

T.C
ANKARA ÜNİVERSİTESİ
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ
İŞLETME ANABİLİM DALI

ELEKTRİK PİYASALARINDA
ELEKTRİK YÜK TALEBİ VE GÜN ÖNCESİ ELEKTRİK FİYAT TAHMİNİ:
TÜRKİYE UYGULAMASI

Yüksek Lisans Tezi

Fahrettin FİLİZ

Ankara-2016

T.C
ANKARA ÜNİVERSİTESİ
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ
İŞLETME ANABİLİM DALI

ELEKTRİK PİYASALARINDA
ELEKTRİK YÜK TALEBİ VE GÜN ÖNCESİ ELEKTRİK FİYAT TAHMİNİ:
TÜRKİYE UYGULAMASI

Yüksek Lisans Tezi

Tez Danışmanı
Prof. Dr. Fazıl GÖKGÖZ

Ankara-2016

T.C
ANKARA ÜNİVERSİTESİ
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ
İŞLETME ANABİLİM DALI

ELEKTRİK PİYASALARINDA
ELEKTRİK YÜK TALEBİ VE GÜN ÖNCESİ ELEKTRİK FİYAT TAHMİNİ:
TÜRKİYE UYGULAMASI

Yüksek Lisans Tezi

Tez Danışmanı
Prof. Dr. Fazıl GÖKGÖZ

Tez Jürisi Üyeleri

Adı ve Soyadı

İmzası

Tez Sınavı Tarihi

TÜRKİYE CUMHURİYETİ
ANKARA ÜNİVERSİTESİ
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ MÜDÜRLÜĞÜNE

Bu belge ile, bu tezdeki bütün bilgilerin akademik kurallara ve etik davranış ilkelerine uygun olarak toplanıp sunulduğunu beyan ederim. Bu kural ve ilkelerin gereği olarak, çalışmada bana ait olmayan tüm veri, düşünce ve sonuçları andığımı ve kaynağını gösterdiğimi ayrıca beyan ederim.(21/04/2016)

Fahrettin FİLİZ

TEŐEKKÜR

Tezimle ilgili çalıőmamda beni yönlendiren ve sürekli destekleyen değerli hocam Prof. Dr. Fazıl GÖKGÖZ'e çalıőmalarımda sevgi ve anlayıőı ile bana yardımcı olan değerli eőime ve bana sonsuz destek ve özverileri ile iyi bir eğitim olanağı sağlayan değerli aileme teőekkürler...



İÇİNDEKİLER

Sayfa No

| | |
|-------------------|------|
| ŞEKİLLER | x |
| TABLolar | xiii |
| KISALTMALAR | xv |
| GİRİŞ | 1 |

BİRİNCİ BÖLÜM

ELEKTRİK PİYASASININ DİNAMİKLERİ

| | |
|---|----|
| 1.1. Elektrik Piyasası Hakkında Temel Bilgiler | 4 |
| 1.2. Dünya Elektrik Piyasasındaki Gelişmeler | 8 |
| 1.3. Türkiye Elektrik Piyasası Tarihi Gelişimi ve Elektrik Piyasası Yapısı | 17 |
| 1.3.1. Tarihsel Gelişim | 17 |
| 1.3.2. Gün Öncesi Piyasası | 19 |
| 1.3.3. Gün İçi Piyasası | 21 |
| 1.3.4. Dengeleyici Güç Piyasası | 22 |

İKİNCİ BÖLÜM

ELEKTRİK PİYASASINDA ELEKTRİK YÜK TALEP VE FİYAT TAHMİN

YAKLAŞIMLARI

| | |
|--|----|
| 2.1. Elektrik Yük Talep ve Fiyat Tahmin Modellerin Önemi | 23 |
| 2.2. Genel Tahmin Model Yaklaşımları | 24 |
| 2.2.1. Elektrik Yük Tahmin Yaklaşımları | 25 |
| 2.2.2. Elektrik Fiyat Tahmin Yaklaşımları | 26 |

İÇİNDEKİLER (DEVAM EDİYOR)

| | <u>Sayfa No</u> |
|---|-----------------|
| 2.3. Yapay Sinir Ağları Yaklaşımı..... | 28 |
| 2.3.1. Biyolojik Sinir Hücre Yapısı..... | 30 |
| 2.3.2. Yapay Sinir Hücresinin Yapısı..... | 31 |
| 2.3.3. Yapay Sinir Ağlarının Sınıflandırılması | 33 |
| 2.3.4. Yapay Sinir Ağlarının Tasarımı | 44 |
| ÜÇÜNCÜ BÖLÜM | |
| TÜRKİYE ELEKTRİK PİYASASINDA ELEKTRİK YÜK TALEBİ VE GÜN ÖNCESİ FİYAT TAHMİN UYGULAMASI | |
| 3.1. Amaçlar, Veri, Sınırlılıklar ve Yöntem..... | 48 |
| 3.1.1. Amaçlar | 48 |
| 3.1.2. Veri..... | 48 |
| 3.1.3. Sınırlılıklar | 52 |
| 3.1.4. Yöntem..... | 53 |
| 3.2. Elektrik Yük Talep Miktarı Tahmin Uygulaması..... | 54 |
| 3.2.1. Elektrik Yük Tahminini Etkileyen Unsurlar | 54 |
| 3.2.2. Elektrik Yük Talep Miktarı Tahmin Uygulaması | 56 |
| 3.2.3. Elektrik Yük Talep Tahmin Uygulaması Sonuçları | 61 |
| 3.3. Gün Öncesi Elektrik Fiyat Tahmin Uygulaması..... | 71 |
| 3.3.1. Gün Öncesi Elektrik Fiyat Tahminini Etkileyen Unsurlar | 71 |
| 3.3.2. Gün Öncesi Elektrik Fiyat Tahmin Uygulaması..... | 72 |
| 3.3.3. Gün Öncesi Elektrik Fiyat Tahmin Uygulaması Sonuçları | 78 |
| GENEL DEĞERLENDİRME VE SONUÇ | 88 |
| SUMMARY | 91 |

İÇİNDEKİLER (DEVAM EDİYOR)

| | <u>Sayfa No</u> |
|---|-----------------|
| ÖZET | 93 |
| KAYNAKÇA | 95 |
| EKLER : | 103 |
| Ek-1: XOR Kapısı | 105 |
| Ek-2: Jacobian Matrisi | 105 |
| Ek-3: Hessian Matrisi | 105 |
| Ek-4: PCA Ön İşlemi Uygulanmayan Elektrik Talep Tahmin Modellerinin MAPE Sonuçları | 106 |
| Ek-5: PCA Ön İşlemi Uygulanmayan Elektrik Gün Öncesi Fiyat Tahmin Modellerinin MAPE Sonuçları | 107 |
| Ek-6.1: PCA Ön İşlem Faktörlerine Göre GD Logsig Elektrik Talep Tahmin Modellerinin MAPE Sonuçları | 108 |
| Ek-6.2: PCA Ön İşlem Faktörlerine Göre GD Tansig Elektrik Talep Tahmin Modellerinin MAPE Sonuçları | 109 |
| Ek-6.3: PCA Ön İşlem Faktörlerine Göre GDM Logsig Elektrik Talep Tahmin Modellerinin MAPE Sonuçları | 110 |
| Ek-6.4: PCA Ön İşlem Faktörlerine Göre GDM Tansig Elektrik Talep Tahmin Modellerinin MAPE Sonuçları | 111 |
| Ek-6.5: PCA Ön İşlem Faktörlerine Göre BFGS Logsig Elektrik Talep Tahmin Modellerinin MAPE Sonuçları | 112 |
| Ek-6.6: PCA Ön İşlem Faktörlerine Göre BFGS Tansig Elektrik Talep Tahmin Modellerinin MAPE Sonuçları | 113 |

İÇİNDEKİLER (DEVAM EDİYOR)

| | <u>Sayfa No</u> |
|---|-----------------|
| Ek-6.7: PCA Ön İşlem Faktörlerine Göre LM Logsig Elektrik Talep Tahmin Modellerinin MAPE Sonuçları | 114 |
| Ek-6.8: PCA Ön İşlem Faktörlerine Göre LM Tansig Elektrik Talep Tahmin Modellerinin MAPE Sonuçları | 115 |
| Ek-7.1: PCA Ön İşlem Faktörlerine Göre GD Logsig Gün Öncesi Elektrik Fiyat Tahmin Modellerinin MAPE Sonuçları..... | 116 |
| Ek-7.2: PCA Ön İşlem Faktörlerine Göre GD Tansig Elektrik Talep Tahmin Modellerinin MAPE Sonuçları | 117 |
| Ek-7.3: PCA Ön İşlem Faktörlerine Göre GDM Logsig Gün Öncesi Elektrik Fiyat Tahmin Modellerinin MAPE Sonuçları..... | 117 |
| Ek-7.4: PCA Ön İşlem Faktörlerine Göre GDM Tansig Gün Öncesi Elektrik Fiyat Tahmin Modellerinin MAPE Sonuçları..... | 119 |
| Ek-7.5: PCA Ön İşlem Faktörlerine Göre BFGS Logsig Gün Öncesi Elektrik Fiyat Tahmin Modellerinin MAPE Sonuçları..... | 120 |
| Ek-7.6: PCA Ön İşlem Faktörlerine Göre BFGS Tansig Gün Öncesi Elektrik Fiyat Tahmin Modellerinin MAPE Sonuçları..... | 121 |
| Ek-7.7: PCA Ön İşlem Faktörlerine Göre LM Logsig Gün Öncesi Elektrik Fiyat Tahmin Modellerinin MAPE Sonuçları..... | 122 |
| Ek-7.8: PCA Ön İşlem Faktörlerine Göre LM Tansig Gün Öncesi Elektrik Fiyat Tahmin Modellerinin MAPE Sonuçları..... | 123 |

ŞEKİLLER

| | Sayfa No |
|--|-----------------|
| Şekil 1. 2012-2014 Yılları Arasında ABD Doları/TL Günlük Değişimi ve PTF Saatlik Değişimi..... | 6 |
| Şekil 2. 2012-2014 Yılları Arasında Türkiye Elektrik Yük Talep Miktarı Değişimi. Değişimi | 7 |
| Şekil 3. Dünya Elektrik Piyasalarının Gelişimi | 10 |
| Şekil 4. Avrupa Elektrik Piyasaları | 15 |
| Şekil 5. 1970-2001 Yılları Arasında Türkiye Elektrik Piyasasındaki Önemli Gelişmeler. | 18 |
| Şekil 6. Elektrik Fiyat Tahmin Modelleri..... | 23 |
| Şekil 7. Biyolojik Sinir Hücresi | 31 |
| Şekil 8. Yapay Sinir Hücresinin Matematiksel Modeli..... | 32 |
| Şekil 9. Gözetmeli Öğrenme..... | 33 |
| Şekil 10. Kuvvetlendirmeli Öğrenme..... | 35 |
| Şekil 11. Yapay Sinir Ağlarının Sınıflandırılması. | 36 |
| Şekil 12. İleri Beslemeli Yapay Sinir Ağı..... | 36 |
| Şekil 13. Yinelenen Yapay Sinir Ağı | 37 |
| Şekil 14. Hopfiled Net | 38 |
| Şekil 15. Momentum Etkisi.. | 40 |
| Şekil 16. 2012 Yılında İllere göre Türkiye Elektrik Yük Tüketim Miktarı Dağılımı..... | 50 |
| Şekil 17. Türkiye Elektrik Tüketim Ağırlıklı Hesaplanan Sıcaklık Değerleri. . | 51 |
| Şekil 18. PCA Ön İşlemi Uygulanmayan Elektrik Yük Talep Tahmin Modeli. | 58 |

ŞEKİLLER (DEVAM EDİYOR)

| | Sayfa No |
|--|-----------------|
| Şekil 19. 2012-2014 Yılları Arasında Türliye Elektrik Yük Talep Miktarları... | 53 |
| Şekil 20. PCA Ön İşlemi Uygulanan Elektrik Yük Tahmin Modeli..... | 60 |
| Şekil 21. PCA Ön İşlemi Uygulanmayan Modellerin Sinir Hücre Değişimine Göre MAPE Değerleri | 63 |
| Şekil 22. PCA Ön İşlemi Uygulanmayan BFGS ve LM Modellerinin Sinir Hücre Değişimine Göre MAPE Değerleri | 64 |
| Şekil 23. Geçek Veri ile Model Tahmin Sonuçlarının Kıyaslanması (03.03.2014 – 31.12.2014)..... | 65 |
| Şekil 24. 18.09.2014 Tarihinde YTP Değişimi | 66 |
| Şekil 25. Elektrik Yük Talep Tahmin Uygulaması Günlük Bazda MAPE Dağılımı | 67 |
| Şekil 26. Elektrik Yük Talep Tahmin Uygulaması Saatlik Bazda MAPE Dağılımı | 68 |
| Şekil 27. Gerçek Elektrik Yük Miktarı ile Tahmin Modeli Elektrik Yük Miktarı (07.12.2014 - 21.12.2014) | 70 |
| Şekil 28. Henry Hub Doğal Gaz Değişimi | 72 |
| Şekil 29. PCA Ön İşlemi Uygulanmayan Elektrik Gün Öncesi Elektrik Fiyat Tahmin Modeli..... | 75 |
| Şekil 30. Gün Öncesi Elektrik Fiyat Verileri | 76 |
| Şekil 31. 2012-2014 Yılları Arasında Gün Öncesi Elektrik Fiyatlarının Dağılımı..... | 76 |

ŞEKİLLER (DEVAM EDİYOR)

| | <u>Sayfa No</u> |
|--|-----------------|
| Şekil 32. PCA Ön İşlemi Uygulanan Gün Öncesi Elektrik Fiyat Tahmin Modeli | 77 |
| Şekil 33. PCA Ön İşlemi Uygulanmayan Modellerin Sinir Hücre Değişimine Göre MAPE Değerleri. | 80 |
| Şekil 34. PCA Ön İşlemi Uygulanmayan BFGS ve LM Modellerin Sinir Hücre Değişimine Göre MAPE Değerleri | 81 |
| Şekil 35. Gerçek Veri ile Model Tahmin Sonuçlarının Kıyaslanması (03.03.2014 - 31.12.2014)..... | 82 |
| Şekil 36. 03.03.2014-31.12.2014 Tarihleri Arasında PTF Histogramı | 83 |
| Şekil 37. Gün Öncesi Elektrik Fiyat Tahmin Uygulaması Günlük Bazda MAPE Dağılımı..... | 84 |
| Şekil 38. Gün Öncesi Elektrik Fiyat Tahmin Uygulaması Saatlik Bazda MAPE Dağılımı. | 85 |
| Şekil 39. Gerçek Elektrik Fiyat ile Tahmin Modeli Elektrik Fiyatı (07.12.2014 - 21.12.2014)..... | 87 |

TABLULAR

| | <u>Sayfa No</u> |
|--|-----------------|
| Tablo 1. Dünya Genelinde Gün Öncesi Elektrik Piyasalarına Geçiş Tarihleri | 12 |
| Tablo 2. 2001-2015 Yıllarında Türkiye Elektrik Piyasasındaki Gelişmeler | 19 |
| Tablo 3. Yapay Sinir Ağları Konseptinin Tarihsel Gelişimi..... | 29 |
| Tablo 4. Yapay Sinir Ağları Öğrenme Algoritmaları..... | 44 |
| Tablo 5. Genel Yapay Sinir Ağ Performansı Ölçüm Algoritmaları | 47 |
| Tablo 6. G20 Ülkelerinin Elektrik Üretim Miktarları ve Oranları | 55 |
| Tablo 7. Elektrik Yük Talep Tahmin Uygulaması..... | 57 |
| Tablo 8. PCA Ön İşlemi Uygulanan Elektrik Yük Talep Tahmin Uygulaması..... | 59 |
| Tablo 9. Elektrik Yük Talep Tahmin Modellerinde Kullanılan Algoritmaların MAPE Değerleri..... | 62 |
| Tablo 10. Elektrik Yük Talep Tahmin Uygulaması Günlük MAPE Değerleri | 68 |
| Tablo 11. Elektrik Yük Talep Tahmin Uygulaması Saatlik Bazda MAPE Değerleri | 69 |
| Tablo 12. Elektrik Gün Öncesi Fiyat Tahmin Uygulaması | 73 |
| Tablo 13. PCA Ön İşlemi Uygulanan Gün Öncesi Elektrik Fiyat Tahmin Uygulaması | 74 |
| Tablo 14. Gün Öncesi Elektrik Fiyat Tahmin Modellerinde Kullanılan Algoritmaların MAPE Değerleri | 79 |

TABLolar (DEVAM EDİYOR)

| | <u>Sayfa No</u> |
|---|-----------------|
| Tablo 15. Gün Öncesi Elektrik Fiyat Tahmin Uygulaması | |
| Günlük MAPE Değerleri..... | 85 |
| Tablo 16. Gün Öncesi Elektrik Fiyat Tahmin Uygulaması | |
| Saatlik Bazda MAPE Değerleri | 86 |



KISALTMALAR

| | |
|--------------|--|
| ABD | : Amerika Birleşik Devletleri |
| AR | : Otoregresif |
| ARIMA | : Birleştirilmiş Otoregresif Hareketli Ortalama Modeli (<i>Autoregressive Integrated Moving Average</i>) |
| ARMA | : Otoregresif Hareketli Ortalama Modeli (<i>Autoregressive Moving Average Model</i>) |
| ART | : Adaptif/Uyumlu Resonans Teorisi (<i>Adaptive Resonance Theory</i>) |
| BTU | : İngiliz Isı Birimi 1BTU=0.293 Wh |
| BFGS | : Boydan, Fletcher, Goldfarb ve Shanno |
| DGP | : Dengeleme Güç Piyasası |
| EÜAŞ | : Türkiye Elektrik Üretim Anonim Şirketi |
| EPIAŞ | : Elektrik Piyasaları İşletme Anonim Şirketi |
| EPDK | : Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu |
| Hz | : Hertz |
| IEA | : Uluslararası Enerji Ajansı (<i>International Energy Agency</i>) |
| G20 | : 20 Grubu (Group of 20) |
| GARCH | : Genelleştirilmiş Otoregresif Koşullu Değişen Varyans (<i>Generalized Autoregressive Conditional Heteroskedasticity</i>) |
| GD | : Gradyan Azalımı (Gradient Descent) |
| GDM | : Gradyan Azalımı Momentum (<i>Gradient Descent with Momentum</i>) |

KISALTMALAR (DEVAM EDİYOR)

| | |
|--------------|---|
| GİP | : Gün İçi Piyasası |
| GÖP | : Gün Öncesi Piyasası |
| LNG | : Sıvılaştırılmış Doğal Gaz (<i>Liquefied Natural Gas</i>) |
| LM | : Levenberg-Marquardt |
| MA | : Hareketli Ortalama (<i>Moving Average</i>) |
| MWh | : Megawatt Saat |
| MAPE | : Genel Ortalama Mutlak Hata Yüzdesi (<i>The mean absolute percentage error</i>) |
| MAE | : Ortalama Mutlak Hata (<i>Mean Absolute Error</i>) |
| PJM | : Pennsylvania, Jersey, Maryland |
| PTF | : Piyasa Takas Fiyatı |
| PCA | : Temel Bileşen Analizi (<i>Principal Component Analysis</i>) |
| RMSE | : Ortalama Hata Kareler Kökü (<i>Root Mean Squared Error</i>) |
| SOM | : Kendi kendine Öğrenen Haritalar (<i>Self-Organizing Maps</i>) |
| SGÖF | : Sistem Gün Öncesi Fiyat |
| TEDAŞ | : Türkiye Elektrik Dağıtım Anonim Şirketi |
| TEİAŞ | : Türkiye Elektrik İletim Anonim Şirketi |
| TETAŞ | : Türkiye Elektrik Ticaret ve Taahhüt Anonim Şirketi |
| TEK | : Türkiye Elektrik Kurumu |
| TÜİK | : Türkiye İstatistik Kurumu |
| TL | : Türk Lirası |
| TWh | : Terawatt Saat |

KISALTMALAR (DEVAM EDİYOR)

YAL : Yük Alma

YAT : Yük Atma

YTP : Yük Tahmin Planı

YSA : Yapay Sinir Ağları

WMAPE : Ağırlıklı Ortalama Mutlak Hata Yüzdesi
(*Weighted Mean Absolute Percent Error*)

WEC : Dünya Enerji Konseyi (*World Energy Council*)



GİRİŞ

Türkiye’de sanayileşme ve kentleşme ile beraber elektriğe olan talep gün geçtikçe artmaktadır. Elektrik talebindeki artışa bağlı olarak sektörde yeni yatırımlara ve finansman ihtiyaçlarına gereksinim artmıştır. Bu ihtiyaçların sağlanması için özel sektörün piyasaya dahil olması önem arz etmektedir. Serbestleşen elektrik piyasasında, katılımcıların sektörde oluşacak elektrik talep miktarını ve elektrik fiyatlarını kısa, orta ve uzun vadede tahmin etme ihtiyacı bulunmaktadır.

Edison, elektriğin genelde aydınlatma amacıyla kullanıldığı 1882 yılında Pearl Caddesi İstasyonu’nu kurmuştur. İstasyon başlangıçta toplamda 400 adet lamba sahibi olan 85 müşterisine hizmet vermeye başlamıştır. Şirketin 1884 yılında müşteri sayısı 508’e, kullanılan lamba sayısı ise 10.164 ulaşmıştır. Pearl Caddesi İstasyonu’nun müşterileri elektriği sadece aydınlatma amacıyla kullandıklarından sistemdeki günlük elektrik yük talebini tahmin edebilmek için ihtiyaç duyulan parametre yalnızca sistemdeki aktif lamba sayısıdır. Sistemdeki lamba sayısına göre, elektrik yük miktarı tahmini kolayca hesaplanmaktadır. Günümüzde ise elektrik aydınlatmanın yanı sıra ulaşım, iletişim, üretim gibi bir çok amaçla gerek evlerde gerekse endüstrilerde kullanılmaktadır. Bu sebeple, elektriğe olan bağımlılıklar basitçe modellenememektedir. Tüketicilerin ihtiyaç duydukları elektriğe ulaşabilmeleri ve üreticilerin sağlıklı şekilde rekabet edebilmeleri için elektrik fiyatının ve elektrik yük talep miktarlarının doğru tahmini hayati öneme sahiptir.

Elektriğin kullanım alanı arttıkça elektrik talebini ve bununla doğrudan ilişkili olan elektrik fiyatını etkileyen faktör sayısı da artmıştır. Elektrik talebi ve elektrik fiyatı; nüfus, ekonomik veriler, sıcaklık, nem, yağış, sosyal kültürel olaylar gibi tahmini zor birçok parametre ile yakından bağlantılıdır. Bu bağlantıların varlığı elektrik yük talep miktarı ve elektrik fiyatı için başarılı tahmin modellerinin oluşturulmasını zorlaştırmaktadır.

Yapay zeka uygulamalarından biri olan yapay sinir ağları, insan beyninin çalışma yapısını taklit ederek mevcut verileri analiz edip, bu verilerden farklı öğrenme algoritmaları ile yeni bilgiler oluşturan bilgi işlem teknolojisidir. Verilerin arasında fonksiyonel veya lineer ilişki olmadığı durumlarda yapay sinir ağları başarıları nedeniyle istatistiksel metotlar yerine kullanılan yöntemlerden birisidir. Elektrik talebi ve elektrik fiyatını etkileyen parametreler arasında gerek fonksiyonel gerekse lineer ilişki olmaması sebebiyle yapay zeka uygulamalarından biri olan yapay sinir ağları, elektrik yük talep ve fiyat tahmin modellerinin oluşturulması için uygun bir çözümdür.

Bu çalışmanın konusu, Türkiye enerji piyasalarından alınan Yük Tahmin Planı (YTP) ve Piyasa Takas Fiyatı (PTF) verisi kullanılarak elektrik yük talep ve fiyat tahmin modellerinin, yapay zeka metodu olan yapay sinir ağ yöntemi ile geliştirilmesi, geliştirilen modellerin tahmin başarılarının kıyaslanması, en iyi tahmin başarısına sahip modellerin ayrıntılı incelenmesidir.

Tezin birinci bölümüne elektrik piyasasının dinamikleri hakkında bilgiler verilerek başlanmış, Dünya elektrik piyasaları hakkında genel bilgiler ile devam edilmiş ve Türkiye elektrik piyasası işleyiş yapısı anlatılmıştır. İkinci bölümde literatürde elektrik piyasaları için önerilen elektrik yük ve elektrik fiyat tahmin modelleri araştırılmıştır. Popüler bir tahmin yöntemi olan ileri beslemeli yapay sinir ağlarının yapıları ve algoritmaları üzerinde detaylı durulmuştur. Üçüncü bölümde 2012-2014 yılları arasında Türkiye elektrik piyasası için gün öncesi fiyat tahmin ve elektrik yük talep tahmin modelleri oluşturulmuştur. Oluşturulan sayısal modeller kıyaslanarak Türkiye elektrik piyasası için 2012-2014 yılları arasındaki veriye göre en başarılı elektrik yük ve fiyat tahmin modeli belirlenmeye çalışılmıştır. Gün öncesi elektrik fiyat ve talep tahmini için oluşturulan en başarılı modellerin sonuçları günlük ve saatlik bazda analiz edilerek ayrıntılı olarak incelenmiştir. Sonuç bölümünde ise; elektrik gün öncesi fiyat tahmin ve elektrik yük talep miktarı için oluşturulan modellerin sonuçları değerlendirilmiş ve gelecekte yapılabilecek çalışmalara ilişkin öneriler belirtilmiştir.

BİRİNCİ BÖLÜM

1. ELEKTRİK PİYASASININ DİNAMİKLERİ

1.1. Elektrik Piyasası Hakkında Temel Bilgiler

Piyasa kavramı, bir mal veya hizmetin alıcılarının ve satıcılarının karşılıklı iletişim içinde olduğu, para veya mal karşılığında mal, hizmet dolaşımını gerçekleştirdiği yer olarak tanımlanabilir. Enerji piyasası; elektrik, doğal gaz, petrol gibi enerji ürünlerinin veya türevlerinin alınıp satıldığı piyasalardır. Piyasa yapısının özellikleri ile piyasa emtiası arasında yakın bir ilişki vardır. Piyasa analizi yapılırken piyasa emtiasının karakteristik özelliklerini analiz etmeden doğru piyasa analizi yapılamayacağı gibi piyasa için doğru tahmin modelleri de geliştirilemez.

Elektriğin üretimiyle tüketiminin aynı zamanda gerçekleşmesi bir başka ifadeyle depolanamaması elektrik emtiasının en ayırt edici özelliğidir. Elektriğin depolanamaması anlık elektrik üretim ve tüketiminin de kontrol altında tutulması ihtiyacını doğurmaktadır.

Elektrik piyasasında arz talep dengesinin sağlanması hem teknik hem iktisadi açıdan önem arz etmektedir. Teknik olarak; anlık arz ve talebin dengelenmediği durumda sistemdeki voltaj, frekans ve akım değerlerindeki değişim tüm kullanıcıları etkileyecektir. Örneğin; Türkiye’de 28.05.2014 tarihinde nihai halini alan “Elektrik Şebeke Yönetmeliği” gereği gerilim frekansının 50 Hertz (Hz) etrafında %0.4 toleransla 49.8 Hz ve 50.2 Hz

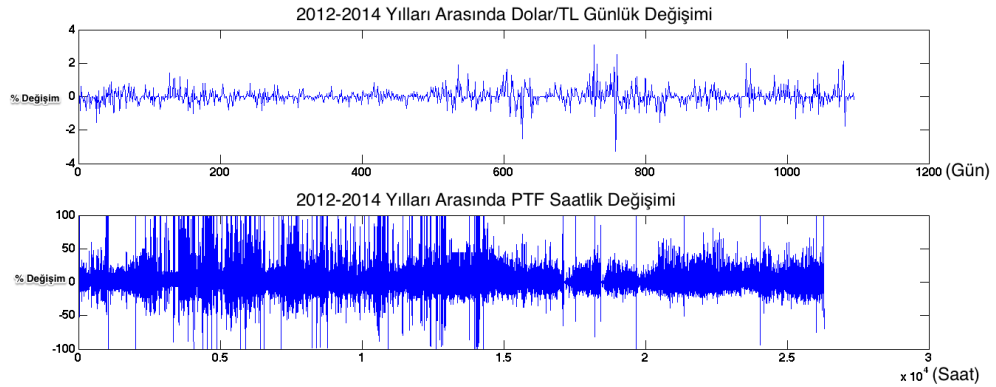
bandında olması gerekmektedir (İşcan ve İnce, 2015). Elektrik frekansının bu dar bant içerisinde kalması için elektrik arz ve talebinin dengede olması gerekmektedir. Elektrik talebinin karşılanmadığı durumda enerji açığı ortaya çıkarken, sistem frekansı 50 Hz'den aşağı düşer, elektrik arzı talepten fazla olduğu durumda enerji fazlası ortaya çıkarken, sistem frekansı 50 Hz üstüne çıkar. Bu durum elektrik şebekelerinde ciddi sorunlara yol açabilir.

İktisadi açıdan elektrik arz ve talep miktarının eşit olması yani piyasanın denge noktasına gelmesi beklenmektedir. Piyasada bulunan elektrik üreticilerinin talepten daha az veya fazla elektrik arz etmesi piyasa dengesini bozacaktır. Örneğin elektrik üreticileri, talepten fazla elektrik ürettikleri durumda üretim için gerçekleşen maliyetlerini dengeleyemeyecek ve üreticiler zarar edeceklerdir.

Elektrik piyasalarının diğer önemli bir özelliği ise elektrik fiyatının volatilitésinin oldukça yüksek olmasıdır. Elektrik fiyat volatilitésini diğer piyasalara kıyasla oldukça fazladır (Yamin v.d., 2004). Elektriğe olan talep mevsimlere, kullanım gün ve saatlerine, kullanım bölgelerine göre sürekli dalgalanma halindedir. Talepteki bu dalgalanmalar elektrik fiyat volatilitésini artırmaktadır.

Elektrik fiyatlarını elektrik yük talep miktarından ayıran en büyük fark fiyat volatilitésinin oldukça büyük olmasıdır (Aggarwal v.d., 2009). Elektrik fiyatlarında oluşan fiyat değişiminin büyüklüğünü analiz etmek amacıyla

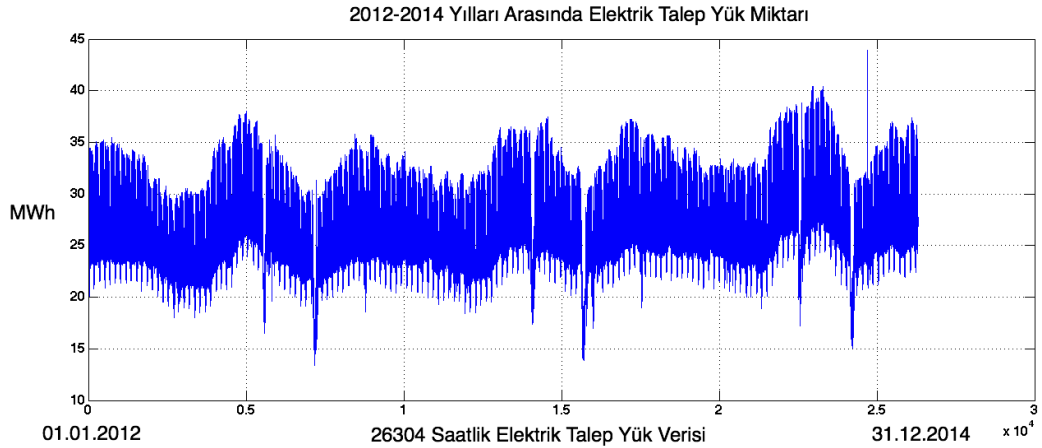
Türkiye piyasasında Amerika Birleşik Devletleri (ABD) Dolar/TL volatilitesi ile EPIAŞ tan alınan Piyasa Takas Fiyat (PTF) volatilitesi kıyaslanmıştır. PTF gelecek gün için Türkiye elektrik piyasalarında oluşturulan gün öncesi elektrik fiyatıdır. Şekil 1, Türkiye elektrik piyasasında PTF saatlik değişimi ile ABD Doları/TL günlük değişimi göstermektedir. Elektrik fiyatlarındaki değişimin %100'den fazla olduğu durumlarda grafiğin kolay yorumlanabilmesi adına değişim %100 olarak kabul edilmiştir. Şekil 1'de elektrik fiyatlarında oluşan saatlik volatilitenin, ABD Doları ile TL arasında oluşan volatiliteden en az 10 kat fazla olduğu gözükmemektedir. Elektrik piyasalarında elektrik fiyatlarının ani yüksek artışları veya azalışları elektrik fiyatlarının analizinde ve fiyat tahmin modellerinin oluşturulmasında önemli bir sorunu teşkil etmektedir.



Şekil 1. 2012-2014 Yılları Arasında ABD Doları/TL Günlük Değişimi ve PTF Saatlik Değişimi.

Elektrik yük talep miktarı mevsimsel, haftalık, günlük ve saatlik periyotlarda değişim göstermektedir. Elektrik talebinin periyodik değişimi talep tahmin modellerinde önem arz etmektedir (Berk, 2015). Mevsimsel periyotlar dikkate alındığında, kış aylarında ısıtma ve aydınlatma amaçlı

kullanım arttığı için elektriğe olan talep de yükselecektir. Yaz mevsiminde, soğutma amaçlı kullanım sebebiyle elektrik talep miktarı artış gösterebilmektedir. Elektrik talep miktarı haftalık bazda incelendiğinde, hafta sonları işyerlerinin ve fabrikaların çalışmadığı zamanlarda talep miktarı azalacaktır. Gün içerisinde genelde sabah mesai saatleri öncesi düşük olan elektrik talep miktarı, mesai saatleri ile artacaktır. Bu gibi tekrarlanan olaylar, elektrik yük talep miktarındaki değişimin periyodik karakteristiğe sahip olmasına neden olmaktadır. Şekil 2, Türkiye’de 2012-2014 yılları arasında gerçekleşen elektrik yük talep miktarının periyodik değişimini göstermektedir.



Şekil 2. 2012-2014 Yılları Arasında Türkiye Elektrik Yük Talep Miktarı.

Elektriğin depolanamaması, fiyat volatilitésinin yüksek olması ve talep miktarında genelde gözükten periyodik değişim, elektrik piyasa yapısını etkilemektedir. Elektriğin depolanamaması ve elektrik fiyat volatilitésinin yüksek olması fiyat tahmin modellerinin başarısı üzerinde olumsuz etkiye yol açmaktadır. Elektrik yük talep miktarının periyodik özellik göstermesi talep tahmin modellerinin başarısını olumlu etkileyecektir.

1.2. Dünya Elektrik Piyasasındaki Gelişmeler

Elektrik piyasası uzun yıllar boyunca kamu mülkiyeti altında dikey bütünleşik¹ bir yapıda faaliyet göstermiştir. Elektrik piyasalarının dikey bütünleşik bir yapıda faaliyet göstermesinin başlıca nedenleri olarak; elektrik piyasasında üretim için yüksek sermaye gerekiyor olması, elektriğin depolanamaması ve elektriğin zorunlu bir ihtiyaç olması sayılabilir (Çetintaş ve Bicil, 2015). Son yirmi yılda ise bir çok ülke elektrik piyasasında serbestleşme sürecine girmiştir. Diğer piyasalarda serbest piyasaya geçişler sonucunda elde edilen başarının enerji sektöründe yaşanacağı düşüncesi, serbest elektrik piyasasına geçişi tetikleyen önemli bir etkidir.

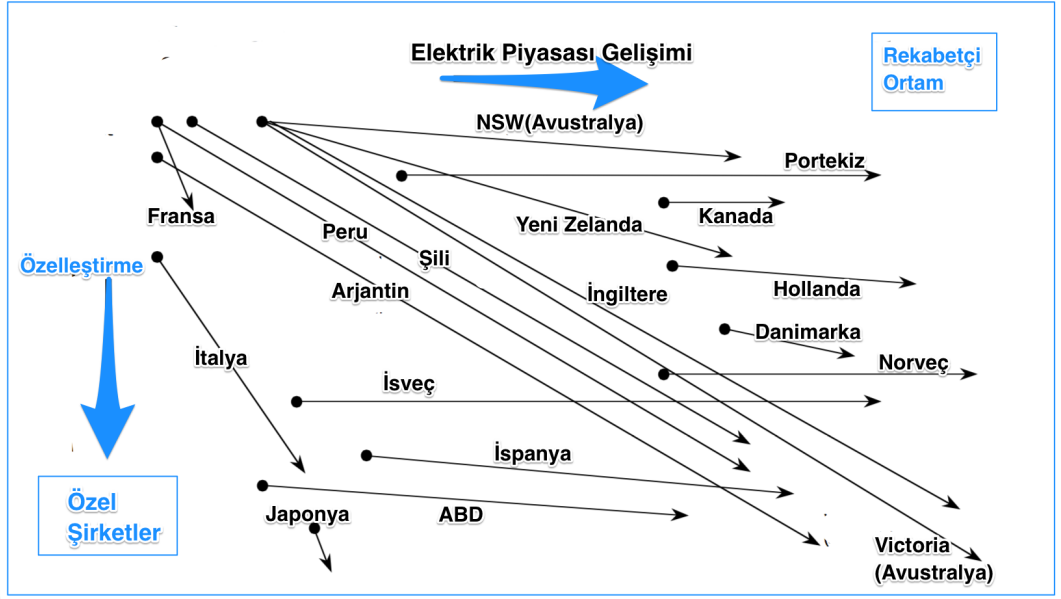
Dünya elektrik piyasasında 1990 yılından itibaren devlet tekelindeki işletmeler elektrik üretim, iletim ve dağıtım alanlarında hakimiyetlerini yitirmeye başlamışlardır. Bu dönemden önceki elli yıl boyunca genel eğilim elektriğin büyük yatırım isteyen santraller aracılığıyla üretilmesi olduğu için, elektrik üretimi bu yatırımı yapabilecek güce sahip olan devlet tekeli tarafından gerçekleşiyordu. Doğal gaz türbini gibi yeni teknolojiler sayesinde elektrik üretimi için gerekli santrallerin maliyeti ciddi şekilde düşmüştür. Bu durum dikey bütünleşik yapının değişmesine yol açmıştır (Boisseleau, 2004).

Buna ek olarak aşağıda sıralanan faktörler de dikey bütünleşik yapının değişmesinde etkili olmuştur (Sioshansi ve Pfaffenberger, 2006).

1.Elektrik üretim, dağıtım ve iletim hizmetlerinin tamamının tekel konumunda bir şirket tarafından yönetilmesi.

- **Kamu Borcu:** Bazı ülkelerde (Avustralya gibi) devletin borcunu azaltmak için gelir kaynağı yaratmak amacıyla elektrik üretimi, iletimi ve dağıtım alanlarında özelleştirmeye gidilmiştir.
- **Alt Yapı Yatırımlarının Eksikliği:** Gelişmekte olan ülkelerde serbestleşmeye geçilmesinin altında yatan önemli sebeplerden biri, dikey bütünleşik yapıda devlet tarafından karşılanan altyapı yatırımlarının yetersizliğidir. Elektrik piyasasında serbestleşme, yabancı yatırımcılara bu alanda yatırım yapma imkanı vermiştir.
- **Merkezi Yapıdan Kaynaklanan Sorunlar:** Dikey bütünleşik yapıda ülkelerin elektrik operasyonlarına ilişkin her türlü planlama, tahmin, yatırım ve yönetim tek yerden merkezi olarak yapılmaktaydı. Elektrik sektörünün büyümesiyle, karmaşık olan bu yapı gittikçe yönetilmez hale geldiği için merkezi olmayan bir yapıya geçiş zorunlu hale gelmiştir.

Ülkeler dikey bütünleşik yapıdan, daha rekabetçi ortama geçme amacıyla özelleştirme girişimlerinde bulunmaktadır. Hagler Bailly firması tarafından yapılan çalışma, dünya genelinde elektrik piyasalarının gelişimleri Şekil 3'te göstermektedir. Amerika Birleşik Devletleri ve Japonya elektrik piyasalarında özel şirketler daha ağırlıklıdır. Fransa, Peru, Şili elektrik piyasalarında ise dikey bütünleşik yapı daha belirgindir (Jentsch, 2001).



Kaynak: Jentsch,2001

Şekil 3. Dünya Elektrik Piyasalarının Gelişimi.

Dikey bütünleşik yapıdan kaynaklanan bazı problemleri çözmek üzere piyasalarda serbestleşmeye geçilmesine rağmen, elektrik piyasalarında serbestleşme yeni problemleri de beraberinde getirmiştir. Serbestleşmeye geçme sebeplerinin başında gelen piyasa katılımcıları arasında rekabetçi ortam yaratma sorunsalı, uzun yıllar dikey bütünleşik yapı içinde yer almış olan devlet yönetimindeki kurumların özelleştirilmesi ile çözülememiştir. Bu kurumlar serbest piyasa yapısına başlangıçta uyum sağlayamamıştır.

Amerika Birleşik Devletleri Kaliforniya eyaletinde yapılan serbestleşme girişimi başarısız olmuştur. Kaliforniya eyaletinde serbestleşme sonrasında elektrik piyasasının önde gelen üç kuruluşundan iki tanesi iflas etmiştir. Bu durum ciddi elektrik kesintilerine ve elektrik fiyatlarında kayda değer yükselişe yol açmıştır. Literatürde Kaliforniya krizi olarak adlandırılan olay ile

sonuçlanmıştır. Bu gibi problemlerin, piyasanın serbestleşmesinden ziyade serbestleşmeye geçiş sürecinin yanlış tasarlanmasından kaynaklandığı belirtilmektedir (Boisseleau, 2004).

Ülkeler, elektrik serbestleşme reformlarını kendi koşullarını göz önüne alarak yapmaktadır. Ülkelerin coğrafi, sosyo-ekonomik yapıları birbirinden farklı olduğundan ülke koşullarına göre elektrik piyasalarına geçiş zaman ve yöntem olarak değişim göstermektedir. Dünya genelinde bazı ülkelerin gün öncesi elektrik piyasalarına geçiş tarihleri Tablo 1’de gösterilmektedir. Genel olarak elektrik piyasasına geçiş süreci devlet mülkiyetindeki özelleştirmeler, elektrik reformlarının çıkarılması, elektriğin üretim, iletim ve dağıtım aşamalarının ayrılması, düzenleyici mekanizmalarının kurulması aşamalarını içermektedir. Bu bölümde genel olarak dünya genelinde elektrik piyasaları tanıtılıp, yapıları ve market çözümleri hakkında bilgiler verilmiştir.

Tablo 1. Dünya Genelinde Gün Öncesi Elektrik Piyasalarına Geçiş Tarihleri

| Ülke | Yıl | Piyasa Adı |
|------------|------|---|
| İngiltere | 1990 | England and Wales Electricity Pool |
| Norveç | 1992 | Nord Pool |
| İsveç | 1996 | Nord Pool |
| İspanya | 1998 | Operadora del Mercado Espanol de Electricidad |
| Finlandiya | 1998 | Nord Pool |
| ABD | 1998 | California Power Exchange (CalPX) |
| Hollanda | 1999 | Amsterdam Power Exchange (APX) |
| ABD | 1999 | New York ISO (NYISO) |
| Almanya | 2000 | Leipzig Power Exchange (LPX) |
| Almanya | 2000 | European Energy Exchange (EEX) |
| Danimarka | 2000 | Nord Pool |
| Polonya | 2000 | Polish Power Exchange, PolPX |
| ABD | 2000 | Pennsylvania, New Jersey, Maryland (PJM) |
| İngiltere | 2001 | UK Power Exchange (UKPX) |
| İngiltere | 2001 | Automated Power Exchange (APX UK) |
| Slovenya | 2001 | Borzen |
| Fransa | 2002 | Powernext |
| Avusturya | 2002 | Energy Exchange Austria (EXAA) |
| ABD | 2003 | ISO New England |
| İtalya | 2004 | Italian Power Exchange (IPEX) |
| ÇEK | 2004 | Operator Trhu s Elektrinou (OTE) |
| ABD | 2005 | Midwest ISO (MISO) |
| Belçika | 2006 | Belgian Power Exchange (Belpex) |

Kaynak: Weron, 2006

Avrupa piyasasında serbestleşme 1990 yılında İngiltere ve Galler'de başlamıştır. Avrupa 1992 yılında tek bir elektrik piyasası oluşturmak için üç amaç belirlemiştir. Bunlar elektrik piyasasında serbestleşme, paydaşların sisteme dahil olmasını sağlamak ve market içinde şeffaflığı sağlamaktır (Murray, 1999). İngiltere ve Galler'de elektrik hizmetlerinde üretim, iletim ve

dağıtım bölümleri ayrımı sağlanarak elektrik piyasasının serbestleştirilmesi yönünde ilk adım atılmıştır.

İngiltere ve Galler'de serbest elektrik piyasasına geçilmeden önce elektrik sektörü üç kurumdan oluşmaktaydı. Bunlar Merkezi Elektrik Üretim Kurulu (CEGB), Bölgesel şirketler (RECS) ve Elektrik Kurulu (The Electricity Council) kurumlardır. CEGB bölgesel şirketlere elektrik üretmek ile sorumludur. Bölgesel şirketler 32 kV ve altındaki gerilim seviyelerindeki elektriği dağıtmak ile sorumludur. CEGB başkanı, bölgesel şirketlerin başkanları ve sabit iki üyeden oluşan ve temel görevi sektörde arz güvenliğini sağlamak olan kurum Elektrik Kuruludur (Gündoğdu, 2008). 1989 yılında çıkarılan Elektrik Kanunu ile üretim National Power ve PowerGen şirketleri tarafından yapılmaya başlanmıştır (Börü, 2009). Dağıtım, 12 bölgesel şirketin mülkiyetinde kalacak şekilde pay edilmiş, iletim National Grid şirketinin sorumluluğuna verilmiştir.

