

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**ELEKTRİK PİYASA TAKAS FİYATI AĞIRLIKLİ ORTALAMASININ ANFİS
VE YAPAY SİNİR AĞLARI İLE TAHMİNİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Elektrik-Elektronik Müh. Fatih ŞENOCAK

**HAZİRAN 2018
TRABZON**



KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünce

Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : / /

Tezin Savunma Tarihi : / /

Tez Danışmanı :

Trabzon

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

başlıklı bu çalışma, Enstitü Yönetim Kurulunun / / gün ve sayılı
kararıyla oluşturulan jüri tarafından yapılan sınavda
YÜKSEK LİSANS TEZİ
olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Başkan :

Üye :

Üye :

Prof. Dr. Sadettin KORKMAZ

Enstitü Müdürü

ÖNSÖZ

Günümüzde elektrik alış ve satışının yapıldığı birçok elektrik piyasası bulunmaktadır. Bu piyasalardan biri olan gün öncesi piyasasında bunlardan birisidir. Gün öncesi piyasasını diğerlerinden ayıran özelliklerinden biriside burada oluşan elektrik fiyatı elektrik piyasası için referans kabul edilmesidir. Bu referans fiyat ise elektrik piyasa takas fiyatı (PTF) olarak adlandırılmaktadır. Gün öncesi piyasasında birçok piyasa katılımcı bulunmaktadır. Bu piyasa katılımcıları için PTF gelecekte ne olacağı sorusu oldukça önemlidir. İyi PTF tahmini, piyasa katılımcıları için üretim ve strateji geliştirme ile ilgili ileriye dönük planlama yapmalarına yardımcı olur. Planlama yapılırken PTF neye bağlı olarak değiştiği önemlidir ve bunu çözmek bir o kadar karmaşıktır. Ülkemizdeki elektrik santrallerinde birçok birincil enerji kaynakları kullanılmaktadır ve üretim miktarlarında değişkenlik göstermektedir. Birincil enerji kaynaklarından elde edilen enerji üretimindeki değişkenlikle PTF'ye ait değişkenlik arasında bağ vardır ve birincil enerji kaynaklarının üretim miktarına paralel ters yada doğru orantılı olarak PTF'nin değiştiğini gözlemleyebiliriz. Birincil enerji kaynaklarına ait üretim miktarı ile PTF arasındaki ilişki yeni çalışmalara yardımcı olacağını düşünüyorum.

Çalışmalarım süresince günün 24 saatinde değerli yardımlarını, düzeltmelerini ve görüşlerini aldığım danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Hakan KAHVECİ'ye, aileme ve özellikle de sevgili eşime zaman ayıramadığım oğluma ve kızıma teşekkür etmeyi bir borç bilirim.

Fatih ŞENOCAK

Trabzon 2018

TEZ ETİK BEYANNAMESİ

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Elektrik Piyasa Takas Fiyatı Ağırlıklı Ortalamasının ANFIS ve Yapay Sinir Ağları ile Tahmini” başlıklı bu çalışmayı baştan sona kadar danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Hakan KAHVECİ'nin sorumluluğunda tamamladığımı, verileri/örnekleri kendim topladığımı, deneyleri/analizleri ilgili laboratuvarlarda yaptığımı/yaptırdığımı, başka kaynaklardan aldığım bilgileri metinde ve kaynakçada eksiksiz olarak gösterdiğimi, çalışma sürecinde bilimsel araştırma ve etik kurallara uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim. 18/06/2018

Fatih ŞENOCAK

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ	III
TEZ ETİK BEYANNAMESİ.....	IV
İÇİNDEKİLER.....	V
ÖZET	VIII
SUMMARY	IX
ŞEKİLLER DİZİNİ	X
TABLolar DİZİNİ.....	XII
SEMBOLLER DİZİNİ.....	XIII
1. ELEKTRİK ENERJİSİ PİYASASI.....	1
1.1. Elektrik Enerjisi Sistemleri.....	1
1.2. Elektrik Piyasaları ve Fiyatlandırma	1
1.3. Düzenlenmiş Elektrik Piyasaları ve Fiyatlandırma.....	2
1.4. Düzenlenmemiş Elektrik Piyasaları ve Fiyatlandırma	3
1.5. Elektrik Piyasası Takas Fiyatı.....	4
1.6. Elektrik Piyasası Takas Fiyat Tahmini.....	6
1.7. Güncel Çalışmaların Gözden Geçirilmesi	7
1.8. Araştırma Hedefleri ve Kapsamı.....	9
1.9. Türkiye’de Elektrik Sektörünün Tarihsel Gelişimi.....	10
1.9.1. Türkiye Elektrik Kurumu’nun Kuruluşu	10
1.9.2. Özel Sektörün Piyasaya Girişi	10
1.9.3. Elektrik Piyasalarında Serbestleşme Çalışmaları.....	11
1.9.4. Dünya Elektrik Piyasasına Genel Bakış.....	13
1.9.5. Türkiye’de Elektrik Piyasası.....	15
1.9.6. Piyasa Verileri.....	16
1.10. Gün Öncesi Piyasası	19
1.10.1. Genel Esaslar.....	19
1.10.2. Saatlik Teklif.....	21
1.10.3. Blok Teklif.....	21
1.10.4. Esnek Teklif.....	21
1.10.5. İkili Anlaşma.....	21
2. ELEKTRİK ENERJİSİ GÖRÜNÜMÜ	26

3.	YAPAY SİNİR AĞLARINA GİRİŞ	30
3.1.	Yapay Sinir Ağları.....	30
3.2.	Yapay Sinir Ağlarının Genel Özellikleri.....	31
3.3.	Biyolojik Sinir Hücresi Yapısı.....	31
3.4.	Yapay Sinir Hücresinin Modellenmesi.....	32
3.5.	Yapay Sinir Ağlarının Oluşturulması.....	39
3.5.1.	Bir Yapay Sinir Ağı.....	39
3.5.2.	Katmanlar.....	40
3.5.3.	Katmanlar Arası Bağlantılar	40
3.6.	Perceptron	40
3.7.	Yapay Sinir Ağlarının Yapıları	42
3.8.	Yapay Sinir Ağlarında Öğrenme.....	43
3.8.1.	Danışmanlı Öğrenme.....	44
3.8.1.1.	Perceptron Öğrenme Kuralı	45
3.8.1.2.	Delta Öğrenme Kuralı	45
3.8.1.3.	Geri Yayılım Öğrenme	46
3.8.1.4.	Öğrenme Oranının Ağ Üzerindeki Etkisi	49
3.8.1.5.	Momentum Teriminin Ağ Üzerindeki Etkisi.....	49
3.8.1.6.	Gizli Katman Sinir Sayısının Ağ Üzerindeki Etkisi.....	49
3.8.1.7.	Hata Farkı Değişkeninin Ağ Üzerindeki Etkisi	49
3.8.2.	Danışmanlı Öğrenme.....	50
3.8.2.1.	Yarışmacı Sinirsel İşaretler.....	50
3.8.2.2.	Özörgütlemeli Harita Ağı	51
3.8.3.	Yapay Sinir Ağlarının Özellikleri	52
4.	ADAPTIF AĞ TABANLI BULANIK ÇIKARIM SİSTEMİ (ANFIS).....	54
4.1.	ANFIS Mimarisi.....	55
4.2.	ANFIS Katmanları	57
4.3.	ANFIS'in Öğrenme Algoritması	58
5.	PERFORMANS KRITERİ	60
6.	YSA VE ANFIS MODEL UYGULAMALARI.....	61
6.1.	YSA VE ANFIS Model Uygulaması	61
6.2.	YSA Model Uygulaması.....	63
6.3.	ANFIS Model Uygulaması	75

7.	DEĞERLENDİRMELER.....	88
8.	SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	93
9.	KAYNAKLAR	94

ÖZGEÇMİŞ



Yüksek Lisans

ÖZET

ELEKTRİK PİYASA TAKAS FİYATI AĞIRLIKLIL ORTALAMASININ ANFIS VE
YAPAY SİNİR AĞLARI İLE TAHMİNİ

Fatih ŞENOCAK

Karadeniz Teknik Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Elektrik-Elektronik Anabilim Dalı
Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Hakan KAHVECİ
2018, 98 Sayfa

Bu çalışmada, elektrik piyasa takas fiyatının (PTF) tahmin edilmesi için yapay sinir ağı (YSA) ve ANFIS modeli oluşturuldu. Modelin giriş değişkenleri olarak birincil enerji kaynaklarının üretim miktarı kullanılmıştır. Giriş değişkenleri üç kategori oluşturularak modele uygulanmıştır. İlk kategoride her bir birincil enerji kaynaklarının ayrı ayrı üretim miktarı, ikinci kategoride birincil enerji kaynakları bileşikleri oluşturularak bunlara ait üretim miktarları, üçüncü kategoride ise her bir birincil enerji kaynağının modele uygulanmasıyla elde edilen PTF'lerin her bir birincil enerji kaynağının toplam üretimdeki oranıyla çarpılarak yeni kısmi PTF'ler bulunmuştur ve her bir kısmi elde edilen PTF'lerin toplanmasıyla yeni PTF değeri elde edilmiştir. Bu sonuçlar incelendiğinde PTF ile birincil enerji kaynakları arasında sıkı bağ olduğu gözükmektedir. Hidrolik birincil enerji kaynağı ile doğru doğalgaz birincil enerji kaynağı ile ters orantılı olarak değişmektedir. Modellerimizdeki sonuçlar kıyaslandığında üçüncü kategori kapsamında en başarılı sonuçlar elde edilerek ANFIS için %3,74 YSA için %5,80 MAPE hata oranları bulunmuştur. Sonuçların gerçeğe yakınlığı elektrik piyasa takas fiyatı tahmin modellemelerinde birincil enerji kaynaklarının baz alınması daha doğru sonuçların elde edilmesine yardımcı olacaktır. Modelden elde edilen sonuçların doğruluğu birincil enerji kaynaklarının yeterli miktarda olmasına bağlıdır. Çünkü oluşan arz sıkıntısı ya da bazı birincil enerji kaynak yetersizliği nedeniyle diğer birincil enerji kaynaklarının daha fazla devreye alınmasına bağlı olarak üretimdeki aşırı artışların modeli olumsuz etkilediği ortaya çıkmıştır.

Anahtar Kelimeler: ANFIS, Yapay sinir ağları, Birincil enerji kaynakları, Elektrik piyasa takas fiyatı, Elektrik ticareti

Master Thesis

SUMMARY

FORECASTING OF WEIGHTED AVERAGE ELECTRICITY MARKET CLEARING
PRICE USING ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS AND ANFIS

Fatih ŞENOCAK

Karadeniz Technical University
The Graduate School of Sciences
Electrical-Electronics Graduate Program
Supervisor: Dr. Lec. Hakan KAHVECİ
2018, 98 Pages

In this study, an artificial neural network (ANN) and ANFIS model was established to estimate the electricity market clearing price (MCL). Production quantities of primary energy sources are used as input variables of the model. The input variables are modeled by creating three categories. In the first category, the amount of production of each primary energy source separately, in the second category, compounds of primary energy sources are formed and their production quantities, in the third category, new partial MCLs are found by multiplying each primary energy source of MCLs obtained by modifying each primary energy source by the ratio of total production and a new MCL value is obtained by collecting each partially obtained MCL. When these results are examined it appears that there is a close connection between MCL and primary energy sources. With hydraulic primary energy source, the right natural gas is inversely proportional to the primary energy source. When the results of our models were compared, the most successful results were obtained within the third category and MAPE error rates were found as 3.74% for ANFIS and 5.80% for ANN. The fact that the results are close to reality will help to obtain more accurate results in the electricity market clearing price forecasting models based on primary energy sources. The accuracy of the results obtained from the model depends on the availability of primary energy sources. Because of the resulting supply shortage or some primary energy resource shortage, it has been shown that excessive increases in production adversely affect the model, due to the fact that the other primary energy sources are being replaced.

Anahtar Kelimeler: ANFIS, Artificial neural networks, Primary energy sources, Electricity market clearing price, Electricity trading

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa No

Şekil 1. Düzenlenmiş elektrik piyasası	2
Şekil 2. Düzenlenmemiş elektrik piyasası	3
Şekil 3. Arz-talep eğrisi.....	5
Şekil 4. Elektrik enerjisi piyasasında serbestleşme süreci	13
Şekil 5. Gün Öncesi Piyasasında Yıllık Eşleşme Miktarı (TWh)	17
Şekil 6. GÖP yıllık ortalama piyasa takas fiyatı (TL/MWh)	17
Şekil 7. GÖP yıllık işlem hacmi (Milyar TL)	18
Şekil 8. Katılımcı 3' ün parçalı doğrusal arz eğrisi	24
Şekil 9. Olası bağlı blok teklif kümeleri	25
Şekil 10. Yıllar itibariyle birincil enerji kaynağı değerleri (GWh)	28
Şekil 11. 2016 yılı birincil enerji kaynağı üretim oranları	29
Şekil 12. Biyolojik bir sinir hücresi	32
Şekil 13. Matematiksel yapay sinir modeli	33
Şekil 14. Çeşitli değerler için Sigmoid işlev eğrileri	38
Şekil 15. Çeşitli değerler için hiperbolik tanjant işlev eğrileri.....	38
Şekil 16. Perceptron modeli	41
Şekil 17. Öğrenme yöntemlerine göre ağ yapıları	43
Şekil 18. Öğrenme yöntemleri	44
Şekil 19. Geri yayılım ağı	47
Şekil 20. Delta vektörü için minimum bölgeler	48
Şekil 21. İki girişli ve iki kurallı Sugeno tip bulanık çıkarım	56
Şekil 22. İki girişli ve iki kurallı ANFIS mimarisi	57
Şekil 23. Geçmiş dönemlere ait PTF ağırlıklı ortalama aylık değişim grafiği.....	63
Şekil 24. Yapay sinir ağı model uygulaması.....	64
Şekil 25. Taşkömürü üretim miktarına göre PTF tahmini	65
Şekil 26. Linyit üretim miktarına göre PTF tahmini	66
Şekil 27. Sıvı yakıtlar üretim miktarına göre PTF tahmini	66
Şekil 28. Doğalgaz üretim miktarına göre PTF tahmini	67
Şekil 29. Yenilenebilir ve atık üretim miktarına göre PTF tahmini	67
Şekil 30. Hidrolik üretim miktarına göre PTF tahmini.....	68

Şekil 31. Jeotermal ve rüzgar üretim miktarına göre PTF tahmini	68
Şekil 32. Doğalgaz, sıvı yakıtlar ve linyit üretim miktarına göre PTF tahmini	70
Şekil 33. Doğalgaz ve sıvı yakıtlar üretim miktarına göre PTF tahmini	70
Şekil 34. Doğalgaz, sıvıyakıtlar, linyit ve kömür üretim miktarına göre PTF tahmini	71
Şekil 35. Hidrolik, jeotermal, rüzgar ve güneş üretim miktarına göre PTF tahmini	71
Şekil 36. Doğalgaz ve hidrolik üretim miktarına göre PTF tahmini	72
Şekil 37. Doğalgaz, sıvı yakıtlar, linyit ve hidrolik üretim miktarına göre PTF tahmini	72
Şekil 38. Doğalgaz, sıvı yakıtlar, linyit, yenilenebilir ve atık üretim miktarına göre	73
Şekil 39. Herbir biricil enerji kaynaklarının toplam üretim oranına göre PTF tahmini	74
Şekil 40. Doğalgaz-Dolar giriş değişkenlerine göre PTF tahmini.....	75
Şekil 41. Doğalgaz-Tüfe giriş değişkenlerine göre PTF tahmini	75
Şekil 42. ANFIS model uygulaması	76
Şekil 43. Taşkömürü üretim miktarına göre PTF tahmini	77
Şekil 44. Linyit üretim miktarına göre PTF tahmini	78
Şekil 45. Sıvı yakıtlar üretim miktarına göre PTF tahmini	78
Şekil 46. Doğalgaz üretim miktarına göre PTF tahmini	79
Şekil 47. Yenilenebilir ve atık üretim miktarına göre PTF tahmini	79
Şekil 48. Hidrolik üretim miktarına göre PTF tahmini.....	80
Şekil 49. Jeotermal ve rüzgar üretim miktarına göre PTF tahmini	80
Şekil 50. Doğalgaz, sıvı yakıtlar ve linyit üretim miktarına göre PTF tahmini	82
Şekil 51. Doğalgaz ve sıvı yakıtlar üretim miktarına göre PTF tahmini	82
Şekil 52. Doğalgaz, sıvıyakıtlar, linyit ve kömür üretim miktarına göre PTF tahmini	83
Şekil 53. Hidrolik, jeotermal, rüzgar ve güneş üretim miktarına göre PTF tahmini	83
Şekil 54. Doğalgaz ve hidrolik üretim miktarına göre PTF tahmini	84
Şekil 55. Doğalgaz, sıvı yakıtlar, linyit ve hidrolik üretim miktarına göre PTF tahmini	84
Şekil 56. Doğalgaz, sıvı yakıtlar, linyit, yenilenebilir ve atık üretim miktarına göre	85
Şekil 57. Herbir biricil enerji kaynaklarının toplam üretim oranına göre PTF tahmini	86
Şekil 58. Doğalgaz-Dolar giriş değikenlerine göre PTF tahmini	87
Şekil 59. Doğalgaz-Tüfe giriş değikenlerine göre PTF tahmini.....	87
Şekil 60. Gerçek PTF ile YSA ve ANFIS tahminlerinin karşılaştırılması.....	88
Şekil 61. PTF ile doğalgaz üretimin PTF göre normlaştırılmış değerlerinin	89
Şekil 62. PTF ile hidrolik üretimin PTF göre normlaştırılmış değerlerinin.....	90

TABLolar DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 1. Dünya geneli 2016 yılı elektrik üretim değerleri.....	14
Tablo 2. 2016 yılı itibariyle birincil kaynak bazlı kurulu güçler	19
Tablo 3. Katılımcı 1'in saatlik teklifi	22
Tablo 4. Katılımcı 2'in saatlik teklifi	23
Tablo 5. Katılımcı 3'in saatlik teklifi	23
Tablo 6. Bağlı blok teklif örneği	25
Tablo 7. Yıllar itibariyle üretim ve tüketim değerleri	26
Tablo 8. Yıllar itibariyle birincil enerji kaynağına göre üretim değerleri.....	27
Tablo 9. Yıllar itibariyle üretim ve tüketim değerleri.....	28
Tablo 10. Toplama fonksiyonu türleri	35
Tablo 11. Aktivasyon fonksiyonu türleri	37
Tablo 12. Aylar itibariyle PTF değerleri	62
Tablo 13. Birincil enerji kaynaklarının üretimi miktarına göre PTF tahminleri	65
Tablo 14. Birincil enerji kaynaklarından oluşturulan bileşiklere göre PTF tahmini	69
Tablo 15. Herbir birincil enerji kaynaklarının toplam üretim oranına göre PTF değerleri ..	73
Tablo 16. Doğalgaz-Dolar ve Doğalgaz-Tüfe giriş değişkenlerine göre PTF değerleri	74
Tablo 17. Birincil enerji kaynaklarının üretimi miktarına göre PTF tahminleri	77
Tablo 18. Birincil enerji kaynaklarından oluşturulan bileşiklere göre PTF tahmini	81
Tablo 19. Herbir birincil enerji kaynaklarının toplam üretim oranına göre PTF değerleri ..	85
Tablo 20. Doğalgaz-Dolar ve Doğalgaz-Tüfe giriş değişkenlerine göre PTF değerleri	86
Tablo 21. Aylık 2016 yılı PTF tahmini.....	91
Tablo 22. 2016 yılı PTF değerlerinin yıllık aritmetik ortalaması.....	91

SEMBOLLER DİZİNİ

ANFIS : Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System

DVM : Destek Vektör Makinesi

EPDK : Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu

EPIAŞ : Enerji Piyasaları İşletme A.Ş.

EÜAŞ : Elektrik Üretim A.Ş.

İHD : İşletme Hakkı Devir

GA : Genetik Algoritma

GÖP : Gün Öncesi Piyasası

MAPE : Ortalama Mutlak Yüzde Hata

PTF : Piyasa Takas Fiyatı

SMF : Sistem Marjinal Fiyatı

TEAŞ : Türkiye Elektrik Üretim İletim A.Ş.

TEDAŞ : Türkiye Elektrik Dağıtım A.Ş.

TEİAŞ : Türkiye Elektrik İletim A.Ş.

TEK : Türkiye Elektrik Kurumu

TETAŞ : Türkiye Elektrik Ticaret ve Taahhüt A.Ş.

Yİ : Yap-İşlet

YİD : Yap-İşlet-Devret

YSA : Yapay Sinir Ağları

1. ELEKTRİK ENERJİSİ PİYASASI

1.1. Elektrik Enerjisi Sistemleri

Elektrik enerjisi, günlük hayatımızda en önemli gereksinimlerden biridir. Son yüzyıldaki elektrik enerjisi talebinin hızlı bir şekilde büyümesiyle elektrik sistemleri, coğrafi bölgeler dâhilinde üretim, iletim ve dağıtımını birbirine bağlayan karmaşık ağlar ağı olarak gelişmiştir. Elektrik enerjisinin üretimi çoğu zaman kinetik enerjiyi elektromekanik santralleri vasıtasıyla elektrik enerjisine aktarmanın bir yoludur. Termal (kömür) tesisler, doğal gaz tesisleri, petrol tesisleri, hidro elektrik tesisler ve nükleer santraller dünyadaki en yaygın enerji santralidir. Güneş enerjisi tesisleri, rüzgâr enerjisi tesisleri ve jeotermal enerji santralleri gibi alternatif enerji kaynağına dayanan diğer enerji santralleri, çevre üzerindeki nispeten düşük etkileri nedeniyle daha fazla dikkat çekmektedir. Elektrik enerjisi, iletim hatlarının karmaşık şebekeleri vasıtasıyla yük merkezlerine iletilir. Yük merkezlerinde, elektrik enerjisi daha sonra son kullanıcılara dağıtım ağı ile dağıtılır. Elektrik enerjisinin bir kısmı iletim hatlarının fiziksel özelliklerinden dolayı iletimi sırasında kaybolur. Bu, üretim merkezlerinin yük merkezlerine olan mesafelerine ilişkin fiziksel bir sınır getirmektedir. Bununla birlikte, DA iletimi kullanarak, elektrik enerjisini daha uzun mesafe boyunca taşımak için çalışmalarda devam etmektedir. Geçmişten günümüze, elektrik sistemleri ağırlıklı olarak coğrafi bölgelerine bağlı kaldı. Modern toplumlarda, kentsel alanlardaki yüksek enerji talebi ve sıklıkla meydana gelen ani arz yetersizliği ya da fazlalığı sorununu çözmek, arz ve talebi muhafaza etmek, istikrar, daha iyi hizmet sunma ve elektrik tedarikinin güvenilirliğini arttırmak için çok daha büyük bir sistem oluşturmak üzere birbirine entegre edilmiştir.

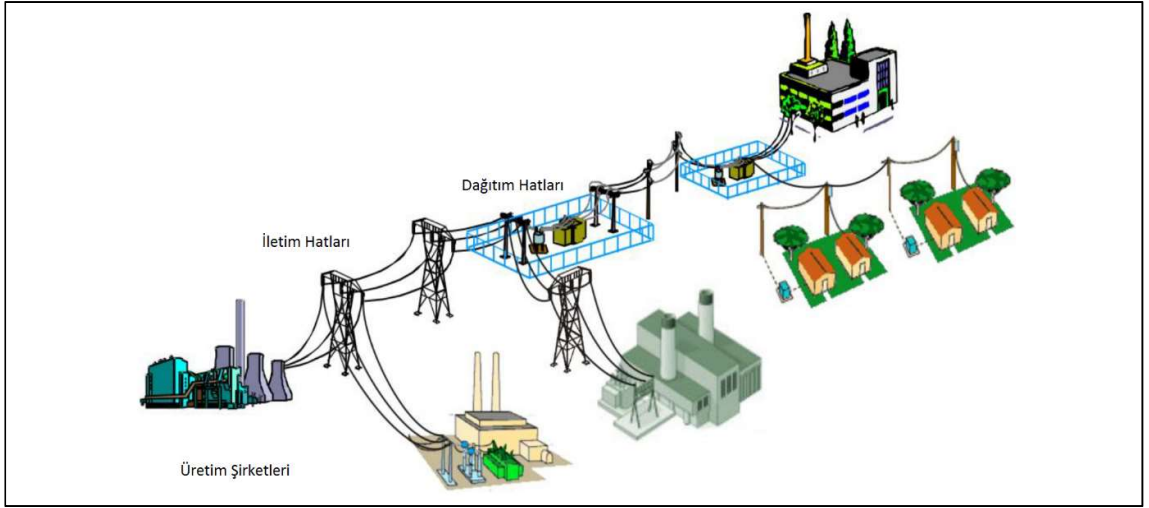
1.2. Elektrik Piyasaları ve Fiyatlandırma

Elektrik piyasası, il veya bölge sınırları dahilinde elektrik enerjisi satın almak ve satmak için kullanılan bir sistemdir. Tüm elektrik piyasaları iki ana kategoriye ayrılabilir: Düzenlenmiş elektrik piyasası ve düzenlenmemiş elektrik piyasası. Düzenlenmiş bir elektrik piyasasında, üretim, iletim ve çoğunlukla dağıtımın ana özellikleri tek bir şirket tarafından yönetilmektedir. Düzenlenmemiş bir elektrik piyasası altında, birden fazla varlığa elektrik

tedarik etmek ve dağıtmak için rekabet etme izni verilir. Kanada ve Amerika'da her iki elektrik piyasasında bulunmaktadır. Ülkemizde ise bu iki piyasa tüketime bağlı olarak oluşmaktadır. Düzenlenmiş bir elektrik piyasasında elektrik fiyatı, elektrik üretim ve iletim maliyetini karşılamak, gelecekteki şebeke genişlemesi için para kazanmak ve hissedarlar için iyi bir getiri sağlamak için yerel elektrik şirketi tarafından belirlenir. Öte yandan, düzenlemeye tabi olmayan bir elektrik piyasasındaki elektrik fiyatı, elektrik arz ve talep ilişkisine dayalı olarak piyasa tarafından belirlenir. Düzenlenmiş ve düzenlenmemiş elektrik piyasaları ile fiyatlandırma konusundaki ayrıntılar aşağıdaki bölümlerde verilmektedir.

1.3. Düzenlenmiş Elektrik Piyasaları ve Fiyatlandırma

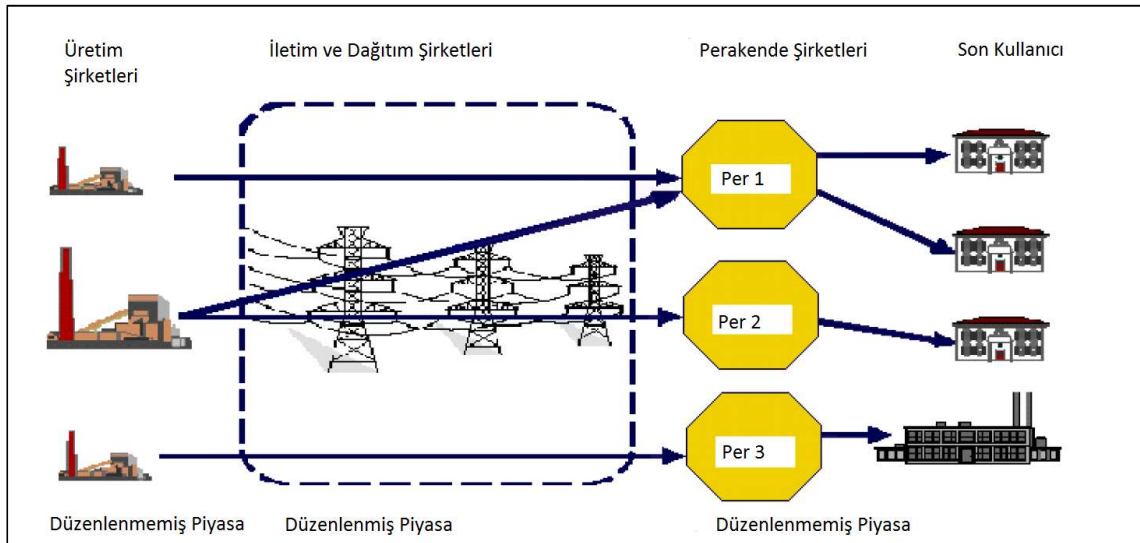
Elektrik enerjisinin ticarileştirilmesi, elektrik enerjisinin üretimi, iletimi ve dağıtımını, işletme, bakım ve genişletme için büyük sermaye yatırımı gerektirdiğinden bu tür yatırım, tüm coğrafi bölgelerde devlet tekelinde gerçekleştirilir. Bunun için anonim şirketler kurularak ve önceden belirlenmiş coğrafi sınırlar içinde elektrik enerjisinin üretimi, iletimi ve dağıtımını için tek tüzel kişilik oluşturulmuştur. Aynı coğrafi bölgede hiçbir rekabet olmadığından, düzenlenen elektrik piyasası hâlâ doğal bir tekel durumdadır ve devlet tarafından titizlikle izlenmektedir. Düzenlenen bir elektrik pazarının dikey olarak bütünlük yapısı Şekil 1'de gösterilmektedir.



Şekil 1. Düzenlenmiş elektrik piyasası

1.4. Düzenlenmemiş Elektrik Piyasaları ve Fiyatlandırma

Deregülasyonun anlamı belirli bir endüstride hükümet denetiminin azaltılması ya da ortadan kaldırılmasıdır. Deregülasyonun amacı, aynı endüstri ve aynı coğrafi bölgede daha fazla rekabeti teşvik etmektir. Genel olarak, daha az ve daha basit yönetmeliklerin artan bir rekabet gücü seviyesine yol açacağı ve genel olarak daha yüksek üretkenlik, daha fazla verimlilik ve daha düşük fiyatlarla sonuçlanacağı düşünülmektedir. Havayolu şirketleri, kamyon ve telefon endüstrilerindeki büyük başarının düzenlenmiş piyasadan düzenlenmemiş pazara dönüşmesinden sonra elektrik piyasası 1980'lerin başında Şili'de deregülasyon başladı. Kuzey Amerika'daki elektrik piyasaları, 1990'ların sonu ve 2000'lerin başında deregülasyona başladı. Ülkemizde özellikle 2001 yılından itibaren, enerji sektöründe kapsamlı bir reform çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Yasal ve düzenleyici çerçeve ile piyasanın tüm fonksiyonları zaman içinde adım adım gelişmiştir. 2001 ile 2007 yılları arasında temel yasal ve düzenleyici düzenlemeler sayesinde piyasa yapısı büyük oranda değişirken aynı zamanda bazı geçiş sorunları ile de karşılaşmıştır. 2008 yılından itibaren reformlara hız verilmiş ve rekabetçi bir piyasa geliştirilmiştir. Elektrik piyasasındaki düzenlemelerin kaldırılması, eski dikey olarak entegre üretim, iletim ve dağıtım yatay olarak ayrılmış işlere dönüştürdü; 1) üretim şirketleri, 2) iletim ve dağıtım şirketi ve 3) perakende elektrik sağlayıcıları.

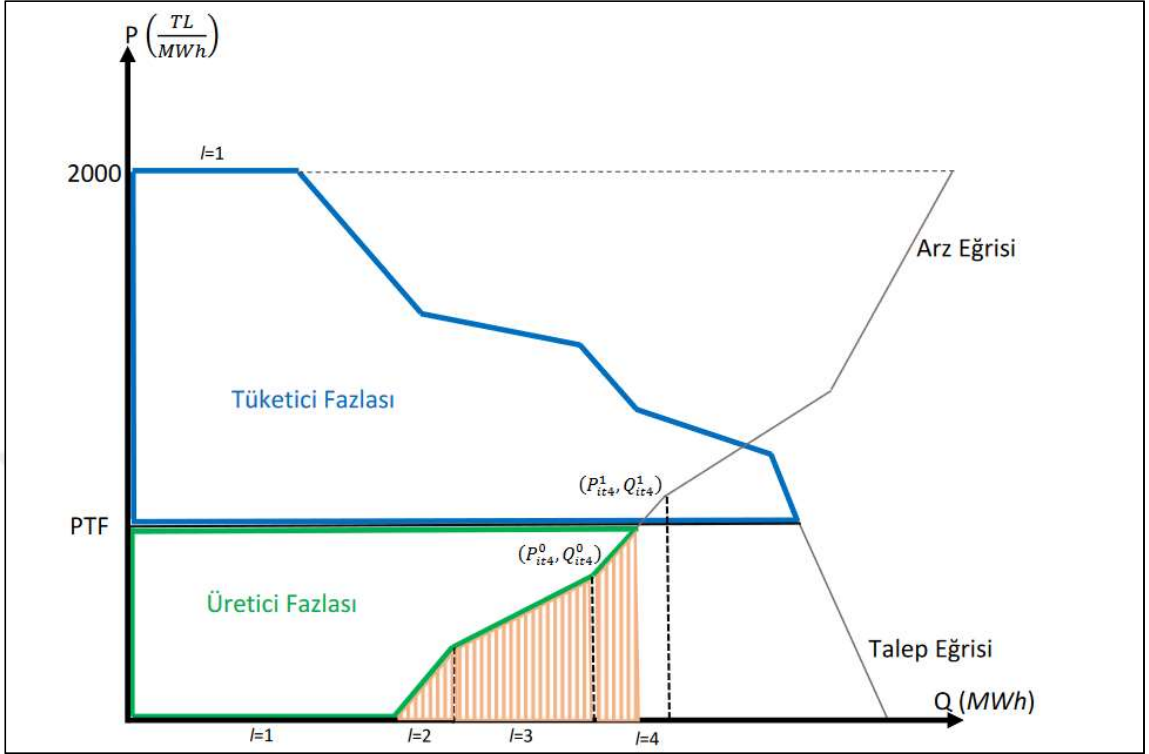


Şekil 2. Düzenlenmemiş elektrik piyasası

Şekil 2’de normal düzenlenmemiş bir elektrik piyasasını göstermektedir. Üretim şirketleri ve perakende elektrik sağlayıcıları, rekabet ve teknolojiye yeniliği teşvik etmek için düzenlenmemiş pazarlar altındadır. Düzenlenmiş bir elektrik piyasasındaki yalnızca tek bir üretim sağlayıcı yerine aynı bölgede birkaç üretim sağlayıcı faaliyet göstermektedir. Yerel düzenleyici kurum elektrik fiyatını artık ayarlayamıyor. Tüketicilerin yerel elektrik sağlayıcıları hakkında daha fazla tercihleri vardır. Gereksinimlerine ve taleplerine göre farklı elektrik sağlayıcıları seçebilirler. Tüm üretim şirketleri için iletim ve dağıtım ağına eşit açık erişim sağlamak için iletim ve dağıtım araçları halen düzenlemeye tabi tutulmaktadır. Perakende elektrik piyasası, son kullanıcılar ile perakende elektrik sağlayıcıları arasında elektrik hizmeti alıp satmak içindir. Tüketicilerin ihtiyaç ve bütçelerine bağlı olarak perakende elektrik piyasasında farklı fiyat, şartlar ve hizmetler ile farklı elektrik ürünleri satın alınabilir. Perakende elektrik sağlayıcıları, üretim şirketlerinden gelen uzun vadeli sözleşmelerin bir birleşimi ve yılın her saatinde elektrik fiyatını belirleyen bir toptan enerji pazarı olan enerji havuzu aracılığıyla kısa vadeli satın alma yoluna gitmektedirler.

