

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ ENERJİ ENSTİTÜSÜ

**GÜN ÖNCESİ PİYASASINDA SAATLİK VE GÜNLÜK
ELEKTRİK FİYATLARI TAHMİNİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Yunus Emre ADALI

Enerji Bilim ve Teknoloji Anabilim Dalı

Enerji Bilim ve Teknoloji Programı

TEMMUZ 2015

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ ENERJİ ENSTİTÜSÜ

**GÜN ÖNCESİ PİYASASINDA SAATLİK VE GÜNLÜK
ELEKTRİK FİYATLARI TAHMİNİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Yunus Emre ADALI
(301101060)**

Enerji Bilim ve Teknoloji Anabilim Dalı

Enerji Bilim ve Teknoloji Programı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Bihrat ÖNÖZ

TEMMUZ 2015

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 301101060 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi Yunus Emre ADALI, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “Gün Öncesi Piyasasında Saatlik ve Günlük Elektrik Fiyatları Tahmini” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Prof. Dr. Bihrat ÖNÖZ**

İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Prof. Dr. Sermin ONAYGİL**

İstanbul Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Özgür KIRCA

İstanbul Teknik Üniversitesi

Teslim Tarihi : **24 Temmuz 2015**

Savunma Tarihi : **31 Temmuz 2015**

Aileme,

ÖNSÖZ

Güvenilir ve sürdürülebilir bir piyasa yapısının oluşturulabilmesi için uzun ve zorlu bir süreç alan elektrik piyasasının liberalleşmesinde ilk adım, 1982 yılında Şili tarafından atılmıştır. Şili'den sonra ilk gelen, aynı zamanda ülkemizin de örnek model aldığı ve günümüzde en gelişmiş piyasa yapılarından birine sahip ülke olan İngiltere, 1990 yılında bu modele geçiş yapmıştır. Bu iki ülkeyi takip edenler ise sırasıyla 1991 yılında Norveç, 1994 yılında İsveç ve 1996 yılında Finlandiya gibi Kuzey Avrupa ülkeleri olmuştur.

Ülkemiz ise elektrik piyasasının liberalleşmesi sürecine, 2001 yılında Elektrik Piyasası Kanunu'nun kabulü ile dahil olabilmıştır. Tam rekabetçi bir piyasa yapısına halen ulaşılmasa da, son yıllarda yapılan özelleştirmeler, yönetmelik ve mevzuatlarda yapılan değişiklikler, elektriğin borsada işlem gören bir emtia haline gelecek olması, hatta haneler bazında elektrik tedarikçimizi seçmeye başlamamız son derece önemli ve umut verici gelişmelerdir.

Günümüzde ve hedeflendiği gibi tam rekabetçi ve şeffaf bir piyasa yapısına ulaşıldığında, elektrik fiyatlarının piyasa katılımcıları tarafından doğru tahmin edilebilmesi, teklif stratejilerin belirlenmesinde, üretim ve tüketim optimizasyonunda, ikili anlaşmaların ve vadeli işlemlerin en uygun şekilde yönetilmesinde, hem üretici hem de tüketici açısından büyük önem arz etmektedir.

Bu çalışmada gün öncesi elektrik fiyatının saatlik ve günlük ortalama tahmininde kullanılmak üzere birkaç model ortaya konulmaya çalışılmıştır.

Tez konusunun belirlenmesi ve tamamlanana kadarki her sürecinde desteğini esirgemeyen, bilgi ve tecrübelerini her zaman çekinmeden paylaşan, tez danışmanım ve saygıdeğer hocam Prof. Dr. Bihret ÖNÖZ'e teşekkürlerimi sunarım.

Yüksek lisansım sürecinde eğitime olan inancımı ve motivasyonumu kaybettiğim anda, her zaman olduğu gibi sonsuz sabır ve sükunetle bana doğruyu anlatan, motive eden ve yüksek lisansımın nihayete ermesindeki en büyük paya sahip olan babam Halil ADALI'ya en derin sevgilerimi ve minnetlerimi sunarım.

Hayatım boyunca sevgiyi ve huzuru bir an olsun eksik etmeyen aileme teşekkürü ömür boyu borç bilirim.

Mayıs 2015

Yunus Emre ADALI
(Makine Mühendisi)

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ	vii
İÇİNDEKİLER	ix
KISALTMALAR	xi
ÇİZELGE LİSTESİ	xiii
ŞEKİL LİSTESİ	xv
ÖZET	xvii
SUMMARY	xix
1. GİRİŞ	1
1.1 Çalışmanın Konusu	1
1.2 Amaç – Kapsam	3
2. TÜRKİYE ELEKTRİK PİYASASI	5
2.1 Genel Bakış	5
2.2 Dünya ve Türkiye Elektrik Piyasalarında Regülasyon.....	6
2.3 Türkiye Elektrik Piyasasının Güncel Yapısı	10
2.4 Gün Öncesi Piyasada Elektrik Fiyatlarının Oluşumu	12
2.5 Elektrik Fiyatları Tahmin Modelleri	13
2.6 Fiyat Tahmin Modellerinde Kullanılan Değerlendirme Kriterleri	16
3. YAPAY SİNİR AĞLARI	17
3.1 Yapay Sinir Hücresi Yapısı.....	17
3.2 Yapay Sinir Hücresi Temel Elemanları	18
3.3 Yapay Sinir Ağları Yapısı	19
3.4 Yapay Sinir Ağları Bağlantıları.....	20
4. REGRESYON ANALİZİ	21
4.1 Bağımsız Değişken Sayısına Göre Regresyon Analizi	22
4.2 Fonksiyon Türüne Göre Regresyon Analizi.....	22
5. UYGULAMA	25
5.1 Regresyon Analizi	28
5.1.1 Saatlik PTF Tahmini	28
5.1.2 Günlük Ortalama PTF Tahmini	35
5.2 Yapay Sinir Ağları Analizi.....	40
5.2.1 Saatlik PTF Tahmini	40
5.2.2 Günlük Ortalama PTF Tahmini	46
6. SONUÇ	53
KAYNAKLAR	57
ÖZGEÇMİŞ	61

KISALTMALAR

DMAPE	: Günlük Mutlak Ortalama Hata Yüzdesi
DUY	: Dengeleme ve Uzlaştırma Yönetmeliği
EDAŞ	: Elektrik Dağıtım A.Ş.
EPDK	: Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu
ETKB	: Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı
EÜAŞ	: Elektrik Üretim A.Ş.
GÖP	: Gün Öncesi Piyasa
GÜP	: Gün Öncesi Üretim Planı
MAPE	: Mutlak Ortalama Hata Yüzdesi
MYTM	: Milli Yük Tevzi Merkezi
OECD	: Ekonomik Kalkınma ve İşbirliği Örgütü
PMUM	: Piyasa Mali Uzlaştırma Merkezi
PTF	: Piyasa Takas Fiyatı
RMSE	: Ortalama Hata Kareleri Kökü
SMF	: Sistem Marjinal Fiyatı
TCAT	: TEİAŞ Kapasite İhale Sistemi
TEAŞ	: Türkiye Elektrik Üretim İltim 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.
TÜİK	: Türkiye İstatistik Kurumu
WoS	: Web of Science
WMAE	: Haftalık Mutlak Ortalama Hata
WMAPE	: Haftalık Mutlak Ortalama Hata Yüzdesi
Yİ	: Yap-İşlet
YİD	: Yap-İşlet-Devret
YSA	: Yapay Sinir Ağları

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1 : Daha önce yapılmış elektrik fiyat tahmin çalışmaları	15
Çizelge 5.1 : Saatlik ptf tahmini çalışmalarında kullanılan parametreler.....	26
Çizelge 5.2 : Günlük ptf tahmininde kullanılan parametreler	27
Çizelge 5.3 : Regresyon analizi ile yapılan saatlik ptf tahmini çalışmalarının sonuçları	29
Çizelge 5.4 : Regresyon analizi ile yapılan saatlik ptf tahminini çalışmalarının regresyon istatistikleri	29
Çizelge 5.5 : Regresyon analizi ile yapılan günlük ortalama ptf tahmini çalışmalarının sonuçları.....	36
Çizelge 5.6 : Regresyon analizi ile yapılan günlük ortalama ptf tahminini çalışmalarının regresyon istatistikleri.....	36
Çizelge 5.7 : Yapay sinir ağları analizi ile yapılan saatlik ptf tahmini çalışmalarının sonuçları	42
Çizelge 5.8 : Yapay sinir ağları analizi ile yapılan günlük ortalama ptf tahmini çalışmalarının sonuçları.....	47
Çizelge 6.1 : Saatlik çalışmaların günlük bazda karşılaştırılması	53
Çizelge 6.2 : Saatlik çalışmaların mevsimsel bazda karşılaştırılması	53
Çizelge 6.3 : Günlük çalışmanın günlere göre sonuçları.....	54
Çizelge 6.4 : Günlük çalışmanın mevsimlere göre sonuçları	54

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1 : Çalışmada izlenen adımlar.	3
Şekil 2.1 : Türkiye elektrik piyasası regülasyon süreci.	8
Şekil 2.2 : Türkiye elektrik piyasa yapısı.....	10
Şekil 2.3 : Türkiye elektrik piyasası başlıca aktörleri.....	11
Şekil 2.4 : Web of Science (WoS) ve Scopus’da yayımlanan elektrik fiyat tahmini ile ilgili makale sayıları.....	13
Şekil 2.5 : Elektrik fiyat tahmin modelleri sınıflandırılması.....	14
Şekil 3.1 : YSA sinir hücresi (nöron) yapısı.....	18
Şekil 3.2 : Yapay sinir ağı yapısı.....	19
Şekil 3.3 : Bağlantı yapılarına göre YSA.....	20
Şekil 4.1 : Değişkenler arasındaki ilişkiler.....	21
Şekil 4.2 : Doğrusal olmayan regresyon örneği.....	23
Şekil 5.1 : Regresyon analizi ile yapılan saatlik çalışma-1 için gerçekleşen ve tahmin edilen değerler.....	30
Şekil 5.2 : Regresyon analizi ile yapılan saatlik çalışma-1 için gerçekleşen ve tahmin edilen değerler arasındaki ilişki.....	30
Şekil 5.3 : Regresyon analizi ile yapılan saatlik çalışma-2 için gerçekleşen ve tahmin edilen değerler.....	31
Şekil 5.4 : Regresyon analizi ile yapılan saatlik çalışma-2 için gerçekleşen ve tahmin edilen değerler arasındaki ilişki.....	31
Şekil 5.5 : Regresyon analizi ile yapılan saatlik çalışma-3 için gerçekleşen ve tahmin edilen değerler.....	32
Şekil 5.6 : Regresyon analizi ile yapılan saatlik çalışma-3 için gerçekleşen ve tahmin edilen değerler arasındaki ilişki.....	32
Şekil 5.7 : 2011, 2012, 2013 ve 2014 yıllarına ait aylık ortalama elektrik fiyatları...33	
Şekil 5.8 : Regresyon analizi ile yapılan saatlik çalışma-4 için gerçekleşen ve tahmin edilen değerler.....	34
Şekil 5.9 : Regresyon analizi ile yapılan saatlik çalışma-4 için gerçekleşen ve tahmin edilen değerler arasındaki ilişki.....	34
Şekil 5.10 : Regresyon analizi ile yapılan günlük ortalama çalışma-1 için gerçekleşen ve tahmin edilen değerler . . .	37
Şekil 5.11 : Regresyon analizi ile yapılan günlük ortalama çalışma-1 için gerçekleşen ve tahmin edilen değerler arasındaki ilişki.....	37
Şekil 5.12 : Regresyon analizi ile yapılan günlük ortalama çalışma-2 için gerçekleşen ve tahmin edilen değerler . . .	38
Şekil 5.13 : Regresyon analizi ile yapılan günlük ortalama çalışma-2 için gerçekleşen ve tahmin edilen değerler arasındaki ilişki.....	38
Şekil 5.14 : Regresyon analizi ile yapılan günlük ortalama çalışma-3 için gerçekleşen ve tahmin edilen değerler . . .	39
Şekil 5.15 : Regresyon analizi ile yapılan günlük ortalama çalışma-3 için gerçekleşen ve tahmin edilen değerler arasındaki ilişki.....	39

Şekil 5.16: Yapay sinir ağları analizi ile yapılan günlük ortalama ptf tahminlerinde kullanılan transfer-training fonksiyonlarının karşılaştırılması ...	41
Şekil 5.17: Yapay sinir ağları analizi ile yapılan saatlik çalışma-1 için gerçekleşen ve tahmin edilen değerler ...	43
Şekil 5.18: Yapay sinir ağları analizi ile yapılan saatlik çalışma-1 için gerçekleşen ve tahmin edilen değerler arasındaki ilişki.....	43
Şekil 5.19: Yapay sinir ağları analizi ile yapılan saatlik çalışma-2 için gerçekleşen ve tahmin edilen değerler arasındaki ilişki	44
Şekil 5.20: Yapay sinir ağları analizi ile yapılan saatlik çalışma-2 için gerçekleşen ve tahmin edilen değerler	44
Şekil 5.21: Yapay sinir ağları analizi ile yapılan saatlik çalışma-3 için gerçekleşen ve tahmin edilen değerler arasındaki ilişki.....	45
Şekil 5.22: Yapay sinir ağları analizi ile yapılan saatlik çalışma-3 için gerçekleşen ve tahmin edilen değerler	45
Şekil 5.23: Yapay sinir ağları analizi ile yapılan günlük ortalama ptf tahmini çalışma-1 için gerçekleşen ve tahmin edilen değerler.....	48
Şekil 5.24: Yapay sinir ağları analizi ile yapılan günlük ortalama ptf tahmini çalışma-1 için gerçekleşen ve tahmin edilen değerler arasındaki ilişki ...	48
Şekil 5.25: Yapay sinir ağları analizi ile yapılan günlük ortalama ptf tahmini çalışma-2 için gerçekleşen ve tahmin edilen değerler.....	49
Şekil 5.26: Yapay sinir ağları analizi ile yapılan günlük ortalama ptf tahmini çalışma-2 için gerçekleşen ve tahmin edilen değerler arasındaki ilişki ...	49
Şekil 5.27: Yapay sinir ağları analizi ile yapılan günlük ortalama ptf tahmini çalışma-3 için gerçekleşen ve tahmin edilen değerler.....	50
Şekil 5.28: Yapay sinir ağları analizi ile yapılan günlük ortalama ptf tahmini çalışma-3 için gerçekleşen ve tahmin edilen değerler arasındaki ilişki ...	50

GÜN ÖNCESİ PİYASASINDA SAATLİK VE GÜNLÜK ELEKTRİK FİYATLARI TAHMİNİ

ÖZET

Türkiye ekonomisinde, nakit giriş ve çıkışlarının büyük miktarlarda olduğu enerji sektörü, ciddi bir etkiye sahiptir. Yer altı kaynakları bakımından, kendi ihtiyacını karşılamaktan çok uzakta olan Türkiye, petrol ve doğal gaz gibi sanayide ve günlük yaşamda gereklilik haline gelmiş kaynaklara büyük bedeller ödeyerek ithal etmektedir. Bu büyük riski minimize edebilecek politikalar geliştirilmekte, özellikle elektrik üretiminde mevsimler arası farklılık gösteren arz güvenliği konusu, kaynak çeşitliliği ile daha güvenilir hale getirilmeye çalışılmaktadır.

Elektrik piyasasında, yeni yapılanmasıyla birlikte düzenleyici ve denetleyici rol üstlenen kamu, enerji sektöründeki yatırımları da özel sektöre bırakmakta, hatta özelleştirmeler yoluyla EÜAŞ'ın pazar payı düşürülmektedir. Güncel haliyle elektrik piyasasında üreticiler, elektrik ticaretinde rekabet edebilmek için, yüksek verimli teknolojilere yönelmekte, tüketiciler ise, en uygun fiyattan elektrik ihtiyaçlarını karşılayabilmektedirler. Katılımcılar için piyasada oluşacak fiyatları tahmin etmek, maksimum karlılık adına stratejilerini ve piyasadaki konumlarını belirlemede büyük önem taşımaktadır.

Elektrik piyasasında, ikili anlaşmalarla elektrik satışı yapan şirketler için fiyatların aylık veya dönemlik tahmin edilmesi, yapılacak anlaşmaların ticari değerini belirlerken, gün öncesi piyasada elektrik ticareti yapan piyasa oyuncularını için ise elektrik fiyatlarının tahmini, üretim planlarını belirlemede, özellikle doğalgaz santralleri için verecekleri teklifler açısından büyük önem arz etmektedir. Hatta, enerji sektöründe santral yatırım planı olan firmaların yaptıkları fizibilite çalışmalarında, gelirlerini teşkil eden elektrik satış rakamları yeteri kadar öngörülebilir olmak zorundadır. Tüm bunlar, yani gerçekçi fiyat tahminleri, uygulanabilir projelerin ülkeye kazandırılması ve nihai tüketicinin en ucuz elektriği tüketebilmesi anlamına gelmektedir. Ancak şunu da belirtmek gerekir ki, ülke ekonomisinin ve piyasanın dengeli halde olması, dışsal veya içsel sebeplerle dalgalanmaması, fiyatların tahmin edilebilir ve öngörülebilir olmasında önemli etkenlerden biridir.

Bu çalışmada, gün öncesi piyasada oluşan elektrik fiyatları saatlik ve günlük ortalama şeklinde tahmin edilmeye çalışılmıştır. Çalışma boyunca 2010, 2011, 2012, 2013 yıllarına ait farklı parametre kümeleri kullanılmış, tahmin metodu olarak ise regresyon analizi ve yapay sinir ağları tercih edilmiştir. Sonuç olarak, yapılan her bir tahmin çalışmasında kullanılan parametrelerin ağırlıkları saptanmış, 2014 yılına ait saatlik ve günlük ortalama elektrik fiyatları tahmin edilmiştir. Oluşturulan tahmin modelleri ile elde edilen fiyatlar, gerçekleşen fiyatlarla kıyaslanmış, hataları ve başarıları ortaya konulmaya çalışılmıştır. Gerçekleşen ve tahmin edilen fiyatlar arasındaki sapmalar, MAPE ve RMSE hata ölçütleri ve NASH başarı ölçütü ile değerlendirilmiştir.

HOURLY AND DAILY ELECTRICITY PRICES FORECASTING IN DAY-AHEAD MARKET

SUMMARY

Energy sector, which has parallels with the growth of countries, is strategic and dynamic sector in terms of investment volumes and contracts size. In Turkey as a developing country, energy sector has a significant impact on Turkish Economy as large cash inflows and outflows. Turkey, which is far from meeting its own underground sources need, imports petroleum and natural gas by paying high fees. Policies that can minimize this major risk are developed. Especially, security of supply, which varies between the seasons, is being tried to be safer in electricity generation.

When we take a glance at change of Turkish Electricity Market, some topics come into prominence as positive developments such as performed deregulation works since 2001, private sector being encouraged to investment with legislations, liberalization process in electricity market, production without production license up to 1 MW. On the other hand, some topics emerges as a risk on security of supply such as the share of natural gas power plants in total production, transmission line constraints, price pressure on producers depending on decrease in demand.

Considering historical data, it seems that development of electricity market depends on economy of the country. Fluctuation of electricity consumption in which industry has a large share can explain with growth and constriction of national economy. Especially in recent years, actual electricity consumption is lower than forecasted because of actual economic growth which is lower than expected.

Otherwise, when we look at the Turkish Electricity Market figures, by the end of 2014, Turkey's installed power has reached 69.519,8 MW. 41.801,8 MW of them was formed by thermal power plants, 404,9 MW of them was formed by geothermal power plants, 23.643,2 MW of them was formed by hydropower plants, 3.628,7 of them was formed by wind power plant and 40,2 MW of was formed by solar power plants. Also, realized gross electricity demand was 257,2 GWh and peak power demand was 41.002,9 MW by the end of 2014. Furthermore, 252 GWh electricity generation were realized and 8 GWh was imported. Besides, 2,7 GWh of the total electricity supply was exported. Turkish Transmission Network, which is totally 53.408,7 km, comprise of 683 transmission substations, 1550 power transformers, 127.705 MVA transformer's power, 11 interconnection lines with contiguous countries. Voltage level of transmission system is normalized with 400 kV and 154 kV. Moreover, interconnection lines with Georgia and Bulgaria are 220 kV in accordance with the voltage level of these countries.

When we look at the final Turkish Electricity Market structure, players divided into two side as private and public. Especially, public side is keeping their important role in the market as it should be despite all liberalization process. For instance, when required, installation and operation of power plants is entrusted to EÜAŞ in addition

to power plants which are in operation and possession of EÜAŞ. On the other hand, TETAŞ was established in order to wholesale operations. It is responsible for not only realize power purchase guarantees which are depend on BO, BOT and TOR contracts but also meets their costs. Additionally, TEİAŞ has two major tasks. One of them is that when required, installation and operation of new power transmission lines as well as operation of existing power transmission lines. The other responsibility is that operate to market financial settlement system. Lastly, TEDAŞ is responsible for unlicensed production connection approval. Also, it is owner of distribution infrastructure which is operated by private sector players.

Public enterprise, which is taking regulatory and supervisory role with new restructuring in electricity market, is leaving energy investments to private sector so much so that EÜAŞ's market share is being reduced through privatizations. Production companies must keep pace with the high efficient technology in order to compete in energy trading and consumers can provide electricity needs with affordable prices in the current electricity market structure. It is so crucial that market participants can identify their own strategy and market position with forecasting of the day-ahead electricity prices.

Day-Ahead Market is an organized market which is operated by market operator and used on the purpose of electricity power trade and balancing in a day before the delivery time of the electricity. By this way, the market provide that the participants make purchases and sales of energy for the next day in addition to their bilateral agreements, the participants ensure compensation of contractual obligations and needs of production and consumption on a day in advance, the reference price of electricity is determined, balanced system is left to the system operator one day before, the system operator can also conduct congestion management for large-scale constraints.

Balancing Power Market is an organized market that is operated by the system operator. In an attempt to balancing supply and demand in real time, the participants which are able to implement a power change of 10 MW in 15 minutes trade their reserve capacities in this market. The purpose of this market is to determine the marginal price of electricity and perform real time congestion management.

Forecasted electricity prices on monthly and seasonal basis by companies selling electricity through bilateral agreements can valorize the commercial value of the contract. Furthermore, electricity prices which form a basis to revenue must be predictable on feasibility studies done by power plant investors. Realistic estimations mean that putting high-yield projects into practice on behalf of the country, and besides, consumption of best possible price of electricity for end users. However, it should also be noted that the country's economy and the electricity market are supposed to be stable and shall not fluctuate with external and internal reasons.

