

BURSA İLİ ORTA DÖNEM ELEKTRİK  
TALEP TAHMİNİ  
Ömer GÜLTEKİN  
Yüksek Lisans Tezi  
Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı  
Şubat – 2009

BURSA İLİ ORTA DÖNEM ELEKTRİK  
TALEP TAHMİNİ

Ömer GÜLTEKİN

Dumlupınar Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Lisansüstü Yönetmeliği Uyarınca  
Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalında  
YÜKSEK LİSANS TEZİ  
Olarak Hazırlanmıştır.

Danışman : Yrd. Doç. Dr. Bekir MUMYAKMAZ

Şubat – 2009

## KABUL ve ONAY SAYFASI

Ömer GÜLTEKİN'in YÜKSEK LİSANS tezi olarak hazırladığı BURSA İLİ ORTA DÖNEM ELEKTRİK TALEP TAHMİNİ başlıklı bu çalışma, jürimizce lisansüstü yönetmeliğin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek kabul edilmiştir.

13/02/2009

Üye : Yrd. Doç. Dr. Bekir MUMYAKMAZ

Üye : Yrd. Doç. Dr. Yılmaz ASLAN

Üye : Yrd. Doç. Dr. Ömer DEPERLİOĞLU

Fen Bilimleri Enstitüsün Yönetim Kurulu'nun ... /... /... gün ve ..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Prof. Dr. Atalay KÜÇÜKBURSA  
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

## BURSA İLİ ORTA DÖNEM ELEKTRİK TALEP TAHMİNİ

Ömer GÜLTEKİN

Elektrik-Elektronik Mühendisliği, Yüksek Lisans Tezi, 2009

Tez Danışmanı: Yrd. Doç. Dr. Bekir MUMYAKMAZ

### ÖZET

Nihai enerji tüketimindeki payı sürekli yükselen yegâne enerji kaynağı olan elektrik enerjisine yönelik talep, küresel ekonomik büyümeye paralel olarak, her geçen gün hızlı bir şekilde artmaya devam etmektedir. Oluşan talebin en düşük maliyetle ve en kaliteli biçimde karşılanması, arz ve çevre güvenliğinin sağlanması, günümüz çağdaş elektrik sistemleri tasarım ve kaynak planlamalarında temel hedefler haline gelmiştir.

Söz konusu hedeflere ulaşılmasında en önemli ön koşulun, elektrik enerjisi talep tahminlerinin doğru yapılabilmesi olduğu değerlendirilmektedir.

Bu çalışmada Bursa ili için orta dönem elektrik enerjisi talebi tahmini; 2002–2006 yılları aylık tüketim verileri kullanılarak lineer, eksponansiyel ve kuadratik eğriye yaklaşım metotları ile 2007 yılı için yapılmıştır. Sonuçlar incelendiğinde, geçmiş veriler için en iyi modellemenin kuadratik yaklaşımla elde edildiği görülmüştür. 2007 yılı için en iyi tahmin sonuçlarını ise lineer yaklaşım vermiştir. Ortalama yüzde hata oranları her üç yöntem için de %7'nin altında kalmıştır.

Yıllık toplam tüketim verileri için de aynı yöntemlerle regresyon analizi yapılmıştır. Ayrıca, giriş ve çıkış değerleri arasında lineer olmayan bağıntı kurarak esnek tahminde bulunma imkânına sahip yapay sinir ağı (YSA) zaman serisi yaklaşımı ile eğitilmiş ve 2007 yılı için % 3.36 sonucu elde edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Orta dönem elektrik talep tahmini, Eğriye yaklaşım, Yapay sinir ağları

## **MEDIUM TERM ELECTRICITY DEMAND FORECASTING OF BURSA**

Ömer GÜLTEKİN

Electrical and Electronics Engineering, M. Sc. Thesis, 2009

Thesis Supervisor: Asst. Prof. Dr. Bekir MUMYAKMAZ

### **SUMMARY**

In this study, medium term electricity demand forecasting of Bursa region is done with linear, quadratic and exponential curve fitting methods for the months of 2007 by using monthly electricity consumption data between 2002-2006 years. When we examine the results, we see that the best model for the past data is quadratic fitting. By the way, the best forecasting results are achieved with linear regression for the year of 2007. The mean absolute percent error rates are lower than 7 % for the all three methods.

The additional study is done about the artificial neural networks. Again, the yearly total electricity consumptions are analyzed with the above three methods. And the time series neural network approach, that provides flexible forecast by establishing nonlinear relationship between inputs and outputs, is used to predict the annual total electricity consumption of the years 2007 and 2008. The absolute percent error rate in the prediction is 3.36 % for the year of 2007 which is very promising.

**Keywords:** Medium term electricity load forecasting, curve fitting, artificial neural networks

## TEŞEKKÜR

Bu alıőmada bana yardımcı olan baőta danışman hocam Yrd. Doç. Dr. Bekir Mumyalmaz'a; desteğini hep yanımda hissettiğim Aytaç Gökhanoglu'na, çalışmada kullandığımız verileri sağlayan Bursa TEDAŞ ve TEİAŐ yetkililerine ve aileme teőekkürü bir borç bilirim.

## İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET .....	iv
SUMMARY .....	v
TEŞEKKÜR .....	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	ix
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	x
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ .....	xi
1. GİRİŞ.....	1
2.YÜK TAHMİN ANALİZİ.....	4
2.1 Güç Sistemlerinde Planlama.....	4
2.2 Elektrik Talebi ve Talebi Etkileyen Faktörler.....	5
2.3 Yük Tahmin Yöntemleri.....	8
2.4 Enerji Modellerinin Gelişimi.....	9
2.4.1 Enerji Modelleri .....	9
2.4.2 Enerji-Ekonomi Modelleri.....	9
2.4.3 Enerji-Ekonomi-Çevre Modelleri.....	9
2.5. Ekonometrik Yöntemler.....	10
3.TALEP TAHMİNİNDE KULLANILAN MODELLER.....	11
3.1 Basit Lineer Regresyon.....	11
3.2 Exponansiyel Fonksiyonla Regresyon.....	12
3.3 Polinom ile Regresyon.....	12
3.4 Yapay Sinir Ağları ile Tahmin.....	13
4.UYGULAMA VE DEĞERLENDİRMELER.....	17
4.1 Aylık Tahminlerin Karşılaştırılması.....	20
4.1.1 Ocak Ayı Tahminlerinin Karşılaştırılması.....	20
4.1.2 Şubat Ayı Tahminlerinin Karşılaştırılması.....	20
4.1.3 Nisan Ayı Tahminlerinin Karşılaştırılması.....	21
4.2 2007 Yılı Validasyon Çalışması Sonuçları .....	22
4.2.1 2007 Yılı Hata Analizi.....	24
4.3 Yıllık Toplam Yük Analizi.....	25
4.4 Yapay Sinir Ağı ile Elektrik Talep Tahmini.....	27

**İÇİNDEKİLER (DEVAM)**

	<b><u>Sayfa</u></b>
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	33
KAYNAKLAR DİZİNİ .....	35



## ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Şekil</u>		<u>Sayfa</u>
2.1	Elektrik Sistem Planlaması Aşamaları.....	5
2.2	Elektrik Enerjisi Talep Tahmininin Modeli.....	7
3.1	Zaman serisinin nonlinear otoregresyonu için yapay sinir ağı mimarisi.....	15
4.1	2002–2006 yılları için tüketim verileri – gerçekleşen değerler ve tahmin yöntemleri sonuçları (Ocak).....	20
4.2	2002–2007 yılları için tüketim verileri – gerçekleşen değerler ve tahmin yöntemleri sonuçları (Şubat).....	21
4.3	2002–2007 yılları için tüketim verileri – gerçekleşen değerler ve tahmin yöntemleri sonuçları (Nisan).....	22
4.4	2007 yılı için tüketim verileri – gerçekleşen değerler ve tahmin yöntemleri sonuçları.....	23
4.5	2002–2007 yılları Ocak ve Mayıs ayları için gerçekleşen tüketim verileri.....	24
4.6	Yıllık toplam tüketim verileri – gerçekleşen değerler ve tahmin yöntemleri sonuçları.....	26
4.7	Bursa 1998-2007 yılları arası yıllık elektrik enerjisi tüketim grafiği.....	27
4.8	YSA ağ oluşturma aşaması.....	29
4.9	Oluşturulan 3:2:1 mimarisindeki yapay sinir ağı.....	30
4.10	3:2:1 mimarisindeki YSA için elde edilen MSE eğrisi.....	30
4.11	3:3:1 mimarisindeki YSA için elde edilen MSE eğrisi.....	31
4.12	3:3:1 mimarisindeki YSA için elde edilen tahmin sonuçları.....	32

**ÇİZELGELER DİZİNİ**

<b><u>Çizelge</u></b>		<b><u>Sayfa</u></b>
4.1	Bursa ili 2002-2007 yılları aylık enerji tüketim verileri (MWh).....	17
4.2	Aylara ait yapılan lineer regresyon çalışması için istatistikî veriler.....	18
4.3	Aylara ait yapılan Kuadratik regresyon çalışması için istatistikî veriler.....	18
4.4	Aylara ait yapılan Eksponansiyel regresyon çalışması için istatistikî veriler.....	19
4.5	Bursa ili 2007 yılı için gerçekleşen tüketim değerleri ve tahmin sonuçları (MWh).....	23
4.6	2007 yılı aylarına ait yapılan regresyon çalışması için istatistikî veriler.....	24
4.7	Yıllık toplam tüketim verileri – gerçekleşen değerler ve tahmin yöntemleri sonuçları (MWh).....	26
4.8	Yıllık toplam tüketim verilerinden elde edilen YSA eğitim datası (MWh).....	29
4.9	3:3:1 mimarisine sahip YSA eğitim ve test aşaması sonuçları (MWh).....	31

**SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ**

<b><u>Simgeler</u></b>	<b><u>Açıklama</u></b>
x	Yıl
y	Enerji talebi
$\beta_0$ ve $\beta_1$	Regresyon katsayıları
$R^2$	Determinasyon katsayısı
x(t)	Vektör Dizisi

<b><u>Kısaltmalar</u></b>	<b><u>Açıklama</u></b>
MW	Mega Watt
MWh	Mega Watt Saat
GSYİH	Gayri Safi Yurtiçi Hasıla
YSA	Yapay Sinir Ağları
CO <sub>2</sub>	Karbondioksit
NO <sub>2</sub>	Azot dioksit
SO <sub>2</sub>	Sülfat
MLP	Çok katmanlı mimari
MSE	Hataların Karesinin Ortalaması

## 1.GİRİŞ

Herhangi bir endüstri alanında yapılan gerçekçi bir tahmin, iyi bir planlama için anahtar rol oynar. Elektrik güç sistemi işletmesi endüstrisinde de; gelecekteki elektrik talebini sorunsuz karşılayabilmek için, sistem kaynaklarını planlamada talep tahminlerinin doğruluğu, büyük önem taşır.