İngiltere'de 1990-1994 yılları arasında elektrik şirketlerinin karları %108 artış göstermiş, aynı süre içerisinde elektrik şirketlerinin hisse senetlerinin değeri %170 oranında yükselmiştir (Şandır, 2007). Bu veri ışığında İngiltere'de elektrik piyasasının serbestleşme sürecinin başarılı geçtiği söylenebilir. Ancak, İngiltere'de elektrik piyasasına geçişi sürecini başarısız bulan görüşlerde mevcuttur. Bu görüşü savunanlara göre, İngiltere'de kurulan elektrik piyasası ile rekabetli yapı oluşturulmuş fakat bu yapı elektrik sistemini daha da riskli hale getirmiştir. Thomas Steven

“Electricity Liberalisation: The Beginning of The End” isimli raporunda elektrik fiyatlarındaki düşüşlerin küçük tüketiciye yansımayıp, sadece büyük tüketicilere yansıdığı bahsetmiştir (Steven, 2004).

İspanya serbest elektrik piyasa yapısına Compañia Operadora del Mercado Español de Electricidad (OMEL) piyasa işletmecisi adıyla 1998 yılında geçmiştir. OMEL spot ve vadeli piyasaları denetlemekten, yük dağıtımından ve uzlaştırmaktan sorumludur. İspanya elektrik piyasa düzeninde 50MW üzerinde üretim yapan üreticiler, eğer ikili anlaşma kapsamında değilse elektrik havuzuna teklif vermek zorundadır. Elektrik havuzuna verilen fiyatlar sonucunda bir marjinal fiyat belirlenir. Serbest tüketiciler, dağıtım şirketleri ve tedarikçiler elektrik alımı için teklif verebilirler. OMEL Avrupa'nın diğer elektrik piyasalarından sınırlı iletim kapasitesi nedeniyle izole yapıdadır (Steven, 2004).

Almanya 1998 yılında yürürlüğe giren “Enerji Ekonomisi Hukukunun Yeniden Düzenlenmesi” hakkındaki yasa ile serbest elektrik piyasa ekonomisine geçişe adım atmıştır. Bu yasa ile Almanya elektrik sektöründe üretim ve pazarlamayı rekabete açmış fakat iletim ve dağıtım aşamalarında tekel yapısını korumuştur (Ünal, 2007). Elektrik, 2000 yılının ortalarına kadar ikili kontratlar ile alınıp satılmıştır. 2000 yılının mayıs ayında APXDE (APX “Deutschland”) kurulmuş, aynı yılın haziran ve ağustos aylarında ise sırasıyla Leipzig Power Exchange (LPX) ve European Exchange (EEX) kurulmuştur.

LPX ve EEX ticaret hacimleri sürekli artarken, APXDE başarısız olmuş ve Aralık 2000'de işlemlerini durdurmuştur (Boisseleau, 2004).

İskandinav Havuzu (Nord Pool) elektrik piyasası oluşumu 1992 yılında Norveç'in elektrik alanındaki serbestleşme süreci ile başlamıştır. 1996 yılında İsveç, 1998 yılında Finlandiya, 2000 yılında Danimarka sisteme dahil olmuştur. Nord Pool ilk uluslararası elektrik market olma özelliği taşımaktadır. Avrupa'da bulunan enerji piyasaları Şekil 4'te verilmiştir (Schuttelaar, 2011).



Kaynak: Schuttelaar, 2011

Şekil 4. Avrupa Elektrik Piyasaları.²

² EPIAŞ, 2015 tarihinde PMUM tarafından yürütülen elektrik piyasası işletim faaliyetini devralmıştır.

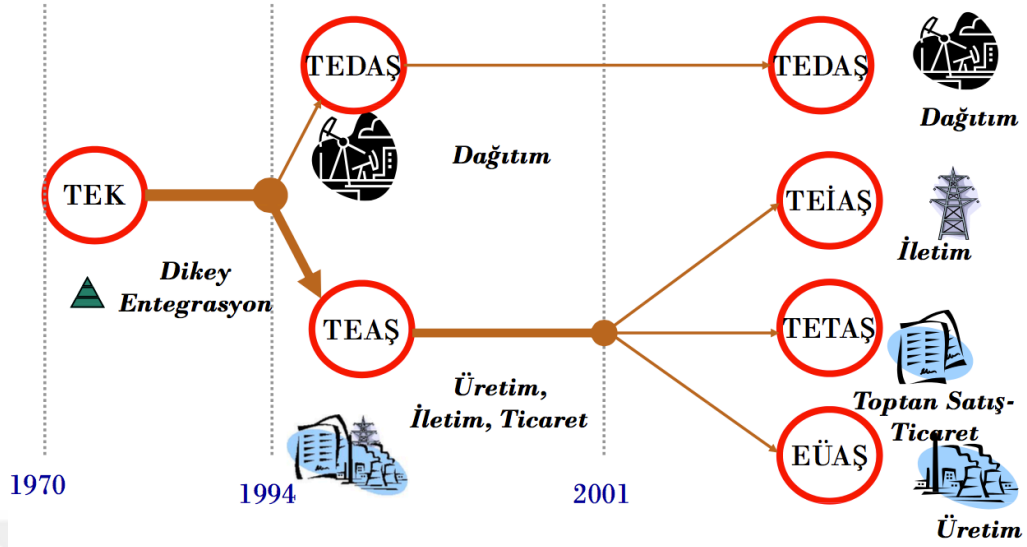
Amerika Birleşik Devletleri elektrik reformlarını diğer ülkelerden ayıran en önemli farklardan biri kamu işletmelerinin özelleştirme aşamasının olmamasıdır. ABD elektrik sektörü genelde özel şirketlerin ve belediyelerin elindedir. 1998 yılına kadar elektriğin %80'ni Pasifik Gaz ve Elektrik, Güney Kaliforniya Edison ve San Diego Gaz ve Elektrik firmaları karşılıyordu. Dikey bütünleşik yapının sonucu olarak bu işletmeler kendi üretim tesislerine, iletim ve dağıtım şebekelerine sahiptiler (Weinstein ve Hall, 2001). Pennsylvania-New Jersey-Maryland (PJM) marketi, ABD ve Dünyanın en büyük elektrik marketidir. PJM işlemlerine 1997 yılında başlamış ve 2000 yılında gün öncesi piyasa yapısı açılmıştır. PJM piyasa yapısı ikili anlaşmalar ve bir elektrik havuzundan oluşmaktadır. Kaliforniya elektrik krizi ABD'de olduğu kadar Dünya gündeminde de önemli bir yer işgal etmektedir. Toptan elektrik fiyatlarında %500 oranında artış görülmüş fakat perakende elektrik satış fiyatı sabit olduğundan, 1998 yılı öncesi elektriğin % 80'ni sağlayan şirketlerden Güney Kaliforniya Edison ve Pasifik Gaz şirketleri iflas etmişlerdir (Joskow, 2001).

Avustralya'da ulusal elektrik piyasasının kurulumu ile uzun vadeli kontratların yapılması, gün öncesi ve anlık piyasa oluşumu hedeflenmiştir (Murray, 1999). Avustralya'da serbest elektrik piyasasına geçiş 1998 yılında başlamış ve geçiş sonrasında elektrik fiyatları reel bazda %40 oranlarında düşmüş ve devletin maddi yükü azalmıştır (Şandır, 2007). Ulusal Elektrik Piyasası İşletme Limited Şirketi (NEMMCO) Avustralya elektrik piyasasını düzenler.

1.3. Türkiye Elektrik Piyasası Tarihi Gelişimi ve Elektrik Piyasası Yapısı

1.3.1. Tarihsel Gelişim

Türkiye’de elektrik ilk kez 1902 yılında Tarsus’ta su değirmenine bağlanan dinamo ile üretilmeye başlanmıştır. İstanbul, ilk defa 1914 yılında Silahtarağa teknik santralinden elde edilen elektriği kullanmaya başlamıştır. 1930 ile 1980 yılları arasında elektrik faaliyetleri dünya ile paralellik göstererek kamu tekeli ile yönetilmiştir. Kamu egemenliğindeki Türkiye Elektrik Kurumu (TEK) 1970 yılında kurulmuştur. TEK, 1994 yılında bakanlar kurulu kararı ile üretim ve iletimden sorumlu Türkiye Elektrik Üretim-İletim Anonim Şirketi (TEAŞ) ve dağıtımdan sorumlu Türkiye Elektrik Dağıtım Anonim Şirketi (TEDAŞ) olarak iki yapıya ayrılmıştır. 5 Şubat 2001 tarih ve 2001/2026 sayılı bakanlar kurulu kararı ile TEAŞ’ın yerini Türkiye Elektrik Üretim AŞ (EÜAŞ), Türkiye Elektrik İletim AŞ (TEİAŞ) ve Türkiye Elektrik Ticaret ve Taahhüt AŞ (TETAŞ) almıştır. 1970 ile 2001 yılları arasındaki elektrik piyasası gelişmeleri Şekil 5’te özetlenmektedir (Erten, 2012).



Kaynak: Erten, 2012

Şekil 5. 1970-2001 Yılları Arasında Türkiye Elektrik Piyasasındaki Önemli Gelişmeler.

Elektrik sektörünü yeniden yapılandıracak rekabete dayalı piyasa oluşumu 2001 yılında yayımlanan 4628 sayılı kanun ile başlamıştır. Bu kanun ile kamunun düzenleyici bir rol üstlendiği, rekabetin esas olduğu bir elektrik piyasası oluşturma sürecine girilmiştir. 14 Nisan 2009 tarih ve 27200 sayılı Elektrik Piyasası Dengeleme ve Uzlaştırma Yönetmeliği ile gün öncesi piyasasına geçme usulleri belirlenmiştir (Börü, 2009).

Elektrik piyasanın faaliyetlerinin düzenlenmesi ve denetimini sağlamak adına 2001 yılında Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu (EPDK) kurulmuştur. TEAŞ yerini TEİAŞ, TETAŞ ve EÜAŞ'a bırakmıştır. 30 Mart 2013 tarihli Resmi Gazetede yayımlanarak yürürlüğe giren 6446 sayılı Elektrik Piyasası Kanunu ile piyasa gerçekleşen mali uzlaştırma işlemleri ve piyasaların işletilmesi tanımlanmıştır. Bu kanun kapsamında Elektrik Piyasaları İşletme

Anonim Şirketi (EPIAŞ) kurulmuştur (Çetintaş ve Bicil, 2015). Türkiye elektrik piyasasında 2001 yılı sonrası gerçekleşen önemli olaylar Tablo 2’de verilmiştir.

Tablo 2. 2001-2015 Yıllarında Türkiye Elektrik Piyasasındaki Gelişmeler.

| | |
|-------------|--|
| 2001 | Doğal Gaz Piyasası Kanunu(No.4646) |
| 2001 | Elektrik Piyasası Kanunu(No.4628) |
| 2001 | EPDK'nın kurulması |
| 2005 | Yenilenebilir Enerji Kanunu (No.5346) |
| 2007 | Nükleer Enerji Kanunu (No.5654) |
| 2007 | Enerji Verimliliği Kanunu(No.5627) |
| 2007 | Jeotermal Kanunu (No.5686) |
| 2009 | Yeni Enerji Arz Güvenliği Strateji Dokümanı |
| 2011 | Gün Öncesi Piyasasının Açılması |
| 2012 | EÜAŞ özelleştirmeleri |
| 2013 | Yeni Elektrik Piyasası Kanunu(No. 6446) |
| 2015 | Enerji Piyasaları İşletme Anonim Şirketi (EPIAŞ) |

Enerji Piyasaları İşletme Anonim Şirketi (EPIAŞ), 14.03.2013 tarihli ve 6446 sayılı Elektrik Piyasası Kanunu ile 6102 sayılı Türk Ticaret Kanunu hükümlerine tabi olarak, 12 Mart 2015 tarihinde resmen kurulmuştur. EPIAŞ enerji piyasasının şeffaf, güvenilir ve etkin çalışmasından sorumludur.

1.3.2. Gün Öncesi Piyasası

Elektrikte ticareti genelde ikili antlaşmalar ile yapılırken serbestleşen piyasalar ile yerini gün öncesi piyasası, gün içi piyasası ve dengeleyici güç

piyasasına bırakmaktadır. Gün öncesi piyasası katılımcılarının bir sonraki günün her bir saati için alış-satış ve fiyat-miktar teklifleri verebildikleri piyasadır. Arz ve talebin kesişmesi ile Piyasa Takas Fiyatı (PTF) oluşur.

Elektrik piyasasında tek alıcı, ve satıcı modelinden serbest piyasa modeline geçişin ilk aşaması gün öncesi planlama sistemidir. Gün öncesi planlama sistemi 2009 tarihinde işlerlik kazanmıştır. 14 Nisan 2009 tarihli ve 27200 sayılı Resmi Gazetede yayımlanan Elektrik Piyasası Dengeleme ve Uzlaştırma Yönetmeliği gün öncesi planlama hakkında bilgi vermektedir.

- “Gün öncesi piyasasının alt yapısının kurulması ve işlerlik kazanmasına kadar gün öncesi dengeleme, gün öncesi planlama aracılığıyla gerçekleşir. Gün öncesi piyasanın işlerlik kazanacağı tarih en az 1 ay öncesinden Kurul Kararı ile ilan edilir.”

Piyasa katılımcılarına, ikili anlaşmalar dışında bir sonraki gün için elektrik alış verişi sağlayan gün öncesi piyasasına 14 Nisan 2011 tarih 3169-13 sayılı Kurul Kararı ile 1 Aralık 2011 tarihinde geçilmiştir. Gün öncesi planlama ile gün öncesi piyasası arasındaki belirgin fark, gün öncesi planlamaya katılımın zorunlu olması iken gün öncesi piyasasında katılımın zorunlu olmamasıdır.

Gün öncesi piyasasında, bir sonraki gün için tahmin edilen elektrik tüketim miktarına göre elektrik üretim yük miktarları ayarlanır ve ilgili saatler için fiyat teklifleri verilir. Fiyat teklifleri blok halinde veya saatlik olarak verilebilir. Blok halindeki verilecek teklifler büyük üreticiler için idealdir. İdeal

koşullarda verilen miktarların ve fiyatların bir gün öncesinden dengelenmesi beklenir.

Gün öncesi piyasasında işlemler saatlik bazda yapılır ve her bir gün saat 00:00'da başlayıp ertesi gün saat 00:00'da sona erer. Piyasa katılımcısı teklif vereceği gün için, bir önceki iş günü saat bazında tekliflerini piyasa işletmecisine bildirir. Piyasa işletmecisi bildirilen teklifleri optimizasyon aracı ile değerlendirip bir sonraki gün için piyasa takas fiyatını ve piyasa takas miktarını belirler. Fiyat teklifleri asgari 0 TL/MWh ile azami 2000 TL/MWh olarak belirlenmiştir (Çetintaş ve Bicil, 2015).

1.3.3. Gün İçi Piyasası

Gün içi piyasası (GİP), 1 Temmuz 2015 tarihi itibarıyla faaliyete başlamıştır. Gün içi piyasası, gün öncesi piyasası ile dengeleyici güç piyasası arasındaki bir spot piyasadır. Gün içi piyasası ile beraber piyasa katılımcıları portföylerini daha verimli kullanabileceklerdir (Kaya, 2015).

Piyasa katılımcıları gün öncesi piyasa kapsamında değerlendiremedikleri kapasitelerini gün içi piyasada değerlendirebilirler. Gün içi piyasa ile beraber Türkiye elektrik piyasası anlık alım satım yapılabilecek bir piyasa yapısına yaklaşmaktadır. GİP ile herhangi bir saattin elektrik fiyatı ilgili saatten 2 saat önce kapatılır. Mesela saat 16:00 için saat 14:00'a kadar ticaret yapılabilir. Piyasa katılımcıları gerçek zamana yakın ticaret imkanına kavuşarak santral arızalarını, tüketim miktarlarındaki ani değişimleri,

yenilenebilir enerji üretim miktarlarındaki değişimleri göz önüne alarak portföylerini dengeleyebileceklerdir.

1.3.4. Dengeleyici Güç Piyasası

Gün öncesi piyasasında oluşan fiyatlar ve tahmin edilen elektrik yük miktarları gün içerisinde farklılık gösterir. Öngörülemeyen bu farklılıkların bir çok nedeni olabilir. Elektrik üretim santrallerinde meydana gelebilecek teknik bir aksaklık taahhüt edilen elektriğin üretimini engelleyebilir ve gün öncesinden dengelenen piyasa değişir. Dengeleme güç piyasası gerçek anlamda ticaret için değil sistemin dengede olması için gereklidir.

3 Kasım 2011 tarih 28104 sayılı Resmi gazetede yayımlanan Dengeleme ve Uzlaştırma Yönetmeliği dengeleme güç piyasası hakkında bilgi vermektedir.

- “Gerçek zamanlı dengeleme; yan hizmetler ve dengeleme güç piyasasından oluşur. Dengeleme güç piyasası, Sistem İşletmecisine gerçek zamanlı dengeleme için en fazla 15 dakika içinde devreye girebilecek yedek kapasiteyi sağlar. “

Günün her bir saati için enerji açığı veya fazlası olma durumuna göre Yük Alma (YAL) veya Yük Atma (YAT) değerlendirmeleri yaparak yeni fiyat olan Sistem Marjinal Fiyatını (SMF) belirlenir. YAL, üretimin artırılarak veya tüketimin azaltılması ile enerji satılmasına denir. YAT, üretimin azaltılarak veya tüketimin artırılması ile enerji alınmasına denir.

İKİNCİ BÖLÜM

2. ELEKTRİK PİYASASINDA ELEKTRİK YÜK TALEP VE FİYAT TAHMİN YAKLAŞIMLARI

2.1. Elektrik Yük Talep ve Fiyat Tahmin Modellerin Önemi

Şirketler artan rekabet koşulları altında ayakta kalabilmek için etkin kararlar almak zorundadırlar. Geleceğe ilişkin verilecek kararlar işletmeler için belirsizlikler içerdiğinden, gelecek ile ilgili kararların alınma aşamasında çeşitli tahmin modelleri kullanılmaktadır. Elektrik piyasasında üreticiler, yatırımcılar ve tüketiciler gelirlerini maksimize etmek için elektrik yük talep ve fiyat tahmin modellerine ihtiyaç duyar. Elektrik yük talep ve fiyat tahmin modelleri ile piyasa katılımcıları üretecekleri elektrik miktarını planlayabilir, güç sistemlerinin daha güvenli çalışması sağlanabilir, üretilen elektrik yük miktarında oluşabilecek değişimlere daha hazırlıklı olabilir (Shahidehpour v.d., 2002).

Risk analizlerinde de tahmin modellerinden faydalanılmaktadır. Elektrik talep ve fiyatlarında oluşan belirsizlikler elektrik fiyat ve talep tahmin başarısızlık riskini artırmaktadır. Elektrik fiyat ve talep tahmin risklerinin azaltılması için başarılı sonuç veren tahmin modellerine olan ihtiyaç artmıştır (Berk, 2015).

2.2. Genel Tahmin Model Yaklaşımları

Elektrik fiyat ve yük talep tahmin modelleri için kullanılan yöntemler paralellik gösterir. Tahmin modelleri genel olarak istatistiksel metotlar (regresyon, zaman serileri gibi) ve yapay zeka metotları (yapay sinir ağları, destek vektör makinaları, bulanık mantık gibi) şeklinde gruplandırılır. İstatistiksel metotlar lineer olmayan durumlardaki başarısızlığı nedeniyle eleştirilir. Yapay zeka metotları ise karmaşık ve lineer olmayan durumlarda başarılı sonuçlar vermeleri nedeniyle tercih edilir. Yapay zeka metotları, yapay sinir ağları, genetik algoritmalar, bulanık mantık, konuşma anlama, örüntü tanıma gibi alt başlıklara ayrılmıştır. Yapay sinir ağları ise yapay zeka metotları arasında en fazla araştırılan konulardan biridir (Weron, 2006).

Elektrik fiyat ve yük talep tahmin modelleri, tahmin zamanına göre kısa vadeli, orta vadeli ve uzun vadeli tahminler şeklinde gruplanır. Uzun vadeli tahmin modeller yıllık tahminleri içerir. Uzun vadeli tahminler daha çok yatırım kararlarının verilmesine yardımcı olmak için kullanılır. Orta vadeli tahminler, bir yıldan az bir aydan fazla tahmin sürelerinde kullanılır. Orta vadeli tahminler portföy yönetimi için kullanılır. Kısa vadeli tahminler haftalık, günlük veya saatlik tahminleri içerir. Kısa vadeli tahminler, elektrik piyasası işletmeleri tarafından üretim ve alım kararlarının verilmesine yardımcı olur (Berk, 2015).

2.2.1. Elektrik Yük Tahmin Yaklaşımları

Kalman filtre, otoregresif hareketli ortalamalar modelleri, lineer regresyon yöntemleri elektrik yük tahmini için kullanılan modellerdendir. Yapay zeka metotları ise lineer olmayan karakteristikleri nedeniyle son zamanlarda tercih edilmeye başlanmıştır. Elektrik yük talep tahmin modellerinde, üzerinde en fazla durulan yöntemlerden yapay sinir ağları ile yapılan ilk çalışma 1996 yılında Czernchow v.d. tarafından yayımlanan "Short term electrical load forecasting with artificial neural networks" olmuştur (Hippert v.d., 2001).

Alfares ve Nazeeruddin elektrik yük tahmin modelleri üzerine yaptıkları araştırma ve kıyaslama çalışmasında elektrik yük talep tahmin modellerini; çoklu regresyon, en küçük kareler farkı, adapte olabilen yük tahmin modelleri (adaptive load forecasting), stokastik zaman serileri, bulanık mantık (fuzzy logic), yapay sinir ağları ve bilgi bazlı uzmanlık (knowledge based expert) başlıklarında incelemiştir (Alfares ve Nazeeruddin, 2002).

Hann v.d. elektrik yük tahmin metotlarını; regresyon temelli, zaman seri temelli ve yapay zeka temelli olmak üzere üç başlıkta incelemiştir. Yapay zeka başlığını ise yapay sinir ağları, destek vektörler ve melez (hybrid) yöntemler şeklinde gruplandırmıştır (Hahn v.d., 2009).

Mandal v.d. elektrik yük talep tahmin metotlarını lineer regresyon, zaman serileri, kalman filtre metotları, veri madenciliği yöntemleri gibi başlıklarda gruplamıştır (Mandal v.d., 2006).

2.2.2. Elektrik Fiyat Tahmin Yaklaşımları

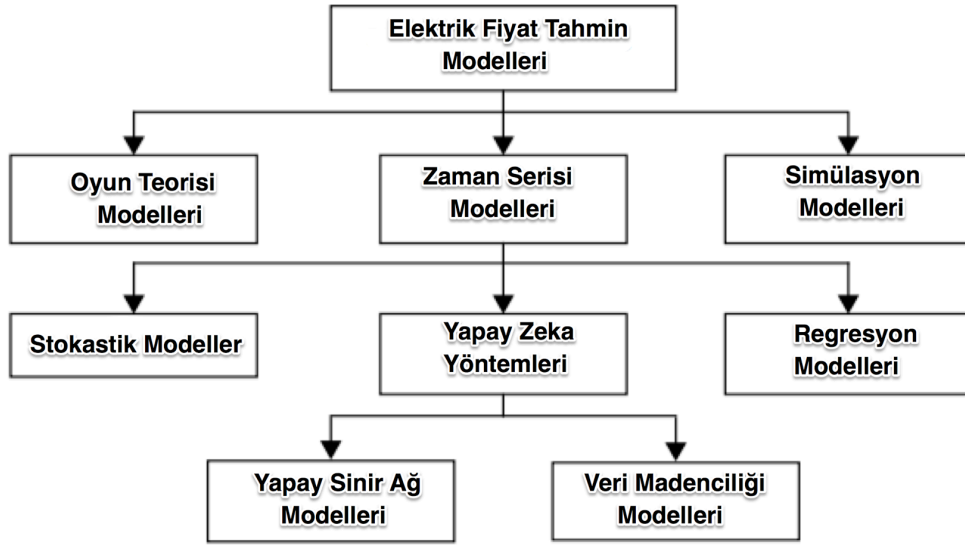
Elektrik fiyat tahmin metotları, elektrik yük talep metotları ile benzerlik gösterir. Elektrik fiyat tahmini, elektrik yük tahminine göre daha zordur (Bunn, 2000). Fiyatlamalardaki stratejilerin daha karmaşık olması, fiyat gibi daha karmaşık bir parametrenin modele dahil olması elektrik fiyat tahmin modellerinin başarısını olumsuz etkiler.

Elektrik fiyat tahmin modelleri; zaman serileri metotları (Nogales v.d., 2002), ajan bazlı modelleme (Bunn, 2000), GARCH modeller (Garcia v.d., 2005), wavelet dönüşümünü kullanan modeller (Conejo v.d., 2005), ARIMA modeller ve yapay sinir ağları başlıklarında gruplanabilmektedir.

Weron fiyat tahmin modellerinde kullanılan yöntemleri; regresyon metotları, benzer günler (similar-day), ARMA modelleri ve yapay zeka metotları (yapay sinir ağları, destek vektörler ve bulanık mantık) başlıklarında gruplandırır (Weron, 2006).

Aggarwal v.d., elektrik fiyat tahmin modelleri ile ilgili yaptığı çalışmada elektrik fiyat tahmin modellerini; oyun teorisi modelleri, zaman seri modelleri ve simülasyon modelleri başlıklarına ayırmıştır. (Aggarwal v.d., 2009) Oyun

teorisi modellerinde Nash dengesi, Cournot modeller ve Bertand modelleri işlenmiştir. Simülasyon modelleri için yeterli verinin bulunmamasının önemli bir sorun teşkil ettiğini belirtmiştir. Zaman seri modellerini ise regresyon modelleri, stokastik modelleri ve yapay zeka başlıklarına ayırır. Stokastik modeller, AR (*autoregressive*), MA (*moving average*), ARMA (*autoregressive moving average*), ARIMA (*autoregressive integrated moving average*), GARCH (*generalized autoregressive conditional heteroskedastic*) metotlarını içerir. Yapay zeka modellerini ise veri madenciliği yöntemleri ve yapay sinir ağ modelleri olarak gruplandırır. Aggarwal v.d. tarafından yapılan literatür çalışması sonunda gruplandırılan elektrik fiyat tahmin modelleri Şekil 6'da verilmiştir.



Şekil 6. Elektrik Fiyat Tahmin Modelleri.

Tahmin yöntemlerinde farklı modellerin beraber kullanılarak oluşturulan melez (hybrid) modeller elektrik fiyat tahmininde kullanılan yöntemler arasındadır. Fiyat tahmin metotları için kullanılan farklı yöntemlerin beraber kullanılması ile başarılı tahmin modelleri elde edilebilir. Örneğin ARIMA ve yapay sinir ağları beraber kullanılarak Brezilya elektrik marketi için oluşturulan elektrik fiyat tahmin modelinin ARIMA, GARCH veya yapay sinir ağlarından herhangi birini yalnız kullanarak oluşturulan modellere göre daha başarılı olduğu belirtilir (Filho v.d., 2014).

2.3. Yapay Sinir Ağları Yaklaşımı

İnsan beyninin düşünme yetisi, Plato (İ.Ö 427-327) ve Aristoteles (İ.Ö 384–322) zamanlarından itibaren araştırılmaktadır. İnsanoğlunun öğrenme özelliği ve eski bilgilerden yenilerini üretebilmesi konusu yıllarca bilim adamlarının da ilgi odaklarından olmuştur. Beynin çalışma mekanizmaları araştırılarak bir çok modeller ortaya çıkarılmıştır. Bu modellerden biri de yapay sinir ağlarıdır. Yapay sinir ağları sinir hücrelerinin çalışma mekanizmasını taklit ederek öğrenme, tahmin yapma gibi yetenekleri kazanan bilgi işleme sistemleridir.

McCulloch ve Pitts tarafından 1943 yılında yapılan çalışmaların yapay sinir ağlarının ve yapay zeka disiplinlerini doğuran çalışma olarak kabul edilir. 1957 yılında Rosenbalt tarafından yapılan çalışmalar ile daha popüler hale gelen yapay sinir ağları, Minsky ve Papert'in 1969 yılında yapay sinir ağlarının basit matematik problemlerini (örneğin XOR problemi) çözemediğini

göstermesi ile yapay sinir ağları üzerinde yapılan çalışmalar azalmaya başlar. 1982 yılında Hopfield, 1986 yılında Rumelhart ve McClelland çalışmaları ile yapay sinir ağları üzerinde yapılan çalışmalar tekrar ivme kazanır. Yapay sinir ağları konseptinin başlangıç ve gelişimi Tablo 3'te özetlenmektedir.

Tablo 3. Yapay Sinir Ağları Konseptinin Tarihsel Gelişimi.

| | |
|-------------|--|
| 1943 | Warren McCulloch ve Walter Pitts neurologic network konseptini ileri sürdü |
| 1949 | Donald O. Hebb, Hebbian kuralını ileri sürdü. |
| 1951 | Marvin Minsky neronbilgisayarı konseptini geliştirdi. |
| 1957 | Frank Rosenblatt ve Charles Wightman ilk neurobilgisayarı geliştirdi. |
| 1969 | M.Minsky ve S. Papert sinir ağ modelinin, XOR problemini çözemediğini gösterdi. |
| 1982 | Teuvo Kohonen self-organizing feature maps(SOM) ileri sürdü. |
| 1985 | J.Hopfield travelling salesman probleminin hopfield net ile çözülebileceğini gösterdi. |
| 1986 | Geri yayılım algoritması geliştirildi. |
| 1986 | Linear olmayan problemler çoklu sinir ağları ile çözülmeye başlandı. |
| 1986 | Marvin Misnky negatif etkisi kaybolmaya başladı. |

Günümüzde yapay sinir ağları, tıp alanı (*kanserli hücre analizi, tıbbi sinyal analizi gibi*), savunma sanayisi (*nesne görüntü sistemleri, hedef izleme*), haberleşme, finans, ekonometri gibi bir çok alanda kullanılmaktadır. Verilerin sınıflandırılması, öğrenme, anormallikleri belirlemede ve tahmin problemlerinde yapay sinir ağlarının kullanımı görülür. Yapay sinir ağlarının en önemli kullanım alanı tahmin modelleridir (Zhang G. P., 2004).

Yapay sinir ağlarının günümüzde çok farklı alanlarda kullanılmasının arkasında, doğrusal olmayan bir model olması ve algoritmalar ile öğrenme

özelliğine sahip olması gelmektedir. Ayrıca istatistiksel modellerde olduğu gibi analizden önce sağlanması gereken varsayımların olmaması, kullanılacak verilerde bilgi kaybı yaşanmaması ve deneme yanılma yoluyla uyarlanabilen modeller olmaları nedeniyle tercih edilmektedirler. Yapay sinir ağlarının genel avantajları aşağıdaki gibi sıralanabilir (Haykin, 1999).

- Lineer olmayan yapıda olması
- Girdi ve çıktı eşleştirmeleri ile tasarlanabilmesi
- Adapte olabilmesi
- Hataya karşı toleranslı olması

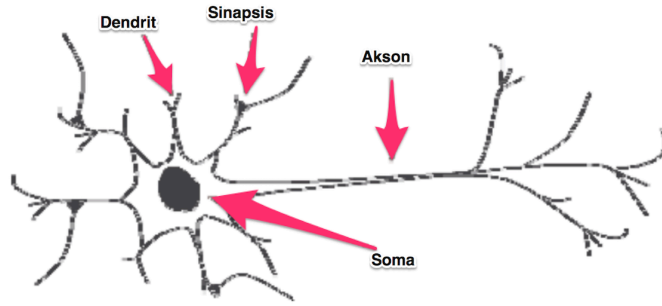
2.3.1. Biyolojik Sinir Hücre Yapısı

Yapay sinir ağlarının çalışmasını anlayabilmek için biyolojik sinir hücre yapısına kısaca bakmak faydalı olacaktır. Biyolojik sinir sisteminin temel yapı taşı nöronlardır. İnsan sinir sisteminde yaklaşık 100 milyar nöronun olduğu tahmin edilir. Her bir nöron 50,000-250,000 arasında değişen nöron ile bağlantılıdır. Nöronlar dört ana bölümden oluşmaktadır.

- Dendritler
- Hücre Gövdesi (Soma)
- Aksonlar
- Sinapsis

Dendritler, sinir hücresinin ucunda bulunan yapılardır. Dendritlerin görevi bağlı olduğu diğer nöronlardan veya duyu organlarından gelen sinyalleri çekirdeğe iletmektir. Soma bölgesinde çekirdek ve hücrenin yaşamsal işlevlerini sağlayan sistemler bulunur. Çekirdek denritlerden gelen sinyalleri

bir araya toplayarak aksonlara iletir. Aksonlar sinyalleri nöronun ucunda bulunan bağlantılara gönderir. Şekil 7, biyolojik sinir hücresinin dört ana bölümünü gösterir.



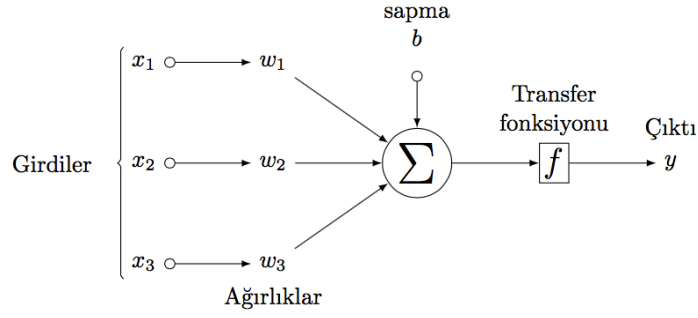
Şekil 7. Biyolojik Sinir Hücresi.

2.3.2. Yapay Sinir Hücresinin Yapısı

Biyolojik sinir hücresini referans alan yapay sinir hücreleri 5 farklı bileşenden oluşur.

- Girdiler
- Ağırlıklar
- Birleştirme fonksiyonu
- Transfer fonksiyonu
- Çıktılar

Yapay sinir hücresinin girdileri, ağırlıkları, birleştirme fonksiyonu, transfer fonksiyonu ve çıktılar arasındaki matematiksel model Şekil 8'de verilmiştir.



Şekil 8. Yapay Sinir Hücresinin Matematiksel Modeli.

Yapay sinir hücresinde girdiler ve çıktı arasındaki formül aşağıdaki gibidir.

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

x_1, x_2, \dots, x_n girdiler, w_1, w_2, \dots, w_n ağırlıklar, b sapma değeri, f transfer fonksiyonu ve y çıktıdır. Yapay sinir hücrelerinde girdiler ağırlıklar ile çarpılıp toplandıktan sonra transfer fonksiyonuna girdi olarak kullanılır. Transfer fonksiyonun çıktısı hücre çıktısını oluşturur. Doğrusal fonksiyonu, adım fonksiyonu, sigmoid fonksiyonu ve tanjant hiperbolik fonksiyonu genel olarak kullanılan transfer fonksiyonlarıdır. En çok tercih edilen transfer fonksiyonu sigmoid fonksiyonudur. Yapay sinir ağlarında genelde sigmoid fonksiyonların tercih edilmesinin sebebi sınırlayıcı özelliğe sahip olmasıdır. Sinir hücrelerinin çıktılarının sürekli artan veya azalan bir özellik göstermesi engellenerek ağın daha dengeli davranış sergilenmesi sağlanır. Sigmoid fonksiyon aşağıdaki gibi formüle edilir.

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

Yapay sinir ağlarında nihai amaç, ağ sonucu ile olması gereken sonuç arasındaki hatanın minimize edilmesidir. Ağ sonucu ile olması gereken sonuç arasındaki fark aşağıdaki formül ile hesaplanır.

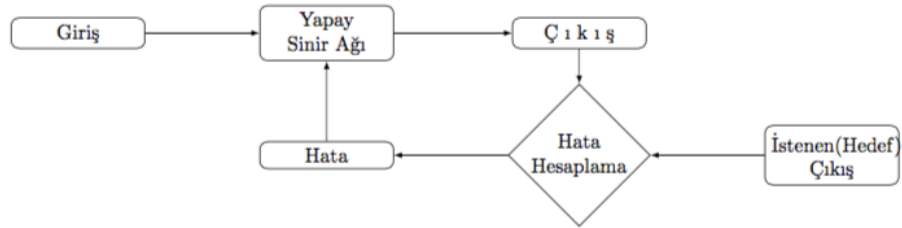
$$\varepsilon = \frac{1}{2} \sum_{k=1}^n (o_k - t_k)^2 \quad (3)$$

Ağdaki toplam çıktı sayısı n ile gösterilmiş, o_k ağdaki her bir k değeri için çıktıyı gösterir, t_k her bir k değeri için olması gereken hedef değeri gösterir. Olması gereken hedef değer ile ağın çıktıları arasındaki fark ağın performansını belirler.

2.3.3. Yapay Sinir Ağlarının Sınıflandırılması

2.3.3.1. Öğrenme Algoritmalarına Göre Sınıflandırma

Gözetmeli Öğrenme: Gözetmeli öğrenme yönteminde, sistem farklı veriler ile beslenerek model sonuçları oluşturulur ve bu sonuçlar hedef çıktılar ile karşılaştırılır. Oluşan hatalar sistem tarafından minimize edilmeye çalışılır. Gözetmeli öğrenme yönteminin çalışma prensibi Şekil 9'da gösterilmektedir.

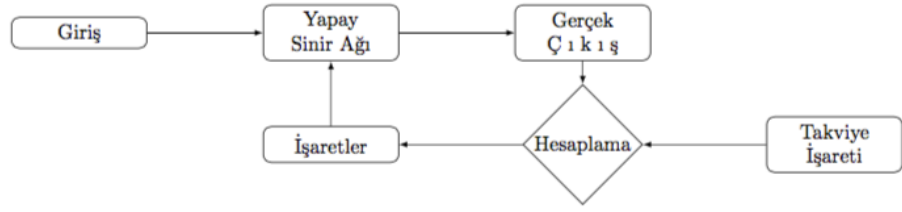


Şekil 9. Gözetmeli Öğrenme.

Windrow-Hoff tarafından geliştirilen delta kuralı ile Rumelhart ve McClelland tarafından geliştirilen genelleştirilmiş delta kuralı(geri besleme) gözetmeli öğrenme yöntemine örnektir. Delta kuralı sinir hücresinin çıktısı ile istenilen çıktı arasında oluşan hatanın azaltılması prensibine dayanmaktadır.

Gözetmensiz Öğrenme: Gözetmensiz öğrenmede hedef çıktılar verilmez, ağın kendi içinde verilen girdilerden bir şablon oluşturması beklenir. Uyumlu Rezonans Teori (*Adaptive Resonance Theory*) ve Kendi Kendine Öğrenen Haritalar (*Self Organizing Map*) danışmansız öğrenen yapay sinir ağ modelleridir. Uyumlu Rezonans Teorisi beynin bilgileri sınıflandırma, kategorilere ayırma ve değişen ortamlarda olayları ve nesnelere tahmin edebilme gibi özelliklerini referans alarak geliştirilen bir ağ modelidir (Grossberg, 2013). Kendi Kendine Öğrenen Haritalar çok boyutlu veri kümelerinden genelde 2 boyuta indirgenmiş bilgiler üreten yapay sinir ağ modelidir (Wang v.d., 2012).

Kuvvetlendirmeli Öğrenme: Kuvvetlendirmeli öğrenme, gözetmeli öğrenmenin özel bir halidir. Ağa hedef çıktılar yerine, ağın çıktılarının ne ölçüde doğru olduğunu belirten dereceler verilir. Şekil 10, kuvvetlendirmeli öğrenme modelini gösterir.

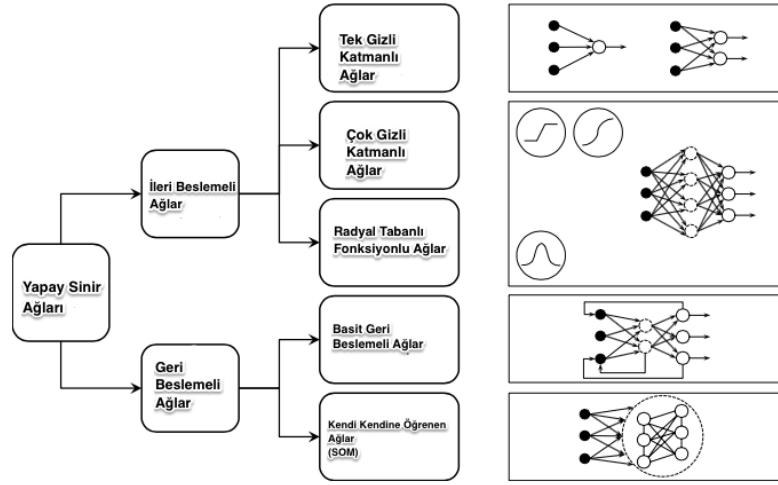


Şekil 10. Kuvvetlendirmeli Öğrenme.

Hinton ve Sejnowski tarafından geliştirilen Boltzman kuralı, kuvvetlendirmeli öğrenme modeline örnektir.

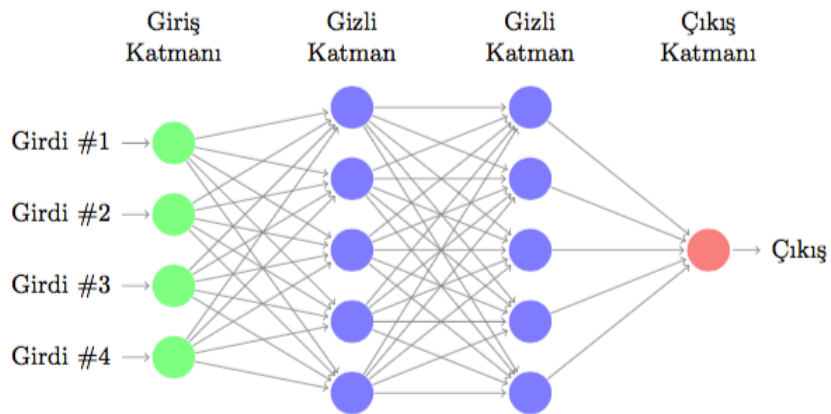
2.3.3.2. Yapılarına Göre Sınıflandırma

Yapay sinir ağları, hücreler arasındaki bağlara göre ileri beslemeli ve geri beslemeli sinir ağları olarak ikiye ayrılır (Jain v.d., 1996). İleri beslemeli sinir ağları yapılarına göre tek gizli katmana sahip ağlar, çok gizli katmana sahip ağlar ve radyal taban fonksiyonuna sahip ağlar olmak üzere üç başlıkta incelenir. Geri beslemeli sinir ağları ise basit geri beslemeli ağlar ve kendini organize eden ağlar olmak üzere iki başlıkta incelenebilir (Weron, 2014). Şekil 11, yapay sinir ağlarının yapılarına göre sınıflandırılmalarını göstermektedir.



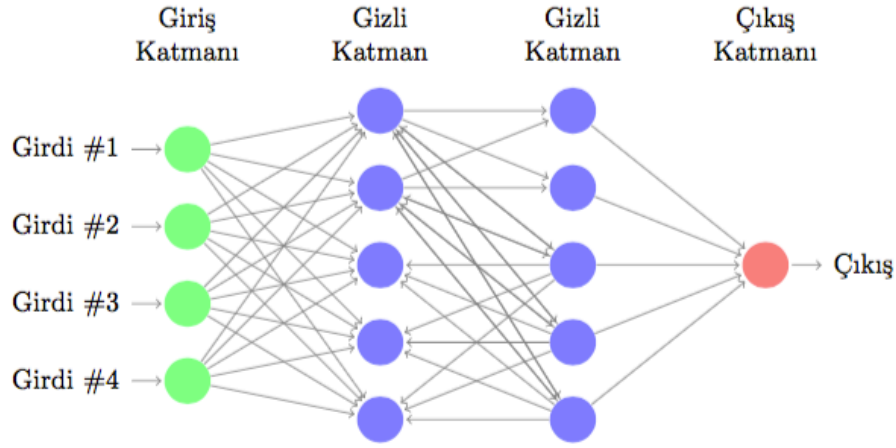
Şekil 11. Yapay Sinir Ağlarının Sınıflandırılması.

- **İleri Beslemeli Ağlar:** İleri beslemeli sinir ağlarında giriş katmanından çıkış katmanına doğru tek yönlü hareket vardır. Giriş katmanı dış ortamdan aldığı bilgileri, gizli katmana iletir. Bilgiler gizli ve çıkış katmanında işlenerek ağın çıktısı hesaplanır. Şekil 12, ileri beslemeli sinir ağında bilginin giriş katmanından çıkış katmanına doğru olan akışını gösterir.



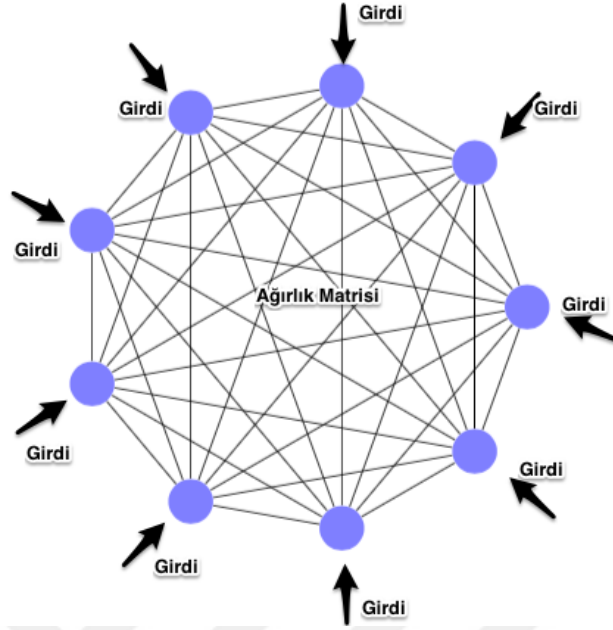
Şekil 12. İleri Beslemeli Yapay Sinir Ağı.

- **Yinelenen Sinir Ağları:** Yinelenen sinir ağları, gizli katmanların ve çıkış katmanların çıktılarının önceki katmanları besleyebildikleri ağ yapılarıdır. İleri veya geri yönlü bilgi aktarımı gerçekleştirilebilir. Şekil 13, yinelenen yapay sinir ağlarında bilgi akışını göstermektedir.



Şekil 13. Yinelenen Yapay Sinir Ağı.