The methods, which are used in electricity price forecasts, are proven with success and used in many commodity price forecasting. There are some kinds of forecasting methods which are collected under main headings such as multi-agent, fundamentals, reduced-form, statistical, computational intelligence, are using in these area. In some cases, a combination of multiple models can be used as a hybrid model. In the thesis, regression model as statistical model and feed-forward neural network model as computational intelligence model were used to forecast of electricity prices in hourly and daily average basis and tested to measure success of these models. Firstly, regardless of the model type, parameters which cause to formation of electricity

prices and their weights which determine the effectiveness of the parameters are identified. Then, the electricity price, which is intended to forecast hourly and daily, is forecasted in consideration of parameters which are selected, and their weights which are calculated.

In this study, day-ahead electricity market prices were forecasted as both hourly and daily average. During the study, different parameter sets of 2010, 2011, 2012 and 2013 were used and regression analysis and artificial neural networks were preferred to predictions. As a result, weights of parameters which were used for each estimation models were determined then forecasted daily-ahead electricity prices in 2014 as hourly and daily average. Forecasted prices which obtained by the estimation models were compared with the actual prices of 2014. Deviations between actual and forecasted prices were evaluated by using MAP, RMSE and NASE which are success and error criterions.

1. GİRİŞ

1.1 Çalışmanın Konusu

Kamu hizmeti kavramı Türk Dil Kurumu'na göre "Devlet ve öteki kamu tüzel kişileri tarafından halkın genel ve ortak gereksinimlerinin karşılanması" [1] şeklinde tanımlanırken, Anayasa Mahkemesi tarafından ise, "Toplumsal yaşamın zorunlu gereksinimlerini karşılayan hizmetler, nitelikleri gereği kamu hizmetidir" şeklinde [2] tanımlanmıştır. Ayrıca, Anayasa Mahkemesi'nin 26.3.1974 günlü, Esas 1973/32, Karar 1974/11 sayılı kararında, "...kişilerin su, elektrik, havagazı gibi ihtiyaçlarının karşılanması önemli kamu hizmetlerindedir" denilerek, elektrik hizmetlerinin kamu hizmeti olduğu açıkça vurgulanmıştır [3]. Bu tanımlar ışığında denilebilir ki elektrik, koşul aranmaksızın devlet tarafından vatandaşlarına tanınan bir hak ve sağlanması gereken bir kamu hizmeti niteliği taşımaktadır. Fakat enerji sektörü gibi yatırım maliyeti yüksek hizmetlerin ülkeye kazandırılmasında devletler, sadece kamu imkanlarının kullanılmasıyla değil, özel sektörün de dahil edildiği ekonomik modeller uygulamaktadır.

Son yarım asırlık sürede iktisadi modellerdeki eğilimlere bakılırsa, 2. Dünya Savaşı sonrası, özel sektör yatırımlarına açık piyasa koşulları olmasına rağmen, devletin doğrudan ekonomik faaliyetleri gerçekleştiren bir konumda yer aldığı karma ekonomi modeli benimsenmiş, ekonomik açıdan rekabetin önem kazanmasıyla birlikte 1980 sonrasında dünya genelinde serbest piyasa ekonomisi modeline geçiş başlamıştır. Bunun sonucu olarak devletler, ekonomik hayatta denetleyici ve düzenleyici bir aktör olarak yerini almaya ve özellikle enerji sektörü de dahil olmak üzere büyük altyapı yatırımlarını özel sektöre bırakmaya başlamıştır. 1970'li yıllarda birkaç ülkede, 1990'lı yıllarda tüm dünyada kabul görmeye başlayan altyapı yatırımlarının liberalleştirilmesi ve özelleştirilmesi süreçleri, Türkiye gibi gelişmekte olan ülkelerde finansal kaynak sıkıntıları sebebiyle çok daha önemli hale gelmiştir [4].

Türkiye'nin, gerek jeopolitik konumundan dolayı enerji kaynakları ihracatı ve ithalatı yapan ülkeler arasında enerji koridoru olabilme fırsatı, gerekse ülke ihtiyaçlarına karşılık verebilecek finansal açıdan güçlü ve istikrarlı, enerji arz güvenliği açısından sürdürülebilir ve şeffaf bir enerji piyasasının varlığı adına serbest piyasa koşullarına geçmesi büyük önem arz etmekteydi. Bunlara bağlı olarak, elektrik piyasasında liberalleşme sürecinin temeli 2001 yılında 4628 sayılı Elektrik Piyasası Kanunu ile atılmış, 2013 yılında kabul edilen 6446 sayılı Elektrik Piyasası Kanunu ve ilgili yönetmelikler ile de Türkiye'de tam rekabetçi elektrik piyasasına geçişin önü açılmıştır [5].

Özelleştirmeler ve gerekli yasal düzenlemelerle bir elektrik piyasasında özel sektör üretim, dağıtım, ticaret ve perakende satış faaliyetlerini gerçekleştirmektedir. Elektrik santralleri, talimatlara uygun miktarda elektrik üretilip sisteme dahil ederlerken, dağıtım şirketleri ilgili dağıtım bölgesinde elektriğin alçak (<1 kV) ve orta gerilim (36 kV) düzeyinde taşınmasını sağlamaktadır. Toptan satış şirketleri elektrik ticaretindeki finansal ve fiziksel optimizasyonu sağlarken, perakende satış şirketleri ise elektriği son kullanıcıya pazarlamakta ve faturalandırmaktadır [4].

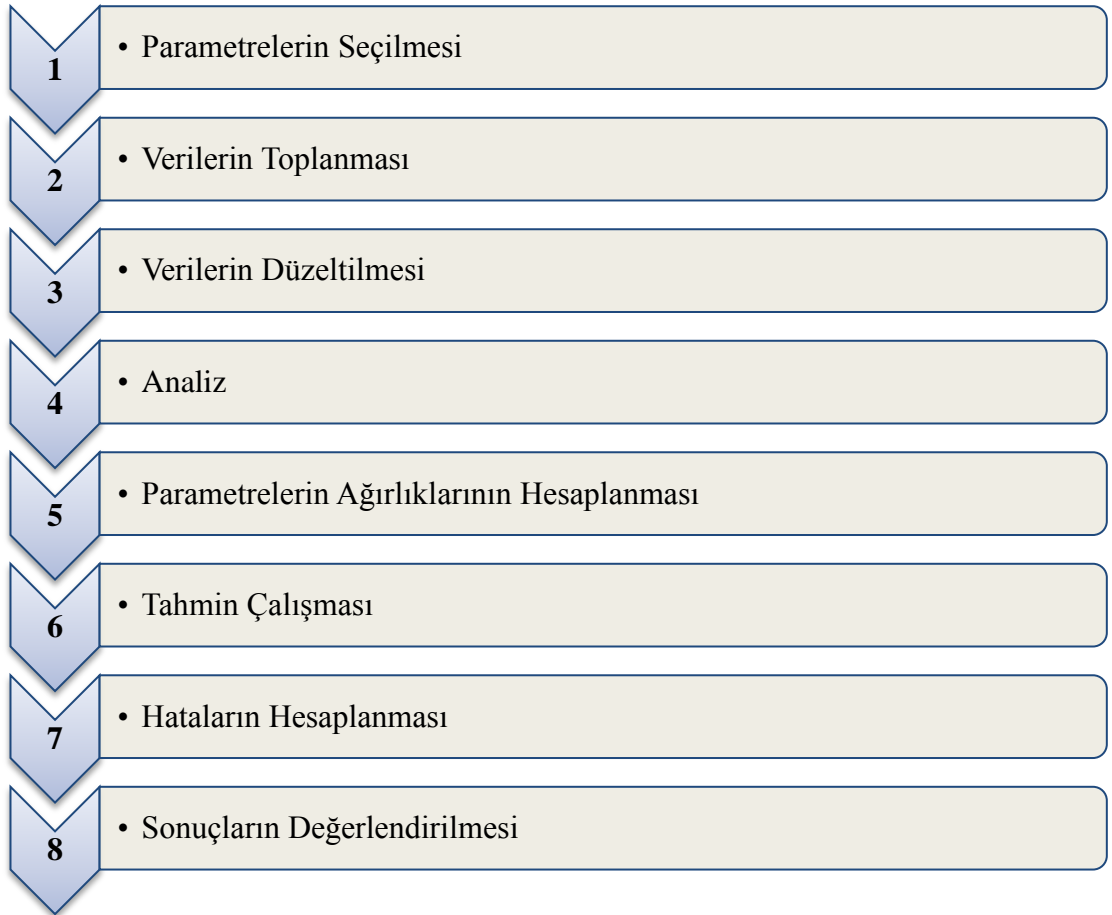
Yapılan regülasyonlarla, gelinen nokta itibariyle Türkiye'de elektrik, bir gün öncesinde saatlik bazda, talebe bağlı olarak fiyatlandırılmaktadır. İlgili gün ve saat geldiğinde, bir gün öncesinden talimat alan santraller devreye girerek, o saat için belirlenen fiyattan, taahhüt ettikleri miktarda üretim yaparak Türkiye genelinde toplam elektrik talebi karşılanır.

Elektrik fiyatlarının, rekabete açık serbest piyasa koşullarında belirlendiği bu yapıda, katılımcılar oluşacak fiyatları öngörmek isterler. Çünkü bu durum katılımcılara, gün öncesi piyasada verecekleri teklifler ve ikili anlaşmalardaki süre ve kapasite konularında ışık tutar, böylece maksimum karlılık adına stratejilerini belirlemelerinde yardımcı olur. Ayrıca, enerji sektörüne yatırım yapacak şirketlerin uzun dönemli elektrik fiyat öngörülerini, yapılacak yatırımın uygulanabilirliğini olumlu veya olumsuz etkilediği gibi işletmedeki santraller ise, bakımlarını elektrik fiyatlarına göre planlamaktadır. Tüm bunlarda da anlaşılacağı gibi, elektrik fiyatlarının en az hata ile kısa orta ve uzun vadede en doğru şekilde tahmin edilmesi, işletmedeki santrallerin üretim ve bakım planlamalarını, yatırım aşamasındaki projelerin finansmanını ve işletmeye alınmasını önemli ölçüde belirlemektedir.

1.2 Amaç – Kapsam

Bu yüksek lisans tezinde, Türkiye’de gün öncesi elektrik piyasasında, katılımcıların teklifleri doğrultusunda arz ve talebe bağlı olarak saatlik bazda oluşan elektrik fiyatları, istatistiksel verilerle saatlik ve gün ortalaması şeklinde tahmin edilmeye çalışılmıştır. Saatlik ve günlük ortalama tahminleri için iki farklı parametre kümesi oluşturulmuş, tahminler bu parametre kümelerinden seçilen farklı kombinasyondaki veri setleri ile yapılmıştır. Yapılan her tahmin çalışmasında, parametrelerin ağırlıkları hesaplanmış, aynı parametrelerin tahmin edilmek istenen saate ait olan verileri ve bulunan ağırlıklarla sonuçlar elde edilmiştir. Elde edilen bu sonuçlar MAPE, RMSE ve NASH kriterleri ile değerlendirilmiştir. Ayrıca, tahminler regresyon ve yapay sinir ağları ile yapılmış ve başarıları karşılaştırılmıştır.

Çalışmalar süresince izlenen adımlar aşağıda Şekil 1.1’de gösterilmiştir.



Şekil 1.1: Çalışmada izlenen adımlar.

2. TÜRKİYE ELEKTRİK PİYASASI

2.1 Genel Bakış

Türkiye elektrik enerjisi brüt tüketimi (Türkiye brüt üretimi+dış alım–dış satım) 2013 yılında %2,5 artış ile 248,3 Milyar kWh olarak, 2014 yılında ise %2,9 artış ile 255,5 Milyar kWh olarak gerçekleşmiştir [6]. Türkiye elektrik üretimi ise 2014 yılında %4,3 artış ile 250,4 Milyar kWh olarak gerçekleşmiştir [6]. Özellikle son 10 yılda elektrik talebindeki yıllık artış % 7-8 bandında gözlenirken, ve hatta TEİAŞ raporlarında geçtiğimiz yıl ve sonrasında da bu artışların gözlenmesi beklenirken, 2013 ve 2014 yıllarında beklentinin gerisinde kaldığı görülmektedir. Ancak yine de tüketimdeki bu rakam, on yıl öncesinden %70, 1990 yılından ise %315 daha fazladır. Ülkenin 1990 yılında tükettiği elektrik Belçika'yla kıyaslanabiliyorken, sadece 25 yıl içerisinde İspanya'nın tüketim düzeyine ulaşılmıştır. Buna rağmen, kişi başına düşen gelir ve kişi başına düşen elektrik tüketimi Batı Avrupa seviyelerinin altında olduğu için, Türkiye'nin elektrik talebindeki artışın önümüzdeki yıllarda da sürmesi olasılık dahilindedir [8].

Ayrıca, elektrik tüketiminde en büyük paya %47 ile sanayi sahiptir [6]. Otomotiv, tekstil, üretim, inşaat, madencilik gibi elektrik enerjisi yoğun sektörlerin ön plana çıktığı bir ülke olan Türkiye'de bu sektörler beraberlerinde elektrik sektörünü de büyütmedirler [7].

Türkiye kurulu gücüne bakıldığında ise 2014 yılında %8,6 artış ile 69,5 GW'a yükseldiği görülmektedir [6]. Üretim ve tüketime kıyasla kurulu güçte daha fazla artış yaşandığını rahatlıkla söyleyebiliriz. Bunda, ETKB'nin teşvikler ile yatırımcıyı yönlendirmesi ve enerji yatırımlarını cazip hale getirmesi ile özel sektör oyuncularının isteğini arttırması sebepler arasında gösterilebilir. Özellikle stratejik açıdan doğalgaza olan bağlılığımızı azaltmak ve ekonomik açıdan doğalgaz ithalatı için harcanan yüksek bedelleri düşürmek amacıyla son yıllarda, linyit rezervleri ve kömür santrallerine yapılan yatırımlar teşvikler ile arttırılmış, hatta EÜAŞ'ın işletmesinde olan bazı büyük kömür santralleri de özelleştirmeler yoluyla özel sektöre devredilmiştir.

TÜİK verilerinden yola çıkarak yapılan hesaplama sonucu 2014 yılı için kişi başı elektrik tüketimi 3200 kWh civarında hesaplanmıştır. OECD ülkelerinde bu değerin yaklaşık 8000 kWh civarında olduğu gözlenir. Bir diğer deyişle, Türkiye kişi başı elektrik tüketimi anlamında 1950 ler Avrupası seviyelerindedir denilebilir [7].

2.2 Dünya ve Türkiye Elektrik Piyasalarında Regülasyon

Elektrik ve elektrik arzı sektörü, gelişmiş ya da gelişmekte olan bütün ekonomiler için olduğu gibi, Türkiye ekonomisi için de, çok büyük öneme sahip bir sektördür. Birçok hammaddeyi (doğalgaz, kömür, fuel-oil, su vb.) girdi olarak kullanan ve konutlara, her türlü üretim tesisi ve işyerine kullanılabilir enerji sağlayan elektrik sektörünün, Türkiye ekonomisinin büyüme kapasitesini doğrudan etkileyen sektörlerden birisi olduğu açıktır [9].

1980 sonrasında dünyada birçok ülkede gündeme gelen elektrik sektörünün yeniden yapılandırılması, aşağı yukarı aynı tarihlerde Türkiye’de de gündeme gelmiştir [9]. Bunun en önemli sebebi, 1970’li yılların sonlarına doğru, petrol krizinin doğurduğu maliyet sorunları ile elektrik fiyatlarının artmaya başlaması olmuştur. Fiyatlardaki bu artış sebebiyle değişen ekonomik koşullar, elektrik piyasasının yeniden yapılması konusunda tüm dünyada tartışma yaratmış, çözüm olarak ise serbestleştirme ve özelleştirme konuları düşünülmeye başlanmıştır [10]. Bu nedenle, 1980 sonrası elektrik sektöründe yeniden yapılanma deneyimlerinin ortak noktası, sektörün özel sektör katılımına ve rekabete açılmasıdır [9].

Bununla beraber elektrik enerjisi, hukuki bakımdan menkul mal, ekonomik açıdan kamu hizmet konusu olan nihai mal ve özel sektör için ise stratejik girdi konumunda olan ara mal niteliği taşımaktadır. Ayrıca, depolanması ve tam ikamesi mümkün olmayan bir ürün olması nedeniyle de, kamu hizmeti konusu olan elektrik piyasası, diğer ağ-şebeke piyasalarından (doğalgaz ve petrol) ayrılmaktadır [10]. Rekabetin mümkün olduğu kademelerle, olmadığı kademeleri bir arada barındıran elektrik sektörünün, bir mal piyasası olarak değerlendirildiğinde, bilinen diğer piyasalardan oldukça farklı, karmaşık bir yapıya sahip olduğu görülmektedir [9].

Elektrik enerjisinin, üretiminden son kullanıcıya ulaşana kadar tüm aşamalarındaki faaliyetler (üretim, iletim ve dağıtım), doğası gereği birbirine mutlaka bağımlıdır. Bu nedenle, rekabete açık bir piyasa olsa dahi, hizmetin tüketiciye ulaşana kadar geçen

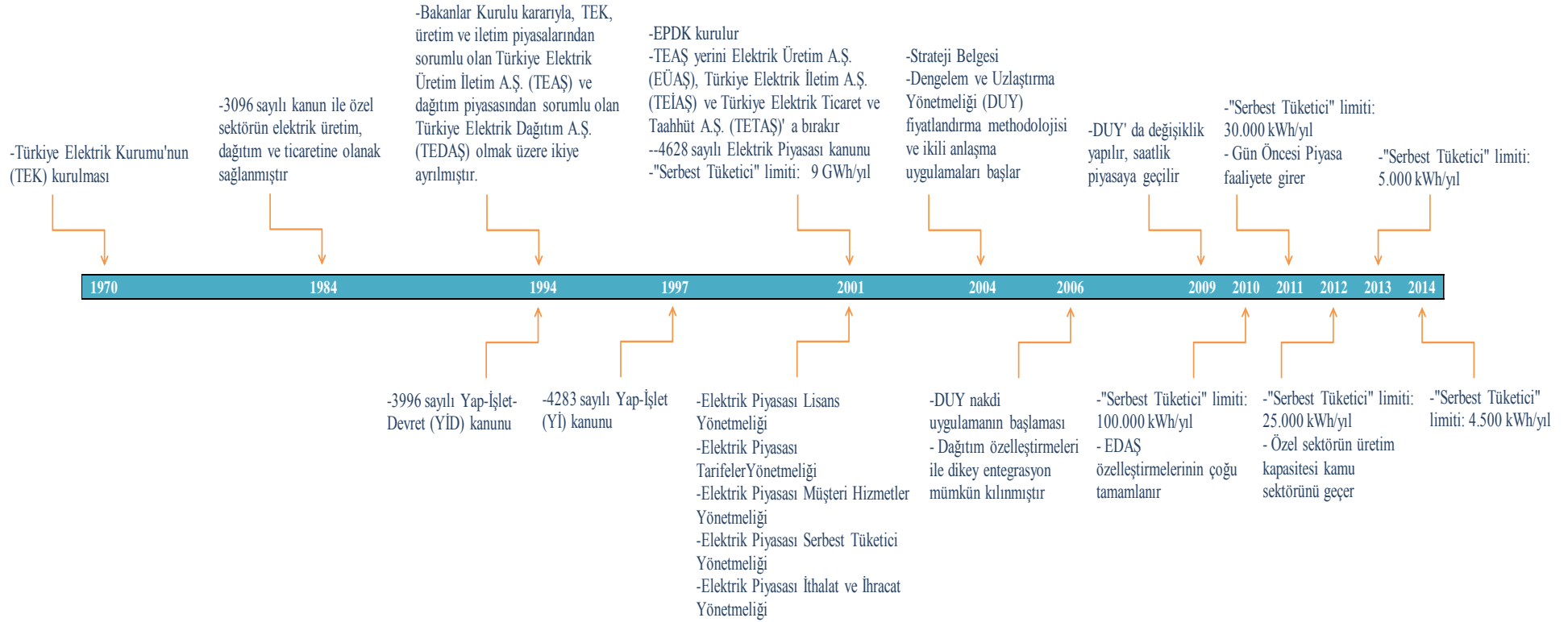
sürede bu fonksiyonları birbirinden bağımsız olamaz. Bu açıdan, genellikle rekabete açılacak özellikteki basamakların (üretim) rekabete açılması, doğal tekel yapısından dolayı rekabete açılması mümkün olmayan basamakların (iletim ve dağıtım) ise regüle edilmesi yoluna gidilmektedir [10]. Sonuç olarak, elektrik piyasasının yeniden yapılandırılmasında ekonomik fayda açısından önemli hususlardan birisi de, elektrik piyasasının regülasyonu kadar piyasada rekabetin sürdürülebilirliğidir.

Gelişmiş ülkeler elektrik sektöründe büyük kapasitelerde yatırım ihtiyacı duymamaktadır. Ayrıca, özel sektör açısından yatırım yapılabilir bir piyasa yapısı için, gerekli regülasyonları ortaya koyabilecek kurumsal ve hukuki yapıları geliştirmiş durumdadır. Bu nedenle, elektrik sektöründe rekabete dayalı piyasa yapısı içerisinde, ekonomik etkinliğin sağlanmasına imkan verecek yöntemler uygulanması daha kolay olmaktadır. Gelişmekte olan ülkelerde ise, özel sektörün faaliyetlerini düzenleyen istikrarlı kurumsal ve hukuki yapılar yerine oturmamıştır. Bu nedenle, özel sektör açısından yapılacak yatırımın getirisini güvenilir bir şekilde öngörmek güç olmakta, bu da özel sektör yatırımlarını azaltmaktadır. Özel sektör yatırımlarını teşvik edecek yüksek getiri garantileri de sektörde daha sonra rekabet koşulları oluşturma olanağını azaltmaktadır [9].

Elektrik sektörünün yeniden yapılandırılması konusunda İngiltere deneyimi, özellikle sonuç itibarıyla değişiklik sonrası gelişmelerin nihai olarak tüketiciler açısından olumlu olduğu düşünüldüğü için, gelişmiş ve gelişmekte olan diğer ülkelerin de dikkatini çekerek elektrik sektöründe yeniden yapılanmalar için örnek teşkil etmiştir [9].

Türkiye, elektrik piyasasının liberalleşmesi sürecine, 2001 yılında Elektrik Piyasası Kanunu'nun kabulü ile adım atılmıştır. O yıllardan günümüze kadar geçen zaman içerisinde birçok ilerleme kaydedilmiştir. Gerek özelleştirmeler, gerekse yönetmelik ve mevzuatlarla özel sektör katılımı arttırılmaya çalışılmıştır.

Türkiye'de elektrik piyasasında yaşanan regülasyon sürecini özetleyen görsel aşağıda Şekil 2.1'de görülmektedir.