Bir elektrik güç sisteminde elektrik talep tahmini elektrik yükü (MW) ve ya elektrik enerji (MWh) talebi şeklinde yapılabilir. Elektrik yükü tahmini bir işletmenin döner rezerv ve yakıt ihtiyacının belirlenmesinde etkin olurken, elektrik enerji talebi tahmini ise üretim ve iletim sistemi genişletme planlaması ve mali planlamada yardımcı olur.

Çalışma zaman aralığına bağlı olarak talep tahmini kısa, orta ve uzun vadeli olmak üzere üç şekilde incelenebilir.

Kısa vadeli tahminler birkaç saatten birkaç haftaya kadar zaman dilimini içine alan tahminler olup, işletmenin yapacağı ekonomik yük paylaşımı, hidro-termal koordinasyonu ve yük idaresi gibi günlük operasyonlarını belirlemede önemli rol oynar; saatlik yük tahmini olarak ta anılır.

Orta dönem tahminler birkaç haftadan birkaç aya, hatta birkaç yıla kadar yapılan çalışmaları içine alır. Yakıt temini planlaması, ünitelerin bakım zamanlarının belirlenmesi gibi konularda etkilidir. Genellikle aylık yük ve enerji talebi tahminlerini içerir.

Uzun vadeli tahminlerin beş ila yirmi beş yıl için geçerli ve sağlıklı öngörü sağlaması istenir. Dolayısı ile üretim ve iletim sistemlerinin genişletilmesine ait planlarda ihtiyaç duyulur. Uzun dönem tahminler, yaygın olarak yıllık puant yük ve enerji talebi tahmini olarak bilinir[1].

Elektrik endüstrisi; 1882’de ilk elektrik santralının (Pearl Street Elektrik Santrali) New York’ta üretime başlamasıyla çok hızlı bir şekilde büyümüş yeni santraller, iletim ve dağıtım ağlarıyla tüm dünyaya yayılmıştır.

Dünyadaki elektrik tüketim miktarı, ekonomik büyüme, nüfus artışı ve sosyal yaşamdaki değişim hızına bağlı olarak hızla artmaktadır.

Günümüzde, “enerji” denildiğinde akla ilk olarak elektrik enerjisi gelmesine karşın, halen özellikle ısınma ve ulaştırma sektörlerindeki sınırlı kullanımı nedeniyle, elektriğin nihai enerji tüketimindeki payı tahmin edildiğinden daha düşüktür. Bununla birlikte, elektrik enerjisinin dünya nihai enerji tüketimindeki payı 1971’de % 9,0 iken, 2002’de % 16,1’e ulaşmış

olup, bu oranın artmaya devam ederek 2030 yılında % 20,2'ye ulaşması beklenmektedir. Elektrik enerjisi; bu özelliğiyle, nihai tüketimdeki payı sürekli olarak artan yegâne enerji çeşididir.

Elektrik enerjisi talebinin olması gerekenden düşük tahmin edilmesi ve buna bağlı olarak yanlış kurgulanmış sistem tasarımı ve planlamasına sahip olunması halinde; zorunlu elektrik kesintileri ve zorlama elektrik tasarrufları gibi pek çok sıkıntının ortaya çıkması, hatta ekonomik büyüme ve bireysel refah artışının sekteye uğraması gündeme gelecektir.

Talebin olması gerekenin çok üzerinde tahmin edilmesi ve özellikle orta-uzun vadeli yatırım kararlarının, bu şekilde belirlenen iyimser öngörüler üzerine alelacele bir biçimde tesis edilecektir. Bu durumda ise; ciddi miktarda arz kapasitesinin atıl hale gelmesi, yatırım ödeneklerinin ihtiyaç duyulan diğer alanlara tahsis edilememesi nedeniyle kaynak dağılımının rasyonel yapılamaması ve kaynak israfı kaçınılmaz olacaktır.

Elektrik Yük tahmini için bugün birçok yöntem kullanılmaktadır. En çok kullanılan yöntemlerin başında istatistiksel yöntem olan regresyon analizi gelmektedir.

Elektrik enerjisi talebi tahmini ile ilgili olarak günümüzde mevcut pek çok çalışma bulunmaktadır. Ülkemizde; değişik illere ait elektrik enerji talebi tahmini çalışmaları, genellikle zaman serileri analizi; lineer ve nonlineer regresyon analizi kullanılarak yapılmıştır [2, 3, 4].

Nalbant, Aslan, Yaşar çalışmalarında Kütahya ili için elektrik puant yük tahmini En küçük kareler yöntemi ve yapay sinir ağları ile yapmışlardır. Genel olarak en uygun yaklaşımın doğrusal yaklaşım olduğunu elde ettikleri sonuçlar çerçevesinde görmüşlerdir. Ayrıca Yapay sinir ağları ile tahminde ise en güzel sonucu nüfus değişkenlerinin ağ girişi olarak kullanılmasıyla elde edilen sonuçlar vermiştir [2].