Hopfield tarafından 1980 yılında geliştirilen Hopfield ağında her birim diğerine bağlı, giriş ve çıkış katmanları aynı ve farklı katmanlar bulunmamaktadır. Yinelenen sinir ağlarından Hopfield ağlarında bilgi iki yönlü akmaktadır. Şekil 14, Hopfield sinir ağ yapısını gösterir. Hopfield ağında örnek bir desen verilir ve bu desene en çok benzeyen girdiler bulunmaya çalışılır.



Şekil 14. Hopfield Ağı.

2.3.3.3. Öğrenme Algoritmaları Sınıflandırma

Yapay sinir ağlarında genel öğrenme yolu, çıktı katmanından başlayarak gizli katmana doğru hataların hesaplandığı geri besleme tekniğidir (Rumelhart v.d., 1986). Rumelhart tarafından geliştirilen geri besleme tekniği ileri beslemeli çok katmanlı sinir ağlarında genel kabul görmüş kullanıma sahiptir. Yapay sinir ağının öğrenmesi, ağdaki sinir hücreleri arasındaki ağırlıkların değiştirilerek ağın çıktısının istenilen hedefe yakın olunmasıyla ilişkilidir. Hedef çıktı ile ağ çıktısı arasındaki oluşacak hataların en aza indirmek ve geri yayılım tekniğinin performansını artırmak amacıyla doğrusal olmayan farklı optimizasyon yöntemleri ileri sürülür.

Lahmiri, optimizasyon öğrenme yöntemlerini buluşsal (heuristic) teknikler ve sayısal yöntemler olmak üzere iki başlıkta inceler. Buluşsal

teknikler, gradyan azalımı (gradient descent), adapte olabilen öğrenme(adaptive neural network), momentum ile gradyan azalımı (gradient descent with momentum) ve resilient algoritmalarını içerir (Lahmiri, 2011). Sayısal optimizasyon teknikleri Quasi-Newton ve Levenberg-Marquard algoritmalarını içerir. Fine ve Terrence ise yapay sinir ağları algoritmalarını gradyan azalımı (gradient descent), eşlenik gradyan (conjugate gradients), Quasi-Newton ve Levenberg-Marquardt olmak üzere dört gruba ayırır (Fine, 1999).

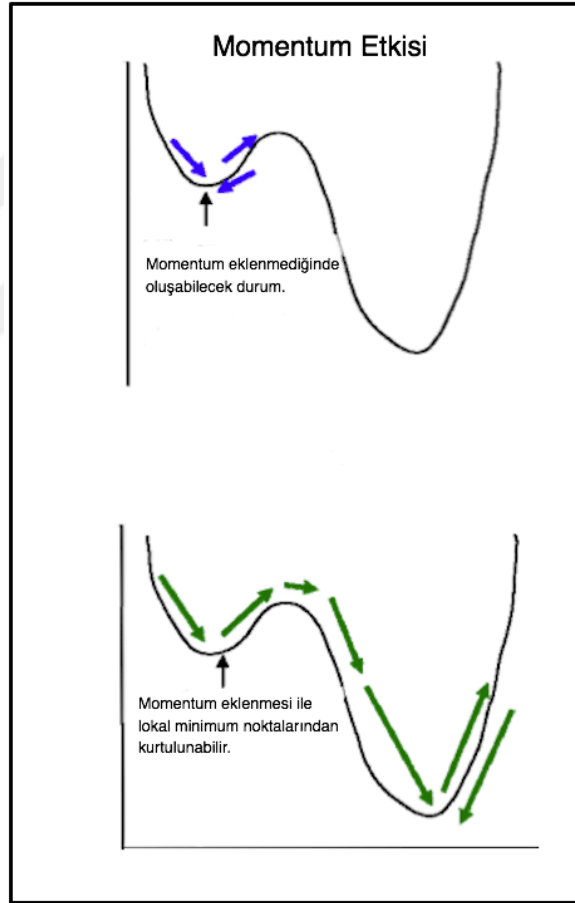
Gradyan Azalımı (Gradient Descent): Gradyan azalımı (gradient descent), rastgele bir başlangıç noktasından başlayarak her girdi için yapay sinir ağının istenen çıktıyı üretmesi için ağın ağırlık matrisini değiştirmesi üzerine kurulu bir algoritmadır.

$$\Delta w_k = -\alpha_k g_k \quad (4)$$

Yapay sinir ağında, Δw_k ağırlık değişimlerini gösteren vektör, g_k k anındaki değişim, α_k öğrenme katsayısı göstermektedir. Öğrenme katsayısı, deneme yanılma ile değiştirilebileceği gibi adapte olacak şekilde tasarlanabilir. Öğrenme katsayısı α_k çok büyük veya küçük olmamalıdır. Büyük α_k değerinde ağdaki ağırlık vektörünün değerlerinde sapmalara neden olacağından ağda istenen öğrenme sağlanmaz. Küçük α_k değeri ağın öğrenmesini yavaşlatır (Moinuddin v.d., 2014).

Momentum ile Gradyan Azalımı (Gradient Descent Momentum):

Gradyan azalımı (gradient descent) algoritmasının dezavantajı düşük öğrenme yetisi ve ağ hatasının lokal minimumda kalmasıdır (Azar, 2013). Yapay sinir ağlarında amaç global minimum ağ hatasının bulunmasıdır. Yapay sinir ağlarında lokal minimum noktalarında oluşabilecek osilasyonlar Şekil 15'te gösterilmektedir.



Kaynak: Yan, 2009

Şekil 15. Momentum Etkisi.

Yapay sinir ağının osilasyona girmesini engellemek ve ağın daha hızlı eğitilmesi için gradyan azalımı algoritmasına bir önceki ağ hücreleri

arasındaki ağırlığın değişimi ile orantılı olarak momentum eklenir. Gradyan azalım algoritmasına momentum parametresi eklenmiş hali aşağıdaki formülde gösterilmektedir.

$$\Delta w_k = -\alpha_k g_k + p\Delta w_{k-1} \quad (5)$$

Momentum parametresi olarak kullanılan p değeri, Gradient Descent algoritmasına eklenmiştir.

Broydan, Fletcher, Goldfarb ve Shanno (BFGS) Algoritması:

Quasi-Newton, Gradient Descent metotlarına kıyas ile ulaşılmak istenen ağırlık vektörüne daha hızlı yaklaşır (Fine, 1999). Gradient Descent ve Gradient Descent Momentum, yapay sinir ağlarında hücreler arasındaki ağırlıkların oluşturduğu ağırlık vektöründeki değişimle birinci dereceden türevler ile ele alır. Quasi-Newton metodu ise ağırlık vektöründeki değişimleri ikinci dereceden türevler ile inceler. Ağın ağırlık değeri, ikinci dereceden Taylor serileri ve Newton ağırlık değişimi ile hesaplanır.

$$\Delta w H(w_i) = -\nabla f(w_i) \quad (6)$$

Δw sinir ağındaki hücreler arasında güncellenmiş ağırlıkların hesaplanması için kullanılır.

$$w_{i+1} = w_i + \Delta w \quad (7)$$

Elde edilen ağırlık değeri ile hata oranı karşılaştırılır. Hatanın belirli bir seviyenin altında olduğu durumda ağ başarılı kabul edilip başarılı ağırlık vektörü ağ tarafından kullanılır.

$$\|\nabla f(w_i)\| < \varepsilon \quad (8)$$

Eğer Hessian matrisin(ikinci dereceden türev matris) determinantı sıfıra eşit olmadığı kabul edilirse, matrisin tersi alınabilir.

$$\Delta w = -\nabla f(w_i)H(w_i)^{-1} \quad (9)$$

Quasi-Newton metodunun özelleşmiş Davidon–Fletcher–Powell, Broyden's method, Broydan, Fletcher, Goldfarb ve Shanno (BFGS) gibi farklı yöntemleri bulunmaktadır. Broydan, Fletcher, Goldfarb ve Shanno (BFGS) ise en başarılı yöntem olarak gösterilir (Prasad v.d., 2011).

Levenberg-Marquardt: Levenberg-Marquardt algoritması Gradient Descent ve Quasi-Newton metodlarının kombinasyonu olarak görülür. Ağ performansı hedef çıktı ile ağ çıktısı arasındaki kareler farkının minimize edilmesi ile orantılıdır.

$$F(x) = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^m [f_i(x)]^2 \quad (10)$$

Levenberg-Marquardt algoritmasında Hessian matris hesaplanmayıp, Hessian matrisin yaklaşık değeri kullanılarak ağın öğrenme zamanı

hızlandırılır (Talaee, 2014). Levenberg-Marquardt algoritmasında Jacobian matris kullanarak hesaplanan Hessian matris aşağıdaki gibi gösterilebilir.

$$H = J^t J + \mu I \quad (11)$$

Hessian matrisi ile yeni hesaplanan ağırlık vektörü aşağıdaki formülde verilmiştir.

$$w_{k+1} = w_k - [J^t J + \mu I]^{-1} J^t e \quad (12)$$

w ağırlık vektörü, I birim matrisi, μ kombinasyon katsayısı, J Jacobian matrisi, e hata vektörünü ifade eder. Eğer μ değeri büyük seçilirse yukarıdaki algoritma gradient descent gibi davranırken, küçük μ değeri seçildiğinde yukarıdaki formül Newton metodu gibi davranır (Kourentzes v.d., 2014).

Bu algoritmalar dışında Conjugate gradient, Resilient yöntemleri gibi bir çok farklı öğrenme algoritmasında bulunmaktadır. Tablo 4, yapay sinir ağlarında genel olarak kullanılan ve bu çalışmada da kullanılacak algoritmaları göstermektedir.

Tablo 4. Yapay Sinir Ağları Öğrenme Algoritmaları.

| Algoritma | Yöntem |
|---|---|
| Gradient Descent (Gradyan Azalımı) | $w_{k+1} = w_k - \alpha_k g_k$ |
| Gradient Descent Momentum (Gradyan Azalımı Momentum) | $w_{k+1} = w_k - \alpha_k g_k + p \Delta w_{k-1}$ |
| Broydan, Fletcher, Goldfarb ve Shanno (BFGS) | $w_{k+1} = w_k - \nabla f(w_i) H(w_i)^{-1}$ |
| Levenberg-Marquardt | $w_{k+1} = w_k - [J^t + \mu I]^{-1} J^t e$ |

2.3.4. Yapay Sinir Ağlarının Tasarımı

Yapay sinir ağlarının tasarım süreci, ağın başarısında önemli bir etkiye sahiptir. Ağ tasarımı konusunda kesin kuralların olmaması, ağ tasarımında önemli bir sorunu teşkil eder. Yapay sinir ağlarının tasarım sürecinde kesin kurallar bulunmaması nedeniyle ağ tasarımı ile ilgili kararlar deneme yanılma yöntemi ile verilebilmektedir (Haykin, 1999). Genel anlamda, yapay sinir ağlarının tasarım süreçleri aşağıdaki başlıklar altında toplanabilir.

- Girdi ve çıktılarının belirlenmesi
- Ağ yapısını belirlenmesi
- Öğrenme algoritmasının seçilmesi
- Ağda bulunacak katmanların sayısının belirlenmesi
- Sinir hücrelerinin sayısının belirlenmesi
- Hücrelerdeki transfer fonksiyonlarının belirlenmesi
- Girdilerin gerekirse sınıflandırmasının yapılması
- Test ve öğrenme verilerinin belirlenmesi
- Ağın performans ölçüm yönteminin seçilmesi

Ağın girdileri ve çıktıları modellenecek probleme bağlı olarak değişir. Ağ tasarımına başlamadan önce, problemin girdileri ve çıktıları analiz edilmelidir. İlgili problem için önemli olabilecek değişkenlerin kullanımına öncelik verilmelidir.

Ağ girdileri üzerinde ön işleme yapılabilir. Ön işleme ile benzer bilgileri içeren veri ağa girmeden önce sadeleştirilebilir. Ağ girdilerinin gürültü verilerinden kurtulması ağın performansını olumlu etkileyecektir. Ön işlemede genel kullanılan yöntemler verilerin normalizasyonu, temel bileşen analizi ve sabit olan girdilerin kullanılmaması şeklinde olabilmektedir. Temel bileşen analizi (PCA) çok boyutlu verilerin daha az boyuta indirilmesini ve verilerdeki gürültülerin çıkarılmasında kullanılır. Girdilerde yapılacak bu işlem, yapay sinir ağlarının daha hızlı öğrenmesi ve ağın performans iyileşmesine yardımcı olabilmektedir (Zhang G. P., 2004).

Ağ yapısının seçimi, ağın başarısını etkileyen önemli bir aşamadır. İleri beslemeli ağ yapıları genelde tahmin modellerinde tercih edilirken, sınıflandırma ve ilişkilendirme problemlerinde geri beslemeli ağlar tercih edilir.

Ağ tasarım sürecinde bir çok katman kullanılabilir. Katman sayısında artışın, ağın performansı üzerinde fazla etkisi olmadığı ileri sürülür (Zhang v.d., 1998). Yapay sinir ağları giriş katmanı, gizli katman ve çıkış

katmanından oluşur. Gizli katman, giriş ve çıkış katmanları arasındaki lineer olmayan bağlantıları sağlayan katmandır.

Giriş, gizli ve çıkış katmanlarında bulunması gereken sinir hücre sayısını bulmak deneysel çalışmayı gerektirir. Genel yöntem denemeler ile en küçük hatanın olduğu noktanın bulunmaya çalışılmasıdır. Sinir hücresinin az olması genelleme yeteneğini artırırken, sinir hücrelerinin fazla olması ağın ezberlemesine neden olur. Diğer bir tasarım konusu sinir hücrelerindeki transfer fonksiyonlarıdır. Çıkış katmanındaki sonuçları sınırlayan ve türevlenebilen fonksiyonlar genellikle tercih edilir. Logistic ve hyperlogistic fonksiyonları sinir hücrelerinde en çok kullanılan transfer fonksiyonlarıdır (Hippert v.d., 2001).

Kullanılacak örneklem büyüklüğü kararı ise diğer bir tasarım noktasıdır. Mümkün olan maksimum verinin kullanılması, ağın daha iyi öğrenmesini sağlar. Kısıtlı örneklem ağın eğitilmesinde sınırlayıcı etkiye sahiptir.

Yapay sinir ağlarında öğrenme algoritmasının seçimi konusunda kesin kurallar bulunmamaktadır. Deneme yanılma yöntemi ilgili problem için uygun algoritmayı bulmada hala genel olarak başvurulan yöntemlerdendir. Günümüzde, ağların öğrenme başarılarını artırmak için farklı bir çok algoritma üzerine çalışmalar yapılmaya devam etmektedir.

Ağ performans değerlendirilmesinde ortalama mutlak hata yüzdesi (MAPE), ağırlıklı ortalama mutlak hata yüzdesi (WMAPE), ortalama mutlak hata (MAE) ve ortalama kareler kökü (RMSE) yaygın olarak kullanılır. A_t gerçek değer, F_t tahmin edilen değeri gösterir. Yaygın olarak kullanılan ağ performans ölçüm yöntemleri Tablo 5'te gösterilmektedir.

Tablo 5. Genel Yapay Sinir Ağ Performansı Ölçüm Algoritmaları.

| Yöntem | Algoritma |
|--------|---|
| MAE | $\frac{1}{n} \sum_{t=1}^n A_t - F_t $ |
| MAPE | $\frac{1}{n} \sum_{t=1}^n \left \frac{A_t - F_t}{A_t} \right $ |
| WMAPE | $\frac{1}{n} \sum_{t=1}^n \left w * \frac{A_t - F_t}{A_t} \right $ |
| RMSE | $\sqrt{\frac{1}{n} \sum_{t=1}^n A_t - F_t }$ |

Yapay sinir ağlarının bir çok farklı alanda kullanılması ve ağ tasarımı konusunda kesin kabullerin bulunmaması nedeniyle bir çok farklı tasarım yapılır. Tasarımda önemli noktalar, ağın kullanılacağı problemin iyi analiz edilmesi, girdiler ve çıktılarının doğru belirlenmesidir. Kullanılacak algoritmalar, hücre sayıları, katman sayıları, performans değerlendirme yöntemleri değiştirilerek uygun model bulunmaya çalışılmalıdır.

ÜÇÜNÇÜ BÖLÜM

3. TÜRKİYE ELEKTRİK PİYASASINDA ELEKTRİK YÜK TALEBİ VE GÜN ÖNCESİ FİYAT TAHMİN UYGULAMASI

3.1. Amaçlar, Veri, Sınırlılıklar ve Yöntem

3.1.1. Amaçlar

Bu çalışmanın amacı, yapay zeka yöntemlerinden yapay sinir ağlarının ileri beslemeli ağ modelini farklı optimizasyon algoritmaları kullanarak Türkiye için en uygun elektrik yük talep ve gün öncesi fiyat tahmin modelinin bulunmasıdır. Çalışmada elektrik yük talebi için 3.200 adet farklı model, elektrik fiyat tahmini için 3.200 adet farklı model test edilmiş toplamda 6,400 adet model oluşturulmuştur. Oluşturan farklı modeller arasında en başarılı MAPE değerine sahip yük talep ve fiyat tahmin modelleri ayrıca ayrıntılı olarak analiz edilmiştir.

Ayrıca bu tez çalışmasında, elektrik piyasalarında yapay sinir ağları yöntemi kullanılarak elektrik fiyat ve yük talep tahmin modellerine yönelik Türk literatüründe yer alan kısıtlı bilginin daha da geliştirilmesi amaçlanmıştır.

3.1.2. Veri

Elektrik yük talep verisi olarak EPIAŞ'dan temin edilen Yük Tahmin Planı (YTP), gün öncesi fiyat verisi olarak yine EPIAŞ'dan alınan Piyasa Takas Fiyatı (PTF) verisi kullanılmıştır. Uygulamada kullanılan YTP ve PTF

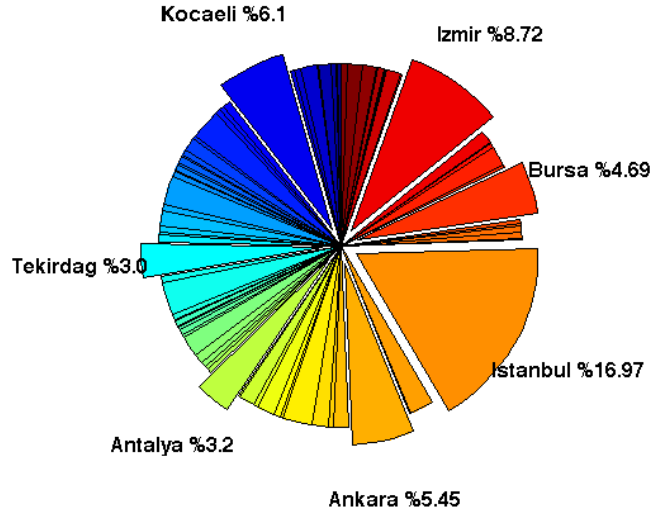
verileri 01.01.2012 ve 31.12.2014 günleri arasındaki 1.096 günü kapsamaktadır. 01.07.2015 tarihinde Gün İçi Piyasası faaliyete geçmesi nedeniyle, PTF ve YTP girdilerinin karakteristiğindeki değişimden etkilenmemek amacıyla 2015 yılı verileri tez çalışmasına dahil edilmemiştir.

Elektrik gün öncesi fiyat ve elektrik yük talep miktarı tahmini için kullanılan ortak veriler; elektrik talep miktarı, günlerin tatil olup olmama durumu, günlük sıcaklık değerleridir. Elektrik gün öncesi fiyatı tahmini için ek olarak elektrik fiyatları ve günlük doğal gaz fiyatları kullanılmıştır.

Oluşturulan modeller saatlik bazda tahmin yaptığı için, saatlik sıcaklık değişimlerinin kullanılması modelin güvenilirliğini artıracaktır. 01.01.2012 ve 31.12.2014 günleri arası sıcaklık değerlerini saatlik veren bir sistem olmaması nedeniyle günlük sıcaklık verileri kullanılacaktır. Tahmin modellerine girdi olarak kullanılan sıcaklık verileri www.wunderground.com sitesinden temin edilmiştir.

Şehirler nüfuslarına, şehirde bulunan sanayi kollarına göre farklı elektrik yük tüketim değerlerine sahiptir. Bu nedenle şehirlerin sıcaklık değerleri tek başına düşünülmemeli, sıcaklık faktörü ile şehirlerin tükettiği elektrik miktarı beraber düşünülmelidir. Örneğin İstanbul 2011 yılında Türkiye elektrik tüketiminde %16,97 paya sahip iken, Elazığ için bu değer %0,6 olarak hesaplanmıştır. Şekil 16, Türkiye İstatistik Kurumu verileri baz alınarak Türkiye elektrik tüketim miktarının 2012 yılında illere göre dağılımını gösterir

(TÜİK, 2014). Bu dağılıma göre elektrik tüketiminin fazla olduğu yerlerin İstanbul, İzmir, Kocaeli ve Ankara olduğu görülür.



Şekil 16. 2012 Yılında İllere göre Türkiye Elektrik Yük Tüketim Miktarı Dağılımı.

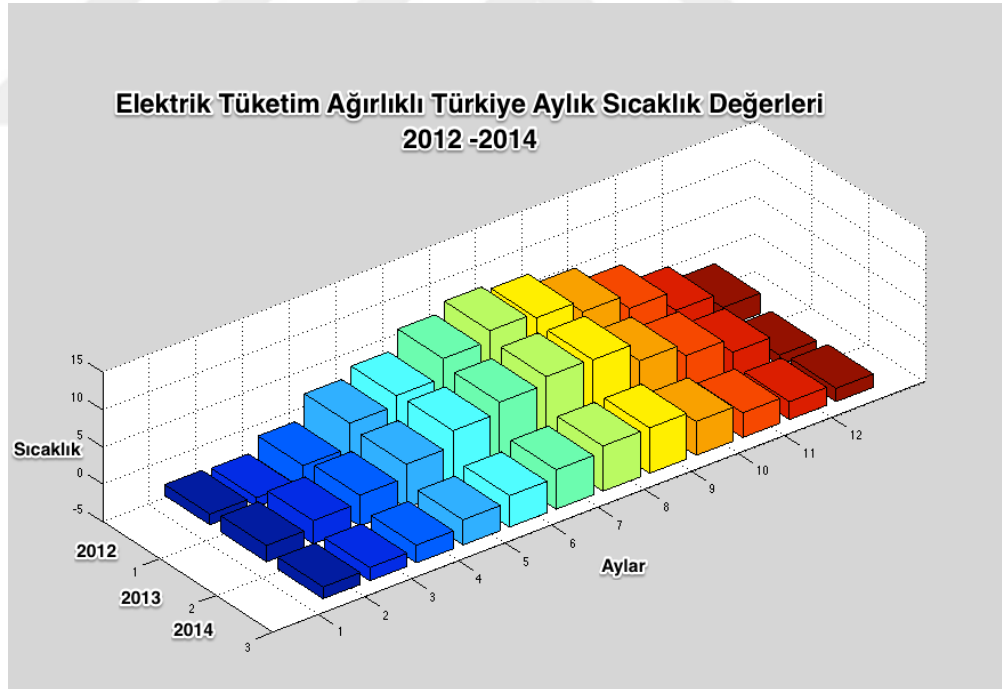
Tahmin modellerinde, elektrik talebinin yüksek olduğu illerdeki sıcaklık değerleri elektrik talebinin az olduğu illerdeki sıcaklık değerlerine göre daha önemli etkiye sahiptir. Modele girdi olarak kullanılacak sıcaklık verileri kullanılırken il bazlı elektrik tüketim miktarları göz önünde bulundurularak elektrik tüketim ağırlıklı hesaplanan sıcaklık değerleri hesaplanmıştır.

Elektrik tüketim ağırlıklı hesaplanan sıcaklık verileri 01.01.2012 ve 31.12.2014 günleri arası zaman dilimini içermektedir. Denklem 13, elektrik tüketim ağırlıklı sıcaklık hesaplama formülünü gösterir. Formüldeki i değeri Türkiye'deki şehirleri, w_i değeri ilgili şehrin elektrik tüketiminin Türkiye elektrik

tüketim yüzdesini, t_i değeri şehirlerin m günündeki sıcaklık değerini, τ_m ise m günündeki Türkiye elektrik tüketim ağırlıklı sıcaklık değerini gösterir.

$$\tau_m = \sum_{i=1}^{81} w_i t_i \quad (13)$$

Günlük hesaplanan elektrik tüketim ağırlıklı sıcaklık değerlerinin aylık ortalamaları alınarak oluşan sıcaklık değerleri °C cinsinden Şekil 17’de verilmiştir. Aylık ortalama sıcaklık değerlerinin haziran, temmuz ve ağustos aylarında yükseldiği, hesaplanan elektrik tüketim ağırlıklı sıcaklık değerlerinin 2014 yılında diğer yıllara göre daha düşük değerlere sahip olduğu görülür.



Şekil 17. Türkiye Elektrik Tüketim Ağırlıklı Hesaplanan Sıcaklık Değerleri.

Elektrik gün öncesi fiyat hesaplanmasında girdi olarak kullanılan verilerden biri de doğal gaz fiyatlarıdır. Türkiye Petrolleri Strateji Geliştirme

Daire Başkanlığı tarafından hazırlanan Ham Petrol ve Doğal Gaz Sektör Raporuna göre Türkiye doğal gaz talebinin %98.8'ini ithalat ile karşılamaktadır (Türkiye Petrolleri, 2015). Dünya Enerji Konseyi (World Energy Council/WEC) 2016 yılında yayımladığı raporunda Türkiye'nin doğal gaza olan bağımlılığına vurgu yapılmış elektrik üretiminin yarısına yakınının ithal doğal gaz ile yapıldığı belirtilmiştir (WEC, 2016). Türkiye elektrik üretiminde doğal gaza olan bağımlılık gün öncesi fiyat tahmin modelinde doğal gaz fiyat verilerinin kullanılması ihtiyacını doğurmuştur. Doğal gaz ihtiyacını yurt dışından karşılayan Türkiye'de, doğal gaz fiyatları fiyat formülleri gizli ve kontratlara bağlıdır (Özbuğday, 2015). Türkiye'nin doğal gazda dışa bağımlılığının çok yüksek olması dış piyasa verilerinden etkilenmesine sebep olur. Doğal gaz piyasasının Türkiye'de bulunmaması nedeniyle, gelişmiş bir piyasa olan Hunry Hub doğal gaz piyasa verileri gün öncesi fiyat tahmin modellerinde girdi olarak kullanılmıştır.

3.1.3. Sınırlılıklar

Elektrik yük talep miktarı ve elektrik gün öncesi piyasa fiyatı tahmin modellerinde saatlik sıcaklık, doğal gaz fiyat verilerinin bulunmaması nedeniyle günlük verilerin kullanılması modellerin sınırlılıkları arasındadır. Doğal gaz fiyatlarının Türkiye dışında bir piyasadan alınmış olması modellerin diğer bir sınırlılığıdır. Modelde kömür, hidroelektrik veya yenilenebilir enerji kaynaklarında ile ilgili parametreler kullanılmamıştır.

Oluşturulan toplam 6400 adet farklı modelde literatürde kullanılan transfer fonksiyonlarına (sigmoid fonksiyonları) ve öğrenme algoritmalarına (Gradient Descent, Gradient Descent Momentum, Levenberg-Marquardt ve BFGS) yer verilmiştir.

3.1.4. Yöntem

Yapay sinir ağlarında tahmin modelleri için genelde kullanılan model ileri beslemeli çok katmanlı ağlardır (Zhang G. P., 2004). Bu çalışmadaki elektrik yük talep miktarı ve elektrik gün öncesi piyasa fiyatı tahmin modellerinde, ileri beslemeli üç katmanlı yapay sinir ağlarının farklı optimize edilmiş algoritmaları kullanılmıştır.

01.01.2012-31.12.2014 günleri arasındaki 26.304 saat için kullanılan veriden, 01.01.2012-03.03.2014 günleri arasındaki 19.008 saatlik veri modellerin öğrenmesi için, 03.03.2014-31.12.2014 günleri arasındaki 7.296 saatlik veri modellerin test edilmesi için kullanılmıştır. Oluşturulan her model 19.008 saatteki model girdileri ile eğitilmiş ve eğitilen modeller 7.296 saatlik veri ile test edilmiştir. 7.296 saatlik test girdileri ile oluşturulan tahmin verisi ile gerçek veriler MAPE yöntemi ile kıyaslanmıştır. MAPE değerlerine göre de modellerin başarıları kıyaslanmıştır.

Gizli katmanlardaki sinir hücre sayıları 1 den 50'ye kadar değiştirilerek, Tangent-Sigmoid (tansig) ve Logaritmik-Sigmoid (logsig) transfer fonksiyonları için farklı modeller oluşturulmuştur. Modellerin başarılarını daha da geliştirmek amacıyla model girdileri üzerinde temel bileşen analizi (PCA)

kullanarak modeller de oluşturulmuştur. MAPE değerlerine göre en başarılı elektrik yük talep modeli ve gün öncesi elektrik fiyat tahmin modeli bulunmaya çalışılmıştır.

Elektrik yük talep ve elektrik gün öncesi fiyat tahmin modelleri arasında en başarılı olan yük talep ve fiyat tahmini modellerin sonuçları günlük ve saatlik bazda ayrıntılı olarak analiz edilmiştir.

3.2. Elektrik Yük Talep Miktarı Tahmin Uygulaması

3.2.1. Elektrik Yük Tahminini Etkileyen Unsurlar

Model girdilerinin seçimi yapay sinir ağlarının başarısı üzerinde önemli etkiye sahiptir. Elektrik yük talep miktarını etkileyen faktörler ekonomik faktörler, zaman faktörü, hava durumu faktörleri (sıcaklık, nem miktarı), oluşabilecek farklılıklar (önemli televizyon programları, kapanan veya açılan bir endüstriyel operasyon) başlıklarında incelenebilir (Shahidehpour v.d., 2002).

Ülkelerin gelişmişliği ile elektrik tüketim miktarı arasında yakın ilişki vardır. Ekonomik açıdan gelişen her sanayi, üretim ve hizmet alanları elektrik tüketiminde artışa neden olur. Tüketimde artış üretimde artışına sebep olacaktır. Dünyanın en büyük ekonomilerini içeren G20 ülkelerinin bazıları ile bu ülkelerin elektrik üretim oranları IEA (International Energy Agency) 2014 yılındaki raporunda verilmiştir. G20 ülkelerinin elektrik üretim oranlarını ve Dünya genelinde üretim oranını Tablo 6'da gösterilmektedir.

Tablo 6. G20 Ülkelerinin Elektrik Üretim Miktarları ve Oranları.

| Üretim | Miktar (TWh) | Dünya Oranı |
|----------------------|--------------|-------------|
| Çin Halk Cumhuriyeti | 4985 | %22.0 |
| ABD | 4271 | %18.8 |
| Hindistan | 1128 | %5.0 |
| Rusya | 1069 | %4.7 |
| Japonya | 1026 | %4.5 |
| Kanada | 634 | %2.8 |
| Almanya | 623 | %2.7 |
| Fransa | 559 | %2.5 |
| Brezilya | 552 | %2.4 |

Zaman faktörü elektrik yük talep miktarı üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Elektrik yük talep miktarları mevsimlere, haftanın günleri, tatil durumları ve gün içerisindeki saatlere göre değişim gösterir.

Elektrik yük talep miktarı üzerinde diğer önemli bir etken de sıcaklık faktörüdür. Sıcaklık faktörü zaman faktöründen sonra elektrik yük talep miktarı tahmin hesaplamalarında kullanılan önemli bir etkidir (Weron, 2006).

Saatlik olarak değişen elektrik yük talep miktarlarının ilgili saate özel oluşabilecek bir değişim olma durumunda etkisini aza indirmek için bir gün önce aynı saatteki, bir hafta önce aynı saatteki ve son 24 saatteki ortalama elektrik yük talep miktarları modele girdi olarak kullanılabilir.

3.2.2. Elektrik Y¼k Talep Miktarı Tahmin Uygulaması

T¼rkiye elektrik y¼k talep değerleri i¼in EPIAŞ tarafından yayımlanan, TEİAŞ tarafından oluşturulan Y¼k Tahmin Planı (YTP) verileri kullanılmıştır. Model i¼in 01.01.2012-31.12.2014 tarihleri arasındaki 1.096 g¼nl¼k (26.304 saat) veri seti kullanılmıştır. Modelde ileri beslemeli, ¼¼ katmanlı yapay sinir ağları kullanılmış ve ağlarda ¼ęrenme algoritmaları olarak Gradient Descent, Gradient Descent Momentum, Levenberg-Marquardt ve BFGS algoritmaları kullanılmıştır.

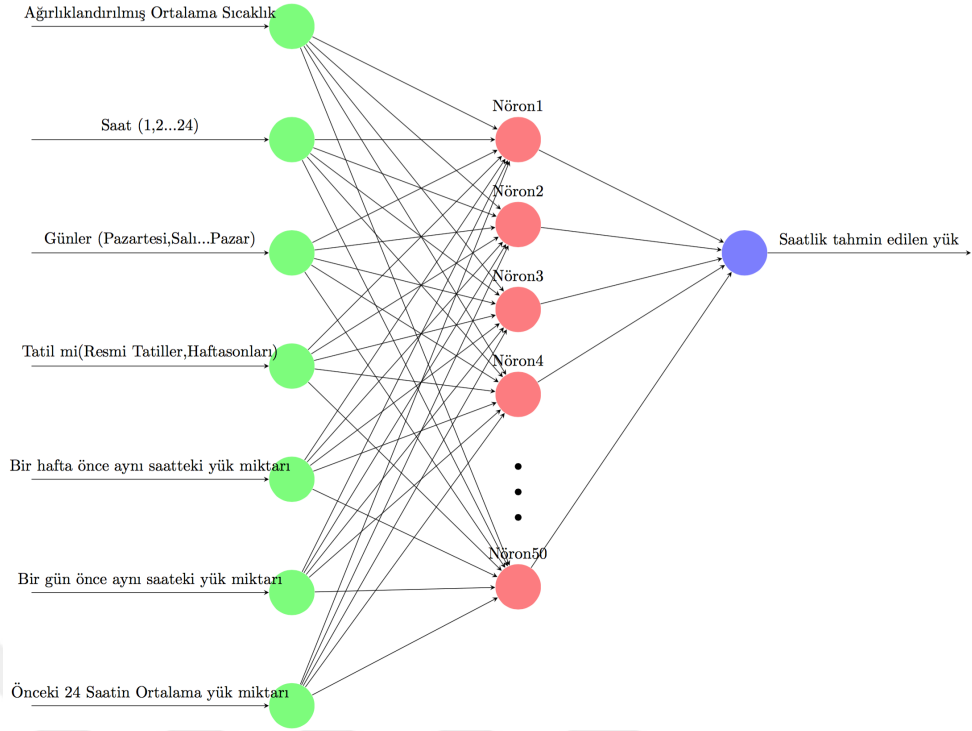
Yapay sinir ağlarında katmanlarda kullanılacak sinir h¼ce sayılarının belirlenmesinde kesin bir kural olmaması nedeniyle gizli katmandaki sinir h¼ce sayıları 1-50 arasında değiştirilerek modeller oluşturulmuştur. Sinir h¼crelerinde transfer fonksiyonları olarak logaritmik sigmoid (logsig) ve tangent sigmoid (tansig) fonksiyonları kullanılmıştır.

Elektrik y¼k talebi tahmin modelleri i¼in, 4 farklı ¼ęrenme algoritması, 2 farklı transfer fonksiyonu ve 50 farklı gizli katman sinir h¼ce sayısı ile 400 adet farklı model oluşturulmuştur. Tablo 7 elektrik y¼k talep tahmin uygulamasında kullanılan algoritmaları, transfer fonksiyonlarını ve h¼ce sayılarını g¼sterir.

Tablo 7. Elektrik Y¼k Talep Tahmin Uygulaması.

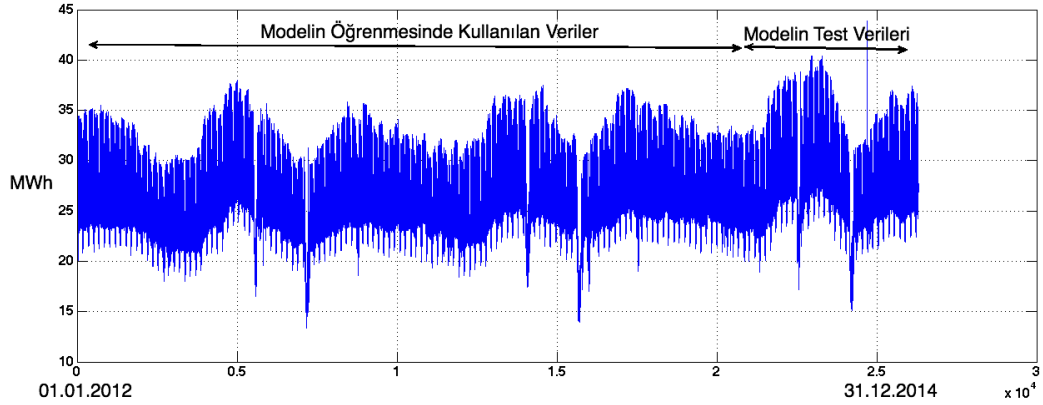
| Öğrenme Algoritması | Transfer Fonksiyonu | Gizli Katman Sinir Hücre Sayısı |
|----------------------------|----------------------------|--|
| Gradient Descent | Tansig/Logsig | 1,2...50 |
| Gradient Descent Momentum | Tansig/Logsig | 1,2...50 |
| Levenberg-Marquardt | Tansig/Logsig | 1,2...50 |
| BFGS | Tansig/Logsig | 1,2...50 |

Uygulamada yapay sinir ağlarına girdi olarak önceki 24 saatin ortalama elektrik yük talep miktarı, bir hafta önce aynı saatteki yük miktarı ve bir gün önce aynı saatteki elektrik yük miktarı kullanılmıştır. Sıcaklık faktörü olarak elektrik tüketim ağırlıklı hesaplanmış sıcaklık değerleri, zaman faktörü olarak gün içerisindeki saat dilimleri, günlerin tatil olup olmaması ve haftanın hangi günü olduğu modele girdi olarak kullanılmıştır. Şekil 18 model girdilerini, gizli katman nöron sayılarını ve model çıktısını gösterir.



Şekil 18. PCA Ön İşlemi Uygulanmayan Elektrik Yük Talep Tahmin Modeli.

01.01.2012 – 31.12.2014 yılları arasında YTP veri setinin, Şekil 19’da gösterildiği gibi 01.01.2012-02.03.2014 günleri arasındaki kısmı modelin öğrenmesi için kullanılırken, 03.03.2014-31.12.2014 günleri arasındaki veri seti modelin test edilmesi için kullanılmıştır.



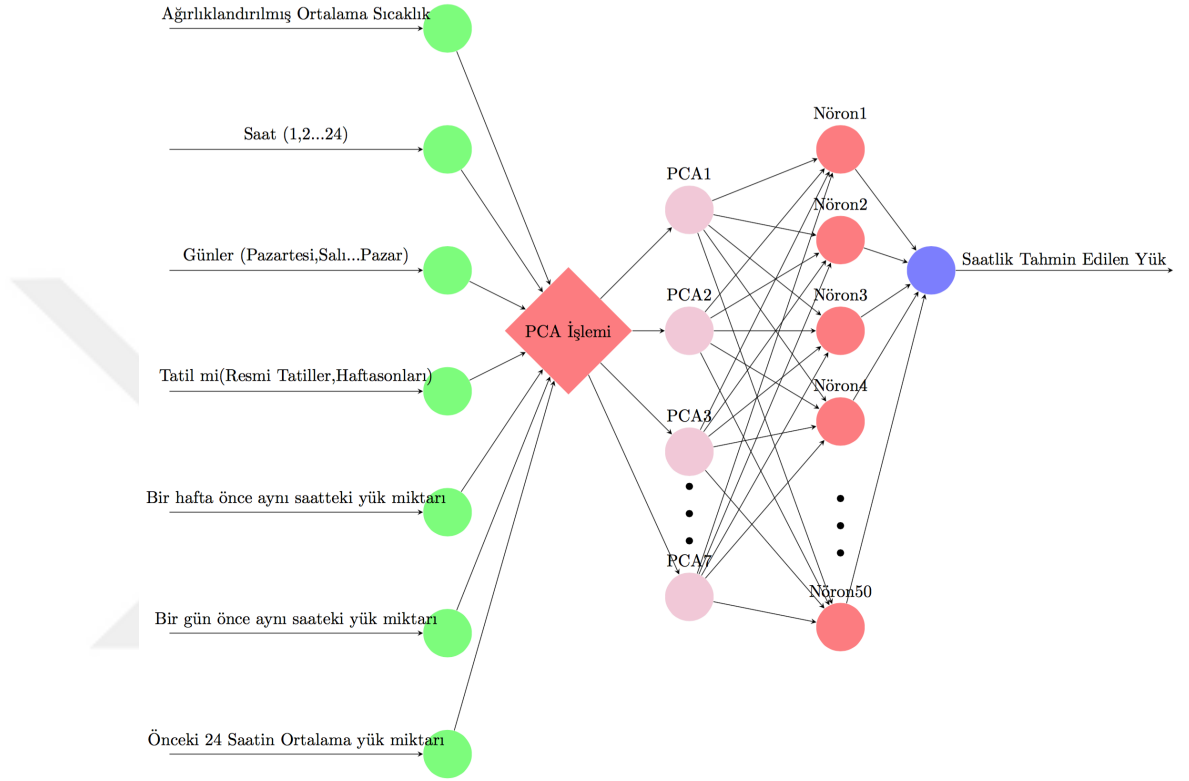
Şekil 19. 2012-2014 Yılları Arasında Türkiye Elektrik Yük Talep Miktarları.

Model girdileri üzerinde herhangi bir ön işleme uygulanmadan oluşturulan 400 adet farklı modelin başarısını artırmak amacıyla model girdilerine temel bileşen analizi yapılarak model geliştirmeye çalışılmıştır. Temel bileşen analizi sonucunda 1 ile 7 arasında değişen çıktılar modele girdi olarak kullanılmıştır. 1 ile 7 arası değişen temel bileşenler, 2 farklı transfer fonksiyonu, 1 den 50 ye kadar değişen gizli katman nöron sayısına ve 4 farklı öğrenme algoritması ile toplamda 2.800 adet farklı model oluşturulmuştur. Tablo 8, PCA ön işlemi uygulanan elektrik yük tahmin uygulamasını değişkenlerini özetlemektedir.

Tablo 8. PCA Ön İşlemi Uygulanan Elektrik Yük Talep Tahmin Uygulaması.

| PCA Bileşen Çıktısı | Öğrenme Algoritması | Transfer Fonksiyonu | Gizli Katman Nöron Sayısı |
|---------------------|------------------------------|---------------------|---------------------------|
| 1,2...7 | Gradient Descent | Tansig/Logsig | 1,2...50 |
| 1,2...7 | Gradient Descent Momentum | Tansig/Logsig | 1,2...50 |
| 1,2...7 | Levenberg-Marquardt | Tansig/Logsig | 1,2...50 |
| 1,2...7 | BFGS | Tansig/Logsig | 1,2...50 |

PCA ön işleme yöntemi kullanılarak oluşturulan 2.800 adet farklı modelin yapısı Şekil 20’de gösterilir. Temel bileşen analizini sonucu oluşan 7 bileşen 1 ile 7 arasında değiştirilerek ağa girdi olarak verilmiştir.



Şekil 20. PCA Ön İşlemi Uygulanan Elektrik Yük Tahmin Modeli.

PCA ön işlemi ile oluşturulan 2.800 adet model ile ön işlemi yapılmadan oluşturulan 400 adet model ile beraber toplamda 3.200 adet model oluşturulmuştur. Oluşturulan 3.200 adet farklı model 19.008 saatlik model girdileri ile eğitilmiş ve 7.296 saatlik test verileri test edilmiştir.

3.2.3. Elektrik Yük Talep Tahmin Uygulaması Sonuçları

Oluşturulan 3.200 adet farklı modelin performansı MAPE değerlerine göre değerlendirilmiştir. 7.296 saatlik test verisi sonucunda ile elektrik yük talep tahmin miktarları hesaplanmış ve gerçek elektrik yük talep miktarı ile MAPE yöntemine göre kıyaslanmıştır. Her model 7.296 saat veri seti ile test edilmiş ve her modelin MAPE değeri hesaplanmıştır.

Elektrik yük talep tahmini için oluşturulan 3.200 adet farklı model arasından en düşük MAPE değeri %1,86'ye PCA n işlemi yapılmadan, Levenberg-Marquardt ğrenme algoritması, logsig transfer fonksiyonu ve gizli katmandaki 13 sinir hcreti ile ulaşılmıştır. PCA n işlemi yapılan 2.800 adet model arasındaki en düşük MAPE değeri %5,27'ye Gradient Descent ğrenme algoritması, logsig transfer fonksiyonu, gizli katmandaki 5 sinir hcreti ve 7 PCA faktörü ile ulaşılmıştır. Tablo 9'da uygulamada kullanılan algoritmaların minimum, maksimum ve ortalama MAPE değerlerini gösterilmektedir. PCA ortalama minimum ve maksimum değerleri 1 ile 7 arasında değişen tüm bileşenlerin ortalama minimum ve maksimum değerleridir.

