayı seçmek için modelin karakterlerini iyi bilmek gerekir [20].

5. TÜRK TELEKOM A.Ş.'NİN İSTANBUL ANADOLU YAKASI BÖLGESİNE AİT ELEKTRİK ENERJİSİ TÜKETİM TAHMİNİ UYGULAMASI

5.1 Enerji Tüketim Tahmininin YSA Uygulaması

Bu tezde uygulama için 2000-2009 yılları arasındaki 10 yıllık (120 aylık) veriler kullanılmıştır. Kullanılan veriler dünya telekomünikasyon sektöründe 13. sırada yer alarak sektörün büyük şirketlerinden birisi olan Türk Telekomünikasyon A.Ş.'nin Türkiye'deki yıllık toplam enerji tüketiminin yaklaşık %8'lik bir kısmını oluşturan İstanbul Anadolu Yakası'na ait 2000-2009 yılları arasındaki 120 aylık enerji tüketim verileri, enerji tüketimine etki eden, tüketimin %55'lik kısmını oluşturan soğutma sistemlerinin çalışma prensibini etkileyen ve Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü'nden İstanbul iline ait 2000-2009 yılları arasındaki 120 aylık ortalama °C cinsinden sıcaklık verileri ile tüketimin yaklaşık %40'ını etkileyen abone türlerinden en çok değişimi gösteren ve 2000-2009 yılları arasındaki yine 120 aylık Türk Telekom A.Ş.'nin sahip olduğu adsl abone verileridir.

Elde edilen 120 aylık veri türleri her bir yapay sinir ağı modelinde giriş ve çıkış katmanları olarak belirlenmiştir. Elektrik tüketimine büyük oranda etki eden adsl abone sayıları ve klimaların çalışma prensibinin temelini oluşturan sıcaklık değerleri 2 giriş katmanı olarak belirlenmiştir. Çıkış katmanı olarak ise tahmini yapılacak elektrik tüketim değerleridir. Belirlenen bu giriş ve çıkış katmanları modellenen tüm yapay sinir ağları modellerinde aynı şekilde kullanılmıştır.

Kullanılan verilerden ilk 8 yıllık (1.-96. ayları) veriler (%80) eğitim seti, 1 yıllık (97.-108. ayları) veriler (%10) cross validation seti ve 1 yıllık (109.-120. ayları) veriler (%10) de test seti olarak alınmıştır. Bu verilerle YSA modelleri üzerinde birçok denemeler sonucunda en az hataya sahip YSA ağ modelinin Çok Katmanlı Perceptron (Multilayer Perceptron-MLP) modeli olduğu görülmüştür.

Uygulama için Neuro Dimension firmasının Neuro Solutions 6 ürünü kullanılmıştır. Neuro Solutions programındaki mevcut her YSA modeli için denemeler tekrarlanmıştır.

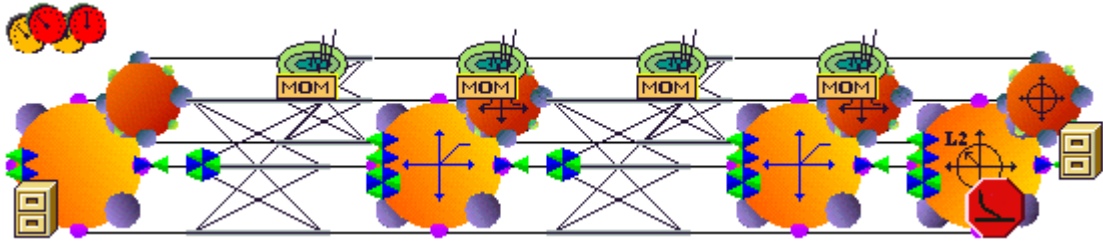
Denemelere ve elde edilen sonuçlara her bir YSA modeli için aşamalar halinde bu bölümde yer verilmiştir.

5.1.1 Uygulama İçin Kullanılan YSA Modelleri

Kullanılan YSA modelinin programdaki ağ yapısı Çok Katmanlı Perceptron (Multilayer Perceptron-MLP)'dir.

Statik geri yayımlı algoritma ile eğitilen ileri beslemeli ağ katmanlarına sahip bir yapay sinir ağı modelidir. Dezavantajı, eğitim için çok fazla veriye ihtiyaç duymasındır.

Yapılan denemeler içinde en düşük eğitim hatası ve çapraz doğrulama (cross validation-C.V.) hatasını veren MLP ağı Şekil 5.1'den görüleceği gibi 2 giriş, 1 çıkış ve 1 gizli katman olmak üzere 3 katmana sahiptir. Burada diğer yapay sinir ağı modellerinde olduğu gibi giriş katmanları adsl abone sayıları ve sıcaklık değerleri, çıkış katmanı ise elektrik tüketim değerleridir. Gizli katman 8 tane işlem elemanından oluşuyor.



Şekil 5.1 MLP ağı

MLP ağı kullanarak çok fazla deneme yapılmış ve en düşük eğitim ile çapraz doğrulama (cross validation) hatasına sahip olan MLP ağı için 1 gizli katmanın yeterli olduğu ve bu gizli katmanın da 8 tane işlem elemanına sahip olması düşük hatayı verdiği gözlenmiştir.

Gizli katman ve çıkış katmanı için transfer fonksiyonları arasından LinearSigmoidAxon transfer fonksiyonu diğerlerine göre gene en düşük hatayı vermiştir.

Öğrenme kuralı olarak her YSA modeli için Momentum öğrenme kuralı kullanılmıştır. Momentum öğrenme kuralı için değişik parametreler vererek denemeler yapılmıştır. Aralarında en iyi sonucu veren parametre değerleri olarak Step Size = 1 ve Momentum=0.7 verilmesi en düşük hatalı sonuca ulaştırmıştır.

MLP ağındaki bu denemelerden en iyi sonuç veren ağın özellikleri (gizli katman sayısı, işlem elemanları, transfer fonksiyonu, öğrenme kuralı gibi parametreler) baz alınarak diğer YSA modellerine aynı parametreler vererek her YSA modelinin birbirine göre performans analizi yapılmıştır.

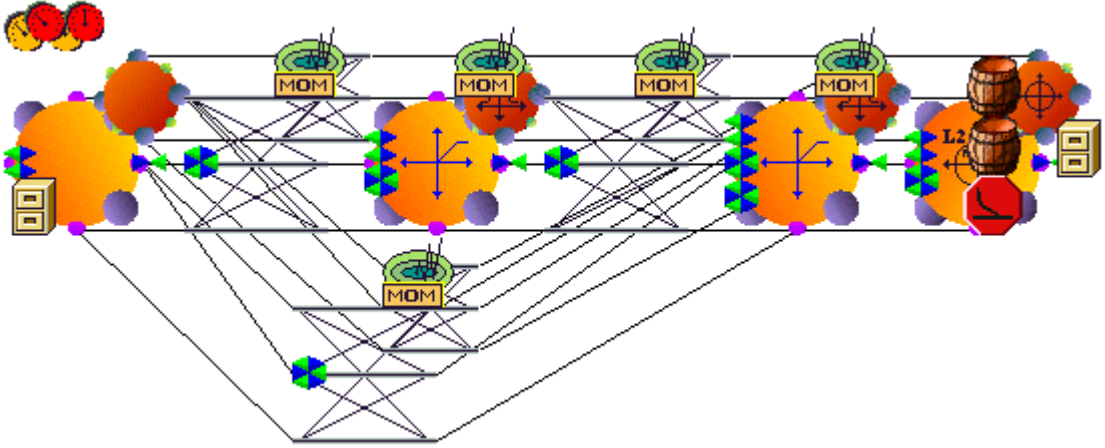
Çok fazla deneme içinde özet oluşturacak bilgilerin yer aldığı ve en iyi sonucu veren ağın kalın puntolarla gösterildiği çizelge 5.1’de özet tablo bulunmaktadır.

Çizelge 5.1 MLP ağı ile yapılan denemelerden en iyi 20 tanesinin özeti

Gizli Katman Sayısı	Gizli Katman Nöron Sayısı	Gizli Katman Transfer Fonksiyonu	Çıkış Katman Transfer Fonksiyonu	α	γ	Epoch (Training)	Epoch (C.V.)	MSE (Training)	MSE (C.V.)
2	4	TanhAxon	TanhAxon	1	0,7	1000	767	0,03601	0,19549
2	4	TanhAxon	TanhAxon	0,5	0,7	1000	1000	0,03608	0,22501
2	4	TanhAxon	TanhAxon	1	0,5	1000	1000	0,03653	0,22773
2	4	SigmoidAxon	SigmoidAxon	1	0,7	1000	1	0,01854	0,13748
2	4	SigmoidAxon	SigmoidAxon	1	0,5	1000	12	0,01891	0,17728
2	4	SigmoidAxon	SigmoidAxon	0,5	0,7	1000	15	0,01887	0,17096
2	4	LinearTanhAxon	LinearTanhAxon	1	0,7	1000	561	0,03432	0,11771
2	4	LinearSigmoidAxon	LinearSigmoidAxon	1	0,7	598	819	0,00931	0,04881
2	4	SoftMaxAxon	SoftMaxAxon	1	0,7	28	1	0,13171	0,02613
2	4	BiasAxon	BiasAxon	1	0,7	126	13	0,03718	0,12207
2	4	LinearAxon	LinearAxon	1	0,7	120	15	0,03718	0,12694
2	4	Axon	Axon	1	0,7	136	24	0,04899	0,48714
5	4	LinearSigmoidAxon	LinearSigmoidAxon	1	0,7	1000	356	0,01889	0,11063
2	8	LinearSigmoidAxon	LinearSigmoidAxon	1	0,7	1000	201	0,00914	0,04784
2	15	LinearSigmoidAxon	LinearSigmoidAxon	1	0,7	1000	515	0,00918	0,04716
2	10	LinearSigmoidAxon	LinearSigmoidAxon	1	0,7	1000	261	0,00913	0,05358
1	8	LinearSigmoidAxon	LinearSigmoidAxon	1	0,7	1000	5	0,00906	0,02733
1	8	LinearSigmoidAxon	LinearSigmoidAxon	1	0,5	1000	478	0,00908	0,05763
1	8	LinearSigmoidAxon	LinearSigmoidAxon	0,5	0,7	1000	1000	0,00934	0,04913
1	8	LinearSigmoidAxon	LinearSigmoidAxon	0,1	0,5	1000	1000	0,00972	0,06885

Genelleştirilmiş İleri Beslemeli Ağ (Generalized Feed Forward):

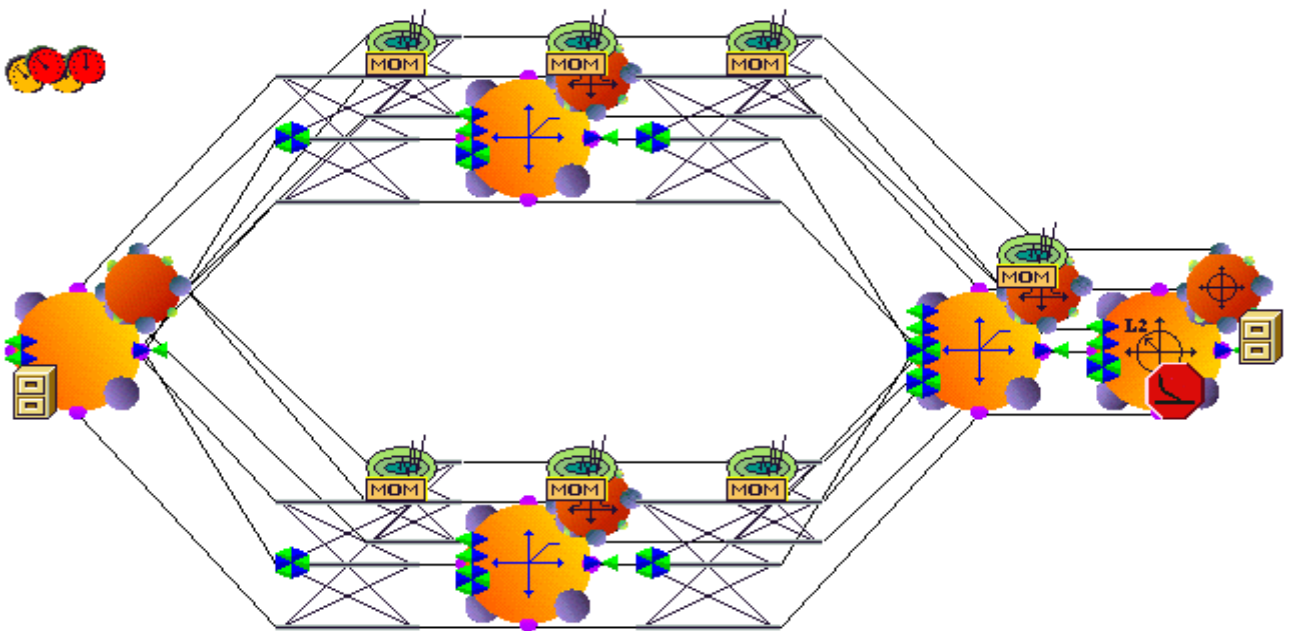
MLP ağının genelleştirilmiş halidir. Bütün katmanlar arasında bağlantılar vardır. MLP ağına göre aynı sayıda işlem elemanı içermesine rağmen daha az sayıda eğitim epoch'a ihtiyaç duymaktadır.



Şekil 5.2 Genelleştirilmiş ileri beslemeli ağ (generalized feed forward network)

Modüler Sinir Ağı (Modular Neural Network):

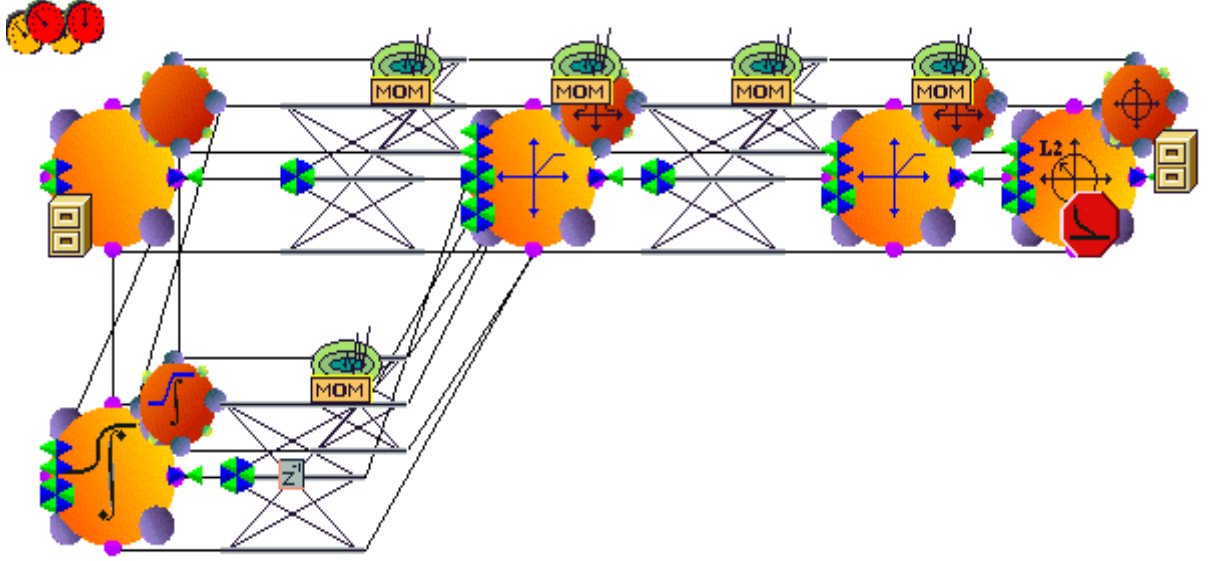
Bu ağ ise MLP ağının özelleştirilmiş halidir. Girişlerini birkaç paralel MLP ile işleyerek sonuçları üretir.



Şekil 5.3 Modüler yapay sinir ağı

Jordan / Elman Ağı (Jordan / Elman Network):

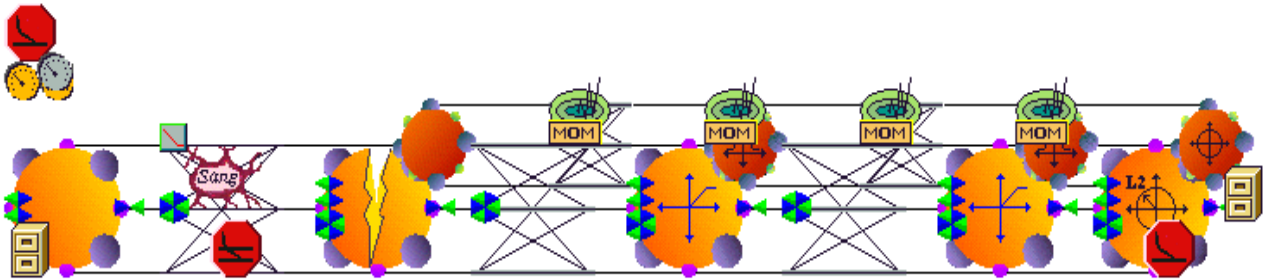
Jordan / Elman ağı MLP ağına bazı işlem elemanları eklenmiş halidir. Bu işlem elemanları geçmiş olayları hatırlama özelliğine sahiptir. Böylece verilerden bazı geçmiş bilgileri elde edebilirler. Çıkış katmanına kadar her gizli katmandaki olayları kopyalayarak çalışır.