Herdem, Yalçınöz ve Eminoğlu çalışmalarında, Niğde ili elektrik yük tahminini hareketli ortalamaların yanında yapay sinir ağları kullanarak yapmışlardır. Tahmin yöntemleri Theil deneyi ile standart sapma sonuçları kullanarak karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak Niğde ili için yapay sinir ağları yönteminin daha uygun olduğu tespit edilmiştir [3].

Hengirmen çalışmasında, Gaziantep ili için beş yıllık elektrik enerjisi tüketimi tahmini basit doğrusal regresyon, üstel regresyon ve hareketli ortalamalar yöntemi kullanarak gerçekleştirmiştir. Uygulanan tahmin yöntemleri karşılaştırılmış ve en iyisi araştırılmıştır. Sonuç olarak Gaziantep ili için en iyi yöntemin hareketli ortalamalar yöntemi olduğunu belirtmiştir [4].

Bu çalışmada, Bursa'nın 2002–2006 yıllarına ait aylık enerji tüketim verilerinden faydalanılarak 2007 yılı için aylık tüketim miktarları, yıllık toplam tüketim miktarları; basit lineer, eksponansiyel ve polinomsal regresyon metotları ile tahmin edilmiş ve gerçekleşen değerlerle karşılaştırılarak tahmin modellerinin performansları değerlendirilmiştir.

Birinci aşamada, yük tahmin analizi yapılarak; güç sistemlerinde planlanma, elektrik talebi ve talebi etkileyen faktörler ve yük tahmin yöntemleri hakkında ayrıntılı bilgiler verilmiştir.

İkinci aşamada, talep tahmininde kullanılan modeller incelenmiştir. Basit lineer regresyon, exponansiyel fonksiyonla regresyon ve polinom ile regresyon yöntemleri açıklanmıştır.

Üçüncü aşamada, Bursa iline ait elektrik yük tahmini amacıyla kullanılan modellerin uygulama sonuçları ve sonuçlara ait çizilen grafikler değerlendirilmiştir.

Dördüncü aşamada ise en uygun yöntem; yapılan analizler sonucunda tespit edilmiş; bu doğrultuda geleceğe yönelik çeşitli önerilerde bulunulmuştur.

## 2. YÜK TAHMİN ANALİZİ

Günümüzde elektrik enerjisinin ekonomik, verimli, emniyetli ve sıhhatli olarak kullanılması büyük önem kazanmıştır.

Sistem tasarlanmasındaki ilk adım geleceğe yönelik olarak sistemin ihtiyaçlarının belirlenmesidir. Bu da yapılacak yük tahmini analizinin doğruluğuna ve güvenilirliğine bağlıdır.

### 2.1 Güç Sistemlerinde Planlama

Enerji kullanım oranlarının sürekli bir yükseliş içinde olması; enerji kaynaklarının önemli bir bölümünün tükenme sürecine girmesi, enerji fiyatları konjonktürel gelişmelere bağlı olarak büyük dalgalanmalar göstermektedir. Bu nedenle enerjiye bağımlılığı yüksek ülkelerin dış kaynaklı ekonomik şoklara daha açık olması, enerji üretiminden ve kullanımından kaynaklanan çevre sorunlarının insan sağlığını ve günlük yaşamı tehdit eder noktaya gelmesi ve sürdürülebilir kalkınma arayışları, enerjinin etkin ve verimli kullanımının ve enerji planlamasının önemini giderek daha çok artırmaktadır.

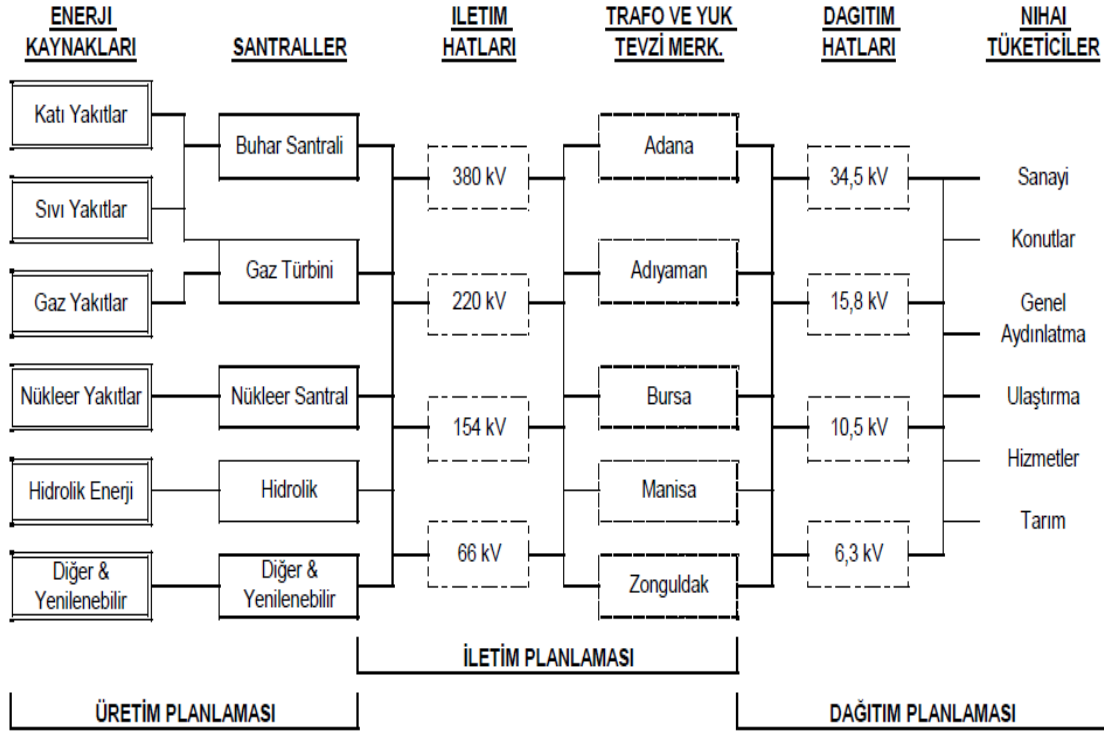
Özellikle de, 1973-74 yıllarında petrol fiyatlarının 5 katına çıkmasıyla başlayan ve 1978-79 yıllarında tekrarlanan petrol krizlerinin ve fosil yakıtların yakın bir gelecekte tükeneceği beklentisinin yaygınlaşmasının etkisiyle, tüm dünyada enerji kaynaklarının ucuz ve sınırsız olduğu varsayımına dayanan politikalar terk edilmeye ve enerji planlamasına verilen önem artmaya başlamıştır. Bu kapsamda, yeni rezervlerin araştırılması, dışa bağımlılığın azaltılması, kaynak çeşitliliğinin artırılması, en ekonomik seçeneklerin ortaya konulması, enerjinin verimli kullanılması, enerji verimliliğini artırıcı yeni teknolojilerin geliştirilmesi ve arz-talep dengelerinin en optimum bir biçimde kısa, orta ve uzun vadeli olarak kurulmasına yönelik çalışmalar hız kazanmıştır.