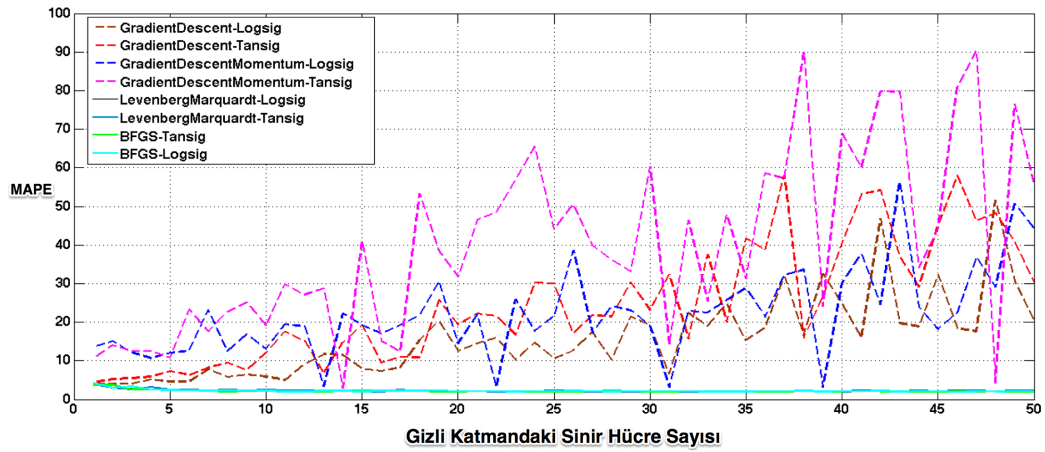
Tablo 9. Elektrik Yük Talep Tahmin Modellerinde Kullanılan Algoritmaların MAPE Değerleri.

| | Minimum MAPE % | Maksimum MAPE % | Ortalama MAPE % |
|------------------------|---------------------------|----------------------------|----------------------------|
| PCA GDM Logsig | 5,7884 | 61,2097 | 21,1930 |
| PCA GDM Tansig | 5,9128 | 81,9527 | 33,5069 |
| PCA GD Logsig | 5,2750 | 54,5448 | 16,5567 |
| PCA GD Tansig | 5,5941 | 73,6440 | 24,9294 |
| PCA LM Logsig | 5,5996 | 29,6280 | 7,8058 |
| PCA LM Tansig | 5,5524 | 130,0998 | 8,5597 |
| PCA BFGS Logsig | 5,8026 | 9,8665 | 6,8881 |
| PCA BFGS Tansig | 5,8202 | 9,5386 | 6,9552 |
| GDM Logsig | 3,1024 | 56,4818 | 22,1556 |
| GDM Tansig | 3,1014 | 90,4378 | 40,0024 |
| GD Logsig | 3,9133 | 51,5335 | 15,8679 |
| GD Tansig | 4,3468 | 58,0989 | 24,5190 |
| LM Logsig | 1,8600 | 3,9600 | 2,2040 |
| LM Tansig | 1,9400 | 3,8400 | 2,2436 |
| BFGS Logsig | 1,9000 | 3,7600 | 2,1754 |
| BFGS Tansig | 1,9400 | 4,3000 | 2,2264 |

Tablo 9, incelendiğinde Levenberg-Marquardt ve BFGS algoritmalarının Gradient Descent ve Gradient Descent Momentum algoritmalarına kıyasla daha başarılı oldukları görülür. PCA ön işlemini kullanan modellerin MAPE değerlerinin yüksek olduğu görülür. PCA kullanan tüm modellerin minimum MAPE değeri, PCA kullanılmadan oluşturulan tüm modellerin minimum MAPE değerinden daha fazla olduğu görülmektedir.

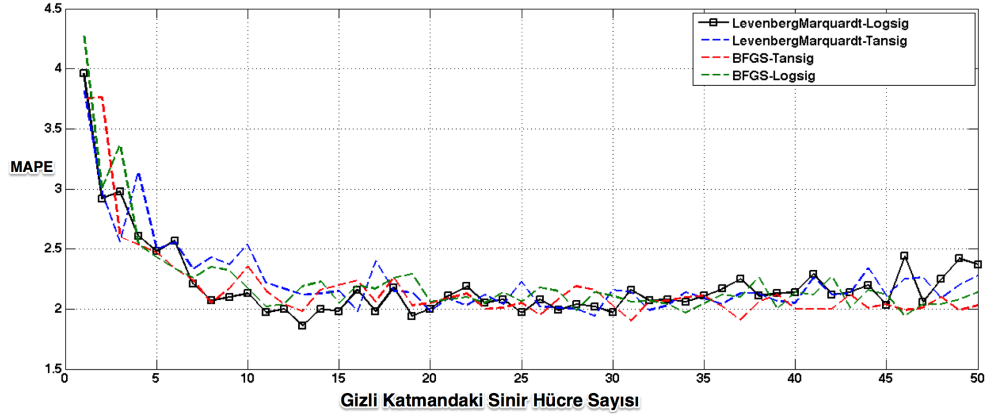
Model girdilerine PCA ön işlemi uygulanan modeller, PCA ön işlemi uygulanmayan modellere göre daha başarısız olduğundan PCA

kullanılmayan 400 adet farklı model kendi arasında kıyaslanmıştır. Bu modellerin sinir hücre sayısındaki değişime göre PCA ön işlemi uygulanmayan modellerin MAPE değerleri Şekil 21’de verilmiştir. Gradient Descent ve Gradient Descent Momentum algoritmalarının BFGS ve Levenberg-Marquardt yöntemlerine göre daha yüksek MAPE değerlerine sahip olduğu görülür. Gradient Descent ve Gradient Descent Momentum algoritmalarının artan sinir hücre sayısına paralel olarak MAPE değerleri genel olarak artış göstermektedir.



Şekil 21. PCA Ön İşlemi Uygulanmayan Modellerin Sinir Hücre Değişimine Göre MAPE Değerleri.

Levenberg-Marquardt ve BFGS algoritmalarının MAPE değerleri daha düşük olması nedeniyle sadece bu algoritmalarının gizli katmandaki sinir hücresi değişimine göre MAPE değerlerinin değişimi Şekil 22’te verilmiştir. Sinir hücre değişiminin 1 den 15 kadar artırılması BFGS ve Levenberg-Marquardt algoritmalarının başarısını olumlu etki yaparken, 15 ve üzerindeki artışların MAPE değerlerinde ciddi değişikliklere neden olmamaktadır.

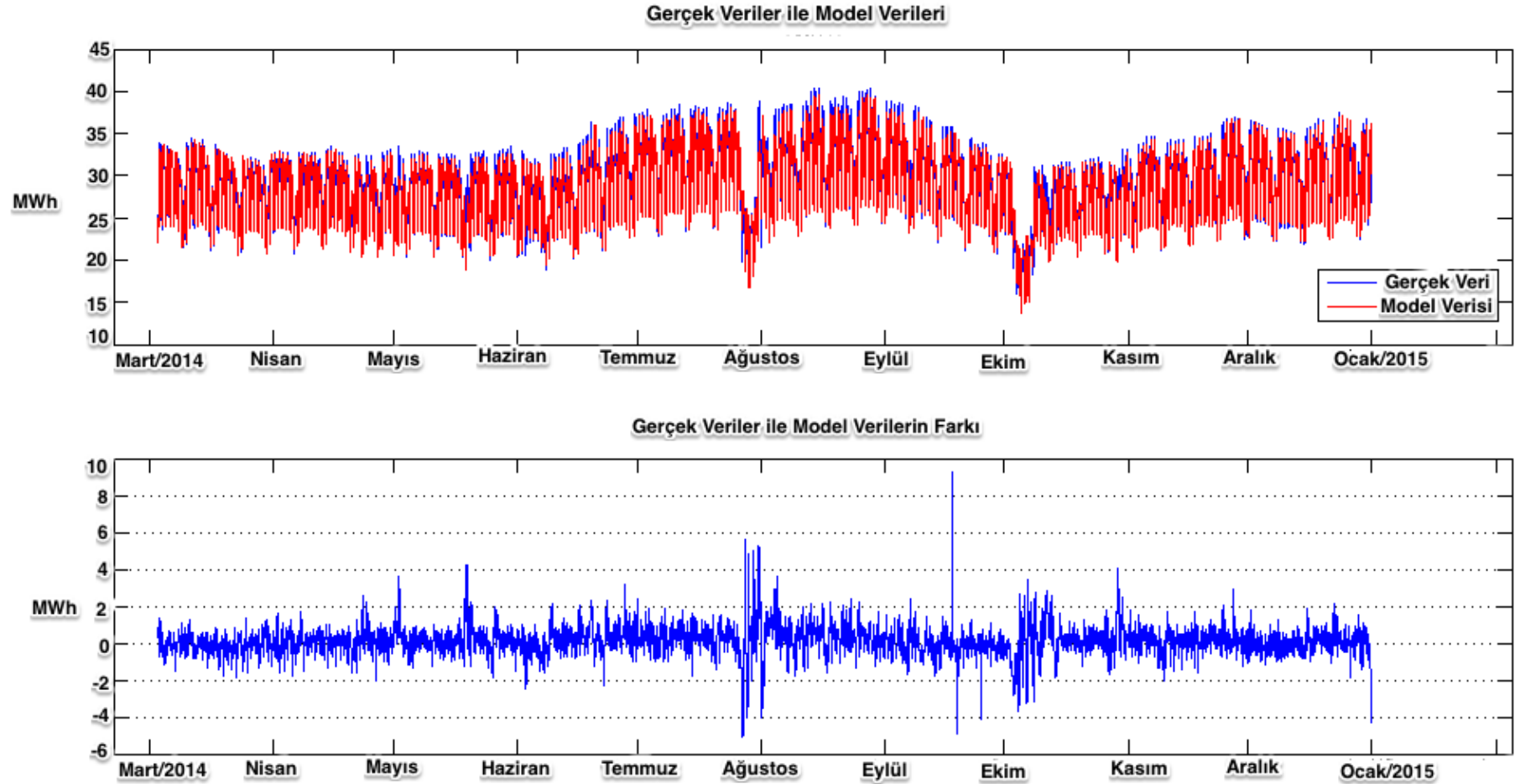


Şekil 22. PCA Ön İşlemi Uygulanmayan BFGS ve LM Modellerinin Sinir Hücre Değişimine Göre MAPE Değerleri.

Elektrik yük talep tahmini için oluşturulan 3.200 adet farklı model arasında en düşük MAPE değerine sahip model olan Levenberg-Marquardt öğrenme algoritması, gizli katmandaki 13 sinir hücresi, logsig transfer fonksiyonuna sahip modelin sonuçlarını ayrıntılı analiz etmek adına 7.296 saatlik test performansı günlük, saatlik olarak incelenmiştir.

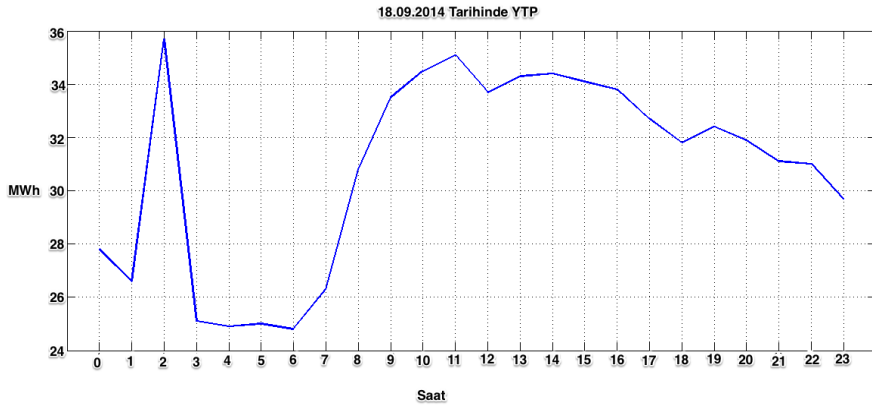
3.2.3.1. Elektrik Yük Talep Tahmin Modeli için En Başarılı Modelin Analizi

03.03.2014 ile 31.12.2014 günleri arasında uygulanan 7.296 saatlik test verileri ile yük tahmin modelleri arasında en başarılı model Levenberg-Marquardt öğrenme algoritması, gizli katmandaki 13 sinir hücresi, logsig transfer fonksiyonuna sahiptir. Modelin 7.296 saatlik test verileri ile ürettiği elektrik yük tahmin verileri ile ilgili saatlerdeki gerçek veriler Şekil 23'te verilmiştir.



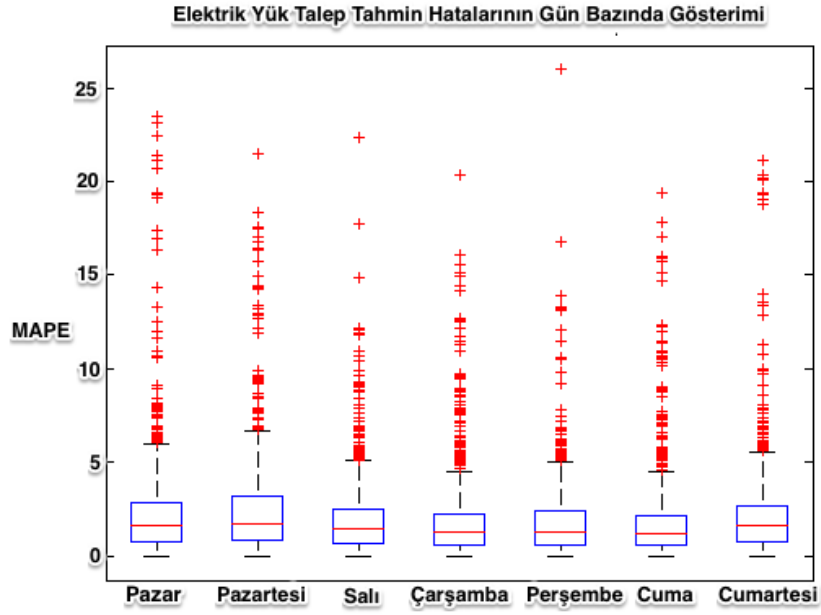
Şekil 23. Gerçek Veri ile Model Tahmin Sonuçlarının Kıyaslanması
(03.03.2014 - 31.12.2014).

7.296 saatlik test girdileri modelin ürettiği elektrik tahmin verileri ile gerçek elektrik yük talep miktarı arasındaki ortalama fark 0,1373 MWh olarak hesaplanmıştır. Gerçek elektrik yük miktarı ile tahmin edilen elektrik talep miktarı arasındaki en büyük fark, 18.09.2014 tarihinde Perşembe günü saat 02:00'da görülmüştür. Hesaplanan elektrik yük tahmin miktarı 26,4236 MWh, fakat gerçek değer 35,700 MWh olarak görülmektedir. Modelde oluşan bu saatte oluşan maksimum farkın sebebi ani YTP değişimleri olarak görülmektedir. Elektrik tüketimi 18.09.2014 tarihinde saat 00:00'da 27.800, saat 01:00'da 26,600MWh, saat 02:00'da 35,700MWh, saat 03:00'da 25,100 MWh elektrik tüketim seviyesinde olduğu görülür. 18.09.2014 tarihinde YTP değişimi Şekil 24'te gösterilmektedir. Elektrik talep miktarında ani yükseliş veya azalışların model tahmin başarısının olumsuz etkilediği görülür.



Şekil 24. 18.09.2014 Tarihinde YTP Değişimi.

En başarılı modelin 03.03.2014-31.12.2014 günleri arasındaki toplam 7.296 test verisinin günlük MAPE değerlerinin dağılımı Şekil 25'de verilmiştir. MAPE değerlerinin belirli aralıklarda toplandığı görülmektedir.



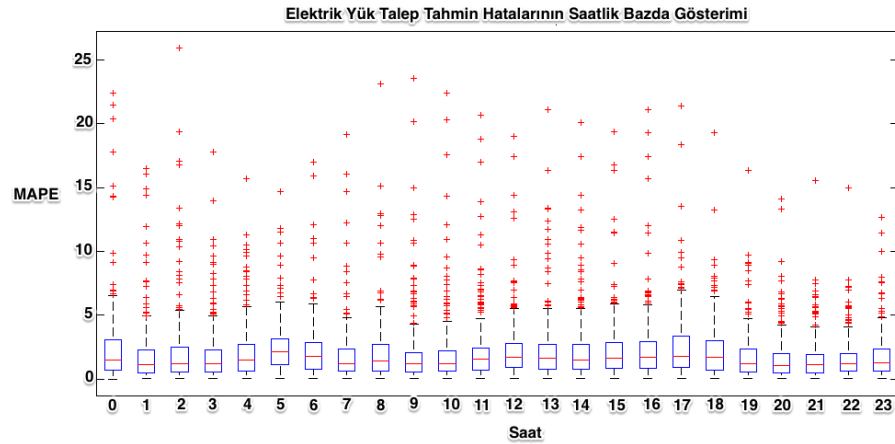
Şekil 25. Elektrik Yük Talep Tahmin Uygulaması Günlük Bazda MAPE Dağılımı.

Günlük bazda MAPE oranlarının minimum, maksimum ve ortalama sonuçları Tablo 10'da verilmiştir. Maksimum MAPE 18.09.2014 tarihinde saat 02:00'da %25,9843 olarak gerçekleşmiş, minimum MAPE 19.12.2014 tarihinde saat 00:00'da %1,7928e-4 olarak gerçekleşmiştir. Elektrik talep uygulamasında haftanın günlerinin ortalama MAPE değerlerine göre kıyaslandığı zaman; model en başarılı sonuçları Perşembe günleri, en başarısız sonuçları ise Pazartesi günleri verdiği görülmektedir.

Tablo 10. Elektrik Yük Talep Tahmin Uygulaması Günlük MAPE Değerleri.

| | Minimum MAPE % | Maksimum MAPE % | Ortalama MAPE % |
|-----------|-------------------|--------------------|--------------------|
| Pazartesi | 5,3523e-4 | 21,4606 | 2,4081 |
| Salı | 0,0044 | 22,3969 | 1,9552 |
| Çarşamba | 5,3772e-4 | 20,3918 | 1,8344 |
| Perşembe | 0,0076 | 25,9843 | 1,8075 |
| Cuma | 1,7928e-4 | 19,3992 | 1,8523 |
| Cumartesi | 2,5177e-4 | 21,1032 | 2,0837 |
| Pazar | 1,8485e-4 | 23,5327 | 2,3090 |

Elektrik yük talep tahmin sonuçlarının saatlik bazda MAPE dağılımları Şekil 26'da gösterilmektedir. MAPE değerlerinin saatlik bazda benzer MAPE değerlerinde yoğunlaştığı görülür.



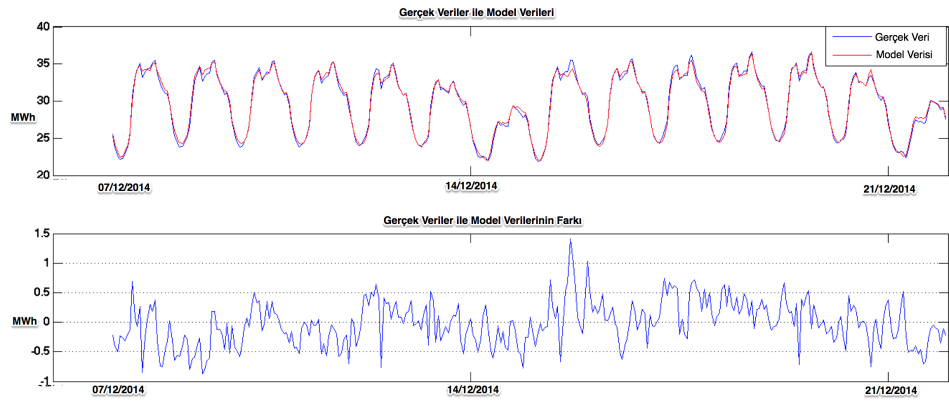
Şekil 26. Elektrik Yük Talep Tahmin Uygulaması Saatlik Bazda MAPE Dağılımı.

Saatlik bazda MAPE değerlerinin minimum, maksimum ve ortalama MAPE değerleri Tablo 11'de verilmiştir. Ortalama MAPE değerlerine göre saat 21:00 modelin en başarılı olduğu, saat 17:00 modelin en başarısız olduğu zaman dilimidir.

Tablo 11. Elektrik Yük Talep Tahmin Uygulaması Saatlik Bazda MAPE Değerleri.

| | Minimum MAPE % | Maksimum MAPE % | Ortalama MAPE % |
|----------------|---------------------------|----------------------------|----------------------------|
| Saat 00 | 1,7928e-04 | 22,3969 | 2,3095 |
| Saat 01 | 5,3523e-04 | 16,4716 | 1,9121 |
| Saat 02 | 0,0063 | 25,9843 | 2,0530 |
| Saat 03 | 0,0028 | 17,8037 | 1,8413 |
| Saat 04 | 0,0025 | 15,7337 | 2,0442 |
| Saat 05 | 0,0633 | 14,7041 | 2,4004 |
| Saat 06 | 0,0079 | 16,9720 | 2,0958 |
| Saat 07 | 9,2950e-04 | 19,1399 | 1,8218 |
| Saat 08 | 1,8485e-04 | 23,1553 | 2,0982 |
| Saat 09 | 0,0046 | 23,5327 | 1,8884 |
| Saat 10 | 0,0076 | 22,4298 | 1,9108 |
| Saat 11 | 0,0089 | 20,7019 | 2,1647 |
| Saat 12 | 0,0190 | 19,0255 | 2,3033 |
| Saat 13 | 0,0012 | 21,1032 | 2,2628 |
| Saat 14 | 0,0021 | 20,0763 | 2,2664 |
| Saat 15 | 0,0216 | 19,3782 | 2,2922 |
| Saat 16 | 0,0327 | 21,1247 | 2,3308 |
| Saat 17 | 0,0136 | 21,4256 | 2,4747 |
| Saat 18 | 0,0100 | 19,3192 | 2,2050 |
| Saat 19 | 2,5177e-04 | 16,3799 | 1,7319 |
| Saat 20 | 0,0044 | 14,1442 | 1,6251 |
| Saat 21 | 0,0046 | 15,5515 | 1,5287 |
| Saat 22 | 0,0101 | 14,9841 | 1,5540 |
| Saat 23 | 0,0153 | 12,6792 | 1,7391 |

Elektrik yük talep modeli 7.296 saat ile test edilmiş her saat için hesaplanan MAPE değerleri günlük ve saatlik olarak yorumlanmıştır. Gerçek talep miktarı ile model tahmin değerlerini Levenberg-Marquardt algoritması, 13 gizli katman sinir hücresi ve logsig transfer fonksiyona sahip modelin 2 haftalık gösterimi Şekil 27’de verilmiştir.



Şekil 27. Gerçek Elektrik Yük Miktarı ile Tahmin Modeli Elektrik Yük Miktarı (07.12.2014 - 21.12.2014).

07.12.2014 ile 21.12.2014 günleri arasındaki 2 haftalık gerçek YTP ve model tahmin sonucu arasındaki fark 1,5 MWh ile -1 MWh arasında değişmektedir. Gerçek veriler ile model tahmin sonuçlarının genelde aynı davranışı sergilediği görülmektedir.

3.3. Gün Öncesi Elektrik Fiyat Tahmin Uygulaması

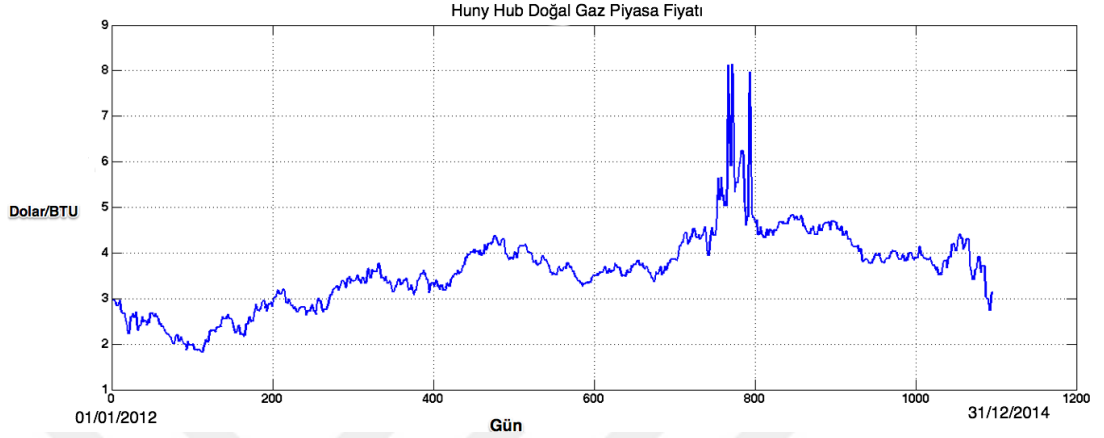
3.3.1. Gün Öncesi Elektrik Fiyat Tahminini Etkileyen Unsurlar

Elektrik yük talep miktarını etkileyen sıcaklık ve zaman faktörü aynı zamanda gün öncesi elektrik fiyatlarını da etkilemektedir. Elektrik piyasasındaki elektrik fiyatları elektrik talebi ile bağlantılıdır. Elektrik piyasasındaki arz talep dengesi nedeniyle talebin arzdan fazla olduğu durumlarda elektrik piyasa fiyatı artış gösterir. Elektrik fiyatları genel olarak hava durumlarından, elektrik üretim için kullanılan doğal gaz, kömür gibi birincil enerji kaynaklarından, elektrik iletim yapısının yeterliliklerinden etkilenir (Nitin Singh, 2015).

Türkiye’de kullanılan elektriğin büyük bir bölümü doğal gazdan üretilmektedir. Doğal gazın elektrik üretiminde yüksek oranda kullanılmasının nedenleri arasında düşük yatırım maliyeti istemesi, düşük çevresel etkilerinin olması ve kısa inşaat süresine sahip olması sayılabilir. Elektrik üretiminde doğal gaza olan bağımlılık nedeniyle doğal gaz fiyatları elektrik fiyatlarını etkiler. Küresel boyutta doğal gaz fiyatları değişiklik göstermek ile beraber genel olarak LNG Japon fiyatı, ortalama Alman ithal gaz fiyatı, Heren NBF ve Amerika Henry Hub fiyatları kabul görür (Cangüzel, 2012).

Türkiye’de doğal gaz piyasasının bulunmaması nedeniyle gün öncesi elektrik fiyat tahmin modeline girdi olarak Amerika Henry Hub verileri kullanılmıştır. 01.01.2012 ile 31.12.2014 günleri arasında Henry Hub’da

oluşan ABD Dolar ile BTU (British Thermal Unit) değişimi Şekil 28’de verilmiştir.



Şekil 28. Henry Hub Doğal Gaz Değişimi.

Elektrik yük talep miktarları, bir gün önce aynı saatteki elektrik yük miktarı, bir hafta önce aynı saatteki yük miktarı ve önceki 24 saatin ortalama elektrik yük talep miktarı gün öncesi elektrik fiyat tahmin modellerine girdi olarak kullanılmıştır.

3.3.2. Gün Öncesi Elektrik Fiyat Tahmin Uygulaması

Türkiye gün öncesi elektrik fiyat değerleri için EPIAŞ tarafından yayımlanan Piyasa Takas Fiyat (PTF) verileri kullanılmıştır. Model için 01.01.2012-31.12.2014 tarihleri arasındaki 1.096 gün (26.304 saat) veri seti kullanılmıştır. Modelde ileri beslemeli, üç katmanlı yapay sinir ağlar kullanılmış ve ağlarda Gradient Descent, Gradient Descent Momentum, Levenberg-Marquardt ve BFGS algoritmaları kullanılmıştır. Kullanılan modeller elektrik yük talep tahmin miktarı için önerilen modeller ile paralellik göstermektedir.

Elektrik gün öncesi fiyat tahmin modelleri Tablo 12’de verilmiştir. 4 farklı öğrenme algoritması, 2 farklı transfer fonksiyonu ve 50 farklı gizli katman sinir hücre sayısı ile toplam 400 adet farklı model oluşturulmuştur.

Tablo 12. Elektrik Gün Öncesi Fiyat Tahmin Uygulaması.

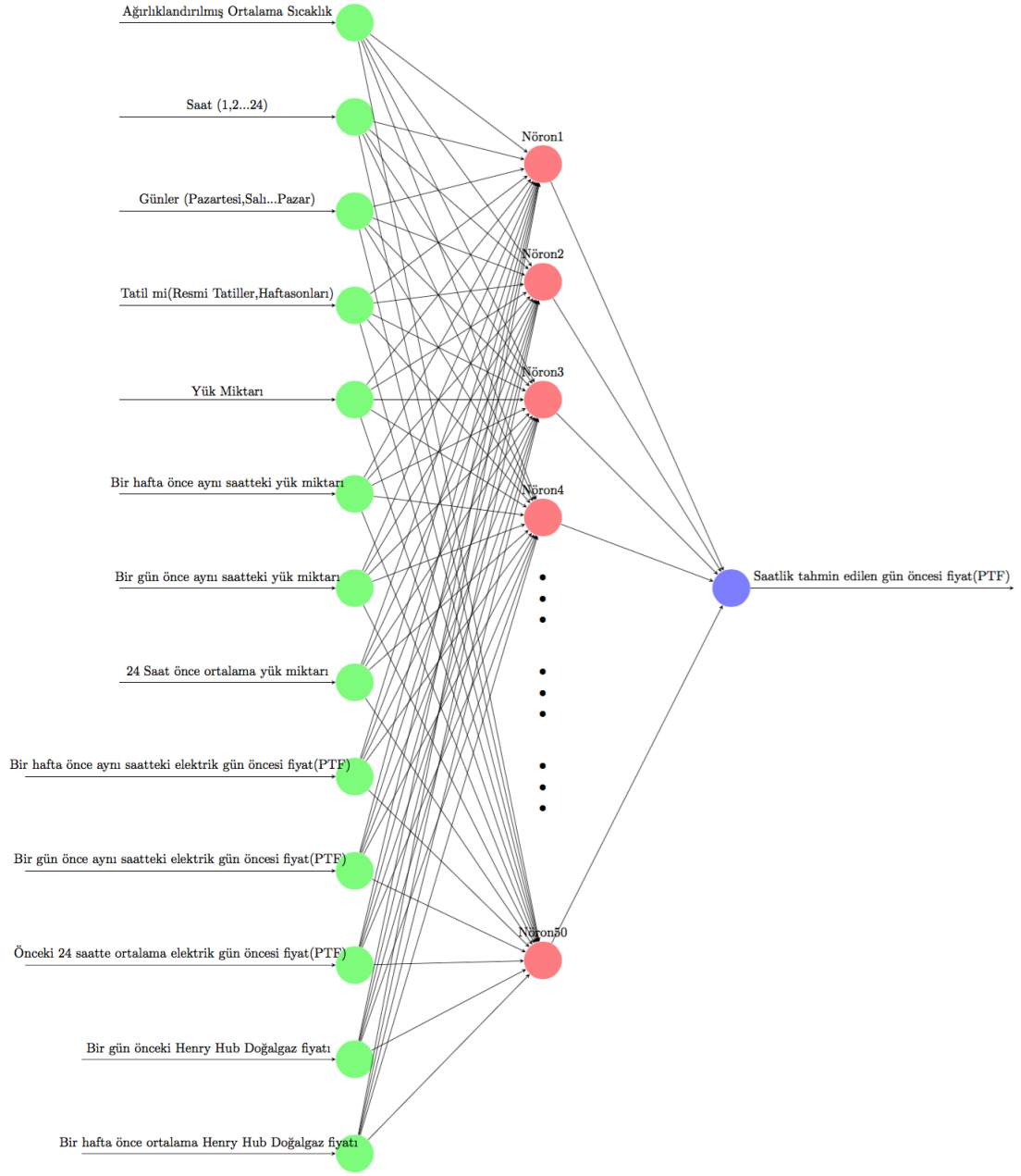
| Öğrenme Algoritması | Transfer Fonksiyonu | Gizli Katman Sinir Hücre Sayısı |
|----------------------------|----------------------------|--|
| Gradient Descent | Tansig/Logsig | 1,2...50 |
| Gradient Descent Momentum | Tansig/Logsig | 1,2...50 |
| Levenberg-Marquardt | Tansig/Logsig | 1,2...50 |
| BFGS | Tansig/Logsig | 1,2...50 |

Elektrik gün öncesi fiyat tahmin sonuçlarında başarıyı artırmak amacıyla model girdilerine temel bileşen analizi (PCA) ayrıca uygulanarak modelin performansı değerlendirilmiştir. Temel bileşen analizi sonucunda oluşan bileşenler 1 ile 7 arasında değiştirilerek modele girdi olarak kullanılmıştır. Her bir PCA bileşeni için öğrenme algoritması, transfer fonksiyonu ve gizli katmandaki sinir hücre sayıları değiştirilerek toplam 2.800 adet model oluşturulmuştur. PCA ön işleminin kullanımı ile ilgili modeller Tablo 13’te verilmiştir.

Tablo 13. PCA Ön İşlemi Uygulanan Gün Öncesi Elektrik Fiyat Tahmin Uygulaması.

| PCA Bileşen Çıktısı | Öğrenme Algoritması | Transfer Fonksiyonu | Gizli Katman Nöron Sayısı |
|----------------------------|------------------------------|----------------------------|----------------------------------|
| 1,2...7 | Gradient Descent | Tansig/Logsig | 1,2...50 |
| 1,2...7 | Gradient Descent Momentum | Tansig/Logsig | 1,2...50 |
| 1,2...7 | Levenberg-Marquardt | Tansig/Logsig | 1,2...50 |
| 1,2...7 | BFGS | Tansig/Logsig | 1,2...50 |

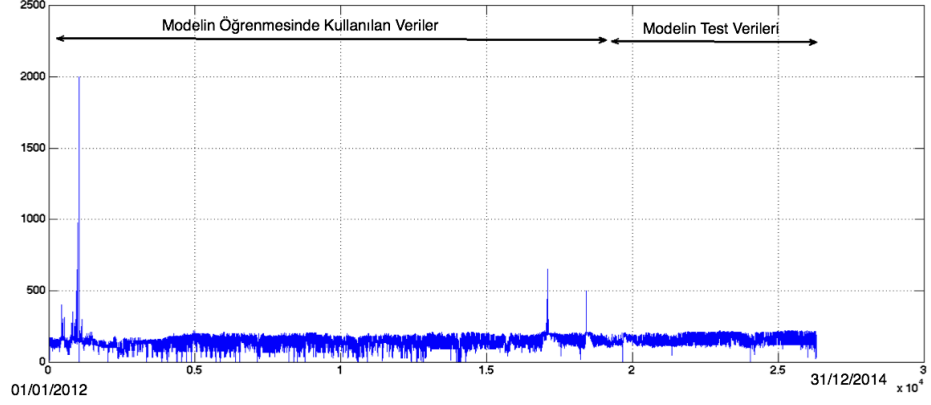
Gün öncesi elektrik modelinde kullanılan girdiler; tüketim ağırlıklı ortalama sıcaklık, günlük saat dilimleri, haftanın günleri, tatil olup olmama durumu, elektrik yük talep miktarı, bir hafta önce aynı saatteki yük miktarı, bir gün önce aynı saatteki yük miktarı, geçen 24 saatin ortalama yük miktarı, bir hafta önce aynı saatteki gün öncesi fiyat, bir gün önce aynı saatteki gün öncesi fiyat, geçen 24 saatin ortalama gün öncesi fiyatı, bir gün önceki Henry Hub doğal gaz fiyatı, bir hafta önceki ortalama Henry Hub doğal gaz fiyatıdır. Model girdileri ve çıktısı Şekil 29'da gösterilmektedir.



Şekil 29. PCA Ön İşlemi Uygulanmayan Elektrik Gün Öncesi Elektrik Fiyat Tahmin Modeli.

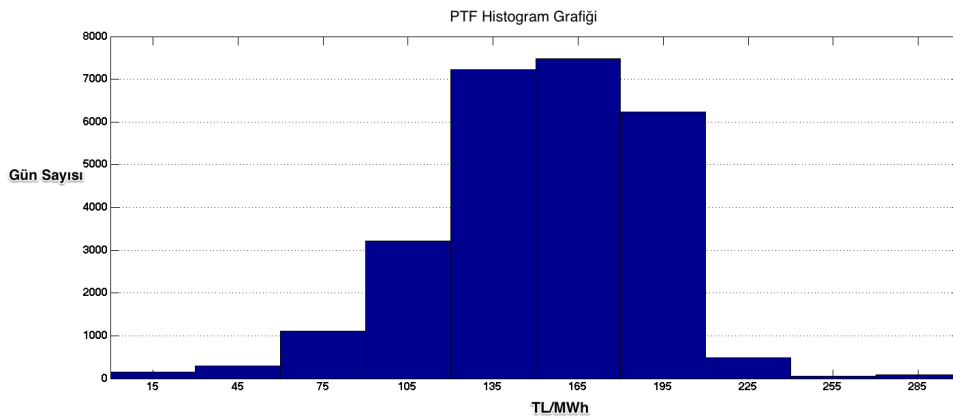
Gün öncesi elektrik fiyat tahmin modelinde 01.01.2012 ile 31.12.2014 günleri arasındaki veri setinin 01.01.2012-02.03.2014 günleri arası modelin öğrenmesi için, 03.03.2014 ile 31.12.2014 günleri arası modelin test edilmesi

için kullanılmıştır. Şekil 30'da modelde kullanılan gün öncesi fiyatların test ve öğrenme amacıyla kullanılan kısımları yer almaktadır.



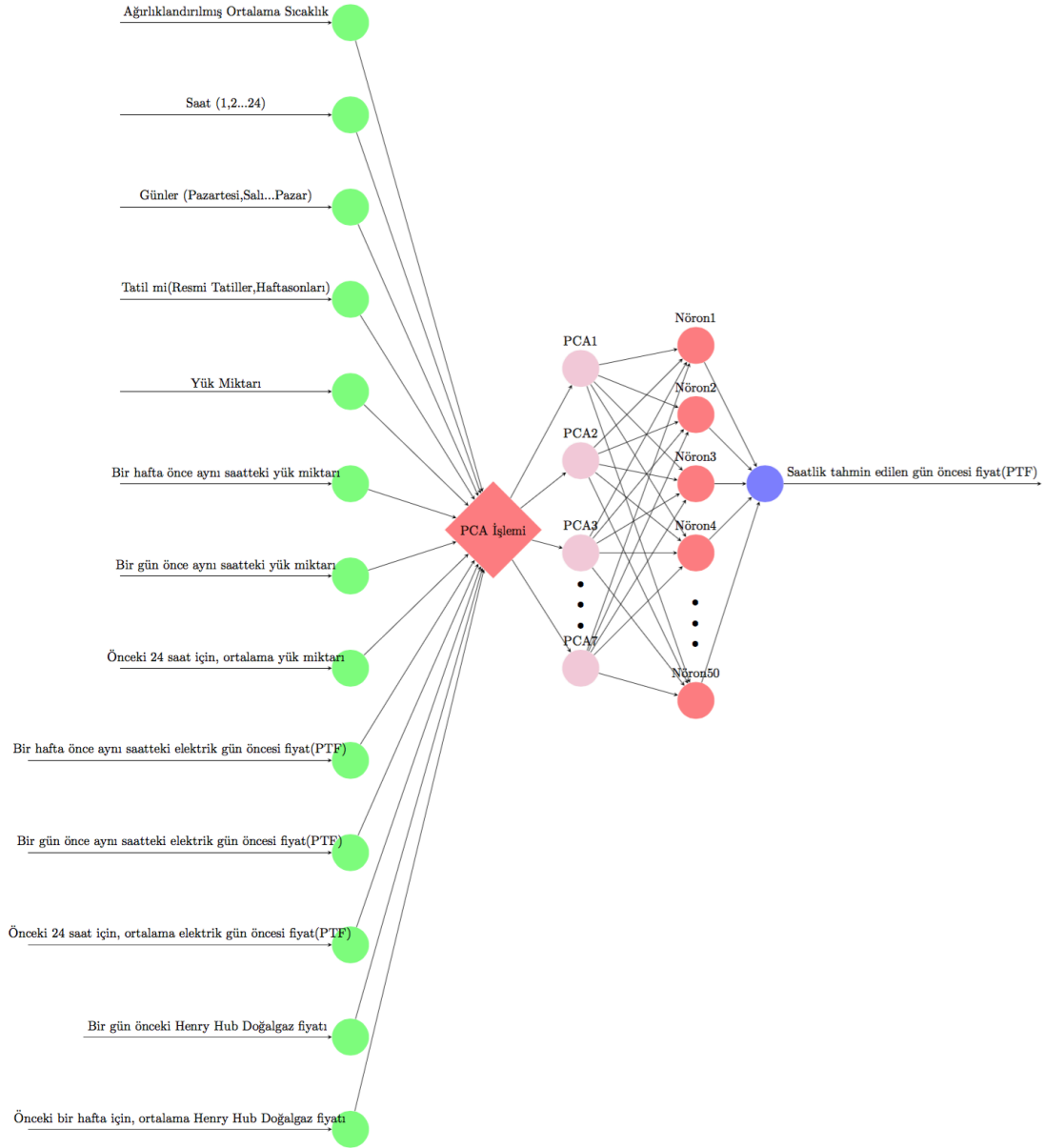
Şekil 30. Gün Öncesi Elektrik Fiyat Verileri.

01.01.2012 ile 31.12.2014 günleri arasındaki toplam 26.304 saatlik veri setinin sadece 61 saatinde gün öncesi elektrik fiyatı 300 TL/MWh üzerindedir. 2012-2014 yılları arasında gün öncesi elektrik fiyatlarının dağılımı Şekil 31'de gösterilmektedir. Gün öncesi elektrik fiyatları genel olarak 100 TL/MWh ile 200 TL/MWh arasında değişim göstermektedir.



Şekil 31. 2012-2014 Yılları Arasında Gün Öncesi Elektrik Fiyatlarının Dağılımı.

Gün öncesi fiyat tahmin modelinde girdiler üzerinde PCA ön işlemi yapılarak model daha da geliştirilmeye çalışılmıştır. PCA ön işlemi yapılarak oluşturulan tahmin modeli Şekil 32’de verilmiştir.



Şekil 32. PCA Ön İşlemi Uygulanan Gün Öncesi Elektrik Fiyat Tahmin Modeli.

PCA ön işlemesi ile 2.800 adet farklı model oluşturulmuş, PCA kullanılmadan geliştirilen 400 adet model ile toplam 3.200 adet farklı model oluşturularak gün öncesi fiyat tahmin gerçekleştirilmiştir.

3.3.3. Gün Öncesi Elektrik Fiyat Tahmin Uygulaması Sonuçları

Gün öncesi elektrik fiyat tahmini için oluşturulan 3.200 adet modelin her biri 19.008 saatlik veri ile eğitilmiştir. 03.03.2014 ile 31.12.2014 günleri arasında kalan toplam 7.296 saatlik veri ile her model test edilmiştir. Oluşturulan MAPE değerleri performans değerlendirilmesinde kullanılmıştır.

Oluşturulan modeller arasında en düşük MAPE değer olan 9.76 değerine; PCA ön işlem yapılmadan, Levenberg-Marquardt öğrenme algoritması tansig transfer fonksiyonu ve gizli katmandaki 17 sinir hücresi ile ulaşılmıştır. PCA ön işleme yapılan 2.800 adet model arasında en başarılı model 11.34 MAPE değerine; Levenberg-Marquardt öğrenme algoritması, tansig transfer fonksiyonu 6 PCA faktörü ve gizli katmandaki 46 sinir hücresi ile ulaşılmıştır. Gün öncesi fiyat modellerinin oluşan ortalama, minimum ve maksimum MAPE sonuçları Tablo 14'te verilmiştir. PCA ortalama minimum ve maksimum değerleri 1 ile 7 arasında değişen tüm bileşenlerin ortalama minimum ve maksimum değerleridir.

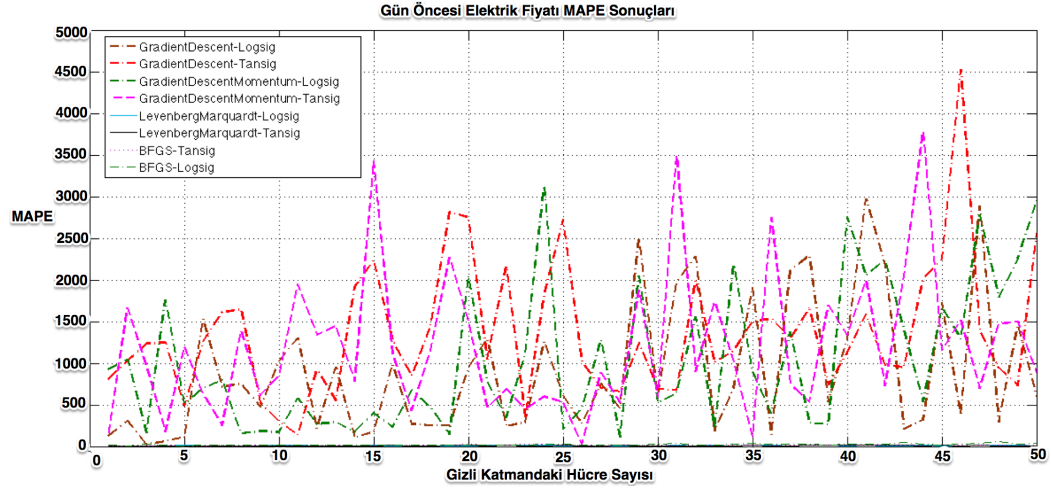
Tablo 14. Gün Öncesi Elektrik Fiyat Tahmin Modellerinde Kullanılan Algoritmaların MAPE Değerleri.

| | Minimum MAPE % | Maksimum MAPE % | Ortalama MAPE % |
|------------------------|---------------------------|----------------------------|----------------------------|
| PCA GDM Logsig | 20,3593 | 5,2379e+03 | 1,1348e+03 |
| PCA GDM Tansig | 26,2666 | 6,1448e+03 | 1,2497e+03 |
| PCA GD Logsig | 21,0530 | 4,3263e+03 | 521,9261 |
| PCA GD Tansig | 21,7057 | 7,8286e+03 | 1,4054e+03 |
| PCA LM Logsig | 11,4009 | 21,3189 | 12,6497 |
| PCA LM Tansig | 11,3411 | 21,3003 | 12,6895 |
| PCA BFGS Logsig | 11,8224 | 27,8875 | 13,7516 |
| PCA BFGS Tansig | 11,8226 | 94,4271 | 15,9423 |
| GDM Logsig | 113,9158 | 3,1354e+03 | 1,0274e+03 |
| GDM Tansig | 23,5656 | 3,7922e+03 | 1,2027e+03 |
| GD Logsig | 23,1152 | 2,9839e+03 | 908,6795 |
| GD Tansig | 137,4356 | 4,544e+03 | 1,3635e+03 |
| LM Logsig | 9,8478 | 11,6847 | 10,5766 |
| LM Tansig | 9,7619 | 11,7166 | 10,6384 |
| BFGS Logsig | 9,8605 | 30,1433 | 14,8745 |
| BFGS Tansig | 13,100 | 39,6000 | 21,5320 |

Ortalama MAPE değerleri referans alındığında en başarılı algoritmanın Levenberg-Marquardt ve logsig transfer fonksiyonun olduğu modeldir. Ortalama MAPE değerlerine göre en başarısız modelin PCA ön işlemi kullanan Gradient Descent olduğu görülmektedir.