1.5. Elektrik Piyasası Takas Fiyatı

Pek çok olgunlaşmış düzenlenmemiş elektrik piyasası, gün öncesi elektrik piyasası ve gerçek zamanlı bir elektrik piyasası olarak düzenlenmiştir. Gün öncesi elektrik piyasası, üretim teklifleri, talep teklifleri ve planlanan ikili işlemlere dayanarak bir saatlik elektrik fiyatının bir sonraki işletim günü için hesaplandığı bir ileri pazardır. Dengeleme güç piyasası, Sistem İşletmecisine gerçek zamanlı dengeleme için en fazla 15 dakika içinde devreye girebilecek yedek kapasiteyi sağlar. Elektrik piyasası takas fiyatı (PTF) genellikle elektrik piyasasındaki gün öncesi fiyatını belirtir. Elektrik sistem marjinal fiyatı (SMF), bir elektrik piyasasında eksiklik ve fazlalık olduğu zaman var olan fiyattır. Diğer bir deyişle, dengeleme birimidir. Elektrik PTF'si belirlendiğinde, piyasa katılımcılarının teklif fiyatı elektrik PTF'sinin altında ise ödemeler elektrik PTF'ye göre değil, sundukları fiyatta göre yapılmaktadır. Bunun nedeni, pazarın adil olmasını sağlamak ve piyasa manipülasyonundan kaçınmaktır. Şekil 3, elektrik PTF'nin belirlenmesini göstermektedir.



Şekil 3. Arz-talep eğrisi

Elektrik PTF'nin belirlenmesi süreci her düzenli olmayan elektrik piyasasında temelde aynıdır. Her gün, sistem işletmecisi ertesi gün elektrik talebini ve acil durumlarda yedek enerji de dahil olmak üzere önümüzdeki ay için öngörülerini yayımlar. Bu tahminler, hava durumundaki değişiklikler gibi yeni bilgiler geldiğinde sürekli güncellenir. Tahmini bilgilere ulaşıldığında, elektrik sağlayıcıları ne kadar elektrik temin edeceğini ve ne fiyatı vereceğini belirleyecektir. Elektrik tüketicileri (büyük hacimli tüketiciler ve perakende elektrik sağlayıcıları) ayrıca satın alacakları elektriğin miktarını ve fiyatını belirleyecektir. Her iki taraf da tekliflerini sistem operatörlerine gönderiyor. Bu arada, son teklif verme olana kadar yeni tekliflerini de gönderebilirler. Sistem operatörü daha sonra teklifleri eşleştirir. İlk önce teklif edilen en düşük fiyatı kabul eder ve sonra tüketicilerin taleplerini karşılamak için yeterli enerji kabul edilene kadar yüksek fiyatlı teklifleri toplar. Kabul edilen son teklifi esas alarak kabul edilen tüm tedarikçiler aynı fiyatı, piyasa fiyatını ödeyeceklerdir. Elektrik PTF'nin bu şekilde belirlenmesi, elektrik sağlayıcılarını, elektriklerinin tamamını veya çoğunu piyasa fiyatına satmaya katılmak için teklif edilen fiyatları düşük tutmaya teşvik eder. Piyasa fiyatını temizleme yaklaşımı, sistemin güvenilirliğini korurken mümkün olan en düşük fiyatı sağlar.

1.6. Elektrik Piyasası Takas Fiyat Tahmini

Elektrik PTF'nin tahmini, elektrik talebinin, sıcaklığın, güneş ışığının, yakıt masrafının, yağışın ve diğer ilgili faktörlerin belirli bir tahmini üzerine gelecekteki elektrik fiyatının bir tahminidir. İyi bir elektrik PTF tahmini, tüketicilere ve tedarikçilere, kârlarını en üst düzeye çıkarmak için elektrik kullanımını ve teklif verme stratejilerini hazırlamasına yardımcı olabilir. Bununla birlikte, elektrik PTF tahminleri çok karmaşık bir görevdir, zira elektrik PTF'sini etkileyen çeşitli belirsizliklerle birlikte birçok değişken bulunmaktadır. Bu değişkenlerden bazıları açıktır ve sıcaklık, güneş ışığı, doğalgaz fiyatı ve yağış gibi oldukça doğru bir şekilde tahmin edilebilmektedir. Öte yandan, diğer değişkenler, teklif stratejisi, spot piyasa fiyatı, eğirme rezerv piyasa fiyatı, iş dünyası rekabet stratejisi ve etik olmayan ticari davranış gibi daha karmaşık ve daha az öngörülebilir durumlardır. Farklı zaman aralıklarına dayanarak, elektrik PTF tahminleri kısa vadeli, orta vadeli ve uzun vadeli tahminlere ayrılabilir. Kısa vadeli elektrik PTF tahminleri, günümüzde 24 saat elektrik fiyat tahminleri olarak bilinen, kısa sürede elektrik piyasasını öngörmek için yaygın olarak kullanılan bir araçtır. Halen, elektrik PTF'sinin kısa vadeli tahminleri için birçok teknik mevcuttur. Kısa vadeli PTF tahminleri, üreten şirketlerin havuzdaki teklif verme stratejilerini türetmelerine ve elektrik enerjisi kaynaklarını optimum şekilde programlamasına yardımcı olabilir [1]. Aynı nedenlerden dolayı elektrik tüketicileri (büyük hacimli tüketiciler ve perakende elektrik sağlayıcıları) kısa vadeli fiyat tahminlerine ihtiyaç duymaktadır. Orta Vadeli elektrik PTF tahmininde, elektrik PTF'si bir aydan altı aya kadar bir süreyle odaklanmaktadır. Karar verme ve orta vadeli planlama amaçları için kullanılabilir. Bazı örnekler, ara dönem programının ayarlanması ve kaynakların yeniden tahsis edilmesini içerir. Orta vadeli tahmin için öngörme ufku çok daha uzun olduğundan ve elektrik fiyatlarının uçucu niteliği göz önüne alındığında, elektrik PTF'sinin daha uzun bir ufuk için tahmin edilmesi, kısa dönem tahmininden [2] daha karmaşıktır. Orta vadeli elektrik PTF tahminleri, kısa vadeli elektrik PTF tahmininden aşağıdaki şekillerde farklıdır. Her şeyden önce, kısa vadeli elektrik PTF tahmininden farklı olarak, ara dönem tahmini aradığımız gelecek segment, elektrik PTF verilerinin bulunduğu geçmiş ile bitişik değildir. Öte yandan, kısa vadeli tahmini, yakın geçmişteki eğilimi kullanabilir. Ara dönem tahmini doğası gereği yakın geçmişteki eğilimi kullanamaz. Bu, orta vadeli öngörü modelinin, bölümlenmiş girdi verileri ile gelecekteki elektrik PTF'sini doğru bir şekilde tahmin edebilmesi için, eğitim aşamasında örnek dışı ve bölünmüş verilerin ele alınmasında çok

güçlü bir uyumluluğa sahip olmasını gerektirir. Öte yandan, orta vadeli tahmin modeli, tahmin modelini eğitmek için genellikle bir yıllık geçmiş verileri gerektirir. Son olarak, yalnızca doğrusal olmayan regresyon tabanlı tahmin modeli, orta vadeli tahmin yapabilir. Doğrusal gerileme tabanlı tahmin modeli, yalnızca ara dönem tahmini için bir eklenti modülü olarak düşünülebilir. Uzun vadeli elektrik PTF tahminleri, üretim genişleme planları ve uzun vadeli sözleşmeye dayalı kararlar amacıyla yılda bir kez geliştirilmektedir. Elektrik tüketicileri (büyük hacimli tüketiciler ve perakende elektrik sağlayıcıları), portföy oluşturma süreci için uzun vadeli fiyat tahminlerine ihtiyaç duyar [3].

1.7. Güncel Çalışmaların Gözden Geçirilmesi

Halen, elektrik PTF'nin kısa vadeli tahminleri için birçok teknik mevcuttur. Bu yöntemler arasında, oto-regresif bütünleştirilmiş hareketli ortalama (ARIMA) [4], dalgacık dönüşümü [5], [6], Monte Carlo simülasyonu [7], zaman serileri [8], [9], teklif tabanlı stokastik model [7] ve elektriksel PTF'yi tahmin etmek için kullanılan ilk jenerasyon teknikleri olan [7], [10] dinamik regresyon [4]. Elektrik PTF'yi tahmin etmek için YSA yöntemini kullanan düzenlenmemiş elektrik piyasaları arasında PJM arabağlantı, Avustralya elektrik piyasası, İngiltere-Galler havuzu ve New England ISO [11] bulunur.

Szkuta [12] 1999 yılında yapay sinir ağı modeli oluşturarak elektrik piyasasında oluşmuş geçmiş yıllara ait fiyatlar kullanılarak Viktorya Eyaleti gün öncesi piyasasında fiyat analizi yapılmıştır. Careri F. [13] 2010 genetik algortima ile İtalya elektrik piyasası üzerine çalışma yapmıştır. Hong Y.Y. [14] Melez yapay sinir ağları modellenerek gün öncesi piyasasında SMF tespiti için çalışmalar yapılmıştır. Zhang H. [15] 2012 yılında rüzgar enerjisinden elektrik üretimi yapan üreticiler için gün öncesi piyasasında en uygun teklif verme stratejileri incelenmiştir. Jonsson T. [16] 2012 yılında batı danimarka için zaman serisinden yararlanarak çekilen elektrik yükü ve rüzgar enerjisi üretim değerlerinden gün öncesi piyasası için fiyat tahminleri hesaplanmıştır. Voronin S. 2013 [17] Finlandiya gün öncesi piyasasına ait geçmiş verileri kullanarak yineleme algortimasıyla PTF ve SMF için fiyat tahminleri yapılmış ve bu sonuçlar diğer yöntemlerle kıyaslanmıştır. Claudio Monteiro [18] 2015 yılında hava durumu verileri, önceki yıllara ait fiyatlar, bölgesel elektrik üretim ve güç değerleri kullanarak İspanya gün öncesi piyasasına ait fiyat incelemesi yapılmıştır.

Çeşitli tahmin yöntemlerini bir araya getiren hibrid modelleri kullanarak elektrik PTF tahminleri, son elektrik fiyat tahmini çalışmalarında yeni eğilimdir. Hibrid modeller,

herhangi bir kurulu metodun kullanılmasındaki zayıflıkları telafi edebilir ve daha iyi toplam sistem sonuçları elde edebilir. Xu ve arkadaşları [19], kısaltılmamış dalgacık dönüşümü, YSA ve destek vektör makinesi (DVM) tekniklerinin kombinasyonu ile kısa vadeli bir elektrik fiyatı ve yük tahmini modeli önerdi. Xu'nun modeli hava faktörünü hesaba katmıştı. Yük verilerinin tahmin edilmesi için tüm öngörme sistemindeki birkaç modülden biriyle ileri beslemeli bir YSA kümesi kullanılmıştır. Ölçekli konjuge gradyan algoritması YSA'nın eğitiminde kullanılır. Sayısal örneklerden elde edilen sonuçlar son derece kaotik pazarın ele geçirilme kabiliyetini göstermektedir.

Zhou ve arkadaşları [20], fiyat tahmini modelini yükseltmek için doğru bir online destek vektör gerilemesi (SVR) yöntemini önerdi. Elektrik fiyat parametreleri zaman zaman değiştirildiğinde DVM'lerin mevcut parametrelerini yükseltildi. Bu, DVM eğitimini daima güncel tutar. Mevcut DVM parametrelerini yükseltmek için gerçek zamanlı elektrik fiyatları sürekli DVM'ye girilmiştir.

Hu ve arkadaşları [21], düzenlemeye tabi tutulmayan elektrik piyasalarında kısa vadeli elektrik fiyat tahmin tekniklerine ilişkin bir inceleme sundular. Yazar, [22] uygun girdi faktörleri ile uygun bir tahmin tekniğinin seçilmesinin, tahmin doğruluğunda hayati önemi olduğu sonucuna varmıştır.

Swief ve arkadaşları [23], zaman serisi yük ve fiyat verilerinden yararlanılarak bir DVM tabanlı karma yük ve fiyat dinamik tahmin modelini önerdi. Bu çalışmada, öngörülen noktayla ilgili önceki puanların sayısı, aynı diken endekslerine sahip olan veri kümesinden seçilmiştir. İlk olarak, modelin gerektirdiği veri miktarını azaltmak için temel bileşen analizi (PCA) ve K en yakın komşu (KNN) puan tekniklerini kullandı. DVM, elektrik PTF'yi taklit etmek ve sonuca ulaşmak için uygulandı.

Saini ve arkadaşları [24], DVM ve GA veri madenciliği tekniklerini kullanan bir hibrid elektrik fiyat tahmini modeli önerdi. Tek zaman serileri yerine her günün fiyat profilini modellemek için her ticaret aralığı için ayrı veri serileri kullanılmıştır. Sonuçlar, buluşsal teknik, doğrusal regresyon modeli ve literatürdeki diğer raporlanmış çalışmalarla karşılaştırılmıştır. Test sonuçları, önerilen GA-DVM modelinin diğer tahmin modellerine göre daha iyi tahmin yeteneğine sahip olduğunu göstermektedir. Önerilen iş iki farklı güç sisteminden 1 yıllık veriyi kullandı.

Sun ve arkadaşları [25], hem genetik algoritma hem de DVM'yi içeren bir hibrid elektrik fiyat tahmini modeli önerdi. Sadece tarihi fiyat verilerini kullandı. Zaman serisi

verileri güncellenmiş modele dahil edilmiştir [26]. Aynı melez yöntem Chen [27] tarafından da önerilmiştir.

Mahjoob ve arkadaşları [28] İspanya ve California elektrik piyasalarında elektrik piyasası takas fiyatını tahmin etmek için GA optimizasyonu ile LSDVM yaklaşımını birlikte kullanan bir melez tahmin modeli önerdiler. Tahmin sonuçları, muhtemel konum (MLP), ARIMA, WAVELET-ARMA, Bulanık NN ve Zaman Serisi tabanlı modeller gibi daha önce önerilen yöntemlerin seçme çeşitliliği kullanılarak elde edilenlerle karşılaştırılmıştır. Yapılan kapsamlı karşılaştırma, önerilen yöntemin olağanüstü doğruluğu ve etkililiğini göstermektedir.

Gone ve arkadaşları [29] hem yapay balık sürüsü algoritması (AFSA) hem de DVM'yi kullanan bir hibrid elektrik fiyatı tahmin modelini önerdiler. AFSA ayarında, DVM modeli kabaca geniş bir sabit adımdan daha küçük bir sabit adıma kadar daha küçük bir aralığa kadar çeşitli parametre ayarları için eğitilmiştir. Doğrulama örneği hatası her parametre ayarı için hesaplanır. En küçük doğrulama-örnek hatalarına sahip parametreler sonunda seçiliyor.

Zheng ve arkadaşları [30] bağımsız bileşen analizi (ICA) ve DVM algoritmasını kullanan bir hibrid elektrik tahmin modelini önerdi. ICA, gizli kaynak özelliğini çıkarmak için özel bir etkiye sahiptir. Makale Hyvärinen ve Oja [31] tarafından yakınsama hızını ve kullanılabilirliği düşündüren Hızlı ICA algoritmasını benimser. ICA, Gauss olmayan ve karşılıklı olarak bağımsız olan latent değişkenlerin ("bağımsız bileşenler") gözlenen verilerini ifade etmek için doğrusal dönüşüm kullanan istatistiksel bir modeldir.

Pousinho ve arkadaşları [32] partikül sürüsü optimizasyonu (PSO) ve uyarlamalı ağ tabanlı bulanık çıkarım sistemi (ANFIS) ile kombine edilmiş bir kısa vadeli melez elektrik fiyatları tahmin modelini önerdi.

1.8. Araştırma Hedefleri ve Kapsamı

Bu çalışmanın amacı, elektrik PTF'ni orta vadede tahmin etmek için kullanılacak tahmin modelleri geliştirmektir. Dönem tahmini, elektrik PTF'yi bir aydan on iki aya kadar dönemsel ağırlıklı ortalamasını tahmin etmektir. Elektrik piyasası takas fiyatı, yük, sıcaklık, yakıt maliyeti, yağış, piyasa fiyatını belirleme stratejisi ve iş dünyası rekabet stratejisi gibi çeşitli değişkenlere bağlıdır. Bununla birlikte, orta vadeli elektrik PTF doğası gereği tahmin, yakın geçmişteki eğilimi kullanamıyoruz. İş rekabet stratejisi ve etik olmayan ticari

davranışlar gibi insan yapımı etkilerden kaçınmak için alternatif eğitim verilerini kullanacak kadar esnek seçmek gerekir.

Araştırma için kullandığımız yöntemler Yapay Sinir Ağları ve Adaptive Neuro Fuzzy Inference System'dir. Amacımız PTF'nin tahmin edilmesinde YSA'nın öğrenme yeteneğinin etkisi ve ANFIS'in öğrenme yeteneğine ilave olarak bulanık mantığın karar mekanizmasının etkisini incelemektir.

1.9. Türkiye'de Elektrik Sektörünün Tarihsel Gelişimi

1.9.1. Türkiye Elektrik Kurumu'nun Kuruluşu

1902 yılında 2 kW gücünde ilk hidroelektrik santrali Tarsus'da kurulduktan sonra 1913 yılında 18 MW gücünde ilk termik santrali Silahtarağa'da kurulmuştur. İlk elektrik işletmecisi 1935 yılında 2805 sayılı kanun kapsamında Etibank'ın hayata geçmesiyle başlamıştır. 1948 yılından sonra İller bankası ve DSİ gibi kurumların katkılarıyla çok sayıda termik ve hidroelektrik santral tamamlanarak üretim yapmaya başlamıştır. 1963-1967 birinci ve 1968-1972 ikinci beş yıllık kalkınma planları kapsamında elektrik üretim, iletim, dağıtım ve ticareti tek bir yapı olarak devlet kurum çatısı altında birleştirilmesi hedeflenmiştir. Bu hedefler kapsamında 1970 yılında 1312 sayılı kanunla ihtiyaç duyulan elektrik tedarikinin üretim, iletim, dağıtım ve ticaretin yapılabilmesi için Türkiye Elektrik Kurumu (TEK) kuruldu ve devletin genel enerji ve ekonomik hedeflerine uygun olarak bu yapı üzerinden yönetilmeye başlandı. TEK kurulduğu tarihteki kurulu gücümüz 2.234,90 MW, elektrik üretimimiz ise 8,60 milyar kWh olmuştur. 1970 ile 1980 arasında dünyadaki enerji krizinden Türkiye üzerindeki olumsuz etkilerine rağmen kurulu gücümüz 1980 yılında 5.118,70 KW ve üretim ise 23,30 milyar kWh çıkmıştır.

10 Eylül 1982 tarihinde yürürlüğe giren 2705 sayılı Kanun ile birlikte Belediye ve Birlik Elektrik Tesisleri Türkiye Elektrik Kurumuna devredilmiştir. Bu yıldaki kurulu gücümüz 6.638,60 MW, üretim miktarımız ise 26,60 milyar kWh çıkmıştır.

1.9.2. Özel Sektörün Piyasaya Girişi

1984 yılında yürürlüğe giren ve elektrik piyasasına özel sektör katılımını sağlayan 3096 sayılı kanun ile özel sektör şirketlerine elektrik enerjisinde; üretim, iletim ve dağıtım

konularında faaliyet olanağı sağlanmıştır. Bu Kanunla birlikte Türkiye Elektrik Kurumunun tekel konumuna son verilerek yap-işlet-devret (YİD), işletme hakkı devri (İHD) ve otoprodüktör gibi özel sektör üretim yatırım modelleri geliştirilmiştir.

1994 yılında çıkarılan 3996 sayılı kanun, YİD modelinin uygulanmasına ilişkin usul ve esasları belirleyen spesifik bir yasa olarak dikkat çekmektedir. Daha sonra, 1997 yılında özel sektör üretim yatırımlarının büyütülmesi için Yap-İşlet (Yİ) modeli devreye alınmıştır. 1988–1992 yıllarında, elektrik sektöründe kendi görev bölgesi içinde elektrik üretimi, iletimi, dağıtım ve ticaretini yapmak üzere 10 kadar sermaye şirketi görevlendirilmiştir. Aynı zamanda imtiyazlı şirketlerden olan ÇEAŞ ve KEPEZ A.Ş.’lerine de kendi görev bölgelerinde elektrik üretim, dağıtım ve ticaretini yapma görevi verilmiştir [33].

233 sayılı Kanun Hükmünde Kararnameyle elektrik piyasasında serbest piyasanın önü açılması için başlatılan özelleştirme uygulamaları sonucu kamu iktisadi kuruluşu TEK, iki ayrı şirkete ayrılmıştır. Bu şirketler Türkiye Elektrik Dağıtım Anonim Şirketi ve Türkiye Elektrik Üretim İletim Anonim Şirkettir. Fiili ayrılma ise 1994 yılında gerçekleşmiştir [33].

1.9.3. Elektrik Piyasalarında Serbestleşme Çalışmaları

21.01.2000 tarih ve 4501 sayılı Kanun kapsamında elektrik piyasasının uluslararası şebekeyle bütünleşmesine yönelik planlamalar yapılmıştır. Kullanılan elektrik mevzuatıyla Avrupa Birliği (AB) mevzuatı arasında olan farklılıklar giderilerek uyumlu hale getirilmesi ve buna göre elektrik piyasasını tekrar yapılandırma çalışmaları başlamıştır. Bununla birlikte, 2001 yılında devlet vasıtasıyla uygulamaya alınan “Ekonomik İstikrar ve Enflasyonla Mücadele Programı” ile TEAŞ’ın özelleştirilmesi için yeniden yapılandırılması öngörülmüştür. Programın ana amacı; elektrik enerjisi piyasasının yeniden yapılandırılması, serbest piyasa sisteminin oluşturulması, rekabet ortamının yaratılması, elektrik enerjisi kapsamındaki üretim, iletim, toptan satış ve dağıtım sektörleri için ayrı ayrı kamu şirketleri oluşturulması ve son olarak üretim ve dağıtım sektörleriyle ilgili kamu elektrik şirketlerinin özelleştirilmesidir. Bunun sonucunda; 2001 yılında TEAŞ üçe bölünerek üç ayrı kurum olarak yeniden yapılandırılmıştır [33],

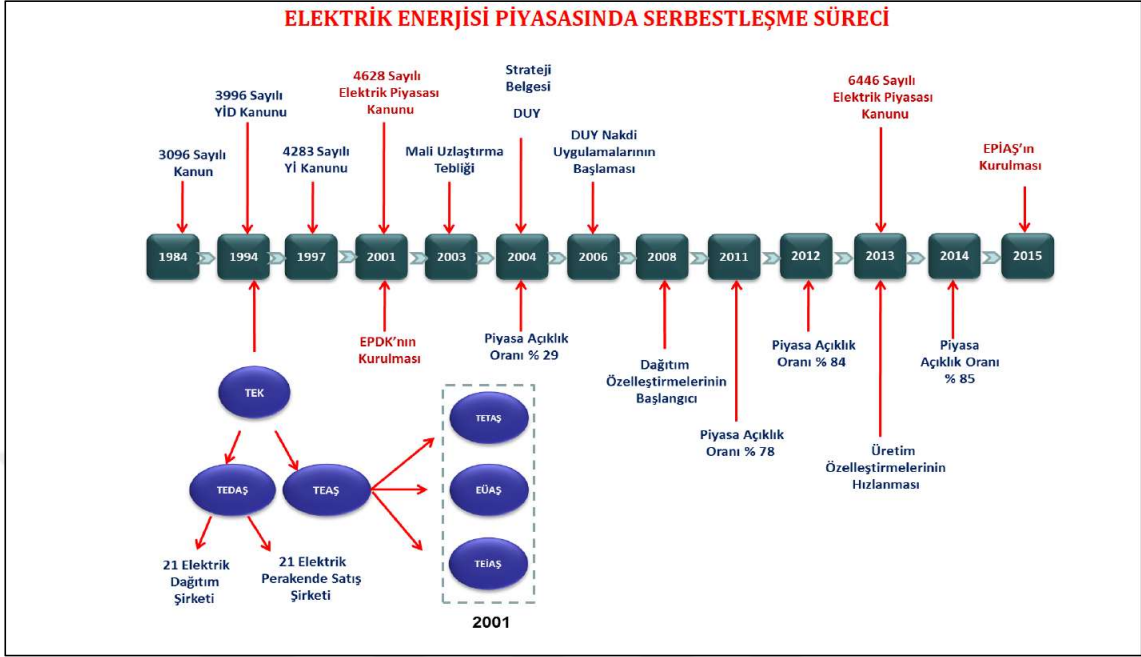
- 1- Elektrik iletimi, sistem işletme ve piyasa işletim faaliyetlerini yürütmek için;
Türkiye Elektrik İletim Anonim Şirketi (TEİAŞ),
- 2- Elektrik üretim faaliyetleri yürütmek için;
Elektrik Üretim Anonim Şirketi (EÜAŞ),

3- Kamu adına elektrik toptan satış faaliyetlerini yürütmek üzere Türkiye Elektrik Ticaret ve Taahhüt Anonim Şirketi (TETAŞ) kurulmuştur [33].

Enerji sektöründe serbest piyasanın oluşturulması kapsamında 2 Mart 2001 yılında yayınlanan 4628 Sayılı Elektrik Piyasası Kanunu ile elektriğin kesintisiz, kaliteli ve düşük maliyetli olarak kullanıcılara ulaştırılması için, rekabet ortamı oluşturularak özel hukuk hükümlerine tabii olan güçlü, istikrarlı ve şeffef bir elektrik enerji piyasasını oluşturulmasını sağlamak ve bu piyasasının bağımsız olarak düzenlenmesi ve denetlenmesi amaçlanmaktadır.

Bu kanun, elektrik üretimi, iletimi, dağıtımı, toptan satışı ve perakende satışı, perakende satış hizmeti, ithalat ve ihracatı ile bu faaliyetlerle ilişkili tüm gerçek ve tüzel kişilerin hak ve yükümlülüklerini, Elektrik Piyasası Düzenleme Kurumunun kurulması ile çalışma usul ve esaslarını ve elektrik üretim ve dağıtım varlıklarının özelleştirilmesinde izlenecek usulü kapsamıştır. Ülkemizde özellikle 2001 yılından itibaren, enerji sektöründe kapsamlı bir reform çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Yasal ve düzenleyici çerçeve ile piyasanın tüm fonksiyonları zaman içinde adım adım gelişmiştir. 2001 ile 2007 yılları arasında temel yasal ve düzenleyici düzenlemeler sayesinde piyasa yapısı büyük oranda değişirken aynı zamanda bazı geçiş sorunları ile de karşılaşmıştır. 2008 yılından itibaren reformlara hız verilmiş ve rekabetçi bir piyasa geliştirilmiştir [33].

TEDAŞ altında 21 dağıtım şirketi oluşturularak özelleştirilmesi gerçekleşmesi sonrası elektrik piyasalarında serbestleşme süreci 6446 sayılı Elektrik Piyasası Kanunu ile başladığını söyleyebiliriz. Bu kanunla toptan satış piyasasının oluşmasının önü açılarak Enerji Piyasaları İşletme Anonim Şirketi'nin (EPIAŞ) kurulması için çalışmaları başlatmıştır.



Şekil 4. Elektrik enerjisi piyasasında serbestleşme süreci

1.9.4. Dünya Elektrik Piyasasına Genel Bakış

Dünyadaki nüfus sayısındaki artış, şehirselleşme ve endüstrileşmeyle beraber birincil enerji kaynak tüketimi de giderek artmaktadır. Teknoloji, nüfus, sanayi ve refah seviyesinin yükselmesi elektrik tüketiminin artmasına sebep olan unsurların en önemlileri arasındadır. Enerji tüketiminin tahmin edilmesi için yapılan çalışmalarda, dünya nüfusunun 2040 yılında 9 milyara yükselmesiyle buna bağlı olarak yaklaşık 1,9 milyar insana daha fazla enerji kaynağının bulunması ve sağlanması gerektiği öngörülmektedir. [33].

Bugün dünyada ülkeden ülkeye tüketilen enerji çok farklılık göstermekle beraber, çok farklı enerji kaynaklarından elde edilirken; bu kaynakların yaklaşık %81'ni petrol, doğal gaz ve kömür gibi fosil kaynaklar sağlanmaktadır.

Uluslararası Enerji Ajansı tarafından hazırlanan projeksiyonlara göre yenilenebilir enerji kaynaklarına yapılan yatırımlar sonucu üretimin artmasına rağmen 2040 yılına kadar olan dönemde kömür ve petrolün paylarının nispeten azalmasına rağmen fosil yakıtlar günümüzde olduğu gibi en çok kullanılan kaynaklar olmaya devam edileceği öngörülmektedir. Projeksiyonlar, enerji tüketimindeki artışın OECD üyesi olmayan ülkelerden kaynaklanacağını göstermektedir [33].

Enerji tüketimi, sektörel dağılımı bakımından değerlendirildiğinde, elektrik üretiminin dünya enerji ihtiyacının yaklaşık % 40'ını oluşturduğu görülmektedir. Petrol ise daha çok taşıma sektörü tarafından talep edilmektedir [33].

Dünyanın toplam elektrik üretimi 2016 yılında 24.816 TWh olarak gerçekleşmiş olup, bunun kaynaklara dağılımına bakıldığında kömür ve doğal gazın dünya genelinde elektrik üretiminde en yüksek paya sahip kaynak türleri olduğu görülmektedir [33].

Küresel elektrik üretiminin ülkelere dağılımına bakıldığında, en yüksek elektrik üretimine sahip beş ülkenin Çin, ABD, Hindistan, Rusya ve Japonya olduğu ve toplam üretimin yarısından fazlasını gerçekleştirdikleri görülmektedir [33].

Tablo 1. Dünya geneli 2016 yılı elektrik üretim değerleri

Sıralama	Ülkeler	Üretilen Enerji (TWh)	Dünya Toplamındaki Payı (%)
1	Çin	6142,5	24,8%
2	ABD	4350,8	17,5%
3	Hindistan	1400,8	5,6%
4	Rusya	1087,1	4,4%
5	Japonya	999,6	4,0%
6	Kanada	663,0	2,7%
7	Almanya	648,4	2,6%
8	Brezilya	581,7	2,3%
9	Fransa	553,4	2,2%
10	Güney Kore	551,2	2,2%
11	İngiltere	338,6	1,4%
12	Suudi Arabistan	330,5	1,3%
13	Meksika	314,8	1,3%
14	İtalya	286,3	1,2%
15	İran	286,0	1,2%
16	İspanya	274,4	1,1%
17	Türkiye	272,7	1,1%
18	Güney Afrika	272,7	1,1%
19	Tayvan	264,1	1,1%
20	Avustralya	256,9	1,0%
TOPLAM		19875,3	80,1%
TOPLAM DÜNYA		24816,4	100,0%

Dünya genelinde ülkelerin birincil enerji kaynak kullanımı ülkeden ülkeye farklılık göstermektedir. Kömür birincil enerji kaynağı ABD, Çin, Hindistan ve Almanya, Nükleer

enerji kaynağı Fransa, Doğalgaz enerji kaynağı Rusya ve Yenilenebilir enerji kaynağı Kanada da enerji üretiminde en fazla paya sahip olan birincil enerji kaynaklarıdır. [33].

1.9.5. Türkiye’de Elektrik Piyasası

Ülkemizin ekonomik büyümesiyle beraber enerji piyasasında devamlı gelişen ve büyüyen aktif bir sektör haline gelmiştir. Buna bağlı olarak da enerji piyasası dünyadaki diğer enerji piyasaları ile karşılaştırıldığında en hızlı büyüyen enerji piyasalarından bir olmuştur. Ülkemizde serbest piyasanın oluşması için yapılan özelleştirme çalışmaları enerji piyasası olarak dikkatleri üzerine çekmiştir.

4628 sayılı Elektrik Piyasası Kanununun yürürlüğe girmesiyle enerji piyasasında yapılanma süreci yasal zemine kavuşmuştur. 2001 yılında yürürlüğe giren bu kanunla enerji piyasanın serbestleşmesi için yapılan çalışmalar hız kazanmıştır.

Bu kanunla birlikte Elektrik Piyasası Düzenleme Kurumu kurularak piyasanın denetlenmesi ve düzenlenmesi sağlanmıştır. Bununla birlikte ilgili kanunla dağıtım ve üretim faaliyetleri özelleştirme kapsamına alınarak piyasanın önü açılmıştır. İletim faaliyetleri ise kamu mülkiyetinde bırakılarak piyasanın kontrolü amaçlanmıştır. Bu kanunla birlikte üretim, iletim, dağıtım, perakende satış, toptan satış, ihracat ve ithalat sektörleri oluşmuştur.

Bu sektörlerin oluşmasıyla belirli bir tüketim üzerindeki müşterilere “serbest tüketicisi” terimi oluşturularak enerji teminini istediği tedarikçiden seçme hakkı verilmiştir. Bununla birlikte hem üretim tarafında hemde tüketim tarafında rekabete dayalı bir piyasa amaçlanmıştır.

Piyasanın oluşması için ülkemizde bu faaliyetler dikey olarak ayrıştırılarak serbestleşmeyle beraber özel sektöründe piyasaya girerek yatırımların artması sağlanmıştır. Bu yatırımların sağlanması Yap İşlet (Yİ), Yap İşlet Devret (YİD), İşletme Hakkı Devir (İHD) modelleri oluşturulmuştur. Bu modellerin desteklenmesi için alım garantisi ve fiziki teslimat TETAŞ tarafından sağlanmıştır. Devamında dağıtım şirketleri ile TETAŞ ve EÜAŞ arasında geçiş dönemi sözleşmeleri oluşturulmuş ama üretim özelleştirmeleri bu geçiş dönemi sözleşmeleri bittikten sonra başlamıştır.

Elektrik piyasası için dönem noktası olan 6446 sayılı Elektrik Piyasası Kanununun çıkmasıdır. Bu kanunla birlikte elektrik sektöründeki hızlı değişim ve gelişmelere cevap

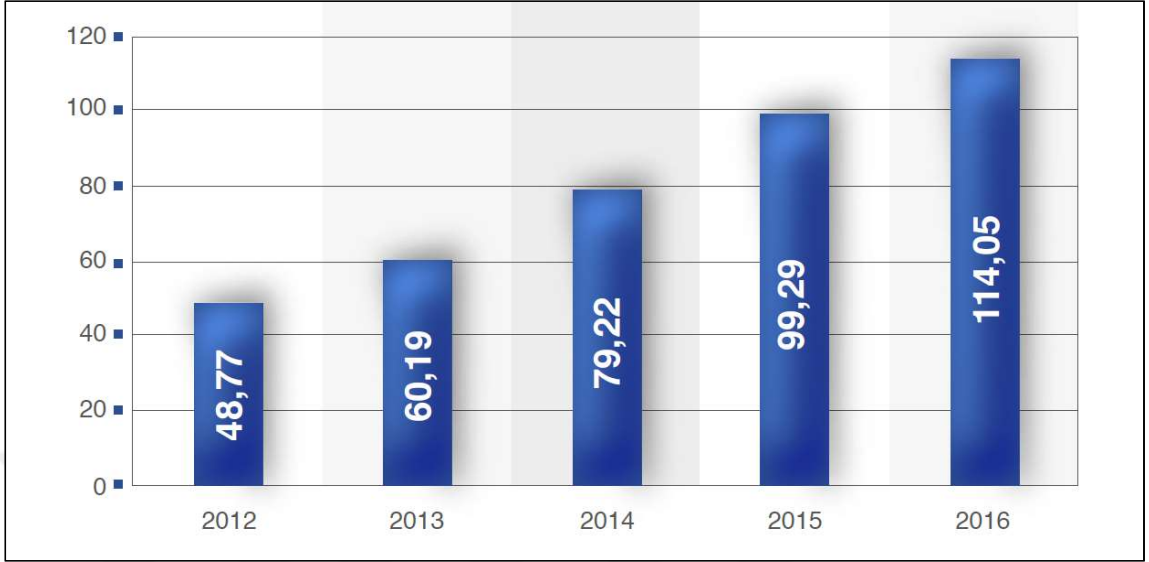
verilebilmesi sağlanmıştır. İlgili mevzuatlar yayınlanarak elektrik piyasası yeni bir döneme girmiştir.