Planlama, inşa ve entegrasyon süreleri oldukça uzun olan elektrik enerjisi projeleri, aynı zamanda yüksek finansman ihtiyacı gerektiren projelerdir. Bu bağlamda, elektrik enerjisi üretimi, iletimi ve dağıtımı için gereken kaynak, tesis ve sistemlerin geniş bir perspektif içerisinde ele alınması, elektrik sektörü için kritik öneme sahiptir.

Elektrik enerjisinin depolanamaması ve üretiminin yüksek maliyetler gerektirmesi nedeniyle, talebin her an kaliteli bir biçimde karşılanabildiği bir sistem kurgusunun tesis edilmesi büyük önem taşımaktadır. Bu bağlamda, talep tahminleri ve üretim planlama çalışmaları, elektrik sistem planlamasının en önemli ayaklarını oluşturmaktadır.

Elektrik sistemi, elektrik üretiminde kullanılan yakıtların temininden başlayarak,

elektriğin üretiminden tüketiciye ulaştırılmasına kadar bir dizi teknik ve ekonomik faaliyeti gerekli kılmaktadır. Bu çerçevede, elektrik sistem planlamasında; üretim, iletim, dağıtım ve tüketim aşamaları için, kısa, orta ve uzun vadeli çalışmalar ayrıntılı olarak Şekil 2.1 de gösterilmiştir.



Şekil 2.1 Elektrik Sistem Planlaması Aşamaları [5].

## 2.2 Elektrik Talebi ve Talebi Etkileyen Faktörler

Elektrik tüketimi, bölgesel, mevsimsel ve anlık dalgalanmalar göstermektedir. Yıl içinde, en düşük tüketimle en yüksek tüketim miktarları arasında veya aynı gün içinde en düşük yükü en yüksek yük arasında %200'e varan farklar oluşabilmektedir.

Elektrik talebinin aşırı değişkenlik özelliği ve elektriğin depolanamayan bir enerji kaynağı olması nedeniyle, elektrik arzının sürekli ve kesintisiz bir şekilde yapılması ve talebin anlık olarak karşılanabilmesi gerekmektedir.

Bunun gerçekleştirilememesi halinde ise, Türkiye'de 1971–1983 yıllarında görüldüğü gibi, zorunlu tasarruf ve kesinti uygulamalarına gidilmesi gündeme gelecektir.

Elektrik talebine etki eden faktörler ekonomik büyüme hızı ile sınırlı bulunmamaktadır. Talebi etkilediği saptanan faktörler, etki derecelerine bağlı olarak elektrik talep tahmin modellerinde 'girdi' olarak kullanılmaktadır.



Bunlardan başlıcalarını aşağıdaki gibi özetlemek mümkündür:

- GSYİH,
- Sektörel katma değerler,
- Kişi başına düşen milli gelir,
- Nüfus ve demografik değişiklikler,
- Hane halkı sayısı ve ortalama hane halkı büyüklüğü,
- Çok odalı konut yüzdesi ve konut sahipliği artış oranı,
- Şehirleşme oranı,
- Şehir ve köy gelirleri,
- Elektrikli hane ve köy oranı,
- Elektrikten yararlanan nüfus oranı,
- İstihdam verileri,
- Teknolojik gelişmeler ve elektrikli iş aletleri kullanımının yaygınlaşma oranları,
- Kişi başına düşen elektrikli alet sayısındaki değişimler,
- Elektrikli aletler ve ilgili ikamelerinin fiyatları,
- Elektrik fiyatı,
- Alternatif enerji kaynaklarının fiyatları,
- Mevsimsel değişiklikler ve iklim koşulları,
- Ülkelerin coğrafi özellikleri,
- Zaman.