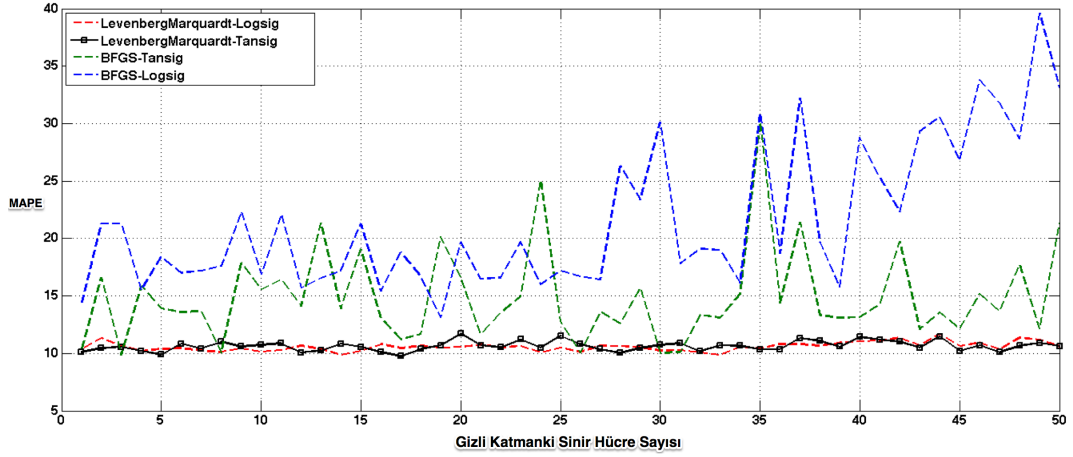
PCA veri ön işleme kullanan modellerin başarı oranı daha düşük gerçekleştiği için daha başarılı sonuçlar veren PCA ön işlemi kullanmayan modellerin MAPE değişimleri ayrıntılı analiz edilmiştir. PCA ön işlemi

kullanmayan modellerin sinir hücresi sayısına göre MAPE değerlerini Şekil 33'te gösterilmektedir. Gradient Descent ve Gradient Descent Momentum algoritmalarının gizli katmandaki sinir hücre sayısına göre sürekli artan veya azalan bir karakteristik sergilemediği görülür.



Şekil 33. PCA Ön İşlemi Uygulanmayan Modellerin Sinir Hücre Değişimine Göre MAPE Değerleri.

Levenberg-Marquardt ve BFGS algoritmaları daha başarılı MAPE değerlerine sahip oldukları için ayrı olarak Şekil 34'te gösterilmiştir. Gizli katmandaki sinir hücresinin değişimine göre BFGS ve Levenberg-Marquardt algoritmalarının MAPE sonuçları incelendiğinde Levenberg-Marquardt algoritmasının MAPE değerleri sabit bir aralık içerisinde değiştiği görülmektedir. BFGS algoritmalarının artan gizli katman sinir hücre sayısına göre MAPE değerlerinde artış gözlemlenmektedir. Levenberg-Marquardt algoritmasının BFGS algoritmasına göre genelde daha başarılı olduğu görülmektedir.

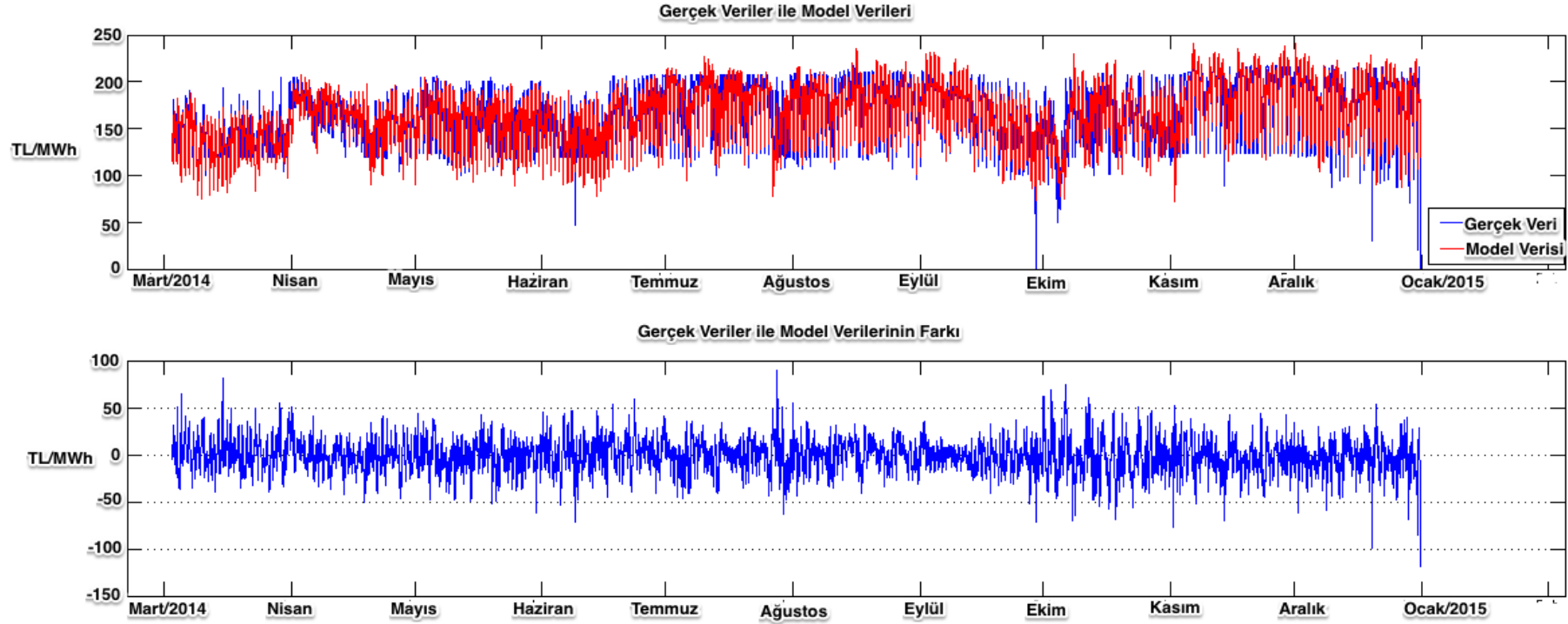


Şekil 34. PCA Ön İşlemi Uygulanmayan BFGS ve LM Modellerin Sinir Hücre Değişimine Göre MAPE Değerleri.

Elektrik gün öncesi tahmin modelleri arasında en başarılı sonucu veren Levenberg-Marquardt öğrenme algoritması, tansig transfer fonksiyonu ve gizli katmandaki 17 sinir hücresine sahip modelin 03.03.2014-31.12.2014 günleri arasındaki 7.296 saatlik test performansı günlük ve saatlik olarak incelenmiştir.

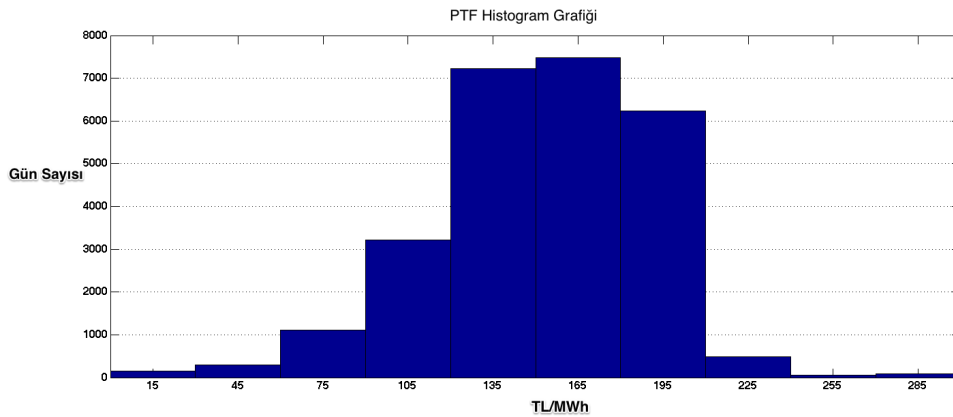
3.3.3.1. Elektrik Gün Öncesi Fiyat Tahmin Modeli için En Başarılı Modelin Analizi

03.03.2014 ile 31.12.2014 günleri arasında uygulanan 7.296 saatlik test verileri ile gün öncesi elektrik fiyat tahmin modelleri arasında en başarılı model Levenberg-Marquardt öğrenme algoritması, gizli katmandaki 17 sinir hücresi, tansig transfer fonksiyonuna sahiptir. Modelin 7.296 saatlik test verileri ile ürettiği gün öncesi elektrik fiyat tahmin verileri ile ilgili saatlerdeki gerçek veriler Şekil 35'te verilmiştir. 7.296 saatlik test verisi sonucunda oluşan model verileri ile gerçek veriler arasında ortalama fark -1,12 TL/MWh olarak hesaplanmıştır.



Şekil 35. Gerçek Veri ile Model Tahmin Sonuçlarının Kıyaslanması (03.03.2014 - 31.12.2014).

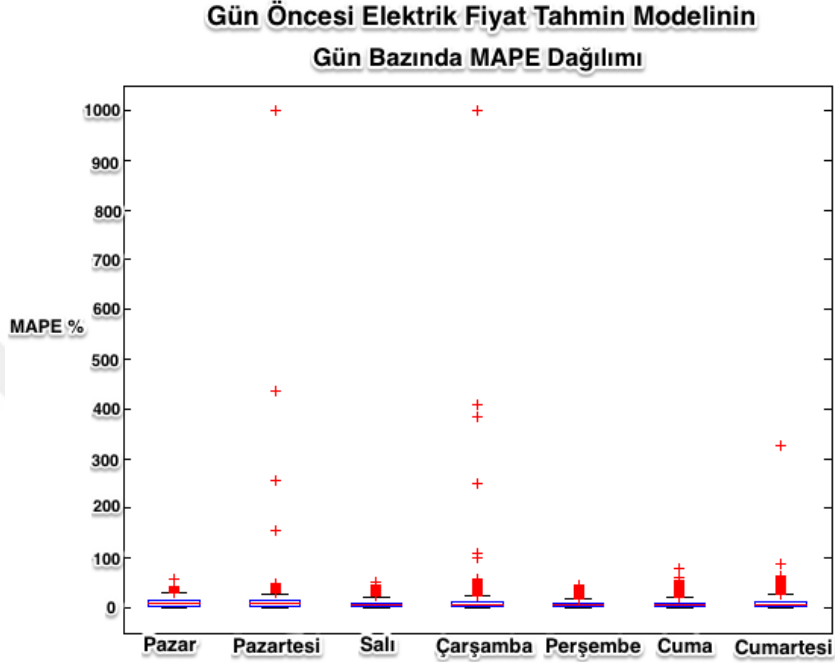
Hata oranı 29.09.2014 tarihi için MAPE değeri %1000'i geçmiş fakat grafiğinin yorumlanabilmesi için %1000 olarak sınırlandırılmıştır. 29.09.2014 tarihinde saat 04:00'te gerçekleşen gün öncesi elektrik fiyat 0,92 TL/MWh, modelin tahmin etmeye çalıştığı fiyattır. Model, ilgili saat için gün öncesi elektrik fiyatını 73,13 TL/MWh olarak tahmin etmiştir. Diğer en düşük fiyat 31.12.2014 tarihinde Çarşamba günü saat 23.00'de 0,79 TL/MWh olarak görülmüştür. İlgili saat için model elektrik gün öncesi fiyatını 119,88 TL/MWh olarak tahmin etmiştir. Hesaplanan MAPE değeri bu saat için de %1000 geçmiştir. Elektrik fiyatının bu kadar düşük değer olması gün öncesi elektrik fiyatları için anormal bir durumdur. 03.03.2014-31.12.2014 günleri arasındaki 7.296 saat gerçek fiyat veri histogramı Şekil 36'da verilmiştir. 7.296 saatlik gün öncesi elektrik fiyatlarının genelde 100 TL/MWh ile 250 TL/MWh arasında değiştiği görülmektedir.



Şekil 36. 03.03.2014-31.12.2014 Tarihleri Arasında PTF Histogramı.

Gün öncesi elektrik fiyatlarının 03.03.2014 ile 31.12.2014 tarihleri arasında modelin günlük bazda MAPE dağılımları Şekil 37'de verilmiştir. Hata oranının %1000 geçtiği iki durumda grafiğin daha rahat yorumlanması için

%1000 olarak gösterilmiştir. Maksimum hataların en fazla Pazartesi ve Çarşamba günleri olduğu görülmektedir.



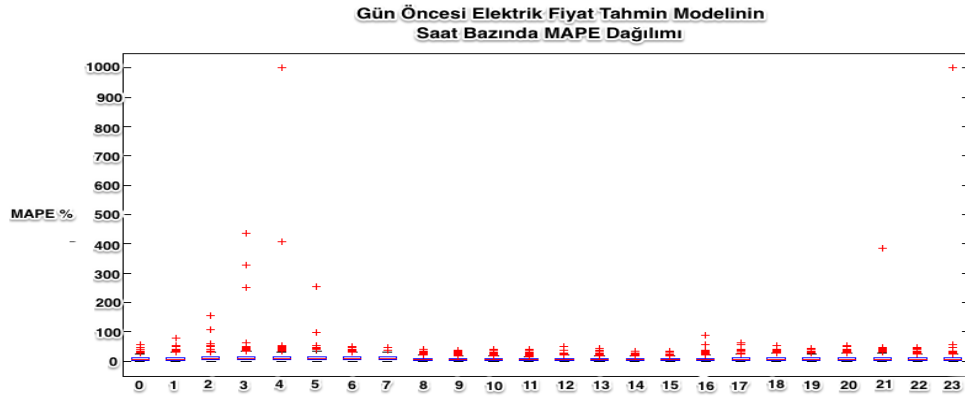
Şekil 37. Gün Öncesi Elektrik Fiyat Tahmin Uygulaması Günlük Bazda MAPE Dağılımı.

Gün öncesi elektrik modelin 7.296 saat için oluşan MAPE değerlerinin günlük olarak maksimum, minimum ve ortalama yorumlanmış MAPE değerleri Tablo 15'te verilmiştir. Ortalama MAPE değerlerine göre modelin en başarılı olduğu gün perşembe iken, en başarısız olduğu gün pazartesidir.

Tablo 15. Gün Öncesi Elektrik Fiyat Tahmin Uygulaması Günlük MAPE Değerleri.

| | Minimum MAPE % | Maksimum MAPE % | Ortalama MAPE % |
|-----------|-------------------|--------------------|--------------------|
| Pazartesi | 0,0036 | 1000 | 11,7802 |
| Salı | 0,0136 | 51,8794 | 7,9238 |
| Çarşamba | 0,0034 | 1000 | 10,5957 |
| Perşembe | 0,0125 | 44,6970 | 7,0991 |
| Cuma | 0,0202 | 78,9999 | 7,7048 |
| Cumartesi | 0,0074 | 326,3810 | 10,0324 |
| Pazar | 4,7905e-04 | 57,1702 | 10,5396 |

Gün öncesi elektrik fiyatı tahmin modelinin 03.03.2014-31.12.2014 tarihleri arasındaki MAPE değerlerinin saatlik dağılımı Şekil 38’de verilmiştir. MAPE değerlerinin en fazla olduğu zamanlar saat 04:00 ve 23:00’te olduğu görülmüştür.



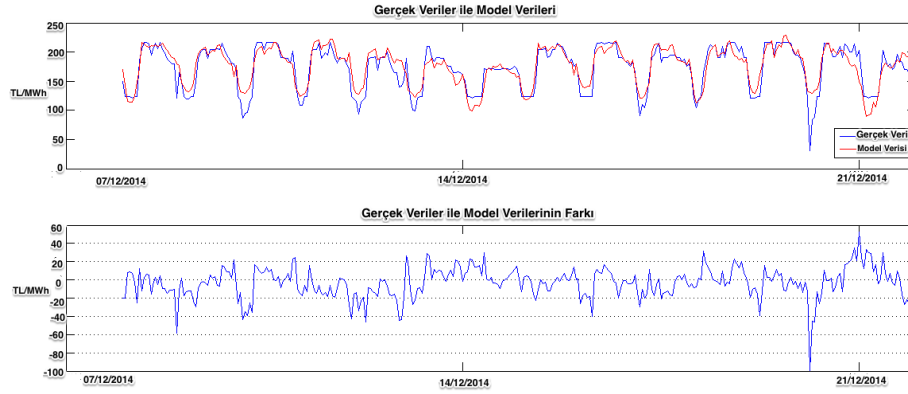
Şekil 38. Gün Öncesi Elektrik Fiyat Tahmin Uygulaması Saatlik Bazda MAPE Dağılımı.

Tablo 16 saat bazında minimum, maksimum ve ortalama değerleri göstermektedir.

Tablo 16. Gün Öncesi Elektrik Fiyat Tahmin Uygulaması Saatlik Bazda MAPE Değerleri.

| | Minimum MAPE % | Maksimum MAPE % | Ortalama MAPE % |
|----------------|---------------------------|----------------------------|----------------------------|
| Saat 00 | 0,0810 | 58,1671 | 9,0922 |
| Saat 01 | 0,0553 | 78,9999 | 9,7782 |
| Saat 02 | 0,0325 | 155,3985 | 11,7474 |
| Saat 03 | 0,0348 | 437,4815 | 15,0506 |
| Saat 04 | 0,0036 | 1000 | 16,0849 |
| Saat 05 | 0,0372 | 255,6881 | 12,2760 |
| Saat 06 | 0,1527 | 51,3126 | 11,3249 |
| Saat 07 | 0,1565 | 46,1438 | 10,8741 |
| Saat 08 | 0,0156 | 40,0459 | 7,7913 |
| Saat 09 | 0,0034 | 38,7346 | 6,6396 |
| Saat 10 | 0,0202 | 41,6511 | 6,2835 |
| Saat 11 | 0,0702 | 40,4077 | 5,9794 |
| Saat 12 | 0,0589 | 49,4523 | 7,1791 |
| Saat 13 | 0,0936 | 42,8417 | 6,9314 |
| Saat 14 | 0,0186 | 35,4256 | 6,5030 |
| Saat 15 | 0,0069 | 33,8118 | 6,6731 |
| Saat 16 | 0,0433 | 87,7241 | 7,6903 |
| Saat 17 | 0,0582 | 64,3085 | 8,8123 |
| Saat 18 | 4.7905e-4 | 53,9337 | 9,4455 |
| Saat 19 | 0,1485 | 44,1558 | 9,3197 |
| Saat 20 | 0,0349 | 52,5261 | 9,4214 |
| Saat 21 | 0,1021 | 383,8547 | 19,6288 |
| Saat 22 | 0,0268 | 45,9047 | 7,9146 |
| Saat 23 | 0,0082 | 1000 | 11,8979 |

Gün öncesi elektrik fiyatı tahmin modelinin saatlik ortalama MAPE değerlerine göre en başarılı zaman dilimi saat 11:00, en başarısız zaman dilimi saat 21:00 olarak görülmektedir. Gün öncesi fiyatları tahmin modelinin 07.12.2014 ile 21.12.2014 günleri arasındaki tahmin verileri Şekil 39'da verilmiştir. 14 günü içeren modelin tahmin değişimi ile gerçek gün öncesi fiyat değişimi görülmektedir.



Şekil 39. Gerçek Elektrik Fiyatı ile Tahmin Modeli Elektrik Fiyatı (07.12.2014 - 21.12.2014).

07.12.2014 ile 21.12.2014 günleri arasındaki gerçek PTF ve ile model tahmin sonucu arasındaki ortalama hata farkı 17,49 TL/MWh olarak hesaplanmıştır. Gerçek veriler ile model tahmin sonuçlarının genelde aynı davranışı sergilediği görülmektedir.

GENEL DEĞERLENDİRME VE SONUÇ

Yapay sinir ağları ile oluşturulan modellerin elektrik piyasası gibi lineer olmayan değişimler gösteren ortamlarda kurulacak tahmin modellerinde etkili bir karar destek aracı olduğu ortaya çıkmaktadır. Elektrik piyasası katılımcılarının, yapay sinir ağları kullanarak belli bir başarı oranı ile elektrik yük talep ve fiyat tahmini yapabilecekleri görülmüştür. Elektrik piyasasını etkileyen dinamiklerin piyasa üzerinde etkisi artıkça tahmin modellerinin başarısı da artacağı düşünülmektedir.

Literatürde yapay sinir ağları ile yapılmış tahmin modelleri incelenmiş ve oluşturulan tahmin modellerinin farklı yöntemler ile performansları değerlendirilmiştir. Örneğin Avustralya Queensland elektrik marketi için yapılan fiyat tahmin modelinde MAPE değeri %8,68 olarak elde edilirken, elektrik yük talep değeri için MAPE değeri %2,98 olarak elde edilmiştir (YanBin Xu, 2009). Aggarwal v.d. tarafından yapılan literatür araştırmalarına göre yapay sinir ağları ile elektrik fiyat tahminleri farklı performans ölçüm teknikleri göz önüne alındığında hata oranları %5-38 arasında değişmekte, elektrik yük talep miktarı tahmin sonuçları ise %3 altında sonuçlar verebilmektedir. (Aggarwal v.d., 2009). Elektrik yük talep için elde edilen %1,86 MAPE değerinin, gün öncesi elektrik yük fiyat için elde edilen %9,76 MAPE değerinin literatürdeki modellere kıyasla başarılı söylenebilir.

01.01.2012 ile 31.12.2014 günleri arasında bulunan toplam 26.304 saatin 19.008 saati modelin eğitilmesi için kalan 7.296 saati ise modelin test edilmesi için kullanılmıştır. Literatürdeki çalışmalara kıyasla, kullanılan veri setinin büyüklüğü ve test edilen toplam 6,400 adet farklı model itibariyle bu tez çalışması literatür çalışmalarına önemli katkı sağlamaktadır.

Gradient Descent ve Gradient Descent Momentum algoritmaları yapay sinir ağlarında ağırlık değişimlerini birinci dereceden türev ile hesaplandıkları için girdilerdeki anomalilere karşı daha hassas modellerdir. İkinci dereceden türev yardımıyla ağıdaki ağırlıkları hesaplayan BFGS ve Levenberg-Marquardt yöntemleri girdilerdeki anomalilere karşı daha başarılı sonuçlar verdiği görülmüştür. Levenberg-Marquardt algoritmasının yapay sinir ağlarında başarılı sonuçlar ürettiği bu çalışmada tekrar kanıtlanmıştır.

Temel bileşen analizi (PCA) yöntemi ile model girdilerinde ön işleme yapılmasının model üzerinde olumlu etkisi görülmemiştir. Elektrik yük talep ve elektrik gün öncesi fiyat tahmin modellerinde en başarılı sonucu veren modellerin PCA veri ön işlemeyi kullanmayan modellerdir. PCA modelinin temel kullanım alanının girdilerdeki gürültüyü yok etmesi ve girdilerdeki boyutun düşürülmesidir. Bu çalışmada kullanılan veri setinin girdi boyutunun az olması nedeniyle PCA kullanarak oluşturulan modeller daha başarısız olmuştur. PCA modelinin girdi boyutunun arttığı durumlarda daha etkili sonuçlar vermektedir bu durumda literatüre ile uyumludur.

Yapay sinir ağları ile istatistiksel yöntemler veya yapay sinir ağlarının kendi içerisinde kombinasyonları ile oluşturulabilecek melez(hybrid) modeller ileriki çalışmalarda oluşturulmalıdır. Herhangi bir modelin diğer bir modelden kesin üstün olduğu söylenemediği durumlarda, ilgili modellerin güçlü yönleri birleştirilerek oluşturulan melez (hybrid) modellerin tahmin sonuçları incelenmelidir.

Verilerde doğal gaz fiyatlarının yurt dışından alınması, sıcaklık değerlerinin saatlik bulunmaması bu bilgilerin akademisyenlere, firmalara sağlayacak sistemlerin geliştirilmesi gerekliliğini ortaya çıkmıştır.

Risk yönetimi açısından ani değişimlerin bilinmesi elektrik üreticileri ve tüketicileri için büyük önem arz etmektedir. Gün öncesi elektrik fiyatlarında ve elektrik yük talep miktarlarında meydana gelen ani değişimlerin modelin başarısını olumsuz etkilediği görülmektedir. Ani fiyat veya talep değişimleri ayrıca tahmin edebilecek modellerin geliştirme ihtiyacı ortaya çıkmıştır.

Elektrik talep miktarında kullanıcıların alışkanlıklarının etkisi göz ardı edilmemelidir. Elektrik piyasasında elektrik kullanımı ve dolayısı ile fiyatları kullanıcıların davranışları ile değişir. Geliştirilen modellerin statik bir zaman aralığı yerine dinamik zamanlarda elektrik fiyatlarını ve tahmin verilerini sürekli kullanarak modelin kendini eğitmesi daha başarılı sonuçlar üretecektir.

SUMMARY

In today's liberalized electricity market, electricity load demand and day-ahead electricity price forecast models is important for consumer to access to electricity and for business in the electricity market to compete in a healthy manner. In the past, state-controlled and vertical integration structured electricity markets electricity load demand and day-ahead electricity price forecasting have not present a significant importance compered to liberalized market. However, electricity load demand a day-ahead electricity price forecasting has come to a central position to a healthy functioning of the market.

In this thesis, using the electricity load demand and day-ahead electricity prices that occur between 2012-2014 years in Turkish Electricity Market data, is developed artificial neural network model, which is one of the intelligent methods. Then success of developed models will be compared.

Artificial neural networks are one of the tools commonly used in forecasting models. Artificial neural networks are quite successful compared to traditional statistical methods especially in the absence of linear relationship between the data used for estimation. In this cases neural networks are highly effective forecasting tools.

In this study, multilayer feed-forward neural networks models of different optimization algorithms are developed to using the day ahead

electricity price and electricity load demand in the electricity market models have been created for Turkey. As a result of the electricity market in Turkey for the amount of electrical load demand of the models created using artificial neural networks and day-ahead electricity price forecasts are views given quite successful results. It has been concluded that artificial neural network models of electricity market will be created for businesses located with the forecast model can be used as an effective tool. Have a strategic importance in the market such as the electricity market and electricity market located in the use of successful forecasting model will be useful on behalf of all the participants.

Key Words: Electric market, artificial neural network, electricity load demand forecast, day-ahead electricity price forecast.

ÖZET

Günümüzde serbestleşen elektrik piyasalarında, elektrik yük talep miktarı modelleri ve gün öncesi elektrik fiyat tahmin modelleri hem tüketicilerin ihtiyacı olan elektriğe ulaşabilmeleri hem de elektrik piyasasında yer alan işletmelerin sağlıklı bir şekilde rekabet edebilmeleri açısından büyük önem taşımaktadır. Geçmiş dönemde devlet kontrolünde olan ve dikey bütünleşik yapıya sahip elektrik piyasalarında, elektrik yük talep miktarı ve elektrik fiyat tahmini serbestleşen piyasalara nazaran ciddi önem arz etmiyordu. Ancak piyasaların serbestleşmesi ile birlikte elektrik yük talep miktarı ve gün öncesi elektrik fiyat tahmini, piyasaların sağlıklı bir şekilde işlemesi açısından merkezi bir konuma gelmiştir.

Tez çalışması kapsamında Türkiye’de 2012-2014 yılları arasında gerçekleşen elektrik yük talep ve gün öncesi elektrik fiyat verileri kullanılarak, yapay zeka yöntemlerinden biri olan yapay sinir ağları modelleri ile tahmin modelleri geliştirilip, geliştirilen modellerin başarıları kıyaslanacaktır.

Yapay sinir ağları tahmin modellerinde oldukça sık kullanılan araçlardan biridir. Özellikle tahmin için kullanılan veriler arasında fonksiyonel veya lineer ilişki olmadığı durumlarda yapay sinir ağları geleneksel istatistik yöntemlere göre oldukça başarılıdır. Bu durum yapay sinir ağlarını, elektrik piyasaları gibi veriler arasında fonksiyonel ve lineer ilişki bulunmayan verilerden oluşan elektrik piyasalarında oldukça etkili bir tahmin aracı haline getirmektedir.

Bu çalışmada, Türkiye elektrik piyasası için ileri beslemeli üç katmanlı yapay sinir ağı modelleri farklı optimizasyon algoritmaları ile kullanılarak elektrik yük talep ve gün öncesi elektrik fiyat modelleri oluşturulmuştur. Çalışma sonucunda Türkiye elektrik piyasası için yapay sinir ağıları kullanarak oluşturulan modellerin elektrik yük talep miktarı ve gün öncesi elektrik fiyatı tahminlerinde oldukça başarılı sonuçlar verdiği görülmüştür. Yapay sinir ağıları ile oluşturulacak modellerin elektrik piyasasında yer alan işletmeler için tahmin modellerinde kullanılabilecek etkili bir araç olduğu sonucuna varılmıştır. Elektrik piyasası gibi stratejik öneme sahip piyasalarda, başarılı tahmin modellerin kullanılması elektrik piyasasında yer alan tüm katılımcılar faydalı olacaktır.

Anahtar Kelimeler: Elektrik piyasası, Yapay sinir ağıları, Elektrik yük talep tahmini, Gün öncesi elektrik fiyat tahmini

KAYNAKÇA

Aggarwal, S. K., Saini, M. L., & Kumar, A. (2009). Electricity price forecasting in deregulated markets: A review and evaluation. *International Journal Of Electrical Power And Energy Systems* .

Alfares, H., & Nazeeruddin, M. (2002). Electric load forecasting: Literature survey and classification of methods. *International Journal of Systems Science*, 23-34.

Azar, A. T. (2013). Fast neural network learning algorithms for medical applications. *Neural Computing and Applications Applications* .

Börü, E. (2009). *Türkiye Elektrik Sektörü Serbestleştirilmesi ve Elektrik Dağıtım Sektörü Özelleştirmeleri*. Ankara Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Maliye Anabilim Dalı.

Berk, K. (2015). *Modeling and Forecasting Electricity Demand*. Springer Spektrum.

Boisseleau, F. (2004). *The Role of Power Exchanges for the Creation of a Single European Electricity Market: Market*. PhD Thesis, University of Paris IX Dauphine. Delft University Press.

Bunn, D. (2000). Forecasting loads and prices in competitive power markets. *Proceedings Of The IEEE (Institute Of Electrical And Electronics Engineers)* .

Cangüzel, T. A. (2012). *Avrupa Doğalgaz Fiyatlandırma Sistemi ve Küresel Gaz Fiyatları Farklılıkları*. Fizik Mühendisleri Odası. Fizik Mühendisleri Odası.

Conejo, J. A., Plazas, M. A., Espinola, R., & Molina, A. B. (2005). Day-ahead electricity price forecasting using the wavelet transform and ARIMA models. *IEEE Transactions on Power System* .

Çetintaş, H., & Bicil, İ. M. (2015). Elektrik Piyalarında Yeniden Yapılanma ve Türkiye Elektrik Piyasasında Yapısal Dönüşüm. *Optimum Ekonomi ve Yönetim Bilimleri Dergisi* .

Erten, İ. E. (2012). *Türkiye Elektrik Piyasası ve DUY*. Enerji Piyasası Denetleme Kurumu.

Filho, J. C., Affonso, C., & Oliveira, R. (2014). Energy price prediction multi-step ahead using hybrid model in the Brazilian market. *Electric Power Systems Research* .

Fine, T. L. (1999). *Feedforward Neural Network Methodology*. Springer.

Garcia, R., Contreras, J., Akkeren, M. v., & Garcia, J. B. (2005). A Garch forecasting model to predict day-ahead electricity prices. *IEEE Transactions on Power System* .

Grossberg, S. (2013). Adaptive Resonance Theory: How a brain learns to consciously attend, learn, and recognize a changing world. *Neural Networks*, 1-47.

Gündoğdu, B. (2008). Dünyada Elektrik Özelleştirmeleri. *Vergi Dünyası* .

H.Y. Yamin, S. S. (2004). Adaptive short-term electricity price forecasting using artificial neural networks in the restructured power markets. *International Journal of Electrical Power and Energy Systems* .

Hahn, H., Meyer-Nieberg, S., & Pickl, S. (2009). Electric load forecast methods: Tools for decision making. *European Journal of Operational Research* .

Haykin, S. S. (1999). *Neural Networks: A Comprehensive Foundation*. Pearson Prentice Hall.

Hippert, H. S., Pedreira, E. C., & Souza, R. C. (2001). Neural networks for short-term load forecasting: A review and evaluation. *IEEE Transactions On Power Systems* .

Jain, A., Mao, J., & Mohiuddin, K. (1996). Artificial neural networks: A tutorial. *Computer* .

Jentsch, M. D. (2001). *The Development of Electricity Markets in the Euro-Mediterranean Area*. The World Bank.

Joskow, P. L. (2001). California'a Electricity Crisis. *Working Paper, MIT* .

Kaya, F. T. (2015). Gün İçi Piyasası Geliyor. *Enerji Panorama* .

Kourentzes, N., Barrow, D., & Cron, S. (2014). Neural network ensemble operators for time series forecasting. *Expert Systems with Applications* .

Lahmiri, S. (2011). A Comparative Study Of Backpropagation Algorithms In Financial Prediction. *International Journal of Computer Science, Engineering and Applications (IJCSEA) Vol.1, No.4* , .

Mandal, P., Senjyu, T., & Funabashi, T. (2006). Neural networks approach to forecast several hour ahead electricity price and loads in deregulated market. *Energy Conversion and Management* .

Moinuddin, M., Ali, S. S., Raza, K., & Adil, S. (2014). An adaptive learning rate for RBFNN using time-domain feedback analysis. *The Scientific World Journal* .

Murray, B. (1999). *Electricity Markets; Investment Performance and Analysis*. Willey.

Nitin Singh, S. M. (2015). Review of Price Forecasting Problem and Techniques in Deregulated Electricity Markets. *Journal of Power and Energy Engineering* .

Nogales, F., Contreras, J., Conejo, A., & Espínola, R. (2002). Forecasting next-day electricity prices by time series models. *IEEE Transactions on Power System* .

Prasad, B., Prasad, K. P., Murty, P., & Chakravarthy, A. (2011). A Study on Backpropagation Models through Hidden Units. *Advances In Computational Sciences and Technology* .

Rumelhart, D., Hilton, G., & JO, R. (1986). Learning representations by back-propagating errors. *Nature*, 323 (9) .

Schuttelaar, F. (2011). *Avrupa Enerji Piyasaları*. GDF SUEZ Trading.

Sercan IŞCAN, K. İ. (2015). Enerji Kalitesinin Standartlar ve Yönetmelikler Çerçevesinde Değerlendirilmesi. *3rd International Istanbul Smart Grid Congress*.

Shahidehpour, M., Yamin, H., & Li, Z. (2002). *Market Operations in Electric Power Systems*. Willey-Interscience.

Sioshansi, F., & Pfaffenberger, W. (2006). Chapter 1 - Why Restructure Electricity Markets? F. P. Pfaffenberger (Dü.) içinde, *Electricity Market Reform* (s. 35 - 48). Elsevier.

Steven, T. (2004). Electricity Liberalisation: The Beginning of The End. www.psimu.org .

Şandır, E. (2007). *Elektrik Piyasasında Yatırım Projelerinin Değerlendirilmesi:Türkiye Uygulaması*. Gazi Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, İşletme Anabilim Dalı Finansman Bilim Dalı.

Türkiye İstatistik Kurumu (TUIK), (2014). Seçilmiş Göstergelerle İstanbul 2013. Ankara: Türkiye İstatistik Kurumu.

Türkiye Petrolleri. (2015). *Ham Petrol ve Doğal Gaz Raporu*. Türkiye Petrolleri, Strateji Geliştirme Daire Başkanlığı. Türkiye Petrolleri Strateji Geliştirme Daire Başkanlığı.

Talae, H. (2014). Multilayer perceptron with different training algorithms for streamflow forecasting. *Neural Computing and Applications* .

Özbuğday, F. C. (2015, 02). Doğal gaz ve petrol fiyatları: Karmaşık bir ilişki (mi?). *Enerji Panorama* .

Ünal, O. (2007). Elektrik Piyasası Oluşumu. *Ankara Barosu Dergisi*, 83.

Wang, G., Wang, J., & Che, J. (2012). An adaptive fuzzy combination model based on self-organizing map and support vector regression for electric load forecasting. *Energy*, 657-664.

WEC. (2016). *A climate of innovation – responding to the commodity price storm*. The World Energy Council. The World Energy Council 2016.

Weron, R. (2014). Electricity price forecasting: A review of the state-of-the-art with a look into the future. *International Journal of Forecasting*, 1030-1081.

Weron, R. (2006). *Modeling and Forecasting Electricity Loads and Price*. John Wiley & Sons Ltd.

Weinstein, S., & Hall, D. (2001). The California Electricity Crisis Overview and International Lessons. www.psir.org .

Yan, X. (2009). Electricity Market Clearing Price Forecasting In A Deregulated Electricity Market. Department Of Electrical And Computer Engineering University Of Saskatchewan, Saskatoon.

YanBin Xu, K. N. (2009). Demand and Price Forecasting by Artificial Neural Networks(ANNs) in a Deregulated Power Market. *International Journal of Electrical and Power Engineering* .

Zhang, G. P. (2004). *Neural Networks in Business Forecasting*. Idea Group Inc.

Zhang, G., Patuwo, B. E., & Hu, M. Y. (1998). Forecasting with artificial neural networks: The state of the art. *International Journal Of Forecasting* .



EKLER

Ek-1: XOR Kapısı

Ek-2: Jacobian Matrisi

Ek-3: Hessian Matrisi

Ek-4: PCA Ön İşlemi Uygulamayan Elektrik Talep Tahmin Modellerin MAPE Sonuçları.

Ek-6.1: PCA Ön İşlem Faktörlerine Göre GD Logsig Elektrik Talep Tahmin Modellerin MAPE Sonuçları.

Ek-6.2: PCA Ön İşlem Faktörlerine Göre GD Tansig Elektrik Talep Tahmin Modellerin MAPE Sonuçları.

Ek-6.3: PCA Ön İşlem Faktörlerine Göre GDM Logsig Elektrik Talep Tahmin Modellerin MAPE Sonuçları.

Ek-6.4: PCA Ön İşlem Faktörlerine Göre GDM Tansig Elektrik Talep Tahmin Modellerin MAPE Sonuçları.

Ek-6.5: PCA Ön İşlem Faktörlerine Göre BFGS Logsig Elektrik Talep Tahmin Modellerin MAPE Sonuçları.

Ek-6.6: PCA Ön İşlem Faktörlerine Göre BFGS Tansig Elektrik Talep Tahmin Modellerin MAPE Sonuçları.

Ek-6.7: PCA Ön İşlem Faktörlerine Göre LM Logsig Elektrik Talep Tahmin Modellerin MAPE Sonuçları.

Ek-6.8: PCA Ön İşlem Faktörlerine Göre LM Tansig Elektrik Talep Tahmin Modellerin MAPE Sonuçları.

Ek-7.1: PCA Ön İşlem Faktörlerine Göre GD Logsig Gün Öncesi Elektrik Fiyat Tahmin Modellerin MAPE Sonuçları.

Ek-7.2: PCA Ön İşlem Faktörlerine Göre GD Tansig

Gün Öncesi Elektrik Fiyat Tahmin Modellerin MAPE Sonuçları.

Ek-7.3: PCA Ön İşlem Faktörlerine Göre GDM Logsig

Gün Öncesi Elektrik Fiyat Tahmin Modellerin MAPE Sonuçları.

Ek-7.4: PCA Ön İşlem Faktörlerine Göre GDM Tansig

Gün Öncesi Elektrik Fiyat Tahmin Modellerin MAPE Sonuçları.

Ek-7.5: PCA Ön İşlem Faktörlerine Göre BFGS Logsig

Gün Öncesi Elektrik Fiyat Tahmin Modellerin MAPE Sonuçları.

Ek-7.6: PCA Ön İşlem Faktörlerine Göre BFGS Tansig

Gün Öncesi Elektrik Fiyat Tahmin Modellerin MAPE Sonuçları.

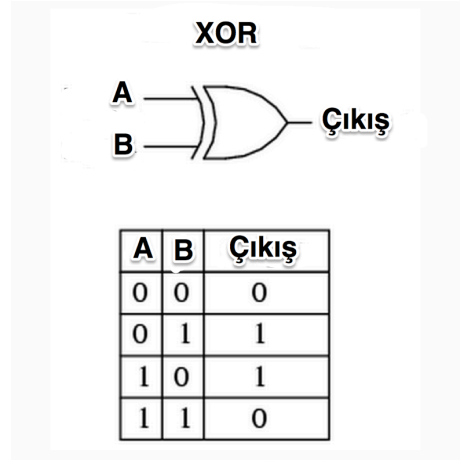
Ek-7.7: PCA Ön İşlem Faktörlerine Göre LM Logsig

Gün Öncesi Elektrik Fiyat Tahmin Modellerin MAPE Sonuçları.

Ek-7.8: PCA Ön İşlem Faktörlerine Göre LM Tansig

Gün Öncesi Elektrik Fiyat Tahmin Modellerin MAPE Sonuçları.

Ek-1: XOR Kapısı.