Bu kanunla birlikte piyasa faaliyetleri belirlenerek bu faaliyetlerin yürütmesi için gerekli olan lisans türleride belirlenmiştir. Piyasa faaliyetleri olarak iletim, üretim, toptan satış, dağıtım, ithalat, piyasa işletim, ihracat, perakende satış'ı verebiliriz. Bu faaliyetlere ilişkin lisans türleri ise dağıtım lisansı, iletim lisansı, tedarik lisansı, piyasa işletim lisansı olarak verebiliriz. Yapılan yeni değişiklikle perakende satış şirketi ve toptan satış şirketi yerine tedarik şirketi kavramı oluşturulmuştur.

Bu kanunla birlikte üretim şirketlerinin özelleşmesiyle birlikte kullanıcıların toplam kapasitede oranı %20 ile sınırlandırılmıştır. Bununla daha aktif bir toptan satış piyasasının önünü açmak hedeflenmiştir. Dağıtım özelleştirmelerininde tamamlanması etkin bir toptan satış piyasasının oluşturulması için EPIAŞ kurulmasının alt yapısı hazırlanmıştır. Serbest tüketici limitlerinin düşürülmesiyle katılımcıların elektrik piyasasına girmesi sağlanarak rekabete dayalı aktif bir elektrik piyasası oluşturulmuştur. Son olarak “Organize Toptan Elektrik Piyasaları” EPIAŞ kurulmasıyla gün öncesi piyasası, gün içi piyasası ve dengeleme güç piyasası oluşturularak piyasaların işlevsel hale gelmesi sağlanmıştır.

1.9.6. Piyasa Verileri

2012 ile 2016 yılları arası GÖP satış yönündeki eşleşme miktarları yıllar itibariyle sürekli artış göstermektedir. 2016 yılı ile 2015 yılını kıyasladığımızda eşleşme miktarı %14,90 artarak 114,05 TWh olarak gerçekleşmiştir.

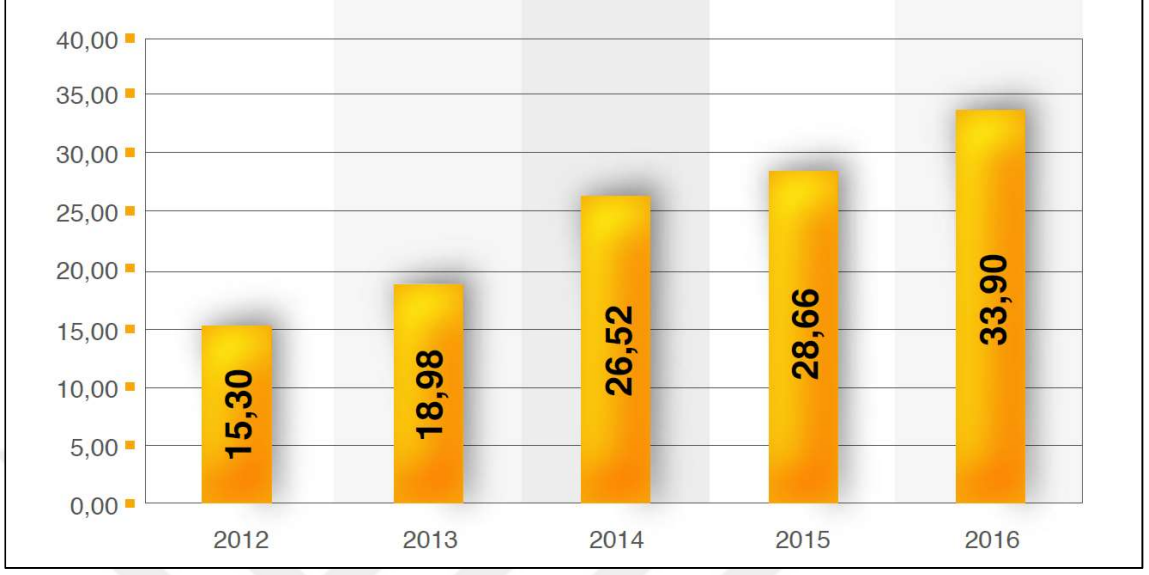


Şekil 5. Gün Öncesi Piyasasında Yıllık Eşleşme Miktarı (TWh) [34]

Eşleşme miktarı Gün Öncesi Piyasası satış miktarlarının toplamını ifade etmektedir. 2015 yılı ile 2016 yılını kıyasladığımızda ortalama piyasa takas fiyatı 2,59 TL/MWh artışla 140,60 TL/MWh çıkmıştır.



Şekil 6. GÖP yıllık ortalama piyasa takas fiyatı (TL/MWh) [34]



Şekil 7. GÖP yıllık işlem hacmi (Milyar TL) [34]

2015 yılına göre 2016 yılında işlem hacmi %18,29 artarak 33,90 milyar TL olarak gerçekleşmiştir. Aralık 2016 itibarıyla EPIAŞ'a kayıtlı santral yakıt tipi bazında kurulu güç (MW) ve işletmedeki güç (MW) değerleri aşağıdaki tabloda yer almaktadır.

Tablo 2. 2016 yılı itibariyle birincil kaynak bazlı kurulu güçler [34]

Enerjinin Elde Edildiği Kaynak	Santral Yakıt Tipi	Santral Toplam Kurulu Güç (MW)	Santral Toplam İşletmedeki Güç (MW)
Diğer	Diğer	501,36	496,76
Güneş	Güneş	12,90	12,90
Hidrolik	Baraj	17.744,23	17.656,55
	Göl Tipi	654,09	654,09
	Kanal Tipi	6.936,74	6.819,62
	Nehir Tipi	261,08	261,08
	Rezervuarlı	1.348,11	1.264,57
Jeotermal	Jeotermal	896,15	820,76
Rüzgar	Rüzgar	5.992,34	5.772,56
Termik	Biogaz	85,99	81,93
	Biokütle	193,24	186,85
	Biokütleden Elde Edilen Gaz (LFG-Çöp Gazı)	49,40	44,18
	Doğal Gaz	25.808,21	23.931,55
	Fuel Oil	1.199,75	1.160,01
	LPG	14,15	14,15
	Linyit	8.283,12	8.283,12
	Motorin	195,00	195,00
	Nafta	16,88	16,88
	Taş Kömürü	1.427,18	1.427,18
	İthal Kömür	7.081,00	7.063,60
TOPLAM		78.700,92	76.163,34

1.10. Gün Öncesi Piyasası

1.10.1. Genel Esaslar

- Gün Öncesi Piyasası Katılım Antlaşması'nı imzalayan tüm piyasa katılımcıları Gün Öncesi Piyasasına katılabilirler. [35].

- Gün Öncesi Piyasası işlemleri günün 00:00'dan başlayıp, ertesi gün 00:00'da biten zaman aralığından meydana gelir [35].
- Teklifler 5 gün ilerisine kadar verilebilmektedir [35].
- Uzlaştırma hesaplarında fiyat ve miktarlar ikilisi günlük ve saatlik bazda belirlenir [35].

Süreçler

- Piyasa teklifleri piyasa katılımcıları tarafından her gün saat 12:30 kadar GÖP aracılığı ile Piyasa İşletmecisine bildirilir [35].
- Bildirilen teklifler hergün saat 12:30 ile 13:00 arasında Piyasa İşletmecisi tarafından değerlendirilerek doğrulanır [35].
- Doğrulan teklifler saat 13:00 ile 13:30 arasında optimizasyon aracı ile en uygun piyasa takas fiyatı ve miktarı belirlenir [35].
- Onaylanmış tekliflerin ticari işlem onayları saat 13:30'da piyasa katılımcılarına bildirilir [35].
- Değerlendirmeler tamamlanmasında sonra saat 14:00'da bir sonraki gün için 24 saatlik fiyat ve miktar eşleşmeleri kesin olarak duyurulur [35].
- Saat 00:00 ile 17:00 arasında piyasa katılımcıları yapmış oldukları ikili anlaşmaları sisteme girilir [35].

Teklifler

- Piyasa katılımcıları teklifleri saatlik, esnek ve blok olmak üzere üç farklı şekilde verilebilir [35].
- Piyasa katılımcıları tarafından verilen teklifler fiyat ve miktar bilgilerinden oluşmaktadır. Teklifler yüzde birlik hassasiyette, Türk Lirası cinsinden ve en az 0,1 MWh eşdeğerinde 1 Lot cinsinden tam sayı olarak bildirilir.
- Piyasa katılımcıları teklifleri satış ya da alış yönünde verebilir. Satış yapılması durumunda miktar önünde eksi “-“ işareti bulunmaktadır.
- Piyasa işletmecisi tarafından asgari ve azami fiyat limitleri değişmekle beraber asgari teklif 0 TL/MWh, azami teklif fiyatı sınırı 2000 TL/MWh olarak belirlenmiştir [35].
- LOT cinsinden teklif sınırları Piyasa İşletmecisi tarafından asgari 0 LOT, azami teklif miktar sınırı ise ± 100.000 LOT olarak belirlenmiştir [35].

1.10.2. Saatlik Teklif

- Saatlik teklifler alış ve satış yönünde 32 adet olmak üzere en fazla 64 farklı teklif içerebilir [35].
- Teklifler verilirken fiyatlar artarak yazılır [35].
- Hem satış hemde alış yönünde aynı fiyat seviyesinde teklif bulunmaz [35].
- Fiyat hesaplanması için oluşturulan Arz-Talep eğrisi iki fiyat ve miktar arasındaki boşluklar doğrusal interpolasyon metodu ile birleştirilir [35].

1.10.3. Blok Teklif

- Belirli bir zaman dilimi için fiyat, miktar ve kapsadığı zaman bilgilerini içerirler [35].
- Blok tekliflerin zaman aralığı en az 4 en fazla 24 saati kapsar [35].
- Blok teklif saatleri ardışık saatler için verilebilir [35].
- Blok teklifler parçalanamaz [35].
- Blok teklifler ya kabul edilir yada kabul edilmez [35].
- En fazla verilebilen blok teklif sınırı 50 adettir [35].
- Blok teklifler arasında en fazla 3 blok teklif arasında bağlantı kurulabilir [35].

1.10.4. Esnek Teklif

- Esnek teklifler; her saat için geçerli miktar ve fiyat verilerinden oluşurlar [35].
- Esnek teklifler ile sadece satış için verilir [35].
- Esnek teklifler saatten bağımsız verilir [35].
- En fazla verilebilen esnek teklif sınırı en fazla 10 adettir [35].

1.10.5. İkili Anlaşma

- İkili anlaşmalar 24 saatlik bilgilerin girilmesi ile oluşur [35].
- Teklif verilirken alış yönünde veriler pozitif, satış yönünde ise negatif verilerden oluşur [35].
- İkili anlaşma kapsamında girilen değerler birbirinin simetridir. Bir piyasa katılımcısı satış yaparken diğerkatılımcı alış yapmaktadır. [35].

- Alış ve satış yapan piyasa katılımcıları aynı değeri girerse anlaşma geçerli sayılır.
- Piyasa katılımcıları 60 güne kadar ikili anlaşmaları sistem aracılığıyla bildirebilir [35].

Bu bölümde, Türkiye gün öncesi elektrik piyasasındaki teklif türleri ve yapıları aktarılacaktır. Piyasada verilebilecek geçerli bir teklif, ilgili mevzuat tarafından belirlenmiş özellik ve kısıtları sağlamak zorundadır [35].

Mevcut piyasada saatlik, blok ve esnek olmak üzere üç farklı teklif tipi vardır. Her teklif, en az bir fiyat-miktar ikilisinden oluşmaktadır. Fiyat-miktar ikilileri alış ya da satış olmak üzere iki farklı yönde verilebilir. Eğer verilen miktar negatif ise bu ikili satış yönünde, pozitif ise alış yönündedir. f 'nin fiyat, m 'nin miktarı temsil ettiği bir ikiliyi veren katılımcı, m miktarı almak/satmak için en fazla/az f birim fiyatı (₺ / MWh) verdiğini belirtir. Miktarlar lot biriminde verilir ve bir lot 0.1 MWh eşittir [35].

Saatlik Teklifler: Bu teklif türünde teklif veren katılımcılar, elektriği almak ya da satmak için bir sonraki günün saatleri için fiyat-miktar ikililerini (kırılım noktası) teklif ederler [35].

Satış yönündeki fiyat kırılımlarının miktarları negatif olarak verilir. Piyasa oyuncuları ekonominin doğası gereği malı düşük fiyatlarda almak, yüksek fiyatlarda ise satmak isterler. Bu yüzden, saatlik tekliflerde fiyat kırılımları artarken karşılık gelen miktarlar azalmalıdır (yani alış miktarı azalıp, satış miktarının mutlak değeri artmalıdır). Tablo 3, 4 ve 5'te saatlik teklif örnekleri verilmektedir [35].

Tablo 3'de, teklifin geçerli olduğu periyot için PTF ne olursa olsun 100 lot alacağını bildiren bir katılımcının saatlik teklif örneği gösterilir. Bu tür tekliflere fiyattan bağımsız saatlik teklif denir [35].

Tablo 3. Katılımcı 1'in saatlik teklifi

Fiyat (TL/MWh)	0	2000
Miktor (lot)	100	100

Saatlik teklif veren bir katılımcı, teklifin geçerli olduğu periyotta PTF minimum limitte ise bu fiyat kırılımı için teklif ettiği satış miktarından (eğer varsa) daha az miktarda satış yapabileceğini, PTF maksimum limitte ise bu fiyat kırılımı için teklif ettiği alış miktarından (eğer varsa) daha az miktarda alış yapabileceğini söyler. Örneğin, Tablo 3.'deki

katılımcı 1, ilgili periyottaki PTF 2000 ₺/MWh çıkarsa 100 lottan daha az alabileceğini ifade eder [35].

Tablo 4’de ise altı fiyat seviyeli bir teklif bulunmaktadır. Bu tabloda katılımcı, teklifin geçerli olduğu periyotta açıklanan birim fiyat 250 ₺ veya bunun altında bir değer olduğunda alış yapacağını, bunun üzerinde olduğu zamanda ise satış yapacağını bildirir [35].

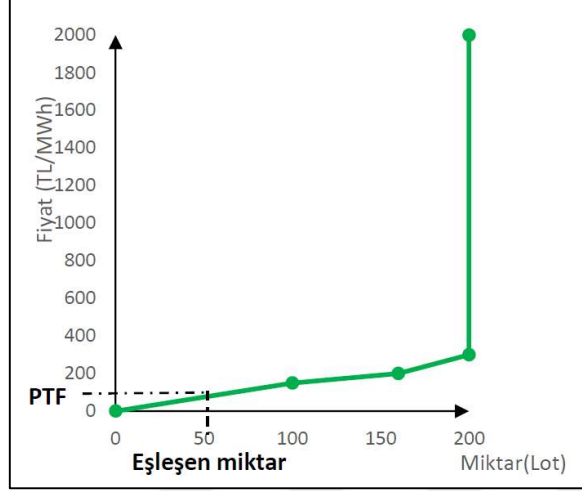
Tablo 4. Katılımcı 2'in saatlik teklifi

Fiyat (TL/MWh)	0	100	200	250	300	2000
Miktor (lot)	100	100	50	0	-50	-100

Tablo 5. Katılımcı 3'in saatlik teklifi

Fiyat (TL/MWh)	0	150	200	300	2000
Miktor (lot)	0	-100	-160	-200	-200

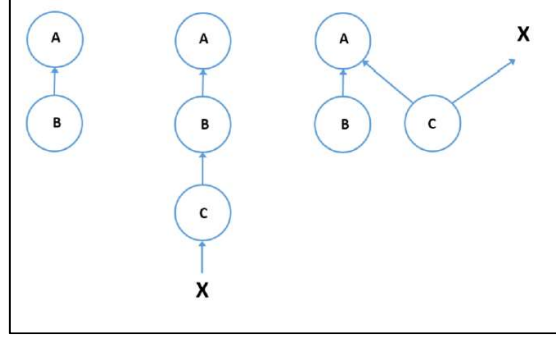
Tablo 5’te beş fiyat seviyeli saatlik satış teklifi gösterilmektedir. Saatlik teklif, fiyat miktar ikililerinin verildiği bir küme olmasına rağmen, kırılım noktaları arasının doğrusal interpolasyon ile doldurulmasına izin verir. Bunun sonucunda parçalı doğrusal bir fonksiyon oluşur. Bir saatlik teklif için eşleşme miktarı da, bu parçalı doğrusal fonksiyon üzerinde PTF’ye karşılık gelen miktar olarak belirlenir. Şekil 8’de katılımcı 3’ün arz eğrisi gösterilmektedir. Bu grafiğe bakıldığında, PTF 75 ₺/MWh olduğu zaman eşleşme miktarı bu katılımcı için 50 *lot* olarak bulunur [35].



Şekil 8. Katılımcı 3' ün parçalı doğrusal arz eğrisi

Blok teklifler: Blok teklifler, saatlik tekliflerin ardından piyasadaki ikinci en yaygın teklif çeşididir. Blok teklifler, belirli bir zaman aralığında bölünemeyen ardışık saatlik teklifler gibi düşünülebilir. Fakat bu tekliflerde, geçerli olduğu bu zaman diliminde sadece bir adet fiyat miktar ikilisi vardır. Bu durumda, teklif edilen fiyat o miktarın tamamını almak/satmak koşulu ile verilmektedir. Miktar ve fiyat bilgisine ilave olarak, bir sonraki gün için elektrik ticareti yapmak istenilen ardışık saatlerin sayısı da belirtilir. Blok teklifler aktif olduğu zaman dilimi için ya hepsi kabul edilir ya da reddedilir [35].

Blok tekliflerin bir çeşidi olan bağlı blok teklifler de gün öncesi piyasasında kullanılan bir teklif tipidir. Eğer bir blok teklif başka bir blok teklife bağlanmış ise, bağlı olan blok teklif çocuk teklif, bağlı olunan blok teklif ise anne teklif olarak adlandırılır. Buna göre, anne teklif kabul edilmediği durumda çocuk blok teklif de kabul edilmez. Bu blok teklif tipinde en fazla 3 adet blok teklif birbirine bağlanabilir. Ayrıca bağlı blok teklifler döngü oluşturacak şekilde bağlı olamaz. Yani, A blok teklifi B blok teklifine bağlanmışsa, B blok teklifi A blok teklifine bağlanamaz. Bununla birlikte, birbirlerine bağlı blok teklifler aynı yönlü (satış ya da alış) olmalıdır. Şekil 9'de, piyasaya verilebilecek 3 alternatif bağlı blok teklif kümesi gösterilmektedir [35].



Şekil 9. Olası bağlı blok teklif kümeleri

Tablo 6' da iki adet blok teklif vardır. A anne blok teklifi, B ise çocuk blok teklifi ifade eder. Bu durumda, B blok teklifinin kabul edilebilmesi için A blok teklifin de kabul edilmiş olması gerekir [35].

Tablo 6. Bağlı blok teklif örneği

Blok Teklif	Süre	Fiyat (TL/MWh)	Miktar (lot)	Bağlı Blok
A	1-5	150	-150	-
B	3-9	10	-100	A

Esnek teklifler: Esnek tekliflerde belirli bir zaman dilimi belirtmeksizin sadece fiyat ve miktar bilgileri vardır. Esnek teklifler, belirli bir zaman ya da zaman diliminden bağımsız verilmekte olup günün herhangi bir saatinde kabul edilebilir. Mevcut piyasada sadece satış yönünde verilebilmektedir. Esnek teklifler ya tamamen kabul edilir ya da tamamen reddedilir. Teklifin kabul edildiği saat en yüksek PTF'nin olduğu saat olmak zorunda değildir ancak teklif fiyatı en yüksek PTF'nin altında ise teklif uygun bir saat için kabul edilir [35].

2. ELEKTRİK ENERJİSİ GÖRÜNÜMÜ

Ülkemizdeki elektrik enerjisi verileri incelendiğinde 2016 yılı elektrik üretimi 273,39 milyar kWh, tüketim ise 278,35 milyar kWh değerlerine ulaşmıştır. Ülkemizdeki ekonomik büyümenin etkisiyle elektrik tüketimin yıllık artışı son 14 yıllık periyotta ortalama %5,5 düzeyine ulaşmıştır. 2002 yılından 2016 yılına elektrik tüketim miktarı yaklaşık 2 kat artarak 278,35 milyar kWh olmuştur. Elektrik tüketimindeki artış ise 2013 ve 2016 yılı arasında %1,6, %4,4, %3,3 ve %4,75 olarak gerçekleşmiştir. [36](Tablo 7).

Tablo 7. Yıllar itibariyle üretim ve tüketim değerleri (GWh) [37]

YIL	ÜRETİM	İTHALAT	İHRACAT	TÜKETİM	Üretim Artış Oranı	Tüketim Artış Oranı
2002	129.400	3.588	435	132.553	5,40%	4,50%
2003	140.581	1.158	588	141.151	8,60%	6,50%
2004	150.698	464	1.144	150.018	7,20%	6,30%
2005	161.956	636	1.798	160.794	7,50%	7,20%
2006	176.300	573	2.236	174.637	8,90%	8,60%
2007	191.558	864	2.422	190.000	8,70%	8,80%
2008	198.418	789	1.122	198.085	3,60%	4,30%
2009	194.813	812	1.546	194.079	-1,80%	-2,00%
2010	211.208	1.144	1.918	210.434	8,40%	8,40%
2011	229.395	4.556	3.645	230.306	8,60%	9,40%
2012	239.497	5.826	2.954	242.370	4,40%	5,20%
2013	240.154	7.429	1.227	246.357	0,30%	1,60%
2014	251.963	7.953	2.696	257.220	4,90%	4,40%
2015	261.783	7.135	3.194	265.724	3,90%	3,30%
2016	273.388	6.400	1.442	278.346	4,43%	4,75%

2016 yılı için kaynak bazlı üretim değerleri bakacak olursak termik santrallerden 184.867 GWh, hidrolik santrallerden 67.274 GWh, yenilenebilir enerji kaynaklarından ise 21.246 GWh elektrik enerjisi sağlanmıştır. 2009 yılı sonrası yenilenebilir enerji kaynaklarına yatırımın artmasıyla birlikte dikkate değer oranlarda elektrik üretiminde artışlar olmuştur. Yenilenebilir kaynaklarından elde edilen elektrik enerjisi miktarı 2002 yılında 153 GWh iken 2016 yılında 21.246 GWh seviyelerine ulaşmıştır. 2002 ve 2016 yıllarına ait üretimdeki artış miktarı genel olarak %7-8 seviyelerinde seyretmiştir. 2002 yılında; hidrolik santrallerden ürettiğimiz elektrik enerjisi miktarı 33.684 GWh olurken bu rakam 2016 yılı sonu itibarıyla 67.274 GWh'e çıkmıştır. [36]

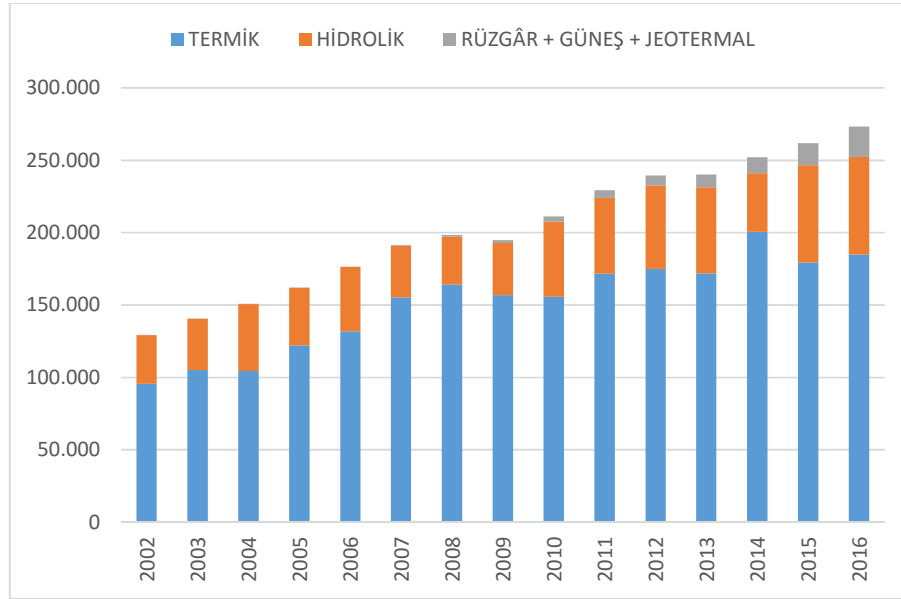
Tablo 8. Yıllar itibariyle birincil enerji kaynağına göre üretim değerleri (GWh)

YIL	TERMİK	HİDROLİK	RÜZGÂR + GÜNEŞ + JEOTERMAL	TOPLAM	ARTIŞ (%)
2002	95.563	33.684	153	129.400	5,40%
2003	105.101	35.330	150	140.581	8,60%
2004	104.464	46.084	151	150.698	7,20%
2005	122.242	39.561	153	161.956	7,50%
2006	131.835	44.244	221	176.300	8,90%
2007	155.196	35.851	511	191.558	8,70%
2008	164.139	33.270	1.009	198.418	3,60%
2009	156.923	35.958	1.931	194.813	-1,80%
2010	155.828	51.796	3.585	211.208	8,40%
2011	171.638	52.339	5.418	229.395	8,60%
2012	174.872	57.865	6.760	239.497	4,40%
2013	171.812	59.420	8.921	240.154	0,30%
2014	200.417	40.645	10.901	251.963	4,90%
2015	179.366	67.146	15.271	261.783	3,90%
2016	184.867	67.274	21.246	273.388	4,43%

2016 yılı sonu itibariyle toplam 273.388 GWh olan üretimin termik santrallerinden %67,62, hidrolik santrallerden %24,61 ve yenilenebilir enerji kaynaklarından ise %7,7'si sağlanmıştır. Diğer yenilenebilir enerji kaynakları 2002-2016 yılları elektrik üretime katkısı %0,1'den %7,77 seviyelerine çıkmıştır. Hidrolik ve termik birincil enerji kaynaklı elektrik üretim miktarları ise yıllar itibariyle fazla bir değişkenlik göstermemiştir. [36].

Tablo 9. Yıllar itibariyle üretim ve tüketim değerleri

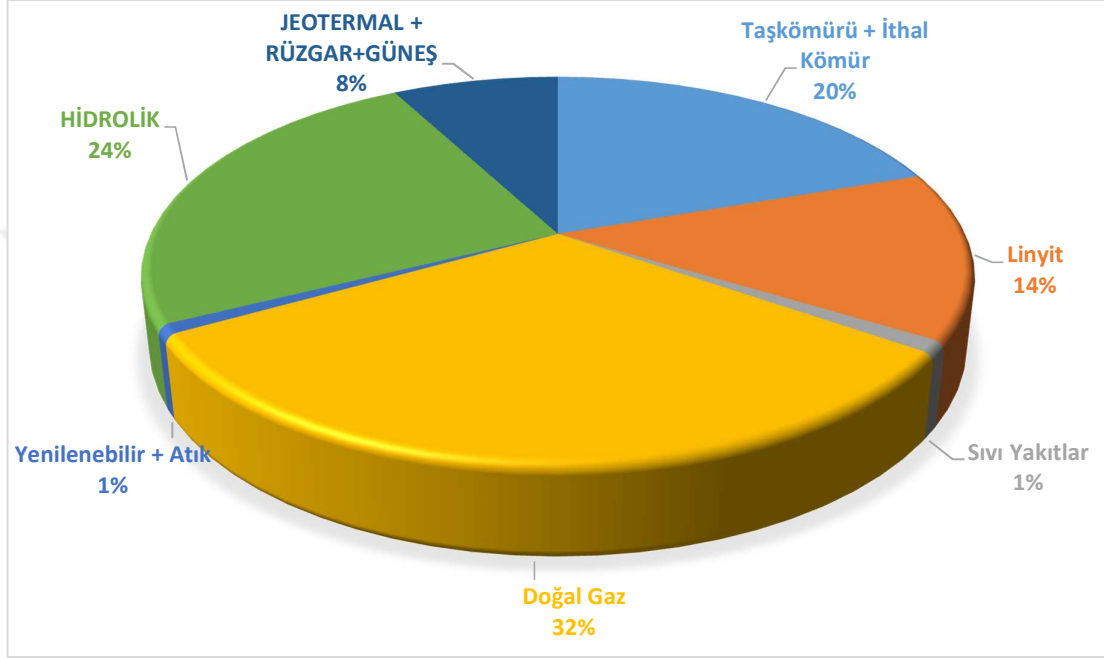
YIL	TERMİK	HİDROLİK	RÜZGAR + GÜNEŞ + JEOTERMAL
2002	73,90%	26,00%	0,10%
2003	74,80%	25,10%	0,10%
2004	69,30%	30,60%	0,10%
2005	75,50%	24,40%	0,10%
2006	74,80%	25,10%	0,10%
2007	81,00%	18,70%	0,30%
2008	82,70%	16,80%	0,50%
2009	80,60%	18,50%	1,00%
2010	73,80%	24,50%	1,70%
2011	74,80%	22,80%	2,40%
2012	73,00%	24,20%	2,80%
2013	71,50%	24,70%	3,70%
2014	79,50%	16,10%	4,30%
2015	68,50%	25,70%	5,80%
2016	67,62%	24,61%	7,77%



Şekil 10. Yıllar itibariyle birincil enerji kaynağı değerleri (GWh)

Türkiye elektrik enerjisi üretiminin birincil enerji kaynaklarına göre oranları incelediğimizde, bu oran içinde en büyük paya sahip olan termik santrallerdir. Bunu hidrolik

ve diğer yenilenebilir enerji kaynakları takip etmektedir. Termik santralleri kendi için ayıştırdığımızda ise %67,62 oranın %34 payı taşkömürü ve ithal kömür kaynaklı santraller, %32 oranı ise doğal gaz ve LNG kaynaklı santrallerinden gelmektedir. [36] [34].



Şekil 11. 2016 yılı birincil enerji kaynağı üretim oranları

3. YAPAY SİNİR AĞLARINA GİRİŞ

3.1. Yapay Sinir Ağları

Yapay sinir ağları, insan beyninden ilham alınarak geliştirilmiş, seviyelerini gösteren ağırlıklı bağlantılar aracılığıyla birbirlerine bağlanan ve her biri kendi hafızasına sahip işlem elemanlarından meydana gelen paralel ve dağıtılmış bilgi işleme yapılarıdır. Yapay sinir ağları, diğer bir ifade ile biyolojik sinir ağlarını taklit eden yazılımsal programlardır [38]. Araştırmacıların ilgisi son zamanlarda beynin çalışmasıyla ilgili modellemelerin geliştirilmesi ve gerçek bir benzerinin tasarlanması yönüne kaymaktadır. Yapay sinir ağları olarak adlandırılan bu modeller canlı organizmalarda bulunan biyolojik sinir yapısı örnek alınarak yapılmıştır. Biyolojik sinir ağları ile yapay sinir ağları arasında benzerlik oldukça zayıf ve yapı ve kapasite bakımından oldukça zıtlık da vardır. Beyin fonksiyonları hakkında sınırlı bilgiye sahip olunması nedeniyle hiçbir model insan beyninin işlevini tam olarak taklit edememektedir. Ancak yapay sinir ağları biyolojik öğrenmeyi temel alan sinir sistemine benzer bir yapıya sahiptir. Yapay sinir ağları alanında ilk modern çalışmalar McCulloch ve W. Pitts ile başlar. Yapay sinir ağları beynin nöron sistemini taklit ederek, beynin bazı işlevlerini yerine getirmeye çalışan bir sistemdir. Yapay sinir ağları özellikle öğrenme üzerinde odaklanmıştır ve lineer olmayan sistemlerde veya sisteme ait bilginin tam olmadığı, hatalı olduğu sistemlerde çözüme ulaşmak için uygundur. YSA'ların en önemli dezavantajları ise sistemin analiz edilememesi ve öğrenmede başarısız olunmasıdır. YSA kullanım alanları, kontrol, sistem tanıma, görüntü ve ses tanıma, arıza analizi, tıp, kestirim ve tahmin ... olarak sayılabilir.

YSA, nöronların birbirleri ile ağırlıklar vasıtası ile farklı biçimlerde birbirine bağlanmasıyla oluşmaktadır. Ağ ayrıca bu nöron bağlantılarının oluşturduğu katmanlar şeklinde oluşur. Beynin öğrenme sürecine uygun olarak YSA, bir öğrenme algoritması eşliğinde kendisine sunulan veriyi derleme, bu verilerden bir sonuç çıkarma, öğrenmiş olduğu bu sonucu nöronlar arasındaki ağırlıklar vasıtası ile güncelleyerek saklama ve bunu tüm veri uzayı için genelleme yetisine sahip bir program olarak gösterilebilir.

3.2. Yapay Sinir Ağlarının Genel Özellikleri

Modellenen yapay sinir ağları kendi aralarında farklılık olsa bile yapay sinir ağlarının bazı benzer yanları bulunmaktadır. Bu benzerliklerinin bazıları aşağıda açıklanmıştır. [39] [40].

Doğrusal Olmama: Kullanılan aktivasyon fonksiyonuna bağlı olarak yapay sinir ağları doğrusal sonuç vermeyebilir. Çoğu karmaşık problemlerin doğrusal olmadığını kabul edersek çözüme kavuşmada bu özelliğin önemi büyüktür.

Bilginin Saklanması: Yapay sinir ağlarında nöronlar arası bilgi nöronları birbirine bağlayan bağlantılarda ölçülerek saklanmaktadır.

Örnekleri Kullanarak Öğrenme: Öğrenme işlevinin gerçekleşmesi için probleme ilişkin yapay sinir ağlarına uygun sayıda örnek veri uygulanmalıdır. Uygulanan bu verilerle problemle ilgili sonuç verme yeteneğine kavuşabilir.

Nümerik Bilgi İle Çalışma: Yapay sinir ağlarının kullanılabilmesi için sayısal veri ihtiyacı vardır. Sayısal olmayan veriler sayısal değerlere çevrilerek ağa uygulanmalıdır.

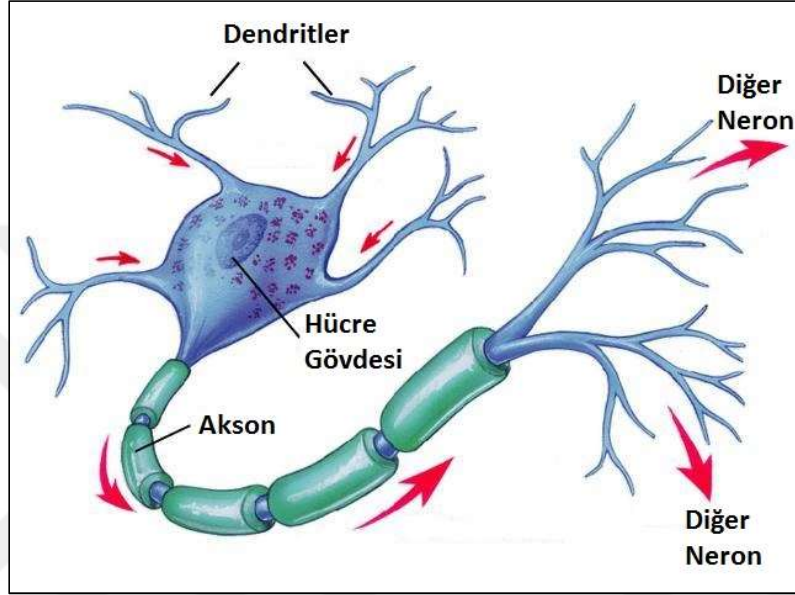
Bu maddelerde belirtilenler dışında yapay sinir ağlarının tahminleme, örüntü oluşturma ve ilişkilendirme, eksik bilgi ile çalışabilme ve hata toleransına sahip olma gibi başka özellikleri de vardır.