Bu değerlendirmeler çerçevesinde, net elektrik talebinin sektörel bazda tahmin edilmesinde en büyük ağırlığa sahip iki faktörün, sektörel katma değerler ile geçmiş elektrik tüketim verileri olduğu görülmektedir.

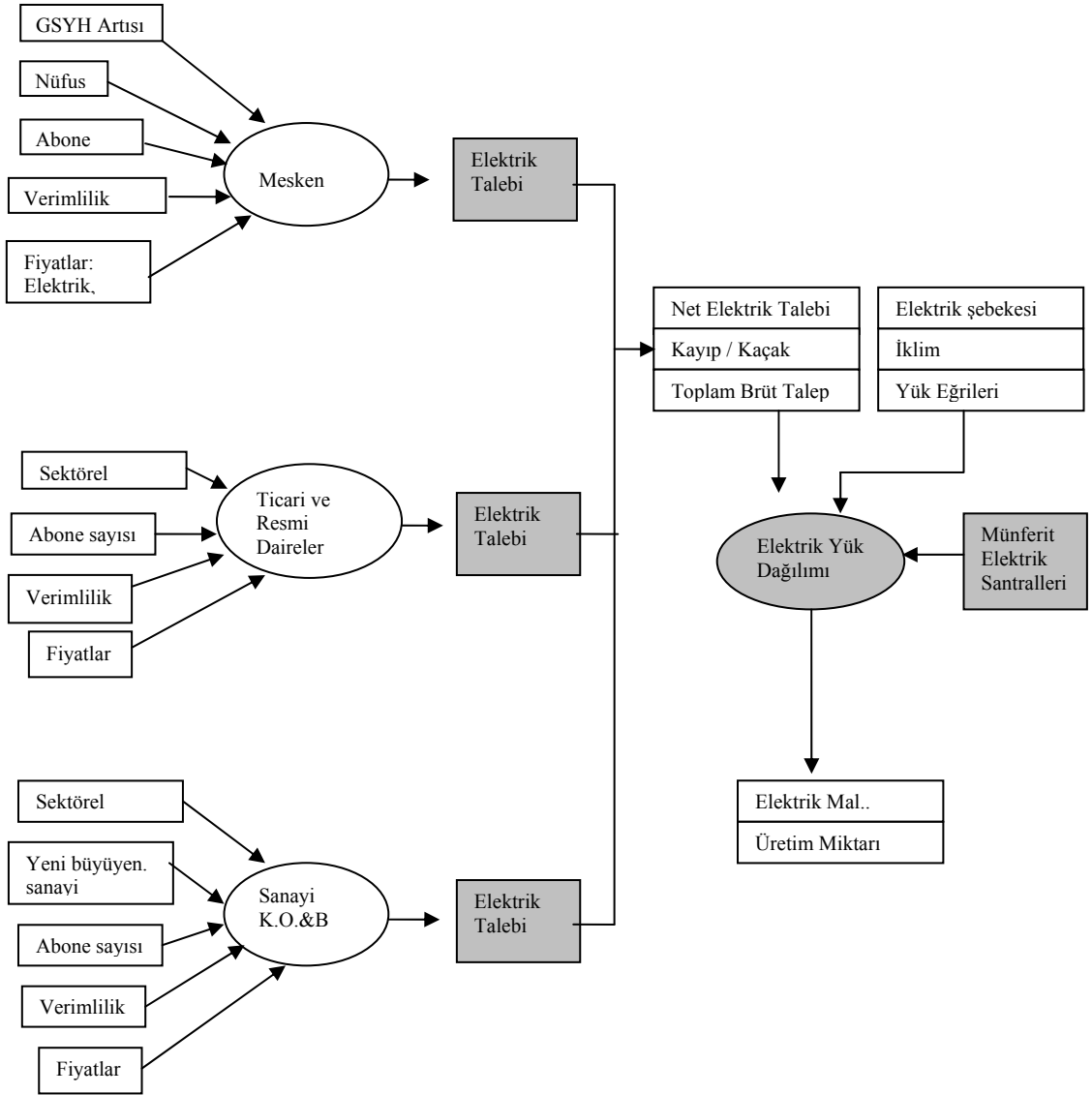
Tüm dünyada elektrik talebinin sektörel dağılımına bakıldığında, tüketimdeki en büyük payın sanayi sektörüne ait olduğu görülmektedir. Dolayısıyla, sanayi sektörünün katma değeri ve alt sektörlerinin paylarındaki değişimler, elektrik talebini etkileyen en önemli parametreler olarak öne çıkmaktadır.

Benzer bir şekilde, nüfus ve diğer demografik göstergeler ile bireysel refah düzeyindeki

artışlar da, öncelikle, en büyük kullanıcı sayısına sahip konut sektörü talebini etkilemektedir.

Bunların yanı sıra, hizmet, ulaştırma ve tarım gibi sektörlerin de dikkate alınması yoluyla toplam elektrik talebi hesaplanmakta ve bu yolla elde edilen tahminler, üretim kapasite projeksiyonlarında temel 'girdi' olarak kullanılmaktadır.

Özetle, gelişmiş elektrik talep tahmin modellerinde, yukarıda belirtilen faktörler dikkate alınarak, sektörel bazda net elektrik talepleri tahmin edilerek, bunların toplamına kayıp ve kaçak öngörülmesi eklenmek suretiyle brüt talep hesaplanmaktadır. Yukarıda kısaca özetlenen sektörel elektrik talep tahmin modeline ilişkin prosedür, aşağıdaki Şekil 2.2 de yer alan örnek şemada açık bir biçimde gösterilmektedir.