Ek-2: Jacobian Matrisi.

$$\mathbf{J} = \frac{d\mathbf{f}}{d\mathbf{x}} = \begin{bmatrix} \frac{\partial \mathbf{f}}{\partial x_1} & \cdots & \frac{\partial \mathbf{f}}{\partial x_n} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial f_1}{\partial x_1} & \cdots & \frac{\partial f_1}{\partial x_n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{\partial f_m}{\partial x_1} & \cdots & \frac{\partial f_m}{\partial x_n} \end{bmatrix}$$

Ek-3: Hessian Matrisi.

$$\mathbf{H} = \begin{bmatrix} \frac{\partial^2 f}{\partial x_1^2} & \frac{\partial^2 f}{\partial x_1 \partial x_2} & \cdots & \frac{\partial^2 f}{\partial x_1 \partial x_n} \\ \frac{\partial^2 f}{\partial x_2 \partial x_1} & \frac{\partial^2 f}{\partial x_2^2} & \cdots & \frac{\partial^2 f}{\partial x_2 \partial x_n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{\partial^2 f}{\partial x_n \partial x_1} & \frac{\partial^2 f}{\partial x_n \partial x_2} & \cdots & \frac{\partial^2 f}{\partial x_n^2} \end{bmatrix}$$

Ek-4: PCA Ön İşlemi Uygulanmayan Elektrik Talep Tahmin Modellerinin MAPE Sonuçları.

| | GDM_Logsig | GDM_Tansig | GD_Logsig | GD-Tansig | LM-Logsig | LM-Tansig | BFGS-Logsig | BFGS-Tansig |
|----|------------|------------|------------|------------|-----------|-----------|-------------|-------------|
| 1 | 13.6047755 | 10.5528624 | 3.9132936 | 4.34677221 | 3.96 | 3.84 | 3.75 | 4.3 |
| 2 | 15.0590896 | 14.064905 | 4.08061714 | 5.24298253 | 2.92 | 2.98 | 3.76 | 3 |
| 3 | 12.1445751 | 12.4726915 | 4.10369135 | 5.50429317 | 2.98 | 2.56 | 2.6 | 3.37 |
| 4 | 10.6468705 | 12.4876362 | 5.14610106 | 5.85665715 | 2.61 | 3.14 | 2.54 | 2.54 |
| 5 | 12.0241086 | 10.7212324 | 4.56610489 | 7.25418409 | 2.48 | 2.5 | 2.47 | 2.43 |
| 6 | 12.5609875 | 23.2763131 | 4.63664848 | 6.34922668 | 2.57 | 2.56 | 2.34 | 2.34 |
| 7 | 23.2265835 | 17.5345392 | 7.70724721 | 8.23436817 | 2.21 | 2.33 | 2.24 | 2.26 |
| 8 | 12.5167536 | 22.7740732 | 5.77779467 | 9.52037293 | 2.07 | 2.43 | 2.05 | 2.35 |
| 9 | 16.8015078 | 25.1651569 | 6.49243199 | 7.46774022 | 2.1 | 2.37 | 2.17 | 2.32 |
| 10 | 13.0457201 | 18.958377 | 5.88106993 | 11.9928497 | 2.13 | 2.54 | 2.35 | 2.17 |
| 11 | 19.4630369 | 29.957185 | 5.01220153 | 17.5516859 | 1.97 | 2.22 | 2.15 | 2.02 |
| 12 | 18.8766956 | 27.093019 | 9.12695409 | 15.1519028 | 2 | 2.17 | 2.04 | 2.04 |
| 13 | 3.33776889 | 28.7274953 | 11.7365398 | 6.65963469 | 1.86 | 2.12 | 1.98 | 2.19 |
| 14 | 22.2158398 | 3.01037207 | 11.4936848 | 14.627493 | 2 | 2.13 | 2.16 | 2.23 |
| 15 | 19.156024 | 41.0303124 | 7.97086642 | 19.1347217 | 1.98 | 2.15 | 2.2 | 2.05 |
| 16 | 17.192337 | 15.227972 | 7.3173726 | 9.49522633 | 2.16 | 1.98 | 2.24 | 2.2 |
| 17 | 19.1936483 | 12.361308 | 8.32381415 | 10.9467909 | 1.98 | 2.4 | 2.06 | 2.17 |
| 18 | 21.9168344 | 53.2583311 | 15.3532102 | 10.8325273 | 2.18 | 2.15 | 2.26 | 2.26 |
| 19 | 30.5562136 | 38.4760822 | 20.326461 | 25.7257952 | 1.94 | 2.14 | 2.03 | 2.29 |
| 20 | 14.5010898 | 31.7342701 | 12.6511323 | 19.3435024 | 2 | 1.98 | 2.05 | 2.06 |
| 21 | 21.9767183 | 46.4558909 | 14.4999073 | 22.2915102 | 2.11 | 2.09 | 2.09 | 2.08 |
| 22 | 3.1807097 | 48.5056985 | 15.991097 | 21.5942383 | 2.19 | 2.03 | 2.13 | 2.1 |
| 23 | 25.9195646 | 56.946185 | 10.2378386 | 16.7307802 | 2.05 | 2.12 | 2 | 2.05 |
| 24 | 17.712903 | 65.4804046 | 14.6289807 | 30.2599662 | 2.08 | 2.04 | 2.01 | 2.14 |
| 25 | 21.5823311 | 44.0906752 | 10.519938 | 29.9812433 | 1.97 | 2.23 | 2.05 | 2.06 |
| 26 | 38.6913312 | 50.6414239 | 12.659989 | 16.9991691 | 2.08 | 2.02 | 1.95 | 2.18 |
| 27 | 17.1072191 | 39.8326766 | 17.5193146 | 21.8173944 | 1.99 | 2.01 | 2.08 | 2.15 |
| 28 | 24.1562633 | 36.0618078 | 10.2465745 | 21.5237503 | 2.04 | 2 | 2.19 | 1.99 |
| 29 | 23.0376501 | 33.1243837 | 21.4934306 | 30.3575896 | 2.02 | 1.94 | 2.16 | 2.14 |
| 30 | 18.9943041 | 60.3042353 | 19.26694 | 23.0814836 | 1.97 | 2.16 | 2.03 | 2.11 |
| 31 | 3.22887356 | 14.1623109 | 6.62368491 | 32.3290477 | 2.16 | 2.14 | 1.9 | 2.06 |
| 32 | 22.9009166 | 46.4534352 | 22.3661665 | 15.7451046 | 2.07 | 1.99 | 2.06 | 2.07 |
| 33 | 22.4981477 | 25.3745812 | 19.0424965 | 37.4855721 | 2.08 | 2.03 | 2.07 | 2.04 |
| 34 | 25.674469 | 48.0187411 | 24.8875833 | 20.0695281 | 2.06 | 2.14 | 2.1 | 1.97 |
| 35 | 28.8456646 | 31.2682169 | 15.266858 | 41.7629058 | 2.11 | 2.09 | 2.11 | 2.05 |
| 36 | 21.3066911 | 58.6563422 | 18.572366 | 38.7038415 | 2.17 | 2.04 | 2.02 | 2.12 |
| 37 | 32.2028704 | 57.2347303 | 31.8031603 | 58.098904 | 2.25 | 2.13 | 1.91 | 2.1 |
| 38 | 33.5795182 | 89.8880177 | 16.598923 | 15.9261538 | 2.11 | 2.13 | 2.06 | 2.26 |
| 39 | 3.10240555 | 24.0767437 | 32.5555393 | 26.9642404 | 2.13 | 2.07 | 2.12 | 2 |
| 40 | 30.1672671 | 68.7418226 | 24.6526437 | 40.7826647 | 2.14 | 2.05 | 2 | 2.14 |
| 41 | 37.7654477 | 60.0334421 | 15.9362591 | 53.1507892 | 2.29 | 2.26 | 2 | 2.12 |
| 42 | 24.4597225 | 79.7848798 | 46.8080338 | 54.2108075 | 2.12 | 2.12 | 2 | 2.27 |
| 43 | 56.4817944 | 79.7155639 | 19.7658338 | 36.9521879 | 2.14 | 2.13 | 2.12 | 2.01 |
| 44 | 23.8584573 | 34.1906137 | 18.8990732 | 29.2122223 | 2.2 | 2.34 | 2.01 | 2.16 |
| 45 | 18.0993073 | 44.4310352 | 32.3338002 | 45.1768796 | 2.03 | 2.11 | 2.04 | 2.12 |
| 46 | 22.4539697 | 80.8968344 | 18.4884334 | 57.9476236 | 2.44 | 2.25 | 1.99 | 1.94 |
| 47 | 36.8133155 | 90.4377537 | 17.5577779 | 46.232001 | 2.06 | 2.26 | 2.01 | 2.04 |
| 48 | 29.0056387 | 4.24811748 | 51.5334774 | 48.240567 | 2.25 | 2.09 | 2.1 | 2.04 |
| 49 | 50.7225972 | 76.5666362 | 30.6693972 | 40.7174921 | 2.42 | 2.2 | 1.99 | 2.08 |
| 50 | 44.2151213 | 55.6126415 | 20.3503859 | 30.3666541 | 2.37 | 2.28 | 2.03 | 2.14 |

Ek-5: PCA Ön İşlemi Uygulanmayan Elektrik Gün Öncesi Fiyat Tahmin Modellerinin MAPE Sonuçları.

| | GDM_Logsig | GDM_Tansig | GD_Logsig | GD-Tansig | LM-Logsig | LM-Tansig | BFGS-Logsig | BFGS-Tansig |
|----|------------|------------|------------|------------|------------|------------|-------------|-------------|
| 1 | 931.690112 | 119.936703 | 129.504269 | 810.833328 | 10.3732054 | 10.1164225 | 10.1723111 | 14.2 |
| 2 | 1046.21723 | 1664.99439 | 306.896017 | 1027.26142 | 11.3618855 | 10.4446932 | 16.6121231 | 21.3 |
| 3 | 165.6828 | 969.101329 | 23.1151585 | 1238.05837 | 10.650552 | 10.5640279 | 9.8605152 | 21.3 |
| 4 | 1765.55003 | 175.544753 | 59.8798501 | 1249.15218 | 10.2032221 | 10.2199576 | 15.8675806 | 15.5 |
| 5 | 512.364898 | 1200.84521 | 117.135177 | 480.937384 | 10.3996931 | 9.88823393 | 13.9047405 | 18.4 |
| 6 | 703.523131 | 630.93963 | 1530.48186 | 1259.16715 | 10.4660677 | 10.8494426 | 13.5815112 | 17 |
| 7 | 801.699498 | 255.146258 | 715.858558 | 1611.56124 | 10.2387188 | 10.4081663 | 13.6607492 | 17.2 |
| 8 | 155.849677 | 1387.2315 | 756.859699 | 1648.21401 | 10.1242599 | 11.0015769 | 10.046198 | 17.6 |
| 9 | 186.264973 | 612.852177 | 476.592281 | 523.507996 | 10.4328384 | 10.6109569 | 17.8748511 | 22.3 |
| 10 | 171.708731 | 847.930432 | 1026.39126 | 297.504445 | 10.1534158 | 10.7500171 | 15.5600992 | 16.9 |
| 11 | 579.964263 | 1951.64245 | 1303.40639 | 137.43556 | 10.2717898 | 10.8634978 | 16.4384524 | 22.1 |
| 12 | 271.687601 | 1344.22774 | 218.508337 | 925.123002 | 10.6648967 | 10.0599837 | 14.0752774 | 15.7 |
| 13 | 293.137226 | 1453.02022 | 952.174438 | 552.379263 | 10.4003232 | 10.257214 | 21.3555515 | 16.6 |
| 14 | 175.10554 | 780.7403 | 105.649191 | 1923.20525 | 9.84775754 | 10.8486391 | 13.8594539 | 17.2 |
| 15 | 398.337223 | 3441.79861 | 183.388055 | 2241.9449 | 10.2160757 | 10.5634734 | 19.0693612 | 21.3 |
| 16 | 230.704049 | 1115.53728 | 990.950553 | 1276.59876 | 10.7962753 | 10.1216907 | 13.063745 | 15.4 |
| 17 | 674.614251 | 428.955544 | 270.530357 | 852.798191 | 10.4647743 | 9.7618519 | 11.2264568 | 18.8 |
| 18 | 470.773233 | 1160.27857 | 251.248633 | 1446.07869 | 10.6552967 | 10.39313 | 11.660145 | 16.7 |
| 19 | 142.861723 | 2281.02116 | 251.701063 | 2823.19029 | 10.4891984 | 10.7122609 | 20.1640643 | 13.1 |
| 20 | 2056.58401 | 1513.66663 | 951.77662 | 2754.09595 | 10.5549382 | 11.7166341 | 16.6335902 | 19.7 |
| 21 | 779.24651 | 458.773794 | 1291.79471 | 1049.35636 | 10.7458815 | 10.7072359 | 11.6406594 | 16.5 |
| 22 | 344.634505 | 691.528587 | 243.217062 | 2174.01983 | 10.5274564 | 10.5387555 | 13.5282453 | 16.6 |
| 23 | 1109.87395 | 448.724133 | 290.126204 | 344.130572 | 10.6353396 | 11.206585 | 14.9423719 | 19.7 |
| 24 | 3135.3581 | 599.949871 | 1263.19354 | 1829.83 | 10.059225 | 10.5040917 | 25.0744484 | 16 |
| 25 | 204.458046 | 532.210495 | 610.298539 | 2738.17124 | 10.4797538 | 11.5178575 | 12.750884 | 17.2 |
| 26 | 453.268985 | 23.5656459 | 270.836925 | 1014.39223 | 10.1137336 | 10.7973051 | 10.0281747 | 16.7 |
| 27 | 1280.78999 | 885.779281 | 756.535502 | 701.197026 | 10.6763273 | 10.3693317 | 13.6404233 | 16.4 |
| 28 | 113.91578 | 526.723617 | 459.436204 | 657.259182 | 10.6193724 | 10.0382646 | 12.6009749 | 26.3 |
| 29 | 2054.66267 | 1882.45454 | 2503.75495 | 1243.57272 | 10.5172947 | 10.4587891 | 15.71659 | 23.4 |
| 30 | 527.379711 | 595.916268 | 617.475878 | 690.752024 | 10.2587721 | 10.7310242 | 10.0428122 | 30.1 |
| 31 | 643.437521 | 3507.04161 | 1973.25874 | 678.125094 | 10.2957192 | 10.8899138 | 10.0911096 | 17.8 |
| 32 | 1563.45893 | 899.618771 | 2283.35117 | 2003.5604 | 10.0885304 | 10.1916242 | 13.3352915 | 19.1 |
| 33 | 223.577113 | 1739.00268 | 189.678183 | 1007.03771 | 9.86743978 | 10.7160335 | 13.1094067 | 19 |
| 34 | 2191.26546 | 1018.43106 | 708.924768 | 1151.1402 | 10.5840609 | 10.6550849 | 15.1723098 | 16.1 |
| 35 | 902.188394 | 125.525278 | 1914.4374 | 1508.45084 | 10.4315086 | 10.3662041 | 30.1433239 | 30.9 |
| 36 | 398.22517 | 2760.80203 | 146.551739 | 1539.58221 | 10.7993003 | 10.3671067 | 14.4023496 | 18.7 |
| 37 | 1383.66677 | 749.655161 | 2120.23331 | 1290.39482 | 10.8064625 | 11.3196966 | 21.4505212 | 32.2 |
| 38 | 284.482716 | 533.97028 | 2295.09803 | 1659.89699 | 10.6495539 | 11.0751805 | 13.3218906 | 19.7 |
| 39 | 266.255399 | 1697.81014 | 539.122116 | 739.648024 | 10.9267997 | 10.5780833 | 13.1078086 | 15.8 |
| 40 | 2771.83496 | 1333.09589 | 1290.00116 | 1128.63664 | 11.0342194 | 11.4306455 | 13.1508946 | 28.8 |
| 41 | 2055.16536 | 1995.6494 | 2983.91021 | 1590.63032 | 11.1059024 | 11.19268 | 14.233356 | 25.3 |
| 42 | 2246.69669 | 726.84602 | 2175.02526 | 976.674068 | 11.3499799 | 11.0052505 | 19.7583881 | 22.3 |
| 43 | 1392.17114 | 2048.52295 | 209.306134 | 952.067627 | 10.7467654 | 10.4743224 | 12.0923066 | 29.3 |
| 44 | 534.513225 | 3792.16999 | 314.785213 | 2011.86489 | 11.6846575 | 11.4512752 | 13.5569392 | 30.6 |
| 45 | 1676.38837 | 1153.23602 | 1727.95882 | 2251.96109 | 10.616505 | 10.2005719 | 12.1289108 | 26.8 |
| 46 | 1295.55614 | 1517.72232 | 374.659419 | 4540.43625 | 10.9377548 | 10.6853866 | 15.146214 | 33.8 |
| 47 | 2787.13114 | 693.936807 | 2898.74324 | 1381.57535 | 10.3431786 | 10.0949624 | 13.6490025 | 31.8 |
| 48 | 1792.101 | 1471.72614 | 296.133334 | 946.538079 | 11.3706627 | 10.6719342 | 17.7266262 | 28.7 |
| 49 | 2262.01461 | 1500.7774 | 1458.66037 | 733.512792 | 11.1852055 | 10.8998677 | 12.1260453 | 39.6 |
| 50 | 2962.48583 | 887.076339 | 605.418926 | 2559.92536 | 10.606173 | 10.6348992 | 21.3679597 | 33.1 |

Ek-6.1: PCA Ön İşlem Faktörlerine Göre GD Logsig Elektrik Talep Tahmin Modellerinin MAPE Sonuçları.

| | GD_Logsig PCA1 | GD_Logsig PCA2 | GD_Logsig PCA3 | GD_Logsig PCA4 | GD_Logsig PCA5 | GD_Logsig PCA6 | GD_Logsig PCA7 |
|----|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| 1 | 8.424758665 | 6.20204787 | 5.989172498 | 6.422897024 | 5.94386647 | 6.570052333 | 6.371328571 |
| 2 | 8.489893554 | 7.729431495 | 7.003501823 | 8.061836272 | 6.04481961 | 6.763674609 | 5.732153736 |
| 3 | 8.422068087 | 6.275806234 | 6.271178098 | 5.914307056 | 6.13794657 | 6.102047518 | 6.832751648 |
| 4 | 8.407239216 | 6.054855107 | 6.81879931 | 5.723270235 | 5.54409395 | 6.826556481 | 6.379273919 |
| 5 | 8.45442771 | 6.045036455 | 6.698028761 | 5.537834103 | 6.41319601 | 7.998858259 | 5.274998738 |
| 6 | 8.939788694 | 6.005523898 | 7.996116722 | 6.859017288 | 7.31453826 | 6.045193167 | 6.250609363 |
| 7 | 9.804437761 | 6.439569007 | 5.775309082 | 6.284830918 | 6.24280653 | 6.19076789 | 7.194642422 |
| 8 | 8.503033524 | 7.658097895 | 6.28146528 | 6.462727416 | 7.987559 | 7.539852008 | 5.92599464 |
| 9 | 8.928512817 | 5.905854849 | 9.812572278 | 9.984438277 | 8.23775689 | 8.6298809 | 7.594068674 |
| 10 | 8.345380769 | 6.455034916 | 7.591861804 | 7.276310395 | 9.13477536 | 7.78126114 | 6.057706135 |
| 11 | 9.703336884 | 9.780121432 | 6.761209475 | 7.476677584 | 12.2746139 | 7.214911046 | 8.213721932 |
| 12 | 17.13895287 | 10.80342462 | 7.979193484 | 7.760275713 | 9.90943239 | 7.896259894 | 6.093468161 |
| 13 | 10.42217981 | 6.792686328 | 7.416043907 | 7.763750868 | 9.98045133 | 7.914996627 | 6.836616405 |
| 14 | 10.03131135 | 8.390207338 | 6.202633751 | 10.44776515 | 7.38322341 | 10.95961568 | 7.247332947 |
| 15 | 16.2002833 | 9.48228176 | 7.729143587 | 7.512736338 | 7.93900141 | 9.984652993 | 10.63989271 |
| 16 | 13.15094049 | 12.32783501 | 9.030528845 | 7.85469216 | 13.033986 | 10.87732228 | 11.03316325 |
| 17 | 10.32744839 | 23.8009526 | 10.03370398 | 12.99982063 | 15.3558338 | 8.265018555 | 10.01801024 |
| 18 | 10.53065195 | 9.675095977 | 9.859237873 | 20.03891807 | 14.854345 | 9.176773467 | 6.968091108 |
| 19 | 22.07119817 | 11.5654663 | 17.65659222 | 6.821980926 | 10.814041 | 21.06443521 | 12.33230204 |
| 20 | 12.42914236 | 17.08902972 | 11.64765907 | 8.58326655 | 7.76443492 | 17.97615475 | 10.73045064 |
| 21 | 17.02716687 | 18.44056194 | 14.30106225 | 11.71007997 | 9.21255659 | 16.05505017 | 8.492298287 |
| 22 | 20.59691201 | 16.48204795 | 8.287646358 | 12.12515325 | 18.2146907 | 9.784851465 | 12.93585629 |
| 23 | 11.79892877 | 14.6427171 | 7.891770463 | 14.92681722 | 9.99997836 | 11.98583988 | 9.0865126 |
| 24 | 19.06323043 | 19.4642207 | 17.1268303 | 14.52478231 | 13.5570262 | 13.73781848 | 9.250513541 |
| 25 | 21.4039963 | 16.80271289 | 13.90543876 | 12.82736885 | 6.79078014 | 12.45681944 | 15.56323617 |
| 26 | 24.61655932 | 13.82582226 | 14.03076267 | 13.68549218 | 14.7099922 | 16.30272383 | 14.506218 |
| 27 | 10.84162774 | 13.50920479 | 17.54624113 | 21.32012554 | 21.5722136 | 25.89356651 | 12.26229441 |
| 28 | 15.76529404 | 8.881530752 | 13.70138588 | 15.1389374 | 13.8294593 | 13.33910161 | 17.65990904 |
| 29 | 21.21032587 | 32.45271539 | 19.63281461 | 13.07548984 | 17.9071683 | 16.50118424 | 22.45837945 |
| 30 | 29.22155439 | 26.26071324 | 14.54762643 | 13.22224537 | 14.4094869 | 18.48057027 | 12.22083689 |
| 31 | 13.9874264 | 16.14533889 | 18.24082947 | 18.32943527 | 24.3445797 | 13.86068134 | 25.20788302 |
| 32 | 23.48784913 | 14.16995719 | 17.54350747 | 19.32305799 | 20.6667657 | 12.06786971 | 13.29254002 |
| 33 | 18.63600628 | 9.034328875 | 17.98781906 | 15.27406682 | 21.4174096 | 14.58503729 | 19.34249826 |
| 34 | 26.59427329 | 15.11080965 | 30.25636076 | 11.55205613 | 9.75938755 | 10.76050626 | 15.03639977 |
| 35 | 27.20252276 | 32.24188457 | 20.49774906 | 23.09428405 | 17.4699304 | 32.7091859 | 35.56681113 |
| 36 | 35.08472211 | 37.30612613 | 16.5742105 | 17.59048042 | 20.2127117 | 15.78691127 | 17.17081115 |
| 37 | 16.56467929 | 24.60643619 | 22.79899552 | 31.39790007 | 26.9349916 | 15.67727278 | 13.5895713 |
| 38 | 35.21248048 | 16.92612754 | 21.53028992 | 23.65383255 | 19.2529042 | 30.44870163 | 43.08417842 |
| 39 | 19.48503361 | 36.96794902 | 27.01041644 | 27.97440739 | 16.2893609 | 34.93403668 | 24.94190525 |
| 40 | 25.34333115 | 20.72714711 | 36.23495362 | 15.52904916 | 29.6112392 | 33.11580909 | 23.34312616 |
| 41 | 26.25121373 | 29.85883821 | 13.24914755 | 22.39167161 | 22.7162898 | 38.42419645 | 19.95258799 |
| 42 | 28.54338115 | 32.2368784 | 28.15006746 | 22.34524702 | 15.413418 | 30.75962942 | 32.10042624 |
| 43 | 39.55500116 | 31.06267398 | 25.10242191 | 31.37003438 | 26.4285697 | 16.65457284 | 32.03354226 |
| 44 | 30.62606212 | 20.7863364 | 26.19456536 | 16.58661204 | 20.9800613 | 18.4059988 | 14.80878678 |
| 45 | 20.4908044 | 23.88002525 | 41.48513873 | 47.11539344 | 24.7687639 | 32.70039412 | 27.36188269 |
| 46 | 25.48195603 | 26.01907196 | 28.45332007 | 24.42326419 | 18.4079562 | 21.45416691 | 39.96860614 |
| 47 | 21.94051274 | 26.91002934 | 28.2017144 | 24.42410978 | 18.8298729 | 29.01051769 | 21.2588005 |
| 48 | 22.25662799 | 54.5447704 | 9.191699775 | 44.87342688 | 31.4480417 | 34.23664644 | 28.22132688 |
| 49 | 26.24535757 | 30.91903335 | 16.21804639 | 28.56977954 | 33.5719731 | 18.43925267 | 31.21621177 |
| 50 | 34.45139612 | 31.68974524 | 40.97591126 | 29.20246325 | 26.1208821 | 18.85647147 | 37.38892761 |

Ek-6.2: PCA Ön İşlem Faktörlerine Göre GD Tansig Elektrik Talep Tahmin Modellerinin MAPE Sonuçları.

| | GD_Tansig PCA1 | GD_Tansig PCA2 | GD_Tansig PCA3 | GD_Tansig PCA4 | GD_Tansig PCA5 | GD_Tansig PCA6 | GD_Tansig PCA7 |
|----|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| 1 | 8.393399194 | 5.894834916 | 6.603250009 | 6.66145496 | 6.49199516 | 6.233876872 | 5.5941406 |
| 2 | 8.434205222 | 6.610911534 | 6.560723226 | 7.822404046 | 7.03800525 | 6.942085991 | 7.428417043 |
| 3 | 8.42350304 | 8.060092747 | 6.929668944 | 5.953627457 | 7.27819954 | 7.129037442 | 6.322500666 |
| 4 | 8.487095099 | 7.924533078 | 8.493064828 | 6.44779997 | 8.51457445 | 6.71136858 | 8.192200605 |
| 5 | 8.455807538 | 8.876896945 | 6.014880827 | 6.362769226 | 9.91219564 | 7.99143974 | 6.649397282 |
| 6 | 8.445483955 | 9.126074983 | 7.693609245 | 9.959537618 | 8.30089857 | 6.984941519 | 8.429953001 |
| 7 | 9.829854323 | 9.146755069 | 10.63939948 | 5.952676371 | 9.41387043 | 9.139577502 | 10.01787578 |
| 8 | 10.68396004 | 8.172290258 | 8.650824383 | 10.11772549 | 7.64364945 | 15.61966784 | 7.885455015 |
| 9 | 8.971587551 | 11.00025241 | 8.171450749 | 10.15776717 | 9.59250658 | 9.898715562 | 9.007174266 |
| 10 | 14.53795808 | 11.76938537 | 9.827682839 | 7.26918283 | 8.01169307 | 12.01184421 | 10.41172354 |
| 11 | 11.92701309 | 8.993243673 | 8.581976099 | 11.7292084 | 10.235104 | 9.85257589 | 9.521867247 |
| 12 | 15.32457734 | 18.71004573 | 13.29716918 | 16.2801222 | 10.299932 | 10.23385284 | 9.351644803 |
| 13 | 15.0052026 | 12.04487445 | 15.69107829 | 12.45017511 | 12.5535123 | 13.27022828 | 7.361044431 |
| 14 | 14.83901895 | 11.44739299 | 14.52253722 | 8.989205197 | 11.5100247 | 25.8900236 | 11.6340772 |
| 15 | 19.19197606 | 22.14860048 | 16.67884078 | 12.65820393 | 12.4155591 | 20.80177873 | 13.99571006 |
| 16 | 18.91727792 | 9.88240488 | 12.88956793 | 9.964569996 | 9.76998673 | 10.80332179 | 12.22955594 |
| 17 | 15.26144446 | 16.68958313 | 13.73386433 | 18.48483604 | 16.4558418 | 19.13378663 | 11.41718649 |
| 18 | 13.19847605 | 27.42142897 | 19.58857094 | 15.34431132 | 20.4443173 | 21.85252923 | 13.35989233 |
| 19 | 23.0298718 | 30.16842405 | 21.47719179 | 28.1263371 | 20.0203941 | 20.30841146 | 16.47902764 |
| 20 | 12.00828338 | 17.61659949 | 14.64945938 | 18.10638491 | 17.9249922 | 13.9458369 | 15.58758744 |
| 21 | 21.48048824 | 22.193394 | 22.32466827 | 14.0958303 | 28.8654705 | 21.03003525 | 17.08773324 |
| 22 | 26.89907206 | 14.25273738 | 19.20093818 | 15.28599387 | 29.0938206 | 12.82308418 | 23.92425226 |
| 23 | 27.73459143 | 25.49069261 | 25.15598229 | 17.49626952 | 15.1425953 | 23.72979229 | 18.66132234 |
| 24 | 30.40392751 | 25.54869102 | 25.44600555 | 24.35399614 | 21.1669037 | 26.79429592 | 21.5570087 |
| 25 | 28.76954603 | 16.9825537 | 41.73027271 | 15.15706572 | 21.9086314 | 13.32576621 | 21.90413148 |
| 26 | 23.14576571 | 22.14769642 | 17.21063433 | 17.34661194 | 22.1349219 | 11.27881196 | 22.26798973 |
| 27 | 26.32068996 | 17.89591316 | 30.44342385 | 29.99264815 | 17.2953692 | 20.93096919 | 29.39704006 |
| 28 | 22.5694841 | 23.55934566 | 21.22278655 | 26.52334785 | 25.7611412 | 27.37278877 | 30.58176667 |
| 29 | 19.21127208 | 36.88643911 | 13.69247594 | 22.13063093 | 15.3831545 | 34.40855773 | 16.75096945 |
| 30 | 31.88365797 | 40.0108771 | 33.70381503 | 14.57710746 | 15.6164467 | 34.12310233 | 41.84297478 |
| 31 | 40.68203071 | 43.90387045 | 36.78028232 | 21.02697969 | 21.5128467 | 33.39875137 | 29.71461391 |
| 32 | 19.09647195 | 24.45954564 | 25.92920732 | 14.43884596 | 28.0135663 | 24.55240573 | 13.51155674 |
| 33 | 18.48109056 | 63.54923946 | 34.06672432 | 18.79144346 | 42.5837081 | 28.07716116 | 25.77794872 |
| 34 | 21.94223499 | 33.82795321 | 43.9873378 | 41.1486484 | 33.2586045 | 25.26523669 | 37.36556228 |
| 35 | 36.60617445 | 29.04019416 | 37.64620538 | 37.70606865 | 62.3499834 | 24.55516108 | 29.58893705 |
| 36 | 31.28501341 | 14.80270138 | 21.60407871 | 41.05264532 | 31.1038793 | 53.77193417 | 33.69147863 |
| 37 | 34.93860266 | 31.6945767 | 28.63869642 | 57.2882821 | 37.3052382 | 40.55725699 | 49.48532031 |
| 38 | 36.48434221 | 51.39398546 | 22.96653606 | 42.18023838 | 64.3835215 | 53.73538464 | 43.75765114 |
| 39 | 51.89752421 | 42.98321271 | 38.64235552 | 24.70165408 | 38.1112787 | 30.82753198 | 45.4500347 |
| 40 | 50.33188624 | 38.60238406 | 49.89810559 | 33.81845779 | 43.8569657 | 25.72078307 | 51.07119234 |
| 41 | 66.19074701 | 28.53157092 | 36.85796115 | 47.32393918 | 23.7330346 | 56.64884219 | 51.75301016 |
| 42 | 27.89181129 | 57.72605315 | 45.75015162 | 41.77071496 | 55.8926538 | 41.64137515 | 63.33845736 |
| 43 | 33.29636279 | 27.34076587 | 36.88393308 | 38.61734152 | 46.9177265 | 22.99679034 | 19.43743081 |
| 44 | 47.86878199 | 38.94737494 | 32.96195009 | 44.77015399 | 57.269433 | 39.71510467 | 47.60902154 |
| 45 | 39.7317626 | 33.8745992 | 26.29113752 | 34.68947658 | 39.2161836 | 57.82487648 | 36.65962193 |
| 46 | 38.87601055 | 34.44920707 | 36.18454082 | 25.50161152 | 20.7450529 | 62.74232611 | 51.78008698 |
| 47 | 43.24408335 | 34.13744728 | 33.89204613 | 55.50642788 | 27.416422 | 22.59015 | 29.32823492 |
| 48 | 44.53399021 | 58.88036035 | 43.93786393 | 44.5883357 | 59.3191297 | 56.10743647 | 38.25042678 |
| 49 | 63.47267043 | 37.34203071 | 37.94380859 | 32.8257789 | 55.8825525 | 29.18170343 | 22.04645963 |
| 50 | 73.64395757 | 24.87366448 | 23.01640944 | 44.86535575 | 65.4340611 | 67.95119993 | 59.45037681 |

Ek-6.3: PCA Ön İşlem Faktörlerine Göre GDM Logsig Elektrik Talep Tahmin Modellerinin MAPE Sonuçları.

| | GDM_Logsig PCA1 | GDM_Logsig PCA2 | GDM_Logsig PCA3 | GDM_Logsig PCA4 | GDM_Logsig PCA5 | GDM_Logsig PCA6 | GDM_Logsig PCA7 |
|----|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| 1 | 13.74289149 | 13.87544681 | 12.08903614 | 14.09227655 | 14.4423443 | 14.20349269 | 12.80162833 |
| 2 | 15.59411142 | 15.48665928 | 13.46153277 | 6.131484115 | 13.1441078 | 13.01691911 | 13.42263898 |
| 3 | 13.98338064 | 14.6933007 | 10.30684405 | 10.79417755 | 12.9764456 | 12.99621727 | 13.37404603 |
| 4 | 14.25673212 | 13.65016109 | 11.66399377 | 13.48745212 | 12.8563123 | 10.3542014 | 13.73395921 |
| 5 | 13.71364487 | 17.2595545 | 14.0943201 | 14.4868077 | 13.4762857 | 11.61035706 | 12.61324515 |
| 6 | 9.799789744 | 13.70293559 | 13.63080348 | 16.67725527 | 14.6472293 | 15.21082309 | 12.88685888 |
| 7 | 16.96696519 | 18.35641434 | 9.551645832 | 16.30000044 | 9.76645491 | 16.0237411 | 13.81776571 |
| 8 | 8.703186117 | 14.89280357 | 12.85165099 | 11.98913001 | 12.5000685 | 11.08523064 | 13.3081044 |
| 9 | 11.92042063 | 9.819548213 | 9.336011325 | 13.04694635 | 13.3601694 | 18.35111651 | 18.04632817 |
| 10 | 15.54298412 | 11.94650056 | 20.33994558 | 18.66621341 | 18.13812 | 12.56769841 | 13.52643142 |
| 11 | 37.45035995 | 14.71555371 | 13.42580931 | 13.92595663 | 13.3096021 | 13.63858109 | 11.02548514 |
| 12 | 8.263644416 | 13.84194939 | 11.30838827 | 18.71522261 | 21.3668188 | 14.14584722 | 12.13885746 |
| 13 | 14.27218698 | 25.41524424 | 9.345676354 | 11.20644857 | 14.9079558 | 14.197015 | 17.91578676 |
| 14 | 28.41852318 | 20.30026271 | 6.14483681 | 22.07299026 | 18.681567 | 13.1716699 | 11.24717281 |
| 15 | 14.31537714 | 11.50214858 | 17.61186028 | 5.794115811 | 6.05183065 | 13.03919425 | 11.37601223 |
| 16 | 15.29207744 | 21.95233461 | 20.34198699 | 11.63796216 | 19.0460569 | 6.01413336 | 19.5798086 |
| 17 | 18.76419217 | 12.08429307 | 16.03881381 | 14.76444219 | 13.1573573 | 13.45687238 | 10.96435407 |
| 18 | 21.1818022 | 23.94859166 | 17.59786396 | 12.42470909 | 12.3760577 | 15.09760523 | 17.01878152 |
| 19 | 16.55994719 | 56.60865585 | 26.55856921 | 16.55893304 | 19.3126247 | 23.18542672 | 20.95611229 |
| 20 | 11.7563476 | 24.17139059 | 18.22917727 | 19.89647714 | 19.2858934 | 18.15182737 | 18.58951747 |
| 21 | 11.24443306 | 16.86063985 | 5.788428788 | 26.446785 | 24.0087332 | 21.61750842 | 17.57294811 |
| 22 | 24.9675423 | 28.27571838 | 19.99028038 | 24.06723379 | 19.7787306 | 15.2271679 | 21.99538605 |
| 23 | 26.60233401 | 17.1693037 | 54.31818712 | 33.0805908 | 17.9738388 | 26.25903375 | 6.166187261 |
| 24 | 16.00877667 | 15.68246391 | 17.12356241 | 16.62562065 | 5.97098749 | 16.85499656 | 17.64068888 |
| 25 | 15.34848461 | 19.3466593 | 14.19200604 | 27.16976937 | 17.1629023 | 23.19659321 | 23.73955687 |
| 26 | 35.65881523 | 24.57732185 | 23.23105759 | 18.32695972 | 26.9468932 | 19.37775607 | 27.10088865 |
| 27 | 14.97429647 | 18.01779424 | 17.37520815 | 30.69497092 | 16.32536 | 26.16689153 | 19.01601422 |
| 28 | 21.16191523 | 39.41651794 | 13.6890506 | 22.46400627 | 5.9723835 | 22.77414259 | 23.14329889 |
| 29 | 17.25034765 | 23.55960535 | 10.99972795 | 24.34589018 | 5.87534608 | 18.88146528 | 24.69895492 |
| 30 | 55.37410718 | 23.41515293 | 19.1937838 | 18.31876792 | 31.3216878 | 22.56129349 | 23.36454898 |
| 31 | 18.58977266 | 36.70140185 | 23.67035765 | 14.81737936 | 24.1379638 | 20.57542257 | 20.72839519 |
| 32 | 36.05753936 | 17.25931891 | 18.98850698 | 24.85901233 | 15.3868775 | 14.62685906 | 22.37444945 |
| 33 | 41.92342982 | 37.20123956 | 22.40042841 | 20.5678136 | 20.9967964 | 5.974288516 | 17.84384911 |
| 34 | 18.07991451 | 28.16166542 | 26.13157506 | 6.148597961 | 10.7637725 | 29.76207056 | 23.61531974 |
| 35 | 54.39938114 | 17.79376945 | 34.37100093 | 36.82021103 | 23.6776902 | 30.24647834 | 27.55653758 |
| 36 | 49.45318021 | 14.16721179 | 32.29608696 | 27.4973031 | 32.0753923 | 10.49244546 | 20.00799506 |
| 37 | 34.57993899 | 30.41654416 | 26.18767173 | 18.75289038 | 37.4781729 | 37.22129143 | 23.67553206 |
| 38 | 18.36843228 | 35.38303287 | 31.72352392 | 19.08300439 | 34.0387678 | 17.06349234 | 21.00717654 |
| 39 | 38.13866914 | 28.89020142 | 18.72721701 | 21.55535521 | 6.35314547 | 14.20367631 | 30.83716262 |
| 40 | 45.38089221 | 14.7277562 | 8.222577203 | 29.87328666 | 13.0096484 | 41.46732884 | 6.068110322 |
| 41 | 23.01840124 | 22.4425626 | 6.439052169 | 35.57791825 | 39.1964539 | 21.93144079 | 33.00512251 |
| 42 | 34.90848613 | 9.940772897 | 36.20795097 | 16.22611 | 27.6465839 | 22.33353374 | 31.53467846 |
| 43 | 31.40890203 | 45.93015752 | 18.38810004 | 26.98026195 | 30.160758 | 38.06615065 | 6.019107274 |
| 44 | 21.1431934 | 7.842824645 | 35.21172235 | 37.25266642 | 18.024889 | 16.26932206 | 22.3799775 |
| 45 | 61.20972503 | 55.45959735 | 28.00592476 | 34.35068263 | 16.2676198 | 24.28195019 | 47.38414077 |
| 46 | 28.6744796 | 50.00963411 | 21.78470442 | 28.61166567 | 29.4933066 | 6.094316893 | 27.42119284 |
| 47 | 21.62397121 | 50.59517318 | 6.277292953 | 20.87954447 | 38.7257782 | 31.89543223 | 21.93886648 |
| 48 | 48.70502551 | 19.38029569 | 28.9761381 | 26.55687078 | 18.2278652 | 38.19857127 | 33.2938951 |
| 49 | 20.94635653 | 54.98274185 | 38.26238282 | 44.64479561 | 14.9621204 | 42.89724892 | 23.98368884 |
| 50 | 35.45460108 | 23.85698749 | 36.38892136 | 41.24920093 | 31.6073246 | 44.446879 | 45.39565257 |

Ek-6.4: PCA Ön İşlem Faktörlerine Göre GDM Tansig Elektrik Talep Tahmin Modellerinin MAPE Sonuçları .

| | GDM_Tansig PCA1 | GDM_Tansig PCA2 | GDM_Tansig PCA3 | GDM_Tansig PCA4 | GDM_Tansig PCA5 | GDM_Tansig PCA6 | GDM_Tansig PCA7 |
|----|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| 1 | 8.16818286 | 8.71373671 | 11.0403882 | 8.417922619 | 9.72027573 | 14.70588951 | 6.001489334 |
| 2 | 14.8126286 | 10.28335107 | 13.50446067 | 18.80420985 | 12.575278 | 13.71156394 | 14.17576652 |
| 3 | 13.86358103 | 9.644090388 | 13.61325635 | 20.77384558 | 13.7263788 | 14.68498944 | 16.30312459 |
| 4 | 14.37966218 | 17.52781289 | 13.96366097 | 6.232026301 | 12.0165765 | 13.69737478 | 12.74658322 |
| 5 | 23.7458776 | 15.19648551 | 11.49557687 | 6.138256164 | 11.4927632 | 12.46238152 | 16.46580696 |
| 6 | 18.34019538 | 18.48472159 | 14.3049283 | 11.68563868 | 11.8679538 | 10.41726817 | 20.8799266 |
| 7 | 19.97956727 | 17.37829348 | 17.86921254 | 23.82650536 | 20.5399376 | 12.37966072 | 17.4076638 |
| 8 | 13.89501187 | 12.8566235 | 16.08724262 | 13.05581364 | 9.32489348 | 23.30434035 | 15.128773 |
| 9 | 52.62831165 | 18.8270737 | 22.48735405 | 6.691671301 | 30.875705 | 22.30037415 | 27.37719718 |
| 10 | 53.61242511 | 20.85065777 | 33.55545716 | 23.47329467 | 14.4797982 | 6.315979955 | 15.2839975 |
| 11 | 16.37765185 | 27.25569406 | 6.135513836 | 12.10030075 | 37.4114503 | 20.2164911 | 5.912751708 |
| 12 | 19.77927512 | 24.30102438 | 22.77522344 | 20.33700999 | 18.7072026 | 24.54654694 | 26.81585753 |
| 13 | 28.45414921 | 33.39234727 | 29.21519381 | 26.56343978 | 33.8067701 | 24.10752337 | 22.07730676 |
| 14 | 20.23706211 | 21.914406 | 41.55664192 | 21.83950861 | 22.2028919 | 15.95281976 | 33.77948013 |
| 15 | 31.30625389 | 18.59941638 | 49.30311365 | 30.06967106 | 25.6750765 | 19.82380233 | 27.38933831 |
| 16 | 24.0996454 | 21.5211718 | 40.30798915 | 32.01339573 | 26.728702 | 21.98363804 | 30.5217838 |
| 17 | 31.75464733 | 39.01789097 | 40.46567095 | 6.802568572 | 27.7386553 | 6.178975312 | 21.92327118 |
| 18 | 37.2530772 | 8.624460873 | 69.30458579 | 24.7456137 | 32.2237367 | 29.27298763 | 31.11897142 |
| 19 | 41.13227099 | 29.93363957 | 32.81578492 | 42.36501306 | 16.4500462 | 33.43371201 | 31.95642459 |
| 20 | 62.7764423 | 31.6120348 | 17.00353213 | 14.77194917 | 16.0413506 | 22.71121487 | 27.98612336 |
| 21 | 30.48251349 | 21.4604983 | 40.98702377 | 44.16319716 | 37.203603 | 42.13921802 | 24.62214696 |
| 22 | 35.75012888 | 22.08094407 | 37.42461413 | 31.2678857 | 28.0807975 | 26.38887882 | 32.37596251 |
| 23 | 41.21998145 | 26.93566941 | 21.63845012 | 51.51256109 | 6.5688438 | 29.65737516 | 44.87497702 |
| 24 | 21.61239738 | 33.28560952 | 40.90535774 | 23.69383051 | 41.7377034 | 28.67641775 | 23.00198179 |
| 25 | 43.51481509 | 22.36871439 | 24.39216498 | 37.35114778 | 30.4131134 | 23.6041711 | 30.06013493 |
| 26 | 42.9094653 | 36.57354335 | 50.04487791 | 25.83649946 | 29.1244359 | 36.6525691 | 31.74438217 |
| 27 | 37.62996432 | 41.22994604 | 14.94552337 | 28.94032242 | 77.5039137 | 29.21632181 | 5.98267129 |
| 28 | 38.48561625 | 19.34626604 | 50.66881156 | 33.81918708 | 42.0217765 | 6.249884847 | 39.01379467 |
| 29 | 42.05000597 | 57.98002831 | 35.59177885 | 41.42885926 | 57.3701079 | 16.70470895 | 36.57167432 |
| 30 | 45.47781822 | 36.37530031 | 33.35842897 | 19.94101159 | 37.7047164 | 37.70266747 | 32.94853842 |
| 31 | 55.71719897 | 57.19439429 | 41.67600698 | 28.64980428 | 49.8917913 | 30.99667182 | 8.708472425 |
| 32 | 52.04616213 | 48.65518935 | 67.44801272 | 48.48067515 | 22.0999035 | 30.46940404 | 20.05062617 |
| 33 | 36.80375293 | 23.02281884 | 43.83655384 | 25.05101712 | 28.6247243 | 34.87235517 | 33.49119775 |
| 34 | 56.80048378 | 45.39063882 | 33.30804786 | 39.8283855 | 27.627093 | 25.88988297 | 53.31529161 |
| 35 | 62.13025475 | 60.30083263 | 18.20010608 | 46.52991113 | 27.8705163 | 31.76974335 | 31.85194789 |
| 36 | 41.43238484 | 64.8620684 | 54.84541545 | 12.05723207 | 46.4107819 | 27.44165913 | 36.52296027 |
| 37 | 79.47215775 | 59.90767632 | 81.95271979 | 32.47174907 | 61.8669964 | 49.64845812 | 21.76404837 |
| 38 | 46.28614386 | 42.04707828 | 50.13098171 | 21.5540133 | 33.7708986 | 15.40424622 | 38.53141964 |
| 39 | 31.92586689 | 66.75064149 | 41.68957811 | 63.60444257 | 33.9035129 | 5.975931242 | 52.49857689 |
| 40 | 56.73622918 | 21.50314418 | 60.24178826 | 34.19377905 | 44.8620164 | 74.455136 | 50.37236742 |
| 41 | 49.10392579 | 27.7541556 | 28.35985721 | 46.72095986 | 42.569066 | 44.75115833 | 30.37358513 |
| 42 | 73.10737101 | 39.79726395 | 66.38238374 | 61.78298643 | 16.6344144 | 63.82778605 | 43.26718348 |
| 43 | 51.03412241 | 24.81615959 | 24.63235882 | 40.24926368 | 68.5473413 | 27.25970151 | 42.08400313 |
| 44 | 59.71670922 | 66.79233578 | 39.74124975 | 41.23779835 | 18.2271198 | 40.78788345 | 40.37323525 |
| 45 | 44.93717921 | 71.56386459 | 76.4176032 | 77.19830113 | 47.9609627 | 45.61561195 | 33.14238184 |
| 46 | 62.99120401 | 80.38423338 | 42.78222749 | 80.770627 | 62.3820267 | 34.28527223 | 56.81424145 |
| 47 | 51.53481196 | 26.98998499 | 53.33018012 | 42.29415646 | 47.459551 | 35.30530648 | 6.171498578 |
| 48 | 65.62222834 | 55.35186422 | 59.08315957 | 44.94299161 | 78.5479587 | 18.98128152 | 58.28195794 |
| 49 | 49.34525474 | 47.26217611 | 60.21014262 | 54.13741326 | 7.61451559 | 56.9151917 | 53.75330162 |
| 50 | 54.78083033 | 54.51938787 | 73.51430148 | 67.46444452 | 65.6333124 | 60.0501099 | 57.75320897 |

Ek-6.5: PCA Ön İşlem Faktörlerine Göre BFGS Logsig Elektrik Talep Tahmin Modellerinin MAPE Sonuçları.