3.3. Biyolojik Sinir Hücresi Yapısı

Yapay sinir ağlarının modellenmesinin yapılabilmesi için gerçek biyolojik sinir ağının çalışması, yapısı ve özelliklerinin iyi bilinmesi gerekmektedir. İnsan beyni en temel özellikleri olarak geçmiş olayları hatırlayabilmesi, olayları kıyaslayabilmesi, düşünebilmesi gibi işlemleri sağlayan kendine özgü sinir hücrelerinden meydana gelen yapılardır. Bir insan beyninde yaklaşık 10^{11} adet sinir hücresi bulunmaktadır. Bu her bir biyolojik sinir hücresini diğer sinir hücresine bağlayan 10000 civarı bağlantı bulunmaktadır ve bu bağlantılarla uyarılar almaktadır. Şekil 12’de basitleştirilmiş bir beyin sinir hücresi ve bileşenleri gösterilmektedir.

Yapay sinir ağlarının daha iyi anlaşılması için örnek teşkil eden doğal sinir ağı olan biyolojik sinir ağlarının yapısının ve çalışma ilkelerinin iyi bilinmesi gerekmektedir. İnsan beyninin en temel parçası, hatırlama, düşünme, her harekete önceki deneyimlere başvurma yeteneğini sağlayan kendine özgü sinir hücreleridir. İnsan beyninde yaklaşık 10^{11} sinir

hücresi vadır. Her bir boyolojik sinir hücresinin yaklaşık 10.000 kadar komşu bağlantısı vardır ve bu sinirlerden uyarı alır [38]. Şekil 12’de basitleştirilmiş bir beyin sinir hücresi ve bileşenleri gösterilmektedir.



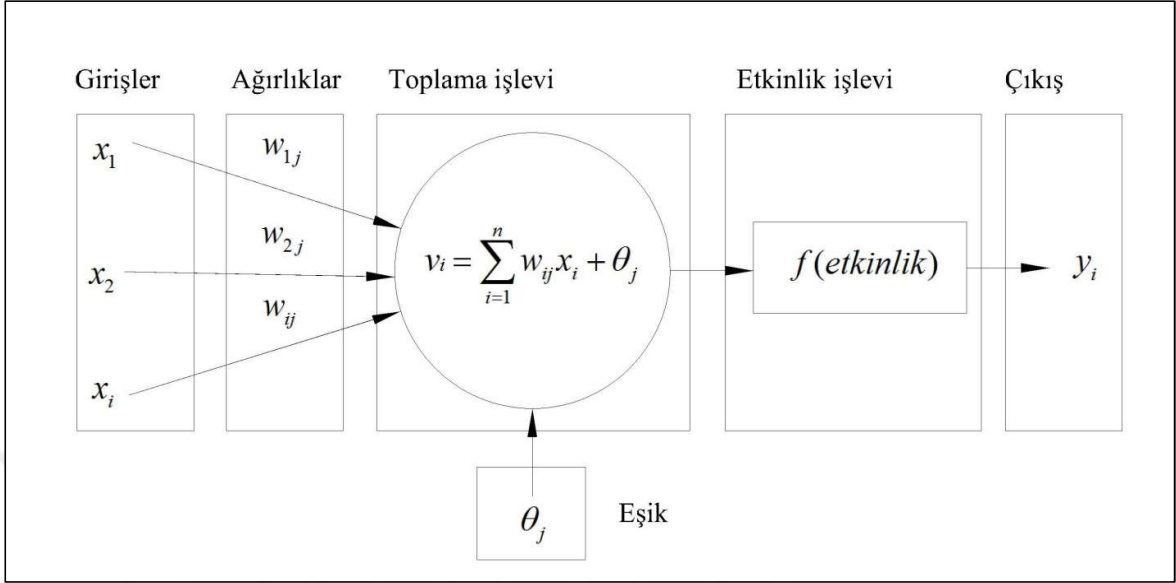
Şekil 12. Biyolojik bir sinir hücresi

Örnek aldığımız sinir hücreleri kabaca çok sayıda dendriti ve tek bir aksonu bulunmaktadır. Bununla birlikte tüm doğal sinir hücreleri 4 bileşenden oluşmaktadır. Bunlar sırasıyla, dendritler, soma, akson ve sinaps’tır. Temel olarak biyolojik sinir hücresinde, dendritler vasıtasıyla kaynaklardan girişleri alır, soma (hücre gövdesi) girişleri doğrusal olmayan bir şekilde işler ve değerlendirme yapılarak bir çıkış darbesi üretilip üretilmeyeceğine karar verir. Bir çıkış impuls’ı üretilmiş ise akson ile işlenmiş olan veriyi çıkışa aktarır. Diğer sinirlere bağlantı sağlayan sinaps vasıtasıyla çıkış gönderir.

3.4. Yapay Sinir Hücresinin Modellenmesi

Yapay sinir ağları, birbirine bağlı çok sayıda işlem elemanlarından oluşan paralel çalışan yapılar olarak ifade edilmektedir. Yapay sinir ağlarındaki işlem elemanları basit sinirlerdir. Yapay sinir ağı birbirine bağlı çok sayıda düğümlerden oluşmaktadır.

Matematiksel anlamda kullanılan yapay bir sinir modeli ise Şekil 13’de gösterilmektedir:



Şekil 13. Matematiksel yapay sinir modeli

Bir yapay sinir ağının temel yapısını düğüm olarak ifade edilen işlem elemanından meydana gelmektedir. Biyolojik sinir ağının 4 temel işlevini taklit ederler. Bu temel yapay sinir ağı ile biyolojik sinir ağına göre oldukça basit bir yapıya sahiptir. Yapay sinir ağının ana parçaları şu kısımlardan oluşmaktadır;

- Girişler
- Ağırlıklar
- Toplama İşlevi
- Aktivasyon Fonksiyonu ya da etkinlik işlevi
- Çıkış İşlevi

Girdiler: Yapay sinir hücresine gelen girdiler (x_1, x_2, \dots, x_n) ağı öğrenmesi istenen örnekler tarafından belirlenir. Giriş bilgileri, dış ortamdan girilen veriler veya kendinden önceki hücrelerden veya kendi kendisinden de gelen veriler olabilir.

Ağırlıklar: Giriş ile sinir arasında bulunan ağırlıklar (w_1, w_2, \dots, w_n) girdinin sinir üzerindeki etkisi ve önemini göstermektedir. Girişlerin sinire bağlanması ağırlıklar üzerinden olmaktadır. Ağırlığın büyük olması bağlantının daha kuvvetli olduğunu, küçük olması durumunda ise daha zayıf olduğunu gösterir. Giriş değişkenlerine bağlı olarak ağırlıklar pozitif, negatif, sıfır değerler alabilir.

Toplama İşlevi: Girişlerden verilen bütün giriş değişkenleri ağırlıkların sahip olduğu değerlerle çarpılarak sinire gönderilen ve bütün bu ağırlıkla çarpılmış yeni verilerin toplanarak etkinlik işlevine gönderildiği yerdir. Yapılan modellemelere bağlı olarak toplama işlevi çarpım, enaz (min), çoğunluk, ençok (max) herhangi biri seçilebilir. Bunlardan en çok kullanılanı ise toplama işlevidir ve giriş değişkenlerinin bağlantı ağırlıklarıyla çarpılarak toplanır ve sinir ağına gelen net değer bulunur. Toplama işlevinin tanımını aşağıdaki gibi formulize edebiliriz.

$$NET = \sum_i^n w_i x_i \quad (3.1)$$

Bu formülde x girdileri, w ağırlıkları, n ise bir sinire gelen toplam giriş değişken sayısını göstermektedir. Genellikle çalışmalarda kullanılan bazı bu toplama işlevleri Tablo 10'da gösterilmiştir. Yapay sinir ağı modelleme süreci içerisinde her bir giriş değişkenleri aynı toplama işlevine sahip olabileceği gibi birbirinden farklı toplama işlevine de sahip olabilmektedir. Bu durum sonuca ulaşmak için tasarımcının kendi öngörüsüne ve ağı çalışma performansına bağlı olarak değişmektedir.

Tablo 10. Toplama fonksiyonu türleri [39] [41]

Net Giriş	Açıklama
Çarpım $NET = \prod_i w_i x_i$	Ağırlık değerleri ile giriş değerlerinin birbirleriyle çarpılmasıyla elde edilir.
Maksimum $NET = \max(w_i x_i), i = 1 \dots n$	Ağırlıklar ile girişler çarpılır, çarpılmış değerler birbirleri ile kıyaslanır ve en büyük olan değer sistemin net girdisi olur.
Minimum $NET = \min(w_i x_i), i = 1 \dots n$	Ağırlıklar ile girişler çarpılır, çarpılmış değerler birbirleri ile kıyaslanır ve en küçük olan değer sistemin net girdisi olur.
Çoğunluk $NET = \sum_i \text{sgn}(w_i x_i)$	Ağırlıklarla çarpılmış olan girdilerin işaret fonksiyonu alınır, bu değerler toplanır ve net giriş olarak sisteme sunulur.
Kümülatif Toplam $NET = NET(\text{eski}) + \sum_i^n (w_i x_i)$	Hücreye gelen bilgiler ağırlıklı olarak toplanır ve daha önce gelen bilgilere eklenerek hücrenin net girdisi bulunur.

Tüm girişlerin sıfır ya da sfıra çok yaklaşması durumunda ağ çıkışının “0” olmasını engellemek için herbir sinir hücresine eşik veya bias olarak adlandırılan sabit değer girişi yapılır. Bu değer çıkışın monotonlaşmasını engeller. Şekil 13 ‘de bias girişi gözükmektedir.

Günümüzde en yaygın olarak kullanılan Çok Katmanlı Algılayıcı modelinde genel olarak sigmoid fonksiyonu kullanılmaktadır. Bu fonksiyon değerinin kullanımı, pratikte +1 ya da -1 değerine sahip sabit bir girdinin “b” ağırlığına sahip bir bağlantı ile toplama fonksiyonuna girişi şeklinde ele alınır [41] [42].

Aktivasyon Fonksiyonu ya da Etkinlik İşlevi: Toplama fonksiyonundan elde edilen NET değeri toplam hücrenin çıktısını oluşturmak üzere işleyen ve çıkış oluşturan

foksiyondur. Bu nedenle aktivasyon fonksiyonu seçilirken hesaplamaları kolaylaştıracak türevi kolay alınabilen bir fonksiyon olması önemlidir. Buna örnek olarak geri beslemeli ağlarda aktivasyon fonksiyonunun türevinde kullanıldığından işlemleri hızlandıracak fonksiyon seçilmelidir. [42]. Eğrisel etkinlik işlevi

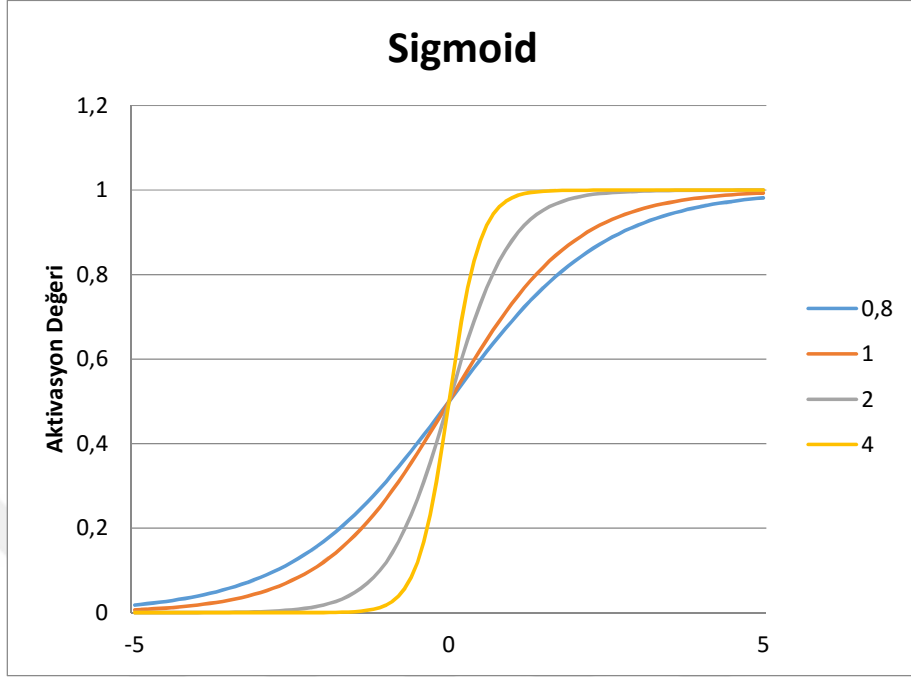
$$f = \frac{1}{1 + e^{-NET}} \quad (3.2)$$

olarak formülize edilebilir.

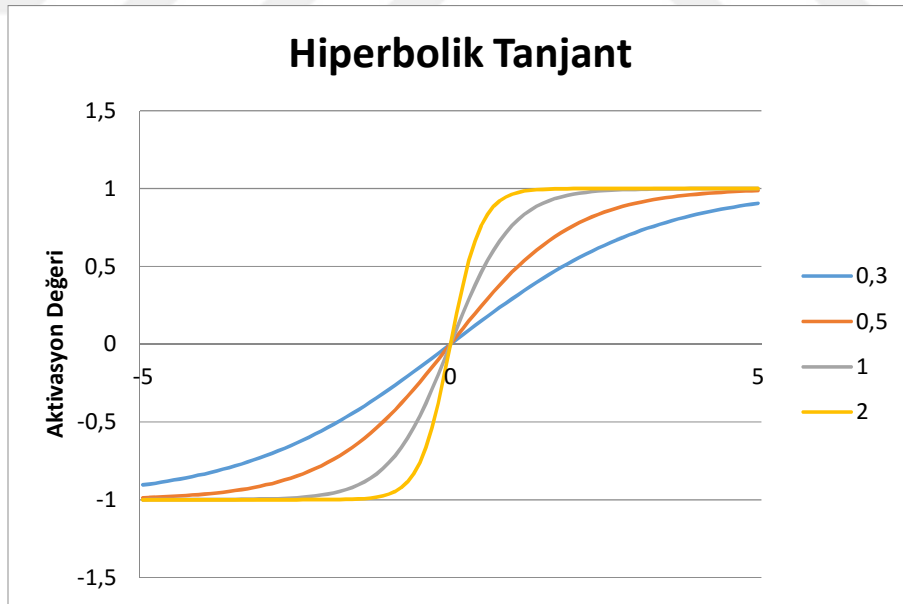
Burada NET, toplama fonksiyonundan etkinlik işlevine gelen girdi verisini göstermektedir. Eğrisel etkinlik işlevine ilave olarak kullanılan diğer aktivasyon fonksiyonları Tablo 11’de gösterilmektedir:

Tablo 11. Aktivasyon fonksiyonu türleri [39]

Aktivasyon fonksiyonu	Açıklama
Lineer fonksiyon $f(NET) = NET$	Gelen girdiler olduğu gibi hücrenin çıktısı olarak kabul edilir.
Step fonksiyonu $f(NET) = \begin{cases} 1 & \text{eger } NET > \text{esikdeger} \\ 0 & \text{eger } NET \leq \text{esik deg er} \end{cases}$	Gelen NET girdi değerinin belirlenen eşik değerinin altında veya üstünde olmasına göre hücrenin çıktısı 1 veya 0 değerlerini alır.
Sinüs fonksiyonu $f(NET) = \sin(NET)$	Sinüs fonksiyonu
Eşik değer fonksiyonu $f(NET) = \begin{cases} 0 & \text{eger } NET \leq 0 \\ NET & \text{eger } 0 < NET < 1 \\ 1 & \text{eger } NET \geq 1 \end{cases}$	Gelen bilgilerini 0 veya 1'den büyük veya küçük olmasına göre bir değer alır 0 ve 1 arasında değerler alabilir. Bunların dışında değerler alamaz.
Hiperbolik tanjant fonksiyonu $f(NET) = \frac{e^{NET} + e^{-NET}}{e^{NET} - e^{-NET}}$	Gelen NET girdi değerinin tanjant fonksiyonundan geçirilmesi ile hesaplanır.



Şekil 14. Çeşitli değerler için Sigmoid işlev eğrileri



Şekil 15. Çeşitli değerleri için hiperbolik tanjant işlev eğrileri

Yaygın olarak kullanılan diğer işlev ise hiperbolik tanjanttır. Bu fonksiyon eğrisel işleve benzemekle beraber (1,-1) aralığında değer almaktadır. Formülde $NET = x$ dersek ve x yerine βx konularak hiperbolik işlev kullanılır. Böylece hiperbolik işlev eğrisinin şekli

ayarlanabilir. Sigmoid fonksiyonu hiperbolik tanjant fonksiyonuna benzemektedir. Hiperbolik tanjant fonksiyonundan farklı olarak (0,1) aralığında değer almaktadır.

Hiperbolik tanjant fonksiyonu, eğrisel işlev fonksiyonu, lineer fonksiyon, ters lineer fonksiyon, basamak fonksiyonu gibi fonksiyonlar genellikle kullanılan aktivasyon fonksiyonlarıdır. Bu fonksiyonlardan üretilen değerler çıkış değerleridir. Üretilen çıkışlar direk çıkış verisi olarak kullanılabilir gibi kendi ya da bir başka hücreye giriş verisi olarak da kullanılabilir.

3.5. Yapay Sinir Ağlarının Oluşturulması

Yapay sinir ağları düğüm veya sinir olarak adlandırılan çok sayıdaki işlem elemanının bir araya gelmesinden oluşur. Rosentblatt'ın öğrenme yeteneğine sahip olan bir örnek tanıma aygıtını ortaya çıkarmış olduğu 1958 yılından bu yana, hiyerarşik sinir ağı en çok üzerinde çalışılmış olan bir ağ yapı olmuştur. Bir hiyerarşik sinir ağı, düğümlerin sıralı bir şekilde art arda bağlanmasından oluşur. Bu tür ağların özelliği sahip oldukları basit dinamiklerdir. Eğer giriş katmanına bir işaret girerse, bu işaret sinirler arasındaki bağlantılar yoluyla diğer katmana iletilir. Giriş katmanının düğümleri tarafından öteki katmana iletilmeden önce bu işaret üzerinde basit bir işlem yerine getirilir. Bu süreç çıkış katmanına erişinceye kadar tekrar edilir [38].

3.5.1. Bir Yapay Sinir Ağı

Sadece giriş çıkış katmanı olan bir ağlar karmaşık işlemlere çözüm bulamazlar. Bu sorunun aşılması için giriş çıkış katmanları arasında bir veya daha fazla gizli katman kullanılmaktadır.

Giriş katmanından gelen veriler giriş katmanı ile gizli katman arasındaki ağırlık değerleri çarpılır ve tüm değerler toplanarak çıkış katmanına iletilecek veri elde edilir. Elde edilen bu veriler yine gizli katman ile çıkış katmanı arasındaki ağırlıklar çarpılır ve çıkış katmanına gelen tüm veriler toplanarak çıkış için uygun veri üretilir. Giriş katmanından gizli katmana veri akışı tek yönlüdür.

3.5.2. Katmanlar

Bir yapay sinir ağını üç katmana ayırabiliriz. Giriş katmanı, gizli katman, çıkış katmandan oluşmaktadır. Giriş katmanı dış dünyadan veri alırken, çıkış katmanı dış dünyaya veri vermektedir. Gizli katman ise iki katman arasından verinin işlenmesinde kullanılır. Yapay sinir ağında veri akışı istenilen çıkış için durum kesinleşinceye kadar döngü şeklinde devam eder. Döngünün tamamlanması, çıkıştan elde edilen veri ile istenilen veri arasındaki fark hatanın belirli bir seviyeden az olması durumunda olmaktadır. Ayrıca gizli katman sayısının optimum seçilmesi gerekmektedir. Gizli katman sayısının fazla seçilmesi durumunda işlem sürelerinin çok uzamasına ve genel bir çıkışın elde edilememesine neden olmaktadır.

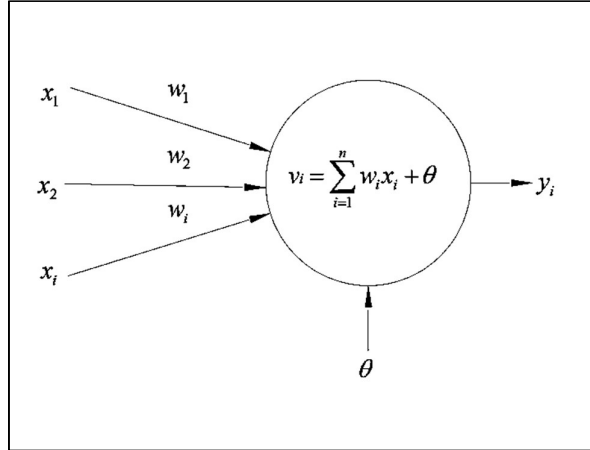
3.5.3. Katmanlar Arası Bağlantılar

İleri Besleme : Birinci katmandan ikinci katmana veri akışı ileri ve tek yönlüdür.

Çift Yönlü : Birinci katmandan ikinci katmana veri akışı ileri yönlü ve ikinci katmandan birinci katmana veri akışı geri yönlüdür.

3.6. Perceptron

En basit yapay sinir ağı örneği tek katmanlı ve tek sinirli bir Perceptrondur. Bu yapay sinir ağlarının birden çok girişi ve tek bir çıkışı vardır. Çıkış değeri 1 veya 0 olmaktadır. Perceptronlar genellikle nesnelere iki ayrı sınıfa ayırmak için kullanılmıştır. Bu ağı mimarı Frank Roselblatt doğrusal olarak ayrılabilen sınıflar verildiğinde, Perceptronların deneme yanılma yoluyla bu sınıfları ayıran bir ölçü vektörü oluşturacağını göstermiştir [38]. Girişler x , ağırlıklar w ve çıkış y ile sembolize edilmiştir. Girişler ile ağırlık değerlerinin çarpımları toplanarak teta ile karşılaştırılarak eğer çarpımların toplamı eşik değerinden büyük ise çıkış 1, çarpımların toplamı eşik değerinden küçük ise çıkış 0 olur. Bunu sınıflandırma olarak gösterirsek 1 sınıf A ise, 0'da sınıf B olarak gösterilebilir.



Şekil 16. Perceptron modeli

Girişlerin ağırlıklarla çarpımını gösteren çıktı fonksiyonu;

$$y = f(x_1 w_1 + x_2 w_2 + x_3 w_3 + \theta) \quad (3.3)$$

şeklinde ifade edilebilir.

Giriş sayısının n tane olması halinde ise çıkış;

$$y = f\left(\sum_{i=1}^n w_i x_i + \theta\right) \quad (3.4)$$

şeklinde formülize edilebilir.

Tek katmanlı ağlar olarak 1960'da Rosentblatt tarafından sınıflandırma amaçlı geliştirilen model ancak iki karar bölgesi olarak veriyi birbirinden ayırabilir.

Bunula ilgili bir örnek üzerinden açıklama yaparsak,

Girişlerimiz x_1, x_2, x_3

Ağırlıklarımız w_1, w_2, w_3

Çıkışımız y olsun.

1. Adım: Girişler verileri uygulanır; x_1, x_2, x_3

2. Adım: Girişler ile ağırlıklar çarpılarak toplama fonksiyonuna iletilir.

$$y = x_1 w_1 + x_2 w_2 + x_3 w_3 \quad (3.5)$$

3. Adım: Çıkışın hesaplanması: NET girişin eşik θ değerinden büyük veya küçük olmasına göre çıkış değeri 0 ve 1 değerini alır.

$$y = \begin{cases} 1 & \text{ise } NET > \theta \\ 0 & \text{ise } NET \leq \theta \end{cases} \quad (3.6)$$

Çıkış hesaplanmasında eşik değeri üzerinden karşılaştırma yapılmaktadır. Eşik değeri ile NET eşit ise ağırlıklar değişmeden kalır.

4. Adım: Ağın NET girişi 1 ve beklenen çıkış 0 ise istenilen çıkışın elde edilebilmesi için ağırlıklar azaltılır. Bu yapmak için girişlerin bir düzeltme katsayısı ile çarpılıp, önceki ağırlık değerinden çıkarılmasıyla yeni ağırlık değeri elde edilir.

$$w_{i,n} = w_{i,n-1} - \lambda x_i \quad (3.7)$$

$w_{i,n}$ i'inci ağırlığın n iterasyon değeri, $w_{i,n-1}$ i'inci ağırlığın n-1 iterasyondaki değeridir. λ düzeltme katsayısı ağırlıkların güncellenmesini sağlamaktadır.

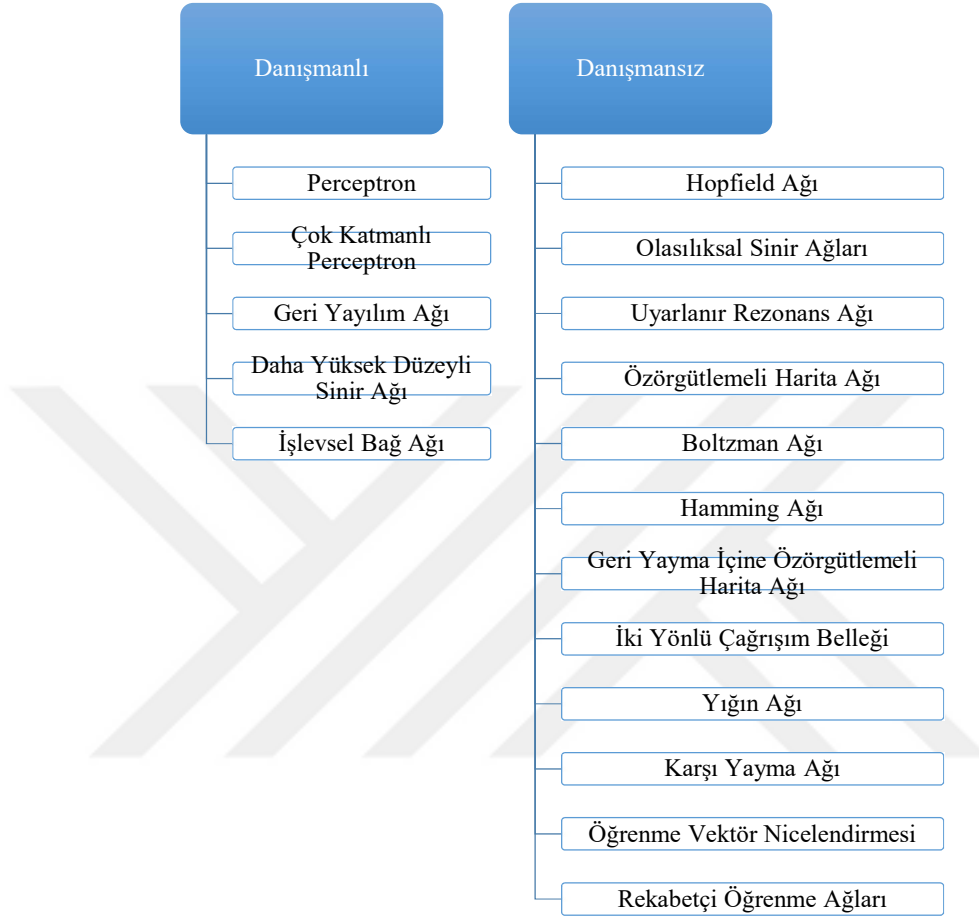
Ağın NET girişi 0 ve beklenen çıkış 1 ise istenilen çıkışın elde edilebilmesi için ağırlıklar artırılır. Bu yapmak için girişlerin bir düzeltme katsayısı ile çarpılıp, önceki ağırlık değerinden eklenmesiyle yeni ağırlık değeri elde edilir.

$$w_{i,n} = w_{i,n-1} + \lambda x_i \quad (3.8)$$

olacaktır. Çıkış değerinin belirlenen hata değerinden daha küçük olana kadar iterasyon devam eder ve istenilen hata değeri ulaşıldığında son ağırlık değerleri üzerinden çalışmalar yapılır.

3.7. Yapay Sinir Ağlarının Yapıları

Yapay sinir ağları içeriğinde ağırlıklar, sınırlar ve aktarım işlevleri olduğundan yapılar arasında benzerlikler bulunmaktadır. Çeşitliliğin çokluğu farklı öğrenme kuralları ve mimari yapılar oluşturmaktadır. Ağ yapılarını iki ana grup altında toplayabiliriz ve öğrenme yöntemlerine göre en yaygın olarak kullanılan ağ yapıları altta verilmiştir.

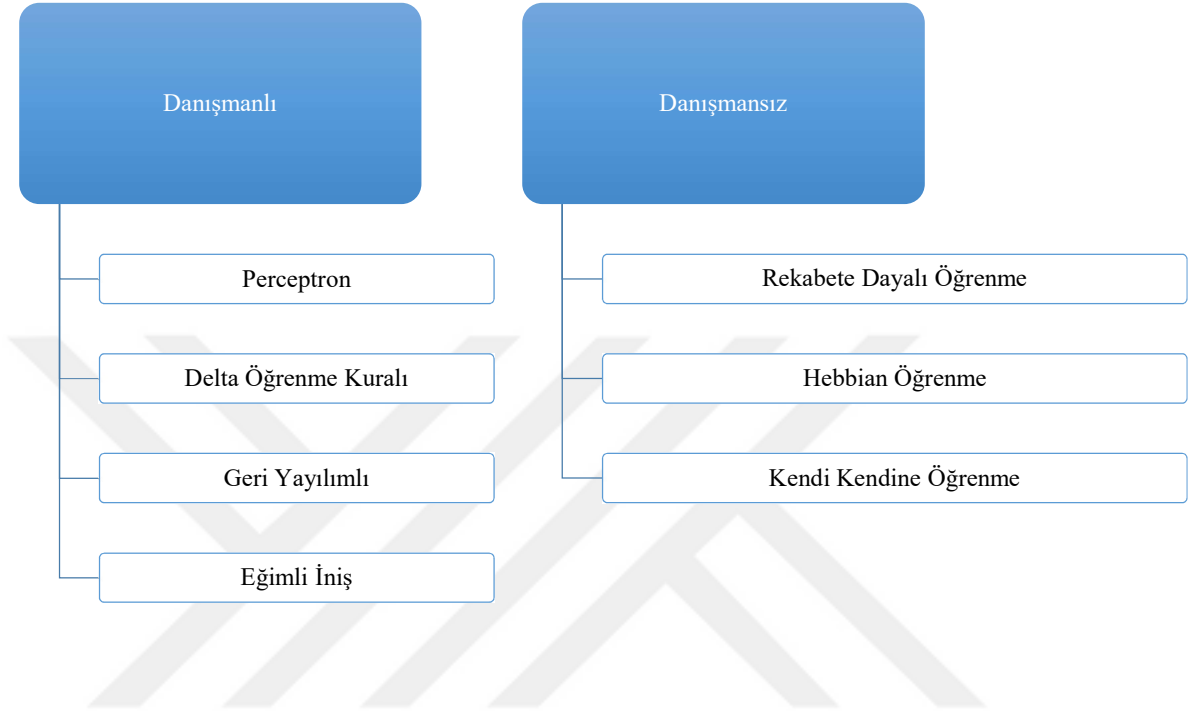


Şekil 17. Öğrenme yöntemlerine göre ağ yapıları [38]

3.8. Yapay Sinir Ağlarında Öğrenme

Ağdaki ağırlıkların değerini dinamik olarak değiştirebiliyorsak yapay sinir ağlarının eğitimi sağlamış oluruz. Eğitilebilen ağlar öğrenebilen ağlardır. Bu ağlar resimleri tanıyabilir, verileri sınıflandırabilir, giriş çıkış very ilişkisini anlayabilir. Birçok araştırmacı Hebb tarafından oluşturulan kurallar çerçevesinde çalışmalarına devam etmekte ve öğrenme değişkenleri ile ağırlıkların nasıl ayarlanacağı konusu üzerinde öğrenme yöntemleri geliştirmiştir. Temelde öğrenme yöntemlerini Danışmalı ve Danışmansız öğrenme olarak iki gruba ayırabiliriz.

Öğrenme yöntemlerine ait Şekil 18’de verilmiştir. Yapay sinir ağlarında öğrenme ağdaki ağırlıkların bağlantılarında saklanır.



Şekil 18. Öğrenme yöntemleri [38]

3.8.1. Danışmanlı Öğrenme

Yapay sinir ağlarında danışmanlı öğrenmede gerçek giriş değeri ile gerçek çıkış değeri kıyaslanır. İstenilen minimum hata seviyesine varıncaya kadar döngü devam eder. Herbir döngü sırasında ağ içindeki ağırlıklar istenilen çıkış değerini verecek şekilde ayarlanır. Danışmanlı öğrenmede ağlar eğitmeden kullanılamaz. Eğitime işlemi giriş çıkış veri bilgisinden oluşmaktadır. Bu veri kümesi eğitim kümesi olarak tanımlanır. Her girişe karşılık uygun bir çıkış mevcut olmalıdır. Öğrenme aşaması tamamlandıktan sonra ağırlıklar basitleştirilir ve değiştirilmezler. Ancak bazı değişen koşullara uyum sağlanması için düşük oranlarda değiştirilebilir. Danışmanlı öğrenmede girişler sayısal olmalıdır. Sayısal olmayan girişler sayısallaştırılmalı ve ağa uygun olarak ölçeklenmelidir.

3.8.1.1. Perceptron Öğrenme Kuralı

Perceptron öğrenme kuralı Rosenblatt tarafından geliştirilmiştir. Tel katmanlı ileri beslemeli ağlarda eşik değer aşımıyla etken olan aktarım işlevi kullanan hata düzelten algoritma olarak tanımlanabilir.

w_{ij} : Sinirler arası ağırlıklar

x_n : n adet giriş

y_n : n adet çıkış

x^k : k adet eğitim giriş dizisi

y^k : k adet çıkış dizisi

$$y_i(x^k) = y_i^k \quad i = 1, \dots, m \text{ olur.} \quad (3.9)$$

$$y_i(x^k) = \begin{cases} +1 & w_i x \geq 0 \\ -1 & w_i x < 0 \end{cases} \text{ aktarım işlevi ifadesi} \quad (3.10)$$

$$\Delta w_{ij} = \eta (y_i^k - (w_i x^k)) x_j^k \quad i = 1, \dots, m \quad j = 1, \dots, n : \text{Ağırlık değişim değerleri} \quad (3.11)$$

$$w_{ij} = w_{ij} + \eta (y_i^k - (w_i x^k)) x_j^k \quad i = 1, \dots, m \quad j = 1, \dots, n : \text{Yeni ağırlık değerleri} \quad (3.12)$$

Perceptron öğrenme kuralında önce öğrenme katsayısı $\eta > 0$ bir değer seçilir. w_{ij} ağırlıklara rasgele değerler atanır. Aktarım ifadesine göre çıkış belirlenerek, ağırlıklar güncellenir. Her döngü için hata değeri hesaplanır. Hata değeri sıfır ise ağırlıklar sabitlenir. Hata değeri sıfırdan büyük ise yeniden eğitime başlanır.

3.8.1.2. Delta Öğrenme Kuralı

Günümüzde en yaygın kullanılan öğrenme kuralı olan delta öğrenme kuralı 1960 yılında Bernard Widrow ve Ted Hoff tarafından geliştirilmiştir. Bu kuralda eğitim işlemi giriş kümesi ağırlıklara uygulanır ve çıkış hesaplanır. Çıkış değeri ile olması gereken çıkış değeri kıyaslanır. Fark hata değeri sıfır yada kabul edilebilecek bir seviyede ise ağırlıklar sabitlenir.

ve eğitim sonlandırılır. Hata değeri sıfırdan büyük ise hata değeri kabul edilebilecek bir değere düşünceye kadar ağırlıklar güncellenerek eğitime devam edilir.