Şekil 2.1: Türkiye elektrik piyasası regülasyon süreci [11, 10, 2].

2001 yılında yayımlanan Elektrik Piyasası Kanunu ile TEAŞ yerini yeni yapılandırılmış olan EÜAŞ, TEİAŞ ve TETAŞ'a bırakmıştır. TEDAŞ'ın da bulunduğu bu resimde, elektrik ticareti, uzun vadeli yatırım teşviği ve arz güvenliğini hedefleyen bir sistem içerisinde ikili anlaşmalar ile yürütülmüştür [7].

Kasım 2004 tarihinde yayınlanan ilk Dengeleme ve Uzlaştırma Yönetmeliği ile Türkiye Elektrik Piyasası'nda üretim optimizasyonunu hedefleyen Gün Öncesi Dengeleme sistemine geçilmiştir. Bu sistem Gerçek Zamanlı Dengelemenin yönetimini kolaylaştırmak ve sistem güvenliği ile güvenilirliğini iyileştirmeyi hedeflemiştir. Elektrik fiyatlarının uzun süre sabit kalmış olması, girdi maliyetleri sabit kalmayan üreticileri zorlamaya başladığından, özellikle üretim gamının önemli bir oranına sahip olan termik santral üreticilerinin yoğun talepleri doğrultusunda diğer değişikliklerle birlikte daha etkin ve verimli bir ticaret yapısı için kurgular yapılmaya başlanmıştır [7].

2009 yılında yayımlanan yeni bir Dengeleme ve Uzlaştırma Yönetmeliği ile dengelemeden uzlaştırmaya her manada saatlik yürütülen bir piyasa yapısına geçilmiştir. Gün Öncesi Planlama adı altında yürütülen bu piyasa aslen bir geçiş süreci tasarımıdır. Nihai yapı olarak belirlenen Gün Öncesi Piyasası'na geçişte Piyasa Katılımcılarının eğitilmiş olmasını ve adaptasyonunun kolaylaştırılmasını sağlamak amacındadır [7].

İki kez ertelendikten sonra, 2011 Aralık ayı itibariyle Gün Öncesi Piyasası faaliyete geçmiştir. Piyasa katılımcıları artık yeni yapıya nispeten adapte olmuş, yeni piyasada gönüllü olarak işlem yapar olmuşlardır. Yine bu dönemde, Türkiye'nin önceki dönemde imzaladığı Entso-e üyeliği kapsamında Kuzey-Batı komşuları ile yapacağı İthalat ve İhracat'a yönelik elektrik alım-satımlarının yapılacağı TEİAŞ Kapasite İhale Sistemi (TCAT) adında bir ticaret platformu geliştirilmiştir. İhale Kuralları yayınlanmıştır. Bu platform üzerinden yayınlanan kapasiteler doğrultusunda ithalat ihracat işlemleri sürmektedir [7].

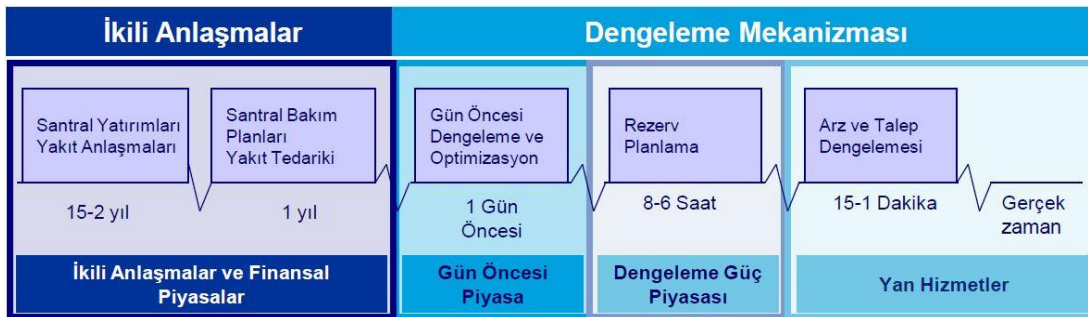
Son olarak, 2012 yılı içerisinde Gün Öncesi Piyasası'nda verilen tekliflerin bir sonraki güne kadar değiştirilemiyor olması sebebiyle aslında gün içi öngörüler sayesinde azaltılabilecek olup da azaltılamayan dengesizliklerin yönetimi için bir yeni piyasa tasarlanmıştır. Gün İçi Piyasası, Gün Öncesi Piyasası'ndan Dengeleme

Güç Piyasası'na sarkan miktarın dengelenmesi için bir araç olması sebebiyle gerçek zamanlı dengesizliğin azaltılmasını hedeflemektedir [7].

2.3 Türkiye Elektrik Piyasası Güncel Yapısı

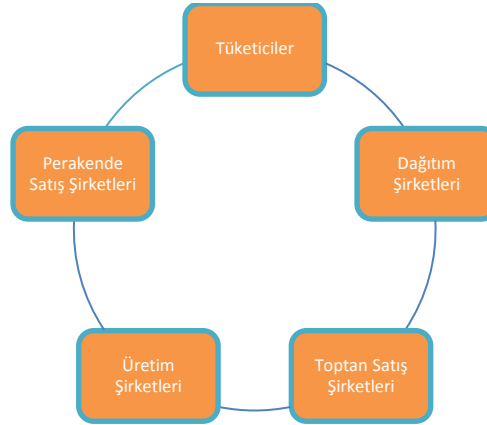
Piyasa tasarımının en önemli unsuru elektrik enerjisi fiyat mekanizmasıdır. Piyasa tasarımı, vadeye (riske) göre değişen fiyatın piyasa ortamında oluşmasını sağlamak üzere, temel olarak uzun ve kısa vadeli piyasa mekanizmaları ile kısıt yönetiminden oluşmaktadır. Piyasa tasarımı elektrik enerjisini bir emtia olarak iletimden ayırabilir (Avrupa piyasa tasarımı yaklaşımı) ya da elektrik enerjisi ve iletim kısıtı birlikte ele alabilir (Amerika piyasa tasarımı yaklaşımı). Türkiye piyasa tasarımında Avrupa tasarımı yaklaşımı izlenmiştir [11].

Bugün itibarıyla tüketmekte olduğumuz elektrik enerjisi, 2-15 yıl öncesinde karar verilen santral yatırımlarının hayata geçirilmesi sonucu üretilmektedir. Yatırımcı, yatırım kararından sonra, yakıt anlaşması tesis etmekte ve günümüzden 1 yıl öncesinde bakım planı ve yakıt alımını yapmaktadır. Yatırımcının bu ihtiyaçlarına cevap veren ve uzun vadede arz güvenliği açısından yeni üretim yatırımını teşvik edecek, fiyat istikrarı ve uzun vadeli fiziki veya finansal ikili anlaşmaların yapıldığı “ikili anlaşmalar piyasası” ve “vadeli işlemler (türev) piyasası”, piyasa tasarımının temel parçalarıdır. Kısa vadeli piyasa mekanizması, ikili anlaşmaları tamamlayıcı nitelikte olup, dengeleme mekanizması olarak ta adlandırılmaktadır. Kısa vadeli piyasa mekanizması, gün öncesi piyasası ve dengeleme piyasasını kapsamaktadır [11]. Türkiye elektrik piyasası yapısı Şekil 2.2’de gösterilmiştir.



Şekil 2.2: Türkiye elektrik piyasa yapısı [12].

Türkiye elektrik piyasasında başlıca aktörler Şekil 2.3’de gösterildiği gibidir;



Şekil 2.3: Türkiye elektrik piyasası başlıca aktörleri.

- a. Tüketiciler: Tüketiciler kendi içlerinde serbest ve serbest olmayan tüketiciler olmak üzere ikiye ayrılır. Serbest tüketiciler, EPDK’nın belirlediği yıllık tüketim miktarını aşan tüketiciler olup, tedarikçilerini seçebilmektedirler. Serbest olmayan tüketiciler ise, buldukları bölgedeki dağıtım şirketinden, ilgili tarife üzerinden elektriklerini temin etmektedirler. Serbest olmayan tüketicilere örnek olarak meskenler verilebilir [10].
- b. Üretim Şirketleri: EPDK tarafından “Üretim Lisansı” verilmiş tüzel kişiler, lisanslarında belirtilen koşullar altında (süre, kapasite, kaynak vb.) elektrik üretimi faaliyetinde bulunmak üzere santral kurulumu gerçekleştirebilir ve santral işletebilirler [10].
- c. Toptan Satış Şirketleri: Toptan satış şirketleri üretim şirketleri ile yıllık, aylık, veya mevsimlik anlaşmalar ile toptan elektrik alabilecekleri gibi, Gün Öncesi Piyasa’dan da teklif vermek suretiyle elektrik alım-satımını yapabilirler. Ayrıca toptan satış şirketleri, Kurul onayıyla elektrik ithalat ve ihracatı faaliyetinde de bulunabilmektedirler [10].
- d. Perakende Satış Şirketleri: Perakende satış şirketleri aboneye kapıdan elektrik satan şirketlerdir. Ayrıca serbest tüketici statüsündedirler [10].
- e. Dağıtım Şirketleri: Dağıtım şirketlerinin temel görevlerinden birisi, sistemin bakım-onarım, yatırım ve planlarını gerçekleştirilmesidir. Dağıtım şirketlerine kendi bölgelerinde kendilerine ait bir perakende satış şirketi aracılığıyla elektrik satış hizmeti sunulması yönünde yetki tanınmıştır [10].

2.4 Gün Öncesi Piyasada Elektrik Fiyatı Oluşumu

Gün Öncesi Planlama kapsamında Piyasa Takas Fiyatının hesaplanması ve talimat alacak olan tekliflerin belirlenmesi elektronik ortamda bir optimizasyon aracı kullanılarak ve manuel müdahale olmaksızın gerçekleştirilir. Optimizasyon aracının temel çalışma prensibi, sistemi her bir gün için 24 saatin toplamını göz önünde bulundurarak en düşük maliyetle en etkili şekilde dengeye getirerek, belirlenen üretim ve sistem kısıtları dahilinde, günün her saati için kabul edilecek teklif setinin belirlenmesini sağlamaktır [13].

Fiyatlandırma mekanizması “Merit Order” adı verilen yapıdadır. Her sabah Sistem İşletmecisi (MYTM) tarafından bir sonraki gün tüketilmesi öngörülen elektrik miktarının duyurulmasını takiben, Piyasa İşletmecisi (PMUM), piyasa katılımcılarından toplamış olduğu teklifleri (GÜP = Gün Öncesi Üretim Planı) bu öngörü çerçevesinde değerlendirir. En ucuzdan en pahalıya sıralanan teklifler sırasıyla ertesi günün üretim planına eklenirken, öngörülen tüketimin karşılandığı noktada son çağırılmış olan üreticinin verdiği fiyat, değerlendirmeye alınacak ya da talimat verilebilecek blok ya da esnek teklif olmaması durumunda [13], o saatin fiyatı olur ve tüm üreticilere o saat için bu fiyat verilir [7]. Herhangi bir saat için toplam gün öncesi günlük üretim programı ile tüketim tahmini birbirine eşit ise söz konusu saat için sistem dengede olur [13].

Bu fiyatlandırma mekanizmasına göre, kaynak maliyeti açısından yenilenebilir enerji kaynaklı santraller ilk değerlendirilenler olduğu söylenebilir. Onları, sırasıyla barajlı hidroelektrik santraller, kömür santralleri ve doğalgaz santralleri takip eder. Bu tabloda, özellikle termik santrallerin verimlilik oranları oldukça önemlidir; çünkü verimliliği daha yüksek olan termik santral daha uygun olan üretim maliyeti sayesinde daha düşük fiyat teklifi verebilir, bu sayede “Merit Order” da yerini alır ve talimatlandırılır [7].

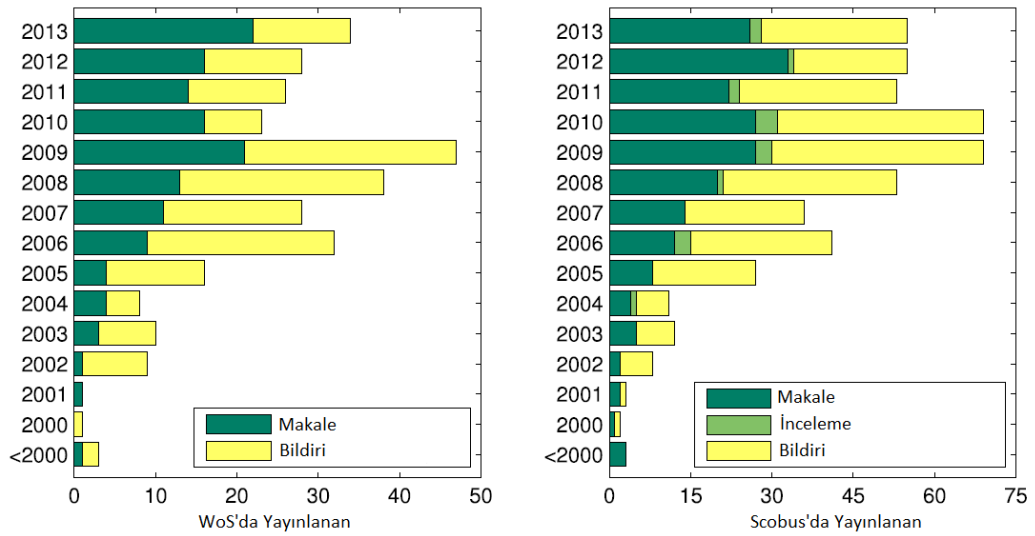
Gerçek zamanlı dengelemelerin yapıldığı tamamlayıcı piyasa ise Dengeleme Güç Piyasasıdır. Bu piyasada da fiyatlandırma benzer şekilde yapılır. Piyasa İşletmecisi (PMUM), öngördüğü dengesizliği bu kez “Yük Alma” ve “Yük Atma” tekliflerini değerlendirerek tamamlar ve bu sayede elektriğin sistemdeki dengesi korunur. Güç dengesinin sağlanması için verilen talimatlar doğrultusunda yine benzer şekilde oluşan saatlik sistem fiyatına ise SMF (Sistem Marjinal Fiyatı) denir [7].

2.5 Elektrik Fiyatları Tahmin Modelleri ve Literatürdeki Çalışmalar

Küresel ölçekte son çeyrek asırda yaşanan regülasyon ve liberalleşme süreçleriyle birlikte elektrik piyasaları, devlet kontrol ve yönetiminde tekeli bir yapıdan, özel sektöre açık rekabetçi bir yapıya dönüşerek, teknolojik ve ekonomik açıdan bakıldığında daha verimli işleyen bir sistem haline gelmektedir [27].

Ayrıca ticareti yapılan diğer ürünlere kıyasla elektriğin karakteristik özellikleri mevcuttur. Depolanamama, üretiminin ve tüketiminin anlık dengelenme zorunluluğu, evsel, sanayi ve ticari bakımdan talepteki yüksek mevsimsellik etkisi gibi özellikler, piyasa oyuncuları açısından elektrik ticaretindeki ekonomik riskleri arttırmaktadır [27].

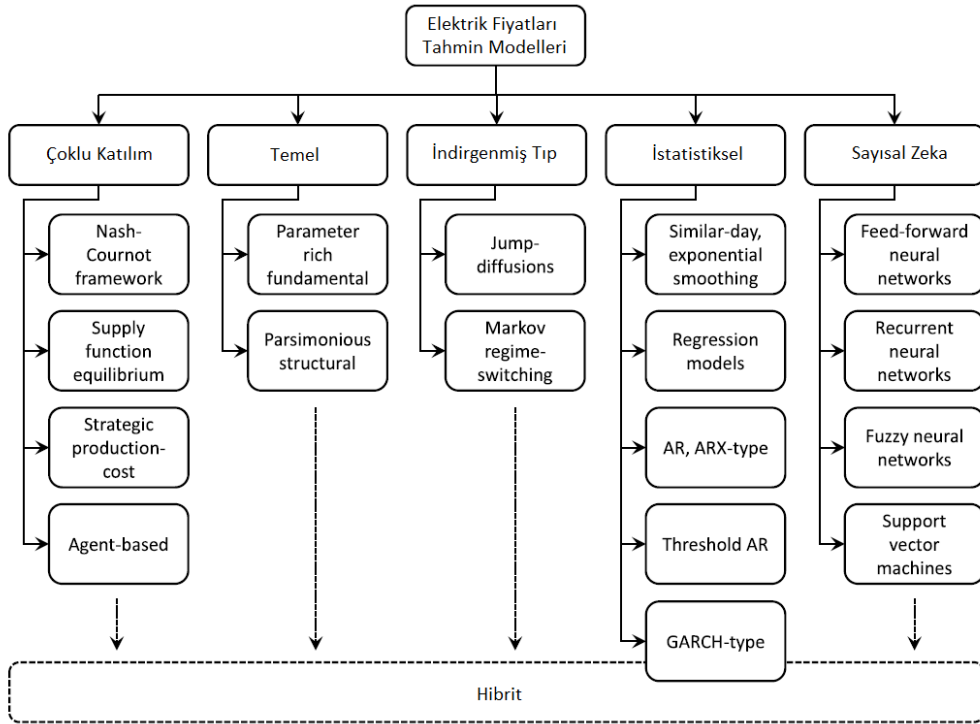
Bununla birlikte elektrik piyasalarında rekabetçi bir yapı oluşturuldukça, piyasa oyuncuları maksimum karlılık adına kısa, orta ve uzun vadede stratejik hedefler ortaya koymaya başlamıştır. Bu hedefleri belirlemekteki en önemli etkeni ise elektrik fiyatları oluşturmaktadır. Bu nedenle, elektrik fiyatlarının kısa (günlük), orta (aylık) ve uzun (yıllık) vadede yüksek doğruluk ile tahmin edilebilmesi için günümüze kadar, hızla artan sayıda akademik çalışmalar yapılmıştır.



Şekil 2.4: Web of Science (WoS) ve Scopus'ta yayınlanan elektrik fiyat tahmini ile ilgili makale sayıları [27].

Web of Science (WoS) ve Scopus gibi iyi yapılandırılmış veritabanlarında bulunan makalelerin sayılarına ilişkin grafikler yukarıda Şekil 2.4'de gösterilmiştir.

Elektrik fiyatları, amacı doğrultusunda kısa, orta ve uzun vadede tahmin edilmeye çalışılmaktadır. Kısa vadeli elektrik fiyat tahminleri birkaç saatten birkaç güne kadar çıkar ve günlük piyasa işlemlerinde kullanılır. Orta vadeli elektrik fiyat tahminleri birkaç günden birkaç aya kadar yapılabilir ve genellikle bilanço tablolarının hesaplanması, risk yönetimi ve türev piyasalardaki işlemler için tercih edilir. Uzun dönemli elektrik fiyat tahminleri aylık, 3 aylık veya senelik yapılabilir ve bu tahminlerdeki esas amaç yatırımların karlılık analizinin ve planlanmasının yapılmasıdır [28].



Şekil 2.5: Elektrik fiyat tahmin modelleri sınıflandırılması [27].

Elektrik fiyatları tahmininde yapılan çalışmalara bakıldığında birçok methodun uygulandığı görülmektedir. Bunlardan bazıları, yakıt maliyetlerini baz alan ekonomik yaklaşımlar iken, bazıları piyasadaki bir veya birden fazla oyuncuların davranışlarını baz alan piyasa modellemesi şeklinde olabilmektedir. Bazıları ise, bu tezde kullanıldığı gibi istatistiksel method olabilmektedir. Yukarıda Şekil 2.5’de elektrik fiyat tahmininde kullanılan modellerin sınıflandırılması görülmektedir. Şekil 2.5’deki model isimleri literatürde geçtiği şekliyle gösterilmiştir. Ayrıca, daha önce yapılmış elektrik fiyatları tahmini çalışmaları Çizelge 2.1’de gösterilmiştir.

Çizelge 2.1: Daha önce yapılmış elektrik fiyat tahmin çalışmaları.

KAYNAK NO.	METHOD	TEST PERİYODU	HATA DEĞERLENDİRME KRİTERİ	HATA ORANI
[29]	AR, ARMA	45 GÜN	WMAE	3-7%
[30]	ARMA, ARX, ARMAX, AR	28 GÜN	WMAPE	3-11.1%
[31]	GARCH	12 AY	WMAPE	9-11%
[32]	DR, TF	14 GÜN, 7 GÜN	DMAPE	3-5%
[33]	ARIMA	3 VE 11 HAFTA	WMAPE	8-20%
[34]	ARIMA	1 HAFTA X (4 SEZON)	WMAPE	5-27%
[35]	ARMA	7 GÜN	DMAPE	MIN 01-5,3% MAX. 52.2-98.7%
[36]	MLR	1 HAFTA X (4 SEZON)	WMAPE	7-18.5%
[37]	ANN	1 GÜN, 30 GÜN	DMAPE	20-38%
[38]	ANN	7 GÜN	DMAPE	11.57-12.86%
[39]	ANN	14 GÜN	MAPE	8.44-15.87%
[40]	ANN	7 GÜN, 30 GÜN	WMAPE	10.69-25.77%
[41]	ANN	7 GÜN	WMAPE	11-13%
[42]	ANN	30 GÜN	DMAPE	6.04%
[43]	2OWAVT	7 GÜN	DMAPE	2.5-11.11%
[44]	ANN	7 GÜN	DMAPE	3.5-5.16%
[45]	ANN	7 GÜN	WMAPE	15.5%
[46]	ANN	1 HAFTA X (4 SEZON)	MAPE	7.5%
[47]	ANN	1 HAFTA X (4 SEZON)	MAPE	4.77-12.77%

2.6 Fiyat Tahmin Modellerinde Kullanılan Değerlendirme Kriterleri

Tahmin çalışmalarının başarılarını değerlendirebilmek için literatürde bahsi geçen kriterlerden bazıları tezdeki çalışmalar için kullanılmıştır. Bunlar; MAPE, RMSE ve NASH'dir. MAPE ve RMSE değerlerinin "0" a yakınsaması, NASH değerinin ise "1" e yakınsaması beklenmektedir.

Geniş kullanım alanlarının olması ve daha önceki çalışmalarda da en çok tercih edilen kriterler olması nedeniyle, burada yapılan çalışmaların sonuçlarının değerlendirilmesinde kullanılmışlardır.