| | BFGS_Logsig PCA1 | BFGS_Logsig PCA2 | BFGS_Logsig PCA3 | BFGS_Logsig PCA4 | BFGS_Logsig PCA5 | BFGS_Logsig PCA6 | BFGS_Logsig PCA7 |
|----|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| 1 | 8.437909138 | 6.191430068 | 6.180670905 | 6.05715269 | 6.01922381 | 6.286451133 | 6.010859918 |
| 2 | 8.444880406 | 6.18144954 | 6.128246714 | 6.04668973 | 6.03432099 | 6.266086236 | 6.022385243 |
| 3 | 8.348671305 | 6.29162624 | 6.061071905 | 6.077349572 | 5.80878862 | 6.582692149 | 6.639513831 |
| 4 | 8.428240923 | 6.124576047 | 6.076645316 | 6.099377297 | 6.4015828 | 7.080780617 | 6.405856334 |
| 5 | 8.308294527 | 6.29232399 | 5.816289018 | 6.13337648 | 6.41782717 | 6.31674643 | 6.678226861 |
| 6 | 8.309832117 | 6.230993513 | 6.185830592 | 6.162933458 | 6.54521399 | 6.890563107 | 6.439647345 |
| 7 | 8.360414175 | 6.224514497 | 5.878826479 | 5.949315304 | 6.12406288 | 7.048282139 | 6.336942101 |
| 8 | 8.287668855 | 6.101043112 | 6.119516126 | 6.429122564 | 6.29974898 | 7.061634562 | 6.500763659 |
| 9 | 8.327538866 | 6.202941628 | 6.187264784 | 6.340602663 | 6.13501617 | 6.608506595 | 6.704799513 |
| 10 | 8.320892752 | 6.246279545 | 6.040378815 | 6.213499251 | 6.24420184 | 6.965057758 | 6.821558085 |
| 11 | 8.291986043 | 6.243494562 | 6.214830061 | 6.191993255 | 6.52471524 | 6.805831999 | 6.921244836 |
| 12 | 8.306765809 | 6.211122066 | 6.085094898 | 6.020839244 | 6.31012557 | 6.970630848 | 6.825039191 |
| 13 | 8.265699173 | 6.150068279 | 5.936999513 | 6.419076286 | 6.42135267 | 7.240054103 | 6.759069549 |
| 14 | 8.314179003 | 6.155154182 | 6.256555715 | 6.227770691 | 6.41496888 | 7.009861535 | 6.524218781 |
| 15 | 8.297541248 | 6.217518879 | 7.528795015 | 5.826502348 | 6.7540716 | 7.081163638 | 6.561187232 |
| 16 | 8.305723172 | 6.160639742 | 6.566608674 | 6.038189907 | 6.60816696 | 6.752671942 | 6.806619676 |
| 17 | 8.304055826 | 6.173822324 | 6.191144692 | 6.174672909 | 6.74988848 | 6.579552226 | 7.472020674 |
| 18 | 8.346007111 | 6.130133247 | 6.026969412 | 5.980907068 | 7.04145012 | 6.940341825 | 7.669876499 |
| 19 | 8.349964375 | 6.159989438 | 6.11075212 | 6.285560453 | 6.62155829 | 6.807312076 | 6.351508957 |
| 20 | 8.358869052 | 6.171185143 | 6.547652796 | 5.99852776 | 6.80346377 | 6.797302614 | 7.059723409 |
| 21 | 8.316379037 | 6.139529087 | 6.468805655 | 6.249933591 | 6.91047834 | 6.618752379 | 9.866453061 |
| 22 | 8.352468431 | 6.186592916 | 6.460267269 | 6.295253641 | 6.82071586 | 7.23506345 | 7.904776237 |
| 23 | 8.322168561 | 6.179878179 | 6.665934869 | 6.279808784 | 6.52381439 | 7.196055359 | 6.562678128 |
| 24 | 8.345216552 | 6.149722269 | 6.293354049 | 6.38590206 | 6.72886416 | 6.689456033 | 7.106386961 |
| 25 | 8.318497315 | 6.123012312 | 7.461990079 | 5.802617954 | 6.48578606 | 7.339618743 | 7.177515639 |
| 26 | 8.340275616 | 6.128716469 | 6.099416495 | 6.13455928 | 6.8842798 | 7.604947521 | 7.602226697 |
| 27 | 8.368457247 | 6.137400655 | 7.126144563 | 6.01582496 | 6.81099155 | 6.959292389 | 7.588906364 |
| 28 | 8.345637901 | 6.139367674 | 6.335991361 | 6.218707601 | 7.01483928 | 6.829681875 | 7.307784033 |
| 29 | 8.325695724 | 6.171500518 | 7.328697813 | 6.246061947 | 6.72738516 | 7.027881573 | 7.276868359 |
| 30 | 8.33824521 | 6.124258394 | 6.243882942 | 6.296329671 | 6.80511586 | 6.859928681 | 7.855866189 |
| 31 | 8.309292304 | 6.176913979 | 6.567299282 | 6.247961177 | 7.28124501 | 7.600857549 | 7.132069336 |
| 32 | 8.311832418 | 6.181620528 | 6.836998445 | 6.210776186 | 6.9573756 | 7.021945093 | 7.084786891 |
| 33 | 8.336917495 | 6.144906584 | 6.58150562 | 6.113552313 | 7.23741026 | 7.143915272 | 7.664775009 |
| 34 | 8.303937767 | 6.130621151 | 7.479927084 | 6.067758844 | 6.88325713 | 6.98087544 | 6.71378414 |
| 35 | 8.347599081 | 6.139112317 | 8.176685673 | 6.358263572 | 6.98455076 | 7.376256272 | 7.011043376 |
| 36 | 8.368739355 | 6.220077057 | 7.491144723 | 6.418023117 | 7.08862791 | 7.077418192 | 6.696481971 |
| 37 | 8.359018553 | 6.145160821 | 6.820701167 | 6.196500475 | 6.64692358 | 7.478698751 | 7.334049331 |
| 38 | 8.373151108 | 6.133896731 | 6.478270302 | 6.343638796 | 7.10878373 | 6.823921364 | 7.485837674 |
| 39 | 8.345093318 | 6.215231676 | 7.604321225 | 6.121420102 | 7.03361735 | 6.970528483 | 6.78457015 |
| 40 | 8.366501445 | 6.138827829 | 7.322282171 | 6.150464478 | 6.83923071 | 7.431162764 | 7.199846402 |
| 41 | 8.324482479 | 6.130438232 | 8.25523782 | 6.232052841 | 6.61923079 | 7.353306961 | 8.486935286 |
| 42 | 8.365808761 | 6.180321977 | 6.705755462 | 6.183009789 | 6.89568656 | 7.066368159 | 7.045918409 |
| 43 | 8.362373509 | 6.171505255 | 7.404853228 | 6.160869818 | 6.7290044 | 7.301689426 | 7.426390741 |
| 44 | 8.39154844 | 6.164135246 | 7.001466466 | 6.157861989 | 7.03420574 | 7.551034746 | 7.630136911 |
| 45 | 8.345761657 | 6.120425474 | 7.925312452 | 6.266891461 | 6.70742441 | 7.368835672 | 7.199304793 |
| 46 | 8.338182037 | 6.126801117 | 8.206674222 | 6.048300027 | 7.00421282 | 7.430885083 | 6.813894858 |
| 47 | 8.324624985 | 6.118030576 | 7.431991668 | 6.1813339 | 6.84831961 | 7.345746869 | 7.098561532 |
| 48 | 8.341022683 | 6.173447749 | 7.012010888 | 5.85459247 | 6.91816515 | 7.02090509 | 7.700793563 |
| 49 | 8.353475133 | 6.136531481 | 6.779908293 | 6.024320818 | 7.17575792 | 7.416979895 | 7.424765335 |
| 50 | 8.372312352 | 6.168179897 | 6.26117072 | 5.972676732 | 6.77485361 | 7.339852983 | 8.450842466 |

Ek-6.6: PCA Ön İşlem Faktörlerine Göre BFGS Tansig Elektrik Talep Tahmin Modellerinin MAPE Sonuçları.

| | BFGS_Tansig PCA1 | BFGS_Tansig PCA2 | BFGS_Tansig PCA3 | BFGS_Tansig PCA4 | BFGS_Tansig PCA5 | BFGS_Tansig PCA6 | BFGS_Tansig PCA7 |
|----|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| 1 | 8.425834596 | 6.134593649 | 6.153453747 | 6.070066605 | 6.03254367 | 6.300144951 | 6.045509704 |
| 2 | 8.445177284 | 6.150864514 | 6.059478951 | 6.068291114 | 5.94722143 | 6.179875468 | 6.928357026 |
| 3 | 8.387614762 | 6.030543575 | 6.062485418 | 5.858764149 | 6.2741897 | 6.984294831 | 7.133074148 |
| 4 | 8.362894798 | 6.229886121 | 6.008565105 | 6.05347403 | 6.26925763 | 7.114581711 | 7.360490112 |
| 5 | 8.33834437 | 6.236255353 | 5.996645515 | 6.16230569 | 6.58109215 | 6.400799863 | 6.733481265 |
| 6 | 8.36737663 | 6.128109611 | 6.052408261 | 6.185384993 | 6.14258895 | 7.169170592 | 6.565561073 |
| 7 | 8.377382934 | 6.1309459 | 7.484047313 | 6.097902225 | 6.05764716 | 7.089107482 | 5.923187688 |
| 8 | 8.328534866 | 6.199709914 | 6.533556506 | 6.03349983 | 6.35200905 | 6.918251942 | 7.194310943 |
| 9 | 8.3558807 | 6.166414885 | 6.296767291 | 5.95833609 | 6.18947386 | 6.972823693 | 9.538609916 |
| 10 | 8.291481104 | 6.18283688 | 6.164581492 | 6.020811692 | 6.37458741 | 7.123657378 | 7.901633897 |
| 11 | 8.353692276 | 6.272109053 | 6.032710364 | 6.226310513 | 6.65999759 | 7.204251515 | 6.790522753 |
| 12 | 8.263611381 | 6.135118319 | 6.309723748 | 6.12380556 | 6.83547954 | 7.06373733 | 7.336045243 |
| 13 | 8.305363871 | 6.084710405 | 6.216933063 | 6.293873597 | 6.79310366 | 6.817294745 | 7.241694051 |
| 14 | 8.351321083 | 6.18103407 | 7.479194806 | 5.950835916 | 6.38971799 | 7.063300057 | 6.516593714 |
| 15 | 8.308732602 | 6.220024261 | 7.310485504 | 6.062143873 | 7.18086706 | 7.223986057 | 6.552502924 |
| 16 | 8.321555306 | 6.122649306 | 6.221387147 | 6.163557976 | 6.57046892 | 6.966373452 | 7.955490708 |
| 17 | 8.316407706 | 6.18147867 | 7.210021828 | 6.421015922 | 7.03094252 | 7.154099618 | 7.157483367 |
| 18 | 8.302702708 | 6.215869493 | 7.555513599 | 6.215877196 | 6.64748395 | 7.294661867 | 6.896357714 |
| 19 | 8.338363349 | 6.190888831 | 7.113030192 | 5.908108469 | 7.17486819 | 7.420224265 | 7.118102177 |
| 20 | 8.326839303 | 6.31617133 | 6.904628886 | 6.277245569 | 6.75022893 | 7.617348838 | 6.195072963 |
| 21 | 8.324900312 | 6.109600033 | 7.450164226 | 6.065060912 | 7.04989674 | 7.26126783 | 7.562002704 |
| 22 | 8.346857437 | 6.166976792 | 7.236104277 | 5.917674903 | 6.85645902 | 6.872127821 | 7.780261305 |
| 23 | 8.326022828 | 6.181214659 | 7.944375435 | 6.221912132 | 7.10687409 | 7.34622451 | 8.532510214 |
| 24 | 8.331465307 | 6.10422854 | 7.186253696 | 6.102197095 | 6.80445765 | 7.777549009 | 7.250176077 |
| 25 | 8.323423814 | 6.204117701 | 6.254741788 | 6.076239906 | 6.88025329 | 6.845682481 | 7.593628393 |
| 26 | 8.261596993 | 6.166858197 | 7.008507556 | 6.12012103 | 6.66124998 | 7.375346367 | 7.219025904 |
| 27 | 8.336197082 | 6.203325669 | 6.459616933 | 6.166492965 | 6.59895185 | 7.464302347 | 7.111682829 |
| 28 | 8.357036316 | 6.234100102 | 7.563617353 | 6.095258805 | 6.72626074 | 7.575188527 | 7.867541949 |
| 29 | 8.304015175 | 6.158837966 | 6.913910786 | 6.399606868 | 6.7952095 | 6.99210573 | 7.151818983 |
| 30 | 8.316941536 | 6.282918367 | 6.518755635 | 5.820220391 | 6.9765901 | 7.384999273 | 8.049360569 |
| 31 | 8.308037543 | 6.159943667 | 6.165446137 | 6.366700067 | 7.01454754 | 7.25807859 | 7.103830344 |
| 32 | 8.383868524 | 6.160199464 | 7.269504396 | 6.281521709 | 6.7639924 | 7.575080457 | 7.052597943 |
| 33 | 8.335556636 | 6.164283169 | 7.204031212 | 6.359530132 | 7.01057526 | 7.146372294 | 7.996054102 |
| 34 | 8.356661756 | 6.201497184 | 6.229567458 | 6.207520016 | 7.07294166 | 7.80478227 | 7.7302193 |
| 35 | 8.330266577 | 6.226349363 | 6.721348924 | 6.035231575 | 6.78354408 | 7.085641171 | 6.808915045 |
| 36 | 8.350094592 | 6.184035862 | 6.54651776 | 6.082371579 | 6.90774584 | 6.909083878 | 7.529798255 |
| 37 | 8.344819865 | 6.149578452 | 7.358919045 | 6.175387924 | 6.62766345 | 6.85303318 | 7.676841229 |
| 38 | 8.321680307 | 6.1584491 | 6.729532228 | 6.395388162 | 7.02450542 | 7.950267751 | 6.613364061 |
| 39 | 8.275683632 | 6.173226727 | 6.596653159 | 6.068701833 | 7.10143712 | 7.320713531 | 7.453828608 |
| 40 | 8.351763363 | 6.174977049 | 7.304638827 | 6.28788605 | 6.63098844 | 7.405379208 | 7.259237168 |
| 41 | 8.317527714 | 6.142207171 | 7.006623978 | 6.288524074 | 7.10445313 | 7.657314644 | 7.714113365 |
| 42 | 8.343010428 | 6.194569982 | 7.016947041 | 6.718832568 | 6.95338933 | 6.998276134 | 7.665001053 |
| 43 | 8.350242097 | 6.11814963 | 6.825344239 | 6.235791585 | 6.90153477 | 7.184425276 | 7.123753401 |
| 44 | 8.326269233 | 6.208885148 | 7.529972142 | 5.894206353 | 6.75951173 | 7.537222159 | 7.305876402 |
| 45 | 8.364064873 | 6.166413686 | 6.957912612 | 5.997179587 | 6.6547517 | 6.974595783 | 7.635668487 |
| 46 | 8.331045083 | 6.220071388 | 7.513950817 | 6.015642028 | 6.7978086 | 7.168439364 | 7.453940436 |
| 47 | 8.339678547 | 6.145460302 | 7.171317734 | 5.970245645 | 7.07154653 | 6.904924469 | 7.094000186 |
| 48 | 8.358281409 | 6.19486486 | 7.238485968 | 5.931779223 | 6.69648387 | 8.324886971 | 7.555077094 |
| 49 | 8.358545971 | 6.230950316 | 7.536662875 | 6.024613435 | 6.96680577 | 7.287871082 | 6.632945999 |
| 50 | 8.341097763 | 6.153780437 | 7.601888184 | 6.149377286 | 6.6096845 | 7.431371738 | 7.218489659 |

Ek-6.7: PCA Ön İşlem Faktörlerine Göre LM Logsig Elektrik Talep Tahmin Modellerinin MAPE Sonuçları.

| | LM_Logsig PCA1 | LM_Logsig PCA2 | LM_Logsig PCA3 | LM_Logsig PCA4 | LM_Logsig PCA5 | LM_Logsig PCA6 | LM_Logsig PCA7 |
|----|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| 1 | 8.404357887 | 5.752509032 | 5.769368865 | 5.75612015 | 5.69960992 | 6.098580825 | 6.148688068 |
| 2 | 8.296413511 | 6.039753235 | 5.757639068 | 6.107444508 | 5.77999681 | 6.625333005 | 13.24237297 |
| 3 | 8.436395641 | 6.005122939 | 6.078408063 | 6.242426245 | 6.39108548 | 6.59117976 | 6.642670222 |
| 4 | 8.308499408 | 6.107102 | 5.729558252 | 6.089639633 | 6.58702992 | 6.597859324 | 6.541269771 |
| 5 | 8.293971335 | 6.146744902 | 5.711933557 | 6.223707205 | 6.66039491 | 6.918277148 | 7.456595869 |
| 6 | 8.405138993 | 6.123278278 | 5.953678533 | 6.143632663 | 6.59313426 | 6.571267439 | 6.296656563 |
| 7 | 8.360838807 | 6.096498115 | 6.841522743 | 6.090442699 | 6.62909832 | 6.710894791 | 6.045188559 |
| 8 | 8.29637981 | 6.106363807 | 6.056088281 | 6.471636728 | 6.73534349 | 6.643877649 | 7.792129054 |
| 9 | 8.306991258 | 6.083635438 | 6.710465998 | 6.151634872 | 6.73389698 | 7.439406232 | 7.437975524 |
| 10 | 8.317531648 | 6.048123971 | 7.785094758 | 6.269098876 | 7.09560333 | 6.98847504 | 7.167122138 |
| 11 | 8.320385058 | 6.02079809 | 7.515927687 | 6.366416057 | 7.1906843 | 7.406727666 | 7.345312641 |
| 12 | 8.403094622 | 6.07094373 | 7.758693611 | 6.206603517 | 7.34491819 | 7.43723309 | 6.806356978 |
| 13 | 8.343014471 | 5.997439508 | 8.055884758 | 6.280904736 | 7.48203111 | 12.30372203 | 7.971186886 |
| 14 | 8.342802025 | 6.117163647 | 8.181204766 | 6.652306517 | 7.43417921 | 7.079835252 | 7.294716341 |
| 15 | 8.378777581 | 6.019790508 | 6.743254463 | 6.579309004 | 7.27870081 | 7.776658069 | 8.510620223 |
| 16 | 8.320855634 | 6.053201088 | 6.556740585 | 6.302406534 | 7.67295214 | 7.18261099 | 10.52923868 |
| 17 | 8.326746639 | 6.063899927 | 7.380922111 | 6.472514861 | 7.22784601 | 7.701241495 | 7.989606241 |
| 18 | 8.323662921 | 6.133860602 | 6.268167392 | 6.513643615 | 7.71887203 | 7.348395666 | 8.378966977 |
| 19 | 8.275617403 | 6.127042498 | 6.462725884 | 6.641367497 | 7.24242766 | 8.150352508 | 9.22839018 |
| 20 | 8.337678046 | 6.021210466 | 6.764991629 | 6.400655203 | 7.04442906 | 8.222923905 | 10.37647083 |
| 21 | 8.343798989 | 6.040178839 | 8.415306792 | 6.447542998 | 7.3633553 | 7.620093909 | 10.35461698 |
| 22 | 8.345649853 | 6.07218401 | 7.131482735 | 6.822107868 | 7.51988019 | 8.855494474 | 10.86474666 |
| 23 | 8.312921217 | 6.031840012 | 6.8288899 | 6.317601405 | 7.0917706 | 7.832676472 | 29.62795027 |
| 24 | 8.379574471 | 6.042348597 | 7.436636158 | 6.938269319 | 7.02588489 | 8.261350931 | 14.72516648 |
| 25 | 8.334282725 | 6.038408546 | 7.187131601 | 6.755004859 | 7.17035827 | 8.694757626 | 9.687280309 |
| 26 | 8.338928826 | 6.023344918 | 6.613955225 | 6.548947721 | 7.2060324 | 8.326803353 | 17.26718532 |
| 27 | 8.357501427 | 6.047057427 | 7.966773021 | 6.668254031 | 7.29923836 | 7.929732071 | 14.33579352 |
| 28 | 8.359248127 | 6.071919703 | 7.178604492 | 6.724057518 | 7.73500592 | 9.041240433 | 10.46480052 |
| 29 | 8.342395257 | 6.040055434 | 6.801564711 | 6.841466833 | 7.16365552 | 14.54425153 | 8.736543519 |
| 30 | 8.342259161 | 6.016987642 | 8.006793657 | 7.197685305 | 8.09811866 | 8.902437726 | 9.504386452 |
| 31 | 8.315307566 | 6.250221285 | 7.601271744 | 7.488890197 | 6.87172456 | 8.175951683 | 12.84768069 |
| 32 | 8.381204576 | 6.005564024 | 7.657031724 | 6.780302274 | 7.27911229 | 9.213558125 | 8.003250988 |
| 33 | 8.324574981 | 6.022080904 | 6.494572449 | 6.620168838 | 7.06465409 | 8.328859619 | 11.4677292 |
| 34 | 8.330407165 | 6.003483012 | 7.373402995 | 7.844090141 | 7.26633428 | 8.129610194 | 14.31322626 |
| 35 | 8.213638182 | 6.013456787 | 7.101441652 | 7.323009068 | 7.8568361 | 8.158892013 | 9.03409808 |
| 36 | 8.295179268 | 6.027588856 | 7.431911353 | 6.984138614 | 7.517238 | 10.55141667 | 13.22894028 |
| 37 | 8.363030998 | 6.084259834 | 6.754426416 | 7.56300404 | 7.77109625 | 8.983757271 | 9.310709764 |
| 38 | 8.354476977 | 6.011702027 | 6.740308422 | 7.818003314 | 7.10870919 | 9.347361389 | 8.558603679 |
| 39 | 8.315920237 | 6.041738335 | 6.987143374 | 6.798088959 | 7.181585 | 8.333867759 | 8.659167905 |
| 40 | 8.352127015 | 6.04016324 | 8.71905362 | 7.916497793 | 7.22654399 | 10.15913535 | 13.41895068 |
| 41 | 8.397205794 | 6.016084797 | 7.731879875 | 6.129961736 | 7.32200151 | 8.587175448 | 16.60957089 |
| 42 | 8.35711927 | 6.030862864 | 6.612860394 | 6.249394701 | 6.96656219 | 9.339144186 | 15.15140941 |
| 43 | 8.340790624 | 5.982869444 | 7.121317216 | 6.729175439 | 8.22968184 | 8.353952797 | 15.6272513 |
| 44 | 8.348899583 | 6.014815978 | 7.014021959 | 7.514455718 | 7.53385878 | 8.290732532 | 16.32009091 |
| 45 | 8.408316956 | 6.086047467 | 9.08262059 | 8.627423379 | 7.41745741 | 8.634151047 | 9.367939596 |
| 46 | 8.286400811 | 6.148006055 | 8.000688283 | 7.037741457 | 7.35307029 | 8.697656804 | 11.68156943 |
| 47 | 8.381619531 | 6.040228595 | 7.214794503 | 8.44376125 | 7.29996134 | 9.03418626 | 8.085834683 |
| 48 | 8.377643558 | 6.069726007 | 8.185826523 | 7.160567365 | 7.48820691 | 8.667369375 | 10.70823081 |
| 49 | 8.299424285 | 6.08004286 | 7.519474053 | 6.574664832 | 7.36929017 | 10.57112671 | 16.589284 |
| 50 | 8.373754344 | 6.013585147 | 8.60390985 | 7.539075581 | 7.32093066 | 8.664821064 | 17.02322217 |

Ek-6.8: PCA Ön İşlem Faktörlerine Göre LM Tansig Elektrik Talep Tahmin Modellerinin MAPE Sonuçları.

| | LM_Tansig PCA1 | LM_Tansig PCA2 | LM_Tansig PCA3 | LM_Tansig PCA4 | LM_Tansig PCA5 | LM_Tansig PCA6 | LM_Tansig PCA7 |
|----|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| 1 | 8.419898748 | 5.741847768 | 5.710182119 | 5.73490044 | 5.71829091 | 6.124080343 | 5.741818332 |
| 2 | 8.384317931 | 5.777659773 | 6.046836606 | 5.677064124 | 6.13180524 | 6.22158545 | 5.732082992 |
| 3 | 8.264437056 | 6.109547712 | 5.956962695 | 6.09973401 | 5.97549753 | 6.556332552 | 5.55244468 |
| 4 | 8.458698968 | 6.045930736 | 5.938340815 | 5.95805497 | 6.33908444 | 5.74583565 | 6.849922425 |
| 5 | 8.322681914 | 6.121631156 | 6.030563864 | 5.89287288 | 5.80622246 | 7.170954098 | 6.986561029 |
| 6 | 8.333035073 | 6.043907396 | 6.297627126 | 6.417323149 | 6.61204547 | 7.426536913 | 6.718184087 |
| 7 | 8.355750249 | 6.128478744 | 5.623716255 | 6.062310299 | 6.62006913 | 6.728988336 | 6.401565429 |
| 8 | 8.323035372 | 6.007272724 | 6.471983322 | 6.240989675 | 6.92414432 | 7.36400311 | 8.03470112 |
| 9 | 8.354542583 | 6.120765633 | 5.759593903 | 6.591076657 | 6.9361873 | 7.584158628 | 10.09145277 |
| 10 | 8.354598195 | 6.098422107 | 7.425385706 | 5.930521472 | 6.22810825 | 8.415119952 | 9.956091574 |
| 11 | 8.307777523 | 6.179571999 | 6.050276038 | 6.179270376 | 6.91625072 | 6.990316699 | 16.65956359 |
| 12 | 8.310234064 | 6.041940884 | 5.939421072 | 6.380779736 | 7.02065527 | 7.120860589 | 14.19583312 |
| 13 | 8.327218854 | 6.277396343 | 6.870216896 | 7.264563277 | 6.84425741 | 7.153004941 | 64.98860414 |
| 14 | 8.393433654 | 6.03448768 | 6.459391666 | 6.085411326 | 7.36942877 | 6.955480509 | 8.013664187 |
| 15 | 8.334850334 | 6.074856518 | 6.665359887 | 6.477412665 | 7.23476998 | 7.7716643 | 7.804458981 |
| 16 | 8.305107434 | 6.043488011 | 6.523969611 | 6.291624115 | 7.2016424 | 7.19668548 | 11.55719333 |
| 17 | 8.292393219 | 6.160798291 | 6.763388023 | 6.208150472 | 7.92117611 | 11.10324341 | 9.058874361 |
| 18 | 8.33936603 | 6.052341481 | 7.351979459 | 6.464712375 | 7.83445191 | 7.051100767 | 130.0997767 |
| 19 | 8.394974749 | 5.994693857 | 6.17027765 | 6.56850211 | 7.43191012 | 8.481555768 | 7.3722086 |
| 20 | 8.33333068 | 6.070949709 | 6.888347221 | 6.405132292 | 7.47219194 | 7.500791826 | 9.235031215 |
| 21 | 8.38385132 | 6.018724454 | 7.336180931 | 7.022823325 | 7.34994354 | 12.86649959 | 15.45343014 |
| 22 | 8.354749065 | 6.026942706 | 6.29894069 | 6.246591574 | 7.72694328 | 9.966434888 | 13.21769402 |
| 23 | 8.346963291 | 6.056089181 | 7.040441339 | 7.011993482 | 7.77414163 | 8.222135148 | 8.203357298 |
| 24 | 8.411614085 | 6.035633939 | 6.974461531 | 6.370613455 | 7.23908385 | 11.17795814 | 10.143927 |
| 25 | 8.258440723 | 6.039890375 | 6.802207757 | 6.719737343 | 7.04556623 | 10.81502979 | 14.24548532 |
| 26 | 8.34181504 | 6.056333171 | 6.458893565 | 7.624828806 | 7.90759266 | 8.857913414 | 8.18338643 |
| 27 | 8.347016005 | 6.051107801 | 6.692151672 | 6.581672616 | 7.78312977 | 8.02478791 | 8.527667614 |
| 28 | 8.356133641 | 6.100239832 | 7.274695021 | 6.232830768 | 7.5271145 | 8.253463215 | 10.44766051 |
| 29 | 8.515136329 | 6.112363984 | 7.918300292 | 6.586353651 | 7.09892587 | 8.712901058 | 12.66999868 |
| 30 | 8.317746277 | 5.990755825 | 7.872910167 | 6.453361622 | 8.04893807 | 7.649975953 | 18.88319278 |
| 31 | 8.358581467 | 6.051973161 | 6.860078918 | 6.402990969 | 7.50564649 | 8.011449442 | 46.37901629 |
| 32 | 8.352671055 | 5.998013315 | 7.650897929 | 7.364149233 | 8.19127332 | 7.980357434 | 11.0234498 |
| 33 | 8.339071043 | 6.062640926 | 6.818506008 | 6.34731621 | 7.84974477 | 8.615220224 | 8.622813367 |
| 34 | 8.337860646 | 6.036735303 | 6.908264419 | 7.269166206 | 7.30344191 | 8.701178637 | 8.958348269 |
| 35 | 8.292947853 | 6.059465952 | 6.821869853 | 7.487200153 | 7.7210274 | 7.768447604 | 8.059537554 |
| 36 | 8.351874963 | 6.012274163 | 6.88060968 | 8.108175253 | 7.50226551 | 8.76500038 | 9.498687742 |
| 37 | 8.367712503 | 6.022238571 | 9.000201939 | 7.126195474 | 7.45593683 | 8.046082003 | 8.657814785 |
| 38 | 8.274390666 | 5.989968546 | 6.521367772 | 6.218521011 | 7.95213404 | 9.193443201 | 12.91831939 |
| 39 | 8.376153754 | 6.029597225 | 7.125385774 | 7.144525213 | 7.5988609 | 8.422133084 | 9.937283833 |
| 40 | 8.33173338 | 6.079436168 | 6.935292507 | 6.950332605 | 7.05537903 | 8.622201165 | 20.25690335 |
| 41 | 8.288994366 | 5.973592816 | 8.348026705 | 6.648889942 | 7.26962176 | 8.669584528 | 14.21584894 |
| 42 | 8.354793835 | 6.038379239 | 7.428377035 | 6.280864666 | 7.75668398 | 8.390297015 | 14.45297726 |
| 43 | 8.364901096 | 6.038020676 | 7.053740381 | 6.937182678 | 7.61901607 | 8.474932552 | 43.78291654 |
| 44 | 8.338664448 | 5.961252226 | 6.867161012 | 7.265524907 | 7.2049907 | 7.82762032 | 9.240193396 |
| 45 | 8.375927481 | 6.023969699 | 7.313974137 | 7.266470629 | 7.83254705 | 8.2802695 | 18.52995703 |
| 46 | 8.391186002 | 6.027966585 | 7.478073529 | 6.528537989 | 7.40327499 | 9.400841952 | 51.4899629 |
| 47 | 8.363231703 | 6.040566562 | 7.036497669 | 6.262504038 | 7.02148035 | 10.84774891 | 9.541958387 |
| 48 | 8.373773848 | 6.063145115 | 6.825805855 | 6.612567715 | 7.8177353 | 8.73755384 | 18.27280242 |
| 49 | 8.39704151 | 6.037570748 | 9.305730811 | 6.783733226 | 7.64087776 | 8.298634436 | 8.830966613 |
| 50 | 8.345457919 | 6.011346077 | 7.192188229 | 6.497117253 | 7.57424265 | 10.45727047 | 19.39258061 |

Ek-7.1: PCA Ön İşlem Faktörlerine Göre GD Logsig Gün Öncesi Elektrik Fiyat Tahmin Modellerinin MAPE Sonuçları.

| | GD_Logsig PCA1 | GD_Logsig PCA2 | GD_Logsig PCA3 | GD_Logsig PCA4 | GD_Logsig PCA5 | GD_Logsig PCA6 | GD_Logsig PCA7 |
|----|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| 1 | 984.8156338 | 1033.994862 | 278.9205207 | 384.1437216 | 81.610472 | 804.7274745 | 44.06230642 |
| 2 | 1067.888628 | 47.47993463 | 694.8376798 | 709.3390204 | 1099.32946 | 266.1815188 | 712.6302599 |
| 3 | 592.5908904 | 925.5633173 | 544.7518963 | 396.0927224 | 925.732177 | 448.246662 | 27.93236567 |
| 4 | 908.4614865 | 693.5289001 | 264.0159954 | 547.2789338 | 21.0530006 | 659.5211087 | 127.1174482 |
| 5 | 1142.84665 | 665.1892976 | 630.2311513 | 23.81454249 | 416.305037 | 1150.881232 | 722.5200589 |
| 6 | 44.18399815 | 1176.879381 | 487.4612283 | 773.9437286 | 118.371498 | 206.8533027 | 72.65391343 |
| 7 | 827.5950638 | 323.9610714 | 917.7541238 | 1104.814848 | 327.829951 | 1126.206334 | 1145.613305 |
| 8 | 357.4940991 | 509.8882113 | 417.8504571 | 87.77428219 | 32.5709414 | 229.1143282 | 27.55658637 |
| 9 | 290.9583925 | 255.8576323 | 195.9439469 | 998.8708365 | 24.9147027 | 157.8121187 | 477.9744031 |
| 10 | 695.0665006 | 301.9817027 | 717.0781728 | 653.9222141 | 156.687104 | 74.39684823 | 350.1343204 |
| 11 | 891.246427 | 796.4561926 | 103.431134 | 854.0084512 | 55.2700883 | 89.50383854 | 317.3703544 |
| 12 | 56.03052184 | 121.156953 | 75.90500221 | 374.1635718 | 702.79478 | 600.8117572 | 123.3946736 |
| 13 | 811.8877857 | 73.77523795 | 566.3557585 | 469.2277726 | 830.646805 | 159.6680883 | 36.64889185 |
| 14 | 172.0341671 | 1039.592708 | 769.4661852 | 614.1514811 | 411.102818 | 196.0512711 | 71.72233404 |
| 15 | 420.3356168 | 693.0261441 | 45.45039458 | 609.2787385 | 104.072807 | 56.99887496 | 603.7260491 |
| 16 | 778.5081882 | 754.5456055 | 226.0137446 | 415.291499 | 963.084009 | 59.04307247 | 879.1259853 |
| 17 | 970.8116787 | 267.9733911 | 756.9670763 | 81.93818079 | 89.9756923 | 433.7387917 | 181.6766437 |
| 18 | 2068.054095 | 102.9402383 | 148.9316009 | 952.3598802 | 654.182957 | 302.7444627 | 271.2017327 |
| 19 | 1269.345698 | 59.54811454 | 308.910923 | 833.6850703 | 438.034953 | 680.1686983 | 590.1037327 |
| 20 | 942.0146501 | 771.2335822 | 119.3854769 | 158.2690833 | 330.918515 | 130.5451381 | 368.0200747 |
| 21 | 223.4172741 | 142.8903197 | 57.40530073 | 442.4337548 | 306.139945 | 632.7803207 | 119.5911169 |
| 22 | 961.918992 | 178.4760976 | 88.05552717 | 54.50557988 | 921.557582 | 555.1818836 | 298.5483543 |
| 23 | 928.3595459 | 389.3390356 | 65.26717552 | 273.1851153 | 784.485384 | 182.3837041 | 334.3658402 |
| 24 | 211.4736137 | 115.526051 | 501.8530963 | 703.0303089 | 595.649647 | 377.1756558 | 674.884796 |
| 25 | 962.8757358 | 141.3954198 | 22.85904173 | 1041.773213 | 877.989216 | 474.8220193 | 741.0327452 |
| 26 | 806.8703049 | 78.09851019 | 41.69545003 | 227.5860404 | 272.047888 | 25.51636121 | 123.6269745 |
| 27 | 1327.502739 | 128.5623742 | 55.67698859 | 432.015494 | 85.6620253 | 898.1393618 | 64.09446545 |
| 28 | 1154.687931 | 1362.707478 | 631.2547206 | 777.3275707 | 196.01178 | 81.40462449 | 418.2814302 |
| 29 | 676.1110193 | 581.0764718 | 92.18096323 | 1107.378467 | 44.91237 | 119.6624209 | 1043.341087 |
| 30 | 251.9896093 | 833.2741174 | 379.9343874 | 190.9034162 | 537.227149 | 406.8674203 | 444.6468598 |
| 31 | 318.5350963 | 603.501353 | 799.0842741 | 185.2668552 | 313.906467 | 803.6116772 | 446.4927744 |
| 32 | 1942.062092 | 1191.03048 | 34.67234885 | 892.2071626 | 194.604309 | 993.3386438 | 932.2988926 |
| 33 | 386.1453357 | 91.1076063 | 154.8584701 | 99.20819655 | 378.470238 | 1058.6271 | 69.24964545 |
| 34 | 1922.161707 | 613.5821194 | 56.62660747 | 39.45638544 | 125.836079 | 611.2286527 | 384.2250767 |
| 35 | 1831.300211 | 46.72488832 | 1182.158961 | 88.15177631 | 649.5187 | 874.4374777 | 314.0027482 |
| 36 | 1526.636195 | 178.4230858 | 937.1200405 | 1165.780125 | 325.256282 | 312.6716064 | 739.307401 |
| 37 | 231.4873802 | 37.07980797 | 289.070582 | 102.536794 | 153.595161 | 256.3346925 | 24.53593477 |
| 38 | 355.4446163 | 83.69950039 | 133.433534 | 52.09464181 | 343.645423 | 1090.834519 | 26.37866563 |
| 39 | 1412.313784 | 546.6747651 | 246.1959446 | 210.1014087 | 1140.66809 | 456.0754113 | 608.4517342 |
| 40 | 317.58815 | 2225.467874 | 173.9789238 | 936.4629713 | 90.2697682 | 742.191646 | 1126.323508 |
| 41 | 274.2821399 | 512.3497438 | 56.73788969 | 753.8307154 | 571.30095 | 179.7190731 | 389.3550069 |
| 42 | 1828.165402 | 204.3451425 | 78.71413832 | 43.85148157 | 593.084531 | 250.7201628 | 475.7123607 |
| 43 | 2224.131362 | 318.7082091 | 907.8299443 | 748.3201794 | 80.9771357 | 1135.231044 | 22.59070074 |
| 44 | 1276.504009 | 1098.517811 | 38.72208635 | 533.1752988 | 295.452615 | 234.8455775 | 92.33276568 |
| 45 | 605.4563174 | 66.13815657 | 96.5375699 | 229.1513931 | 381.726252 | 1190.955706 | 500.1494856 |
| 46 | 615.6777925 | 692.5721194 | 1199.847694 | 1280.081334 | 516.123606 | 276.2256991 | 243.375592 |
| 47 | 2346.569915 | 1688.914007 | 1564.454633 | 285.7295363 | 247.890311 | 1170.469839 | 436.1335703 |
| 48 | 560.2940475 | 111.6159672 | 245.8494484 | 564.3048098 | 1035.50388 | 696.3601549 | 92.88307051 |
| 49 | 4326.291049 | 138.2156151 | 463.5135883 | 291.335798 | 219.512815 | 378.7065697 | 244.502245 |
| 50 | 1078.120476 | 1139.547564 | 504.1508851 | 216.6133814 | 120.260206 | 332.0626502 | 566.4031675 |

Ek-7.2: PCA Ön İşlem Faktörlerine Göre GD Tansig Elektrik Talep Tahmin Modellerinin MAPE Sonuçları.

| | GD_Tansig PCA1 | GD_Tansig PCA2 | GD_Tansig PCA3 | GD_Tansig PCA4 | GD_Tansig PCA5 | GD_Tansig PCA6 | GD_Tansig PCA7 |
|----|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| 1 | 841.6270366 | 130.2264455 | 983.1967643 | 1254.592017 | 117.864091 | 726.121385 | 428.0103777 |
| 2 | 377.7447287 | 681.2276215 | 1098.474032 | 909.2684854 | 809.830739 | 1244.962783 | 1373.306639 |
| 3 | 248.4754691 | 1079.183163 | 402.9253826 | 520.0244202 | 232.471943 | 1411.057698 | 981.9787851 |
| 4 | 626.6856958 | 1078.415169 | 359.9623126 | 377.6781141 | 1895.05593 | 601.792931 | 1205.045216 |
| 5 | 665.6081965 | 322.0698653 | 448.4368993 | 1534.540748 | 1299.22366 | 474.8648733 | 782.0948093 |
| 6 | 241.4387355 | 2306.416242 | 323.8597521 | 61.0888777 | 1206.2845 | 1603.477926 | 132.4708828 |
| 7 | 450.9915854 | 448.3911477 | 1223.044032 | 108.3446895 | 445.286435 | 121.7764975 | 1627.354998 |
| 8 | 1639.18838 | 257.887834 | 748.3851851 | 2034.606043 | 240.631871 | 899.3752054 | 1407.684961 |
| 9 | 2465.956443 | 2136.606115 | 1133.499493 | 945.0561221 | 961.444688 | 583.7565416 | 712.0567904 |
| 10 | 1055.455636 | 736.3925605 | 1261.219526 | 1149.464363 | 144.654956 | 901.7522701 | 280.9622326 |
| 11 | 1995.070605 | 1178.653837 | 1095.616823 | 2006.827491 | 1781.18423 | 962.3116707 | 578.2333618 |
| 12 | 1791.85102 | 891.0340576 | 732.9735171 | 2260.202955 | 2186.44815 | 2851.495572 | 1209.145708 |
| 13 | 1493.99215 | 1425.94641 | 1928.484779 | 677.9293753 | 385.829066 | 785.4150376 | 642.6261023 |
| 14 | 606.0256063 | 442.750937 | 781.0889362 | 724.8868184 | 589.234621 | 862.7840951 | 2127.688264 |
| 15 | 5783.150068 | 477.7751201 | 1669.985492 | 1628.65592 | 1683.57203 | 1651.194125 | 851.6944524 |
| 16 | 204.8927576 | 1089.164563 | 1204.64792 | 2487.883507 | 240.585926 | 971.2955271 | 1234.478017 |
| 17 | 685.9568637 | 611.70701 | 1500.007884 | 779.549278 | 140.009362 | 2139.091466 | 1244.578949 |
| 18 | 1101.916576 | 102.7675426 | 2551.961997 | 974.7280539 | 3442.74699 | 198.4470977 | 3568.384703 |
| 19 | 226.8134225 | 500.3255273 | 713.8309486 | 1261.466462 | 1861.95921 | 736.6873209 | 1660.643743 |
| 20 | 1077.799313 | 3001.907653 | 1256.197385 | 345.2620275 | 352.337056 | 788.4500848 | 1071.891105 |
| 21 | 868.4874587 | 21.70572174 | 967.0625621 | 1574.251362 | 1354.20408 | 679.9552343 | 209.6614964 |
| 22 | 1436.592837 | 627.4771282 | 1363.645855 | 205.7626528 | 1625.36088 | 292.8844746 | 785.4563402 |
| 23 | 770.4821238 | 1631.631598 | 2471.235609 | 748.6923033 | 1668.23623 | 214.9187703 | 823.6893496 |
| 24 | 1094.974122 | 3776.770686 | 3874.472574 | 91.34529273 | 813.001353 | 2300.150662 | 2734.673121 |
| 25 | 1895.04423 | 374.3552613 | 1433.32271 | 819.7658075 | 3164.82389 | 368.9227285 | 2913.473889 |
| 26 | 1131.177228 | 668.7378559 | 631.322229 | 835.2983526 | 292.112467 | 1487.543313 | 2342.5308 |
| 27 | 1844.608899 | 1651.705476 | 1231.011107 | 1189.702781 | 966.570135 | 1443.028777 | 2517.103377 |
| 28 | 282.1703208 | 4039.304282 | 2626.151022 | 1858.088722 | 1624.37433 | 2014.115263 | 5476.619263 |
| 29 | 3947.300501 | 528.811916 | 1506.608202 | 1590.02978 | 446.396089 | 592.6837319 | 248.311804 |
| 30 | 1425.144886 | 2757.63218 | 2466.362758 | 3882.729829 | 396.181122 | 265.5159019 | 309.4437682 |
| 31 | 1233.657029 | 154.4363622 | 2360.820394 | 675.094918 | 764.817281 | 1062.547191 | 339.2072365 |
| 32 | 290.1075409 | 3651.899588 | 597.6192365 | 720.0723618 | 1292.35812 | 1646.013703 | 2311.187211 |
| 33 | 2450.533271 | 1501.966397 | 2980.06319 | 2543.862719 | 3260.45267 | 286.7501515 | 2749.586848 |
| 34 | 1452.684173 | 1273.994464 | 1538.314986 | 490.7236618 | 1329.33309 | 1002.125805 | 3009.267292 |
| 35 | 795.0248765 | 920.5492119 | 559.5166311 | 2004.200039 | 440.222185 | 646.1352352 | 649.8241101 |
| 36 | 891.803412 | 2653.35574 | 152.3789695 | 1831.271465 | 1047.52385 | 1822.428178 | 1944.547972 |
| 37 | 1747.826215 | 171.8190861 | 976.8359657 | 1874.214172 | 207.087988 | 1142.213273 | 1640.117481 |
| 38 | 4020.859681 | 2968.294785 | 4148.588592 | 2692.626756 | 1495.38909 | 3094.77213 | 1310.078625 |
| 39 | 3709.063832 | 1258.69482 | 1469.540858 | 989.3412421 | 627.938208 | 197.669165 | 756.881544 |
| 40 | 895.512692 | 871.3915981 | 435.7494199 | 395.8976937 | 1847.85394 | 1702.326695 | 673.0557432 |
| 41 | 742.1538589 | 894.7720485 | 2439.130379 | 345.0179026 | 1159.83391 | 445.8494527 | 178.6137166 |
| 42 | 1988.60567 | 742.9971921 | 3233.377061 | 2176.066422 | 2060.98036 | 2210.204273 | 2733.767643 |
| 43 | 1225.829687 | 5508.321977 | 423.75236 | 1429.813885 | 2507.30635 | 873.5405925 | 1283.73416 |
| 44 | 382.1169598 | 455.4892805 | 250.3014956 | 1901.179117 | 4100.78808 | 3615.602515 | 1078.69702 |
| 45 | 701.7628786 | 921.6493467 | 410.6497539 | 2266.157669 | 338.028467 | 314.4802721 | 3543.182537 |
| 46 | 2391.713079 | 1727.577139 | 1333.159607 | 7828.596778 | 1808.50204 | 2584.399585 | 2275.038413 |
| 47 | 1302.193985 | 2135.461275 | 1006.361197 | 3146.173969 | 5434.71289 | 2324.155429 | 2613.807411 |
| 48 | 2617.949638 | 2441.439803 | 1828.372549 | 3898.354734 | 1903.37102 | 2583.801626 | 2170.177471 |
| 49 | 727.2105787 | 445.1346015 | 2521.582488 | 3043.361483 | 5390.97756 | 3512.962626 | 1142.467582 |
| 50 | 1292.478097 | 352.533773 | 2093.105616 | 384.8706174 | 2485.63231 | 1182.196105 | 2318.337197 |

Ek-7.3: PCA Ön İşlem Faktörlerine Göre GDM Logsig Gün Öncesi Elektrik Fiyat Tahmin Modellerinin MAPE Sonuçları.