Şekil 2.2 Elektrik Enerjisi Talep Tahmininin Modeli [5].

### 2.3 Yük Tahmin Yöntemleri

Herhangi bir endüstri alanında; yapılan gerçekçi bir tahmin, iyi bir planlama için anahtar rol oynar. Elektrik güç sistemi işletmesi endüstrisinde de; gelecekteki elektrik talebini sorunsuz karşılayabilmek için, sistem kaynaklarını planlamada talep tahminlerinin doğruluğu, büyük önem taşır.

Bir elektrik güç sisteminde elektrik talep tahmini; elektrik yükü (MW) veya elektrik enerji (MWh) talebi şeklinde yapılabilir. Elektrik yükü tahmini bir işletmenin döner rezerv ve yakıt ihtiyacının belirlenmesinde etkin olurken, elektrik enerji talebi tahmini ise üretim ve iletim sistemi genişletme planlaması ve mali planlamada yardımcı olur.

Çalışma zaman aralığına bağlı olarak talep tahmini, kısa, orta ve uzun vadeli olmak üzere üç şekilde incelenebilir.

Kısa vadeli tahminler birkaç saatten birkaç haftaya kadar zaman dilimini içine alan tahminler olup; işletmenin yapacağı ekonomik yük paylaşımı; hidro-termal koordinasyonu ve yük idaresi gibi günlük operasyonlarını belirlemede önemli rol oynar, saatlik yük tahmini olarak ta anılır.

Orta dönem tahminler birkaç haftadan birkaç aya, hatta birkaç yıla kadar yapılan çalışmaları içine alır. Yakıt temini planlaması; ünitelerin bakım zamanlarının belirlenmesi gibi konularda etkilidir. Genellikle aylık yük ve enerji talebi tahminlerini içerir.

Uzun vadeli tahminlerin beş ila yirmi beş yıl için geçerli ve sağlıklı öngörü sağlaması istenir. Dolayısı ile üretim ve iletim sistemlerinin genişletilmesine ait planlarda ihtiyaç duyulur. Uzun dönem tahminler, yaygın olarak yıllık puant yük ve enerji talebi tahmini olarak bilinir[1].

Elektrik enerjisi talebi tahmini ile ilgili olarak günümüzde mevcut pek çok çalışma bulunmaktadır. Ülkemizde; değişik illere ait elektrik enerji talebi tahmini çalışmaları, genellikle zaman serileri analizi; lineer ve nonlineer regresyon analizi kullanılarak yapılmıştır[2,3,4]. Bu çalışmada ise, Bursa'nın 2002–2006 yıllarına ait aylık enerji tüketim verilerinden faydalanılarak 2007 yılı için aylık tüketim miktarı, basit lineer; eksponansiyel ve polinomsal regresyon metotları ile tahmin edilmiş ve gerçekleşen değerlerle karşılaştırılarak tahmin modellerinin performansları değerlendirilmiştir.

Diğer yandan nonlineer regresyon imkânı sağlayan yapay sinir ağları; zaman serileri yaklaşımı ile 1998-2007 yıllarına ait yıllık verilerle eğitilmiş ve yıllık yük tahmininde kullanılmıştır.

## 2.4 Enerji Modellerinin Gelişimi

Enerji kullanımının yaygınlaşması neticesinde, önceki bölümlerde değinilen teknik ve iktisadi zorunluluklar, enerji sistemlerinin matematiksel olarak modellenmesini gerekli hale getirmiştir. Bu çerçevede geliştirilen enerji modelleri, ilk aşamada salt teknik özellikler taşımakta iken, genel ekonomiyle enerjinin karşılıklı ilişkisinin irdelenmesi önem kazanmaya başlayınca, kapsamı genişletilmek yoluyla enerji-ekonomi modellerine dönüştürülmüştür.

Daha sonra, enerji üretimi ve kullanımının çevresel etkilerinin temel tartışma konusu haline gelmesi ile birlikte, söz konusu modellere ‘çevre’ unsuru da eklenmek suretiyle “enerji-çevre-ekonomi modelleri” geliştirilmiştir.

### 2.4.1 Enerji Modelleri

Enerji sektörünü ekonomiden bağımsız bir şekilde tek başına ve ayrıntılı bir şekilde ele alan enerji modelleri; teknoloji seçiminin yapılması, yatırım planlamasının gerçekleştirilmesi ve talep tahmin öngörülerinin üretilmesi gibi işlevlerin yanı sıra, enerji sektörüne özgü bazı değişkenlere yönelik analizlerin yapılmasına da olanak sağlamaktadır.

### 2.4.2 Enerji-Ekonomi Modelleri

Petrol krizleri sonrasında ülke ekonomilerinin enerji fiyatlarına ve arz-talep dengesine duyarlılıklarının anlaşılması, enerji-ekonomi etkileşiminin çalışılmasına yol açmış ve neticede, salt enerji sektörünü ele alan enerji modelleri geliştirilerek, enerji-ekonomi karşılıklı ilişkisini gözeten enerji-ekonomi modelleri tasarlanmıştır. Söz konusu modellerde, enerji-ekonomi etkileşimi önceleri enerji yoğunluğu ve enerji yatırımlarının ekonomik etkileri gibi kısıtlı göstergelerle ele alınmışsa da, daha sonra modelleme teknikleri ve çözüm algoritmalarının gelişimine de paralel olarak, çok daha bütünsel enerji-ekonomi modelleri ortaya çıkmıştır.