Gizli katmanı olmayan bir ağdaki hata yüzeyinde en iyi bir nokta vardır. Ağda gizli katman var ise hata yüzeyinde birden fazla iyi nokta vardır ve en iyi nokta bulmak oldukça zordur. En iyi noktayı bulmak için eğimli iniş yöntemi ile ağırlıklar güncellenir.

$$y_i = a\check{g}_i = (w_i, x) = w_{i1}x_1 + \dots + w_{in}x_n \quad i = 1, \dots, m \quad (3.13)$$

$$E = \frac{1}{2} \sum_{k=1}^k \sum_{i=1}^m (v_i^k - z_i^k)^2 \quad (3.14)$$

$$y_i(x^k) = (w_i, x^k) \quad (3.15)$$

$$w_{ij} = w_{ij} + \eta \frac{\partial E_k}{\partial w_{ij}} \quad (3.16)$$

$$\frac{\partial E_k}{\partial w_{ij}} = \frac{\partial E_k}{\partial a\check{g}_i} \frac{\partial a\check{g}_i}{\partial w_{ij}} = -(v_i - z_i)x_i \quad (3.17)$$

$$w_{ij} = w_{ij} + \eta(v_i - z_i)x_i \quad i = 1, \dots, n \quad (3.18)$$

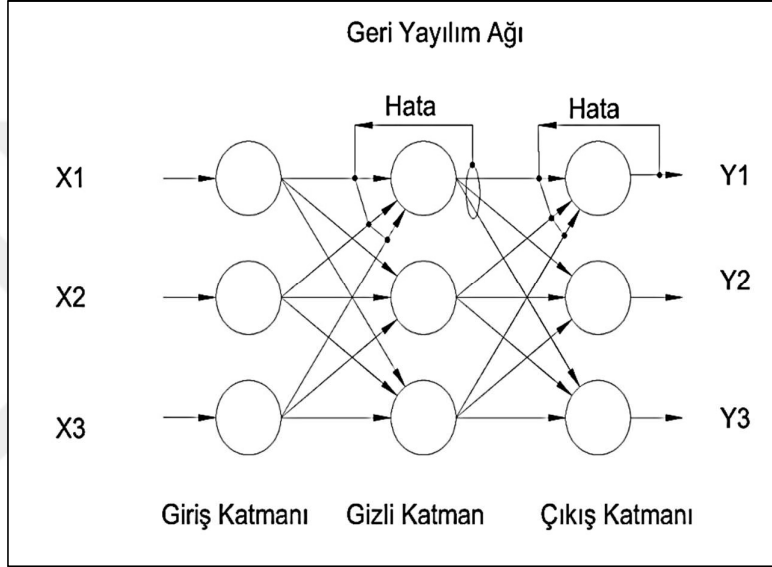
$$\delta_i^k = \frac{\partial E_k}{\partial a\check{g}_i} = (v_i - z_i) \quad (3.19)$$

$$w_{ij} = w_{ij} + \eta \delta x_i \quad (3.20)$$

3.8.1.3. Geri Yayılım Öğrenme

Geri yayılım ağı Geoffrey Hinton ve James McClelland tarafından geliştirilmiştir. Bu ağlar en az üç katmandan oluşur. Bunlar giriş katmanı, gizli katman ve çıkış katmanıdır. Gizli katmandaki düğüm sayısı artışı ağın hatırlama yeteneğini artırırken, öğrenme süresini uzatmaktadır. Diğer taraftan gizli katmandaki düğüm sayısının azalması hatırlama yeteneğini azaltırken, öğrenme süresini azaltmaktadır. Katmanlar artı artına sıralanır ve her katmandaki düğüm çıkışları diğer katmandaki düğümün girişi olmaktadır. Delta kuralı gibi

hatayı optimizasyonlama işlemidir. Etkinlik işlevi olarak türevi alınabilen fonksiyonlar kullanılmalıdır. Giriş kümesi ağa uygulanır ve katman katman ileri yayılır ve çıkış değeri elde edilir. Olması gereken gerçek değer arasındaki hata değeri hesaplanır. Bu hata değeri tekrar geri yayılarak sırasıyla her katmandaki ağırlıklar güncellenir. Kabul edilebilir hata düzeyine ulaşıncaya kadar bu süreç döngü olarak devam eder.



Şekil 19. Geri yayılım ağı

Aktivasyon işlemi için sigmoid fonksiyonu

$$f(x) = \frac{1}{1 + e^{-\beta x}} \quad (3.21)$$

Sigmoid fonksiyonunun türevi

$$f'(x) = \beta f(x)(1 - f(x)) \quad (3.22)$$

Değerler yerine konulursa deltanın elde edilmesi

$$\delta_k = z_k(1 - z_k)(v_k - z_k) \quad (3.23)$$

$$\delta_j = y_j(1 - y_j) \sum_k w_{kj} \delta_k \quad (3.24)$$

Aktivasyon işlemi için hiperbolik tanjant fonksiyonu

$$f(x) = \frac{e^x - e^{-x}}{e^x + e^{-x}} \quad (3.25)$$

Hiperbolik tanjant fonksiyonunun türevi

$$f'(x) = \beta(1 - (f(x))^2) \quad (3.26)$$

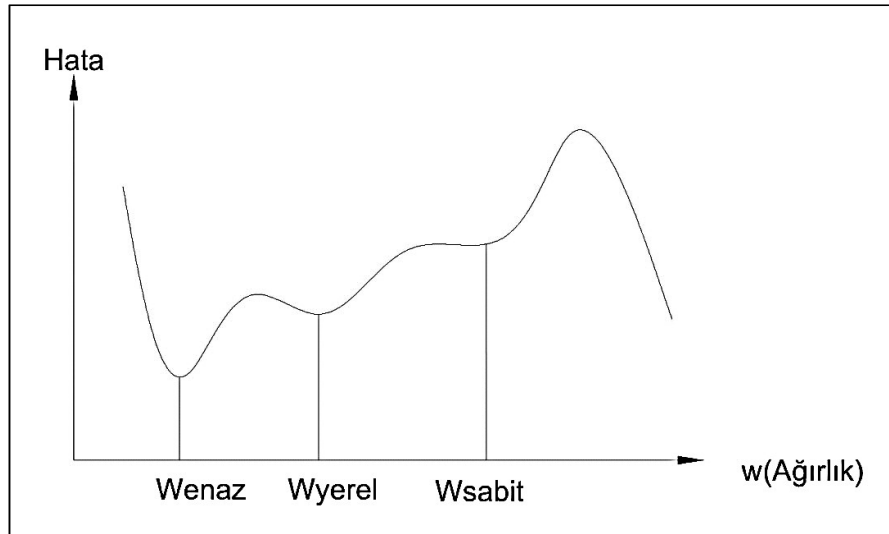
Değerler yerine konulursa delta elde edilmesi

$$\delta_k = (1 - z_k^2)(v_k - z_k) \quad (3.27)$$

$$\delta_j = (1 - y_j^2) \sum_k w_{kj} \delta_k \quad (3.28)$$

Sinirler arasındaki ağırlık değişimi

$$\Delta w_{ij} = \eta \delta_j y_i + \alpha \Delta w_j \quad (3.29)$$



Şekil 20. Delta vektörü için minimum bölgeler

İdeal ağırlık matrislerinin elde edilmesi için çok sayıda işlem gerekmektedir. Başlangıç ağırlıkları rasgele alındığı için ağ genel olarak yerel minimum noktasına düşer. Enaz ağırlık noktasını bulmak için çok sayıda deneme yapmak gerekir.

Momentum katsayısı α öğrenmenin performansına etki etmektedir. Bu katsayı ile bir önceki çözümde elde edilen ağırlık değişimlerine belirli bir katsayı üzerinden eklenmesi ile yerel çözüme takılma noktalarında daha iyi sonuç elde edilemesi için bir sıçrama olarak önerilmiştir.

3.8.1.4. Öğrenme Oranının Ağ Üzerindeki Etkisi

Uygun öğrenme oranı öğrenme için gerekli olan eğitim adım sayısını azalmaktadır. Öğrenme oranının büyük seçilmesi eğitim sürecini azatır. Küçük seçilmesi durumunda eğitim süreci uzamaktadır. Ancak öğrenme oranının çok büyük seçilmesi sonuca ulaşmada yakınsama olayı meydana gelmemektedir.

3.8.1.5. Momentum Teriminin Ağ Üzerindeki Etkisi

Yapılan araştırmalarda hesaplamalara momentum teriminin ilave edilmesi ağ performansına olumlu etki yapmaktadır. Hesaba katılan momentum terimiyle ağdaki toplam hata sifıra doğru daha fazla eğimle yaklaşmaktadır.

3.8.1.6. Gizli Katman Sinir Sayısının Ağ Üzerindeki Etkisi

Gizli katmanda bulunan sinir sayısının fazlalılığı hatırlama yeteneğini artırmaktadır. Ancak gizli katmandaki sinir sayısının artması hem hafıza ve hem de CPU'ya ek yük getirmektedir. Gizli katmanda bulunması gereken sinir sayısına dair net bir çözüm bulunmamakla beraber deneme yanılma yöntemiyle ağa uygun sinir sayısı bulunabilir.

3.8.1.7. Hata Farkı Değişkeninin Ağ Üzerindeki Etkisi

Hata farkı değişken hassiyetinin artırılması, ağırlıkların hassasiyetini artırır ancak eğitim süresinin uzamasına sebep olmaktadır. Hata farkını kabul edilebilir seviyelerde seçmek eğitim süresi ve adım sayısı için optimuma götürebilir.

3.8.2. Danışmanlı Öğrenme

Danışmansız öğrenmede ağın çıkış hakkında bilgisi yoktur. Ağa uygulanan giriş değerlerine göre ağıdaki bağlantıların ağırlıkları güncellenir. Danışmansız ağa örnek olarak Hebbian, Grossberg, Kohonen'in özörgütlemeli harita ağı verilebilir.

3.8.2.1. Yarışmacı Sinirsel İşaretler

Yarışmacı sinirlerde, her sinir kendini ve bir olasılıkla komşu sinirleri uyarır. Sinirler etkinlik için yarışır ve böylece işaret güçlenir. Yarışmacı çerçevede, $[0,1]$ birim değerleri alan bir işaret işlevi sonucu korur. t zamanında eğer $S(x(t))=1$ olursa sinir kazanır. Eğer $S(x(t))=0$ ise sinir kaybeder. Aksi takdirde 0 ve 1 arasında bulanık bir kazanç-kayıp durumu ortaya çıkar. Yarışmacı sinirler genelde eşik işaret işlevlerine yaklaşık olan dik işaret işlevlerine sahiptirler.

Pratikte işaret değerleri genelde ikili ya da çift kutupludur. İkili işaret işlevleri genellikle $[0,1]$ değerlerini alırlar. Çift kutuplu işaret işlevleri ise $[-1,1]$ değerlerini alırlar. İkili ve çift kutuplu işaretler basit ölçeklendirme ve çeviri işlemleri ile birbirlerine dönüştürülebilir. Örnek olarak çift kutuplu lojistik işaret işlevleri eşitlik 3.30'da olduğu gibi gösterilebilir.

$$f(x) = \frac{2}{1 + e^{-cx}} - 1 \quad (3.30)$$

Çift kutuplu eşik işaret işlevlerine sahip olan sinirler bazen McCulloch-Pitts sinirleri diye adlandırılırlar. Kısaca algortimayı anlatırsak;

K eğitim parçaları için;

$$x^k = (x_1^k, \dots, x_n^k), \quad y^k \quad k = 1, \dots, K, \text{ olsun}$$

$n > 0, E_{\max} > 0$ ve w_i ağırlık vektörü rasgele değerler seçilerek çalışma hatası $k=1$ iken çıkış E 'ye ayarlanır.

$$y = y(w, x) = \frac{1}{1 + e^{(-w'x)}} \text{ eğitime başlanarak } y \text{ çıkış değeri bulunur.}$$

$w = w + \eta(y_v - y_m)y_m(1 - y_m)x$ çıkış değerine göre ağırlıklar güncellenir.

$$E = E + \frac{1}{2}(y_v - y_m)^2 \text{ hata E değeri hesaplanır.}$$

Bu işlemler herbir eğitim parçası için devam eder ve $E=0$ ise eğitim durdurulur. $E>0$ ise tekrar eğitimin başına dönülür.

3.8.2.2. Özörgütlemeli Harita Ağı

Özörgütlemeli harita temel olarak yarışmacı öğrenimle eğitilen bir ileri beslemeli ağıdır. Ağda her bir düğümün ilk katmanı giriş örneğinin değerini alır. Ardından ikinci katmanın düğümleri girişlerini toplar ve kazanan düğümü bulmak için yarışır. Kısaca algoritmayı anlatsak;

1- Giriş sinir matrisi g_x ve g_y ile gösterilsin.

$$I = g_x * g_y \quad (3.31)$$

2- Yarışmacı katman matrisi c_x ve c_y ile gösterilsin.

$$J = c_x * c_y \quad (3.32)$$

3- Giriş katmanındaki sinirler iken yarışmacı katmandaki sinirler arasındaki w ağırlıkların ilk değerleri rasgele seçilir. Topolojik değişken eşitlik 3.31'deki gibi seçilir.

$$d_o = \frac{g_x}{2} \quad (3.33)$$

Öğrenme oranı katsayısı α_0 genellikle 0,2-0,5 arasında seçilir. Toplam işlem sayısı ise 10.000 seçilir.

4- Yarışmacı katmandaki kazanan sinir J_c hesaplanır. Yarışmacı katman ile giriş katmanı arasındaki en az öklid mesafesi

$$\|E(J_c)\| = \min \|E(J)\| \quad (3.34)$$

İlk önce $j=0$ dan $j-1$ 'e kadar öklid mesafesi hesaplanır.

$$\|E(J_c)\| = \sqrt{\sum_{i=0}^{j-1} (w_{ij} - x_i)^2} \quad (3.35)$$

Buradan bütün mesafeler $\|E(y)\|$ den $\|E(J)\|$ 'ye kadar karşılaştırılır. Çıkan sonuçta kazanan sinir J_c 'dir.

5- Bütün j ve i ler için ağırlıklar güncellenir.

$$w_{ij} = w_{ij} + \Delta w_{ij} \quad (3.36)$$

$$\Delta w_{ij} = \begin{cases} \alpha_1 (x_i - w_{ij}) & d_i \text{ ise} \\ 0 & \text{diğerde} \end{cases} \quad (3.37)$$

6- Öğrenme katsayısı güncellenir.

$$\alpha_t = \alpha_0 \left(1 - \frac{t}{T}\right) \quad (3.38)$$

7- Belirtilen zamandaki topolojik çap azaltılır.

$$d_t = d_0 \left(1 - \frac{t}{T}\right) \quad (3.39)$$

İşlem zamanı bir artırılır ve $t=T$ oluncaya kadar işlemler devam eder.

3.8.3. Yapay Sinir Ağlarının Özellikleri

Yapay sinir ağları ile bir öğrenme modeli oluşturulabilir. Yapay sinir ağlarıyla karar verilebilmesi için öncelikle ağı eğitilmesi gerekmektedir. Yapay sinir ağlarıyla tam bir veri kümesi olmadan sonucu ulaşılabilir ve hatalara karşı toleranslıdır. Yapay sinir ağlarında enaz noktasının bulunması zordur. Genellikle deneme yanılma yöntemiyle bulunmaya çalışılır. Yapay sinir ağlarının yapısına uygun olarak yerel çözüm noktalarına takılabilir. Yapay sinir

ağları doğrusal olmayan, çok boyutlu ve eksik bilgili problemlerin çözümünde kesin bir matematiksel modelin oluşturamadığı durumlarda başarılı çözümler elde edilebilmektedir. Yapay sinir ağlarında öğrenme katsayısının değeri, katman sayıları, katmanlarda kullanılan sinir sayılarının belirlenmesinde kesin bir kural yoktur. Örnek olarak gizli katmanda kullanılan sinir sayısı işlemin doğruluğunu ve hızını etkilemektedir. Fazla kullanılan sinir öğrenmeyi kuvvetlendirirken işlem sayısının artmasına neden olduğundan eğitim hızını yavaşlatacaktır.



4. ADAPTIF AĞ TABANLI BULANIK ÇIKARIM SİSTEMİ (ANFIS)

Adaptif Ağ Tabanlı Bulanık Çıkarım Sistemi (Adaptive-Network Based Fuzzy Inference Systems-ANFIS), uyarlanabilir ağların mimarileri ve öğrenme prosedürleri ile birlikte bir Neuro-Fuzzy sınıfını tanımlar. Altta yatan ağ yapısı, denetimli öğrenme yeteneği ile her türlü nöral ağ paradigmasının bir üst kümesidir. Nöro-bulanık sistemler, YSA'nın bulanık sistemler ile birleşmesidir, genellikle son sistemin kolay bir şekilde ötelenmesine izin verme avantajına sahiptirler. Bulanık sistem, bilgi ile bir sinir ağ yapısı olarak görülebilir ve bağlantı gücü boyunca dağıtılmıştır. Nöro-bulanık çıkarım stratejisi ile ilgili araştırma ve uygulamalar, yapay sinir ağları (YSA) için mevcut algoritmaların uygulanabilirliği ve bulanık dilsel kurallar dizisi olarak tanımlanan bilginin doğrudan uyarlanması gibi alanlarda sinirsel ve bulanık hibrit sistemlerin faydalı olduğunu açıkça ortaya koymuştur. Adından da anlaşılacağı gibi, uyarlanabilir bir ağ, düğümlerden ve yön bağlantılarından oluşan bir ağ yapısıdır, genel giriş-çıkış davranışı, düğümlerin bağlandığı değiştirilebilir parametrelerden oluşan bir koleksiyonun değerleri ile belirlenir. Uyarlamalı sistem, Sugeno tipi bulanık çıkarım sistemlerinin parametrelerini tanımlamak için bir hibrid öğrenme algoritması kullanır. Belirli bir eğitim veri setini taklit etmek için bulanık çıkarım sistem, üyelik fonksiyonu parametrelerini eğitmek için en küçük kareler yönteminin ve geri yayımlı öğrenme yönteminin bir kombinasyonunu uygular. Ağ iki ana aşamada öğrenir. Öğrenme algoritmasının ileri aşamasında, sonuçta elde edilen parametreler en küçük kareler tahminini tanımlar. Geriye doğru fazda, her bir düğüm çıkışına göre karesel hatanın türevleri olan hata sinyalleri, çıkış katmanından giriş katmanına geri doğru yayılır. Bu geriye doğru geçişte, öncül parametreler gradyan alçalma algoritması tarafından güncellenir. Sinirsel ağın öğrenme veya eğitim aşaması, eğitim verilerinin yeterince uyması için parametre değerlerini belirleyen bir süreçtir. ANFIS eğitimi, eğitimin hatasını azaltmak için alternatif algoritmalar kullanılabilir. Optimal parametreler için etkili bir araştırma için geri yayımlı öğrenme algoritması ve en küçük kareler algoritmasının bir kombinasyonu kullanılır. Böyle bir melez yaklaşımın temel faydası, daha hızlı bir şekilde birleşmesidir, çünkü bu, sinir ağlarında kullanılan geri-yayımlı yönteminin arama alanı boyutlarını azaltır. ANFIS, eğitim ve adaptasyonu kolaylaştırmak için geliştirilen modelin model oluşturulmasına ve validasyonuna hizmet eden adaptif sistem çerçevesinde ortaya çıkan bulanık Sugeno modelidir.

4.1. ANFIS Mimarisi

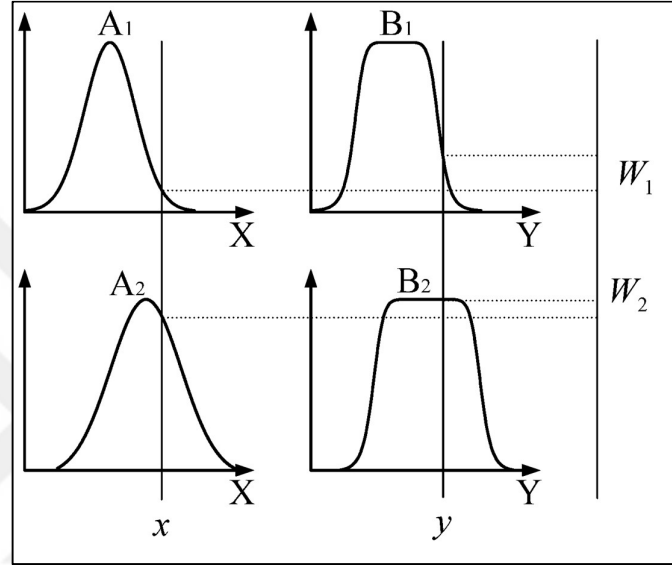
Uyarlanabilir bir ağ, her bir düğümün, tek bir düğüm çıkışı üretmek için gelen sinyalleri üzerinde belirli bir işlevi yerine getirdiği, yönlendirilmiş linklerle bağlanmış düğümlerden oluşan çok katmanlı bir ileri besleme ağıdır. Uyarlanabilir bir ağdaki her bağlantı, bir düğümden diğerine sinyal akış yönünü belirtir ve bağlantı ile hiçbir ağırlık ilişkisi yoktur. Daha spesifik olarak, uyarlanabilir bir ağın konfigürasyonu, tek bir düğüm çıkışı üretmek için gelen sinyalleri üzerinde bir statik düğüm fonksiyonu gerçekleştirir ve her bir düğüm fonksiyonu değiştirilebilir parametrelere sahip parametrelilik bir işlemdir. Bu parametreleri değiştirerek, düğüm işlevi, adaptif ağın genel davranışını değiştirir. Şekil 21, tüm sistem mimarisini, bulanık katman, ürün katmanı, normalleştirilmiş katman, berraklaştırma katmanı ve toplam çıktı katmanından oluşan beş katmandan oluşmaktadır. Belirli bir parametre kümesi için girdi / çıktı verileri ile ANFIS yöntemi, üyelik fonksiyonu parametreleri tek başına bir geri yayılma algoritması kullanılarak ya da en az kareler tipi yöntemle permütasyonda ayarlanan bir bulanık çıkarım sistemini modellemektedir. ANFIS'in temel amacı, bir öğrenme algoritması uygulayarak eşdeğer bulanık çıkarım sistemi parametrelerinin optimum değerlerini belirlemektir. Parametre optimizasyonu, eğitim oturumu sırasında hedef ile gerçek çıktı arasındaki hatanın en aza indirildiği şekilde yapılır. En küçük kareler tahmini ve geri yayımlı öğrenme yönteminin bir kombinasyonu olan optimizasyon için bir hibrit algoritma kullanılır. ANFIS'te optimize edilecek parametreler öncül parametrelerdir. Bu parametreler üyelik fonksiyonlarının şeklini tanımlar. Hata ölçüsünü azaltmak için, üyelik fonksiyonları oluşturduktan sonra birkaç optimizasyon rutininden herhangi biri uygulanabilir. Uyarlanabilir bir ağın parametre seti, bulanık sistemlerin modellediklerinden öğrenmelerini sağlar. Aşağıda adaptif sistemin, x ve y ve bir çıkışı f olan iki girişe sahip olan iki girişli ve iki kurallı Sugeno bulanık çıkarım yöntemi verilmiştir. Kurallar eşitlik (4.1) ve (4.2) gösterilmiştir.

$$\text{Kural 1: } x = A_1 \text{ ve } B_1 \text{ ise O HALDE } f_1 = p_1x + q_1y + r_1 \quad (4.1)$$

$$\text{Kural 2: } x = A_2 \text{ ve } B_2 \text{ ise O HALDE } f_2 = p_2x + q_2y + r_2 \quad (4.2)$$

x ve y giriş değişkenlerini, f_i çıkış değişkenini, A_i , B_i bulanık kümeleri, p_i , q_i , r_i sonuç değişkenleridir. Uyarlanabilir yetenekleri yansıtmak için, hem daire hem de kare

kullanılabilir. Bir daire sabit düğümü gösterirken, kare adaptif düğümü gösterir, yani uyarlama veya eğitim sırasında parametre değiştirilebilir. ANFIS, bulanık mantık ve sinir ağının entegrasyonundan oluşturulur. Ağın gerçek çıkışı eşitlik (4.3) gösterilmiştir.



Şekil 21. İki girişli ve iki kurallı Sugeno tip bulanık çıkarım

$$\text{Ağın gerçek çıkışı; } f = \frac{w_1 f_1 + w_2 f_2}{w_1 + w_2} \Rightarrow f = \bar{w}_1 f_1 + \bar{w}_2 f_2 \quad (4.3)$$

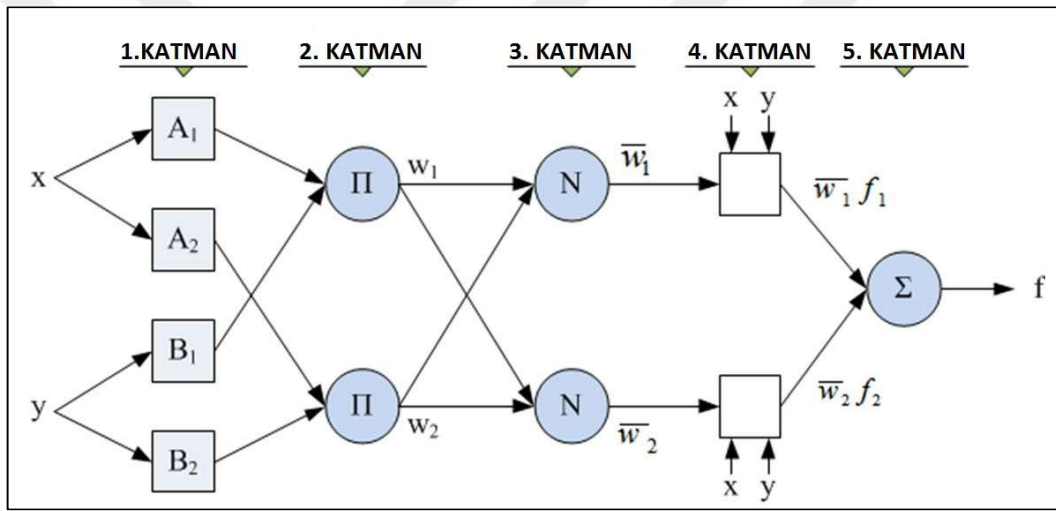
ifade edilebilir.

ANFIS modeli tasarlanırken, eğitim sayısının, üyelik fonksiyonlarının sayısının ve bulanık kuralların sayısının doğru ayarlanması son derece önemlidir. Bu parametrelerin haritalanması, sistem için son derece önemlidir çünkü sistem, verilere aşırı uymaya veya verileri sığmayacak şekilde yönlendirebilir. Bu ayarlama, en küçük kareler yöntemini ve geri yayımlı öğrenme yöntemini ortalama bir kare hata yöntemiyle birleştiren bir hibrit algoritma kullanılarak elde edilebilir. ANFIS çıkışı ile istenen hedef arasındaki daha az fark, daha iyi (daha doğru) bir ANFIS sistemi anlamına gelir. Bu yüzden eğitim sürecindeki eğitim hatasını azaltma eğilimine gidilir. Bulanık mantık ve nöral ağ arasındaki bulanık sinir ağı arasındaki entegrasyon geliştirilmiştir. Genellikle bulanık mantık ve sinir ağının düzenlenmesi ANFIS olarak adlandırılır. Sinir sistemi birçok girdiye sahiptir ve aynı

zamanda birden çok çıktısı vardır, ancak bulanık mantığın bol miktarda girdi ve tek bir çıktısı vardır, bu yüzden bu ikisinin kombinasyonu ANFIS olarak bilinir.

4.2. ANFIS Katmanları

İki girişli ve iki kurallı Sugeno tip bulanık çıkarım yöntemine ait ANFIS mimarisinin temel yapısı aşağıda gösterilmektedir. Bu mimarinin açıklaması her bir katman için Şekil 22'de gösterilmiştir.



Şekil 22. İki girişli ve iki kurallı ANFIS mimarisini

Katman 1 : Bulanıklaştırma işleminin yapıldığı katmandır. Bu katmana gelen giriş işaretleri kullanılan üyelik işlevlerine göre üyelik derecelerine çevirmektedir. Eşitlik (4.4) ve (4.5) gibi ifade edilir.

$$\mu_{A_i}(x) = \frac{1}{1 + \left[\left(\frac{x - c_i}{a_i} \right)^2 \right]} \quad (4.4)$$

$$\mu_{Bi}(y) = \frac{1}{1 + \left[\left(\frac{y - c_i}{a_i} \right)^2 \right]} \quad (4.5)$$

Katman 2 : Herbir düğüm min ya da prod fonksiyonlarını kullanarak her kuralın tetikleme seviyesini hesaplar. Bu katman çıkışı giriş sinyallerinin çarpımını verir ve eşitlik (4.6) gibi ifade edilir.

$$\omega_i = \mu_{Ai}(x) \times \mu_{Bi}(y), i = 1,2 \quad (4.6)$$

Katman 3: Bir kuralın normaleştirilmiş tetikleme seviyesi hesaplanır. Bütün kuralların tetikleme seviyesine göre bir kural tetikleme seviye oranlarını hesaplar ve eşitlik (4.7) gibi ifade edilir.

$$\varpi = \frac{\omega_i}{\omega_1 + \omega_2}, i = 1,2 \quad (4.7)$$

Katman 4: Berraklaştırma katmanıdır. Her bir düğüm ağırlıklaştırılmış değerleri çıkışa aktarır ve eşitlik (4.8) gibi ifade edilir.

$$\varpi_i f_i = \omega_i (p_i x + q_i y + r_i) \quad (4.8)$$

Katman 5: Bir önceki katmandan gelen bütün sinyalleri toplayarak çıkışa verir ve eşitlik (4.9) gibi ifade edilir.

$$f = \frac{w_1 f_1 + w_2 f_2}{w_1 + w_2} \Rightarrow f = \bar{w}_1 f_1 + \bar{w}_2 f_2 \quad (4.9)$$

4.3. ANFIS'in Öğrenme Algoritması

Nöro-uyarlamalı öğrenme teknikleri, bir veri seti hakkında bilgi edinmek için bulanık modelleme prosedürü için bir yönteme sahiptir. İlişkili belirsiz çıkarım sistemine verilen giriş / çıkış verilerini izlemesine izin veren üyelik fonksiyonu parametrelerini hesaplar. Üyelik fonksiyonları ile ilişkili parametreler öğrenme süreci boyunca değişir. Gerçek dünya

problemleriyle daha etkin bir şekilde başa çıkabilmek için, bu mimariye yönelik öğrenme algoritmasının görevi, ANFIS çıktısını eğitim verisiyle eşleştirmek için tüm değiştirilebilir ve parametreleri ayarlanabilmektedir. Yakınsama oranını arttırmak için, hibrit ağ, en az karekök metodu birleştiren bir melez öğrenme algoritması ile eğitilebilir ve geri yayımlı öğrenme yöntemi kullanılabilir. En küçük kareler metodu, sabit parametreyle katman 4'te sonuç parametresinin optimal değerlerini tanımlamak için kullanılabilir. azalma vektörü, bulanık çıkarım sisteminin belirli bir parametreler kümesi için giriş / çıkış verisini modellemesinin bir ölçüsünü sağlar. Yüselme vektörü elde edildiğinde, bazı hata önlemlerini azaltmak için parametreleri ayarlamak amacıyla birkaç optimizasyon rutininden herhangi biri uygulanabilir. Öncül parametreler sabit olmadığında, arama alanı büyür ve eğitimin yaklaşması yavaşlar. Hibrit algoritma, bir ileri geçişten ve bir geriye doğru geçişten oluşur. Optimal sonuç parametreleri bulunduğu anda, geriye doğru geçiş başlar. Geriye doğru geçişte, hatalar geriye doğru yayılır ve giriş alanındaki bulanık kümelere karşılık gelen öncül parametreler, degrade alçalma yöntemi ile güncellenir. ANFIS, üyelik fonksiyonu parametre tahmini için en küçük kareler tahminini ve geri yayılımını kullanır.

Çıkış hatası, denklemler tarafından tanımlanan ortalama kare hata fonksiyonunu en aza indirmek için standart geri yayılım algoritması aracılığıyla öncül parametreleri adapte etmek için kullanılır. Bu hibrid algoritmanın ANFIS eğitiminde yüksek oranda etkili olduğu bilinmektedir.

5. PERFORMANS KRITERİ

YSA ve ANFIS'le oluşturulan modellerin performanslarının ölçümü, gerçek değerlerle verilerin modele uygulanması sonucu elde edilen çıkış arasındaki farka göre yapılmaktadır. Her iki modelin performans ölçümü için ortalama mutlak yüzde hata (*Mean Absolute Percentage Error, MAPE*) kullanılmıştır ve eşitlik (5.1) gösterilmiştir.

$$MAPE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left| \frac{x_i - y_i}{x_i} \right| \times 100\% \quad (5.1)$$

6. YSA VE ANFIS MODEL UYGULAMALARI

ANFIS ve YSA ağımızın eğitimi için veri seti olarak 2010 ile 2015 yıllarına ait aylık taşkömür, linyit, sıvı yakıtlar, doğalgaz, hidrolik, jeotermal ve rüzgar, yenilenebilir ve atık birincil enerji kaynaklarının üretim miktarları kullanılacaktır. Serbest piyasa enerji fiyatları birçok değişkene bağlı ve enerji piyasasının yeni olması nedeniyle PTF ağırlıklı ortalamaları veri seti kısıtlı olduğundan tüm veriler eğitim aşamasında kullanılmıştır.

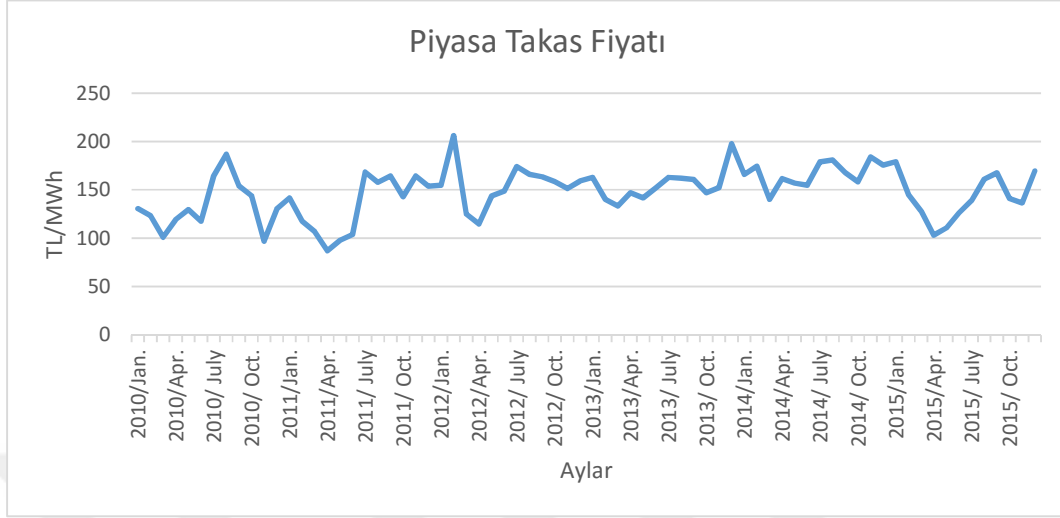
6.1. YSA VE ANFIS Model Uygulaması

Elektrik retiminde birincil enerji kaynakları olarak taşkömür, linyit, sıvı yakıtlar, doğalgaz, yenilenebilir ve atık, hidrolik, jeotermal ve rüzgarı sayabiliriz. Bu kaynakların toplam üretimine katkısı farklıdır. Aylar yada yıllar itibariyle kaynak kullanımını eğilimi değişmekte ve sonucu olarak fiyata etkisinde değişmektedir. 2010 yılından itibaren PTF ağırlık ortalamaları aylık olarak tabloda verilmiştir.