| | GDM_Logsig PCA1 | GDM_Logsig PCA2 | GDM_Logsig PCA3 | GDM_Logsig PCA4 | GDM_Logsig PCA5 | GDM_Logsig PCA6 | GDM_Logsig PCA7 |
|----|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| 1 | 150.883147 | 1423.456823 | 150.9250795 | 931.6486036 | 478.603074 | 276.5528105 | 1065.251076 |
| 2 | 1307.591103 | 1424.81859 | 199.3734425 | 632.5500438 | 943.907221 | 504.6984619 | 1133.739761 |
| 3 | 47.28495344 | 609.4414624 | 668.2879166 | 123.5633761 | 184.512892 | 776.145481 | 921.0394701 |
| 4 | 855.4271611 | 290.925032 | 20.35933234 | 696.3758484 | 291.854845 | 256.055669 | 1039.068514 |
| 5 | 115.0840004 | 983.8266178 | 457.8641993 | 56.64390165 | 491.963524 | 652.924971 | 569.4588019 |
| 6 | 675.4516578 | 604.2803298 | 1057.92497 | 894.6784854 | 333.433663 | 399.7218843 | 756.4677752 |
| 7 | 1947.82264 | 834.926249 | 885.151673 | 1752.752528 | 580.967981 | 220.9534295 | 869.7399557 |
| 8 | 839.5461058 | 1025.570621 | 1805.178028 | 389.7644931 | 283.409062 | 1563.916091 | 1183.500908 |
| 9 | 1022.896294 | 628.4040731 | 529.3926416 | 806.464334 | 264.826099 | 313.9734736 | 1300.331709 |
| 10 | 1470.339562 | 41.43931533 | 1558.570967 | 1270.187158 | 1294.45777 | 1162.970107 | 629.4347034 |
| 11 | 622.978478 | 180.2617671 | 2326.030656 | 1105.268573 | 500.115375 | 616.5790352 | 1310.781027 |
| 12 | 1544.6478 | 508.6990542 | 59.32453426 | 102.1168302 | 315.595411 | 1223.706761 | 768.037476 |
| 13 | 1978.06216 | 1176.005357 | 142.2502196 | 126.3794601 | 335.987148 | 161.6005292 | 865.6078351 |
| 14 | 3923.182058 | 589.9930969 | 448.1955369 | 1329.738718 | 1379.96515 | 590.4901364 | 759.8995986 |
| 15 | 424.653128 | 967.4344402 | 286.3242229 | 998.638353 | 422.155518 | 843.9802888 | 254.028915 |
| 16 | 523.4483183 | 118.1989664 | 3075.428799 | 309.8587311 | 1515.53409 | 393.8685553 | 721.4929443 |
| 17 | 764.9130055 | 2129.969995 | 257.4670836 | 773.7658334 | 1113.11397 | 89.95499552 | 491.7941018 |
| 18 | 466.9941429 | 290.2666943 | 2893.16117 | 389.8061728 | 1449.62924 | 968.687391 | 601.7375475 |
| 19 | 2242.302404 | 3196.860002 | 221.681771 | 261.1991337 | 1129.82001 | 451.2062334 | 463.5523796 |
| 20 | 2911.454273 | 633.2184545 | 253.0064427 | 122.7409991 | 848.404008 | 173.1388366 | 529.9577082 |
| 21 | 650.4427344 | 352.6676223 | 1225.930274 | 2337.836743 | 1020.08585 | 762.6159792 | 1313.98555 |
| 22 | 608.4495511 | 2667.22278 | 1396.411512 | 2676.717348 | 1472.26391 | 1824.994209 | 713.4234501 |
| 23 | 1386.735349 | 733.2290511 | 636.8303034 | 1222.979049 | 1173.87679 | 3027.042724 | 565.9062119 |
| 24 | 606.1364941 | 134.1097666 | 307.527901 | 769.8452731 | 1529.49525 | 1902.23003 | 1089.47137 |
| 25 | 1059.558828 | 1092.389375 | 1780.177879 | 1587.063485 | 2010.14024 | 215.3299812 | 372.7054044 |
| 26 | 965.2303401 | 263.0822018 | 542.6970714 | 22.19933639 | 1516.85744 | 1329.677274 | 207.1720612 |
| 27 | 352.4737075 | 82.26081224 | 1602.253315 | 1437.536292 | 1370.77778 | 983.1214467 | 862.2359953 |
| 28 | 1375.271921 | 2843.469145 | 482.352641 | 592.0733099 | 1317.19631 | 542.8531865 | 1503.58219 |
| 29 | 209.0209471 | 963.1283623 | 1171.729503 | 1998.032549 | 275.225236 | 662.4384916 | 1568.623162 |
| 30 | 1197.887189 | 3537.852298 | 34.02646548 | 622.8689334 | 437.669676 | 837.9540722 | 85.13165986 |
| 31 | 152.9529446 | 898.1702828 | 2464.322045 | 2737.787701 | 1291.62904 | 697.0486888 | 2024.683556 |
| 32 | 2335.115751 | 1005.587301 | 934.0973371 | 654.336438 | 2021.16803 | 914.2039929 | 1274.318082 |
| 33 | 1041.100737 | 4744.479002 | 646.1953319 | 357.3197752 | 1405.01124 | 594.9086759 | 1675.334236 |
| 34 | 907.6231096 | 1954.26077 | 1575.019375 | 543.2414813 | 1977.0013 | 2197.26136 | 1725.536904 |
| 35 | 669.1527607 | 85.52115749 | 3157.802513 | 775.7367743 | 312.595875 | 1118.88859 | 1418.828079 |
| 36 | 158.8390987 | 1855.686571 | 913.3246154 | 249.3866306 | 1229.76412 | 3661.041403 | 2082.042651 |
| 37 | 1750.715429 | 3054.017927 | 1220.180918 | 4159.595555 | 296.675988 | 819.1352773 | 426.2531502 |
| 38 | 714.9975926 | 2440.464016 | 3597.325954 | 2353.620051 | 3403.84226 | 148.2526845 | 1214.63246 |
| 39 | 1130.163694 | 109.5816935 | 574.502229 | 2343.285696 | 1511.3876 | 1073.288734 | 2826.429985 |
| 40 | 1871.959702 | 2177.593019 | 1545.547703 | 991.4918007 | 1862.01375 | 2619.685788 | 714.3698003 |
| 41 | 4238.207453 | 1238.12641 | 1245.917825 | 426.1365625 | 891.904248 | 1314.905472 | 3772.459113 |
| 42 | 1704.255173 | 1459.237949 | 179.8252702 | 1374.655153 | 622.50926 | 2980.55229 | 1352.051817 |
| 43 | 291.5700778 | 457.4888518 | 1217.13221 | 2330.972819 | 2396.62368 | 4047.256175 | 757.9641731 |
| 44 | 893.6511528 | 329.9475462 | 706.8800745 | 255.2001813 | 67.1762148 | 2550.730248 | 357.6963333 |
| 45 | 3371.398225 | 557.791707 | 1764.986031 | 553.4642885 | 483.031581 | 1171.091791 | 411.3836835 |
| 46 | 3337.217611 | 2447.433434 | 938.276758 | 776.4199587 | 3935.228 | 28.48239359 | 232.3941336 |
| 47 | 1344.412003 | 805.7294139 | 1238.07805 | 470.0630421 | 143.256897 | 270.513837 | 1941.806323 |
| 48 | 2391.505267 | 2016.308845 | 798.7989559 | 5237.895951 | 1508.4565 | 1184.746082 | 651.585368 |
| 49 | 280.041265 | 2928.928677 | 452.4018744 | 966.5925258 | 3134.69957 | 678.7170474 | 1611.376915 |
| 50 | 1559.377091 | 1539.883785 | 1816.263275 | 384.6217829 | 1039.35399 | 1633.466765 | 4373.008272 |

Ek-7.4: PCA Ön İşlem Faktörlerine Göre GDM Tansig Gün Öncesi Elektrik Fiyat Tahmin Modellerinin MAPE Sonuçları.

| | GDM_Tansig PCA1 | GDM_Tansig PCA2 | GDM_Tansig PCA3 | GDM_Tansig PCA4 | GDM_Tansig PCA5 | GDM_Tansig PCA6 | GDM_Tansig PCA7 |
|----|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| 1 | 254.3102936 | 123.7207652 | 141.1991506 | 528.3633198 | 61.6942783 | 227.7770006 | 620.128623 |
| 2 | 1531.360679 | 759.8384932 | 520.7659276 | 26.26658445 | 96.4186293 | 640.4543957 | 192.2265159 |
| 3 | 405.6031541 | 471.3130268 | 32.98138099 | 1284.001053 | 1405.46127 | 985.0108727 | 376.9866447 |
| 4 | 529.0015394 | 582.1334956 | 983.0348387 | 648.4779672 | 282.06536 | 296.8997065 | 44.16635875 |
| 5 | 27.87554124 | 347.4233232 | 32.86725631 | 190.2558648 | 609.738244 | 734.5635219 | 482.1101325 |
| 6 | 2481.535707 | 1885.111199 | 167.5234973 | 380.8933792 | 35.3107602 | 264.7527874 | 27.13235592 |
| 7 | 88.64364083 | 999.9205134 | 570.634242 | 206.114027 | 224.383371 | 439.65954 | 145.9284308 |
| 8 | 121.7473185 | 745.7146576 | 446.987455 | 919.2204341 | 518.657025 | 320.7557785 | 1341.975481 |
| 9 | 1740.553809 | 293.2367143 | 99.88328119 | 803.2892931 | 1332.81445 | 1125.316873 | 1903.02985 |
| 10 | 1735.871657 | 1640.524543 | 108.9768744 | 499.1770659 | 166.022866 | 425.3861812 | 504.2663296 |
| 11 | 991.9491174 | 1019.704338 | 223.0392211 | 2204.421455 | 1014.90326 | 1269.342042 | 581.3298334 |
| 12 | 1160.350425 | 134.6385855 | 594.2572931 | 122.5961771 | 1725.02797 | 48.87301651 | 670.9742835 |
| 13 | 529.4187234 | 621.8181635 | 805.1755843 | 919.4191032 | 1416.14789 | 394.6153636 | 1348.835237 |
| 14 | 257.5769911 | 1556.09742 | 1474.668932 | 2845.717227 | 989.561527 | 336.9924325 | 158.5755724 |
| 15 | 2506.410327 | 2456.177938 | 673.6088521 | 726.9681399 | 328.10477 | 1147.113438 | 425.687772 |
| 16 | 1310.3575 | 292.1627324 | 936.2463407 | 2016.280069 | 991.944235 | 863.0386861 | 2002.398859 |
| 17 | 841.6506603 | 132.3941728 | 2473.466871 | 1551.90773 | 484.20349 | 1368.665834 | 1367.671919 |
| 18 | 2313.631669 | 2507.424069 | 146.2205492 | 565.7673081 | 1130.2013 | 146.7087972 | 2761.401221 |
| 19 | 755.9956685 | 342.3006116 | 1472.799368 | 2393.912735 | 2003.10603 | 508.4248197 | 355.6797896 |
| 20 | 2202.886975 | 2017.386982 | 909.5051648 | 286.4210245 | 430.493007 | 846.3214969 | 1319.74084 |
| 21 | 295.7562498 | 1262.609555 | 268.7221269 | 2757.249773 | 246.26442 | 2090.187232 | 1846.969583 |
| 22 | 753.7507557 | 777.4602687 | 1637.951743 | 650.2697873 | 644.964746 | 364.8529144 | 1052.748695 |
| 23 | 2437.548903 | 600.1774207 | 722.427923 | 1281.464626 | 736.851788 | 2131.633224 | 1071.332994 |
| 24 | 314.752195 | 1619.400987 | 4892.365351 | 125.8651064 | 2154.43482 | 642.7225289 | 2287.737007 |
| 25 | 1762.448701 | 350.0927356 | 86.17711271 | 341.820328 | 928.756891 | 308.2590456 | 637.3806392 |
| 26 | 2559.372247 | 2707.938012 | 1835.87969 | 1069.615074 | 73.7684176 | 1645.619352 | 2408.463402 |
| 27 | 642.1112474 | 2515.769867 | 169.9040772 | 1400.929751 | 2088.94817 | 1655.589599 | 444.8164675 |
| 28 | 2318.547078 | 708.5756735 | 531.9440826 | 2373.26402 | 773.306368 | 1182.190935 | 1048.949284 |
| 29 | 1808.058968 | 507.465345 | 74.18448787 | 240.0094768 | 3731.04387 | 453.0213223 | 709.397924 |
| 30 | 2128.772834 | 1370.114206 | 544.3569702 | 1584.828151 | 345.511223 | 954.6451404 | 815.7802025 |
| 31 | 1957.3696 | 862.7750278 | 1082.846949 | 2273.030167 | 2471.19198 | 204.5071877 | 1004.128493 |
| 32 | 4714.625718 | 588.7673542 | 3855.491162 | 309.424361 | 1630.0871 | 2289.288764 | 922.8117605 |
| 33 | 2266.022015 | 1678.401414 | 1224.531098 | 377.7012638 | 763.828433 | 843.3586908 | 944.5180034 |
| 34 | 344.5306344 | 735.5288496 | 1024.054885 | 1132.465905 | 2644.44201 | 1286.020099 | 994.7202336 |
| 35 | 250.2451325 | 1393.711301 | 329.3176495 | 1323.162798 | 1361.22164 | 241.864854 | 1409.702621 |
| 36 | 765.9746748 | 3617.203796 | 306.9035316 | 953.0014245 | 1868.13271 | 1353.291273 | 411.8640895 |
| 37 | 3341.246587 | 1514.840155 | 1950.632092 | 1844.946456 | 561.553972 | 1039.004496 | 820.5337808 |
| 38 | 435.5790442 | 3935.4649 | 1265.286264 | 324.825485 | 1356.85141 | 1259.791198 | 1455.478224 |
| 39 | 1611.641784 | 3216.816027 | 499.9560571 | 1273.968861 | 4578.74938 | 3519.087502 | 1560.082202 |
| 40 | 420.3113567 | 139.3995189 | 2876.593327 | 938.5748714 | 640.300229 | 1661.589527 | 1280.121044 |
| 41 | 6144.770767 | 3033.253587 | 1387.335163 | 2146.659532 | 89.8878647 | 911.3747265 | 544.4879943 |
| 42 | 1918.207517 | 3213.297942 | 2178.426672 | 1329.030049 | 1645.51955 | 4852.769243 | 1736.256675 |
| 43 | 270.6665431 | 3325.992135 | 1138.522315 | 1710.509609 | 2340.95716 | 1045.616922 | 295.9066141 |
| 44 | 3717.333372 | 571.4447964 | 2481.083229 | 4143.389865 | 1555.19206 | 1332.994259 | 230.904752 |
| 45 | 2470.122805 | 2414.489748 | 3978.28128 | 3901.373656 | 1160.69772 | 1101.827178 | 2150.30088 |
| 46 | 3621.282959 | 2742.141187 | 1949.897255 | 3191.367235 | 3599.66559 | 1771.388364 | 340.638662 |
| 47 | 2703.295385 | 1383.294079 | 1903.932991 | 1305.983613 | 1719.80803 | 1047.801199 | 1005.911968 |
| 48 | 321.4710505 | 2631.183624 | 1329.512367 | 1509.573076 | 3714.4334 | 237.7220667 | 311.7201037 |
| 49 | 2565.10938 | 703.1507942 | 371.7174271 | 4472.616569 | 1788.91181 | 98.4072708 | 2600.96398 |
| 50 | 552.9640749 | 3351.296912 | 794.8438816 | 804.4765993 | 1476.01387 | 2631.745207 | 626.7481247 |

Ek-7.5: PCA Ön İşlem Faktörlerine Göre BFGS Logsig Gün Öncesi Elektrik Fiyat Tahmin Modellerinin MAPE Sonuçları.

| | BFGS_Logsig PCA1 | BFGS_Logsig PCA2 | BFGS_Logsig PCA3 | BFGS_Logsig PCA4 | BFGS_Logsig PCA5 | BFGS_Logsig PCA6 | BFGS_Logsig PCA7 |
|----|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| 1 | 12.33608079 | 12.45750688 | 12.1686748 | 12.22807326 | 12.1685735 | 12.13110255 | 21.35961741 |
| 2 | 12.1441633 | 12.44148948 | 12.28266975 | 12.4013711 | 12.2078886 | 12.23284959 | 12.06183565 |
| 3 | 12.43733184 | 12.39813367 | 12.20122894 | 12.43996384 | 12.2457577 | 12.70001577 | 11.9655129 |
| 4 | 12.31035788 | 12.44908197 | 14.51394464 | 13.2827513 | 12.0213423 | 12.49558692 | 12.10555155 |
| 5 | 12.20039868 | 13.43279304 | 12.28079861 | 20.68704795 | 11.9834941 | 11.9989734 | 17.02930389 |
| 6 | 12.52373445 | 12.22619681 | 12.40691683 | 12.16631955 | 12.0424043 | 11.9199563 | 11.99025565 |
| 7 | 12.33089112 | 12.29449771 | 12.15192006 | 14.48615299 | 13.0264323 | 11.9386441 | 21.0141549 |
| 8 | 12.6226353 | 13.0865302 | 12.15012247 | 16.93607974 | 18.8409717 | 12.01189755 | 16.3855668 |
| 9 | 13.9508434 | 13.91613295 | 12.25885701 | 12.03709285 | 11.9179207 | 15.46005259 | 15.54679279 |
| 10 | 12.27860756 | 12.10689555 | 18.15586224 | 13.45166495 | 11.9538444 | 12.51011663 | 15.34274579 |
| 11 | 12.60350471 | 12.17320339 | 12.37432414 | 17.90659903 | 21.5737176 | 18.24877421 | 12.43423543 |
| 12 | 12.26433215 | 12.63886252 | 12.17735795 | 12.53522735 | 18.3587302 | 17.05149359 | 21.15477218 |
| 13 | 12.04741612 | 12.48269112 | 12.12822481 | 15.08500466 | 17.7465465 | 19.53169049 | 12.51531395 |
| 14 | 12.43297879 | 12.33095316 | 13.64234513 | 13.26214293 | 12.5768141 | 19.40516808 | 20.69688936 |
| 15 | 12.39288582 | 12.16087956 | 15.15543629 | 12.23736231 | 12.4463192 | 15.44410129 | 20.02838027 |
| 16 | 12.45816901 | 12.15224997 | 12.49205469 | 13.54090421 | 17.7022429 | 13.54340941 | 12.00641063 |
| 17 | 11.88750283 | 12.26022854 | 12.06443912 | 18.73673925 | 18.8887276 | 16.30650882 | 13.40875918 |
| 18 | 12.06341448 | 13.01828845 | 12.36751411 | 12.26302913 | 12.7885209 | 12.84299861 | 12.94602901 |
| 19 | 11.94227708 | 12.28427102 | 13.08224397 | 12.46995034 | 12.5353431 | 14.09581941 | 12.63724087 |
| 20 | 13.06203215 | 12.3260833 | 12.42606106 | 12.71054837 | 12.4896765 | 16.15538834 | 12.26870654 |
| 21 | 12.64095255 | 15.12889551 | 12.37429622 | 12.64381016 | 12.1883188 | 15.23456772 | 12.45085934 |
| 22 | 12.52761206 | 12.93699831 | 12.5887524 | 13.16367054 | 13.1113392 | 13.43028116 | 21.95863321 |
| 23 | 12.52743931 | 13.13230428 | 12.42838356 | 13.15301748 | 12.7128559 | 12.80968073 | 22.08825835 |
| 24 | 14.63799173 | 12.4823117 | 11.95363319 | 12.87507207 | 12.300257 | 21.37704307 | 12.69674992 |
| 25 | 13.81832847 | 12.25883711 | 11.99482974 | 12.48961557 | 12.4574432 | 12.29554604 | 14.17754152 |
| 26 | 12.09511663 | 12.73619839 | 12.32062781 | 14.14984665 | 13.5145764 | 14.70477254 | 12.06402897 |
| 27 | 12.13028543 | 12.51532187 | 11.94594981 | 15.58633498 | 25.3587151 | 13.56588318 | 13.3094663 |
| 28 | 12.67332912 | 12.57014398 | 13.78848552 | 12.20066533 | 12.8087784 | 13.57426242 | 15.0422088 |
| 29 | 15.2978841 | 14.63238775 | 12.12991591 | 12.3363195 | 16.1261335 | 15.93461317 | 23.45371497 |
| 30 | 12.43537211 | 12.29182181 | 12.9166432 | 13.27835202 | 12.6181189 | 12.7225265 | 27.88752391 |
| 31 | 12.79500646 | 12.73805477 | 12.58414107 | 12.79620953 | 12.1226097 | 15.40316054 | 14.1359856 |
| 32 | 11.82244877 | 12.3810517 | 12.12449132 | 12.30497977 | 14.0427917 | 13.74409908 | 13.74258312 |
| 33 | 14.25679786 | 12.1472343 | 12.42349281 | 12.40603734 | 13.9484178 | 16.90232683 | 12.40085279 |
| 34 | 12.38701063 | 12.39952969 | 12.89984577 | 13.35698391 | 13.4845828 | 13.02446831 | 12.09524181 |
| 35 | 12.15882469 | 12.37035951 | 12.3690095 | 12.17688792 | 12.6166072 | 14.32025734 | 12.36269151 |
| 36 | 12.65312864 | 12.3116819 | 12.19241683 | 12.04614367 | 13.7429009 | 12.37997869 | 12.94048276 |
| 37 | 14.41621461 | 12.75384613 | 12.91768547 | 16.80948817 | 13.5263873 | 16.58895488 | 12.7569527 |
| 38 | 11.82953094 | 13.53383891 | 12.32295539 | 12.36924824 | 12.6081887 | 12.56211728 | 13.67534012 |
| 39 | 11.85492271 | 12.35518427 | 14.46338805 | 12.04840418 | 13.8823962 | 16.56250327 | 12.04735329 |
| 40 | 13.66982826 | 11.97405741 | 12.72780551 | 13.61116665 | 12.7673577 | 13.44251225 | 16.33478463 |
| 41 | 12.63396748 | 12.46299612 | 12.51981014 | 12.89885522 | 12.4318785 | 21.84615338 | 12.8407357 |
| 42 | 16.58680526 | 13.50629262 | 13.09446741 | 12.79076586 | 13.341987 | 13.97486516 | 12.66859533 |
| 43 | 14.71102112 | 13.20533701 | 13.7190602 | 12.89013819 | 13.5317352 | 16.09853342 | 13.65435277 |
| 44 | 14.51164424 | 13.95574047 | 16.15459047 | 14.18848959 | 22.0971884 | 15.71552009 | 13.52565973 |
| 45 | 13.51091221 | 15.15790796 | 14.78276136 | 12.06405971 | 12.8250369 | 12.80561398 | 13.07421765 |
| 46 | 13.67651406 | 13.85556138 | 12.69849408 | 14.99953779 | 12.601339 | 12.29997208 | 13.42980391 |
| 47 | 13.99166597 | 13.62481276 | 16.22550298 | 12.76125673 | 13.8060354 | 14.49458784 | 14.72895314 |
| 48 | 16.46781616 | 12.55092824 | 12.27292667 | 13.25173292 | 13.454281 | 25.15994768 | 15.06528238 |
| 49 | 15.76578329 | 13.09473429 | 12.80856735 | 14.03875279 | 14.8022514 | 14.2065472 | 17.06613079 |
| 50 | 13.46252323 | 14.14112497 | 13.00370174 | 14.70967285 | 12.632305 | 13.89677997 | 13.83478443 |

Ek-7.6: PCA Ön İşlem Faktörlerine Göre BFGS Tansig Gün Öncesi Elektrik Fiyat Tahmin Modellerinin MAPE Sonuçları.

| | BFGS_Tansig PCA1 | BFGS_Tansig PCA2 | BFGS_Tansig PCA3 | BFGS_Tansig PCA4 | BFGS_Tansig PCA5 | BFGS_Tansig PCA6 | BFGS_Tansig PCA7 |
|----|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| 1 | 12.20175651 | 12.24744905 | 12.22550854 | 21.35233019 | 21.2937056 | 12.27742909 | 12.3313221 |
| 2 | 12.47516953 | 12.01965582 | 12.2335125 | 12.16296795 | 12.1813124 | 12.66350825 | 12.23362356 |
| 3 | 12.39308625 | 12.55132337 | 13.5023742 | 12.25585447 | 15.1864647 | 13.10000891 | 12.2983165 |
| 4 | 14.70584525 | 12.552878 | 12.72246088 | 12.04941313 | 12.9480264 | 21.77673393 | 19.80656273 |
| 5 | 11.93932457 | 12.48247351 | 12.25813703 | 19.86965061 | 12.6021475 | 20.13012379 | 15.32209756 |
| 6 | 13.06662233 | 12.57117773 | 12.18218915 | 12.64371657 | 14.8091326 | 16.09041608 | 15.5411412 |
| 7 | 12.64259204 | 12.48041755 | 12.67050658 | 13.99397539 | 17.7643769 | 18.82383975 | 21.77694573 |
| 8 | 12.84209965 | 12.49295316 | 13.19857414 | 14.42768293 | 12.6149341 | 16.5650523 | 12.08356995 |
| 9 | 13.77090286 | 20.09447312 | 12.00457837 | 12.090693 | 12.3002484 | 12.42832382 | 18.83300858 |
| 10 | 12.34055865 | 12.47401453 | 12.27058458 | 12.3590855 | 13.9627145 | 23.22356375 | 12.92709369 |
| 11 | 12.12340681 | 12.47551878 | 20.78926197 | 14.84464335 | 13.4573122 | 13.98813767 | 13.59426954 |
| 12 | 11.82263865 | 12.71728109 | 12.38608093 | 12.8828239 | 14.4170997 | 14.84954863 | 15.5147582 |
| 13 | 12.40384802 | 13.49002327 | 17.85706661 | 13.75033124 | 13.260879 | 14.76409007 | 13.2582127 |
| 14 | 12.06498137 | 12.54104713 | 12.69164737 | 16.57681091 | 14.8227844 | 14.44461057 | 13.32330649 |
| 15 | 15.89958244 | 12.400643 | 12.06498 | 12.9562278 | 12.7942654 | 15.01660625 | 16.1434659 |
| 16 | 13.37423166 | 12.52729427 | 12.47991765 | 11.93552187 | 14.8930678 | 13.05083284 | 12.26923126 |
| 17 | 12.96683682 | 12.94228438 | 12.36766515 | 12.8345499 | 13.7361263 | 16.64469448 | 14.70368722 |
| 18 | 12.0248272 | 12.65031452 | 17.03582927 | 15.41402347 | 14.102376 | 13.87355515 | 15.12949097 |
| 19 | 13.01089059 | 13.72987492 | 12.48892006 | 12.13045824 | 14.1507929 | 15.38725143 | 14.72438379 |
| 20 | 12.56673419 | 12.31569167 | 14.28014111 | 13.32011122 | 16.5307022 | 15.62135304 | 15.61387084 |
| 21 | 11.94995017 | 12.28420805 | 12.3079509 | 20.06256067 | 14.9907041 | 15.51483138 | 15.34896557 |
| 22 | 12.05339248 | 16.10384474 | 14.24778623 | 13.77287889 | 14.0642195 | 15.399806 | 20.09745022 |
| 23 | 13.66167601 | 12.33445487 | 12.37526507 | 12.82353724 | 14.222257 | 13.49852338 | 14.15484621 |
| 24 | 14.83226692 | 14.05752685 | 12.49514512 | 13.31066226 | 16.5472652 | 15.91937805 | 14.15567061 |
| 25 | 13.98580603 | 13.70870639 | 12.28982376 | 12.97725524 | 14.32512 | 13.75290703 | 16.06164421 |
| 26 | 13.73840011 | 15.60237176 | 12.25820681 | 12.88600386 | 14.7066573 | 17.43113945 | 14.16832883 |
| 27 | 12.15782602 | 14.39626962 | 12.13822579 | 13.3776185 | 13.7650869 | 15.15293007 | 18.12045746 |
| 28 | 11.99229782 | 13.60150667 | 13.22206744 | 13.05823852 | 15.0189214 | 17.08600036 | 13.46429915 |
| 29 | 13.38649653 | 12.51363299 | 13.85717455 | 13.52757365 | 14.4879234 | 17.73163156 | 17.51899521 |
| 30 | 13.87557945 | 12.04093691 | 14.02087798 | 14.43477221 | 17.2141744 | 16.92778371 | 12.95167328 |
| 31 | 14.96250025 | 14.79246939 | 12.93476959 | 14.0041398 | 15.6323052 | 16.21558873 | 15.62536598 |
| 32 | 13.00013216 | 12.74477964 | 12.95192847 | 18.48058347 | 17.4095703 | 18.02000965 | 14.59386872 |
| 33 | 20.61646768 | 15.45454648 | 14.25200044 | 13.51243963 | 14.7440629 | 14.58498179 | 24.42363533 |
| 34 | 17.33313464 | 14.50492907 | 13.10522865 | 19.22163605 | 12.7829979 | 19.79206408 | 13.55206728 |
| 35 | 24.33388899 | 18.30852098 | 20.96535268 | 13.42629687 | 18.4825909 | 23.90984051 | 15.8259575 |
| 36 | 42.6211446 | 13.09819664 | 12.82255882 | 14.74673211 | 15.5975351 | 18.76381758 | 18.73825448 |
| 37 | 20.74706434 | 14.48365688 | 16.80150674 | 14.80797736 | 17.8390932 | 31.90875392 | 24.90006296 |
| 38 | 13.13134242 | 17.72923721 | 15.07604428 | 13.2117455 | 15.2524031 | 15.59219071 | 23.15856498 |
| 39 | 14.75875759 | 17.11949532 | 13.32214641 | 15.29168926 | 17.7774099 | 18.58061551 | 19.20239033 |
| 40 | 13.4000545 | 13.67363217 | 17.28624292 | 14.89383453 | 17.6931338 | 20.53250307 | 23.03089844 |
| 41 | 14.75438393 | 13.77571581 | 14.08483292 | 14.68105593 | 14.0374889 | 18.80597112 | 27.14819149 |
| 42 | 33.79393501 | 15.39480171 | 15.02154589 | 14.35910952 | 15.7308779 | 38.33355925 | 16.7130443 |
| 43 | 14.75665109 | 20.72128182 | 18.8881652 | 17.14055101 | 14.8105593 | 28.10373095 | 16.53970459 |
| 44 | 16.94392874 | 13.16441765 | 16.25868284 | 17.0403939 | 24.043606 | 24.0746327 | 20.5706201 |
| 45 | 17.8870878 | 13.45628859 | 14.39845954 | 16.5299029 | 19.6042409 | 21.23958388 | 26.07436491 |
| 46 | 25.32899391 | 17.92167725 | 15.8218887 | 15.9041154 | 17.6146172 | 25.35366696 | 25.05759597 |
| 47 | 21.54037531 | 15.16207971 | 18.53392064 | 19.1650813 | 17.0486186 | 30.97209477 | 19.06811853 |
| 48 | 94.42705962 | 16.54180211 | 16.34766219 | 16.12903097 | 15.5865081 | 18.44328497 | 21.00908798 |
| 49 | 12.88016472 | 27.45655901 | 16.40746897 | 15.19195897 | 32.6502162 | 20.59128011 | 17.125244 |
| 50 | 13.60338829 | 16.51635764 | 16.86945489 | 15.97132359 | 17.4020987 | 23.29977734 | 22.43552096 |

Ek-7.7: PCA Ön İşlem Faktörlerine Göre LM Logsig Gün Öncesi Elektrik Fiyat Tahmin Modellerinin MAPE Sonuçları.

| | LM_Logsig PCA1 | LM_Logsig PCA2 | LM_Logsig PCA3 | LM_Logsig PCA4 | LM_Logsig PCA5 | LM_Logsig PCA6 | LM_Logsig PCA7 |
|----|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| 1 | 12.33562174 | 12.37956397 | 12.10530502 | 12.21713187 | 12.2630101 | 12.55912322 | 12.41111872 |
| 2 | 21.29873423 | 21.31886505 | 12.40557121 | 12.62143467 | 12.3865653 | 12.21415419 | 13.04217621 |
| 3 | 12.2856885 | 12.10823146 | 12.09460937 | 12.15889916 | 12.0183367 | 12.3892723 | 12.54540458 |
| 4 | 12.18399819 | 12.28370455 | 12.30943185 | 12.20718138 | 12.8157963 | 11.60678569 | 12.28347046 |
| 5 | 12.49820497 | 12.05332153 | 12.3085365 | 12.29918369 | 11.7362157 | 12.07555319 | 12.98898428 |
| 6 | 12.20244674 | 12.31699339 | 12.2674806 | 12.91766056 | 12.2692251 | 11.72547793 | 12.09113757 |
| 7 | 12.45654044 | 12.37053914 | 12.14009828 | 12.21260633 | 12.3012876 | 11.47332978 | 12.16597556 |
| 8 | 13.00338037 | 12.11121828 | 12.23767094 | 12.15453547 | 13.0879499 | 19.56174378 | 12.03950817 |
| 9 | 12.23517264 | 12.21970153 | 12.31685675 | 11.81178998 | 12.9992344 | 12.50888349 | 12.09367264 |
| 10 | 12.10845378 | 12.13737203 | 11.96523752 | 12.20398365 | 11.9548924 | 11.84481479 | 12.3698925 |
| 11 | 12.21528544 | 12.20689513 | 11.93493044 | 11.82422609 | 11.8510025 | 12.51577485 | 13.33610279 |
| 12 | 13.72948976 | 12.38068819 | 12.10889099 | 13.76833478 | 12.1766463 | 11.65710701 | 12.44541182 |
| 13 | 12.62760568 | 12.34820589 | 12.58278128 | 12.06604396 | 12.5440682 | 13.04222623 | 12.65380865 |
| 14 | 12.55686421 | 12.47776902 | 12.30407863 | 12.15428254 | 13.0635743 | 11.7729784 | 12.23230281 |
| 15 | 12.19469834 | 12.44197212 | 12.18830116 | 12.49930506 | 12.1868225 | 11.55781755 | 13.2522722 |
| 16 | 12.63189362 | 12.46627014 | 12.24687976 | 12.1273021 | 11.8445869 | 12.10392043 | 11.83187917 |
| 17 | 12.4165107 | 12.45174599 | 11.9834099 | 12.33725024 | 12.5524136 | 11.50687073 | 12.41518136 |
| 18 | 12.3313205 | 12.41754079 | 12.07140142 | 12.09061414 | 12.4171558 | 11.50164786 | 13.34059938 |
| 19 | 12.74321969 | 12.54863755 | 12.38587812 | 12.33630867 | 13.0411567 | 12.89379078 | 11.91864061 |
| 20 | 12.83836007 | 12.52759701 | 12.12891945 | 12.2263892 | 12.932254 | 12.70786695 | 12.16456881 |
| 21 | 12.78218386 | 12.41420461 | 12.26665997 | 12.19932548 | 13.0840202 | 13.88014358 | 12.73738536 |
| 22 | 12.45245642 | 12.40514725 | 12.35437567 | 12.2901122 | 12.6568332 | 12.37228917 | 12.03037365 |
| 23 | 13.05883647 | 12.20512378 | 12.80641976 | 12.48045623 | 12.6693931 | 12.3220086 | 12.27975554 |
| 24 | 12.62374845 | 12.57307522 | 12.00422079 | 12.46044682 | 12.6459159 | 12.18159344 | 13.07989543 |
| 25 | 12.77094566 | 12.43991584 | 12.03662301 | 12.59777218 | 13.0743143 | 11.45564972 | 12.81647298 |
| 26 | 12.55953409 | 12.40972346 | 12.2300553 | 12.33140758 | 12.6565485 | 14.52750708 | 14.95877809 |
| 27 | 13.00935351 | 12.48185528 | 12.25324633 | 12.33037063 | 13.8618819 | 13.11089989 | 12.56878484 |
| 28 | 12.82350161 | 12.50930049 | 12.2202336 | 12.46808658 | 12.5049103 | 11.70969828 | 12.44435155 |
| 29 | 12.76936408 | 12.56737439 | 12.15092296 | 12.14114861 | 12.7821424 | 13.44510842 | 12.77175157 |
| 30 | 13.17962893 | 12.63388449 | 12.14306474 | 12.19902798 | 12.517093 | 13.13467654 | 16.55959473 |
| 31 | 12.85218064 | 12.61744695 | 12.32702848 | 12.18956646 | 12.8471873 | 11.82826781 | 12.47041177 |
| 32 | 12.97522014 | 12.44019589 | 12.10371384 | 12.30142896 | 13.0697642 | 11.45682925 | 13.43524295 |
| 33 | 12.85230189 | 12.60515233 | 12.31516342 | 12.37911711 | 12.6429015 | 13.92998809 | 12.51680779 |
| 34 | 13.00725951 | 12.41450349 | 12.28778458 | 12.21331499 | 12.8196562 | 11.79192358 | 12.3944831 |
| 35 | 12.90044315 | 12.40348815 | 12.3691818 | 12.60159831 | 13.0282122 | 14.05853512 | 13.87235908 |
| 36 | 12.90598916 | 12.52740262 | 12.13631715 | 12.30448304 | 11.9178905 | 13.8794419 | 13.21957564 |
| 37 | 12.95610465 | 12.32446091 | 11.98665493 | 12.07870079 | 12.4416887 | 12.33733423 | 13.12546017 |
| 38 | 12.57512169 | 12.15004245 | 12.59862725 | 12.36681311 | 13.1835986 | 13.48373421 | 13.05903723 |
| 39 | 13.10361892 | 12.23272948 | 12.35238386 | 12.42574504 | 12.7566958 | 11.40092335 | 12.36772708 |
| 40 | 12.83443116 | 12.36805843 | 12.34514063 | 12.54980602 | 12.2811394 | 14.04749247 | 13.64315177 |
| 41 | 12.85261537 | 12.81654983 | 12.10659911 | 12.47654976 | 12.9018241 | 13.19568169 | 13.14059223 |
| 42 | 12.94090124 | 12.26394859 | 12.55939825 | 12.32956721 | 12.837136 | 14.93751722 | 14.30570576 |
| 43 | 12.84460609 | 12.58217068 | 12.15438199 | 12.29329294 | 12.7423437 | 13.68780552 | 12.96701603 |
| 44 | 12.91536091 | 16.12018166 | 12.52620705 | 12.01244531 | 12.8167649 | 14.09273625 | 13.58022795 |
| 45 | 12.77130197 | 12.41771731 | 12.18616236 | 12.484892 | 12.5549084 | 11.7971372 | 12.63985779 |
| 46 | 12.90723413 | 12.17858862 | 12.32666155 | 12.41179687 | 12.6863604 | 13.70413446 | 14.30794155 |
| 47 | 12.94697055 | 12.20592049 | 12.52452433 | 12.05049237 | 12.1751378 | 13.50548662 | 13.3774156 |
| 48 | 12.87772796 | 12.50515229 | 12.32610438 | 12.30476347 | 12.440596 | 13.8745197 | 13.33318785 |
| 49 | 12.93772068 | 12.62182047 | 12.63818987 | 12.20672535 | 12.5133945 | 16.72440503 | 13.60680622 |
| 50 | 12.88439727 | 12.11855726 | 12.25981183 | 12.33565851 | 12.9166515 | 14.46444701 | 12.22627888 |

Ek-7.8: PCA Ön İşlem Faktörlerine Göre LM Tansig Gün Öncesi Elektrik Fiyat Tahmin Modellerinin MAPE Sonuçları.

| | LM_Tansig PCA1 | LM_Tansig PCA2 | LM_Tansig PCA3 | LM_Tansig PCA4 | LM_Tansig PCA5 | LM_Tansig PCA6 | LM_Tansig PCA7 |
|----|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| 1 | 12.2660141 | 13.08580849 | 12.22580548 | 12.29885877 | 12.2703051 | 12.28541917 | 12.72126888 |
| 2 | 12.20961588 | 12.44022102 | 12.27894295 | 12.16916096 | 12.255234 | 12.85279593 | 12.30545612 |
| 3 | 12.45175391 | 12.04508619 | 11.78747996 | 12.48973735 | 12.1338456 | 12.07367219 | 12.40970011 |
| 4 | 12.21405916 | 12.10514272 | 12.24035831 | 21.30032637 | 12.0312761 | 12.16383113 | 12.14839116 |
| 5 | 12.51243021 | 12.29429781 | 12.26703809 | 12.33297494 | 12.4120223 | 12.51340348 | 12.95928536 |
| 6 | 12.43853433 | 12.26074258 | 12.21979359 | 12.07429569 | 12.289769 | 12.26533923 | 12.1856338 |
| 7 | 12.50337043 | 12.05357826 | 12.94916129 | 12.90826709 | 12.1613589 | 11.85286834 | 12.32092547 |
| 8 | 12.68265245 | 12.09917203 | 12.05297601 | 12.34075265 | 12.7072795 | 11.66675328 | 12.30972482 |
| 9 | 12.3877117 | 12.40794812 | 12.13308463 | 12.57811983 | 12.335648 | 12.40039438 | 12.30828852 |
| 10 | 12.75463379 | 12.30324021 | 11.85016595 | 12.48781803 | 12.5906348 | 11.67409174 | 12.00568277 |
| 11 | 12.18154567 | 12.60410353 | 12.06019889 | 12.2576414 | 12.7825941 | 13.03792253 | 12.59753484 |
| 12 | 12.3662961 | 12.51837798 | 12.11496876 | 12.27485515 | 12.5244726 | 13.43147693 | 12.00391613 |
| 13 | 12.55657948 | 12.21418303 | 12.03728273 | 12.75264409 | 12.1786026 | 12.52979701 | 12.58068995 |
| 14 | 12.61591906 | 12.61561697 | 12.51918177 | 12.80758985 | 12.841626 | 11.80429654 | 12.10871532 |
| 15 | 12.40911075 | 12.24571304 | 12.01543081 | 12.16381662 | 12.5665992 | 14.05544609 | 12.72237247 |
| 16 | 12.9607111 | 12.51781032 | 12.55958086 | 12.33977969 | 12.9833999 | 12.34403363 | 13.00345178 |
| 17 | 13.03307102 | 12.24724558 | 12.39735486 | 12.37555609 | 12.4092319 | 11.9113577 | 12.89285722 |
| 18 | 13.16993913 | 12.33257732 | 12.02078882 | 12.00504239 | 12.9198408 | 13.0785959 | 13.73209171 |
| 19 | 12.71173643 | 12.03070338 | 12.38732772 | 11.9969004 | 12.4699794 | 13.84405702 | 12.66505886 |
| 20 | 12.79037857 | 12.61916471 | 12.40036658 | 12.10803543 | 13.2260311 | 12.0024889 | 12.37973795 |
| 21 | 13.62015947 | 12.50803579 | 12.54868432 | 12.04841821 | 12.5047888 | 12.41931842 | 12.43155723 |
| 22 | 12.59561129 | 12.36704542 | 12.23244286 | 11.73608578 | 13.1419349 | 13.25091067 | 13.20405116 |
| 23 | 12.48992121 | 12.47283802 | 12.39058031 | 12.74354524 | 12.8841716 | 13.29878651 | 11.99553038 |
| 24 | 13.19166763 | 12.39389062 | 12.70993677 | 12.35417814 | 12.2906848 | 11.47042998 | 14.51286152 |
| 25 | 12.95585762 | 12.48905515 | 12.66114092 | 12.3550721 | 12.8535283 | 12.3886666 | 14.85478334 |
| 26 | 12.08082231 | 12.47896558 | 12.11847399 | 12.25247331 | 12.3777612 | 14.22599789 | 12.58745212 |
| 27 | 12.96799434 | 12.52442435 | 12.21290171 | 12.40015521 | 12.3601974 | 16.28785441 | 13.84688928 |
| 28 | 12.97417563 | 12.44031386 | 12.39641866 | 12.10768587 | 12.3743358 | 11.72735712 | 12.67777659 |
| 29 | 12.70924231 | 12.15025775 | 12.08023355 | 11.90003312 | 12.9232833 | 12.71885606 | 13.91853893 |
| 30 | 12.6622044 | 12.98102386 | 12.51750816 | 12.79716429 | 12.7040763 | 13.72609077 | 12.16437385 |
| 31 | 12.8600424 | 12.38551671 | 12.28580089 | 12.52618356 | 12.4777078 | 14.08485671 | 12.56316182 |
| 32 | 12.90079883 | 12.65003729 | 12.09199376 | 12.07311923 | 12.8012658 | 12.66874469 | 12.26230899 |
| 33 | 12.64923268 | 12.86440349 | 12.41709507 | 12.54417816 | 12.4748285 | 13.70740015 | 13.48096991 |
| 34 | 12.85718153 | 12.43274051 | 12.49639568 | 12.52637017 | 13.1187367 | 13.09798353 | 13.31837266 |
| 35 | 12.63193952 | 12.73633737 | 12.64983031 | 12.24236826 | 12.4859786 | 13.36864351 | 13.24542288 |
| 36 | 12.33773265 | 12.64434898 | 12.40914682 | 12.14744466 | 12.7673386 | 13.29049053 | 13.62311434 |
| 37 | 12.82509359 | 12.53865982 | 12.46465863 | 12.6430548 | 12.9918406 | 13.30714985 | 12.93098792 |
| 38 | 13.00788006 | 12.64915308 | 12.39950762 | 12.61465024 | 12.9656631 | 14.45653632 | 12.94812067 |
| 39 | 12.6147921 | 12.6258361 | 12.36939753 | 11.84562445 | 13.0282146 | 13.88890577 | 13.62869008 |
| 40 | 12.85370659 | 12.41992375 | 12.62574454 | 12.62367265 | 12.4468915 | 12.81618366 | 13.6762593 |
| 41 | 12.69011989 | 12.93427969 | 12.70806774 | 12.82160623 | 13.0390297 | 16.18159266 | 13.58470061 |
| 42 | 13.08706304 | 12.49093951 | 12.36915624 | 12.58489941 | 12.6855205 | 14.00522454 | 14.14283395 |
| 43 | 12.92828947 | 12.55014659 | 12.50717706 | 12.92246561 | 12.891496 | 12.70067092 | 13.20049197 |
| 44 | 12.7241639 | 13.01839439 | 12.37810145 | 12.36497482 | 12.2627411 | 14.15068132 | 13.9809132 |
| 45 | 12.84037061 | 12.33248114 | 12.83716092 | 12.24956223 | 12.4083211 | 14.07512258 | 13.47310014 |
| 46 | 12.66546066 | 12.50382766 | 12.45464597 | 11.99202666 | 12.6143995 | 11.34108234 | 13.86380261 |
| 47 | 13.02706734 | 12.61681902 | 12.43991349 | 12.57660745 | 13.0620971 | 14.93189338 | 14.1324973 |
| 48 | 12.74716751 | 12.95969779 | 12.05588208 | 12.06420409 | 12.5339504 | 12.96685649 | 12.66776608 |
| 49 | 12.70634405 | 12.66234931 | 12.36263999 | 12.34506819 | 13.7778721 | 13.47312048 | 13.78849214 |
| 50 | 13.08709102 | 12.50394378 | 12.51167982 | 12.56095167 | 12.5928343 | 14.48431307 | 13.90544564 |