Şekil 5.4 Jordan/Elman ağı

Temel Bileşenler Analizi Ağı (Principal Component Analysis Network-PCA):

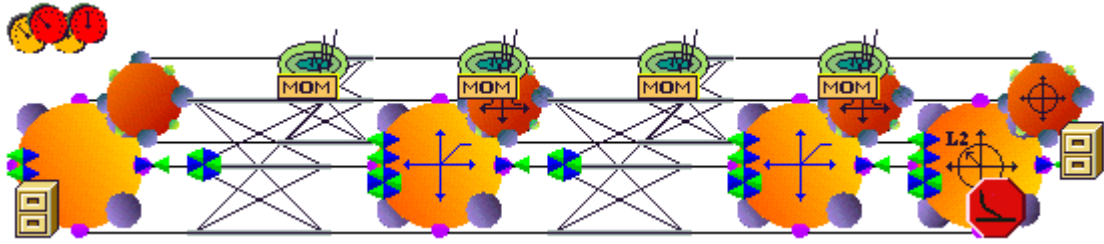
PCA öğreticili ve öğreticisiz öğrenme özelliklerini aynı topolojide barındırır. PCA, korelasyonu olmayan özellikleri üreten öğreticisi olmayan lineer bir işlemdir. MLP ise bu özelliklerden nonlinear sınıflandırma yapabilmekte olup öğreticili ağ tipidir.



Şekil 5.5 PCA ağı

Radyal Tabanlı Fonksiyon (RBF) / Genelleştirilmiş Regresyon Ağları (GRNN) / Olasılıksal Ağlar (PNN):

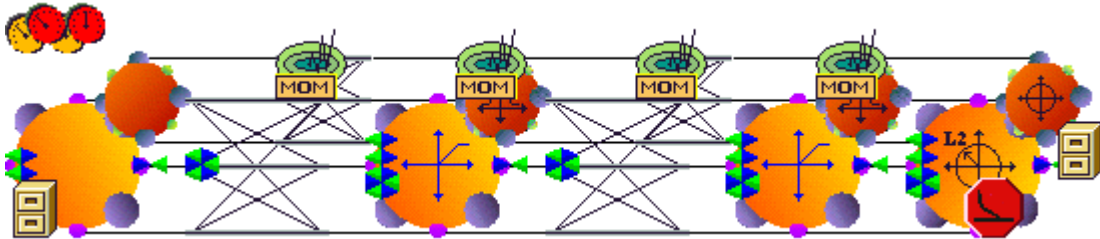
Radyal tabanlı fonksiyon (Radial basis function-RBF) ağı nonlinear hibrid ağıdır. Özelliği tek bir tane gizli katmana sahip olmasıdır. Bu katmanın gauss transfer fonksiyonu vardır. Gizli katman öğreticisiz, çıkış katmanı ise öğreticilidir. MLP ağına göre öğrenme daha hızlıdır.



Şekil 5.6 RBF ağı

Kendi Kendini Organize Eden Nitelik Haritası Ağı (Self-Organizing Feature Map Network-SOFM):

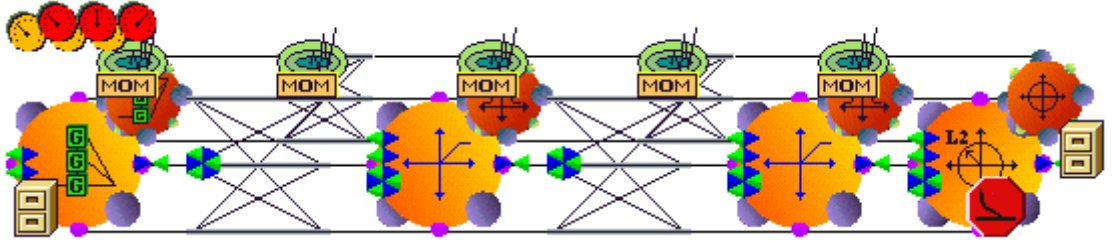
SOFM giriş katmanını bir yada iki boyutlu bir haritaya dönüştürür. Bu haritalar Kohonen adı verilen öğreticisiz öğrenme ile hesaplanır. Çok fazla girişi olan ağlar için idealdir. Çünkü giriş boyutunu haritalama ile düşürürken aynı yapıyı koruyarak sonuçları üretir.



Şekil 5.7 SOFM ağı

Gecikmeli Tekrarlanan Ağlar (Time Lag Recurrent Network-TLRN):

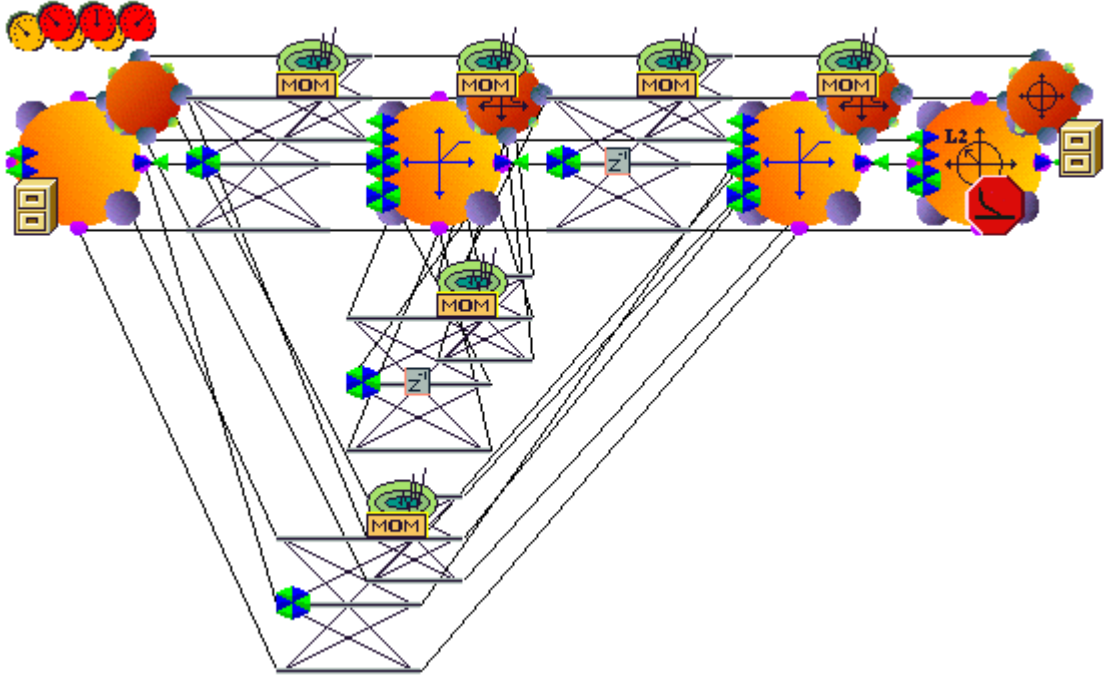
Bu ağ, MLP ağının belleğinin daha küçük zamanlı olması halidir. Lineer olmayan zaman serilerini tahmin etmek için, sistem tanımlaması için ve geçici örnek sınıflandırılması için kullanımda avantajlıdır.



Şekil 5.8 TLRN ağı

Tekrarlanan Ağlar (Recurrent Network):

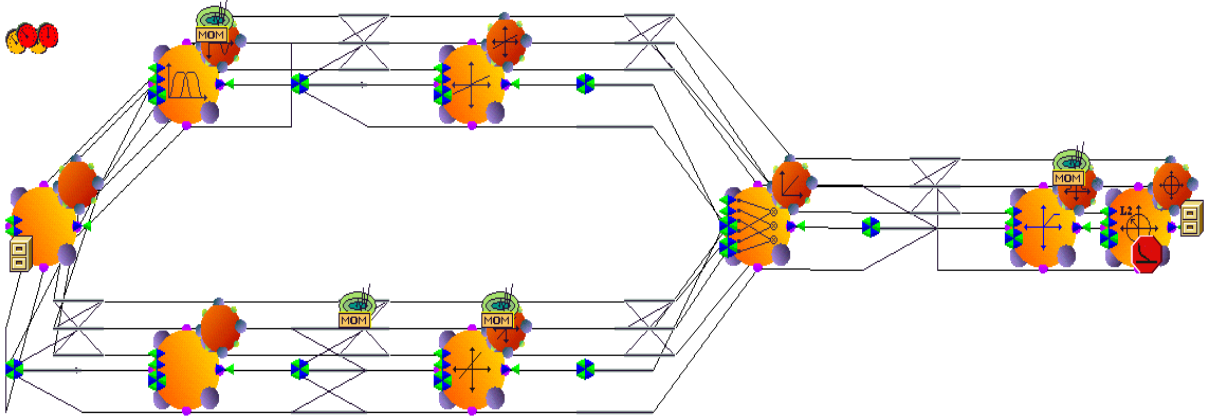
Tam yinelenen ağlarda gizli katman bütün ağı geri beslemelidir. Yani bu tür ağlarda bağlantılar döngü içerirler ve hatta her seferinde yeni veri kullanabilmektedirler. Bu ağlar, döngü sebebiyle girdinin karşılığını yavaş bir şekilde oluştururlar. Bu yüzden, bu tür ağların eğitime süreci daha uzun olmaktadır. Kısmi yinelenen ağlar ise tam yinelenen ağla başlayarak tekrarlamayı bertaraf eden ileri beslemeli bağlantılar üretirler.



Şekil 5.9 Tekrarlanan yapay sinir ağı

CANFIS Network (Fuzzy Logic):

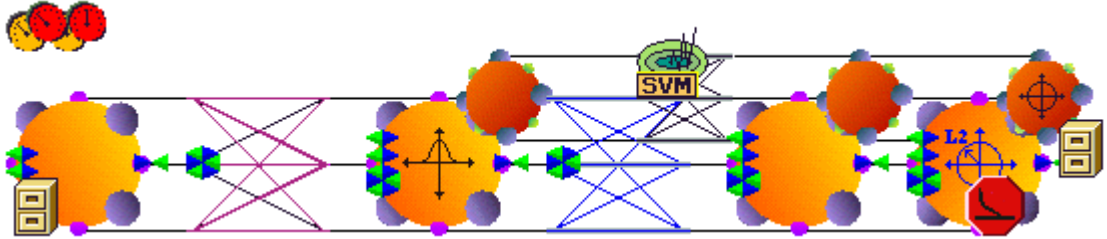
Bulanık girdileri modüler sinir ağları ile entegre eder. Bu ağlar üyelik fonksiyonlarıyla yapay sinir ağlarının “kara kutu” denen gücü ile birleştirmesiyle daha değerli hale gelir.



Şekil 5.10 CANFIS ağı

Destek Vektör Makinesi (Support Vector Machine-SVM):

Destek Vektör Makinesi çekirdek Adatron algoritmasını kullanır. Bu algoritma girişleri yüksek boyutlu özellik uzayına dönüştürerek haritalar ve böylece verileri kendi sınıfına en uygun şekilde ayırır. Sadece sınıflama yapmak için kullanılabilir.



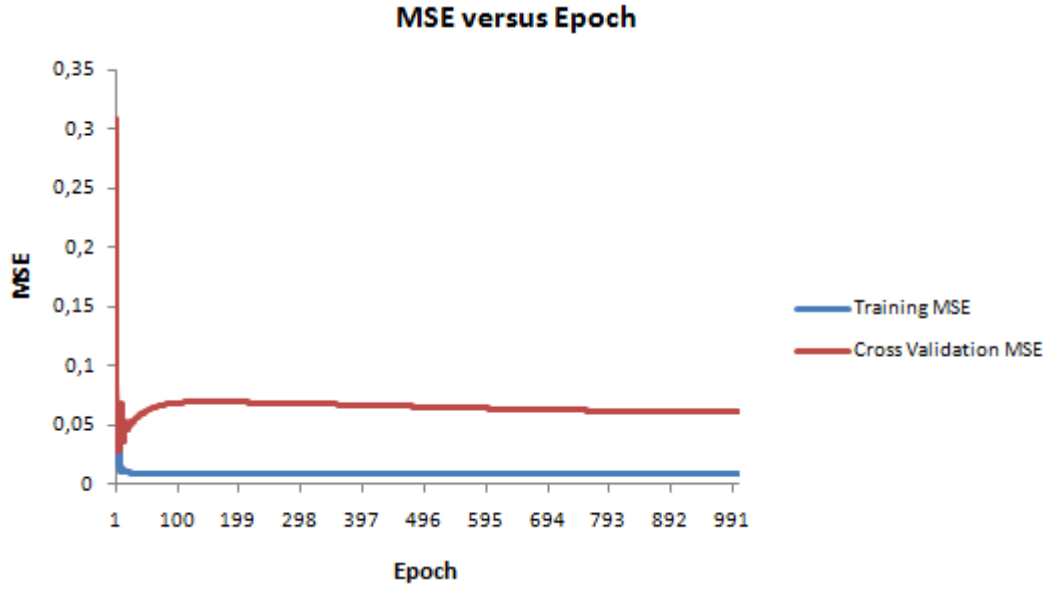
Şekil 5.11 SVM ağı

5.1.2 Uygulama İçin Kullanılan YSA Modellerinin Eğitilmesi ve Eğitim Hataları

Çok Katmanlı Perceptron (MLP)

Tahmin yapabilmek için ilk önce mevcut ağın eğitilmesi gerekmektedir. Eldeki veriler ile öğreticili eğitme algoritması uygulanmıştır. Bu ağına ait eğitim ve çapraz doğrulama ortalama kare hatası grafiği şekil 5.12’de verilmiştir. Çizelge 5.2’de ise bu MLP ağına ait eğitim ve çapraz doğrulama hataları görülmektedir. En düşük eğitim hatası değeri 0,009062261, çapraz doğrulama hatası ise 0,027337018’dir.

Diğer YSA modellerinin de eğitilmesi ve eğitim hataları bu şekilde gerçekleştirilmiştir.

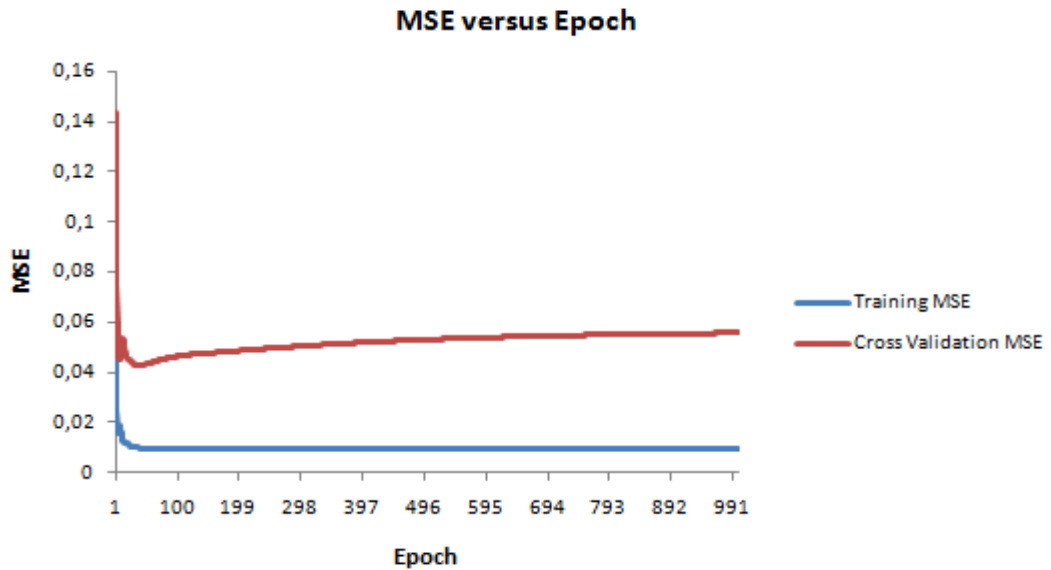


Şekil 5.12 MLP ağının eğitim ve çapraz doğrulama MSE grafiği

Çizelge 5.2 MLP ağının eğitim ve çapraz doğrulama hataları

<i>Best Networks</i>	<i>Training</i>	<i>Cross Validation</i>
Epoch #	1000	5
Minimum MSE	0,009062261	0,027337018
Final MSE	0,009062261	0,061251061