Tablo 12. Aylar itibariyle PTF değerleri [34]

DÖNEM	PTF (TL/MWh)	DÖNEM	PTF (TL/MWh)	DÖNEM	PTF (TL/MWh)	DÖNEM	PTF (TL/MWh)
2010/01	130,632	2011/10	142,966	2013/07	162,82	2015/04	103,295
2010/02	123,255	2011/11	164,473	2013/08	162,068	2015/05	110,817
2010/03	101,133	2011/12	154,01	2013/09	160,766	2015/06	126,071
2010/04	119,51	2012/01	154,79	2013/10	147,065	2015/07	139,081
2010/05	129,477	2012/02	206,263	2013/11	152,231	2015/08	160,933
2010/06	117,465	2012/03	125,022	2013/12	197,65	2015/09	167,483
2010/07	164,469	2012/04	114,679	2014/01	166,128	2015/10	141,11
2010/08	186,681	2012/05	143,514	2014/02	174,415	2015/11	136,369
2010/09	154,313	2012/06	148,53	2014/03	140,195	2015/12	169,349
2010/10	143,802	2012/07	174,167	2014/04	161,523	2016/01	156,062
2010/11	97,058	2012/08	166,126	2014/05	156,978	2016/02	108,961
2010/12	130,171	2012/09	163,541	2014/06	154,693	2016/03	112,677
2011/01	141,762	2012/10	158,424	2014/07	178,977	2016/04	121,135
2011/02	117,733	2012/11	151,501	2014/08	181,058	2016/05	122,436
2011/03	107,02	2012/12	159,309	2014/09	167,818	2016/06	151,093
2011/04	87,132	2013/01	163,018	2014/10	158,285	2016/07	141,923
2011/05	97,985	2013/02	140,071	2014/11	184,026	2016/08	168,414
2011/06	103,919	2013/03	133,488	2014/12	175,789	2016/09	145,739
2011/07	168,479	2013/04	147,192	2015/01	179,052	2016/10	145,075
2011/08	157,786	2013/05	141,621	2015/02	145,201	2016/11	154,862
2011/09	164,386	2013/06	152,105	2015/03	128,219	2016/12	227,96

Piyasa Takas Fiyatı (PTF) gün öncesi piyasasında oluşan referans elektrik enerjisi alış-satış fiyatıdır. Şekil 23’de aylık değişimi gösterilen PTF arz talep dengesinin bir sonucudur. Arz talep ise elektrik üretim ve tüketim miktarlarıdır.

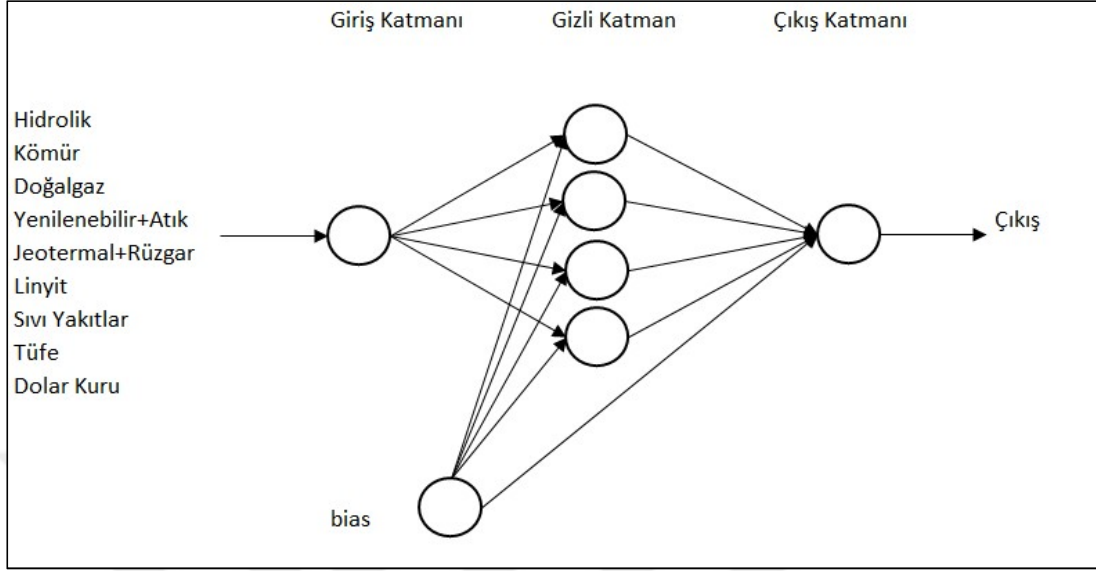


Şekil 23. Geçmiş dönemlere ait PTF ağırlıklı ortalama aylık değişim grafiği

Türkiye elektrik enerjisi üretiminin birincil enerji kaynakları olarak doğalgaz, kömür, linyit, sıvı yakıtlar (fuel-oil, motorin), atık ısı, hidrolik, jeotermal, rüzgar ve güneş sayabiliriz [34]. Bu enerji kaynaklarını termik, hidrolik, rüzgar, jeotermal, güneş olarak sınıflandırabiliriz. Giriş veri seti olarak 2010-2015 yıllarına ait doğalgaz, hidrolik ve doğalgaz-sıvı yakıtlar-linyit enerji kaynaklarının üretim miktarları kullanılmıştır.

6.2. YSA Model Uygulaması

Bu model uygulamamızda 1 giriş, 1 gizli ve 1 çıkış katmanından oluşan yapay sinir ağı oluşturuldu. Oluşturulan katmanlardaki sinir sayısı ise gizli katman için 4, çıkış katmanı için ise 1 belirlenmiştir.



Şekil 24. Yapay sinir ağı model uygulaması

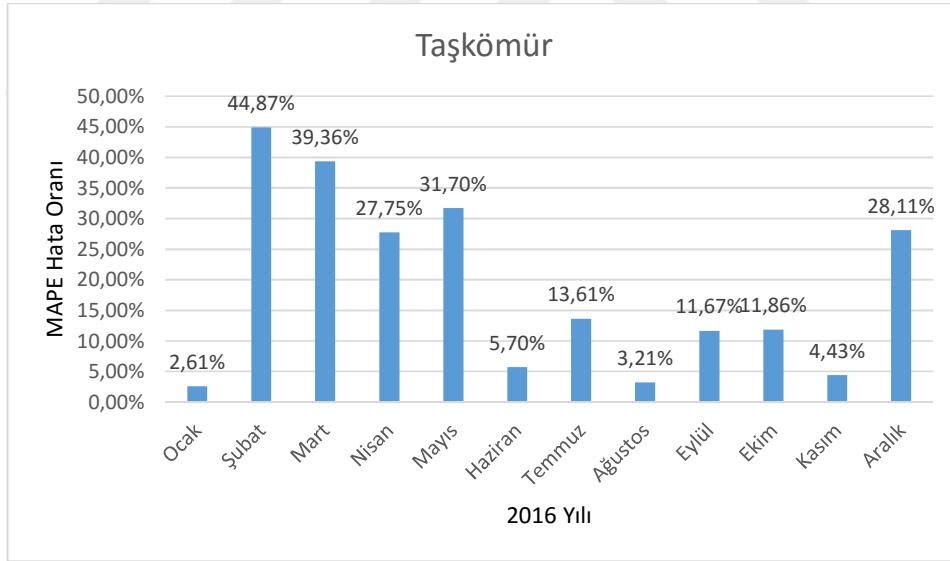
Öğrenmeyi kolaylaştırmak için yapay sinir ağının öğrenme katsayısı $k = 0,2$ momentum ise $m = 0,1$ seçilmiştir. Hesaplamanın daha hızlı olması için aktarım işlevi olarak da eğrisel işlev kullanılmıştır. Girişlere uygulanan girdilerle ağıımız ise 1.000 kez eğitilmiştir.

Yapay sinir ağımızın eğitim işlemi tamamlandıktan sonra giriş verilerine göre uzun dönem 2016 yılı Ocak-Aralık aylarına ait dönemsel ortalama PTF tahmin edilmiştir. Elde edilen sonuçların MAPE (Mean Absolute Percentage Error-MAPE) oranları karşılaştırılmıştır.

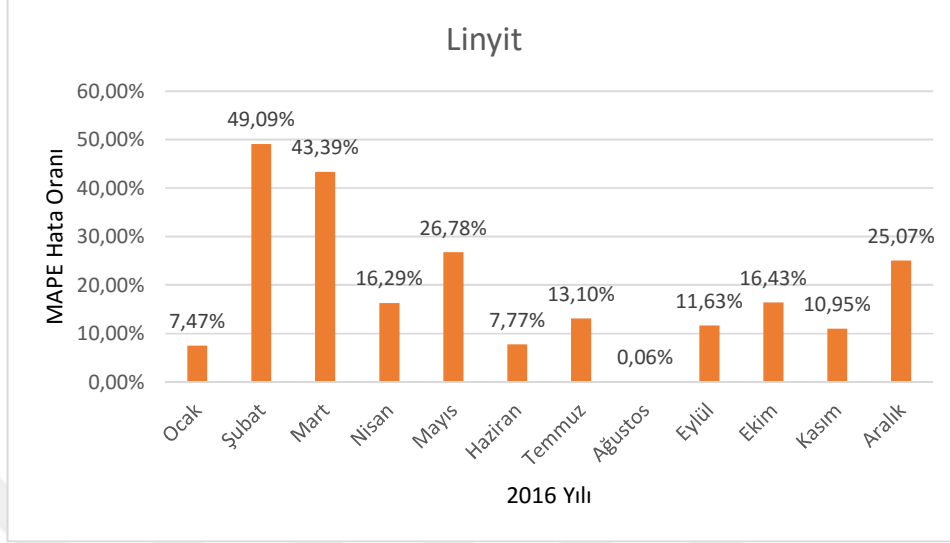
Modellemesi yapılan yapay sinir ağımıza 2010-2015 yılları arası verilerini kullanarak 2016 Ocak-Aralık aylar arası uzun dönem PTF ağırlıklı ortalama (Piyasa Takas Fiyatı) tahminleri girişe uygulanan birincil enerji kaynakları türüne göre ayrı ayrı ve bileşikleri kullanılarak hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlar karşılaştırıldığında en başarılı sonuçları doğalgaz birincil enerji kaynağı ve bileşiklerinden elde edilmiştir.

Tablo 13. Birincil enerji kaynaklarının üretim miktarına göre PTF tahminleri

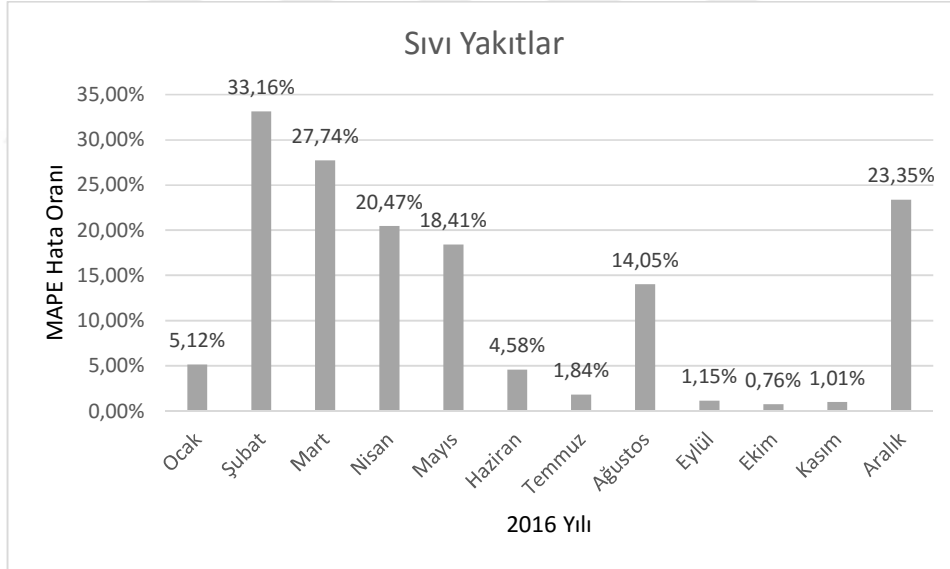
YIL/Kaynak	2016 YILI PTF	TAŞKÖMÜR (TL/MWh)	LİNYİT (TL/MWh)	SIVI YAKITLAR (TL/MWh)	DOĞALGAZ (TL/MWh)	YENİLENEBİLİR + ATIK (TL/MWh)	HİDROLİK (TL/MWh)	JEOTERMAL + RÜZGAR (TL/MWh)
Ocak	156,062	160,135	167,724	164,058	138,063	159,816	146,465	156,354
Şubat	108,961	157,857	162,454	145,094	122,92	159,789	149,016	156,087
Mart	112,677	157,032	161,565	143,928	112,512	159,718	140,042	156,438
Nisan	121,135	154,751	140,873	145,935	120,637	159,705	138,99	155,082
Mayıs	122,436	161,248	155,228	144,982	108,821	159,755	140,498	155,624
Haziran	151,093	159,709	162,834	144,175	130,389	159,757	141,784	156,124
Temmuz	141,923	161,246	160,509	144,541	138,536	159,681	143,095	156,938
Ağustos	168,414	163,003	168,311	144,744	161,415	159,668	146,048	156,908
Eylül	145,739	162,744	162,689	144,065	121,171	159,705	154,946	156,597
Ekim	145,075	162,287	168,915	143,973	137,717	159,666	155,627	156,273
Kasım	154,862	161,723	171,827	153,303	147,42	159,66	157,951	156,633
Aralık	227,96	163,881	170,811	174,731	111,613	159,67	143,941	156,828



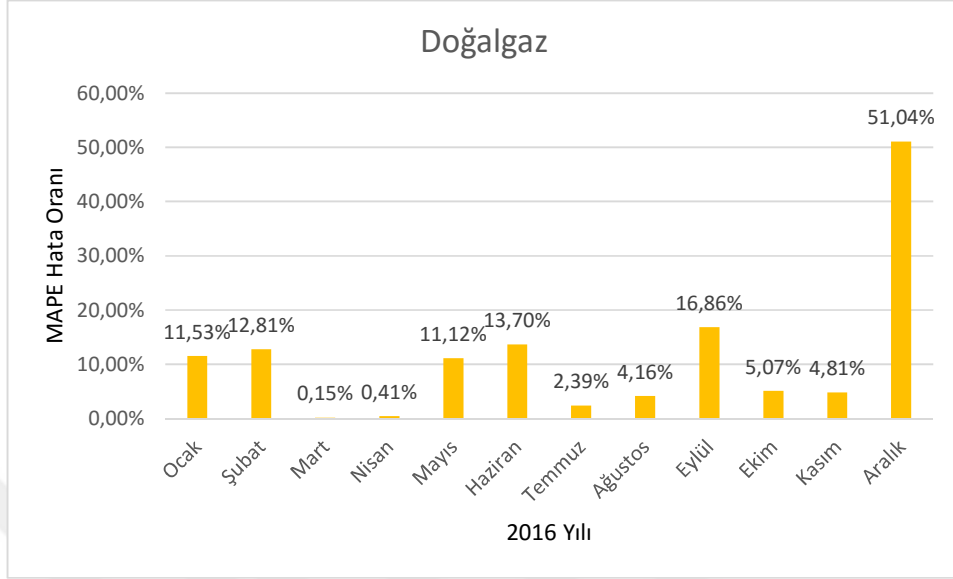
Şekil 25. Taşkömürü üretim miktarına göre PTF tahmini



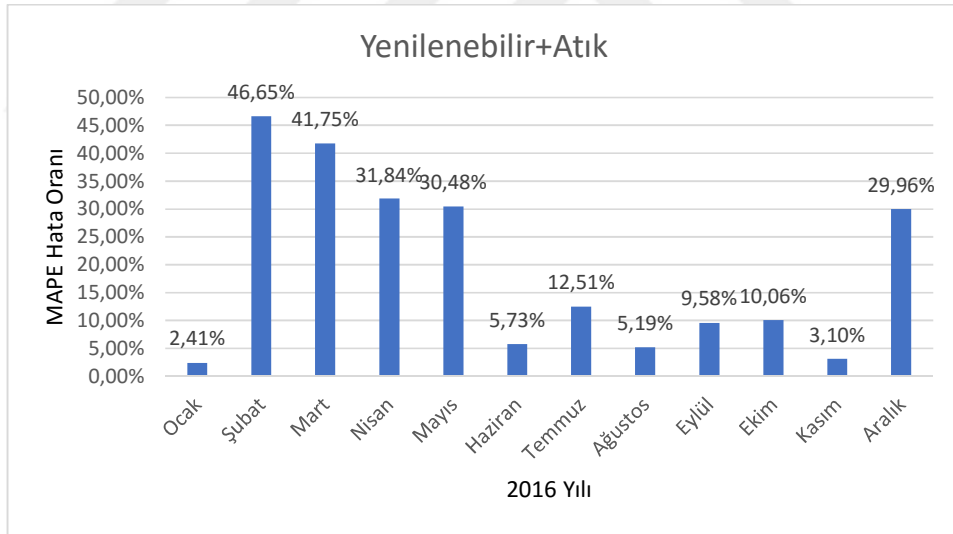
Şekil 26. Linyit üretim miktarına göre PTF tahmini



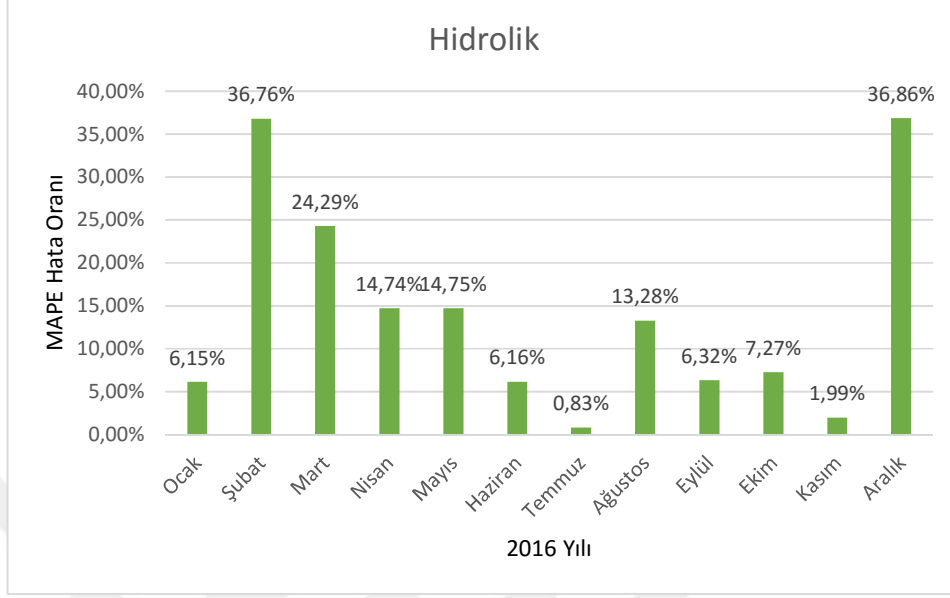
Şekil 27. Sıvı yakıtlar üretim miktarına göre PTF tahmini



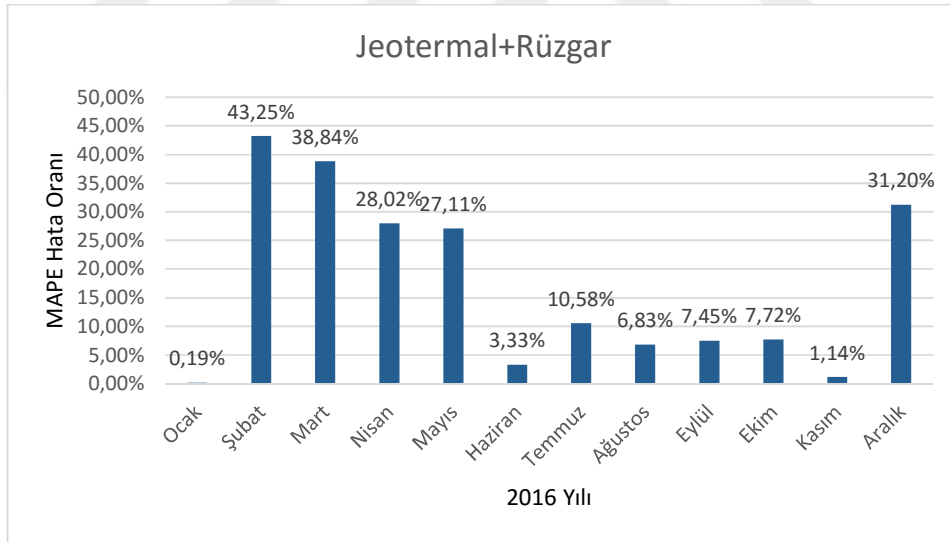
Şekil 28. Doğalgaz üretim miktarına göre PTF tahmini



Şekil 29. Yenilenebilir ve atık üretim miktarına göre PTF tahmini



Şekil 30. Hidrolik üretim miktarına göre PTF tahmini



Şekil 31. Jeotermal ve rüzgar üretim miktarına göre PTF tahmini

İkinci değerlendirmemizde modelimize giriş değişkeni olarak birincil enerji kaynaklarından oluşturulan üretim bileşiği ayrı ayrı uygulanmıştır. Sonuçlara ait değerler ve hata oranları ayrı ayrı tablolarda gösterilmiştir. Burada birincil enerji kaynak bileşiklerinin tanımı ise;

D+S+L = Doğalgaz + Sıvı Yakıtlar + Linyit

D+S = Doğalgaz + Sıvı Yakıtlar

H+S+L+K = Doğalgaz + Sıvı Yakıtlar + Linyit +Kömür

H+J+R+G = Hidrolik + Jeotermal + Rüzgar + Güneş

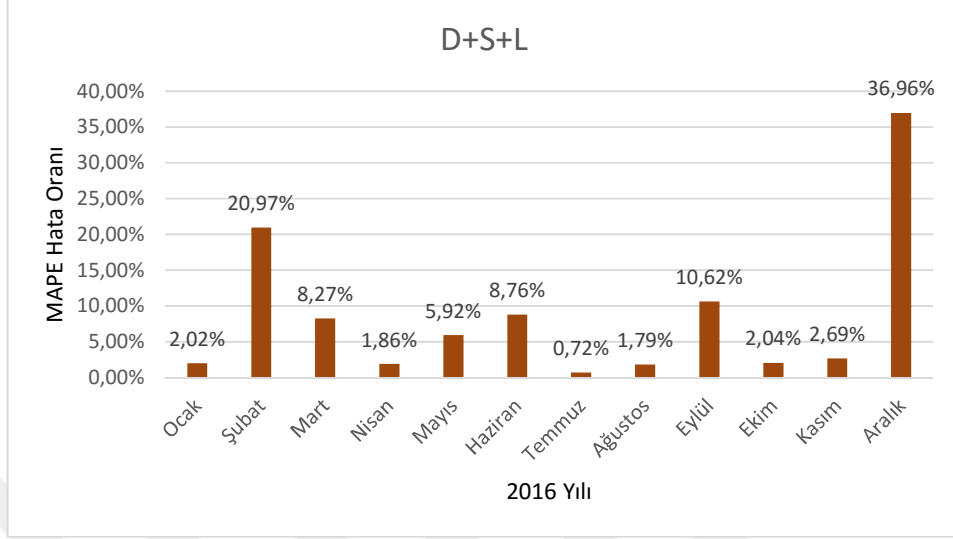
D+H = Doğalgaz + Hidrolik

D+S+L+H = Doğalgaz + Sıvı Yakıtlar + Linyit + Hidrolik

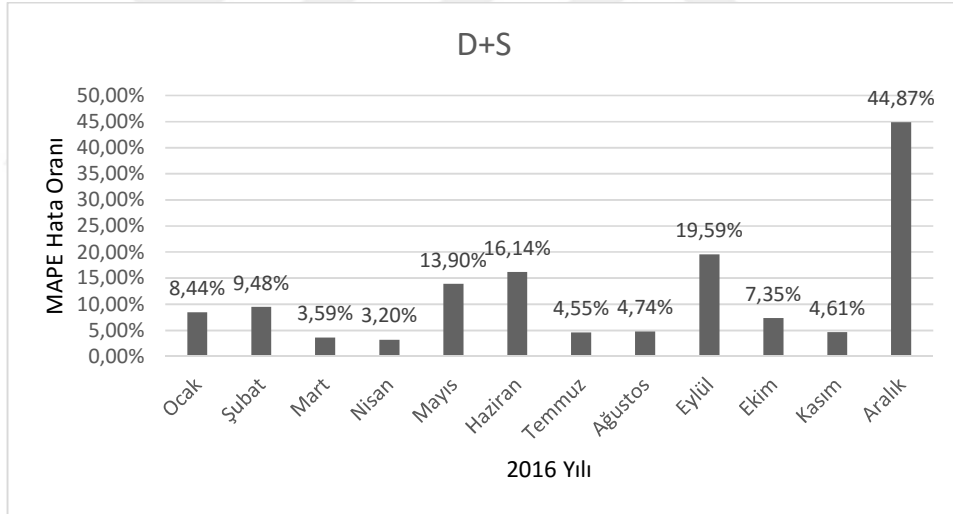
D+S+L+YA = Doğalgaz + Sıvı Yakıtlar + Linyit + Yenilenebilir ve Atık

Tablo 14. Birincil enerji kaynaklarından oluşturulan bileşiklere göre PTF tahmini

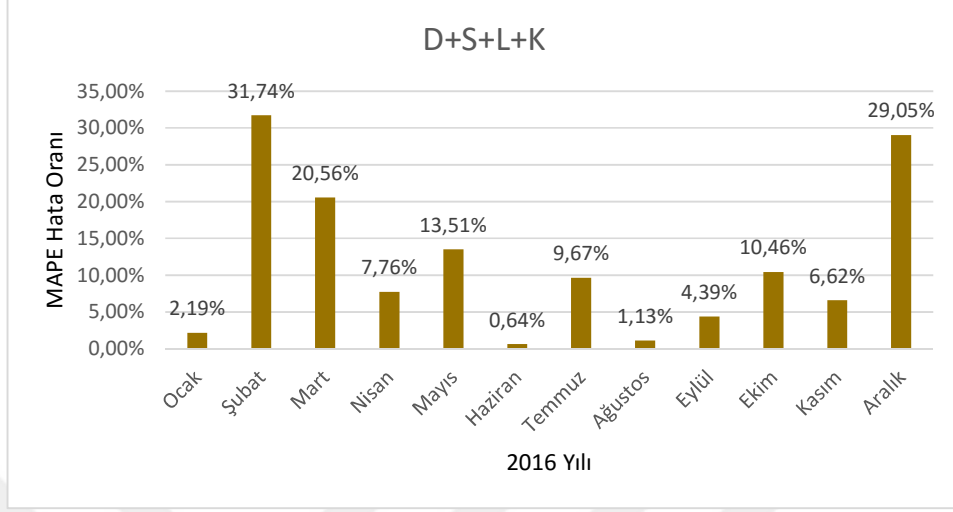
YIL\Kaynak	2016 YILI PTF	D+S+L (TL/MWh)	D+S (TL/MWh)	D+S+L+K (TL/MWh)	H+J+R+G (TL/MWh)	D+H (TL/MWh)	D+S+L+H (TL/MWh)	D+S+L+YA (TL/MWh)
Ocak	156,062	152,907	142,893	159,478	145,178	150,918	158,944	152,056
Şubat	108,961	131,805	119,294	143,547	147,478	136,108	135,76	131,439
Mart	112,677	121,991	108,632	135,839	140,513	149,31	149,074	122,181
Nisan	121,135	118,879	117,26	130,534	141,251	154,812	149,296	119,202
Mayıs	122,436	115,189	105,415	138,983	141,938	146,024	142,143	115,425
Haziran	151,093	137,855	126,701	150,125	142,281	154,404	156,431	137,453
Temmuz	141,923	142,946	135,467	155,645	140,646	155,719	157,393	142,698
Ağustos	168,414	165,394	160,438	170,324	142,792	161,213	169,097	164,87
Eylül	145,739	130,256	117,186	152,142	150,377	118,981	120,999	130,258
Ekim	145,075	148,032	134,406	160,244	151,793	132,668	137,282	147,721
Kasım	154,862	159,033	147,718	165,117	152,323	136,656	145,818	158,56
Aralık	227,96	143,71	125,665	161,745	141,929	139,796	156,385	143,482



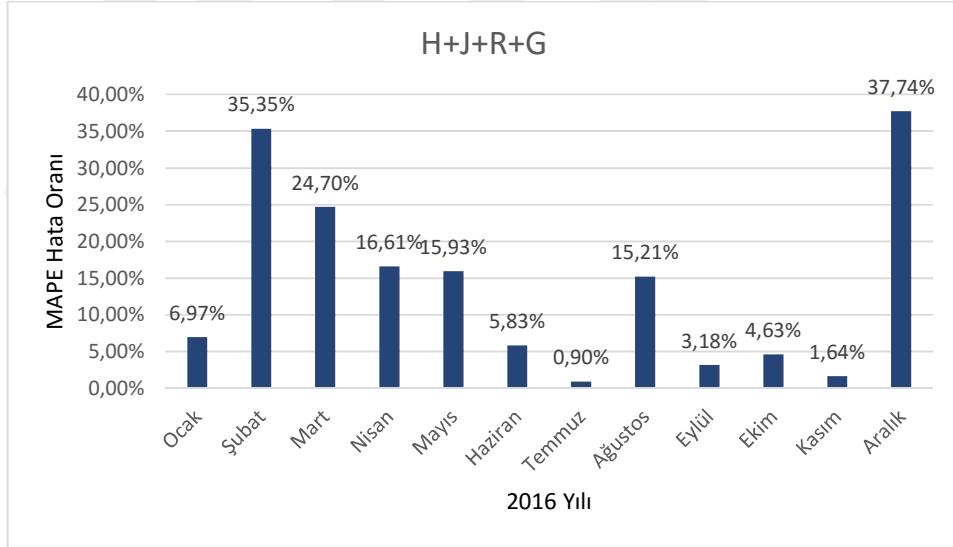
Şekil 32. Doğalgaz, sıvı yakıtlar ve linyit üretim miktarına göre PTF tahmini



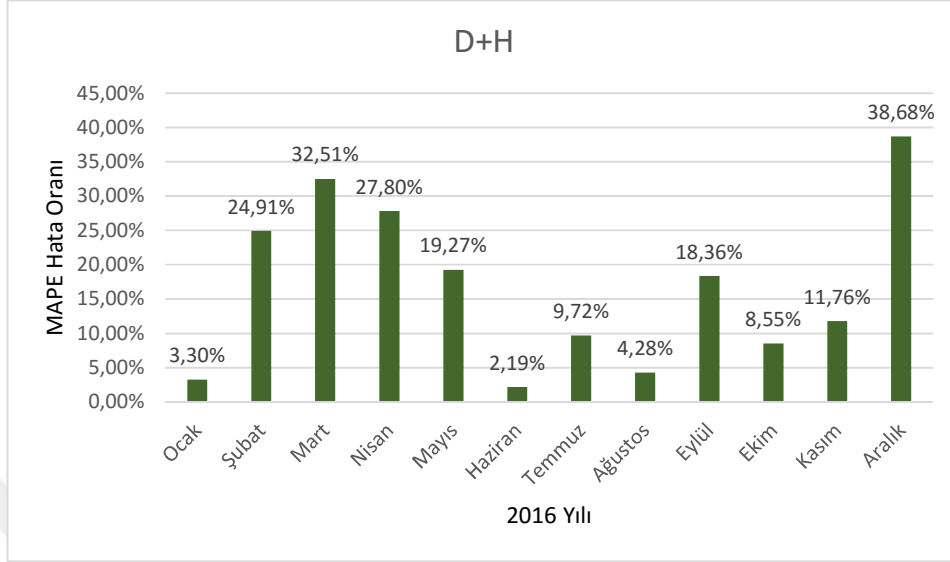
Şekil 33. Doğalgaz ve sıvı yakıtlar üretim miktarına göre PTF tahmini



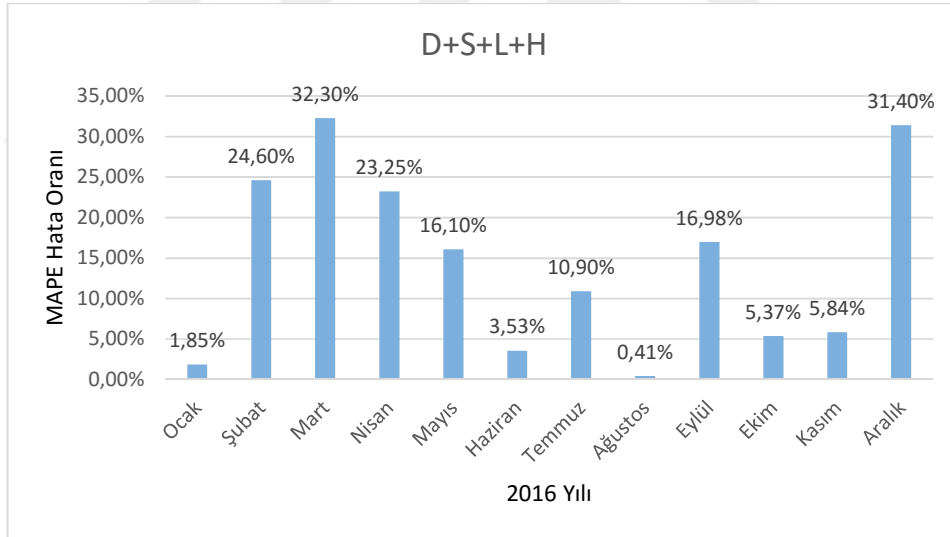
Şekil 34. Doğalgaz, sıvıyakıtlar, linyit ve kömür üretim miktarına göre PTF tahmini



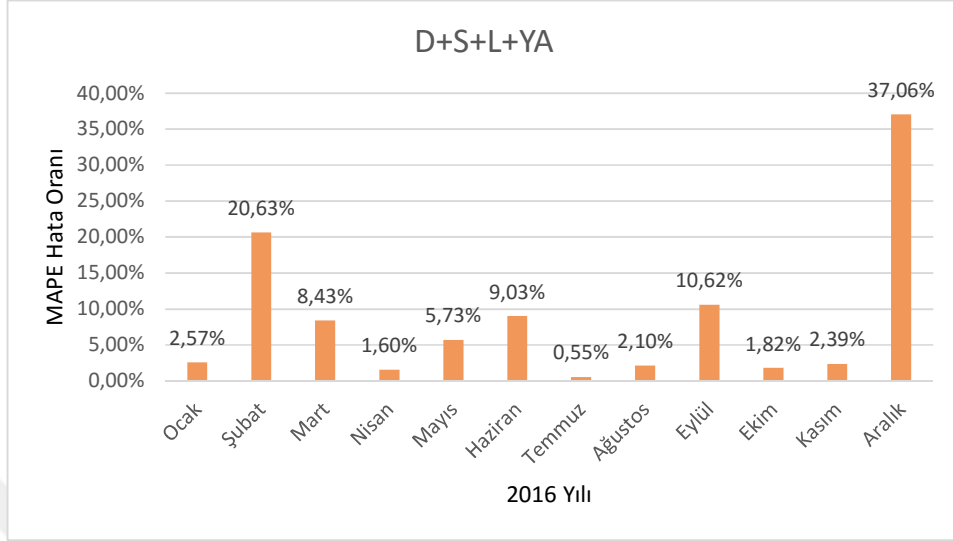
Şekil 35. Hidrolik, jeotermal, rüzgar ve güneş üretim miktarına göre PTF tahmini



Şekil 36. Doğalgaz ve hidrolik üretim miktarına göre PTF tahmini



Şekil 37. Doğalgaz, sıvı yakıtlar, linyit ve hidrolik üretim miktarına göre PTF tahmini

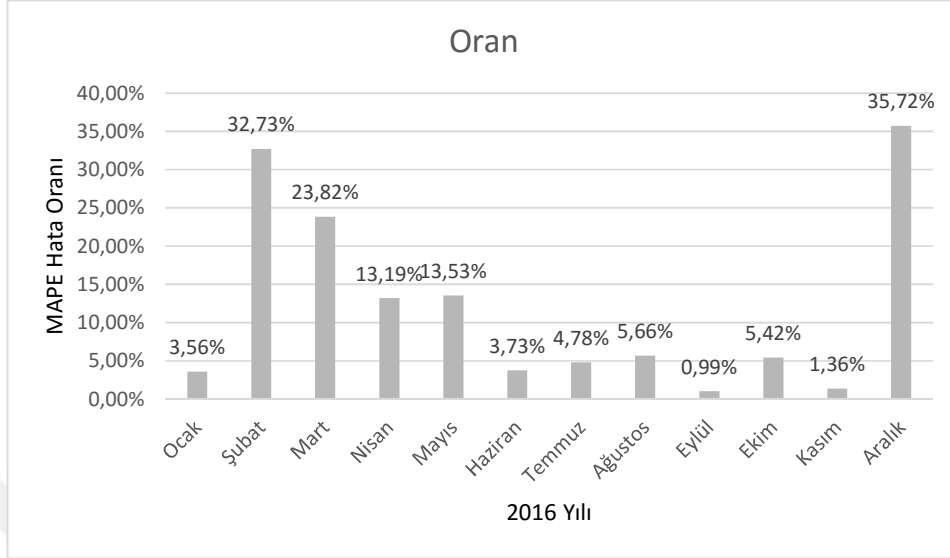


Şekil 38. Doğalgaz, sıvı yakıtlar, linyit, yenilenebilir ve atık üretim miktarına göre PTF tahmini

Üçüncü değerlendirmemizde modelimize giriş değişkeni olarak birincil enerji kaynakları uygulanmıştır. Bu enerji kaynaklarına ait PTF fiyatının ise toplam üretim oranındaki payı alınarak tüm birinci enerji kaynaklarından gelen payların toplamı ile yeni PTF bulunmuştur. Sonuçlara ait değerler ve hata oranları ayrı ayrı tablolarda gösterilmiştir.