- **MAPE (Mean Absolute Percentage Error):**

$$MAPE = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n \frac{|a_t - f_t|}{\frac{1}{n} \sum_{t=1}^n a_t} \times 100\% \quad (2.1)$$

- **RMSE (Root Mean Squared Error):**

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{t=1}^n (a_t - f_t)^2} \quad (2.2)$$

- **NASH:** (Nash and Sutcliffe, 1970)

$$NASH = 1 - \frac{\sum_{t=1}^n (a_t - f_t)^2}{\sum_{t=1}^n (a_t - a_m)^2} \quad (2.3)$$

t: İlgili Zaman

a_t : İlgili Zamandaki Gerçekleşen Fiyat

f_t : İlgili Zamandaki Tahmin Edilen Fiyat

a_m : Gerçekleşen Tüm Fiyatların Ortalaması

3. YAPAY SİNİR AĞLARI

Yapay zekâ kavramının geçmişi modern bilgisayar bilimi kadar eskidir. Fikir babası, "Makineler düşünebilir mi?" sorusunu ortaya atarak makine zekâsını tartışmaya açan Alan Mathison Turing'dir. 1943'de İkinci Dünya Savaşı sırasında Kripto Analizi gereksinimleri ile üretilen elektromekanik cihazlar sayesinde bilgisayar bilimi ve yapay zekâ kavramları doğmuştur [14].

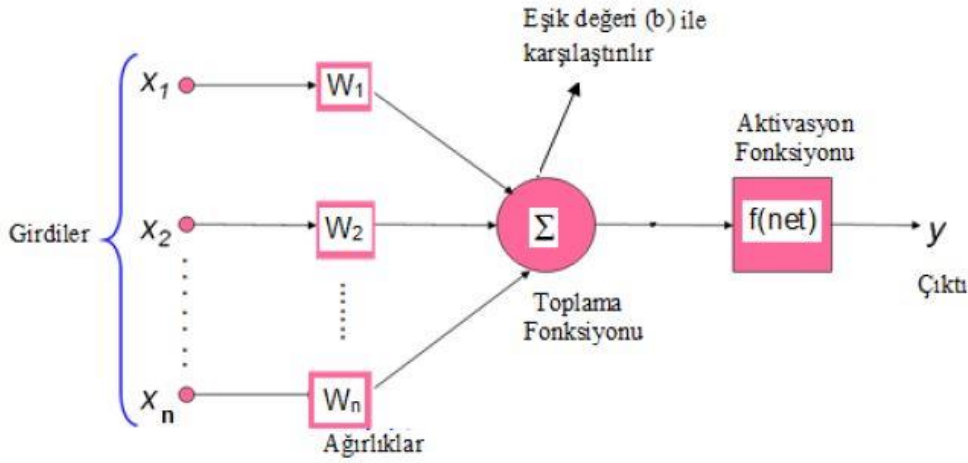
Yapay Sinir Ağları (YSA) ise; insan beyninin çalışma sisteminin yapay olarak benzetimi çabalarının bir sonucu olarak ortaya çıkmıştır [15]. En genel anlamda bir YSA, insan beynindeki birçok nöronun (sinir hücresinin), ya da yapay olarak basit ilercilerin birbirlerine değişik etki seviyeleri ile bağlanması sonucu oluşan karmaşık bir sistem olarak düşünülebilir [16].

YSA, bir sisteme ilişkin çeşitli parametrelere bağlı olarak tanımlanan girişler ve çıkışlar arasında ilişki kurabilme yeteneğine sahiptir. Bu ilişkinin doğrusal bir formda olması zorunlu değildir. Ayrıca YSA'lar, çıkış değerleri bilinmeyen tanımlanmış sistem girişlerine de uygun çıkışlar üretebilmektedir [17].

3.1 Yapay Sinir Hücresi Yapısı

Yapay nöronlar da biyolojik sinir hücrelerine benzer yapıdadır. Aynı biyolojik nöronlarda olduğu gibi, yapay nöronların da girdi sinyallerini aldıkları, bu sinyalleri toplayıp işledikleri ve çıktılarını ilettikleri bölümleri bulunmaktadır. YSA, kendisini oluşturan yapay nöronların birbirleriyle çeşitli katmanlar içerisinde bağlantılar kurarak bir araya gelmelerinden oluşmaktadır. Yapay nöronlar, biyolojik sinir sisteminin doğal yapısının matematiksel olarak modellenmesiyle oluşturulmaya çalışılmaktadır [14].

YSA'da nöron yapısı aşağıda Şekil 3.1'de gösterilmektedir.



Şekil 3.1: YSA sinir hücresi (nöron) yapısı.

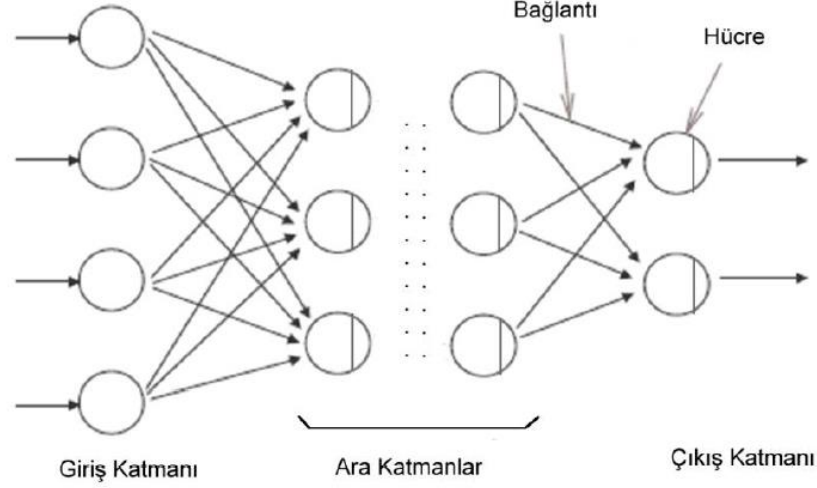
3.2 Yapay Sinir Hücresi Temel Elemanları

Bir yapay sinir hücresi beş bölümden oluşmaktadır;

- **Girdiler:** ($x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$), diğer hücrelerden ya da dış ortamlardan hücreye giren bilgilerdir. Bunlar ağırlık öğrenmesi istenen örnekler tarafından belirlenir.
- **Ağırlıklar:** ($w_1, w_2, w_3, \dots, w_n$), hücreler arasındaki bağlantıların sayısal değeridir. Bir hücreye gelen bilginin değerini ve hücre üzerindeki etkisini gösterirler.
- **Toplama (Birleştirme) fonksiyonu:** Hücreye gelen net girdinin hesaplanmasını sağlayan fonksiyondur. En yaygın kullanım şekli her girdi değerinin kendi ağırlığıyla çarpılarak toplanmasıdır.
- **Aktivasyon fonksiyonu:** Bu fonksiyon hücreye gelen net girdinin işlenmesiyle hücrenin bu girdiye karşılık üreteceği çıktıyı belirlemesini sağlar.
- **Çıktılar:** ($y_1, y_2, y_3, \dots, y_n$) olarak gösterilen çıktı değerleri, ara katmanlardan gelen bilgileri işleyerek dış dünyaya gönderirler [14].

3.3 Yapay Sinir Ağları Yapısı

Yapay sinir ağları yapay sinir hücrelerinin birbirine bağlanmasıyla oluşan yapılardır. Yapay sinir ağları üç ana bölümden oluşmaktadır; Giriş Katmanı, Ara (Gizli) Katmanlar ve Çıkış Katmanı [18]. Yapay sinir ağı yapısı Şekil 3.2’de gösterilmiştir.

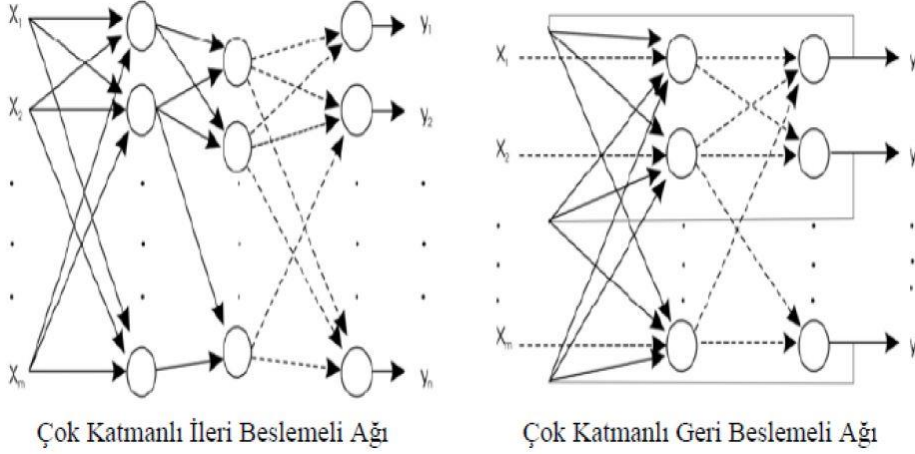


Şekil 3.2: Yapay sinir ağı yapısı [18].

- **Giriş Katmanı:** Yapay sinir ağına dışarıdan girdilerin geldiği katmandır. Bu katmanda dışarıdan gelecek giriş sayısı kadar hücrenin bulunmasına rağmen genelde girdiler herhangi bir işleme uğramadan alt katmanlara iletilmektedir [18].
- **Ara (Gizli) Katman(lar):** Giriş katmanından çıkan bilgiler bu katmana gelir. Ara katman sayısı ağdan ağa değişebilir. Bazı yapay sinir ağlarında ara katman bulunmadığı gibi bazı yapay sinir ağlarında ise birden fazla ara katman bulunmaktadır. Ara katmanlardaki nöron sayıları giriş ve çıkış sayısından bağımsızdır. Birden fazla ara katman olan ağlarda ara katmanların kendi aralarındaki hücre sayıları da farklı olabilir. Ara katmanların ve bu katmanlardaki nöronların sayısının artması hesaplama karmaşıklığını ve süresini arttırmasına rağmen yapay sinir ağının daha karmaşık problemlerin çözümünde de kullanılabilmesini sağlar [18].
- **Çıkış Katmanı:** Ara katmanlardan gelen bilgileri işleyerek ağın çıktılarını üreten katmandır. Bu katmanda üretilen çıktılar dış dünyaya gönderilir. Geri beslemeli ağlarda bu katmanda üretilen çıktı kullanılarak ağın yeni ağırlık değerleri hesaplanır [18].

3.4 Yapay Sinir Ağları Bağlantıları

Bağlantı yapılarına göre YSA, ileri beslemeli ağlar ve geri beslemeli ağlar olmak üzere iki bölümde ifade edilebilir. Bağlantı yapılarına göre yapay sinir ağları Şekil 3.3'de gösterilmiştir.



Şekil 3.3: Bağlantı yapılarına göre ysa [19].

- **İleri Beslemeli Ağlar:** İleri beslemeli bir ağda işlem elemanları genellikle katmanlara ayrılmıştır. Nöronlar, bir katmandan diğer bir katmandaki tüm nöronlarla bağlantı kurarlar ancak nöronların aynı katman içerisinde kendi aralarında bağlantıları bulunmaz. İleri beslemeli ağlarda bilgi akışı, girdi katmanından gizli katmana, gizli katmandan da çıktı katmanına doğru geri besleme olmaksızın tek yönde yapılmaktadır [19].
- **Geri Beslemeli Ağlar:** Geri beslemeli bir yapay sinir ağında, nöronlar arasında dönüşler ya da geri besleme bağlantıları bulunmaktadır. Geri beslemeli ağlarda herhangi bir hücrenin çıktısı direkt olarak girdi katmanına gönderilerek tekrar girdi olarak kullanılabilir. Geri beslemeli ağların kullanımı ile, ileri beslemeli ağlara göre daha zengin dinamiklere sahip modeller geliştirilebilir. Ancak belirtmek gerekir ki, ileri beslemeli ağlar, geri beslemeli ağlara göre akademik ve pratik alanda daha çok uygulanmaktadır. Bunun nedeni; geri beslemeli ağların pratikte uygulanabilirliğinin zor olmasıdır. Özellikle geri beslemeli ağların birçok farklı yapıyla oluşturulabilmesi belirli bir model yapısında uzmanlaşmayı engelleyebilmekte ve eğitim algoritmalarının tutarsız olması nedeniyle eğitiminin güç olmasına neden olabilmektedir [19].

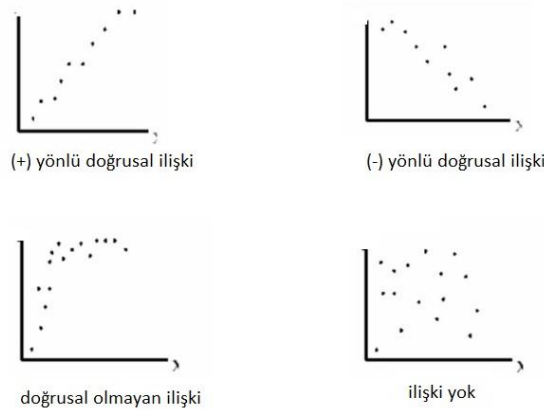
4. REGRESYON ANALİZİ

Regresyon analizi, regresyon fonksiyonu hakkında istatistiksel çıkarımda bulunan bir analiz olup, parametrik ve parametrik olmayan regresyon teknikleri ile analize iki farklı açıdan yaklaşır [20].

Regresyon analizi ilk olarak 19. yüzyılın ikinci yarısında Sir Francis Galton tarafından geliştirilmiştir. Galton bu çalışmasında, aileler ile çocuklarının boy uzunlukları arasındaki ilişkiyi araştırmış ve bu çalışmanın sonucu olarak, boyları çok uzun veya çok kısa olan ailelerin çocuklarının boy uzunluklarının grup ortalamasına doğru eğilim gösterdiğini ortaya koymuştur ve buna “regresyon” adını vermiştir. Günümüzde ise regresyon terimi, değişkenler arasındaki istatistiksel ilişkileri açıklamak için kullanılmaktadır [21].

Regresyon analizi, bir değişkenin başka bir veya daha fazla değişkene olan bağımlılığını inceler [22]. Regresyon analizinde amaç, bağımlı ve bağımsız değişkenler arasındaki ilişkiyi en iyi temsil edecek denklemini bularak, bu ilişkiyi belirlemektir. Değişkenler arasındaki ilişkiyi göstermek için yapılandırılan matematiksel fonksiyon, ilişkinin fonksiyonel şeklini göstermekle kalmayıp ön kestirim yapma olanağı da sağlar [21].

Değişkenler arasındaki ilişki doğrusal olabilir ya da olmayabilir [23]. Değişkenler arasındaki ilişkiler grafiksel örneklerle Şekil 4.1’de gösterilmiştir.



Şekil 4.1: Değişkenler arasındaki ilişkiler [24].

Bir regresyon modeli oluşturulurken genelde en-küçük kareler ve en büyük olasılık (maximum likelihood) teknikleri olarak bilinen iki yaklaşımdan birisi kullanılır. Eğer hata teriminin normal dağılım göstermesi şeklinde bir varsayım varsa en büyük olasılık, hata teriminin dağılışı ile ilgili herhangi bir varsayım söz konusu değilse en-küçük kareler tekniği kullanılarak parametreler tahmin edilir [25].

4.1 Bağımsız Değişken Sayısına Göre Regresyon Analizi

Bağımsız değişken sayısına göre regresyon analizi ikiye ayrılır;

- **Tek Değişkenli Regresyon Analizi:** Tek değişkenli regresyon analizi bir bağımlı değişken ve bir bağımsız değişken arasındaki ilişkiyi inceler. Tek değişkenli regresyon analizi ile bağımlı ve bağımsız değişkenler arasındaki doğrusal ilişkiyi temsil eden bir doğrunun denklemi formüle edilir [23].
- **Çok Değişkenli Regresyon Analizi:** Bir bağımlı değişken ve birden fazla bağımsız değişkenin yer aldığı regresyon modellerine çok değişkenli regresyon analizi denir. Çok değişkenli regresyon analizinde bağımsız değişkenler eş zamanlı olarak (aynı anda) bağımlı değişkendeki değişimi açıklamaya çalışmaktadır. Hesaplama ve yorum bakımından tek değişkenli regresyon analizine benzemektedir. Ancak bazı farklılıklar vardır. Örneğin, çok değişkenli regresyon analizindeki çoklu regresyon katsayısı R , bir bağımlı değişkendeki değişim ile eşzamanlı (aynı anda) ele alınan birden fazla bağımsız değişkendeki değişim arasındaki ilişkinin derecesini göstermektedir [26].

4.2 Fonksiyon Türüne Göre Regresyon Analizi

Fonksiyon türüne göre regresyon analizi ikiye ayrılır;

- **Doğrusal Regresyon Analizi:** Basit doğrusal regresyon analizinde bir bağımlı ve bir bağımsız değişken söz konusu iken, çoklu doğrusal regresyon analizinde ise bir bağımlı değişken varken iki ya da daha fazla bağımsız değişken vardır ve her iki analizde de değişkenler arasında doğrusal bir ilişki vardır [24].

Bir kitlede gözlenen X ve Y değişkenleri arasındaki doğrusal ilişki aşağıdaki gibi verilebilir;

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X + \varepsilon$$

Burada;

X: Bağımsız (Açıklayıcı) Değişken

Y: Bağımlı (Açıklanan; Etkilenen; Cevap) Değişken

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

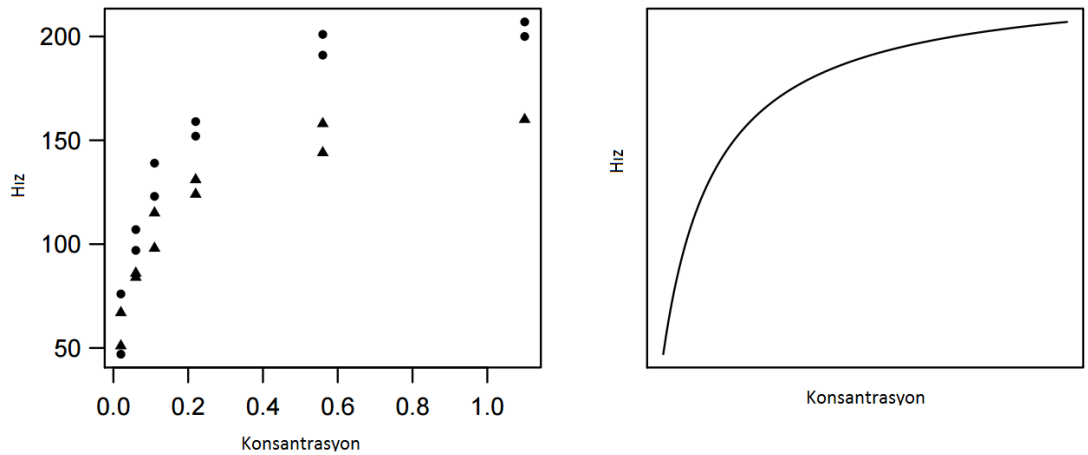
β_1 : Regresyon Katsayısı

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

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

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

- **Doğrusal Olmayan Regresyon Analizi:** Doğrusal olmayan regresyon istatistik bilimde gözlemi yapılan verilerin bir veya birden fazla bağımsız değişkenin model parametrelerinin doğrusal olmayan bileşimi olan ve bir veya daha çok sayıda bağımsız ihtiva eden bir fonksiyonla modellenmesini içeren bir regresyon (bağlanım) analizi türüdür. Veriler arka-arkaya yapılan yaklaşımlarla kurulan modele uydurularak çözümlenebilir [23]. Doğrusal olmayan regresyon örneği Şekil 4.2'de gösterilmiştir.



Şekil 4.2: Doğrusal olmayan regresyon örneği [28].

5. UYGULAMA

Tezde, yapay sinir ağıları ve regresyon analizi kullanılarak, istatistiksel modelleme ile gün öncesi piyasada elektrik fiyatları, saatlik ve günlük ortalama şeklinde tahmin edilmeye çalışılmıştır.

Modeller oluşturulurken, geçmiş veriler (tüketim, üretim, fiyat vb. değerler) kullanılmıştır. Modelde girdi olarak kullanılan bu veriler, gerek daha önce elektrik fiyatı tahmini konusundaki çalışmalardan, gerekse modele pozitif etki yaratacağı düşünülen ve öncesinde yapılan deneme çalışmalarından yararlanarak optimum hale getirilmiştir. Sonuç olarak saatlik ve günlük fiyatları tahmin etmede kullanılmak üzere iki farklı parametre kümesi oluşturulmuştur.

Oluşturulan bu parametre kümelerinden seçilen girdiler ile üçer model olmak üzere, yapay sinir ağıları ve regresyon analizi için ayrı ayrı çalışmalar yapılmıştır. 2010, 2011, 2012 ve 2013 yılına ait girdiler ile yapılan tüm çalışmalar sonucunda 2014 yılı için tahminlerde bulunulmuştur. Yapılan tahminler, gerçekleşen 2014 verileri ile karşılaştırılmış, ve MAPE, RMSE ve NASH kriterleri ile sonuçların başarısı ölçülmüştür.

Bu çalışmalara ilave olarak, yıllık yapılan tahminler üç sezonda (toplamda bir yıl) ayrı ayrı regresyon analizi ile yapılarak başarıya olan katkısı araştırılmıştır.

Yapılan tüm regresyon analizi çalışmaları Microsoft Excel 2010'da, tüm yapay sinir ağıları çalışmaları ise Matlab R2014b'de yapılmıştır.

Aşağıda Çizelge 5.1'de, saatli PTF tahmininde yapılan çalışmalarda hangi parametrelerin kullanıldığı gösterilmiştir. Çizelge 5.2'de ise, günlük PTF tahmininde yapılan çalışmalarda hangi parametrelerin kullanıldığı gösterilmiştir.

Çizelge 5.1: Saatlik ptf tahmini çalışmalarında kullanılan parametreler.

PARAMETRELER	Çalışma 1		Çalışma 2		Çalışma 3		Çalışma 4	
	YSA	Regresyon	YSA	Regresyon	YSA	Regresyon	YSA	Regresyon
İlgili Saat	√	√	√	√	√	√	√	√
İlgili Gün	√	√	√	√	√	√	√	√
İlgili Günün Haftaiçi/Haftasonu Olması	√	√	√	√	√	√	√	√
İlgili Saatteki Talep	√	√	√	√	√	√	√	√
Bir Gün Önceki Ortalama Talep	√	√	√	√	√	√	√	√
Bir Gün Önceki Ortalama Fiyat	√	√	√	√	√	√	√	√
Bir Gün Önce İlgili Saatteki Talep	√	√	√	√	√	√	√	√
Bir Gün Önce İlgili Saatteki Fiyat	√	√	√	√	√	√	√	√
Bir Hafta Önce İlgili Saatteki Talep	√	√	√	√	√	√	√	√
Bir Hafta Önce İlgili Saatteki Fiyat	√	√	√	√	√	√	√	√
Bir Saat Önceki Talep			√	√	√	√	√	√
Bir Saat Önceki Fiyat			√	√	√	√	√	√
Bir Yıl Önce İlgili Saatteki Talep					√	√	√	√
Bir Yıl Önce İlgili Saatteki Fiyat					√	√	√	√

Çizelge 5.2: Günlük ptf tahmininde kullanılan parametreler.