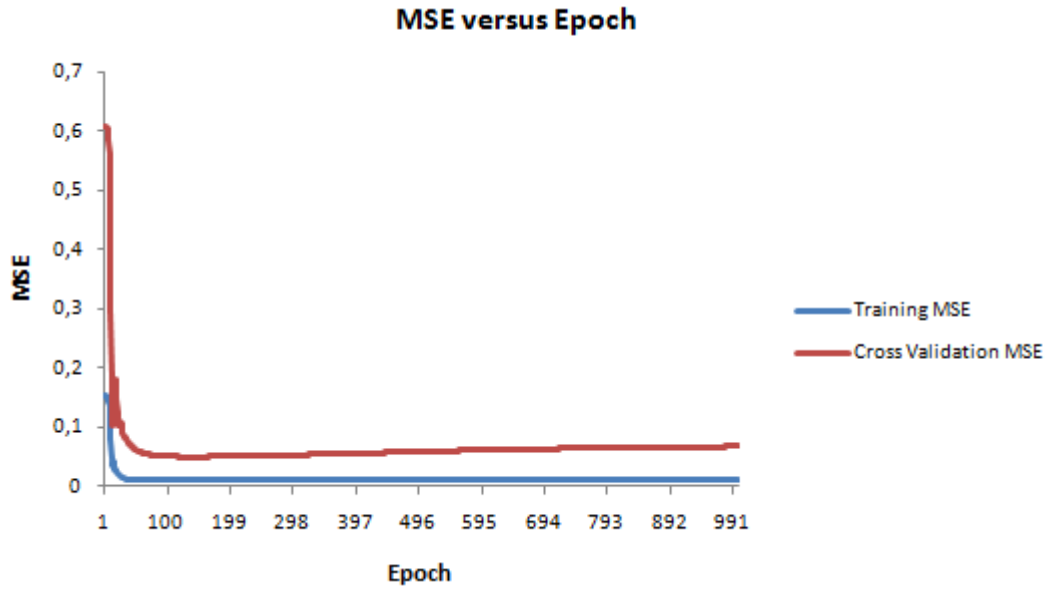
Genelleştirilmiş İleri Beslemeli Ağ



Şekil 5.13 Genelleştirilmiş ileri beslemeli ağın eğitim ve çapraz doğrulama MSE grafiği

Çizelge 5.3 Genelleştirilmiş ileri beslemeli ağı eğitim ve çapraz doğrulama hataları

<i>Best Networks</i>	<i>Training</i>	<i>Cross Validation</i>
Epoch #	1000	41
Minimum MSE	0,009121128	0,042874893
Final MSE	0,009121128	0,055628273

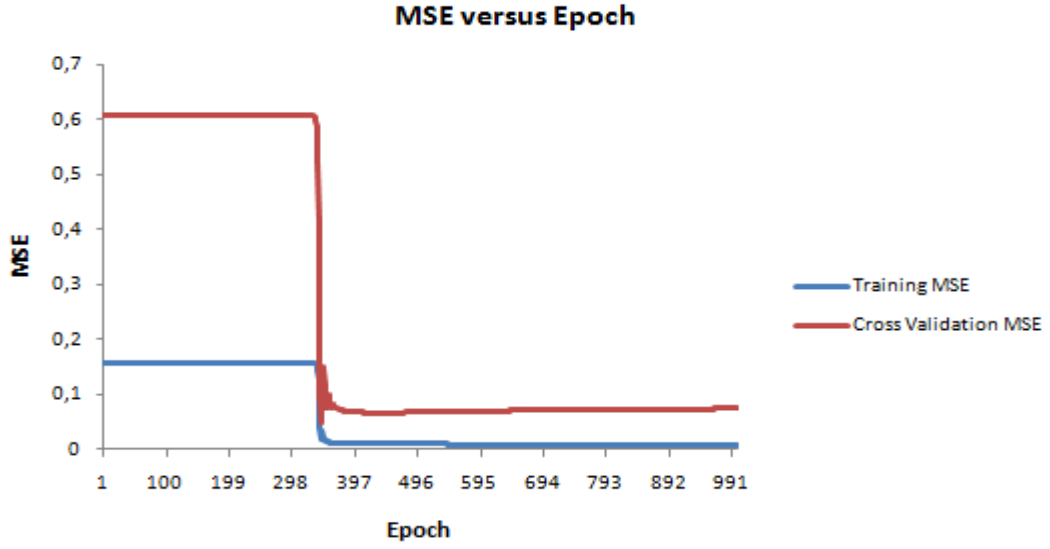
Modüler Sinir Ağı

Şekil 5.14 Modüler sinir ağının eğitim ve çapraz doğrulama MSE grafiği

Çizelge 5.4 Modüler sinir ağının eğitim ve çapraz doğrulama hataları

<i>Best Networks</i>	<i>Training</i>	<i>Cross Validation</i>
Epoch #	756	140
Minimum MSE	0,009128354	0,049514667
Final MSE	0,009138464	0,066837033

Jordan / Elman Ağı

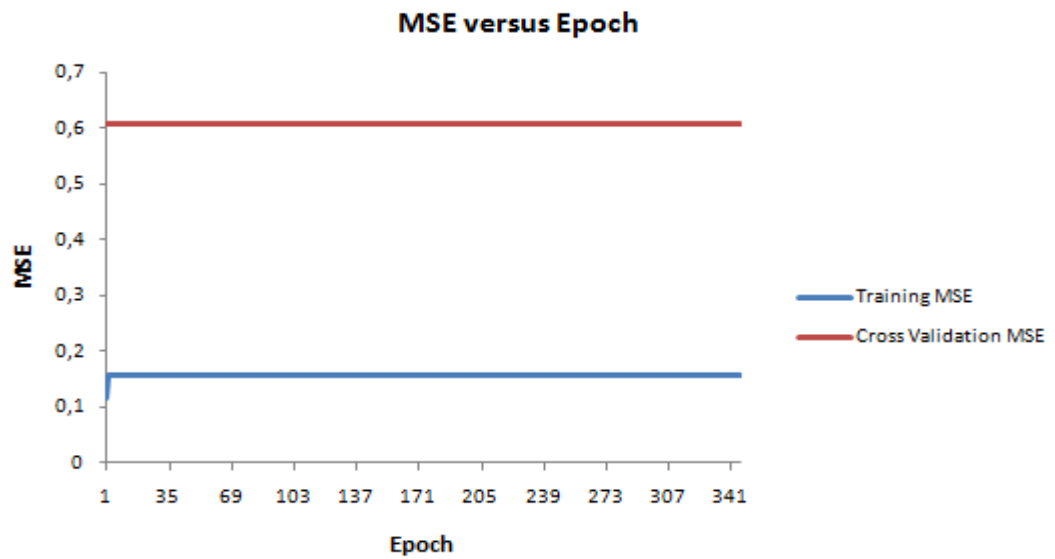


Şekil 5.15 Jordan/Elman ağının eğitim ve çapraz doğrulama MSE grafiği

Çizelge 5.5 Jordan/Elman ağının eğitim ve çapraz doğrulama hataları

<i>Best Networks</i>	<i>Training</i>	<i>Cross Validation</i>
Epoch #	1000	344
Minimum MSE	0,008175774	0,047016636
Final MSE	0,008175774	0,073565699

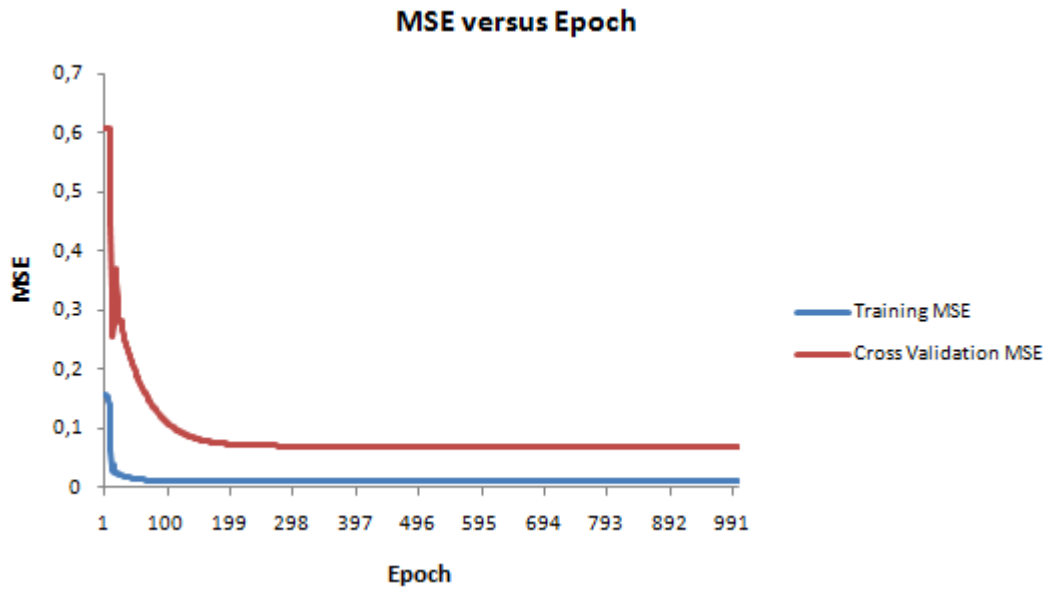
Temel Bileşenler Analizi Ağı (PCA)



Şekil 5.16 PCA ağının eğitim ve çapraz doğrulama MSE grafiği

Çizelge 5.6 PCA ağının eğitim ve çapraz doğrulama hataları

<i>Best Networks</i>	<i>Training</i>	<i>Cross Validation</i>
Epoch #	1	1
Minimum MSE	0,115200478	0,608719153
Final MSE	0,15683423	0,608719153

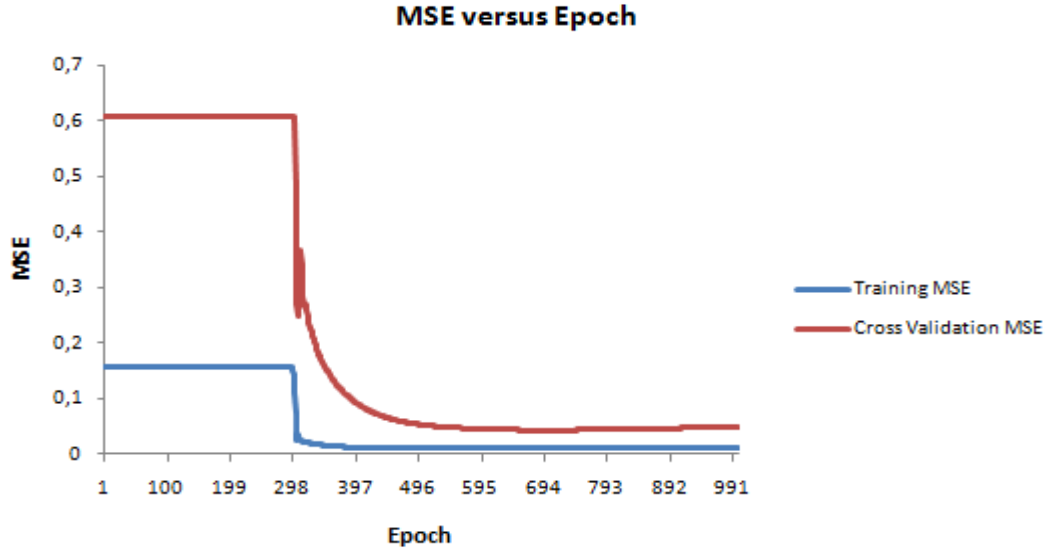
RBF/GRNN/PNN Network

Şekil 5.17 RBF ağının eğitim ve çapraz doğrulama MSE grafiği

Çizelge 5.7 RBF ağının eğitim ve çapraz doğrulama hataları

<i>Best Networks</i>	<i>Training</i>	<i>Cross Validation</i>
Epoch #	1000	1000
Minimum MSE	0,009189896	0,069010956
Final MSE	0,009189896	0,069010956

Kendi Kendini Organize Eden Nitelik Haritası Ağı (SOFM)

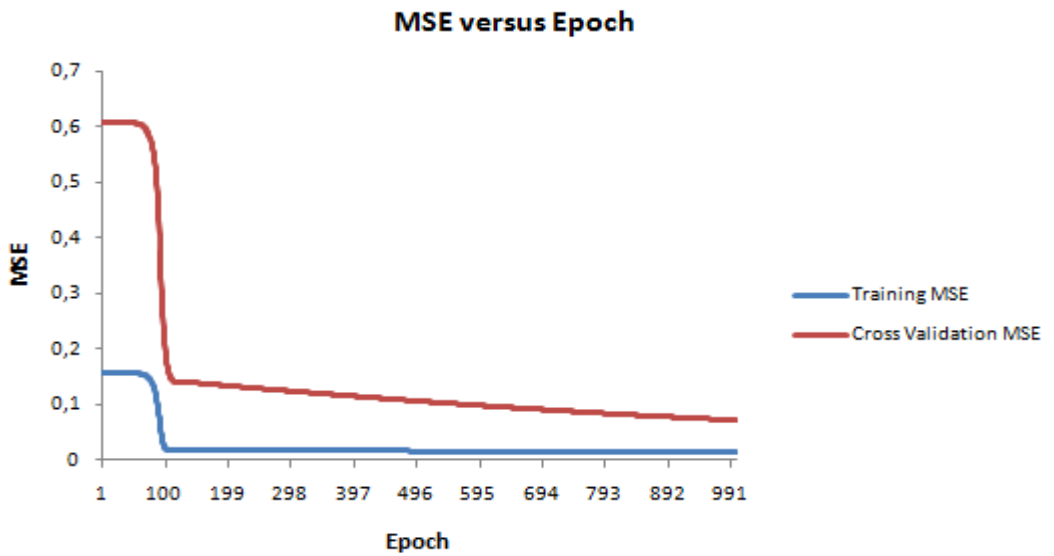


Şekil 5.18 SOFM ağının eğitim ve çapraz doğrulama MSE grafiği

Çizelge 5.8 SOFM ağının eğitim ve çapraz doğrulama hataları

<i>Best Networks</i>	<i>Training</i>	<i>Cross Validation</i>
Epoch #	970	718
Minimum MSE	0,009084886	0,042506068
Final MSE	0,009086707	0,047997698

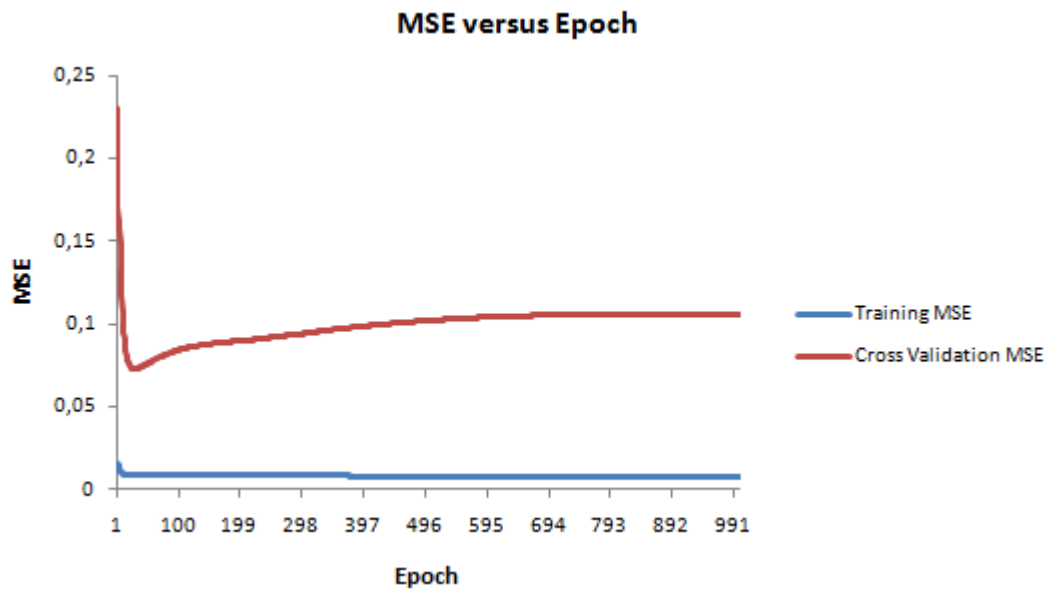
Gecikmeli Tekrarlanan Ağlar (TLRN)



Şekil 5.19 TLRN ağının eğitim ve çapraz doğrulama MSE grafiği

Çizelge 5.9 TLRN ağıının eğitim ve çapraz doğrulama hataları

<i>Best Networks</i>	<i>Training</i>	<i>Cross Validation</i>
Epoch #	1000	1000
Minimum MSE	0,015111736	0,071149951
Final MSE	0,015111736	0,071149951