Tablo 15. Herbir birincil enerji kaynaklarının toplam üretim oranına göre PTF değerleri

YIL\Kaynak	2016 YILI PTF	Kömür+Linyit+Sıvı Yakıtlar+Doğalgaz+Yenilenebilir Atık+Hidrolik+Jeotermal Rüzgar (TL/MWh)
Ocak	156,062	150,501
Şubat	108,961	144,629
Mart	112,677	139,515
Nisan	121,135	137,117
Mayıs	122,436	139,006
Haziran	151,093	145,463
Temmuz	141,923	148,708
Ağustos	168,414	158,874
Eylül	145,739	147,189
Ekim	145,075	152,944
Kasım	154,862	156,974
Aralık	227,96	146,529

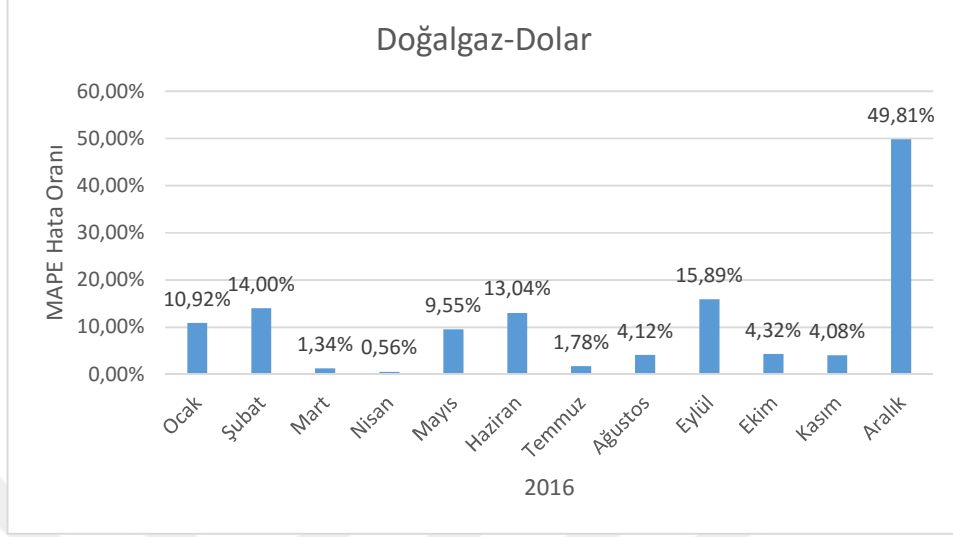


Şekil 39. Herbir biricil enerji kaynaklarının toplam üretim oranına göre PTF tahmini

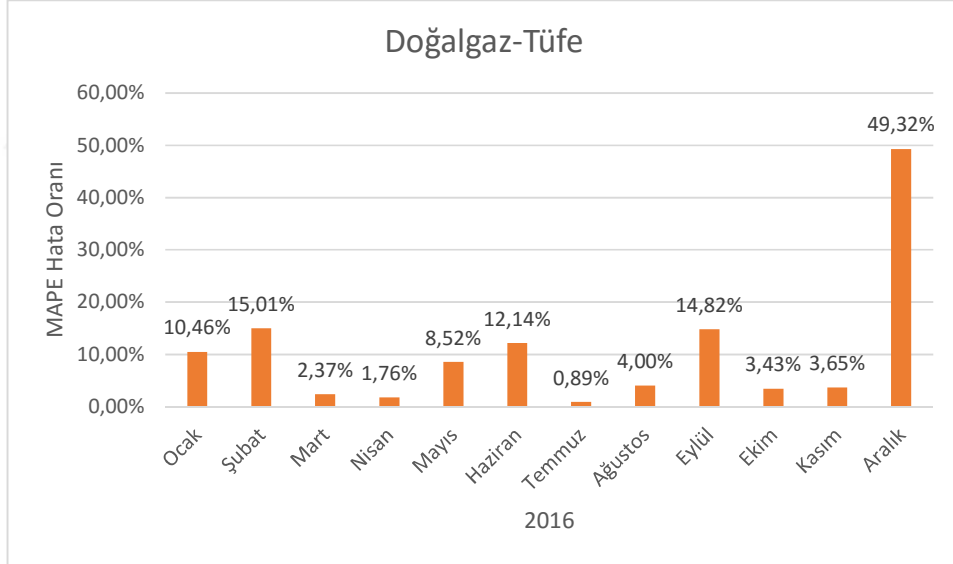
Dördüncü değerlendirmemizde birinci giriş değişkeni olarak biricil enerji kaynaklarından doğalgaz üretim miktarı, ikinci giriş değişkeni olarak da dolar kur endeksi uygulanmıştır. İkinci uygulamamızda ise ikinci giriş değişkeni olarak tüfe endeksi uygulanmıştır.

Tablo 16. Doğalgaz-Dolar ve Doğalgaz-Tüfe giriş değişkenlerine göre PTF değerleri

YIL\Kaynak	Doğalgaz-Dolar (TL/MWh)	Doğalgaz-Tüfe (TL/MWh)
Ocak	139,024	139,738
Şubat	124,220	125,318
Mart	114,182	115,351
Nisan	121,815	123,265
Mayıs	110,745	112,005
Haziran	131,388	132,751
Temmuz	139,391	140,656
Ağustos	161,473	161,676
Eylül	122,578	124,144
Ekim	138,804	140,103
Kasım	148,538	149,214
Aralık	114,407	115,541



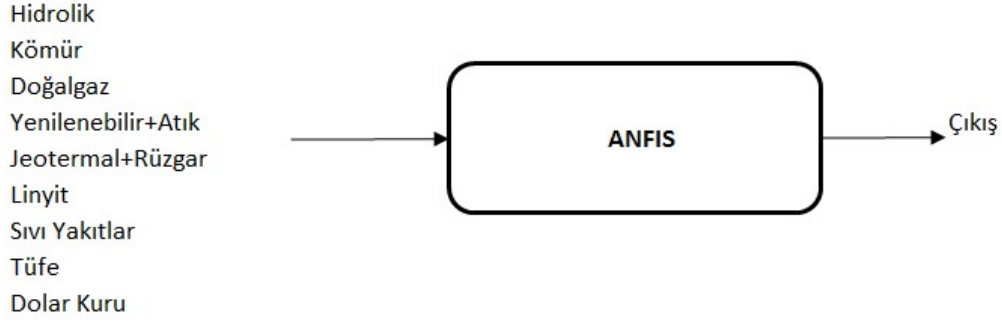
Şekil 40. Doğalgaz-Dolar giriş değişkenlerine göre PTF tahmini



Şekil 41. Doğalgaz-Tüfe giriş değişkenlerine göre PTF tahmini

6.3. ANFIS Model Uygulaması

ANFIS'le yapılan model uygulamamızda 1 girişli ve 1 çıkışlı Sugeno tipi bulanık çıkarım melez öğrenme algoritması kullanılmıştır. Sonuçları elde etmek için eğitim verileri olarak 2010-2015 yılları kullanılmıştır.



Şekil 42. ANFIS model uygulaması

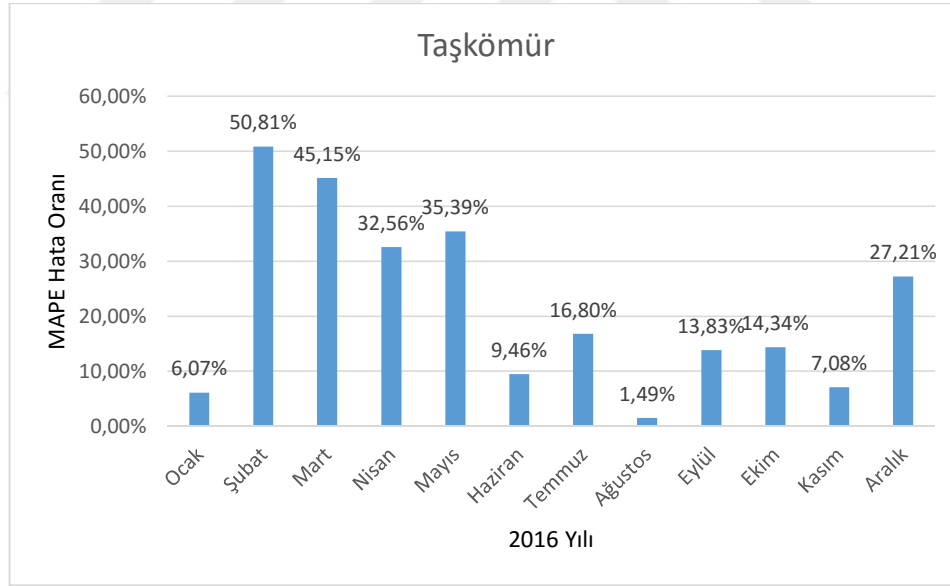
Eğitim süreci tamamlanan ağ üzerinden giriş verileri uygulanarak 2016 yılı PTF ağırlıklı ortalamaları tahmin edilmiştir. En küçük kareler yöntemi ve geri yayımlı en dik iniş yönteminin birleşimi olan hibrit ağ ile öğrenme gerçekleştirilmiştir.

ANFIS’le oluşturulan modele ait parametreler ise, FIS eğitimi “hibrit”, giriş MF tipi “gaussmf”, çıkış MF tipi “constant” seçilmiştir. Seçilen bu parametrelere göre eğitim tamamlanarak ağ üzerinden 2016 yılı Ocak-Aralık aylarına ait dönemsel PTF ağırlıklı ortalamaları elde edilmiştir.

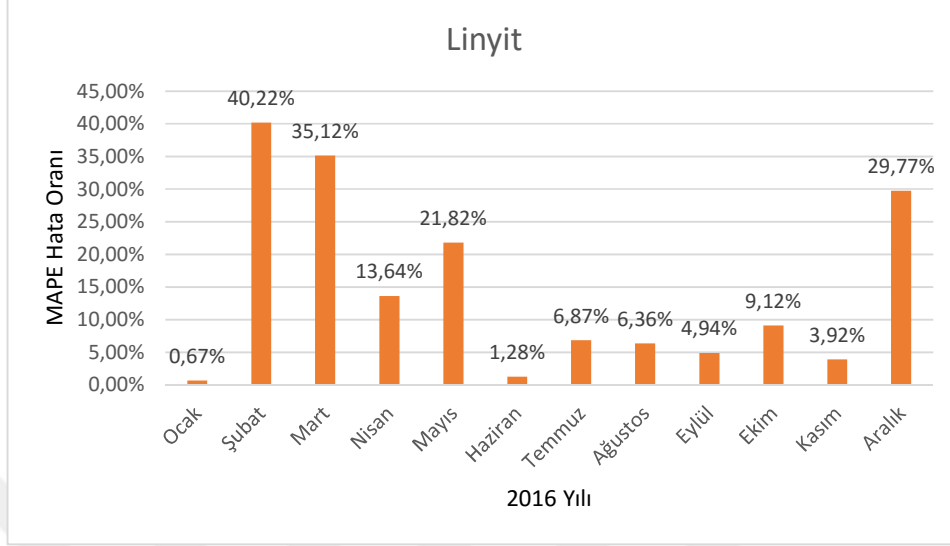
Bu eğitim aşamasından sonra 2016 Ocak-Aralık aylarını kapsayan PTF ağırlıklı ortalama tahminleri girişe uygulanan enerji kaynakları türüne göre ayrı ayrı hesaplanmıştır. Modelimize giriş değişkeni olarak herbir birincil enerji kaynağı ayrı ayrı uygulanmıştır. Sonuçlara ait değerler ve hata oranları ayrı ayrı tablolarda gösterilmiştir. Tabloyu incelediğimizde en başarılı sonuçlar doğalgaz ile hidrolik birincil enerji kaynaklarından elde edilmiştir.

Tablo 17. Birincil enerji kaynaklarının üretimi miktarına göre PTF tahminleri

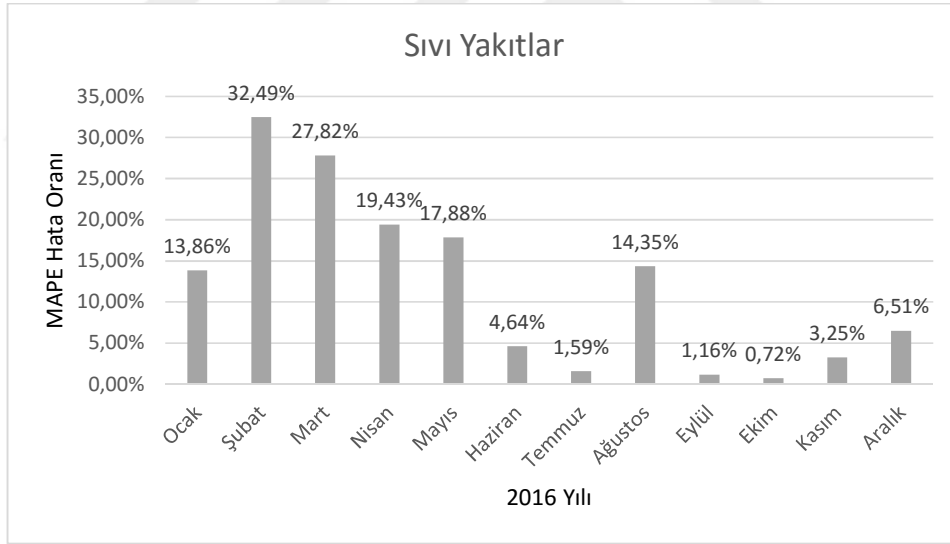
YIL/Kaynak	2016 YILI PTF	TAŞKÖMÜR (TL/MWh)	LİNYİT (TL/MWh)	SIVI YAKITLAR (TL/MWh)	DOGAL GAZ (TL/MWh)	YENİLENE BİLİR + ATIK (TL/MWh)	HİDROLİK (TL/MWh)	JEOTERMAL + RÜZGAR (TL/MWh)
Ocak	156,062	165,533	157,115	177,697	134,885	148,896	145,844	145,926
Şubat	108,961	164,322	152,785	144,359	119,021	149,153	148,778	146,266
Mart	112,677	163,556	152,252	144,019	114,737	149,867	123,598	145,864
Nisan	121,135	160,579	137,656	144,666	117,699	150,002	119,063	150,226
Mayıs	122,436	165,77	149,146	144,322	114,02	149,481	125,696	147,541
Haziran	151,093	165,392	153,028	144,083	125,38	149,464	131,617	146,204
Temmuz	141,923	165,769	151,674	144,186	135,518	150,264	137,035	145,742
Ağustos	168,414	165,909	157,7	144,247	157,44	150,405	145,127	145,742
Eylül	145,739	165,899	152,934	144,054	117,985	150	151,863	145,788
Ekim	145,075	165,875	158,303	144,03	134,423	150,435	152,154	146,004
Kasım	154,862	165,828	160,937	149,825	146,286	150,496	153,1	145,777
Aralık	227,96	165,928	160,104	213,109	114,535	150,383	139,955	145,746



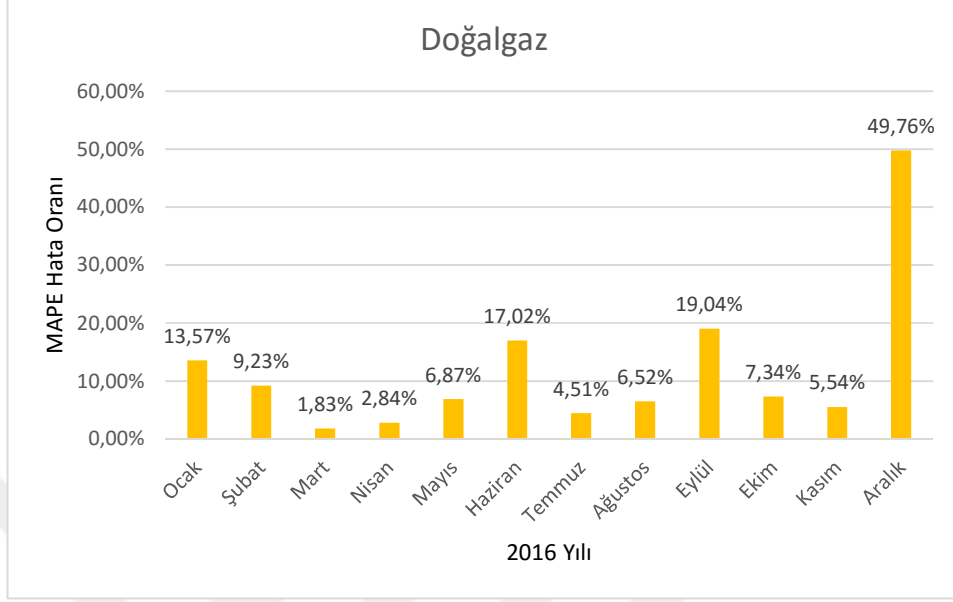
Şekil 43. Taşkömürü üretim miktarına göre PTF tahmini



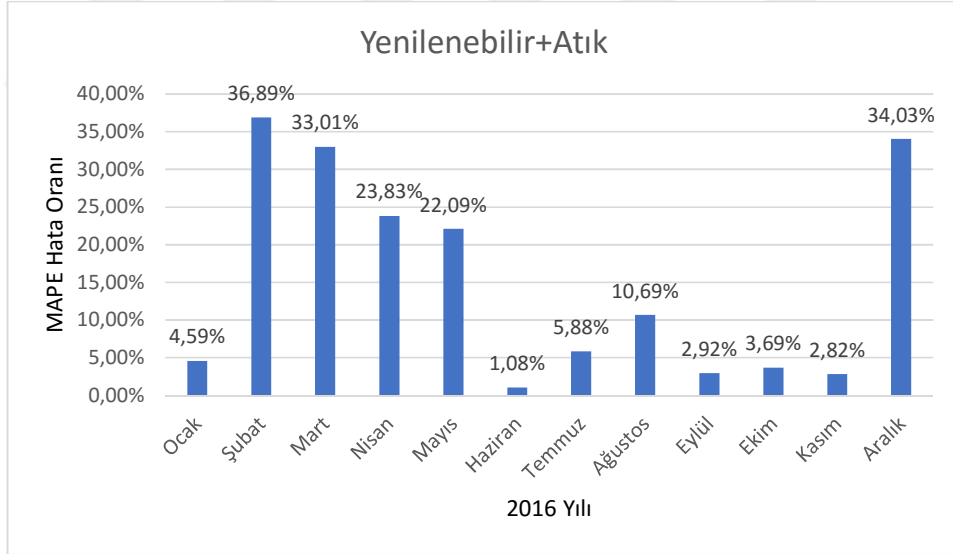
Şekil 44. Linyit üretim miktarına göre PTF tahmini



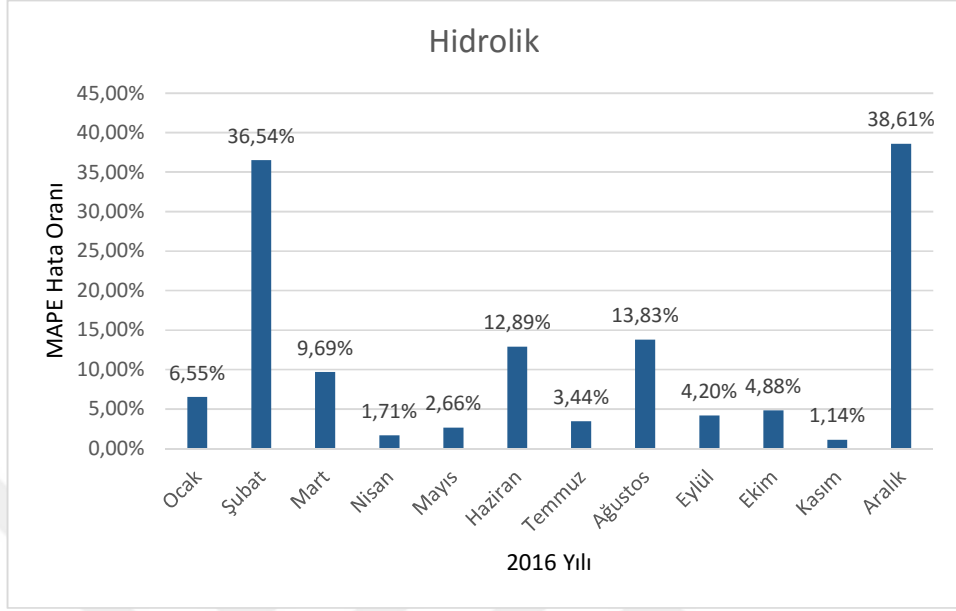
Şekil 45. Sıvı yakıtlar üretim miktarına göre PTF tahmini



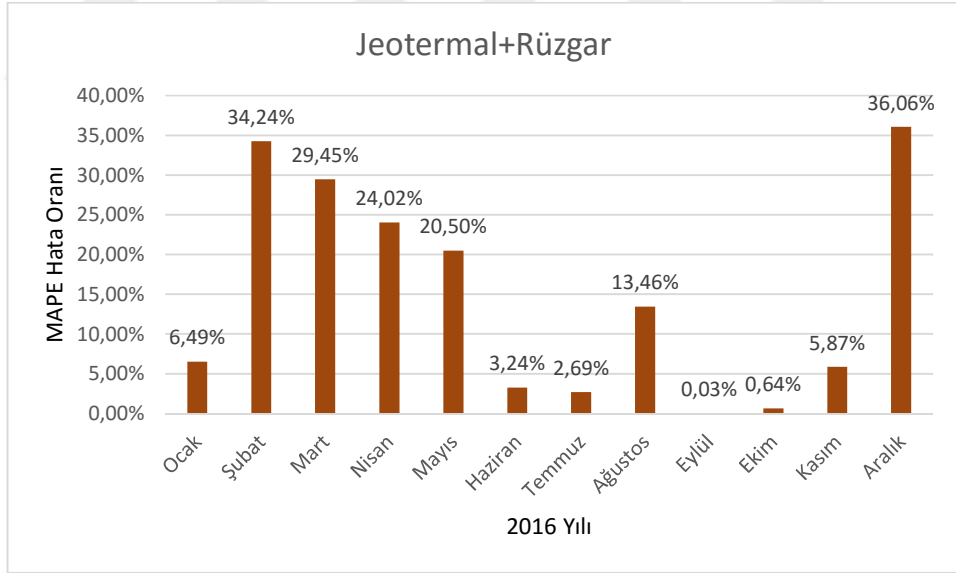
Şekil 46. Doğalgaz üretim miktarına göre PTF tahmini



Şekil 47. Yenilenebilir ve atık üretim miktarına göre PTF tahmini



Şekil 48. Hidrolik üretim miktarına göre PTF tahmini



Şekil 49. Jeotermal ve rüzgar üretim miktarına göre PTF tahmini

İkinci değerlendirmemizde modelimize giriş değişkeni olarak birincil enerji kaynaklarından oluşturulan üretim bileşiği ayrı ayrı uygulanmıştır. Sonuçlara ait değerler ve hata oranları ayrı ayrı tablolarda gösterilmiştir. Burada birincil enerji kaynak bileşiklerinin tanımını ise;

D+S+L = Doğalgaz + Sıvı Yakıtlar + Linyit

D+S = Doğalgaz + Sıvı Yakıtlar

H+S+L+K = Doğalgaz + Sıvı Yakıtlar + Linyit + Kömür

H+J+R+G = Hidrolik + Jeotermal + Rüzgar + Güneş

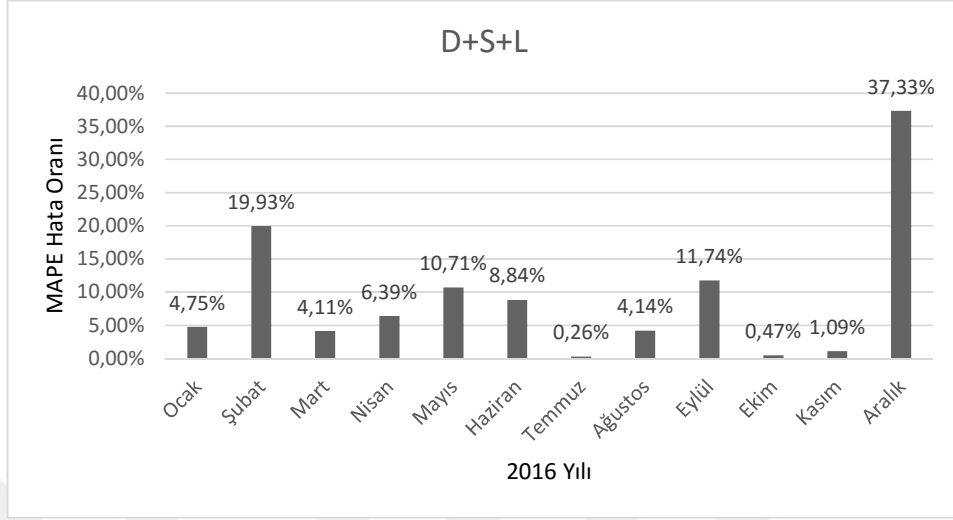
D+H = Doğalgaz + Hidrolik

D+S+L+H = Doğalgaz + Sıvı Yakıtlar + Linyit + Hidrolik

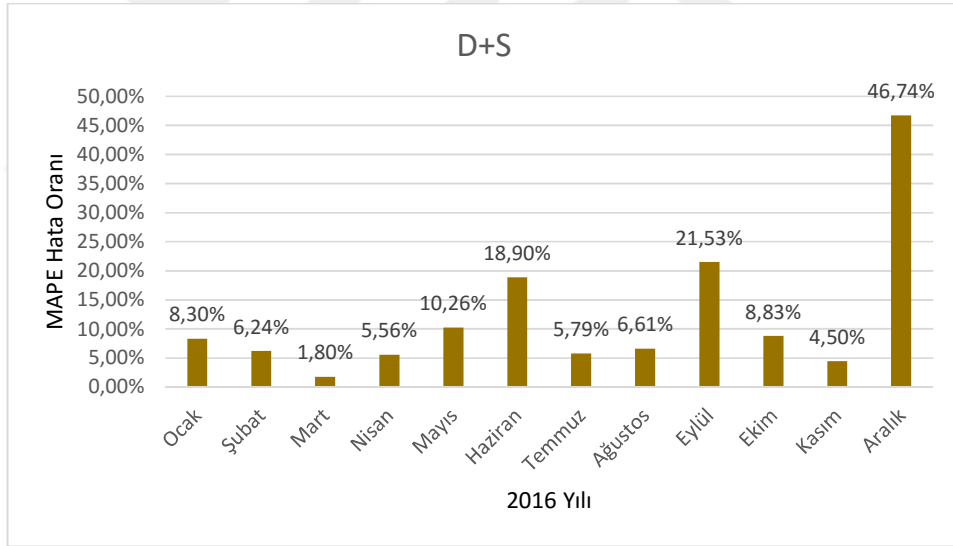
D+S+L+YA = Doğalgaz + Sıvı Yakıtlar + Linyit + Yenilenebilir ve Atık

Tablo 18. Birincil enerji kaynaklarından oluşturulan bileşiklere göre PTF tahmini

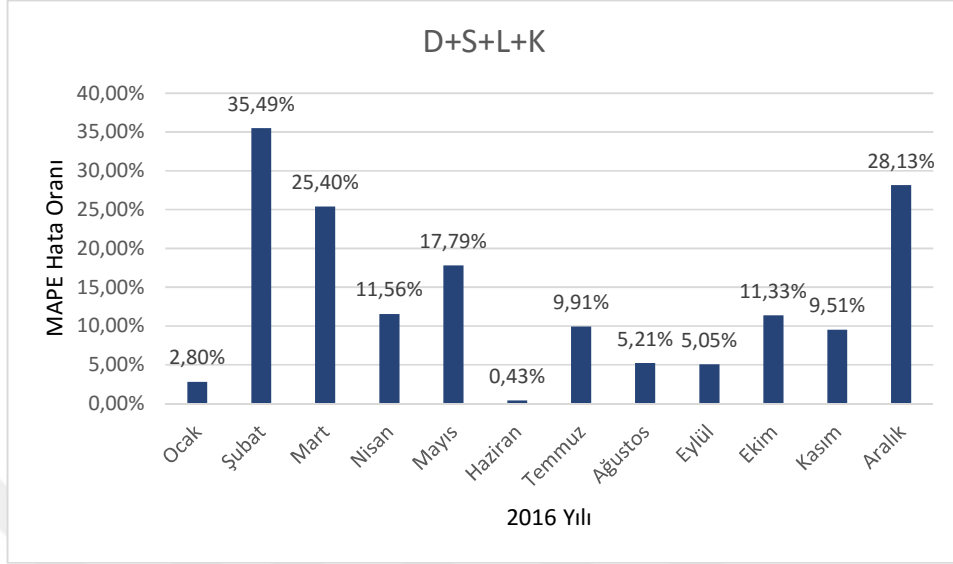
YIL\Kaynak	2016 YILI PTF	D+S+L (TL/MWh)	D+S (TL/MWh)	D+S+L+K (TL/MWh)	H+J+R+G (TL/MWh)	D+H (TL/MWh)	D+S+L+H (TL/MWh)	D+S+L+YA (TL/MWh)
Ocak	156,062	148,643	143,11	160,426	137,765	149,165	154,931	148,699
Şubat	108,961	130,674	115,755	147,628	145,201	133,731	135,65	131,786
Mart	112,677	117,313	110,654	141,294	116,459	147,704	146,237	118,941
Nisan	121,135	113,389	114,403	135,133	118,891	152,245	146,372	114,853
Mayıs	122,436	109,323	109,875	144,213	121,705	144,207	141,365	110,173
Haziran	151,093	137,734	122,544	151,74	123,286	151,918	151,637	138,508
Temmuz	141,923	142,29	133,706	155,989	116,851	153,03	152,746	142,873
Ağustos	168,414	161,443	157,283	177,195	125,804	163,644	178,188	162,737
Eylül	145,739	128,631	114,358	153,101	149,007	127,449	126,829	130,261
Ekim	145,075	145,758	132,272	161,511	149,786	131,41	137,04	146,104
Kasım	154,862	153,181	147,895	169,59	149,993	134,174	144,15	153,935
Aralık	227,96	142,869	121,416	163,825	121,663	137,108	151,589	143,423



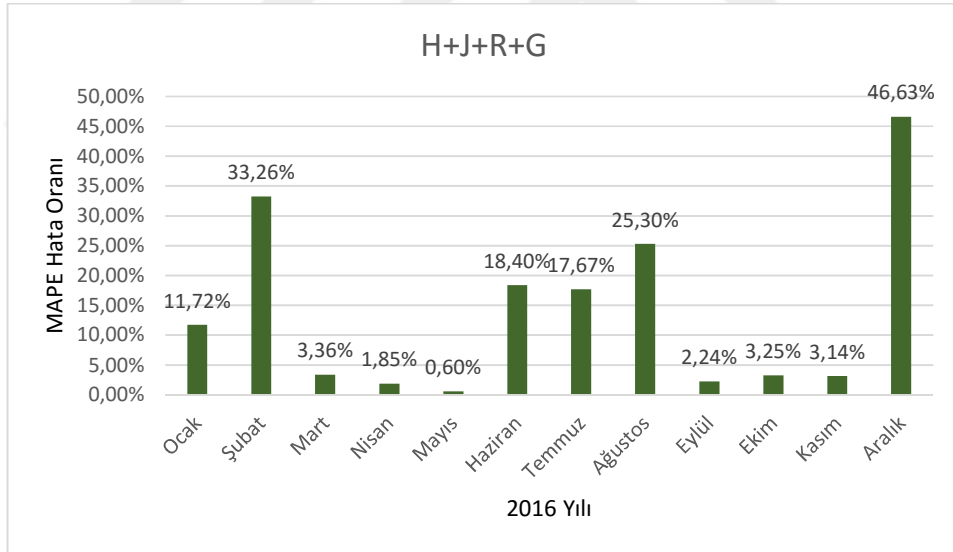
Şekil 50. Doğalgaz, sıvı yakıtlar ve linyit üretim miktarına göre PTF tahmini



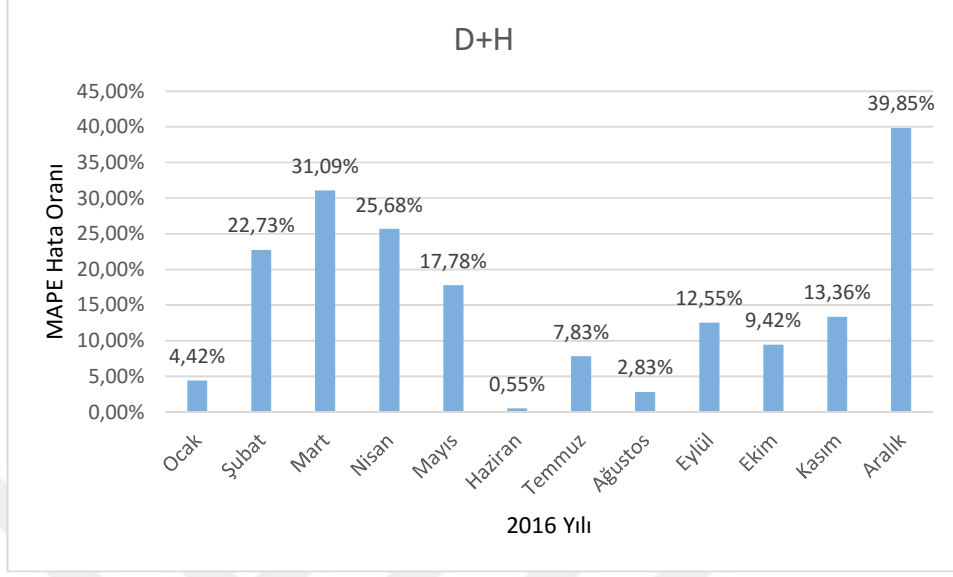
Şekil 51. Doğalgaz ve sıvı yakıtlar üretim miktarına göre PTF tahmini