PARAMETRELER	Çalışma 1		Çalışma 2		Çalışma 3	
	YSA	Regresyon	YSA	Regresyon	YSA	Regresyon
İlgili Gündeki Toplam Tüketim	√	√	√	√	√	√
İlgili Gündeki Gün Öncesi Piyasa Hacmi	√	√	√	√	√	√
İlgili Gündeki Rüzgar Enerji Santralleri Toplam Üretimi	√	√	√	√	√	√
İlgili Gündeki Hidroelektrik Santralleri Toplam Üretimi	√	√	√	√	√	√
İlgili Gündeki Kömür Santralleri Toplam Üretimi	√	√	√	√	√	√
İlgili Gündeki Doğalgaz Santralleri Toplam Üretimi	√	√	√	√	√	√
İlgili Gündeki Mevsimsel Sıcaklık	√	√	√	√	√	√
İlgili Gündeki ₺/\$ Paritesi	√	√	√	√	√	√
Bir Gün Önceki Fiyat	√	√	√	√	√	√
Bir Hafta Önceki Fiyat	√	√	√	√	√	√
İlgili Gündeki Emreamade Kapasite			√	√	√	√
İlgili Günün Haftaiçi/Haftasonu Olması					√	√

TEİAŞ'ın web sitesinden sağlanan verilerden bazıları, fiziksel olarak mümkün olmayacağından, analizde girdi olarak kullanılmamıştır. TEİAŞ tarafından internette paylaşılan ve parametre kümesinden çıkartılan bu verilerde, toplam tüketim negatif olarak görülmektedir. Söz konusu durumun gerçekçi olmaması, bu durumun hatalı veri girişinden kaynaklı olduğu düşünülerek analizden analizlerde kullanılmamıştır.

Hatalı giriş yapıldığı düşünülen veriler aşağıdaki gibidir;

Tarih: 28.03.2010, Saat: 03:00, Talep: -1118 MWh

Tarih: 28.03.2011, Saat: 03:00, Talep: -1140 MWh

Tarih: 25.03.2012, Saat: 03:00, Talep: -178 MWh

Tarih: 31.03.2013, Saat: 03:00, Talep: -108 MWh

Bunların dışında, 27.03.2011 gününe ait TEİAŞ tarafından yayınlanan hiçbir veri bulunmadığından analizde girdi olarak kullanılamamıştır.

5.1 Regresyon Analizi

5.1.1 Saatlik PTF tahminleri

Regresyon analizi ile yapılan saatlik fiyat tahminlerinde kullanılmak üzere seçilen parametreler, yukarıda Çizelge 5.1'de gösterilmiştir.

Saatlik fiyat tahmini için regresyon analizi ile 4 farklı çalışma yapılmıştır;

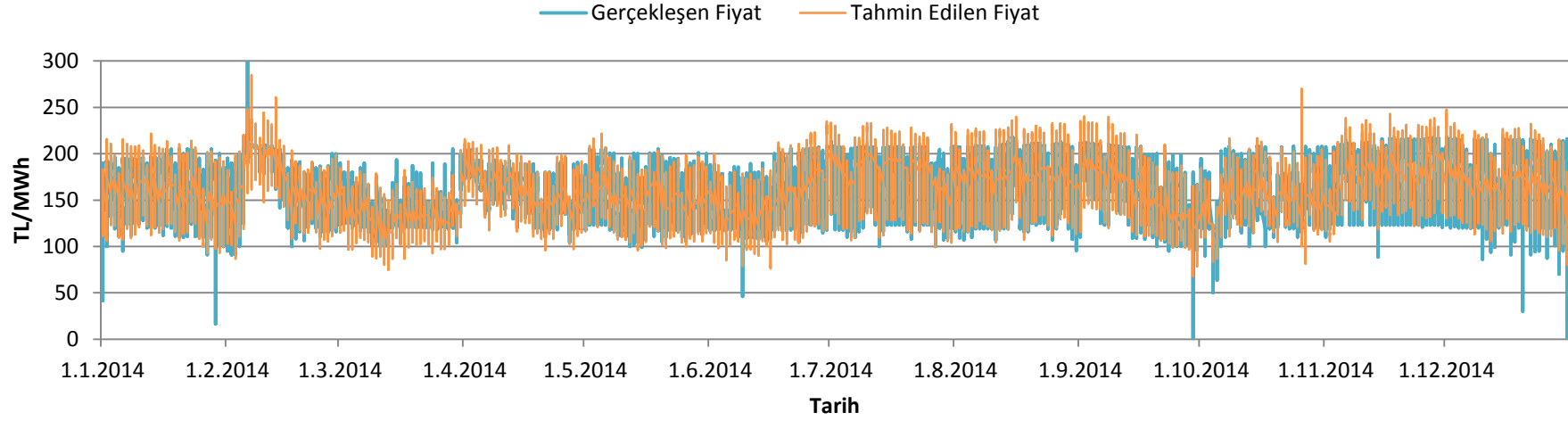
- **Çalışma-1:** 10 parametre analizde girdi olarak kullanılmıştır. Bu parametrelere ait veriler 2010, 2011, 2012 ve 2013 yıllarına ait olup, TEİAŞ web sitesinden alınmıştır.
- **Çalışma-2:** 12 parametre analizde girdi olarak kullanılmıştır. Bu parametrelere ait veriler 2010, 2011, 2012 ve 2013 yıllarına ait olup, TEİAŞ web sitesinden alınmıştır.
- **Çalışma-3:** 14 parametre analizde girdi olarak kullanılmıştır. Bu parametrelere ait veriler 2011, 2012 ve 2013 yıllarına ait olup, TEİAŞ web sitesinden alınmıştır.
- **Çalışma-4:** Bu çalışmada her bir parametrenin ağırlığı, belirlenen sezonlara göre farklılık göstermektedir. 14 parametre ile yapılan çalışmada veriler 2011, 2012 ve 2013 yıllarına ait olup, TEİAŞ web sitesinden alınmıştır.

Çizelge 5.3: Regresyon analizi ile yapılan saatlik ptf tahmini çalışmalarının sonuçları.

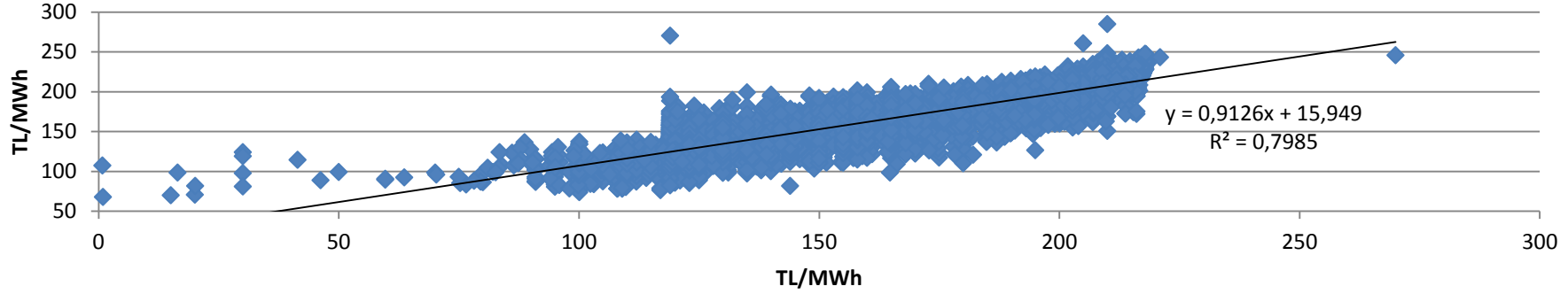
	Çalışma - 1	Çalışma - 2	Çalışma - 3	Çalışma - 4
Parametre Sayısı	10	12	14	14
Girdi İçin Kullanılan Yıllar	2010-2011-2012-2013	2010-2011-2012-2013	2011-2012-2013	2011-2012-2013
Tahmin Edilen Yıl	2014	2014	2014	2014
Tahmin Edilen Zaman Aralığı	Saatlik	Saatlik	Saatlik	Saatlik
MAPE	7,33%	5,34%	5,30%	5,35%
RMSE	15,91	12,54	12,58	12,46
NASH	0,7769	0,8613	0,8603	0,8625

Çizelge 5.4: Regresyon analizi ile yapılan saatlik ptf tahminini çalışmalarının regresyon istatistikleri.

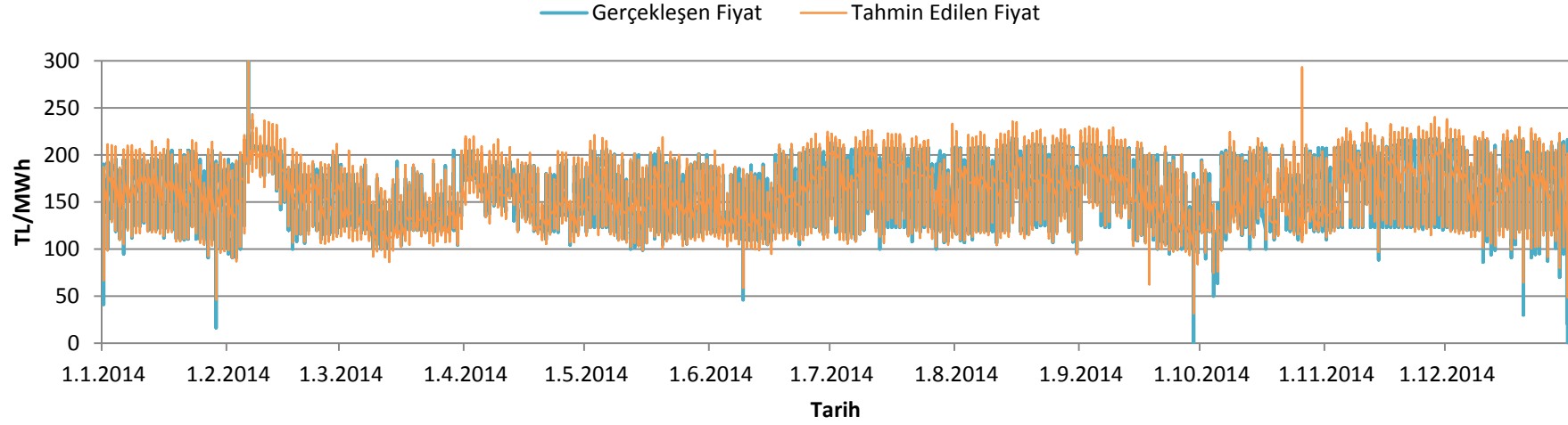
	Çalışma - 1	Çalışma - 2	Çalışma - 3	Çalışma - 4		
	Tüm Aylar	Tüm Aylar	Tüm Aylar	Kasım - Aralık Ocak - Şubat	Mart - Nisan Mayıs - Haziran	Temmuz - Ağustos Eylül - Ekim
Çoklu R	0,984	0,990	0,991	0,995	0,993	0,996
R²	0,968	0,981	0,982	0,991	0,986	0,992
Düzeltilmiş R²	0,968	0,981	0,982	0,991	0,986	0,992
Standart Hata	26,01	20,25	20,05	14,68	15,21	13,65
Gözlem	34864	34864	26268	8573	8698	8856



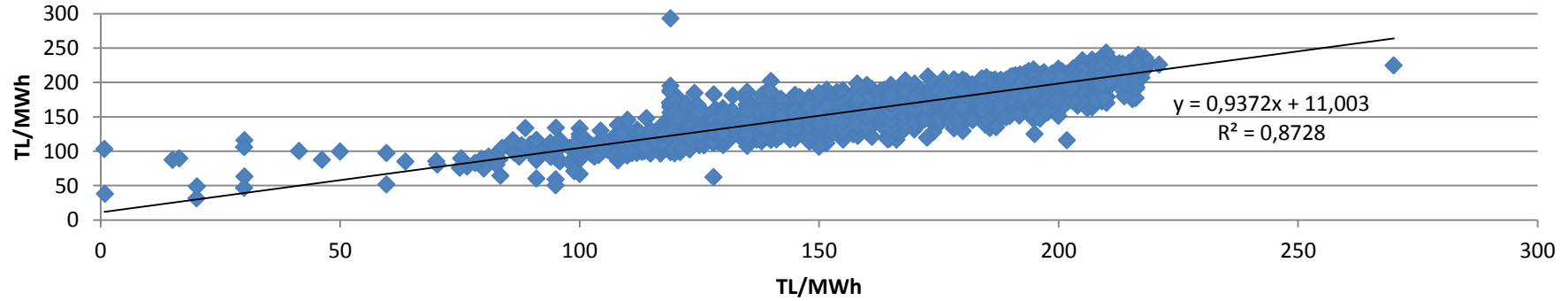
Şekil 5.1: Regresyon analizi ile yapılan saatlik çalışma-1 için gerçekleşen ve tahmin edilen değerler.



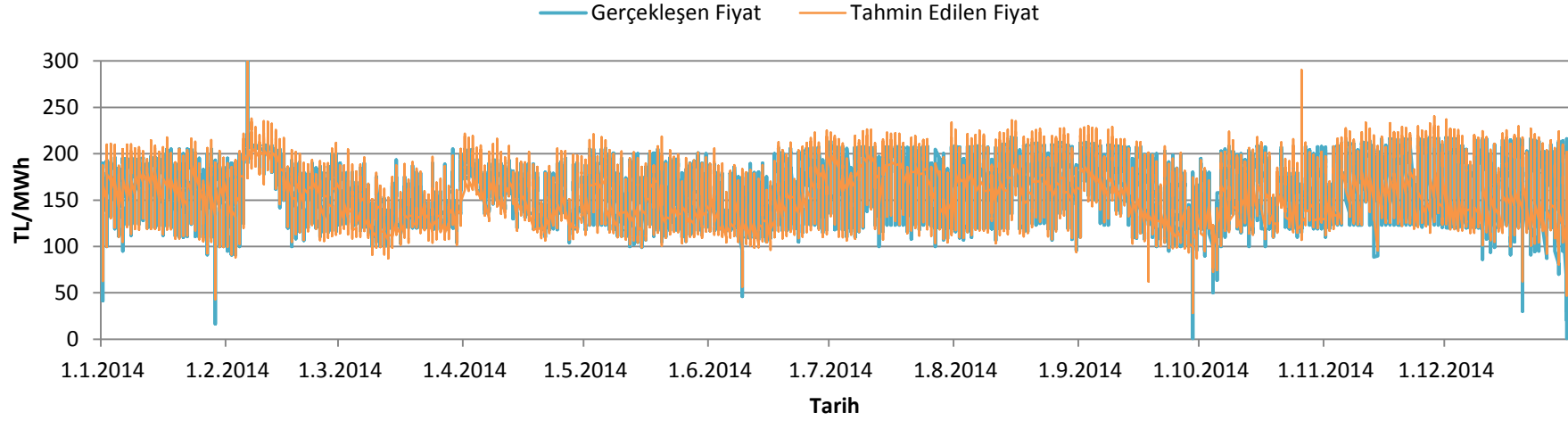
Şekil 5.2: Regresyon analizi ile yapılan saatlik çalışma-1 için gerçekleşen ve tahmin edilen değerler arasındaki ilişki.



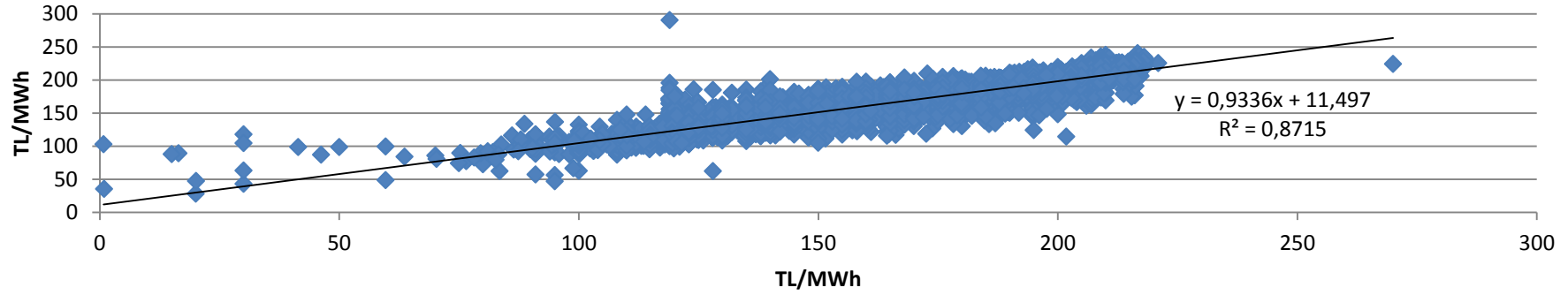
Şekil 5.3: Regresyon analizi ile yapılan saatlik çalışma-2 için gerçekleşen ve tahmin edilen değerler.



Şekil 5.4: Regresyon analizi ile yapılan saatlik çalışma-2 için gerçekleşen ve tahmin edilen değerler arasındaki ilişki.

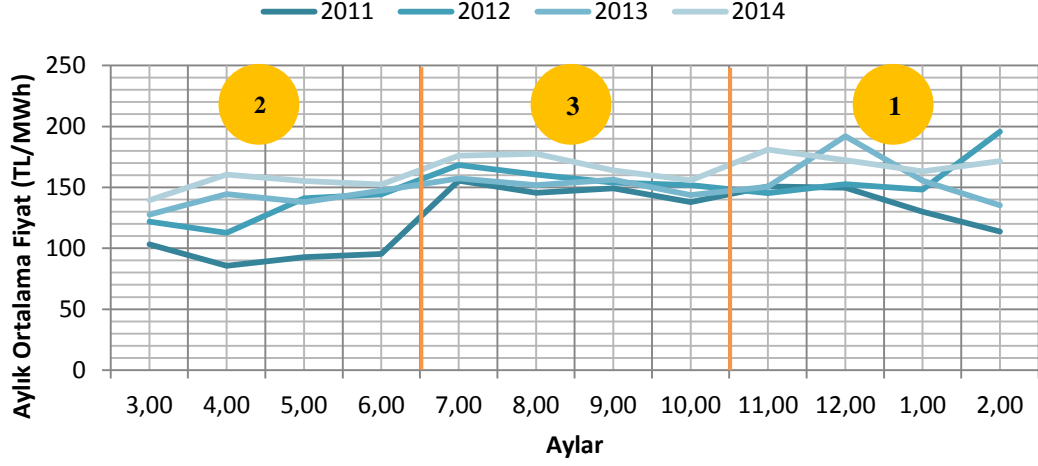


Şekil 5.5: Regresyon analizi ile yapılan saatlik çalışma-3 için gerçekleşen ve tahmin edilen değerler.



Şekil 5.6: Regresyon analizi ile yapılan saatlik çalışma-3 için gerçekleşen ve tahmin edilen değerler arasındaki ilişki.

Çalışma-4’de yapılmak istenen, tahminlerin belirli periyotlara ayrılarak yapılmasıdır. Bundaki amaç ise, parametrelere ait ağırlıkların periyotlar için farklılaştırılarak daha iyi sonuç alınıp alınamayacağını denemektir.



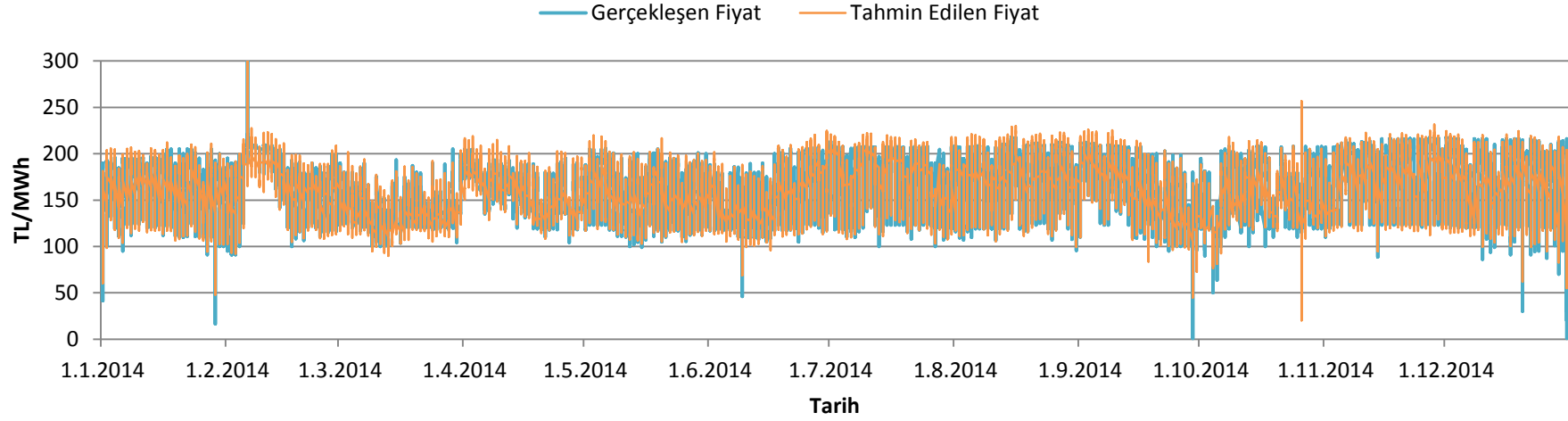
Şekil 5.7: 2011, 2012, 2013 ve 2014 yıllarına ait aylık ortalama elektrik fiyatları.

Yukarıdaki Şekil 5.7’de gösterildiği gibi bir yıl 3 eşit periyoda ayrılmıştır. Periyotlar aşağıdaki gibidir;

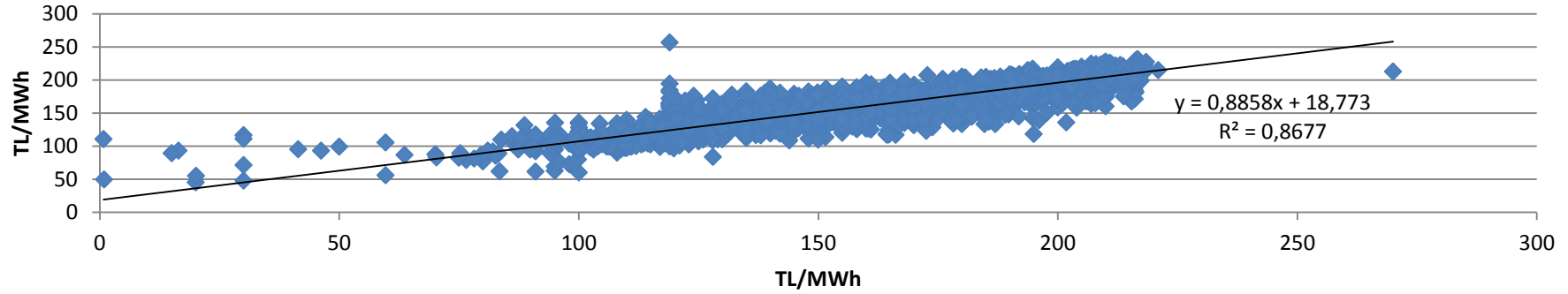
- 1 = Kasım, Aralık, Ocak, Şubat
- 2 = Mart, Nisan, Mayıs, Haziran
- 3 = Temmuz, Ağustos, Eylül, Ekim

Periyotlar belirlenirken, ilk olarak aylık ortalama fiyat ve elektrik talebi göz önünde bulundurulmuştur. Elektrik talebini etkileyen mevsimsel sıcaklıklar ve elektrik arzını etkileyen yağışlar da (hidroelektrik emreamade kapasite) ikincil kriter olarak değerlendirmeye alınmıştır. Sonuç olarak, periyotlar benzer özellik göstermesi bakımından üçe ayrılarak gruplandırılmıştır.