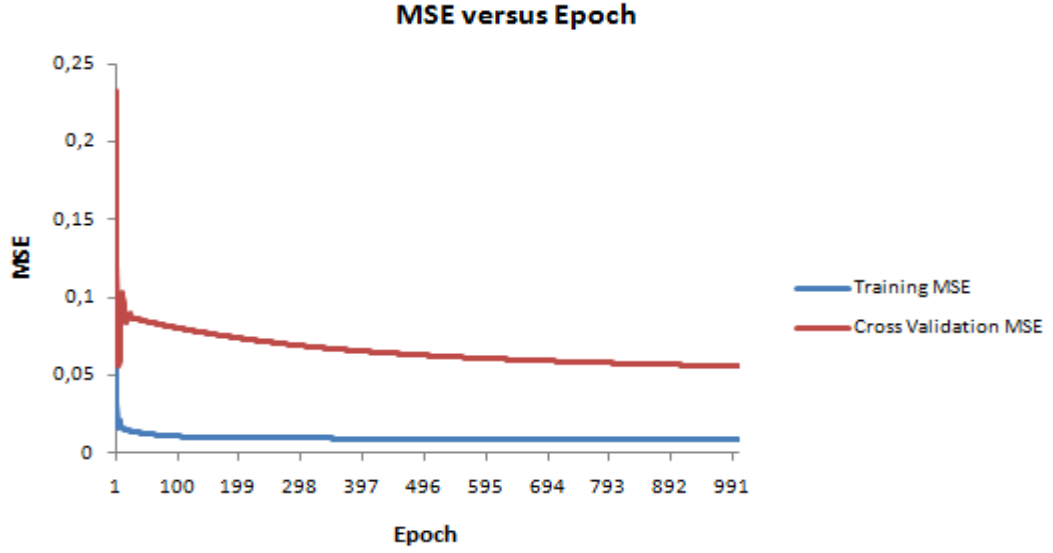
Tekrarlanan Ağlar

Şekil 5.20 Tekrarlanan ağıın eğitim ve çapraz doğrulama MSE grafiği

Çizelge 5.10 Tekrarlanan ağıın eğitim ve çapraz doğrulama hataları

<i>Best Networks</i>	<i>Training</i>	<i>Cross Validation</i>
Epoch #	941	31
Minimum MSE	0,007618833	0,072600435
Final MSE	0,007621872	0,104979587

CANFIS Network (Fuzzy Logic)

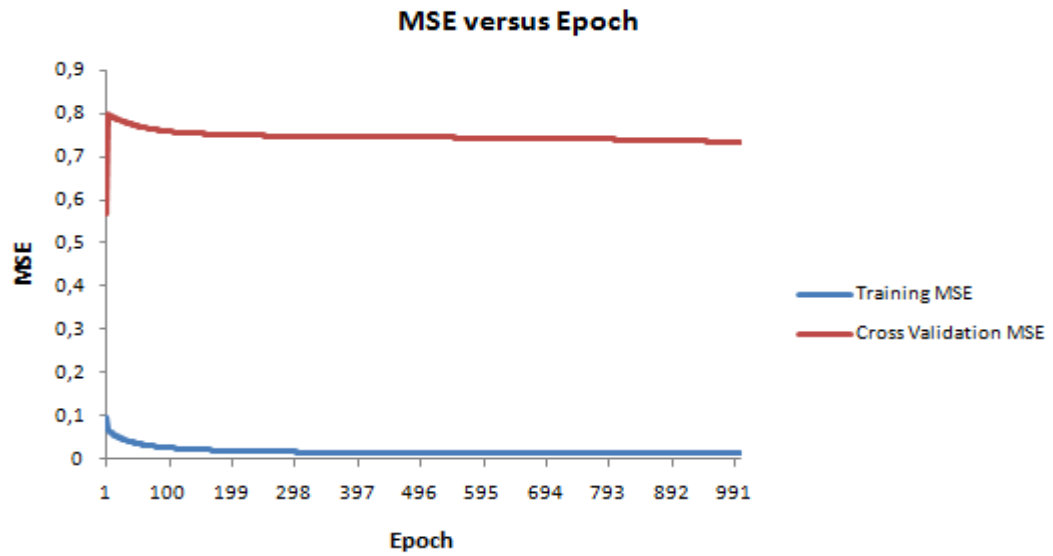


Şekil 5.21 CANFIS ağının eğitim ve çapraz doğrulama MSE grafiği

Çizelge 5.11 CANFIS ağının eğitim ve çapraz doğrulama hataları

<i>Best Networks</i>	<i>Training</i>	<i>Cross Validation</i>
Epoch #	1000	1000
Minimum MSE	0,008925778	0,055553655
Final MSE	0,008925778	0,055553655

Destek Vektör Makinesi (SVM)



Şekil 5.22 SVM ağının eğitim ve çapraz doğrulama MSE grafiği

Çizelge 5.12 SVM ağının eğitim ve çapraz doğrulama hataları

<i>Best Networks</i>	<i>Training</i>	<i>Cross Validation</i>
Epoch #	743	1
Minimum MSE	0,013124492	0,565569394
Final MSE	0,013713156	0,733312636

Hata denemeleri yapılan bütün YSA modellerinin karşılaştırmalı analizi çizelge 5.13'deki gibidir. Bununla birlikte, MLP modeli ile oluşturulan yapay sinir ağı kullanılarak enerji tüketim tahminlerinin yapılabileceği görülmüştür.

Çizelge 5.13'den de anlaşılabileceği gibi MLP modeli en iyi sonucu vermiştir. Denemeleri yapılan her model için 2 giriş katmanı, 1 gizli katman, 8 gizli katman nöronu ve 1 çıkış katmanı ağ yapısını oluşturmaktadır. Hem gizli katman transfer fonksiyonu hem de çıkış katman transfer fonksiyonu olarak LinearSigmoidAxon fonksiyonu seçilmiştir. Öğrenme kuralı olarak momentum belirlenmiş, öğrenme katsayıları ise $\alpha=1$, $\beta=0,7$ parametre olarak verilmiştir.

Çizelge 5.13 YSA modellemelerinin karşılaştırmalı eğitim hataları analizi

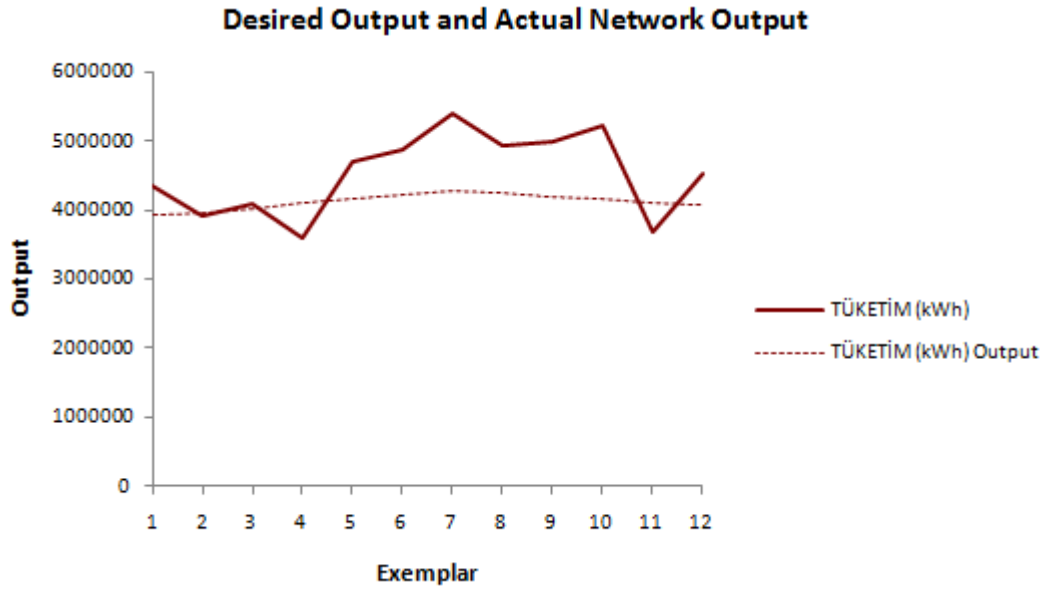
YSA Modeli	Epoch (Eğitim)	Epoch (C.V.)	MSE (Eğitim)	MSE (C.V.)
MLP	1000	5	0,00906	0,02733
generalized feed forward	1000	41	0,00912	0,04287
modular neural network	756	140	0,00912	0,04951
jordan/elman network	1000	344	0,00817	0,04701
principal component analysis (PCA)	1	1	0,11521	0,60871
rbf/grnn/pnn network	1000	1000	0,00918	0,06901
self-organizing feature map network	970	718	0,00908	0,04251
time-lag recurrent network	1000	1000	0,01511	0,07114
reccurent network	941	31	0,00761	0,07261
canfis network (fuzzy logic)	1000	1000	0,00892	0,05555
support vector machine	743	1	0,01312	0,56556

5.1.3 Uygulama İçin Kullanılan YSA Modellerinin Test Edilmesi ve Test Hataları

Çok Katmanlı Perceptron (MLP)

Eğitilen verilerden elde edilecek tahmini veriler eğitilen modele göre doğruluğu test edilmiştir. Çok katmanlı perceptron ağına ait test verilerinin gerçek değer ve tahmini değer grafiği şekil 5.23’de verilmiştir. Çizelge 5.14’de ise bu MLP ağının test verilerinin hata oranları görülmektedir.

Diğer YSA modellerinin de test edilmesi ve test hataları aynı şekilde gerçekleştirilmiştir. Test hata oranlarının gösterildiği çizelgelerdeki r , korelasyon katsayısını (hata yüzdesi) ifade etmektedir.

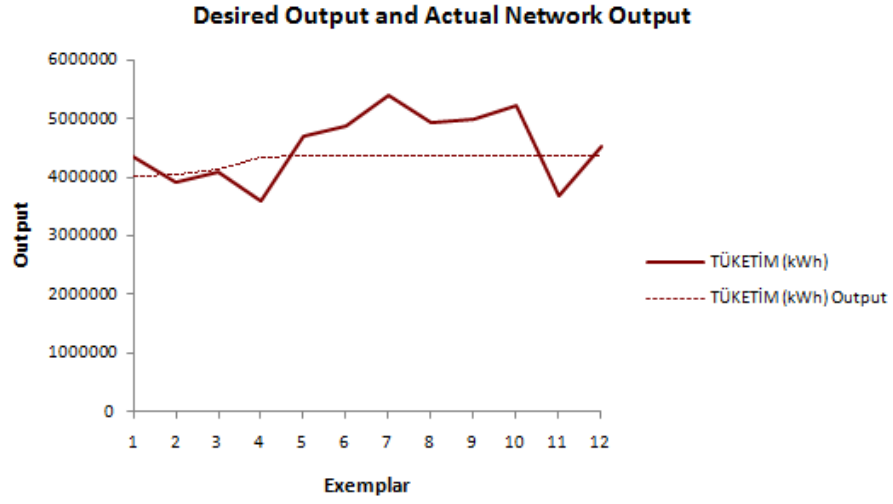


Şekil 5.23 MLP ağının test verilerinin gerçek değer ve tahmini değer grafiği

Çizelge 5.14 MLP ağının test verilerinin hata oranları

Performance	TÜKETİM (kWh)
MSE	4,17391E+11
NMSE	1,253764102
MAE	562189,3123
Min Abs Error	55797,16135
Max Abs Error	1137222,293
r	0,694464973

Genelleştirilmiş İleri Beslemeli Ağ

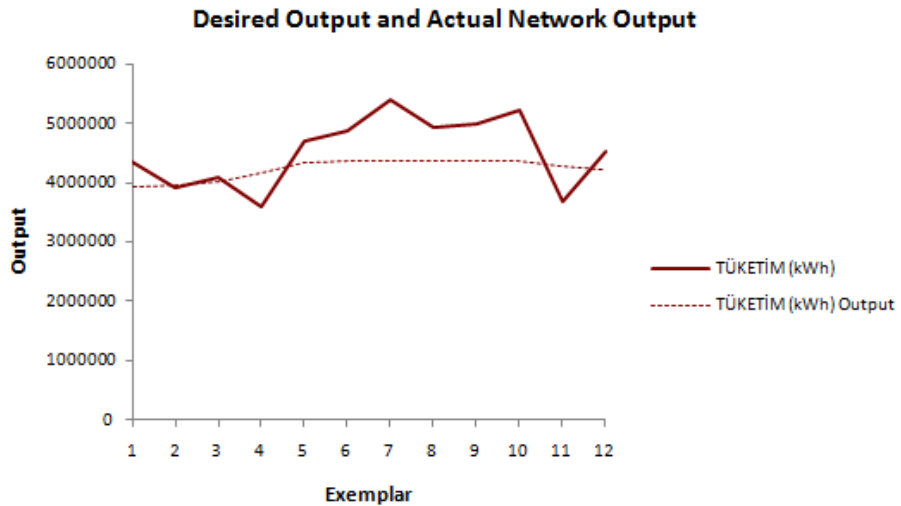


Şekil 5.24 Genelleştirilmiş ileri beslemeli ağın test verilerinin gerçek değer ve tahmini değer grafiği

Çizelge 5.15 Genelleştirilmiş ileri beslemeli ağın test verilerinin hata oranları

Performance	TÜKETİM (kWh)
MSE	3,31113E+11
NMSE	0,994601376
MAE	495432,5155
Min Abs Error	45345,5507
Max Abs Error	1024560,667
r	0,450269104

Modüler Sinir Ağı

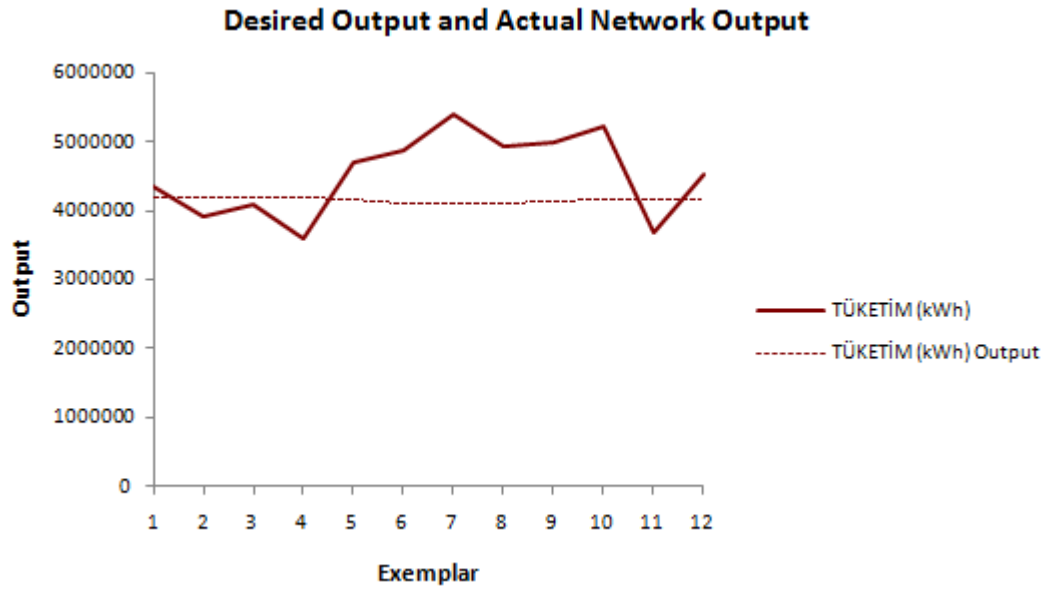


Şekil 5.25 Modüler sinir ağının test verilerinin gerçek değer ve tahmini değer grafiği

Çizelge 5.16 Modüler sinir ağının test verilerinin hata oranları

<i>Performance</i>	<i>TÜKETİM (kWh)</i>
MSE	3,1209E+11
NMSE	0,937459504
MAE	489713,6378
Min Abs Error	48878,75576
Max Abs Error	1024560,667
r	0,682982034

Jordan / Elman Network

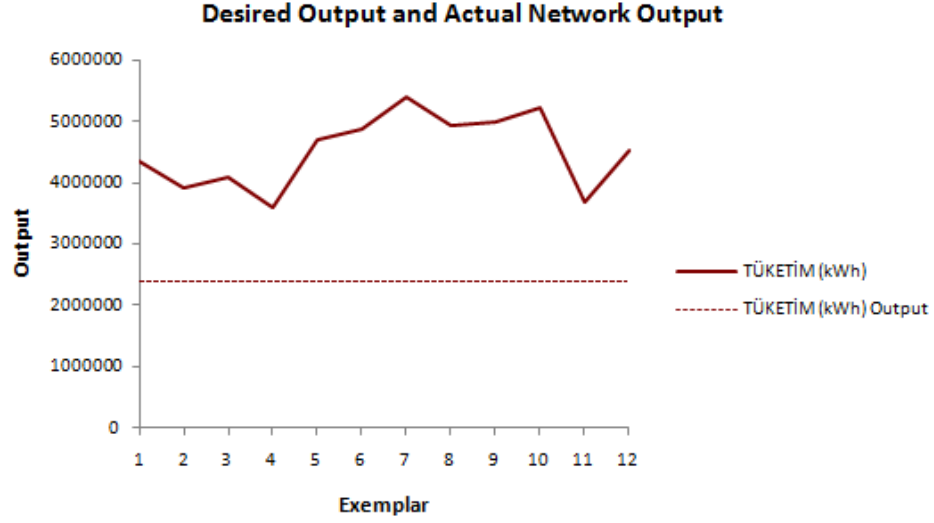


Şekil 5.26 Jordan/Elman ağının test verilerinin gerçek değer ve tahmini değer grafiği

Çizelge 5.17 Jordan/Elman ağının test verilerinin hata oranları

<i>Performance</i>	<i>TÜKETİM (kWh)</i>
MSE	4,94036E+11
NMSE	1,483988918
MAE	611434,582
Min Abs Error	101127,8772
Max Abs Error	1299385,687
r	-0,717702662

Temel Bileşenler Analizi Ağı (PCA)