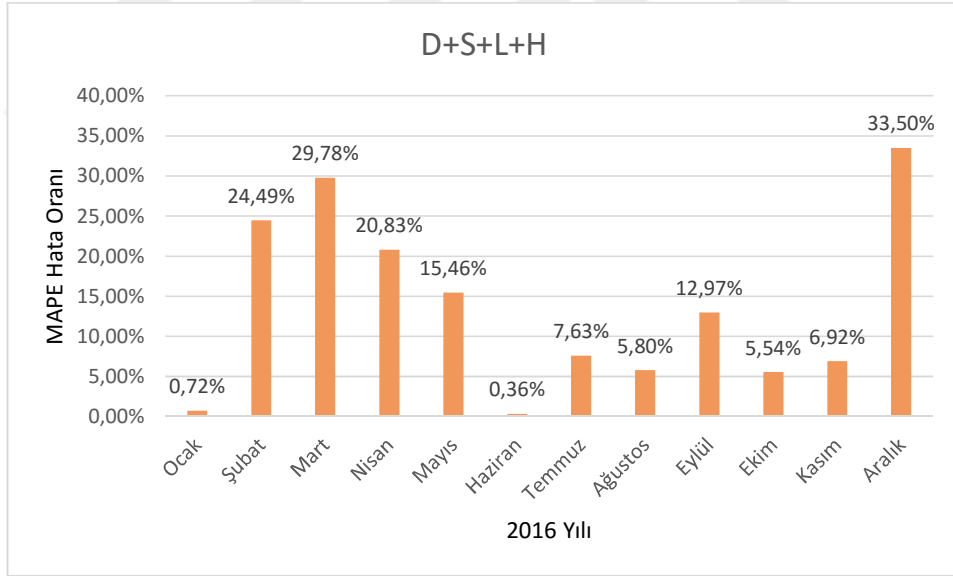
Şekil 52. Doğalgaz, sıvıyakıtlar, linyit ve kömür üretim miktarına göre PTF tahmini



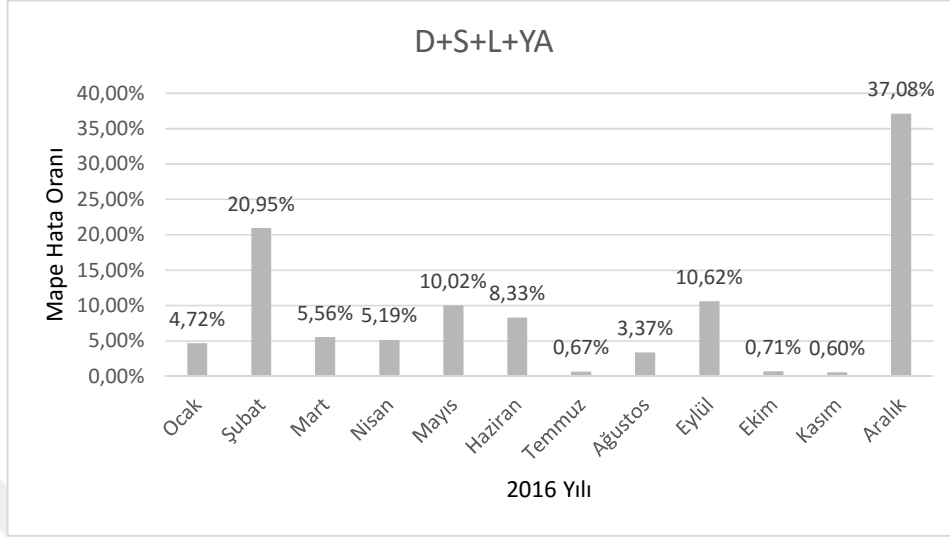
Şekil 53. Hidrolik, jeotermal, rüzgar ve güneş üretim miktarına göre PTF tahmini



Şekil 54. Doğalgaz ve hidrolik üretim miktarına göre PTF tahmini



Şekil 55. Doğalgaz, sıvı yakıtlar, linyit ve hidrolik üretim miktarına göre PTF tahmini

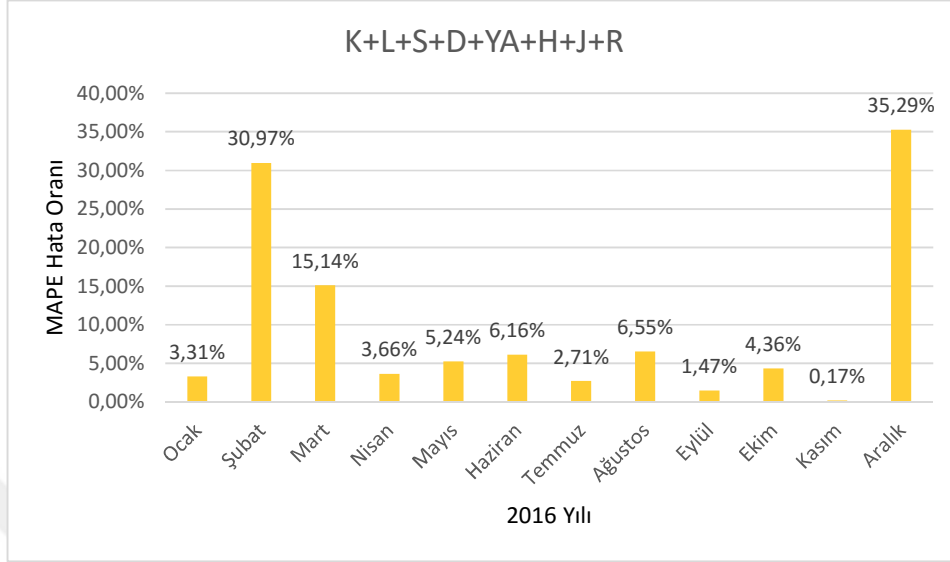


Şekil 56. Doğalgaz, sıvı yakıtlar, linyit, yenilenebilir ve atık üretim miktarına göre PTF tahmini

Üçüncü değerlendirmemizde modelimize giriş değişkeni olarak birincil enerji kaynakları uygulanmıştır. Bu enerji kaynaklarına ait PTF fiyatının ise toplam üretim oranındaki payı alınarak tüm birinci enerji kaynaklarından gelen payların toplamı ile yeni PTF bulunmuştur. Sonuçlara ait değerler ve hata oranları ayrı ayrı tablolarda gösterilmiştir.

Tablo 19. Herbir biricil enerji kaynaklarının toplam üretim oranına göre PTF değerleri

YIL\Kaynak	2016 YILI PTF	Kömür+Linyit+Sıvı Yakıtlar+Doğalgaz+Yenilenebilir Atık+Hidrolik+Jeotermal Rüzgar (TL/MWh)
Ocak	156,062	150,898
Şubat	108,961	142,703
Mart	112,677	129,735
Nisan	121,135	125,565
Mayıs	122,436	128,855
Haziran	151,093	141,787
Temmuz	141,923	145,773
Ağustos	168,414	157,377
Eylül	145,739	143,598
Ekim	145,075	151,407
Kasım	154,862	155,132
Aralık	227,96	147,509

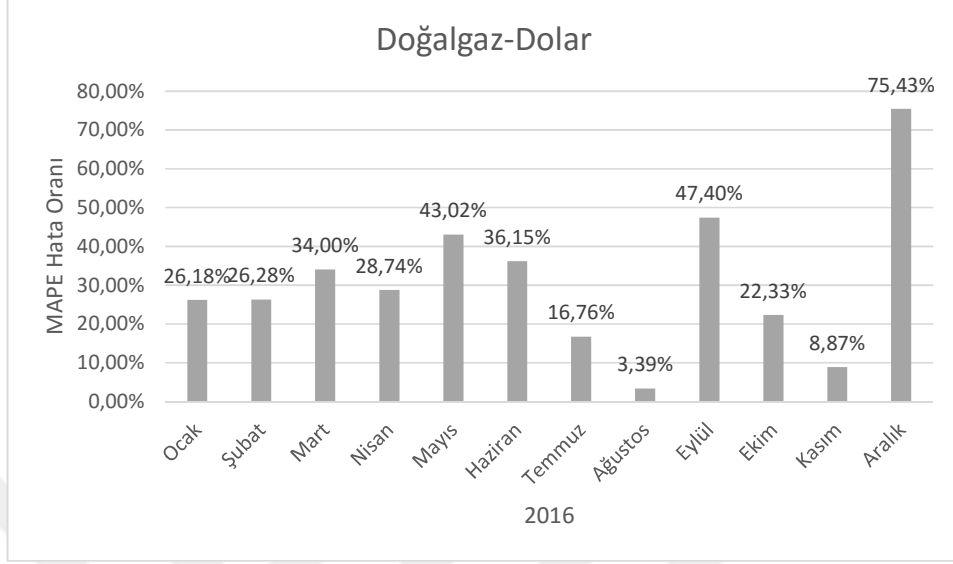


Şekil 57. Herbir biricil enerji kaynaklarının toplam üretim oranına göre PTF tahmini

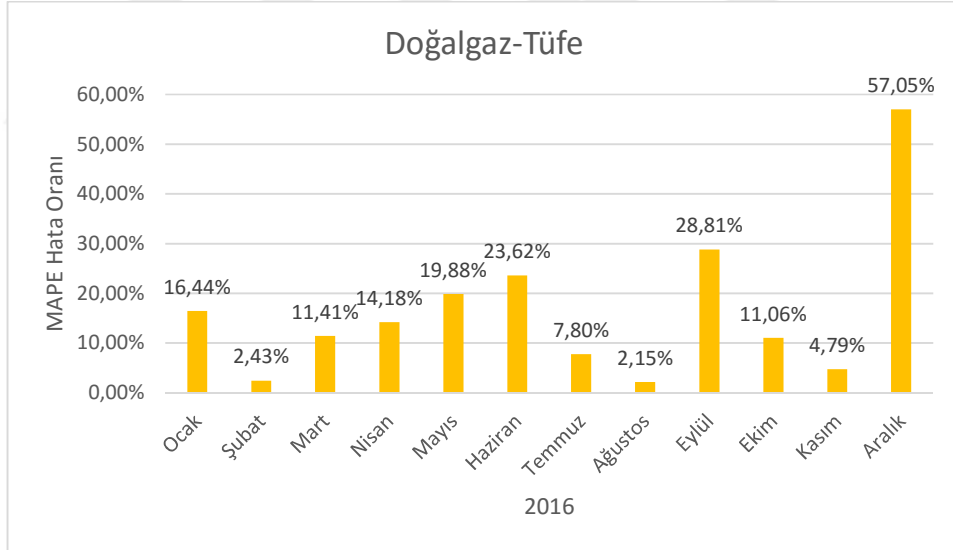
Dördüncü değerlendirmemizde birinci giriş değişkeni olarak biricil enerji kaynaklarından doğalgaz üretim miktarı, ikinci giriş değişkeni olarak da dolar kur endeksi uygulanmıştır. İkinci uygulamamızda ise ikinci giriş değişkeni olarak tüfe endeksi uygulanmıştır.

Tablo 20. Doğalgaz-Dolar ve Doğalgaz-Tüfe giriş değişkenlerine göre PTF değerleri

YIL\Kaynak	Doğalgaz-Dolar (TL/MWh)	Doğalgaz-Tüfe (TL/MWh)
Ocak	115,211	130,398
Şubat	80,327	106,308
Mart	74,364	99,823
Nisan	86,316	103,956
Mayıs	69,764	98,093
Haziran	96,473	115,403
Temmuz	118,143	130,852
Ağustos	162,697	164,797
Eylül	76,653	103,755
Ekim	112,685	129,035
Kasım	141,123	147,447
Aralık	56,019	97,912



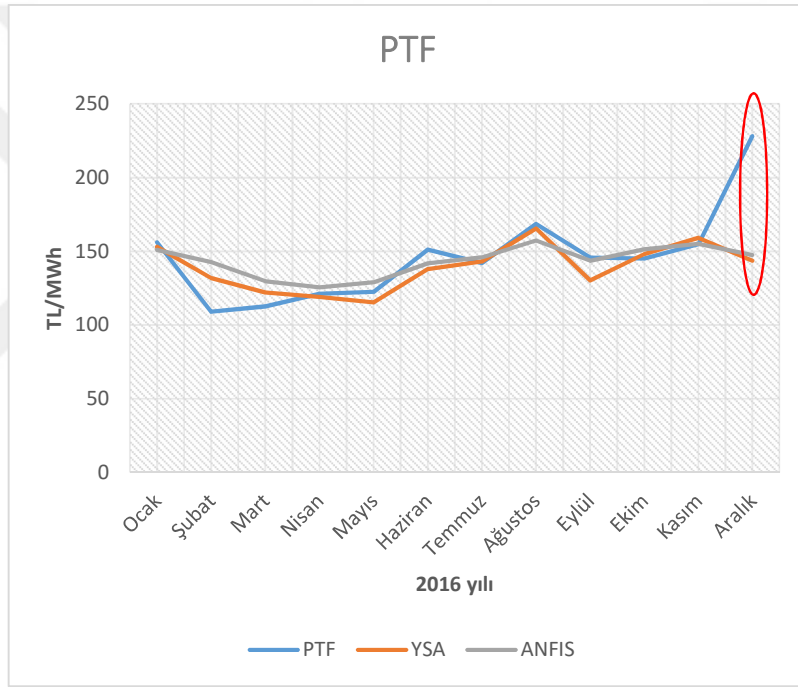
Şekil 58. Doğalgaz-Dolar giriş değişkenlerine göre PTF tahmini



Şekil 59. Doğalgaz-Tüfe giriş değişkenlerine göre PTF tahmini

7. DEĞERLENDİRMELER

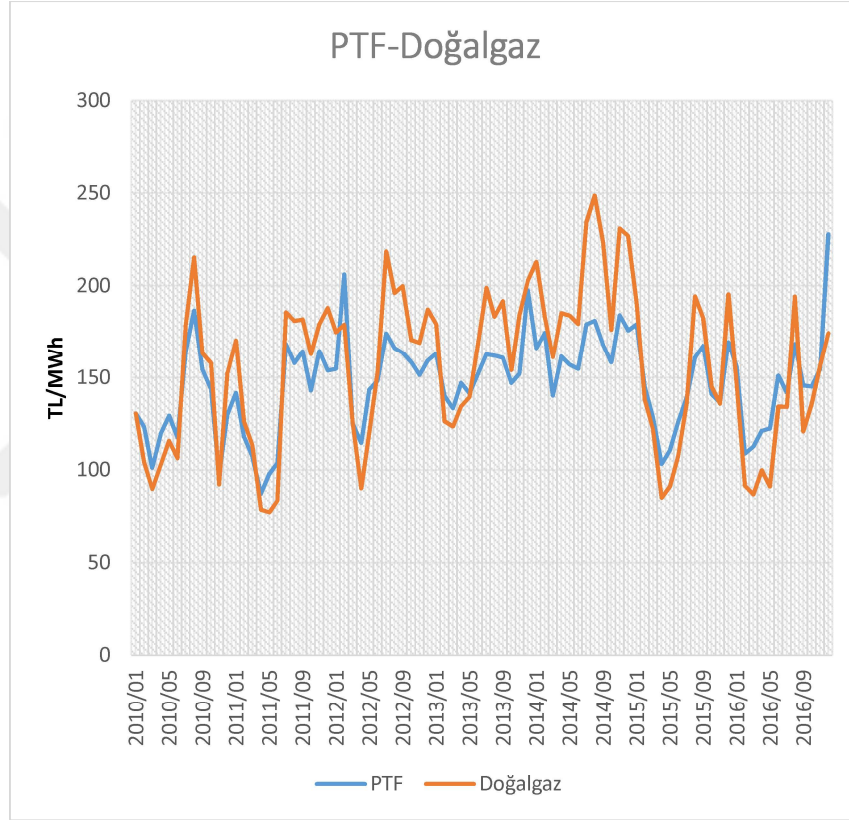
Bu çalışmamızda birincil enerji kaynaklarının PTF üzerinde etkisi incelenmiştir. İlk çalışmada bu birincil enerji kaynaklarının herbiri bağımsız değişken olarak girişe uygulandığında hem ANFIS hemde YSA da fiyata etkisi en fazla doğalgaz ve hidrolik birincil enerji kaynaklarının olduğu görülmüştür.



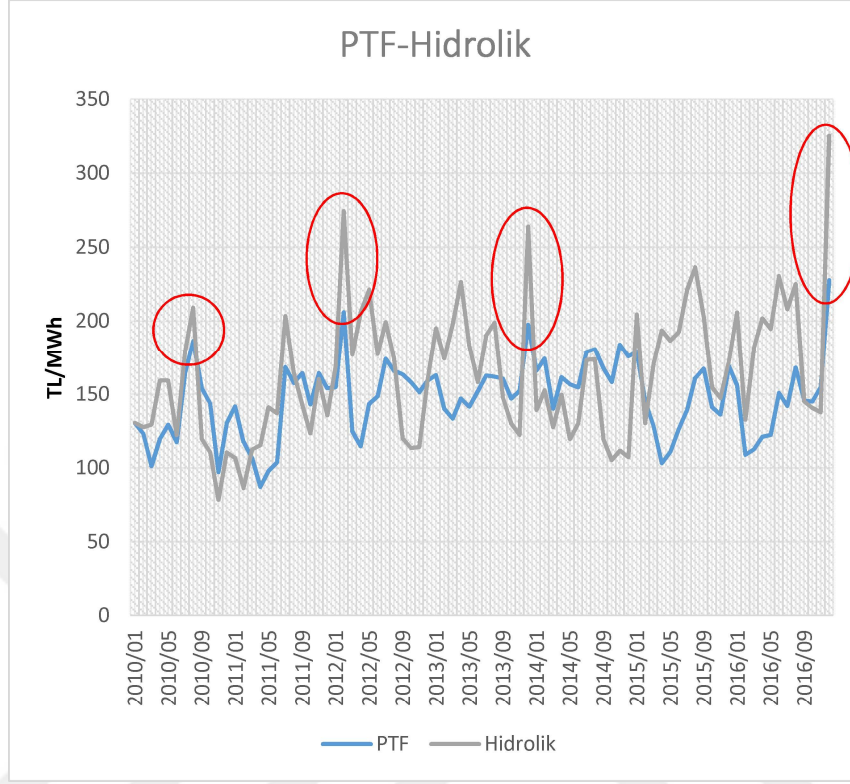
Şekil 60. Gerçek PTF ile YSA ve ANFIS tahminlerinin karşılaştırılması

Şekil 60'de gerçek PTF ile ANFIS ve YSA elde edilen tahminler gösterilmiştir. Değerler incelendiğinde gerçeğe yakın tahminler elde edilmiştir. PTF'nin doğalgaz birincil enerji kaynağıyla doğru hidrolik birincil enerji kaynağıyla ters orantılı değiştiği görülmüştür. Bunun nedeni ise doğalgazın ülkemizde üretilmeyip ithal edilmesi ve döviz kuruna bağlı olması üretim arttıkça fiyatı yukarı çekmektedir. PTF ile doğalgaz ve hidrolik birincil enerji kaynakları arasındaki ilişkiyi daha iyi görebilmek için doğalgaz ve hidrolikten elde edilen üretim miktarı PTF'na göre normlaştırılmıştır. Şekil 61'den görüleceği üzere üretimdeki

artıyla beraber PTF artmaktadır. Diğer taraftan HES'lerin kaynak maliyetinin ucuzluğu PTF aşağı çekmektedir. Şekil 62'i incelendiğimizde genel olarak hidrolik kaynaktan elde edilen üretim arttıkça PTF düşmektedir ve PTF'nin pik yaptığı aylarda hidrolik üretimin pik yaptığı gözükmemektedir. Buradan arz sıkıntısı olduğu zaman hidrolik kaynaklar daha fazla devre alındığı anlaşılmaktadır. Bu tür durumlar modelimizi olumsuz etkilemektedir.



Şekil 61. PTF ile doğalgaz üretimin PTF göre normlaştırılmış değerlerinin karşılaştırılması



Şekil 62. PTF ile hidrolik üretimin PTF göre normlaştırılmış değerlerinin karşılaştırılması

İkinci çalışmamızda birincil enerji kaynaklarının üretim bileşegi giriş değişkeni kullanılmıştır. Hem ANFIS hemde YSA da bu giriş değişkenlerinden Doğalgaz+Sıvı Yakıtlar+Linyit birincil enerji kaynaklarına ait bileşikten en iyi sonuç elde edilmiştir. İlk çalışmamızda en başarılı olan doğalgaz ve hidrolik enerji kaynaklarına göre daha başarılı olmuştur. Bu kaynaklara ait ilk onbir ayın hata ortalaması YSA için %5,97 ANFIS için %6,58 dir.

Üçüncü çalışmamızda ise tüm birincil enerji kaynaklarının elde edilen sonuçları toplam üretim oranı kadar alınarak yeni bir PTF bulunmuştur. Bulunan bu sonuçlar incelendiğinde dokuz ayın hata ortalaması ANFIS için %3,74 YSA için %5,80 kadar düşmüştür.

Dördüncü çalışmamızda ise başarılı sonuçlar elde ettiğimiz birincil enerji kaynağı olan doğalgaz birinci giriş değişken olarak kullanılmıştır. İkinci değişken olarak ilk önce dolar kur endeksi sonra tüfe endeksi uygulanmıştır. Ancak elde edilen sonuçlar incelendiğinde sadece doğalgaz modele uygulandığında elde ettiğimiz sonuçlardan daha başarısız olmuştur.

Tablo 21. Aylık 2016 yılı PTF tahmini

YIL\Kaynak	PTF (TL/MWh)	Doğalgaz (TL/MWh)	D+S+L (TL/MWh)	Üretim Oranına göre (TL/MWh)
Ocak	156,062	134,885	148,643	150,898
Şubat	108,961	119,021	130,674	142,703
Mart	112,677	114,737	117,313	129,735
Nisan	121,135	117,699	113,389	125,565
Mayıs	122,436	114,020	109,323	128,855
Haziran	151,093	125,380	137,734	141,787
Temmuz	141,923	135,518	142,290	145,773
Ağustos	168,414	157,440	161,443	157,377
Eylül	145,739	117,985	128,631	143,598
Ekim	145,075	134,423	145,758	151,407
Kasım	154,862	146,286	153,181	155,132
Aralık	227,96	114,535	142,869	147,509

Tablo 22. 2016 yılı PTF değerlerinin yıllık aritmetik ortalaması

Giriş	2016 PTF (TL/MWh)	YSA PTF (TL/MWh)	ANFİS PTF (TL/MWh)
Doğalgaz	138,94	129,27	128,85
Hidrolik	138,94	146,53	139,44
Doğalgaz-Sıvı-Linyit	138,94	139,00	135,31
Üretim Oranına Göre	138,94	147,29	143,36

Değerlendirmeleri yaparken 2016 yılının ilk 11 ayını kullandık. 2016 yılının aralık ayı bu kurala uymamaktadır. 2015 yılının aralık ayında doğalgaz dan elektrik üretimi 9511 GWh olan üretim 2016 yılının aralık ayında 6298 GWh düşmüştür. Üretimdeki azalmanın nedeni birincil kaynak rezervinin yeterli olmamasıdır. Bu dönemde havanın aşırı soğuk olması nedeniyle doğalgazın elektrik üretimi yerine ısıtma amaçlı kullanılmasıdır. Çalışmamızda kullanılan modelin sağlıklı çalışması için birincil enerji kaynak rezervlerinin yeterli miktarda olmalıdır. Gerçek hayatta her zaman arz-talep dengesinin sağlanması zorunludur. Bu yüzden talebi karşılayan arz rezervi yeterli olmaması durumunda dengesiz aşırı fiyatların oluşmasına neden olmaktadır. Daha stabil ve aşırı fiyatların oluşmaması için yeterli miktarda birincil kaynak rezerv sağlanmalıdır. Elektrik üretiminin kurulu gücü 2016 yılı için 78.701 MW dır. 2016 yılının aralık ayında ise saatlik puant gücü 42.229 MW dır. Üretim santralleri bakım yada arıza nedeniyle devre dışı kalsa dahi aralık ayına ait puant yükü her zaman karşılanabilir. Bu dengeyi bozacak durum ise birincil kaynak yetersizliğidir.

Bu tür durumlara karşılaşmamak için belli başlı kaynaklara bağlı kalmaksızın kaynak çeşitliliğini artırmaktır.



8. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Çalışmamızda girişlere birer bağımsız değişkenler uygulanarak gerçek PTF'lere yakın değerler elde edilmiştir. Bir bağımsız değişken uygulamayı basitleştirmesine rağmen bazı dönemlerde yeterli olmadığı gerçek PTF değerlerine göre sapmanın fazla olduğu gözükmektedir. Bu ise gerçek PTF'nin farklı dinamiklere bağlı olduğunu göstermektedir. Giriş parametreleri zenginleştirilmesiyle PTF tahmininde öngörü doğruluğu daha da artırılabilir.

Gelecekteki çalışma, orta vadeli elektrik PTF tahmininde öngörme doğruluğunu daha da artırmak için iki kısma odaklanabilir. İlk bölüm, eğitim için daha fazla boyut yaratmak ve ara dönem tahmini doğruluğunu iyileştirmek için ilave girdi veri bulma işlemidir. Bu ek girdi verileri, açık erişim olan orijinal veriler veya teklif verme stratejisini taklit eden oyun kuramı tarafından oluşturulan yapay veriler olabilir. Diğer kısım ise, modele uygulanan ana parametre birincil enerji kaynaklarının üretim miktarına ilaveten bunu destekleyici gelecekte devreye alınacak üretim santralleri dahil üretim santrallerinin kurulu gücü, birincil enerji kaynaklarının rezerv durumu, yağış miktarları, döviz kurları, büyüme oranları, birincil enerji kaynaklarının piyasa fiyatları gibi diğer değişken verilerini daha verimli bir şekilde kullanabilen ve dolayısıyla orta vadeli öngörü doğruluğunu iyileştiren daha sofistike tahmin modelini tasarlamaktır.

9. KAYNAKLAR

1. Conejo, A.J., Contreras, J., Espinola, R. ve Plazas, M.A., Forecasting electricity prices for a day-ahead pool-based electric energy market, International Journal of Forecasting, 21, (2005) 435-462.
2. Rudnick, H., Risk responsibility for supply in deregulated electricity markets - the Chilean case, IEEE Power Engineering Society General Meeting, 13-17 Temmuz 2003, Toronto.
3. Azevedo, F., Vale, Z.A. ve Oliveira, P.B.M., Long-term Price Range Forecast Applied to Risk Management Using Regression Models, IEEE International Conference on Intelligent Systems Applications to Power Systems (ISAP), 5-8 Kasım 2007, Toki Messe, Niigata, 1-6.
4. Contreras, J., Espínola, R., Nogales, F.G., ve Conejo, A.J., ARIMA models to predict next day electricity prices, IEEE Trans. Power Systems, 18, 3 (2003) 1014-1020.
5. Kim C.I., Yu, I.K. ve Song, Y.H., Prediction of system marginal price of electricity using wavelet transform analysis, Energy Conversion Management, 43, 14 (2002) 1839-1851.
6. Song, Y.H., Yao, S.J. ve Cheng, X.Y., Prediction of system marginal prices by wavelet transform and neural network, Electric Machines Power Systems, 28, 10 (2000) 983-993.
7. Mazumdar, M. ve Claudio R.M., Forecasting the Mean and the Variance of Electricity Price in Deregulated Markets, IEEE Transactions on Power System, 23, 1 (2008) 25-32.
8. Tomsovic, K. ve Obradovic, Z., Time series methods for forecasting electricity market pricing, IEEE Power Eng. Soc. Summer Meeting, 18-22 Temmuz 1999, Edmonto Alta, 1264-1265.
9. Crespo, J., Hlouskova, J., Kossmeier, S. ve Obersteiner, M., Forecasting electricity spot prices using linear univariate time series models, Energy, (2002) 87-106.
10. www.ieso.ca/imoweb/siteShared/wholesale_price.asp, Independent Electricity System Operator, 01 Ağustos 2013.
11. Pavlos, S.G., Market clearing price forecasting in deregulated electricity markets using adaptively trained neural networks, Hellenic Conference on Artificial Intelligence, 2006.

12. Szkuta, B.R., Sanabria, L.A. ve Dillon, T.S., Electricity Price Short-Term Forecasting Using Artificial Neural Networks, IEEE Transaction on Power Systems, (1999) 851-857.
13. Careri, F., Genesi, C., Marannino, P. ve Montagna, M., Strategic Bidding in a Day-Ahead Market By Coevolutionary Genetic Algorithms, IEEE PES General Meeting, 25-29 Temmuz 2010, Providence, 1-8.
14. Hong, Y.Y., ve Wu, C.P., Day-Ahead Electricity Price Forecasting Using a Hybrid Principal Component Analysis Network, Energies, (2012) 4711-4725.
15. Zhang, H., Gao, F., Wu, J., Liu, K. ve Liu, X., Optimal Bidding Strategies for Wind Power Producers in the Day-Ahead Electricity Market, Energies, (2012) 4804-4823.
16. Jonsson, T., Pinson, P., Madsen, H. ve Nielsen, H.A., Forecasting Electricity Spot Prices Accounting Wind Power Predictions, IEEE Transactions on Sustainable Energy, (2012) 210-218.
17. Voronin, S. ve Partanen, J., Price Forecasting in the Day-Ahead Energy market by an Iterative Method with Separate Normal Price and Price Spike Frameworks. Energies, (2013) 5897-5920.
18. Monterio, C., Jimenez L.A.F., Rosado I.J.R., Explanatory Information Analysis for Day-Ahead Price Forecasting in the Iberian Electricity Market. Energies, (2015) 10464-10486.
19. Xu, Z., Dong, Z.Y. ve Liu, W., Neural Network Models for Electricity Market Forecasting, Neural Networks Applications in Information Technology and Web Engineering, (2005) 233-245.
20. Zhou, D.M., Gao, F. ve Guan X.H., Application of accurate online support vector regression in energy price forecast, 5th World Congress on Intelligent Control and Automation, 15-19 Haziran 2004, Hangzhou, 1838-1842.
21. Hu, L.L., Taylor, G., Wan, H.B., ve Irwing M., A review of short-term electricity price forecasting techniques in deregulated electricity markets, 44th International universities Power Engineering Conference (UPEC), 1-4 Ekim 2009, Glasgow, 1-5.
22. Zhang, X, ve Wang, X.F., Overview on Short-term Electricity Price Forecasting, Automation of Electric Power Systems, 30, 2006.
23. Swief, R.A., Hegazy , Y.G., Abdel-Salam, T.S. ve M.A. Bader., Support vector machines (SVM) based short term electricity load-price forecasting, IEEE Bucharest PowerTech, 28 Haziran-2 Temmuz 2009, Bucharest, 1-5.

24. Saini, L.M., Aggarwal, S.K. ve Kumar, A., Parameter optimization using genetic algorithm for support vector machine-based price-forecasting model in National electricity market, IET Generation, Transmission & Distribution, 4, (2010) 36-49.
25. Zhang, J. ve Sun, W., Forecasting Day Ahead Spot Electricity Prices Based on GASVM. International Conference on Internet Computing in Science and Engineering, 28-29 Ocak 2008, Harbin, 73 – 78.
26. Sun W., Lu, J.C. ve Meng, M., Application of Time Series Based SVM Model on Next-Day Electricity Price Forecasting Under Deregulated Power Market, International Conference on Machine Learning and Cybernetics, 13-16 Ağustos 2006, Dalian, 2373-2378.
27. Chen, Y.G. ve Ma G., Electricity Price Forecasting Based on Support Vector Machine Trained by Genetic Algorithm, 3rd International Symposium on Intelligent Information Technology Application, 21-22 Kasım 2009, Shanghai, 2, 292-295.
28. Mahjoob, M.J., Abdollahzade, M. ve Zarringhalam, R., GA based optimized LS-SVM forecasting of short term electricity price in competitive power markets, 3rd IEEE Conference on Industrial Electronics and Applications, 3-5 Haziran 2008, Singapore, 73-78.
29. Gong, D.S., Che, J.X., Wang, J.Z. ve Liang, J.Z., Short-Term Electricity Price Forecasting Based on Novel SVM Using Artificial Fish Swarm Algorithm under Deregulated Power, 2nd International Symposium on Intelligent Information Technology Application, 20-22 Aralık 2008, Shanghai, 85-59.
30. Zheng, H., Zhang, L.Z., Xie, L., Li, X., ve Shen, J.N., SVM model of system marginal price based on developed independent component analysis, International Conference on Power System Technology, 21-24 Kasım 2004, Singapore, 1437-1440.
31. Hyvärinen, A., Fast ICA Noisy Using Gaussian Moments, IEEE International Symposium on Circuits and Systems, 30 Mayıs-2 Haziran 1999, Orlando, 5, 57-61.
32. Zareipour, H., Janjani, A., Leung, H., Motamedi, A. ve Schellenberg. A., Classification of Future Electricity Market Prices, IEEE Transactions on Power Systems, 26, (2011) 165-173.
33. www.tetas.gov.tr/tr-TR/Anasayfa, 2017.
34. www.epias.com.tr/, 2017.
35. www.epdk.org.tr/tr/anasayfa, 2017.

36. www.enerji.gov.tr/tr-TR/Anasayfa, 2017.
37. www.teias.gov.tr/,2017.
38. Elmas, Ç., Yapay Zeka Uygulamaları, 2. Baskı, Seçkin Yayıncılık A.Ş., Ankara, 2012.
39. Öztemel, E., Yapay Sinir Ağları, 1. Baskı, Papatya Yayıncılık, İstanbul, 2006.
40. Hamzaçebi, C., Yapay Sinir Ağları, 1. Baskı, Ekin Basım Yayın Dağıtım, Bursa, 2011.
41. Efe, Ö. ve Kaynak, O., Yapay Sinir Ağları Ve Uygulamaları , 1. Baskı, Bogaziçi Üniversitesi, İstanbul, 2000.
42. Kubat, C., Matlab Yapay Zeka ve Mühendislik Uygulamaları, 1. Baskı, Pusula Yayıncılık, İstanbul, 2013.
43. Gao, F., Guan, X.H., Cao, X.R. ve Papalexopoulos A., Forecasting power market clearing price and quantity using neural network method, IEEE Power Engineering Society Summer Meeting, 16-20 Temmuz 2000, Seattle 4, 2183-2188.

ÖZGEÇMİŞ

Fatih Şenocak, 23.10.1976 yılında Ordu ilinde doğmuştur. 1994 yılında Ordu Teknik Lisesinden ve 2001 yılında Ondokuz Mayıs Üniversitesinin Elektrik-Elektronik Mühendisliği bölümünde mezun olmuştur. 2003-2005 yılları arası Boğaziçi Elektrik Dağıtım A.Ş., 2005-2013 yılları arası Yeşilirmak Elektrik Dağıtım A.Ş.'de çalışmıştır. 2013 yılından itibaren Yeşilirmak Elektrik Perakende Satış A.Ş.'de çalışmaya devam etmektedir. Çalışmaları daha çok enerji nakil hatları, elektrik ticareti ve bilgisayar yazılımı üzerinedir.