Bu analizde her grup kendi içinde değerlendirilmiş ve parametrelere ait ağırlıklar her grup için ayrı belirlenmiştir. Tahmin yapılacak yıl da benzer şekilde gruplandırılmış, ilgili periyoda ait ağırlıklar ile tahmin edilmeye çalışılmıştır.



Şekil 5.8: Regresyon analizi ile yapılan saatlik çalışma-4 için gerçekleşen ve tahmin edilen değerler.



Şekil 5.9: Regresyon analizi ile yapılan saatlik çalışma-4 için gerçekleşen ve tahmin edilen değerler arasındaki ilişki.

Regresyon analizi ile yapılan saatlik PTF tahmin çalışmaları sonucu elde edilen ağırlıklar modelde kullanılarak, 2014 yılına ait tüm saatlik PTF değerleri tahmin edilmeye çalışılmıştır. Elde edilen sonuçlara ait MAPE, RMSE ve NASH değerleri hesaplanmış ve çalışmalar bu kriterler ile değerlendirilmiştir.

Çizelge 5.3'de regresyon analizi ile yapılan saatlik PTF tahmini çalışmalarının sonuçları, Çizelge 5.4'de regresyon analizi ile yapılan saatlik PTF tahmini çalışmalarında regresyon analizleri istatistikleri gösterilmiştir. Şekil 5.1'de regresyon analizi ile yapılan saatlik Çalışma-1 için gerçekleşen değerleri ile tahmin edilen değerleri, Şekil 5.2'de regresyon analizi ile yapılan saatlik Çalışma-1 için gerçekleşen ve tahmin edilen değerleri arasındaki ilişki, Şekil 5.3'de regresyon analizi ile yapılan saatlik Çalışma-2 için gerçekleşen değerleri ile tahmin edilen değerleri, Şekil 5.4'de regresyon analizi ile yapılan saatlik Çalışma-2 için gerçekleşen ve tahmin edilen değerleri arasındaki ilişki, Şekil 5.5'de regresyon analizi ile yapılan saatlik Çalışma-3 için gerçekleşen değerleri ile tahmin edilen değerleri, Şekil 5.6'da regresyon analizi ile yapılan saatlik Çalışma-3 için gerçekleşen ve tahmin edilen değerleri arasındaki ilişki, Şekil 5.8'de regresyon analizi ile yapılan saatlik Çalışma-4 için gerçekleşen değerleri ile tahmin edilen değerleri, Şekil 5.9'da regresyon analizi ile yapılan saatlik Çalışma-4 için gerçekleşen ve tahmin edilen değerleri arasındaki ilişki gösterilmiştir.

5.1.2 Günlük ortalama PTF tahminleri

Regresyon analizi ile yapılan günlük ortalama fiyat tahminlerinde kullanılmak üzere seçilen parametreler, yukarıda Çizelge 5.2'de gösterilmiştir.

Günlük ortalama fiyat tahmini için regresyon analizi ile 3 farklı çalışma yapılmıştır;

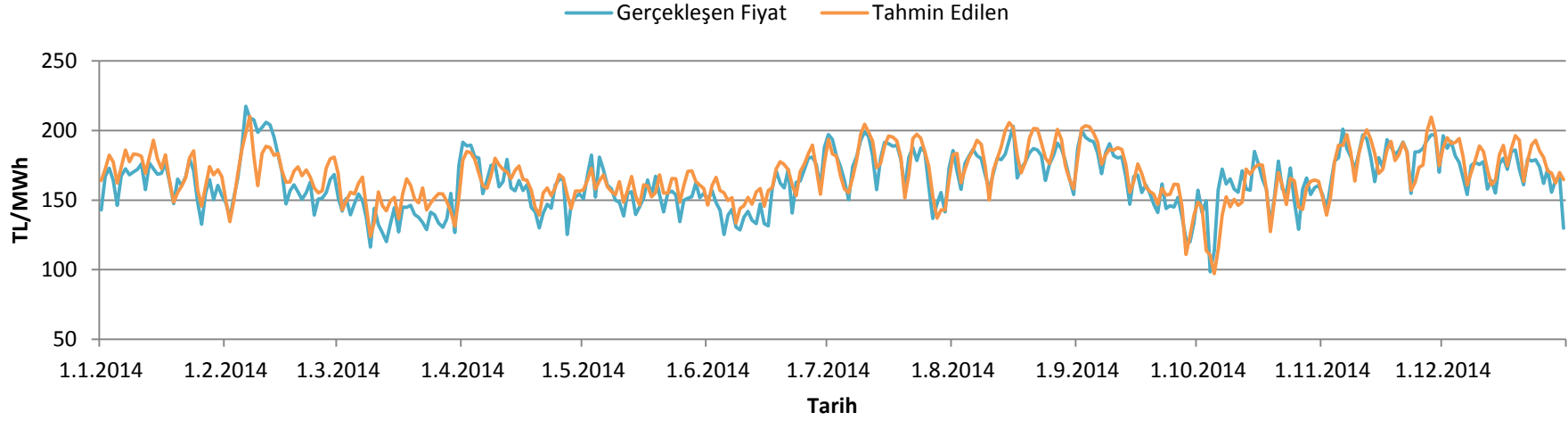
- **Çalışma-1:** 10 parametre analizde girdi olarak kullanılmıştır. Bu parametrelere ait veriler 2013 yılına ait olup, TEİAŞ web sitesinden alınmıştır.
- **Çalışma-2:** 11 parametre analizde girdi olarak kullanılmıştır. Bu parametrelere ait veriler 2013 yılına ait olup, TEİAŞ web sitesinden alınmıştır.
- **Çalışma-3:** 12 parametre analizde girdi olarak kullanılmıştır. Bu parametrelere ait veriler 2013 yılına ait olup, TEİAŞ web sitesinden alınmıştır.

Çizelge 5.5: Regresyon analizi ile yapılan günlük ortalama ptf tahmini çalışmalarının sonuçları.

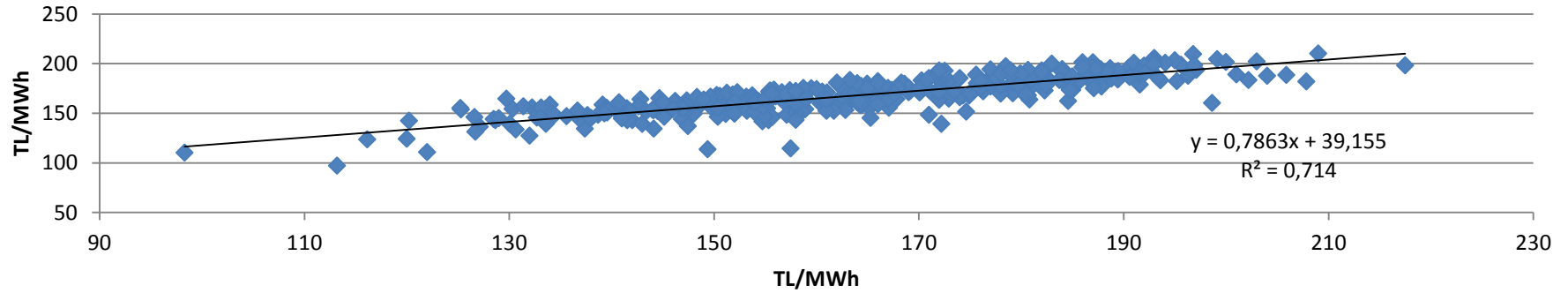
	Çalışma - 1	Çalışma - 2	Çalışma - 3
Parametre Sayısı	10	11	12
Girdi İçin Kullanılan Yıllar	2013	2013	2013
Tahmin Edilen Yıl	2014	2014	2014
Tahmin Edilen Zaman Aralığı	Günlük	Günlük	Günlük
MAPE	5,58%	5,07%	4,90%
RMSE	11,46	10,65	10,41
NASH	0,6632	0,7135	0,7229

Çizelge 5.6: Regresyon analizi ile yapılan günlük ortalama ptf tahminini çalışmalarının regresyon istatistikleri.

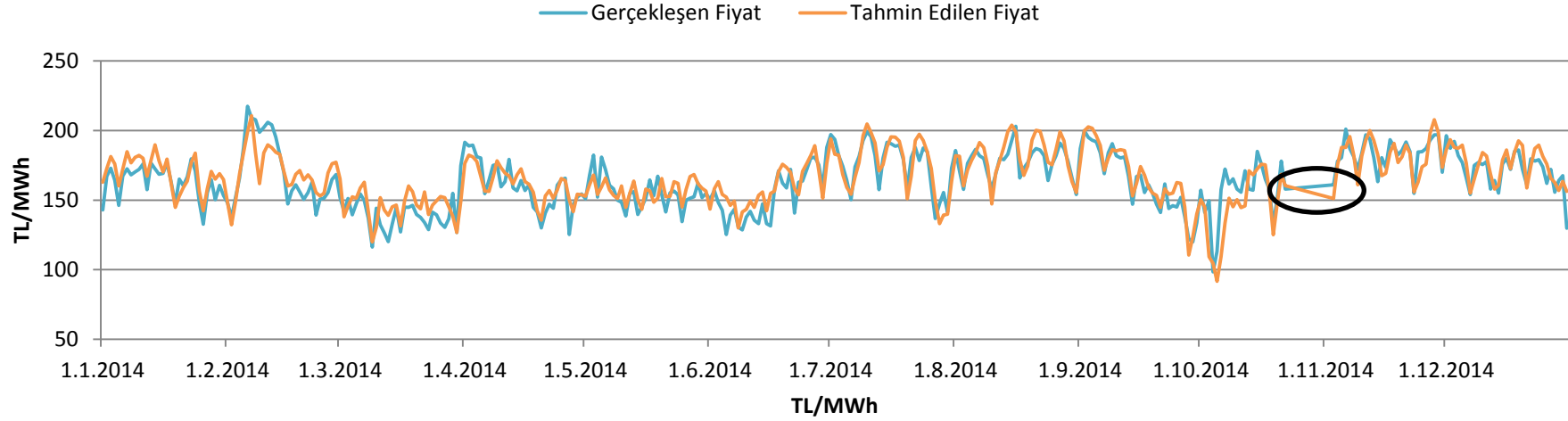
	Çalışma - 1	Çalışma - 2	Çalışma - 3
Çoklu R	0,997	0,997	0,997
R²	0,994	0,994	0,994
Düzeltilmiş R²	0,991	0,991	0,991
Standart Hata	11,73	11,72	11,68
Gözlem	358	358	358



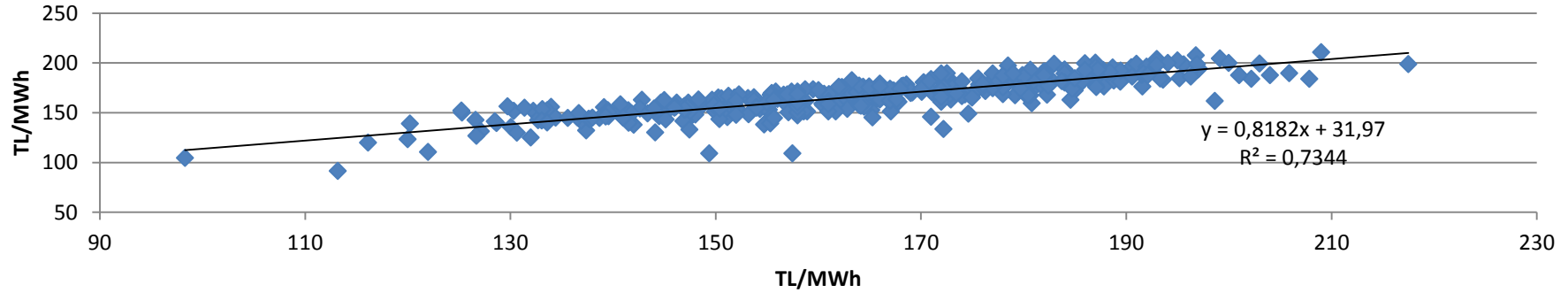
Şekil 5.10: Regresyon analizi ile yapılan günlük ortalama çalışma-1 için gerçekleşen ve tahmin edilen değerler.



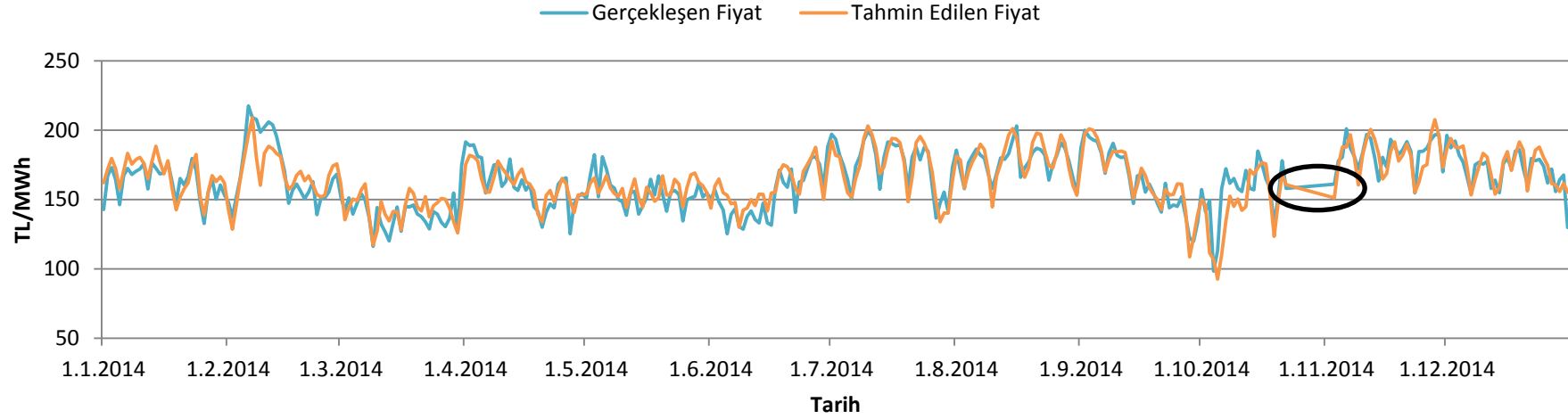
Şekil 5.11: Regresyon analizi ile yapılan günlük ortalama çalışma-1 için gerçekleşen ve tahmin edilen değerler arasındaki ilişki.



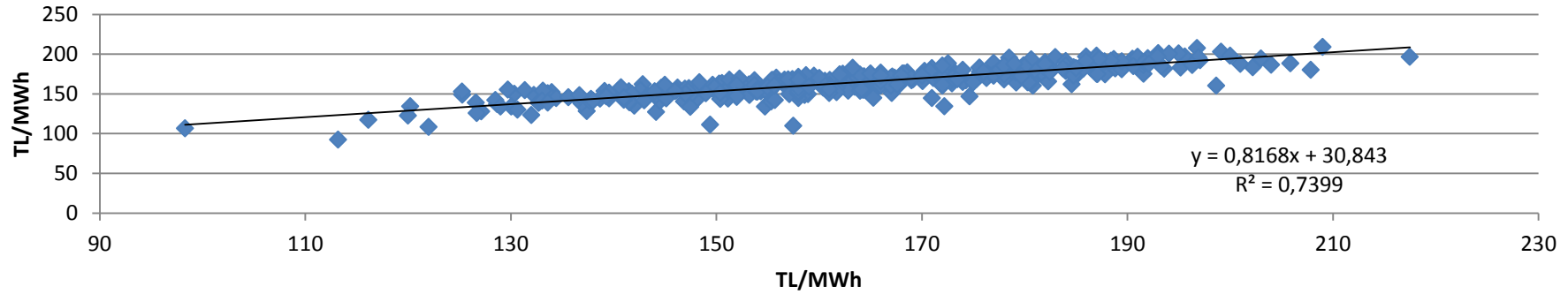
Şekil 5.12: Regresyon analizi ile yapılan günlük ortalama çalışma-2 için gerçekleşen ve tahmin edilen değerler.



Şekil 5.13: Regresyon analizi ile yapılan günlük ortalama çalışma-2 için gerçekleşen ve tahmin edilen değerler arasındaki ilişki.



Şekil 5.14: Regresyon analizi ile yapılan günlük ortalama çalışma-3 için gerçekleşen ve tahmin edilen değerler.



Şekil 5.15: Regresyon analizi ile yapılan günlük ortalama çalışma-3 için gerçekleşen ve tahmin edilen değerler arasındaki ilişki.

Regresyon analizi ile yapılan günlük ortalama PTF tahmin çalışmaları sonucu elde edilen ağırlıklar modelde kullanılarak, 2014 yılına ait günlük ortalama PTF değerleri tahmin edilmeye çalışılmıştır. Elde edilen sonuçlara ait MAPE, RMSE ve NASH değerleri hesaplanmış ve çalışmalar bu kriterler ile değerlendirilmiştir.

Çizelge 5.5’de regresyon analizi ile yapılan günlük ortalama PTF tahmini çalışmalarının sonuçları, Çizelge 5.6’da regresyon analizi ile yapılan günlük ortalama PTF tahmini çalışmalarında regresyon analizleri istatistikleri gösterilmiştir. Şekil 5.10’da regresyon analizi ile yapılan günlük ortalama Çalışma-1 için gerçekleşen değerleri ile tahmin edilen değerleri, Şekil 5.11’de regresyon analizi ile yapılan günlük ortalama Çalışma-1 için gerçekleşen ve tahmin edilen değerleri arasındaki ilişki, Şekil 5.12’de regresyon analizi ile yapılan günlük ortalama Çalışma-2 için gerçekleşen değerleri ile tahmin edilen değerleri, Şekil 5.13’de regresyon analizi ile yapılan günlük ortalama Çalışma-2 için gerçekleşen ve tahmin edilen değerleri arasındaki ilişki, Şekil 5.14’de regresyon analizi ile yapılan günlük ortalama Çalışma-3 için gerçekleşen değerleri ile tahmin edilen değerleri, Şekil 5.15’de regresyon analizi ile yapılan günlük ortalama Çalışma-3 için gerçekleşen ve tahmin edilen değerleri arasındaki ilişki gösterilmiştir.

5.2 Yapay Sinir Ağları Analizi

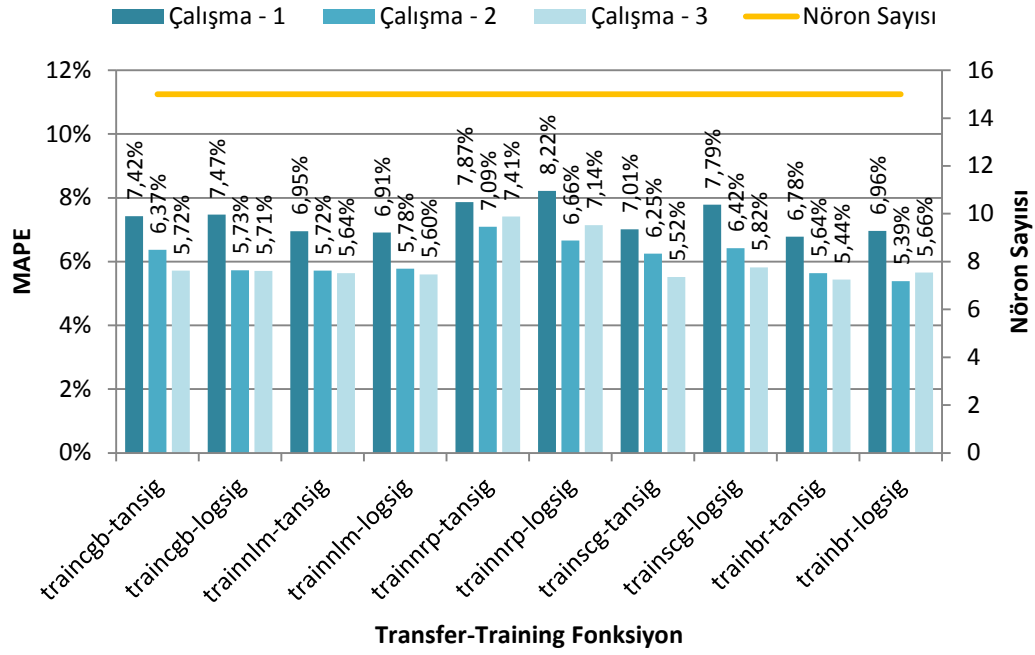
5.2.1 Saatlik PTF tahminleri

Yapay sinir ağları analizi ile yapılan saatlik fiyat tahminlerinde kullanılmak üzere seçilen parametreler, regresyon analizinde kullanılanlar ile aynı olup, Çizelge 5.1’de gösterilmiştir.

Saatlik fiyat tahmini için yapay sinir ağları analizi ile 3 farklı çalışma yapılmıştır;

- **Çalışma-1:** 10 parametre analizde girdi olarak kullanılmıştır. Bu parametrelere ait veriler 2010, 2011, 2012 ve 2013 yıllarına ait olup, TEİAŞ web sitesinden alınmıştır.

- **Çalışma-2:** 12 parametre analizde girdi olarak kullanılmıştır. Bu parametrelere ait veriler 2010, 2011, 2012 ve 2013 yıllarına ait olup, TEİAŞ web sitesinden alınmıştır.
- **Çalışma-3:** 14 parametre analizde girdi olarak kullanılmıştır. Bu parametrelere ait veriler 2011, 2012 ve 2013 yıllarına ait olup, TEİAŞ web sitesinden alınmıştır.