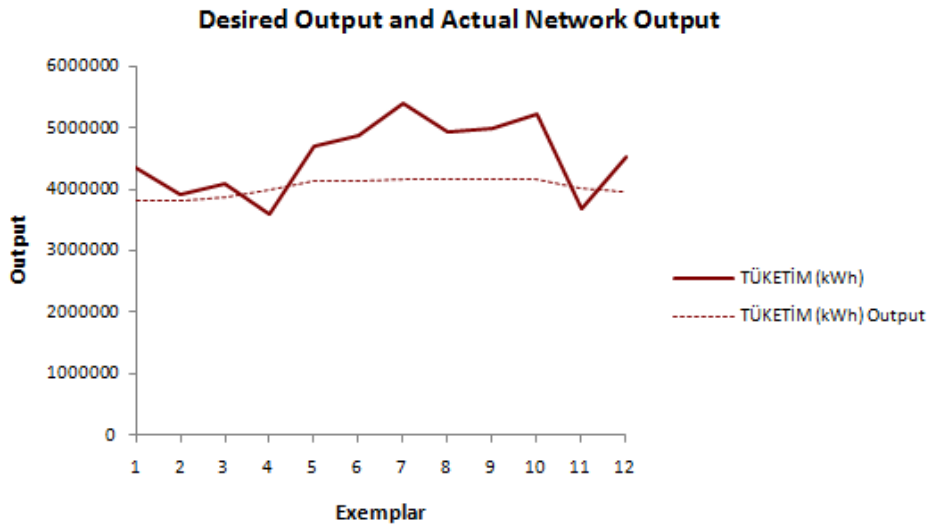


Şekil 5.27 PCA ağının test verilerinin gerçek değer ve tahmini değer grafiği

Çizelge 5.18 PCA ağının test verilerinin hata oranları

Performance	TÜKETİM (kWh)
MSE	4,85945E+12
NMSE	14,59687394
MAE	2127567,583
Min Abs Error	1195062,333
Max Abs Error	3010127,333
r	0

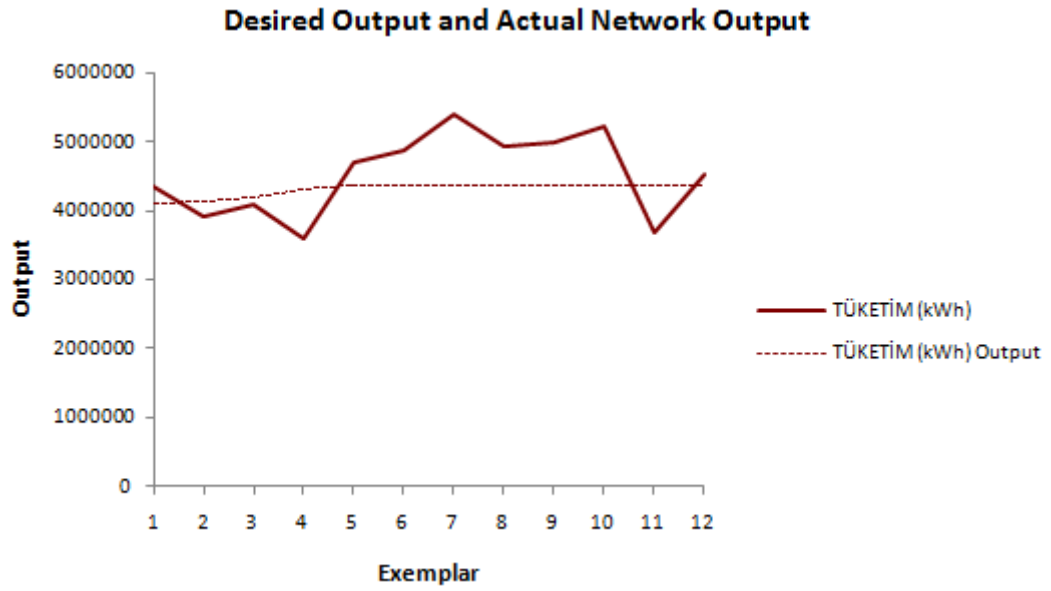
RBF/GRNN/PNN Network



Şekil 5.28 RBF ağının test verilerinin gerçek değer ve tahmini değer grafiği

Çizelge 5.19 RBF ağının test verilerinin hata oranları

<i>Performance</i>	<i>TÜKETİM (kWh)</i>
MSE	4,8279E+11
NMSE	1,450210516
MAE	614530,6283
Min Abs Error	85190,35999
Max Abs Error	1250911,307
r	0,718897209

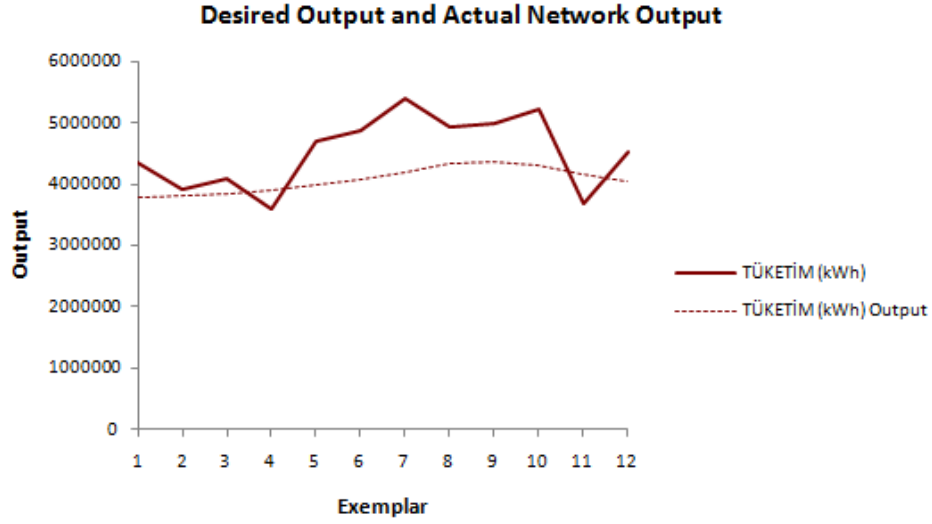
Kendi Kendini Organize Eden Nitelik Haritası Ağı (SOFM)

Şekil 5.29 SOFM ağının test verilerinin gerçek değer ve tahmini değer grafiği

Çizelge 5.20 SOFM ağının test verilerinin hata oranları

<i>Performance</i>	<i>TÜKETİM (kWh)</i>
MSE	3,27476E+11
NMSE	0,983675416
MAE	498592,4945
Min Abs Error	107425,2255
Max Abs Error	1024560,667
r	0,503037086

Gecikmeli Tekrarlanan Ağlar (TLRN)

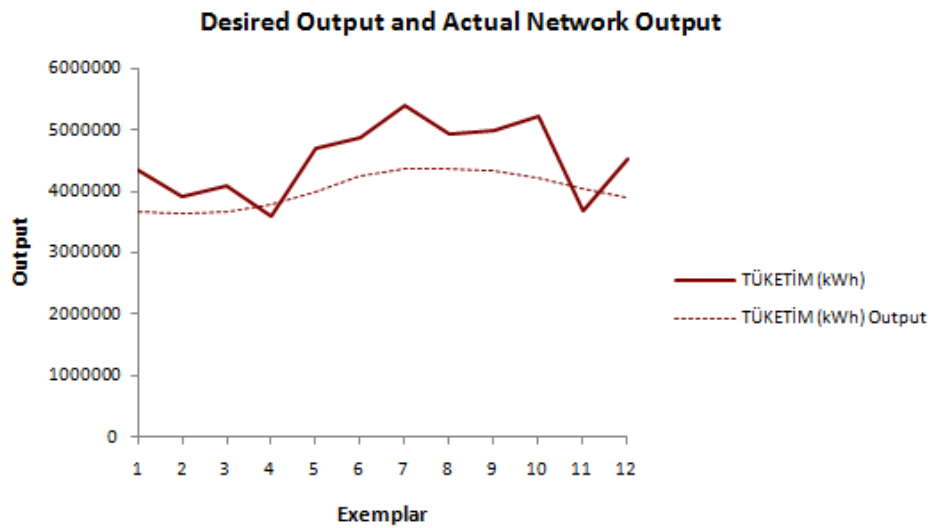


Şekil 5.30 TLRN ağının test verilerinin gerçek değer ve tahmini değer grafiği

Çizelge 5.21 TLRN ağının test verilerinin hata oranları

Performance	TÜKETİM (kWh)
MSE	4,30468E+11
NMSE	1,293043574
MAE	588053,0879
Min Abs Error	83252,40613
Max Abs Error	1206569,133
r	0,642924086

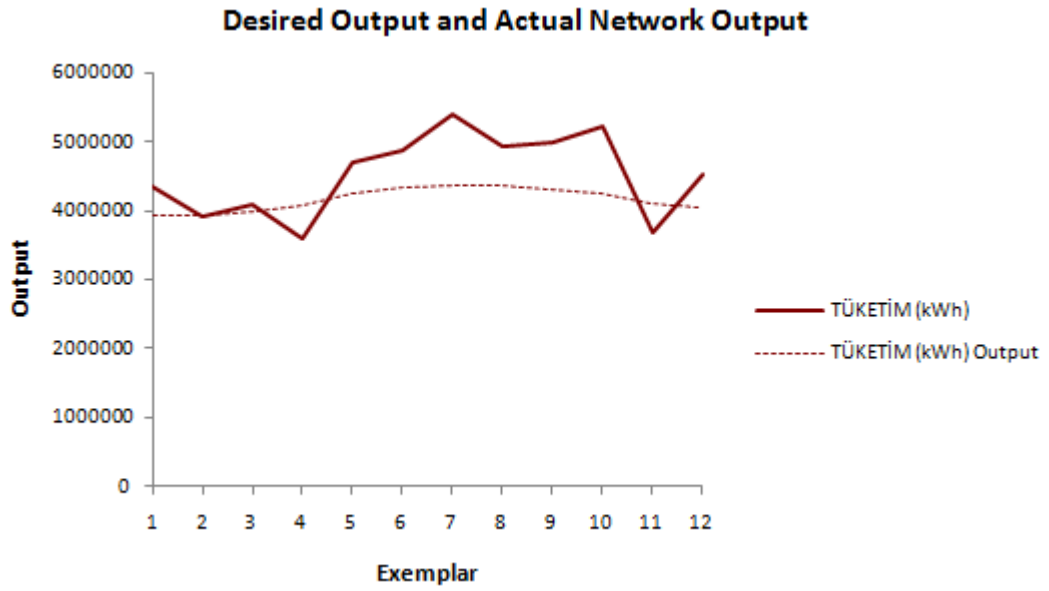
Tekrarlanan Ağlar



Şekil 5.31 Tekrarlanan ağın test verilerinin gerçek değer ve tahmini değer grafiği

Çizelge 5.22 Tekrarlanan ağın test verilerinin hata oranları

<i>Performance</i>	<i>TÜKETİM (kWh)</i>
MSE	4,15558E+11
NMSE	1,248258304
MAE	597039,9879
Min Abs Error	191093,1793
Max Abs Error	1024560,667
r	0,76517484

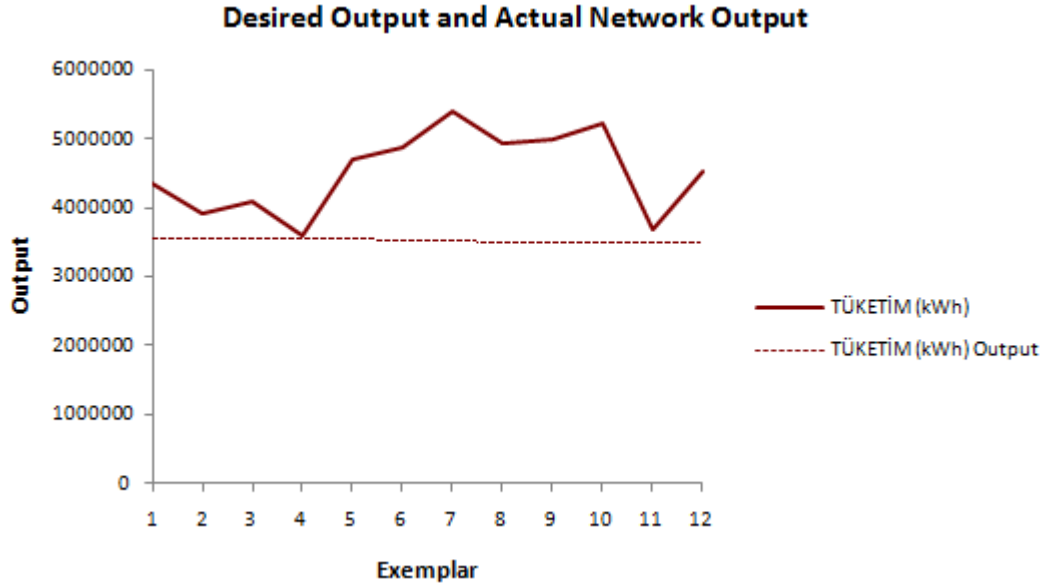
CANFIS Network (Fuzzy Logic)

Şekil 5.32 CANFIS ağının test verilerinin gerçek değer ve tahmini değer grafiği

Çizelge 5.23 CANFIS ağının test verilerinin hata oranları

<i>Performance</i>	<i>TÜKETİM (kWh)</i>
MSE	3,44333E+11
NMSE	1,034311546
MAE	516282,003
Min Abs Error	33938,65196
Max Abs Error	1044128,515
r	0,763344987

Destek Vektör Makinesi (SVM)



Şekil 5.33 SVM ağının test verilerinin gerçek değer ve tahmini değer grafiği

Çizelge 5.24 SVM ağının test verilerinin hata oranları

<i>Performance</i>	<i>TÜKETİM (kWh)</i>
MSE	1,33842E+12
NMSE	4,02035204
MAE	997571,828
Min Abs Error	46024,89108
Max Abs Error	1890599,562
r	-0,390748175

5.2 Regresyon Analizi Uygulaması

ADSL abone sayılarının ilk 4 yıl içerisinde değerlerinin 0 olması nedeniyle 2004-2009 yılları arasındaki 6 yıllık veriler kullanılarak analiz gerçekleştirilmiştir. Bu analizde, ilk önce bağımsız değişkenler olan adsl abone sayıları ile sıcaklık değerleri ayrı ayrı saçılım grafiklerine bakılarak tüketim değerleri ile doğrusal olup olmadığına bakılmıştır. Buna göre ikili regresyon analizi yapılarak elektrik tüketim değerlerinin, adsl abone sayıları ile sıcaklık değerlerine ne kadar bağımlı olduğu incelenmiştir.

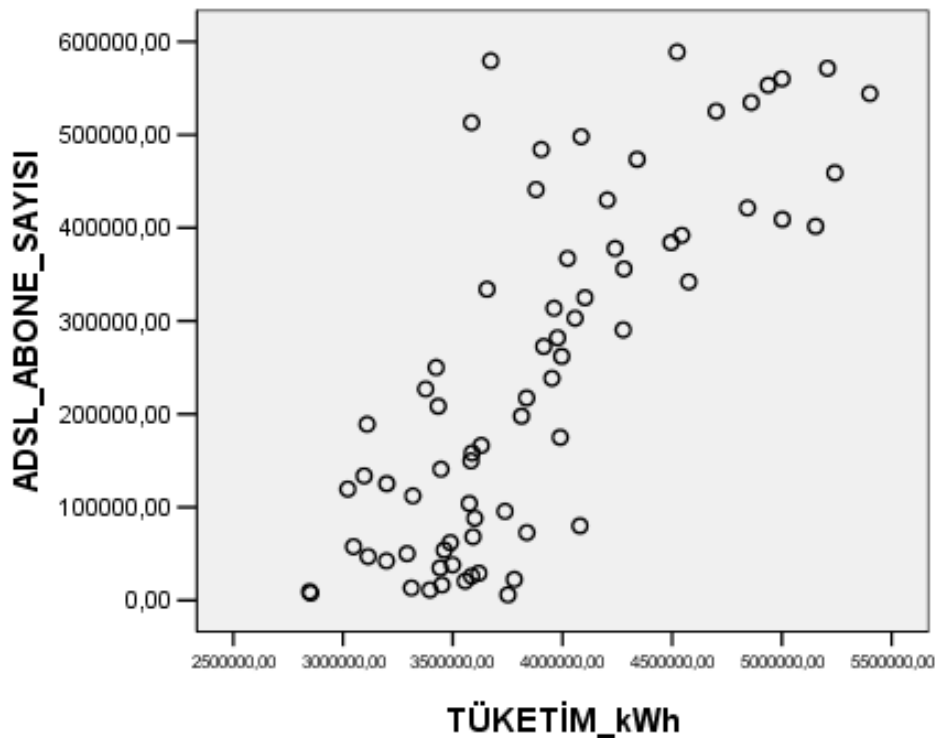
Aynı işlem 2000-2009 yılları arasındaki 10 yıllık veriler için de yapılarak regresyon analizi gerçekleştirilmiştir.