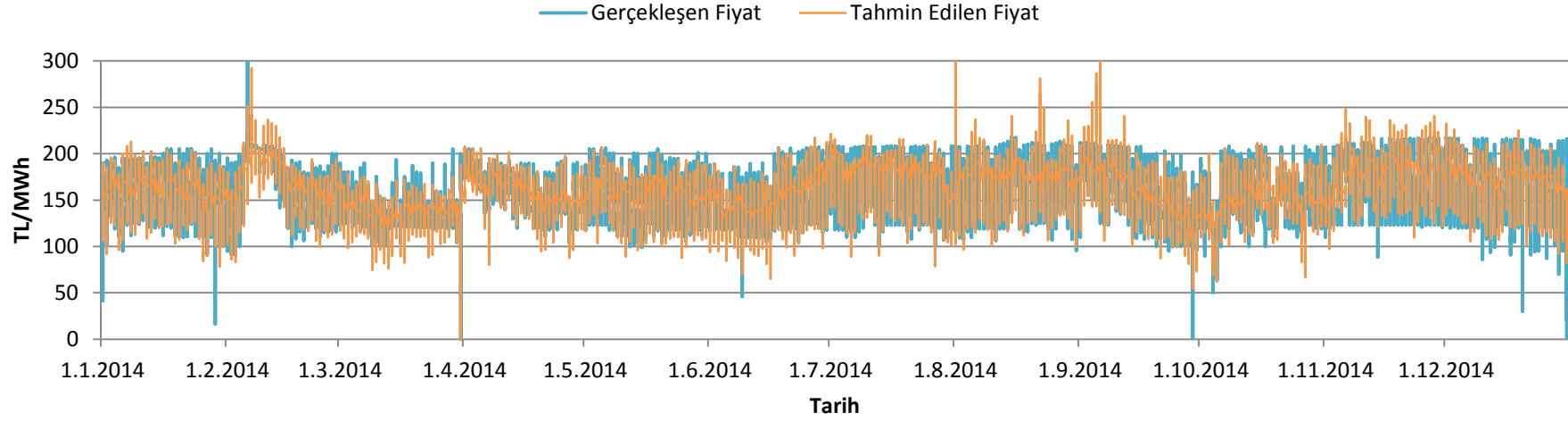


Şekil 5.16: Yapay sinir ağları analizi ile yapılan günlük ortalama ptf tahminlerinde kullanılan transfer-training fonksiyonlarının karşılaştırılması.

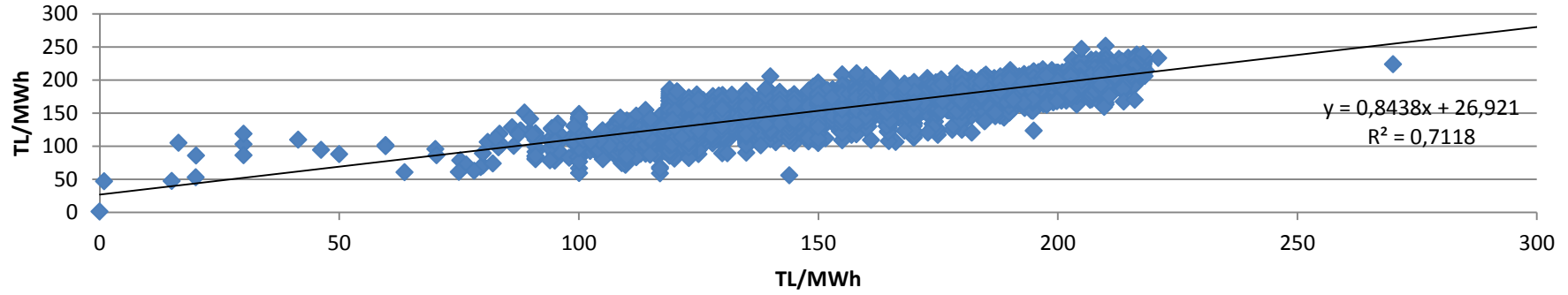
Yukarıda Şekil 5.16'da yapay sinir ağları analizi ile yapılan günlük ortalama PTF tahminlerinde kullanılan transfer-training fonksiyonlarının karşılaştırılması gösterilmiştir.

Çizelge 5.7: Yapay sinir ağıları analizi ile yapılan saatlik ptf tahmini çalışmalarının sonuçları.

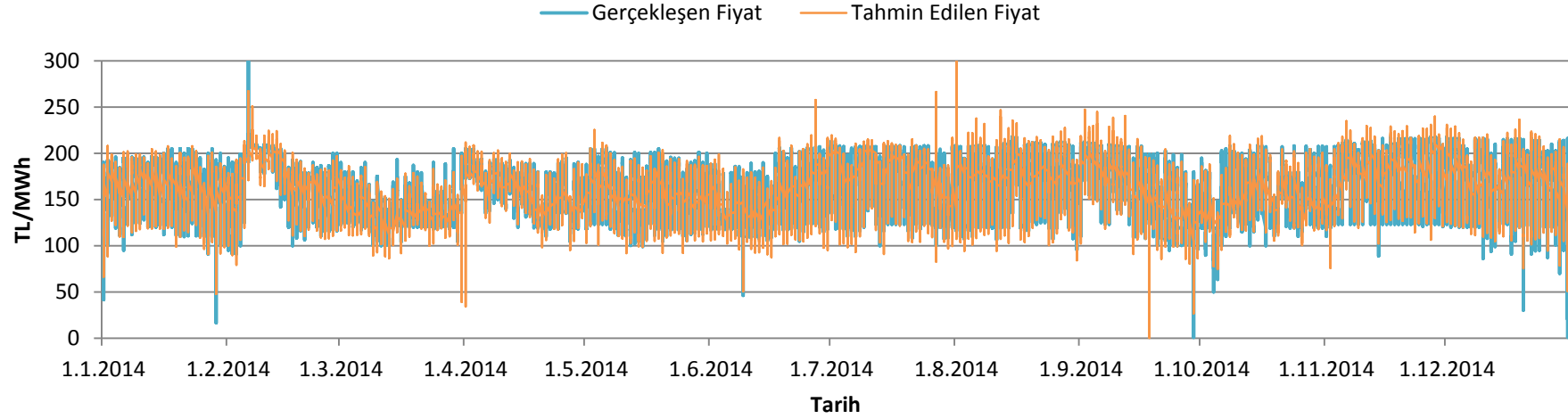
	Çalışma-1	Çalışma-2	Çalışma-3
Parametre Sayısı	10	12	14
Girdi İçin Kullanılan Yıllar	2010-2011-2012-2013	2010-2011-2012-2013	2011-2012-2013
Tahmin Edilen Yıl	2014	2014	2014
Tahmin Edilen Zaman Aralığı	Saatlik	Saatlik	Saatlik
Gizli Katman Sayısı	1	1	1
Nöron Sayısı	15	15	15
Training Fonksiyonu	tansig	logsig	tansig
Transfer Fonksiyonu	trainbr	trainbr	trainbr
MAPE	6,78%	5,39%	5,44%
RMSE	18,88	15,11	16,06
NASH	68,53	79,85	77,22



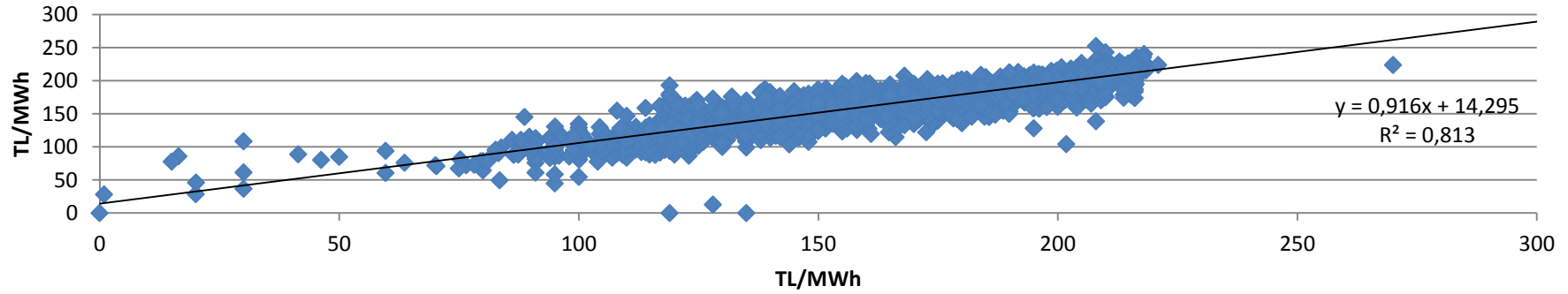
Şekil 5.17: Yapay sinir ağları analizi ile yapılan saatlik ptf tahmini çalışma-1 için gerçekleşen ve tahmin edilen değerler.



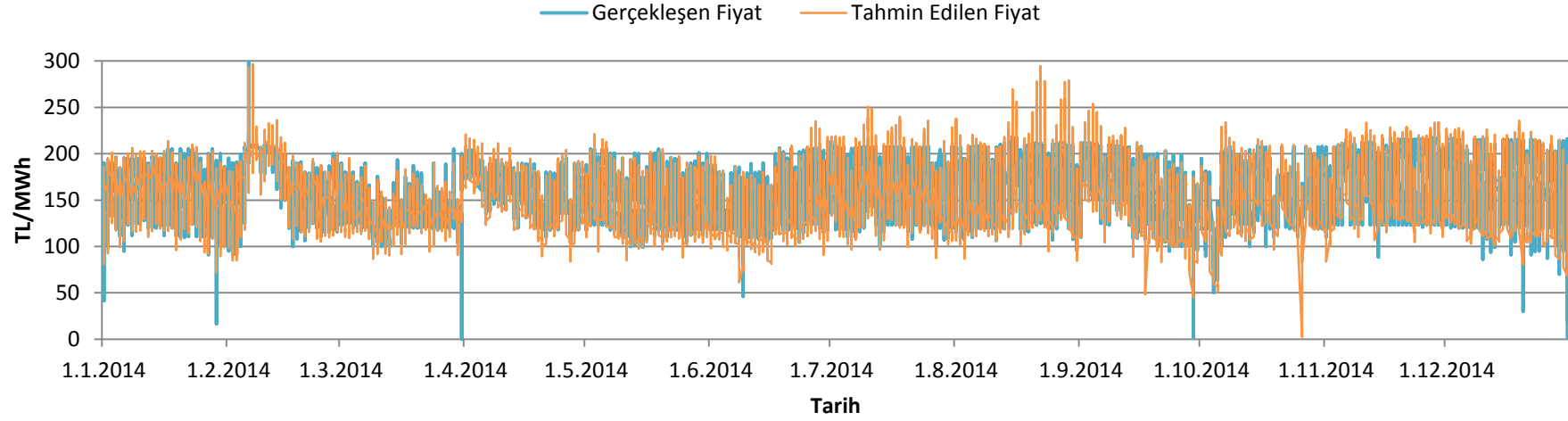
Şekil 5.18: Yapay sinir ağları analizi ile yapılan saatlik ptf tahmini çalışma-1 için gerçekleşen ve tahmin edilen değerler arasındaki ilişki.



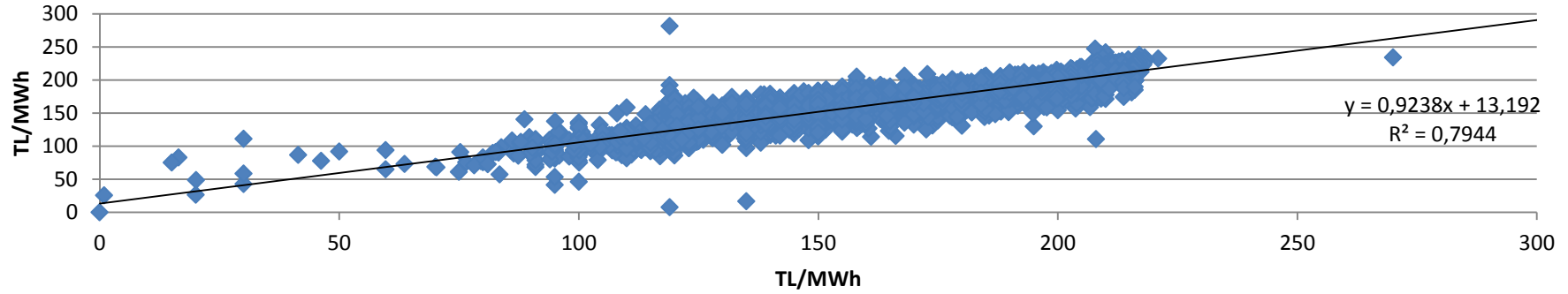
Şekil 5.19: Yapay sinir ağları analizi ile yapılan saatlik ptf tahmini çalışma-2 için gerçekleşen ve tahmin edilen değerler.



şekil 5.20: Yapay sinir ağları analizi ile yapılan saatlik ptf tahmini çalışma-2 için gerçekleşen ve tahmin edilen değerler arasındaki ilişki.



Şekil 5.21: Yapay sinir ağları analizi ile yapılan saatlik ptf tahmini çalışma-3 için gerçekleşen ve tahmin edilen değerler.



Şekil 5.22: Yapay sinir ağları analizi ile yapılan saatlik ptf tahmini çalışma-3 için gerçekleşen ve tahmin edilen değerler arasındaki ilişki.

Tez kapsamında yapay sinir ağı ile yapılan tahmin çalışmalarında, problem özelinde en doğru transfer ve training fonksiyonu belirleyebilmek için, saatlik fiyat tahmin çalışmalarında birden fazla fonksiyon denenmiştir. Bu denemeler sonucu elde edilen 2014 yılına ait tahminlerin MAPE değerlerine bakılmış, burada başarılı olan fonksiyonlar günlük ortalama fiyat tahmin modellerinde de kullanılmıştır.

Çizelge 5.7’de yapay sinir ağı analizi ile yapılan saatlik PTF tahmini çalışmalarının sonuçları gösterilmiştir.

Şekil 5.17’de yapay sinir ağı analizi ile yapılan saatlik PTF tahmini Çalışma-1 için gerçekleşen değerleri ile tahmin edilen değerleri, Şekil 5.18’de yapay sinir ağı analizi ile yapılan saatlik PTF tahmini Çalışma-1 için gerçekleşen ve tahmin edilen değerleri arasındaki ilişki, Şekil 5.19’da yapay sinir ağı analizi ile yapılan saatlik PTF tahmini Çalışma-2 için gerçekleşen değerleri ile tahmin edilen değerleri, Şekil 5.20’de yapay sinir ağı analizi ile yapılan saatlik PTF tahmini Çalışma-2 için gerçekleşen ve tahmin edilen değerleri arasındaki ilişki, Şekil 5.21’de yapay sinir ağı analizi ile yapılan saatlik PTF tahmini Çalışma-3 için gerçekleşen değerleri ile tahmin edilen değerleri, Şekil 5.22’de yapay sinir ağı analizi ile yapılan saatlik PTF tahmini Çalışma-3 için gerçekleşen ve tahmin edilen değerleri arasındaki ilişki gösterilmiştir.

5.2.2 Günlük ortalama PTF tahminleri

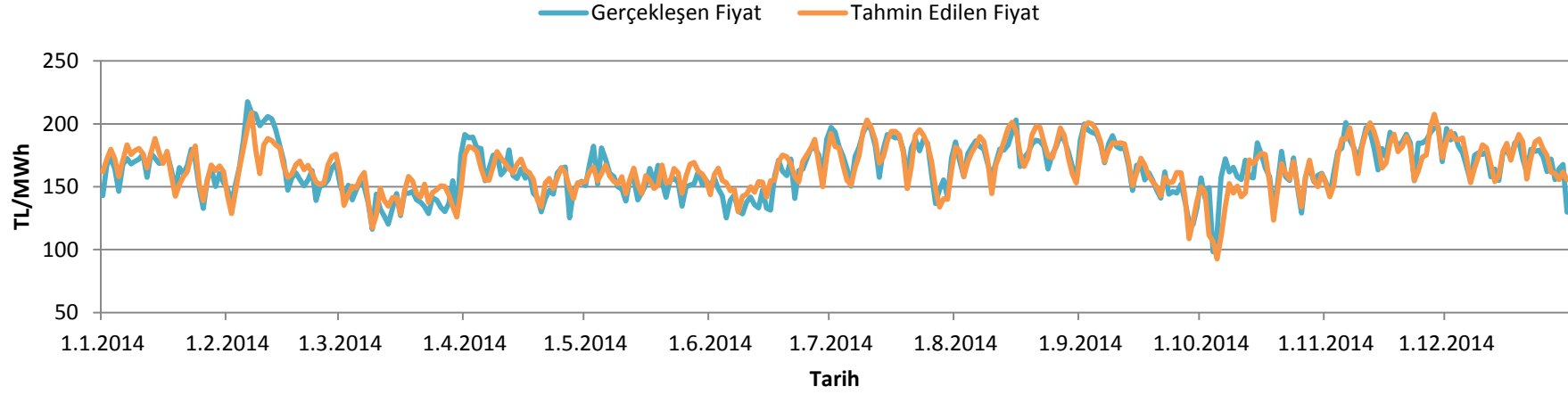
Yapay sinir ağı analizi ile yapılan günlük ortalama fiyat tahminlerinde kullanılmak üzere seçilen parametreler, yukarıda Çizelge 5.2’de gösterilmiştir.

Günlük ortalama fiyat tahmini için yapay sinir ağı analizi ile 3 farklı çalışma yapılmıştır;

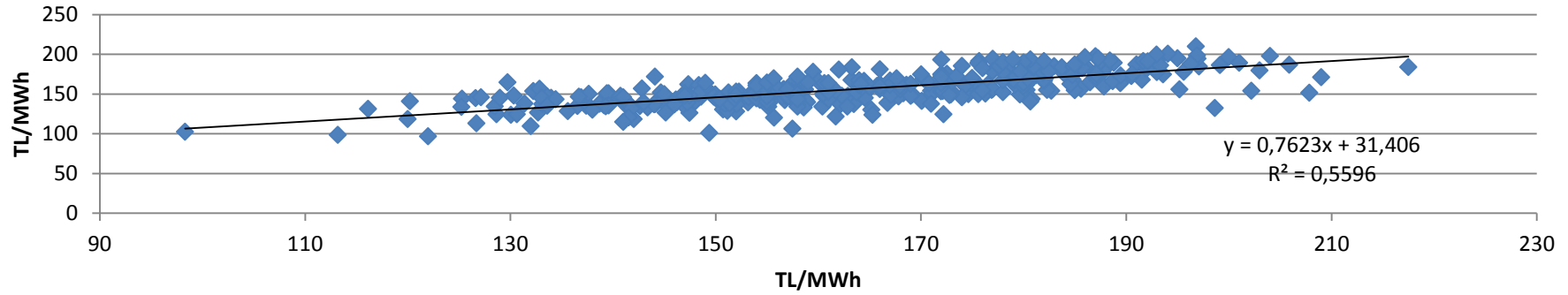
- **Çalışma-1:** 10 parametre analizde girdi olarak kullanılmıştır. Bu parametrelere ait veriler 2013 yılına ait olup, TEİAŞ web sitesinden alınmıştır.
- **Çalışma-2:** 11 parametre analizde girdi olarak kullanılmıştır. Bu parametrelere ait veriler 2013 yılına ait olup, TEİAŞ web sitesinden alınmıştır.
- **Çalışma-3:** 12 parametre analizde girdi olarak kullanılmıştır. Bu parametrelere ait veriler 2013 yılına ait olup, TEİAŞ web sitesinden alınmıştır.

Çizelge 5.8: Yapay sinir ağıları analizi ile yapılan günlük ortalama ptf tahmini çalışmalarının sonuçları.

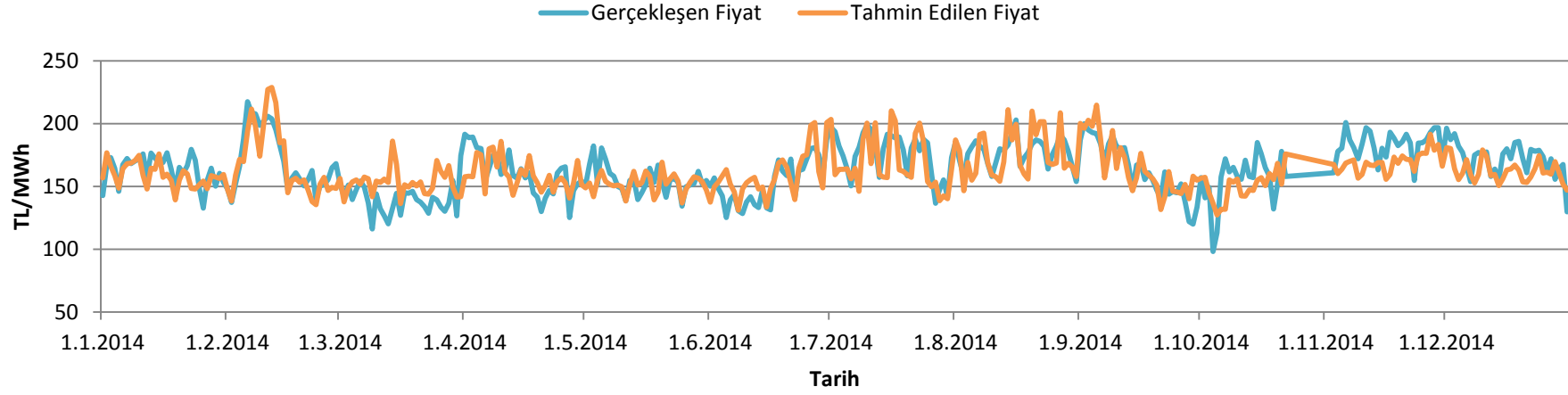
	Çalışma-1	Çalışma-2	Çalışma-3
Parametre Sayısı	10	11	12
Girdi İçin Kullanılan Yıllar	2013	2013	2013
Tahmin Edilen Yıl	2014	2014	2014
Tahmin Edilen Zaman Aralığı	Günlük	Günlük	Günlük
Gizli Katman Sayısı	1	1	1
Nöron Sayısı	15	15	15
Training Fonksiyonu	tansig	logsig	tansig
Transfer Fonksiyonu	trainbr	trainbr	trainbr
MAPE	9,23%	7,45%	6,51%
RMSE	19,07	15,45	12,93
NASH	80,80	39,65	57,72



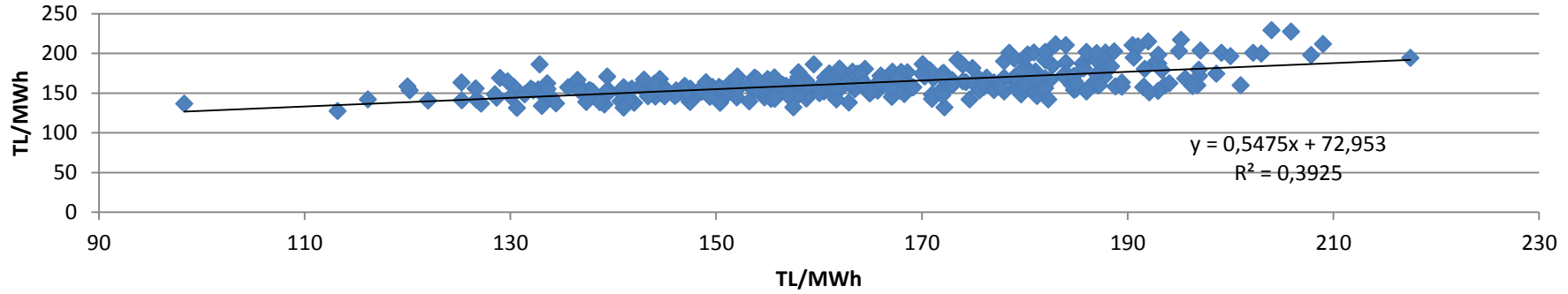
Şekil 5.23: Yapay sinir ağları analizi ile yapılan günlük ortalama ptf tahmini çalışma-1 için gerçekleşen ve tahmin edilen değerler



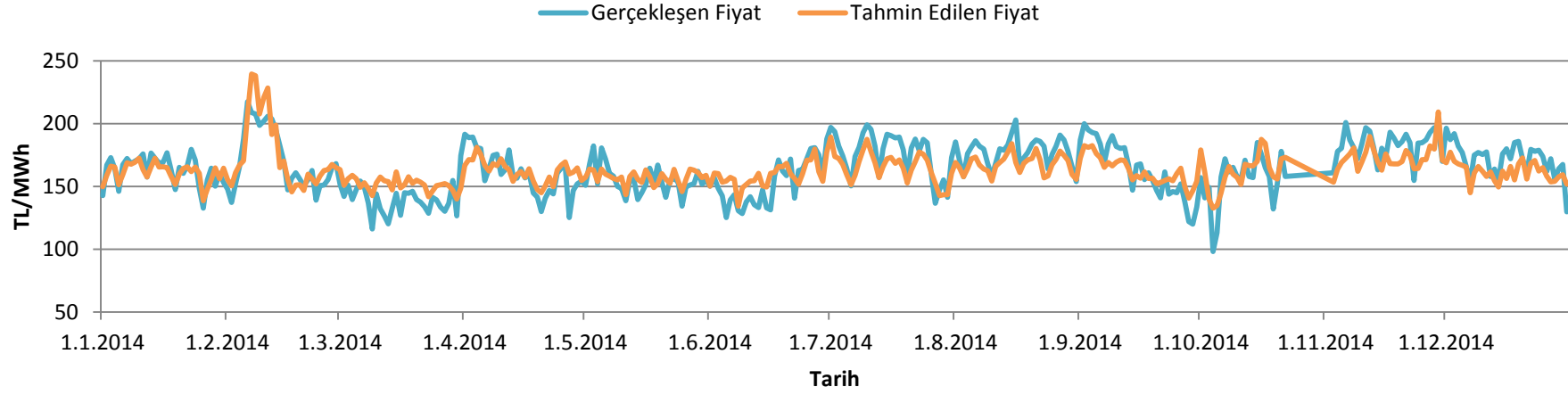
Şekil 5.24: Yapay sinir ağları analizi ile yapılan günlük ortalama ptf tahmini çalışma-1 için gerçekleşen ve tahmin edilen değerler arasındaki ilişki.