Son olarak 10 yıllık verilerin tamamı kullanılarak, aynı zamanda iki adet bağımsız değişken olan adsl abone sayıları ile sıcaklık değerleri tek bir bağımsız değişkenmiş gibi kabullenip ikili regresyon analizi yapılmıştır.

5.2.1 Altı Yıllık Verilerin Doğrusal Regresyon Analizi

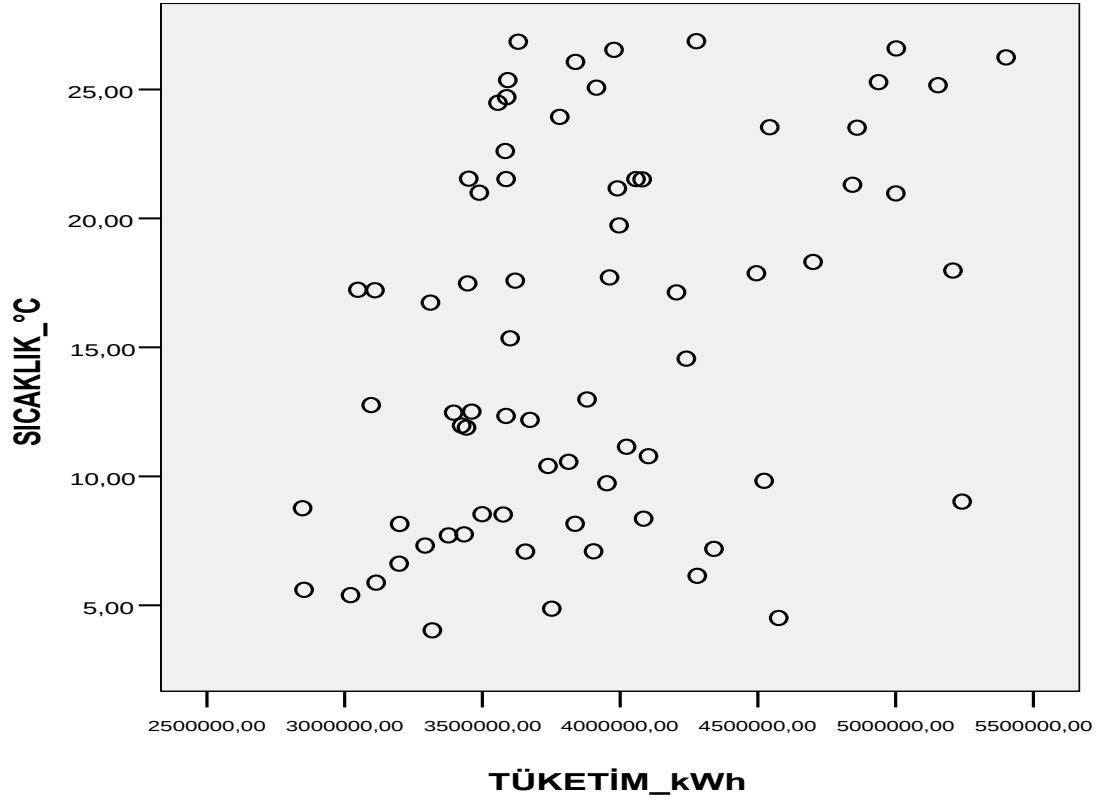
Daha öncede belirtildiği üzere, ilk dört yıllık (2000-2001-2002-2003) dönemde tüketime doğrudan bir etkisi olmadığından, yani yükün 2004 yılından sonra adsl abone sayılarının sürekli ve hızlı artışı nedeniyle elektriksel yükün artışı, dolayısıyla tüketimin de artmasından dolayı son altı yıllık veriler kullanılarak doğrusal regresyon analiz çalışması yapılmıştır. Bağımsız değişkenler olan adsl abone sayıları ile sıcaklık değerleri ayrı ayrı saçılım grafiklerine bakılarak tüketim değerleri ile doğrusal olup olmadığına bakılmıştır. Buna göre ikili regresyon analizi yapılarak elektrik tüketim değerlerinin, adsl abone sayıları ile sıcaklık değerlerine ne kadar bağımlı olduğu incelenmiştir.

5.2.1.1 Saçılım Grafikleri



Şekil 5.34 SPSS adsl abone sayıları ile elektrik tüketim değerlerinin saçılım grafiği

Şekil 5.34'te de görülebileceği üzere elektrik tüketim değerleri ile adsl abone sayıları arasında lineer bir yapı bulunmaktadır. Elektrik tüketim değerleri ile adsl abone sayıları arasındaki ilişki SPSS saçılım grafiğine göre lineerdir.



Şekil 5.35 SPSS sıcaklık değerleri ile elektrik tüketim değerlerinin saçılım grafiği

Şekil 5.35'teki SPSS saçılım grafiğine göre sıcaklık değerleri ile elektrik tüketim değerleri arasında bir ilişki bulunmamaktadır. Tüketim değerlerinin sıcaklıktan bağımsız bir dağılımı vardır.

5.2.1.2 İkili Regresyon Analizi

2 farklı regresyon analizi yapılmıştır. Elektrik tüketiminin adsl abone sayıları yada sıcaklığa olan bağımlılığı araştırılmıştır. Her ikisi için de ayrı ayrı analiz yapılmıştır. Sonuçta adsl abone sayılarının bağımlılık oranının sıcaklığa göre fazla olduğu görülmüştür. Programdan elde edilen sonuçlar ile hesaplanan hata oranları çizelgelerde açıklanmıştır.

1. İkili regresyon analizi (adsl abone sayıları bağımsız değişken)

Bu analiz için bağımlı değişken olarak elektrik tüketim değeri, bağımsız değişken ise adsl

abone sayıları seçilmiştir. Adsl abone sayılarının elektrik tüketimine olan etkisinin anlamlılık derecesi ölçülmüştür.

Çizelge 5.25 İkili regresyon analizi özeti (adsl abone sayıları bağımsız değişken)

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	,774(a)	,599	,593	390782,18620

a Predictors: (Constant), ADSL_ABONE_SAYISI

Çizelge 5.25'teki model özeti çizelgesindeki R Square sütunundaki değerlerden bağımsız değişken durumundaki "Adsl Abone Sayıları" bağımlı değişken durumundaki "Elektirik Tüketimi" değişkenine ait varyansı % 59 oranında açıkladığı, diğer bir ifade ile elektrik tüketiminin % 59'unun adsl abone sayılarına bağlı olduğu anlaşılmaktadır.

Çizelge 5.26 ANOVA çizelgesi (adsl abone sayıları bağımsız değişken)

ANOVA ^b						
Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	2E+013	1	1,594E+013	104,373	,000 ^a
	Residual	1E+013	70	1,527E+011		
	Total	3E+013	71			

a. Predictors: (Constant), ADSL_ABONE_SAYISI

b. Dependent Variable: TÜKETÝM_kWh

ANOVA çizelgesinin (çizelge 5.26) anlamlılık sütunundaki değer ise söz konusu değişkenler arasındaki ilişkinin $p < 0,01$ düzeyinde istatistiksel olarak anlamlı olduğunu göstermektedir. Eğer bu sütundaki değer 0,05'in üzerinde olsaydı ilişkinin anlamsız (rastlantısal) olduğu kanısına varabilirdik.

Çizelge 5.26'daki ilişki formüle edilecek olursa (5.1) denklemi oluşturulabilir.

$$F(1,70) = 104,373; p < 0,01$$

(5.1)

Çizelge 5.27 Katsayı çizelgesi (adsl abone sayıları bağımsız değişken)

Coefficients ^a					
Model	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
	B	Std. Error	Beta		
1 (Constant)	3264402	76082,519		42,906	,000
ADSL_ABONE_SAYISI	2,552	,250	,774	10,216	,000

a. Dependent Variable: TÜKETİM_kWh

Çizelge 5.27'deki katsayı (Coefficients) çizelgesi ise, regresyon denklemi için kullanılan regresyon katsayılarını ve bunların anlamlılık düzeylerini vermektedir. Adsl abone sayıları ile elektrik tüketimi arasında pozitif (2,552) bir ilişki var. t- değerinden bu ilişkinin istatistiksel açıdan anlamlı olduğu görülmektedir ($t = 10,216$, $p = 0,000$). Adsl abone sayıları ile elektrik tüketimi arasında istatistiksel açıdan anlamlı pozitif doğrusal bir ilişki vardır. Bu ilişki için basit doğrusal regresyon formülü (5.2)'deki gibidir.

$$\text{Elektrik tüketimi} = 3264402 + 0,774 \cdot \text{adsl abone sayısı} \quad (5.2)$$

2. İkili regresyon analizi (sıcaklık değerleri bağımsız değişken)

Bu analiz için bağımlı değişken olarak elektrik tüketim değeri, bağımsız değişken ise sıcaklık değerleri seçilmiştir. Sıcaklık değerlerinin elektrik tüketimine olan etkisinin anlamlılık derecesi ölçülmüştür.

Çizelge 5.28 İkili regresyon analizi özeti (sıcaklık değerleri bağımsız değişken)

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	,377(a)	,142	,130	571301,53619

a Predictors: (Constant), SICAKLIK_°C

Model özeti çizelge 5.28'deki R Square sütunundaki değerlerden bağımsız değişken durumundaki “Sıcaklık Değerleri”, bağımlı değişken durumundaki “Elektrik Tüketimi” değişkenine ait varyansı % 14 oranında açıkladığı, diğer bir ifade ile elektrik tüketiminin % 14'ünün sıcaklık değerlerine bağlı olduğu anlaşılmaktadır.

Çizelge 5.29 ANOVA çizelgesi (sıcaklık değerleri bağımsız değişken)

ANOVA^b

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	4E+012	1	3,782E+012	11,586	,001 ^a
	Residual	2E+013	70	3,264E+011		
	Total	3E+013	71			

a. Predictors: (Constant), SICAKLIK_°C

b. Dependent Variable: TÜKETİM_kWh

ANOVA çizelgesinin (çizelge 5.29) anlamlılık sütunundaki değer ise söz konusu değişkenler arasındaki ilişkinin $p < 0,02$ düzeyinde istatistiksel olarak anlamlı olduğunu göstermektedir. Çizelge 5.29'daki ilişki formüle edilecek olursa (5.3) denklemi oluşturulabilir.

$$F(1,70) = 11,586; p < 0,02 \quad (5.3)$$

Çizelge 5.30 Katsayı çizelgesi (sıcaklık değerleri bağımsız değişken)

Coefficients ^a					
Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	Sig.
		B	Std. Error	Beta	
1	(Constant)	3388974	160020,9		,000
	SICAKLIK_°C	32154,517	9446,457	,377	,001

a. Dependent Variable: TÜKETİM_kWh

Katsayı (Coefficients) çizelgesi (çizelge 5.30) ise, regresyon denklemi için kullanılan regresyon katsayılarını ve bunların anlamlılık düzeylerini vermektedir. Sıcaklık değerleri ile elektrik tüketimi arasında pozitif (32154,517) bir ilişki var. t- değerinden bu ilişkinin istatistiksel açıdan anlamlı olduğunu görüyoruz ($t = 3,404$, $p = 0,001$).

Sıcaklık değerleri ile elektrik tüketimi arasında istatistiksel açıdan anlamlı pozitif doğrusal bir ilişki vardır. Bu ilişki için basit doğrusal regresyon formülü (5.4) teki gibidir.

$$\text{Elektrik tüketimi} = 3388974 + 0,377 * \text{sıcaklık değerleri} \quad (5.4)$$

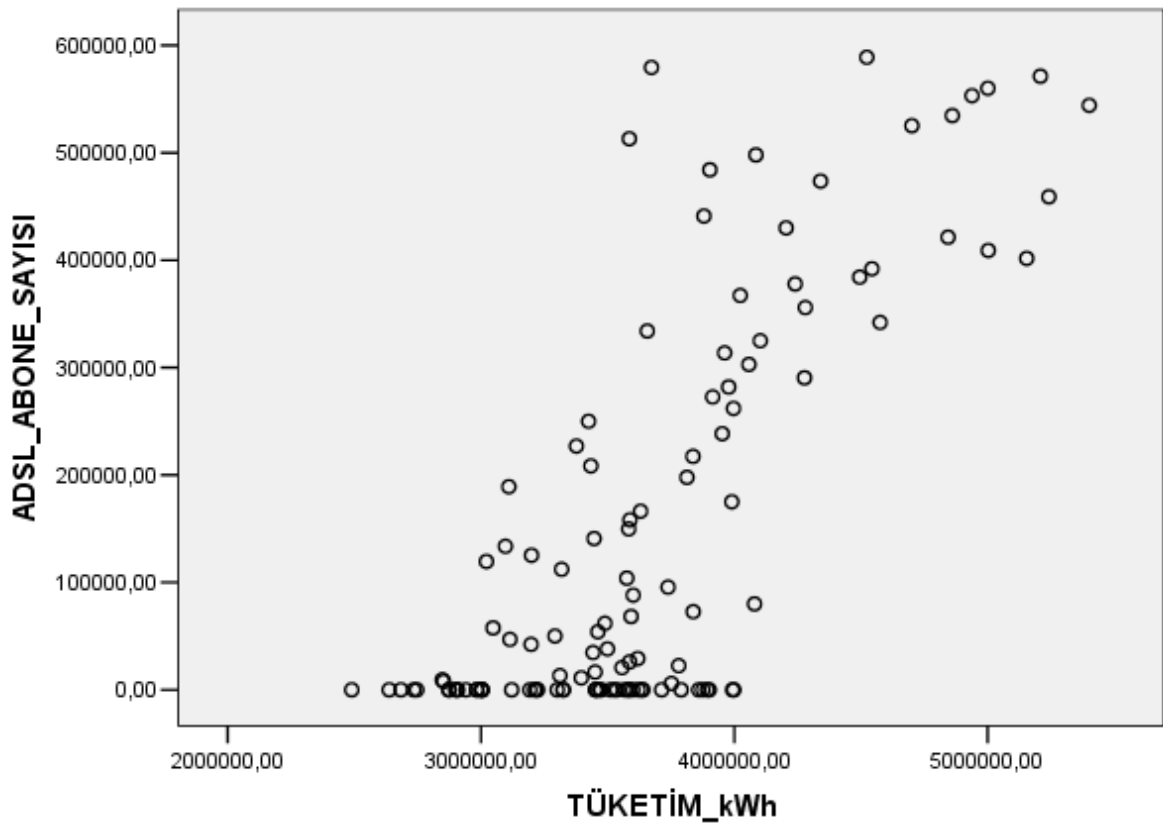
5.2.2 On Yıllık Verilerin Doğrusal Regresyon Analizi

Adsl abone sayıları 0 olarak alınmış olan ilk dört yıllık verilerinde eklenmesiyle on yıllık veriler kullanılarak doğrusal regresyon analiz çalışması yapılmıştır. Altı yıllık verilerin

doğrusal regresyon analizindeki gibi yine bağımsız değişkenler olan adsl abone sayıları ile sıcaklık değerleri ayrı ayrı saçılım grafiklerine bakılarak tüketim değerleri ile doğrusal olup olmadığına bakılmıştır. Buna göre ikili regresyon analizi yapılarak elektrik tüketim değerlerinin, adsl abone sayıları ile sıcaklık değerlerine ne kadar bağımlı olduğu incelenmiştir.

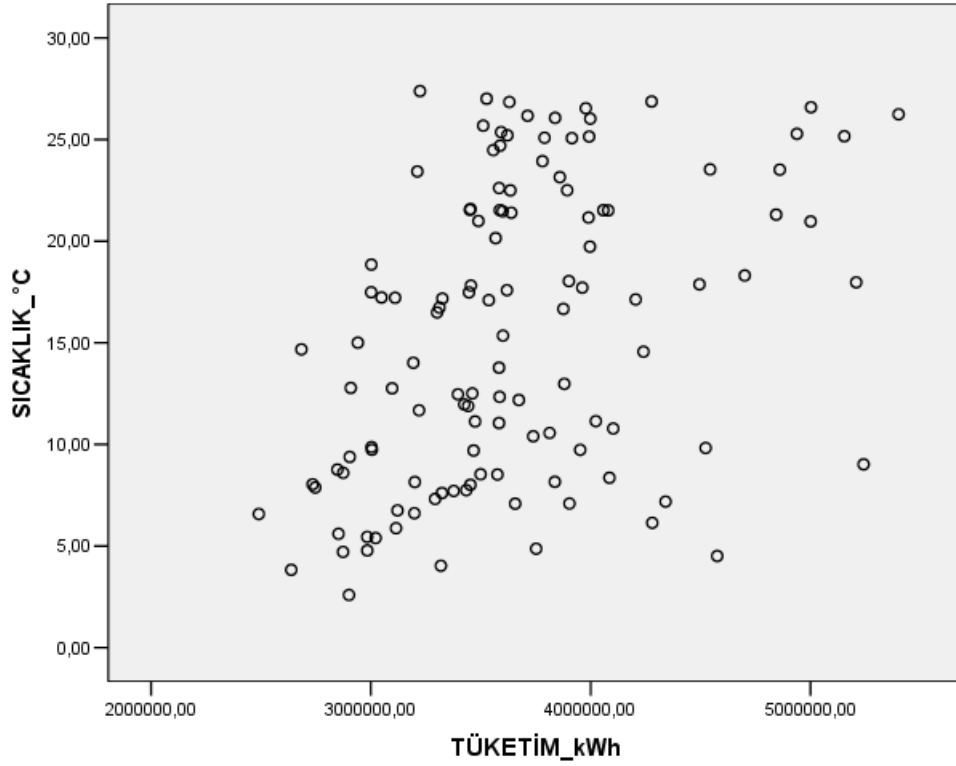
Yine altı yıllık verilerde olduğu gibi on yıllık veriler içinde 2 farklı regresyon analizi yapılmıştır. Elektrik tüketiminin adsl abone sayıları yada sıcaklığa olan bağımlılığı ayrı ayrı analiz yapılarak araştırılmıştır. Programdan elde edilen sonuçlar ile hesaplanan hata oranları çizelgelerde açıklanmıştır.