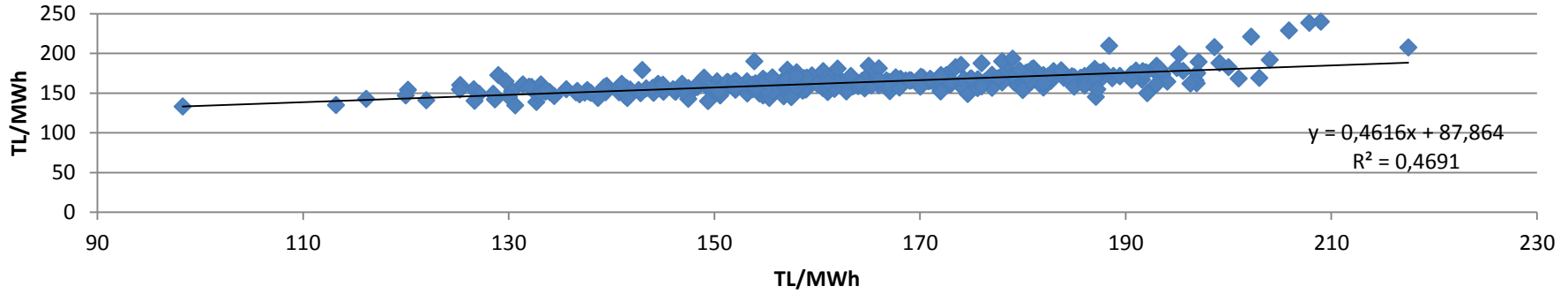
Şekil 5.25: Yapay sinir ağları analizi ile yapılan günlük ortalama ptf tahmini çalışma-2 için gerçekleşen ve tahmin edilen değerler.



Şekil 5.26: Yapay sinir ağları analizi ile yapılan günlük ortalama ptf tahmini çalışma-2 için gerçekleşen ve tahmin edilen değerler arasındaki ilişki.



Şekil 5.27: Yapay sinir ağları analizi ile yapılan günlük ortalama ptf tahmini çalışma-3 için gerçekleşen ve tahmin edilen değerler.



Şekil 5.28: Yapay sinir ağları analizi ile yapılan günlük ortalama ptf tahmini çalışma-3 için gerçekleşen ve tahmin edilen değerler arasındaki ilişki.

Bu bölüm kapsamında yapay sinir ağı ile yapılan modellerde, 2014 yılı günlük ortalama fiyatlar tahmin edilmeye çalışılmış, tahminlere ait MAPE, RMSE ve NASH değerleri hesaplanmıştır.

Çizelge 5.8’de yapay sinir ağı analizi ile yapılan günlük ortalama PTF tahmini çalışmalarının sonuçları gösterilmiştir.

Şekil 5.23’de yapay sinir ağı analizi ile yapılan günlük ortalama PTF tahmini Çalışma-1 için gerçekleşen değerleri ile tahmin edilen değerleri, Şekil 5.24’de yapay sinir ağı analizi ile yapılan günlük ortalama PTF tahmini Çalışma-1 için gerçekleşen ve tahmin edilen değerleri arasındaki ilişki, Şekil 5.25’de yapay sinir ağı analizi ile yapılan günlük ortalama PTF tahmini Çalışma-2 için gerçekleşen değerleri ile tahmin edilen değerleri, Şekil 5.26’da yapay sinir ağı analizi ile yapılan günlük ortalama PTF tahmini Çalışma-2 için gerçekleşen ve tahmin edilen değerleri arasındaki ilişki, Şekil 5.27’de yapay sinir ağı analizi ile yapılan günlük ortalama PTF tahmini Çalışma-3 için gerçekleşen değerleri ile tahmin edilen değerleri, Şekil 5.28’de yapay sinir ağı analizi ile yapılan günlük ortalama PTF tahmini Çalışma-3 için gerçekleşen ve tahmin edilen değerleri arasındaki ilişki gösterilmiştir.

6. SONUÇ

Tezde, gün öncesi piyasası elektrik fiyatı (PTF), saatlik ve 24 saatin sonunda oluşan günlük ortalama şeklinde tahmin edilmeye çalışılmıştır. Öncelikle saatlik ve günlük tahminler için iki farklı parametre kümesi oluşturulmuş, farklı varyasyonlarla parametrelerin modele katkısı araştırılmıştır. Çalışmalar, regresyon ve yapay sinir ağları ile yapılmış, her iki tahmin yönteminin başarıları karşılaştırılmıştır.

Modeller ile yapılan tahminlerin hataları MAPE ve RMSE olarak kısaltılan, mutlak ortalama yüzde hata ve ortalama hata kareleri kökü ile değerlendirilirken, başarısı NASH kriteri ile değerlendirilmiştir.

Saatlik tahmin çalışmalarında, regresyon analizleri ile yapay sinir ağları analizlerinin en başarılı model sonuçları haftanın günlerine ve mevsimlere göre aşağıda Çizelge 6.1’de ve Çizelge 6.2’de gösterilmiştir.

Çizelge 6.1: 2014 yılı saatlik tahminlerin günlük bazda karşılaştırılması.

	MAPE		RMSE		NASH	
	Regresyon (%)	YSA (%)	Regresyon	YSA	Regresyon	YSA
Pazartesi	5,78	5,98	13,22	12,67	0,86	0,85
Salı	4,72	4,84	10,84	12,34	0,89	0,87
Çarşamba	5,12	5,04	12,01	12,18	0,88	0,89
Perşembe	4,78	4,53	13,71	12,25	0,84	0,87
Cuma	4,78	5,00	10,96	13,78	0,88	0,86
Cumartesi	5,48	5,77	12,37	12,86	0,85	0,85
Pazar	6,60	7,15	14,47	14,43	0,73	0,75

Çizelge 6.2: 2014 yılı saatlik tahminlerin mevsimsel bazda karşılaştırılması.

	MAPE		RMSE		NASH	
	Regresyon (%)	YSA (%)	Regresyon	YSA	Regresyon	YSA
Kış	4,68	4,91	12,85	12,42	0,87	0,89
İlkbahar	5,94	5,83	12,02	12,14	0,79	0,79
Yaz	5,27	5,41	12,02	13,52	0,87	0,84
Sonbahar	5,35	5,65	13,37	13,08	0,86	0,86

Benzer şekilde günlük ortalama fiyat tahmin çalışmalarının sonuçları haftanın günlerine ve mevsimlere göre aşağıda Çizelge 6.3’de ve Çizelge 6.4’de gösterilmiştir.

Çizelge 6.3: 2014 yılı günlük ortalama tahminlerin günlere göre sonuçları.

	MAPE		RMSE		NASH	
	Regresyon (%)	YSA (%)	Regresyon	YSA	Regresyon	YSA
Pazartesi	5,82	7,04	12,66	13,46	0,48	0,41
Salı	4,80	7,05	10,20	13,45	0,69	0,47
Çarşamba	4,93	6,43	9,82	12,58	0,78	0,60
Perşembe	4,41	6,59	9,71	13,77	0,78	0,55
Cuma	4,66	6,15	10,02	12,37	0,70	0,55
Cumartesi	4,41	6,20	9,27	12,99	0,77	0,53
Pazar	5,33	6,06	10,83	11,79	0,57	0,50

Çizelge 6.4: 2014 Yılı günlük ortalama tahminlerin mevsimlere göre sonuçları.

	MAPE		RMSE		NASH	
	Regresyon (%)	YSA (%)	Regresyon	YSA	Regresyon	YSA
Kış	4,78	5,66	10,31	11,95	0,47	0,52
İlkbahar	5,34	6,87	10,16	12,89	0,33	0,34
Yaz	4,40	6,39	9,12	12,88	0,74	0,55
Sonbahar	5,14	7,24	12,08	14,06	0,75	0,57

Saatlik fiyat tahmininde kullanılan parametreler temelinde, geçmiş talep ve fiyat bilgilerinden oluşmaktadır. Tamamen gerçekleşen verilerle tahmin edilmeye çalışılan saatlik gün öncesi elektrik fiyatlarında günlere, aylara ve mevsimlere göre başarı değişmektedir.

Günlük bazdaki başarı farklılıklarını şöyle açıklayabiliriz; haftanın bazı günlerinde elektrik fiyatlarındaki dalgalanma az olurken, bazı günlerinde çok fazla yaşanmakta, ve bunun altında yatan neden yalnızca taleple açıklanamamaktadır. Günün haftaiçi/haftasonu olması, veya diğer tatil günlerine denk gelmesi gibi sebepler sayılabilir.

Aylara bakıldığında ise özellikle doğal gaz arzında yaşanan sıkıntılar, doğal gaz santrallerinin üretim programını etkilemekte, buna bağlı olarak, kışın en soğuk olduğu ayda fiyatları olması gerekenin çok üzerinde yükseltmektedir.

Mevsimsel farklılıkların altında yatan en önemli sebep ise, yağışlardır. Özellikle ilk bahar aylarında, barajlı hidroelektrik santrallerin doluluk oranı arttığında, fiyatlar düşüşe geçmekte, benzer elektrik talebinde mevsimlere bağlı olarak farklı fiyatlar oluşmaktadır.

Günlük ortalama elektrik fiyat tahmininde kullanılan parametreler ise temelde, üretim değerleri, kapasite ve dolar kuru bilgilerinden oluşmaktadır. Saatlik bazdaki çalışmalara benzer şekilde bu modelin başarısı da periyotlara bağlı olarak değişmektedir. Aynı şekilde, periyotların kısa ve orta vadede içerdikleri özel nedenlerden dolayı, yalnızca üretim, kapasite ve dolar kuruyla açıklanamayan bu durumlar modelin başarısını düşürmektedir.

Bugüne kadar ki çalışmalarla birlikte elektrik piyasasında gün öncesi fiyatların tahmini konusundaki çalışmalara baktığımızda, modellerin başarılarında artış gözlenmektedir. Bu durum hem elektrik piyasasının stabil bir yapıya doğru gitmesi, hem de yapılan çalışmaların geliştirilmesiyle açıklanabilir.

Ayrıca, elektrik piyasasında gün öncesi fiyatların belirlenmesinde en önemli faktörü oluşturan doğalgaz santralleri, yakıt maliyetlerinin sabit ve dolar bazlı olmasından dolayı, fiyatların oluşumundaki dominant etkisini sürdürmektedir. Bu etkinin azaltılabilmesi ve elektrik fiyatlarının aşağıya çekilebilmesi için uzun vadede yatırımlara yön verecek yeni politikaların geliştirilmesi, elektrik ticaretinde sektör oyuncularını etkileyen kur risklerin azaltılabilmesi ve fiyatlardaki öngörülebilirliğin artması için daha şeffaf, tam rekabetçi bir piyasa yapısının hızla oluşturulması gerekmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] **Url-1** <<http://www.tdk.gov.tr>>, erişim tarihi 03.05.2015
- [2] **Url-2** <<http://www.mevzuatdergisi.com>>, erişim tarihi 03.05.2015
- [3] **Url-3** <<http://hukuk.istanbul.edu.tr>>, erişim tarihi 03.05.2015
- [4] **Url-4** <<http://auhf.ankara.edu.tr>>, erişim tarihi 03.05.2015
- [5] **TÜSİAD**, (Eylül 2014), Rekabet Hukuku ve Rekabet Gücü Sektör Tartışmaları: Enerji Sektörü
- [6] **TEİAŞ**, Yük Tevzi Merkezi Raporları
- [7] **Accenture**, (2013), “Türkiye Elektrik Piyasası’nda Elektrik Ticareti”
- [8] **Bloomberg**, (Kasım 2014), “Türkiye’nin Değişen Elektrik Piyasaları”
- [9] **Zenginobuz, Ü.** (t.y), “Elektrik Sektöründe Özelleştirme, Rekabet ve Regülasyon”
- [10] **Ünal, O.** (2007), Elektrik Piyasası Oluşumu, Ankara Bürosu Dergisi, Güz 2007
- [11] **Topuz, G.** (2013), Enerji Bilim ve Teknolojileri Özel Konular, Ders Notları
- [12] **Yörük, U.** (Mayıs 2012), “Serbestleşen Bir Piyasa İçin Gelecek Senaryoları”, Deloitte Türkiye
- [13] **EPDK**, (t.y), “Gün Öncesi Planlamada Sistem Marjinal Fiyatının Belirlenmesi ile Sistem Satış ve Sistem Alış Talimatlarının Oluşmasına İlişkin Metodoloji”
- [14] **Doğan, G.**, Yapay Sinir Ağları Kullanılarak Türkiye’deki Özel Bir Sigorta Şirketinde Portföy Değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, 2010
- [15] **Hardalaç, B., Poyraz, M.**, (2002), Yapay Sinir Ağları Kullanılarak EMG Sinyallerinin Sınıflandırılması ve Neuropathy Kas Hastalığının Teşhisi, Politeknik Dergisi
- [16] **Url-5** <<http://www.yildiz.edu.tr/~gulez>>, erişim tarihi 25.04.2015
- [17] **Bayındır R., Sesveren Ö.**, (Kasım 2007), YSA Tabanlı Sistemler İçin Görsel Bir Arayüz Tasarımı, Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Bilimleri Dergisi
- [18] **Url-6** <<http://www.ibrahimcayiroglu.com>>, erişim tarihi 25.04.2015
- [19] **Yücesoy, M.**, (Haziran 2011), Temizlik Kağıtları Sektöründe Yapay Sinir Ağları İle Talep Tahmini, Yüksek Lisans Tezi
- [20] **Tezcan, N.**, (2011), Parametrik Olmayan Regresyon Analizi, Atatürk Üniversitesi İİBF Dergisi, 10. Ekonometri ve İstatistik Sempozyumu Özel Sayısı

- [21] **Hamzaoğlu, S.**, (Temmuz 2013), Çoklu Regresyon Yöntemlerinde Güç Analizi, Yüksek Lisans Tezi
- [22] **Url-7** <<http://80.251.40.59/politics.ankara.edu.tr/burca/ekonometri>>, erişim tarihi 25.04.2015
- [23] **Kaya, Y.**, (2010), Türk Telekomünikasyon A.Ş.'de Elektrik Enerjisi Tüketiminde Yapay Sinir Ağları İle Yerel Tahmini, Yüksek Lisans Tezi
- [24] **Url-8** <<http://w3.balikesir.edu.tr/~bsentuna/wp-content/uploads/2013/03/Regresyon-Analizi.pdf>>, erişim tarihi 25.04.2015
- [25] **Çokluk, Ö.**, (2010), Lojistik Regresyon Analizi: Kavram ve Uygulama, Kuram ve Eğitim Bilimleri Dergisi
- [26] **Okukkan, C.**, (2014), Borsa İstanbul Şirketlerinin Getirilerinin Yapay Sinir Ağları ve Çoklu Regresyon Yöntemleri Kullanılarak Analizi, Yüksek Lisans Tezi
- [27] **Rafał, W.**, (2014), Electricity Price Forecasting a Review of the State-Of-The-Art with a Look into the Future
- [28] **Ruckstuhl, A.**, (2010), Introduction to Nonlinear Regression, IDP Institute of Data Analysis and Process Design.
- [29] **Cuaresma J. C., Hlouskova J., Kossmeier S., and Obersteiner M.**, (2004), "Forecasting electricity spot-prices using linear univariate time-series models", Applied Energy, vol. 77, no. 1, pp. 87–106.
- [30] **Weron, R. and Misiorek, A.**, (2005), "Forecasting spot electricity prices with time series models", Proceedings of International Conference on the European electricity market EEM, May 10-12, Lodz, Poland.
- [31] **Garcia, R. C., Contreras, J., Akkeren, M., Garcia, J. B. C.**, (2005), "A GARCH Forecasting Model to Predict Day-Ahead Electricity Prices," IEEE Trans. Power Syst., pp. 867–874.
- [32] **Nogales, F. J., Contreras, J., Conejo, A. J., Espinola, R.**, (2002), "Forecasting Next Day Electricity Prices by Time Series Models," IEEE Trans. Power Syst., vol. 17, no. 2, pp. 342–348.
- [33] **Contreras, J., Espinola, R., Nogales, F. J., Conejo, A. J.**, (2003), "ARIMA Models to Predict Next Day Electricity Prices," IEEE Trans. Power Syst., vol. 18, no. 3, pp. 1014–1020.
- [34] **Conejo, A. J., Plazas, M. A., Espinola, R., Molina, A. B.**, (2005), "Day-Ahead Electricity Price Forecasting Using the Wavelet Transform and ARIMA Models," IEEE Trans. Power Syst., vol. 20, no. 2, pp. 1035–1042.
- [35] **Haiteng, X. H., Niimura, T.**, (2004), "Short-Term Electricity Price Modeling and Forecasting Using Wavelets and Multivariate Time Series," IEEE Power Systems Conference and Exposition PES, no. 1, pp. 208–212.
- [36] **Kian, A., Keyhani, A.**, (2001), "Stochastic Price Modeling of Electricity in Deregulated Energy Markets," Proceedings of the 34th Hawaii International Conference on System Sciences, pp. 1–7.

- [37] **Rodriguez, C. P., Anders, G. J.**, (2004), “Energy Price Forecasting in the Ontario Competitive Power System Market,” *IEEE Trans. Power Syst.*, vol. 19, no. 3, pp. 366–374.
- [38] **Wang, A., Ramsay, B.**, (1997), “Prediction of System Marginal Price in the UK Power Pool Using Neural Networks,” *Proc. IEEE Int. Conf. Neural Networks*, vol. 4, pp. 2116–2120.
- [39] **Georgilakis, P. S.**, (2006), “Market Clearing Price Forecasting in Deregulated Electricity Markets Using Adaptively Trained Neural Networks,” *SETN 2006. Lecture Notes in Artificial Intelligence LNAI 3955*. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag, pp. 56–66.
- [40] **Mandal, P., Senjyu, T., Funabashi, T.**, (2006), “Neural Networks Approach to Forecast Several Hour Ahead Electricity Prices and Loads in Deregulated Market,” *Energy Conversion and Management*, pp. 2128–2142.
- [41] **Shahidehpour, M., Yamin, H., Li, Z.**, (2004), “Adaptive Short-Term Electricity Price Forecasting Using Artificial Neural Networks in the Restructured Power Markets,” *Electrical Power Energy Syst.*, pp. 571–81.
- [42] **Lee, J. K., Park, J. B., Shin, J. R., Lee, J. R.**, (2005), “A system marginal price forecasting based on an artificial neural network adapted with rough set theory”, *IEEE Power Engineering Society General Meeting*, vol 1., pp. 528–533.
- [43] **Kim, C. I., Yu, I. K., Song, Y. H.**, “Prediction of system marginal price of electricity using wavelet transform analysis”, *Energy Conversion and Management*, vol. 43, no. 14, 2002, pp. 1839–1851.
- [44] **Li, C., Wang, S.**, (2006), “Next-Day Power Market Clearing Price Forecasting Using Artificial Fish-Swarm Based Neural Network”, *Lecture Notes in Computer Science*, vol. 3972, pp. 1290-1295.
- [45] **Hu, Z., Yang, L., Wang, Z., Gan, D., Sun, W., Wang, K.**, (2008), “A game-theoretic model for electricity markets with tight capacity constraints”, *Int. Journal of Electrical Power and Energy Systems*, vol. 30, no. 3, pp. 207–215.
- [46] **Amjady, N.**, (2006), “Day-ahead price forecasting of electricity markets by a new fuzzy neural network”, *IEEE Transactions on Power Systems*, vol. 21, no. 2, pp. 887–896.
- [47] **Özgüner, E.**, (2012), “Short Term Electricity Price Forecasting in Turkish Electricity Market”, *Yüksek Lisans Tezi*.

ÖZGEÇMİŞ

Ad Soyad : Yunus Emre ADALI

Doğum Yeri ve Tarihi : Manisa – 07.02.1988

E-Posta : yemreadali@gmail.com

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2011, İstanbul Teknik Üniversitesi, Makine Fakültesi,
Makine Mühendisliği