5.2.2.1 Saçılım Grafikleri



Şekil 5.36 SPSS adsl abone sayıları ile elektrik tüketim değerleri saçılım grafiği

Şekil 5.36'dan anlaşılabileceği gibi elektrik tüketim değerleri ile adsl abone sayıları arasında lineer bir yapı bulunmaktadır. Elektrik tüketim değerleri ile adsl abone sayıları arasındaki ilişki SPSS saçılım grafiğine göre lineerdir.



Şekil 5.37 SPSS sıcaklık ile elektrik tüketim değerleri saçılım grafiği

SPSS saçılım grafiğine göre (Şekil 5.37) sıcaklık değerleri ile elektrik tüketim değerleri arasında bir ilişki bulunmamaktadır. Tüketim değerlerinin sıcaklıktan bağımsız bir dağılımı vardır.

5.2.2.2 İkili Regresyon Analizi

1. İkili regresyon analizi (adsl abone sayıları bağımsız değişken)

Bu analiz için bağımlı değişken olarak elektrik tüketim değeri, bağımsız değişken ise adsl abone sayıları seçilmiştir. Adsl abone sayılarının elektrik tüketimine olan etkisinin anlamlılık derecesi ölçülmüştür.

Çizelge 5.31 İkili regresyon analizi özeti (adsl abone sayıları bağımsız değişken)

Model Summary				
Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	,765 ^a	,585	,582	391287,886

a. Predictors: (Constant), ADSL_ABONE_SAYISI

Çizelge 5.31'deki model özetinden R Square sütunundaki değerlerden bağımsız değişken durumundaki “Adsl Abone Sayıları” bağımlı değişken durumundaki “Elektrik Tüketimi” değişkenine ait varyansı % 58 oranında açıkladığı, diğer bir ifade ile elektrik tüketiminin % 58'inin adsl abone sayılarına bağlı olduğu anlaşılmaktadır.

Çizelge 5.32 ANOVA çizelgesi (adsl abone sayıları bağımsız değişken)

ANOVA^b

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	3E+013	1	2,548E+013	166,450	,000 ^a
	Residual	2E+013	118	1,531E+011		
	Total	4E+013	119			

a. Predictors: (Constant), ADSL_ABONE_SAYISI

b. Dependent Variable: TÜKETİM_kWh

ANOVA çizelgesinin (Çizelge 5.32) anlamlılık sütunundaki değer ise söz konusu değişkenler arasındaki ilişkinin $p < 0,01$ düzeyinde istatistiksel olarak anlamlı olduğunu göstermektedir. Çizelge 5.32'deki ilişki formüle edilecek olursa (5.5) denklemi elde edilebilir.

$$F(1,118) = 166,450; p < 0,01 \quad (5.5)$$

Çizelge 5.33 Katsayı çizelgesi (adsl abone sayıları bağımsız değişken)

Coefficients ^a					
Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	Sig.
		B	Std. Error	Beta	
1	(Constant)	3291556	45369,489		,000
	ADSL_ABONE_SAYISI	2,481	,192	,765	,000

a. Dependent Variable: TÜKETİM_kWh

Çizelge 5.33'teki katsayı (Coefficients) çizelgesi ise, regresyon denklemi için kullanılan regresyon katsayılarını ve bunların anlamlılık düzeylerini vermektedir. Adsl abone sayıları ile elektrik tüketimi arasında pozitif (2,481) bir ilişki var. t- değerinden bu ilişkinin istatistiksel açıdan anlamlı olduğunu görüyoruz ($t = 12,902$, $p = 0,000$). Adsl abone sayıları ile elektrik tüketimi arasında istatistiksel açıdan anlamlı pozitif doğrusal bir ilişki vardır. Bu ilişki için basit doğrusal regresyon formülü (5.6)'daki gibidir.

$$\text{Elektrik tüketimi} = 3291556 + 0,765 \cdot \text{adsl abone sayısı} \quad (5.6)$$

2. İkili regresyon analizi (sıcaklık değerleri bağımsız değişken)

Bu analiz için bağımlı değişken olarak elektrik tüketim değeri, bağımsız değişken ise sıcaklık değerleri seçilmiştir. Sıcaklık değerlerinin elektrik tüketimine olan etkisinin anlamlılık derecesi ölçülmüştür.

Çizelge 5.34 İkili regresyon analizi özeti (sıcaklık değerleri bağımsız değişken)

Model Summary				
Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	,407 ^a	,166	,158	554949,859

a. Predictors: (Constant), SICAKLIK_°C

Çizelge 5.34'deki model özetinden R Square sütunundaki değerlerden bağımsız değişken durumundaki "Sıcaklık Değerleri" bağımlı değişken durumundaki "Elektrik Tüketimi" değişkenine ait varyansı % 16 oranında açıkladığı, diğer bir ifade ile elektrik tüketiminin % 16'sının sıcaklık değerlerine bağlı olduğu anlaşılmaktadır.

Çizelge 5.35 ANOVA çizelgesi (sıcaklık değerleri bağımsız değişken)

ANOVA ^b						
Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	7E+012	1	7,211E+012	23,414	,000 ^a
	Residual	4E+013	118	3,080E+011		
	Total	4E+013	119			

a. Predictors: (Constant), SICAKLIK_°C

b. Dependent Variable: TÜKETÝM_kWh

Çizelge 5.35'teki ANOVA çizelgesinin anlamlılık sütunundaki değer ise söz konusu değişkenler arasındaki ilişkinin $p < 0,01$ düzeyinde istatistiksel olarak anlamlı olduğunu göstermektedir. Çizelge 5.35'teki ilişki formüle edilecek olursa (5.7) denklemi oluşturulabilir.

$$F(1,118) = 23,414; p < 0,01$$

(5.7)

Çizelge 5.36 Katsayı çizelgesi (sıcaklık değerleri bağımsız değişken)

Coefficients ^a					
Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t
		B	Std. Error	Beta	
1	(Constant)	3127217	119787,5		26,106
	SICAKLIK_°C	34113,615	7050,051	,407	4,839

a. Dependent Variable: TÜKETİM_kWh

Sıcaklık değerleri ile elektrik tüketimi arasında pozitif (34113,615) bir ilişki var. t- değerinden bu ilişkinin istatistiksel açıdan anlamlı olduğunu görülmektedir ($t = 4,839$, $p = 0,000$). Sıcaklık değerleri ile elektrik tüketimi arasında istatistiksel açıdan anlamlı pozitif doğrusal bir ilişki vardır (Çizelge 5.36). Bu ilişki için basit doğrusal regresyon formülü (5.8) de verilmiştir.

$$\text{Elektrik tüketimi} = 3127217 + 0,407 * \text{sıcaklık değerleri} \quad (5.8)$$

5.2.3 İkili Regresyon Analizi (Adsl Abone Sayıları ve Sıcaklık Değerleri Bağımsız Değişkenler)

Bu analiz için bağımlı değişken olarak elektrik tüketim değeri, bağımsız değişken ise adsl abone sayıları ve sıcaklık değerleri birlikte seçilmiştir. Her iki değerin birlikte elektrik tüketimine olan etkisinin anlamlılık derecesi ölçülmüştür.

Çizelge 5.37 İkili regresyon analizi özeti
(adsl abone sayıları ve sıcaklık değerleri bağımsız değişken)

Model Summary				
Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	,846 ^a	,716	,712	324908,357

a. Predictors: (Constant), ADSL_ABONE_SAYISI, SICAKLIK_°C

Çizelge 5.37’deki model özetinden R Square sütunundaki değerlerden her iki bağımsız parametrenin bağımlı değişken durumundaki “Elektrik Tüketimi” değişkenine ait varyansı % 71 oranında açıkladığı, diğer bir ifade ile elektrik tüketiminin % 71’inin adsl abone sayıları ve sıcaklık değerlerine bağlı olduğu anlaşılmaktadır.

Çizelge 5.38 ANOVA çizelgesi (adsl abone sayıları bağımsız değişken)

ANOVA^b

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	3E+013	2	1,560E+013	147,775	,000 ^a
	Residual	1E+013	117	1,056E+011		
	Total	4E+013	119			

a. Predictors: (Constant), ADSL_ABONE_SAYISI, SICAKLIK_°C

b. Dependent Variable: TÜKETİM_kWh

ANOVA çizelgesinin (çizelge 5.38) anlamlılık sütunundaki değer ise söz konusu değişkenler arasındaki ilişkinin $p < 0,01$ düzeyinde istatistiksel olarak anlamlı olduğunu göstermektedir. Çizelge 5.38'deki ilişki formüle edilecek olursa (5.9) denklemi oluşturulabilir.

$$F(2,117) = 147,775; p < 0,01 \quad (5.9)$$

Çizelge 5.39 Katsayı çizelgesi (adsl abone sayıları bağımsız değişken)

Coefficients ^a					
Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	Sig.
		B	Std. Error	Beta	
1	(Constant)	2833252	72793,021		,000
	SICAKLIK_°C	30424,463	4134,866	,363	,000
	ADSL_ABONE_SAYISI	2,411	,160	,743	,000

a. Dependent Variable: TÜKETİM_kWh

2 bağımsız değişken ile elektrik tüketimi arasında pozitif (2,411) bir ilişki var. t- değerinden bu ilişkinin istatistiksel açıdan anlamlı olduğunu görülmektedir ($p = 0,000$). 2 bağımsız değişken ile elektrik tüketimi arasında istatistiksel açıdan anlamlı pozitif doğrusal bir ilişki vardır (Çizelge 5.39).

Bu ilişki için bulunan doğrusal regresyon formülü (5.10)'da gösterilmiştir.

$$\text{Elektrik tüketimi} = 2833252 + 0,743 \cdot \text{adsl abone sayısı}^2 + 0,363 \cdot \text{sıcaklık} \quad (5.10)$$

Bağımsız değişkenler olan sıcaklık ve adsl abone sayılarının tüketime ne kadar bağımlı olduğunun araştırıldığı ve ortalama kare hatalarının bulunduğu regresyon analizlerine ait bulgular çizelge 5.40'da verilmiştir.

Çizelge 5.40 Regresyon analizi karşılaştırma çizelgesi

Bağımsız değişken	MSE (6 yıllık veri)	Bağımlılık oranı (6 yıllık veri)	MSE (10 yıllık veri)	Bağımlılık oranı (10 yıllık veri)
Adsl abone sayıları	1,527E + 011	59 %	1,531E + 011	58 %
Sıcaklık	3,264E + 011	14 %	3,080E + 011	16 %
Adsl abone sayıları+Sıcaklık			1,056E + 011	71%

Regresyon analiz çizelgesinden de anlaşılacağı üzere (Çizelge 5.40), adsl abone sayıları bağımsız değişken seçildiğinde üretilen hata (MSE) 1,531E+011 olmakla birlikte, bağımsız değişken olarak sıcaklık değeri seçildiğinde bu hata oranı 3,080E + 011 değerine yükselmektedir. Analiz sonucunda her iki parametreyi bir değişken kabul ettiğimizde aynı hata oranının 1,056E + 011 değerine düştüğü, aynı zamanda en yüksek bağımlılık oranının elde edildiği görülmüştür.

Yine hem 6 yıllık hem de 10 yıllık veriler ile yapılan ve çizelge 5.40'a da yansıyan regresyon analiz sonuçlarına göre, uygulanan her iki zaman aralığında da adsl abone sayılarına bağımlılığın, sıcaklık parametresine bağımlılıktan daha yüksek olduğu görülmektedir. Bu sonucun ortaya çıkmasındaki nedenin adsl abone sayılarının sürekli artış gösteren değişimi ile tüketiminde artış göstermesidir. Sıcaklık değerlerinin yıllık bazda kış aylarında düşük yaz aylarında yüksek oluşu ve aylara göre bakıldığında ise birbirine yakın olması, bu değerlere bağımlılığın daha düşük çıkmasına sebep olduğu kanaatine varılmıştır.

5.3 Uygulama ile Elde Edilen Elektrik Tüketim Tahmin Değerleri

Türk Telekomünikasyon A.Ş. İstanbul II.Bölge Müdürlüğü Enerji ve Soğutma Sistemleri Müdürlüğü'nün kayıtlarından alınan ve bölge müdürlüğünün İstanbul Anadolu Yakası'nda bulunan sorumluluk sahasındaki tüm santral merkezleri ile Telekom müdürlüklerinin tükettiği 2000-2009 yıllarına ait aylık toplam elektrik tüketim değerleri çizelge 5.41'de tablo halinde verilmiştir. Ancak çizelgede gösterilen aylık veriler, sabit gün sayısı olmayıp 25 ile 35 gün arasında değişen aylık fatura bilgilerinden elde edilmiş verilerdir. Yani, aylar 25 ile 35 arasında değişen gün sayılarından ibarettir. Dolayısıyla bu dengesizlik bazı aylardaki tüketimin ya çok ya da az göstermesindeki önemli etkenlerden biridir.

Çizelge 5.41'den de anlaşılacağı üzere yaz aylarında elektrik tüketim değerleri artmıştır. Bunun sebebi de sıcaklık artışından kaynaklanan klimaların daha fazla ve daha yüksek kapasitede çalışmasıdır. Yıllık toplam tüketim değerlerinden de anlaşılacağı üzere 2004 yılından itibaren elektrik tüketimindeki artışta adsl abone sayılarının etkili olduğu varsayılabilir. Adsl hizmetinin her kesime ulaştırılabilmesinin yanı sıra, teknolojinin gelişerek telekomünikasyon alanında yeni hizmetlerin sunulması için konulan cihazların getirdiği elektriksel yük artışı, bu hizmetlerin bakır altyapısı nedeniyle kaliteli hizmetin kısa mesafelerde verilmesinden dolayı santral sayılarının artışı 2007 yılındaki ani yükselişin sebepleri arasında gösterilebilir. Ancak Türk Telekomünikasyon A.Ş.'nde enerji tasarrufu alanında yapılan çalışmalar ve enerji sistemlerinin daha az enerji harcayan sistemler ile yenilenmesi neticesinde enerji tüketiminin daha hızlı yükselişinin engellendiği sonucu çıkarılabilmektedir.

Çizelge 5.41 2000-2009 yılları arasındaki elektrik tüketim değerleri

	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
Ocak	2637643	2873932	2873363	3052673	3751812	3197786	3318367	3836678	4575414	4340437
Şubat	2489872	2734633	2903738	2900345	2852580	3114389	3021517	3376718	4280128	3903254
Mart	2746483	2908389	3002928	2983034	2847558	3291917	3199541	3952127	4023181	4085062
Nisan	2940484	3192830	3219202	3467282	3395849	3461463	3096549	3424553	4240088	3585656
Mayıs	3000921	3325179	3454958	3001920	3311563	3047995	3446288	3996439	4494670	4700600
Haziran	3453212	3634534	3859544	3211229	3450293	3489017	3583084	3914331	4543149	4860162
Temmuz	3511009	3526351	3223345	3789902	3556609	3592287	3587988	3977675	5153703	5400721
Ağustos	3621119	3712836	3992909	3997834	3780573	3837907	3629906	4276882	5002044	4937943
Eylül	3599202	3892882	3638394	3567393	3586404	4079704	3989946	4057413	4843524	5000668
Ekim	3300929	3900892	3536373	3875485	3618948	3600725	3109988	3961592	4204444	5207734
Kasım	2683893	3473821	3582922	3582922	3442311	3738419	3813142	4102529	3879935	3672958
Aralık	3004536	2983473	3121123	3323221	3499163	3575538	3433676	3656290	5241340	4522740
Toplam	36989303	40159752	40408799	40753240	41093663	42027147	41229992	46533227	54481620	54217935

Elektrik tüketim tahmininin yapılması için gelecek yıllara ait adsl abone sayılarına ve sıcaklık değerlerine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu yüzden, tekrar MLP ağı oluşturularak adsl abone sayılarının gelecek on yıla ait tahmini değerleri bulunmuştur. Bu tahmin çalışmasında son 5 yıllık adsl abone sayıları ağı eğitilmesinde kullanılmıştır. Sıcaklık değerlerinde ise mevcut on yıllık verilerin gelecek on yıl içinde yaklaşık aynı olacağı kanısıyla aynen kullanılmıştır. Tahmini yapılan adsl abone sayıları ve sıcaklık verileri kullanılarak elektrik tüketim tahmini

yapılmış ve çizelge 5.42’de gösterilmiştir. Çizelge 5.42’den de görüleceği üzere, son on yıllık verilerde de olduğu gibi tahmin değerlerinin yaz aylarında arttığı kış aylarında azaldığı, ayrıca yıllık bazda bakıldığında elektrik tüketiminin her geçen yıl artacağı görülmektedir. Bu bağlamda yapılan tahmin uygulamasından elde edilen verilerin ileriye yönelik çalışmalarda da kullanılabileceği öngörülmüştür.

Çizelge 5.42 2010-2019 yılları arasındaki elektrik tüketim tahmin değerleri

	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Ocak	4288620	4538009	4461960	4744535	4735730	4790302	4979870	5006265	5291381	5513624
Şubat	4345390	4509024	4680932	4494525	4773682	4760866	5000489	4952751	5339802	5521807
Mart	4403344	4731768	4704960	4624746	4924901	4878038	5079704	5107481	5480399	5560911
Nisan	4740445	4797431	4797497	4830422	5103044	5182544	5246311	5287838	5618690	5683526
Mayıs	4869300	4953594	5100118	5272573	5318777	5409286	5429864	5762876	5756954	5909375
Haziran	5074628	5224428	5370440	5509040	5560049	5575080	5641606	5929407	5977691	6112094
Temmuz	5288318	5460362	5562435	5562435	5562435	5733133	5761856	5970075	6048877	6166560
Ağustos	5286902	5440419	5514534	5562435	5562435	5733989	5875622	5973050	6114469	6165421
Eylül	5126024	5287898	5353457	5434360	5562435	5615234	5713877	5800165	5937378	6068443
Ekim	4904557	5086506	5169442	5284086	5454848	5368773	5590621	5682867	5800390	5970395
Kasım	4823086	4768426	5018399	5028287	5090538	5119199	5362835	5281968	5662410	5771487
Aralık	4596992	4467990	4691229	4868009	4912708	5006350	5249557	4954169	5542494	5718114
Toplam	57747606	59265855	60425403	61215453	62561582	63172794	64932212	65708912	68570935	70161757

6. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Tüm dünyada olduğu gibi ülkemizin de kalkınması ve gelişmişlik düzeyini artırması açısından stratejik bir yere sahip olan ve sürekli gelişen teknolojinin de etkisi ile yaşam kalitesi seviyesinin belirlenmesinde aktif rol oynayan telekomünikasyon ve enerji sektörlerinin etkin ve verimli bir altyapıya sahip olmaları gerekmektedir. Bu açıdan bakıldığında, sektörsel bazda pazarında güçlü bir kimliğe sahip olabilmenin temelini kuracak olan geleceğe yönelik tahmin çalışmalarının yapılması, atılması gereken adımların ihtiyaçlarını ve alınması gereken muhtemel önlemleri belirlemede ve verilecek stratejik kararlara ışık tutması açısından önem arz etmektedir. Ayrıca bu tahmin çalışmalarının bir başka önemi de tahmin sonuçlarının, beklenen iyileştirmenin gerçekleştirilmesi için yol gösterici adımlara sahip olmasıdır.

Enerjinin üretilmesi, dönüştürülmesi, iletilmesi, depolanması, işlenmesi ve kullanılması günümüzde dünyanın en önde gelen teknik, sosyal, ekonomik, siyasal ve savunma konuları arasındadır. Teknoloji çağını yaşadığımız bu zaman diliminde enerji pazarının oldukça büyük bir ekonomiye sahip olması, enerji alanında yapılan araştırma geliştirme harcamalarının da oldukça yüksek mertebelerde olmasına neden olmuştur.

Telekomünikasyon sektöründe, bilginin etkin bir şekilde taşınması, ekonomik kalkınmanın en önemli itici gücü olması, bilgi toplumunun altyapısını oluşturmaya istinaden son yıllarda önemli gelişmeler kaydedilmiştir. GSMH (Gayri Safi Milli Hasıla), eğitim, kalifiye insan gücü, dış ticaret hacmi, teşvikler, ulusal stratejiler gibi birçok parametrenin etkili olduğu telekomünikasyon sektöründe, ülkeler ve kıtalar arasında telekomünikasyon altyapısı ve telekomünikasyon hizmetlerinin kullanımında önemli farklılıklar görülmektedir. Katma değerli hizmetlerin üst seviyelerde oluşu ve gelecek yıllarda da sürekli olarak kendini geliştiren ve yenileyen teknolojinin de etkisiyle ileride parlak bir sektör olacağı öngörülen telekomünikasyon sektörü, yüksek hızlı sayısal şebekelerin küreselleşmesine bağlı olarak, ses haberleşmesinin hakim olduğu bir çevreden, tüm ekonomik faaliyetlerin kapsandığı ve bilgi akışının hakim olduğu bir çevreye doğru sürüklenmektedir.

Enerji tahminlerinin amacı, gelecekte ne olacağının açık bir görüntüsünü vermekten çok, ihtiyaç planlarına bağlı olarak, "mümkünler alanı"nı ortaya çıkarmaktır. Tahminlerin sayısının fazlalığı, karar alıcının işini basitleştirmemekte, aksine tartışmaları çoğaltmakta ve zorlaştırmaktadır. Tahmin yapıcının en önde gelen özelliği cesaretli olmasıdır

Bu tez çalışmasında yapılan elektrik enerjisi tüketim tahmini, telekomünikasyon sektöründe faaliyet gösteren ve bu sektörün en önemli kuruluşlarından biri olan Türk Telekomünikasyon A.Ş.'nin enerji verimliliği politikasına yön verecektir. Teknolojinin sürekli olarak kendini yenilemesi sonucu telekomünikasyon sektöründe kullanılan ve geliştirilmiş cihazların daha düşük güçte çalışması yani daha düşük tüketim anlamına gelmesi tüketim tahmini için bir dezavantaj olsa da geniş bakır altyapısı nedeniyle hızlı ses ve data iletiminin düşük mesafelerde gerçekleşiyor olmasından ve nüfusun artmasından dolayı santral merkez sayıları da her geçen gün artmakta olup tüketimi artırmaktadır.

Çalışmada, ses ve data iletişiminin en büyük altyapısına sahip Türk Telekom A.Ş.'nin Türkiye'deki yıllık toplam enerji tüketiminin yaklaşık %8'lik bir kısmını oluşturan İstanbul Anadolu Yakası'na ait 2000-2009 yılları arasındaki 120 aylık enerji tüketim verileri kullanılmıştır. Ayrıca birçok parametrenin elektrik tüketimine etkisi olduğu göz önünde bulundurulduğunda, bu parametreler içerisinde tüketimin %55'lik bir kısmını oluşturan klima cihazlarının çalışma prensiplerinin temelini oluşturan sıcaklık değerleri ile değerinin sürekli artışı elektrik tüketiminde artışına paralellik göstermesi açısından adsl abone sayıları çalışmanın giriş parametrelerini oluşturmuştur. Sıcaklık verileri, Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü'nden İstanbul iline ait 2000-2009 yılları arasındaki 120 aylık ortalama °C cinsinden alınarak kullanılmıştır. Bu verilere dayanarak birçok yapay sinir ağları modelleri oluşturulup her modelin eğitim ve test aşamasında ürettiği hata oranları karşılaştırılması neticesinde en iyi sonucun alındığı YSA modelinin çok katmanlı perceptron-MLP modelinin olduğu kanaatine varılmıştır. Bununla birlikte, MLP modeli ile oluşturulan yapay sinir ağı kullanılarak enerji tüketim tahminlerinin ileriki çalışmalarda da yapılabileceği görülmüştür.

Regresyon analizi sonucu elde edilen en düşük hata oranının, YSA modellerinin ürettiği hata oranlarının oldukça üzerinde olduğu sonuçları elde edilmiştir. Dolayısıyla bu sonuca ek olarak yine yapay sinir ağının MLP modelinin elektrik tüketim tahmini için kullanılabilecek en iyi yöntem olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca bu çalışmada uygulanan yapay sinir ağları modeli farklı tahmin uygulamalarında ve farklı sinir ağları problemlerinde de kullanılabilir.

Geçmişe dönük gerçek veriler incelendiğinde, tahmin sonucu elde edilen verilerin benzer bir tüketim dengesine sahip olduğu görülmektedir. Sıcaklığın artış gösterdiği yaz aylarında soğutma sistemlerinin daha fazla çalışmasına istinaden yaz aylarındaki elektrik tüketim değerlerinin kış aylarına göre yüksek oluşu tahmin sonucu elde edilen verilerde de

gözlemlenmiştir. Ayrıca, tahmini değerlerin yıllık olarak toplanması neticesinde abone sayılarındaki artışa istinaden de yıllık elektrik tüketiminin arttığı kanısına varılmıştır.

Çalışmada elde edilen sonuçlar göstermektedir ki, Türk Telekomünikasyon A.Ş.'nin sahip olduğu enerji sistemlerinde gerçekleştirilen ve teknolojik çalışma prensiplerine sahip yenilenmiş sistemlerin gelecekte de devam etmesi gerekliliği ortaya çıkmaktadır. Çünkü bu yeni sistemlerde, eski kurulu sistemlerle kıyaslandığında yaklaşık %10'luk bir enerji tasarrufu sağladığı gözlemlenmiştir. Her ne kadar nüfus artışı, internet kullanım sahasının genişlemesi ve teknolojik ürünlerin cazip hale gelmesi sebeplerinden ötürü hem abone sayılarının gün geçtikçe artması hem de abonelerin diğer hizmetlerden de (IPTV, videofon, VDSL2, vb.) yararlanması ve telekomünikasyon sektöründe yaşanan yeniliklerin getirdiği fazladan yük enerji tüketiminin artışına neden olacak olsa da bilhassa ekonomik ömrünü tamamlayan sistemlerin daha az enerji harcayan sistemler ile değiştirilmesi tüketimdeki yükselişin önünü büyük oranda kesecektir. Bu yüzden enerji alanındaki yenileme çalışmalarına daha fazla önem verilmelidir. Ayrıca, kurumun çalışanlarına yönelik enerji tasarrufu, enerji verimliliği ve enerjinin etkin kullanımı konularında bilinçlendirme çalışmalarının yapılması, enerji tüketiminin düşürülmesinde etkin olacağı düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

- Akay, D. ve Atak, M., (2006), "Grey prediction with rolling mechanism for electricity demand forecasting for Turkey", *Energy*, doi:10.1016/j.energy. 2006.11.014
- Azadeh, A., Ghaderi, S.F. ve Sobrabkhani, S., (2008), "Annual Electricity Consumption Forecasting by Neural Network in High Energy Consuming Industrial Sectors", *Energy Conversion and Management*, 49: 2272-2278
- DEKTMK, (2009), Türkiye Enerji Raporu 2009, Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi, 13: Ankara
- DPT, (2006), 9. Kalkınma Planı Enerji Özel İhtisas Komisyonu Raporu, Devlet Planlama Teşkilatı Müsteşarlığı, Ankara
- DPT, (2007), 9. Kalkınma Planı Bilgi Ve İletişim Teknolojileri Özel İhtisas Komisyonu Telekomünikasyon Alt Komisyonu Raporu, Devlet Planlama Teşkilatı Müsteşarlığı, Ankara
- Ermis, K., Midilli, A., Dincer, I. ve Rosen, M.A., (2007), "Artificial Neural Network Analysis of World Green Energy Use", *Energy Policy*, 35: 1731-1743
- Erol, M., (2003), "Doğal Tekellerin Düzenlenmesi Ve Telekomünikasyon Sektöründe Düzenleyici Kurum", DPT Uzmanlık Tezleri, İktisadi Sektörler ve Koordinasyon Genel Müdürlüğü Hukuki Tedbirler ve Kurumsal Düzenlemeler Dairesi Başkanlığı, Ankara, 53-60
- EÜAŞ, (2009), Elektrik Üretim Sektör Raporu, Elektrik Üretim Anonim Şirketi
- İçöz, Ö., (2003), "Telekomünikasyon Sektöründe Regülasyon ve Rekabet", Rekabet Kurumu Uzmanlık Tezleri Serisi No:16, Ankara, 21-23
- Kavaklıoğlu, K., Ceylan, H., Öztürk, H.K. ve Canyurt, O.E., (2009), "Modeling and Prediction of Turkey's Electricity Consumption Using Artificial Neural Networks", *Energy Conversion and Management*, 50: 2719-2727
- Orhan, M., (2007), "Enerji Talebinin Kısa Ve Uzun Dönem Dinamik Analizi Türkiye Uygulaması", Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü
- Öztemel E., (2003), Yapay Sinir Ağları, Papatya Yayıncılık, İstanbul
- Öztürk, H.K., Ceylan, H., Canyurt, O.E. ve Hepbaslı, A., (2005), "Electricity Estimation Using Genetic Algorithm Approach: A Case Study Of Turkey", *Energy*, 30: 1003-1012
- Pao, H., (2006), "Comparing Linear and Nonlinear Forecasts for Taiwan's Electricity Consumption", *Energy*, 31: 2129-2141
- Pao, Y.H., (1989), *Adaptive Pattern Recognition and Neural Networks*, Addison-Wesley Publishing Co., Reading, Mass
- Rumelhart, D.E. ve McClelland, J.L., (1986), PDP Research Group
- Sözen, A., Arcaklıoğlu, E., ve Ozkaymak, M., (2005), "Turkey's Net Energy Consumption", *Applied Energy*, 81: 209-221
- TK, (2008), Türkiye Telekomünikasyon Sektöründeki Gelişmeler ve Eğilimler, Telekomünikasyon Kurumu Sektörel Araştırma ve Stratejiler Dairesi Başkanlığı, Ankara, 10
- UEA, (2009), *World Energy Outlook 2009*, Uluslararası Enerji Ajansı

Yumurtacı, Z. ve Asmaz, E., (2004), “Electric Energy Demand of Turkey for the Year 2050”, Energy Sources, 26: 1157-1164

Yüksek, O., Kömürcü, M.I., Yüksel, I. ve Kaygusuz K., (2006), “The Role of Hydropower in Meeting Turkey’s Electric Energy Demand”, Energy Policy, 34: 3093-3103

İnternet Kaynakları

[1] <http://tr.wikipedia.org/wiki/Enerji>

[2] http://www.enerji.gov.tr/yayinlar_raporlar/2010_Genel_Kurul_Konusmasi

[3] http://www.enerji.gov.tr/yayinlar_raporlar/ETKB_2010_2014_Stratejik_Plani.pdf

[4] <http://www.bp.com/productlanding.do?categoryId=6929&contentId=7044622>

[5] <http://tr.wikipedia.org/wiki/Telekom%C3%BCnikasyon>

[6] http://www.turktelekom.com.tr/telekom/tr/pdf/mali_operasyonel/2010/2010-YY-Finansal-Tablolar.pdf

[7] TÜBİTAK, (2003), Vizyon 2023 Teknoloji Öngörü Projesi Enerji ve Doğal Kaynaklar Paneli Raporu, Türkiye Bilimsel Ve Teknik Araştırma Kurumu, Ankara
http://www.tubitak.gov.tr/tubitak_content_files/vizyon2023/edk/enerji_son_surum.pdf

[8] <http://www.turktelekom.com.tr/tt/portal/YatirimciIliskileri/Hakkimizda/VizyonMision/>

[9] <http://www.turktelekom.com.tr/tt/portal/TTHakkinda/KurumsalTanitim/OrtaklikYapisi/>

[10] <http://www.ahmetkakici.com/yazilim/yapay-sinir-aglarina-giris/>

[11] <http://www.omereksi.com/?p=30>

[12] <http://e-bergi.com/2008/Subat/Yapay-Sinir-Aglari>

[13] http://tr.wikipedia.org/wiki/Yapay_sinir_a%C4%9Flar%C4%B1

[14] <http://www.ahmetkakici.com/yapay-sinir-aglari/yapay-sinir-aglarinin-katmanlari/>

[15] <http://elohab.freetzi.com/joomla/index.php/makaleler/28-the-mathworks-matlab/77-yapay-snr-alari-ve-matlab-ile-kullanimi.html>

[16] <http://www.ahmetkakici.com/yapay-sinir-aglari/yapay-sinir-aglarinin-siniflandirilmesi/>

[17] <http://yapay-sinir-aglari.uzerine.com/>

[18] http://www.istatistikanaliz.com/regresyon_analizi.asp

[19] www.baskent.edu.tr/~tderya/END%20306/Regresyon%20Analizi.ppt

[20] http://tr.wikipedia.org/wiki/Do%C4%9Frusal_olmayan_regresyon

[21] <http://www.fikretgultekin.com/yukseklisans/Regresyon%20Analizi.pdf>

ÖZGEÇMİŞ

Doğum Tarihi 01.04.1981

Doğum Yeri Perşembe-Ordu

Lise 1996-1999 Ordu Anadolu Lisesi

Lisans 1999-2004 Yıldız Teknik Üniversitesi

Elektrik-Elektronik Fak.

Elektrik Mühendisliği Bölümü

Çalıştığı kurumlar

2005-2007 ABKontrol Müh.Bil.San.ve Tic.Ltd.Şti.

2007-Devam ediyor Türk Telekomünikasyon A.Ş.