Enerji-ekonomi karşılıklı etkileşimlerini inceleyen enerji-ekonomi modellerinde, ekonominin daha geniş kapsamda ele alınmasının bedeli, enerji sektörünün ayrıntılı irdelenmesinden vazgeçilmesidir. Enerji sektörünü tüm detaylarıyla inceleyen enerji-ekonomi modelleri ise, salt enerji sektörünün var olduğu tek sektörlü bir ekonomik yapının olduğu varsayımına dayanırlar.

### 2.4.3 Enerji-Ekonomi-Çevre Modelleri

1980’li yıllardan itibaren hızla gelişmeye başlayan çevre bilincinin etkisiyle, enerji-ekonomi modellerine çevreyle ilgili kısıtların eklenmesi ihtiyaç haline gelmiş ve böylece enerji-ekonomi-çevre entegre modelleri geliştirilmiştir. Bahse konu modeller, CO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> gibi gazların emisyonları ile enerji üretimi ve kullanımının çevre açısından diğer dışsal etki ve

maliyetlerini geribildirim yoluyla ele alarak, belirlenen çevre politikaları kapsamında mevcut durumun ve geleceğin analizinin yapılmasına olanak sağlamaktadır.

Elektrik talep tahmin projeksiyonlarının yapılması ve üretim planlamasının saptanması amacıyla kullanılan modeller, genellikle yukarıda sayılan enerji modellerinin alt modülleri olarak geliştirilmişlerdir. Bu bakımdan, elektrik talep tahmin modellerinin gelişimini de yukarıdaki sınıflandırma dâhilinde değerlendirmek mümkündür.

## **2.5 Ekonometrik Yöntemler**

Genel iktisat teorisinin matematiksel olarak formüle edilmesi ve istatistikî yöntemlerle test edilmesi işlemlerini ele alan ekonometri bilim dalının sunduğu araçlar, elektrik talebini etkileyen parametrelerin etkisini analiz ederek uygun bir elektrik talep modelinin geliştirilmesinde de kullanılabilirler. Nitekim birçok araştırmacı, elektrik talebini ekonometrik yöntemlerle modelleme yoluna gitmiş ve bu çalışmalarda genellikle zaman serileri yaklaşımı kullanılmıştır.

Birbiriyle bağlantılı değişkenlerden birinin zamanı göstermesi durumunda, elde edilecek veri kombinasyonları zaman serisi olarak adlandırılmaktadır. Zaman serisi analizleri ile serideki özellikli sayısal ilişkiler belirlenmekte ve bu hareketi ortaya çıkaran faktörler ortaya konulabilmektedir.

### 3. TALEP TAHMİNİNDE KULLANILAN MODELLER

Tahmin yöntemleri, genellikle matematiksel ve istatistiksel yöntemlere dayanır. Eğilim (trend) analizi, bir zaman serisinin uzun dönemdeki ana eğilimi olarak tanımlanan eğilimin bir doğru veya bir eğri ile ifade edilmesidir. Eğilim analizinde bir değişkenin geçmişte almış olduğu değerler ile gelecekte alacağı değerler tahmin edilmektedir.

Regresyon analizinde ilk amaç, matematiksel modele ait regresyon sabitlerinin tahmin edilmesidir. Bu sabitler belirlendiğinde; verilen bir girdiye karşılık gelen çıktı, kolayca tahmin edilebilir. İstatistikte doğru (lineer yaklaşım) ile temsil edilen bir matematiksel modele ait regresyon sabitlerini belirlemede “En küçük kareler yöntemi” kullanılır. Metodun amacı; lineer modelin üreteceği tahmini değeri, tüm girdiler için gerçek çıktı değerine mümkün olduğunca yaklaştırmaktır. Bu amaç gerçek değerler ile tahmini değerler arasındaki hataların karelerinin toplamını minimize ederek gerçekleştirilebilir.

Elektrik enerji talebi; tabiatı itibariyle genellikle periyodik olup sezonsal değişimler göstermektedir. Talep değişimi incelendiğinde; yıllar içerisinde sezonsal olarak benzer değişimler gösterdiği, ancak her geçen yıl biraz daha fazla tüketim olduğu gözlemlenebilir.

Bu durumda tahmin işi; bir örüntü tanıma problemi eşliğinde, artan talebi tahmin etme sorununa dönüşür. Dolayısı ile geçmişteki tüketim verileri; gelecekteki miktarları belirlemede kullanılabilir. Geçmişteki veriler regresyon analizine tabi tutularak, talepteki gelişmeyi en yakın şekilde temsil edecek bir model oluşturulabilir.

Geçmişteki elektrik enerji talebini etkileyen bir veya daha fazla sayıda parametre dikkate alınmak suretiyle bir veya çok değişkenli lineer regresyon modeli geliştirilebilir. Bu çalışmada sadece geçmiş tüketim verilerini dikkate alan tek değişkenli lineer regresyon analizi modelleri ele alınacaktır.

#### 3.1 Basit Lineer Regresyon

Regresyon analizinde ilk aşama gözle inceleme aşamasıdır. Bu aşamada zamana karşı tüketim verileri grafiği incelenerek sezgisel olarak trend (eğilim) gözlemlenir. Gözlem sonucu kullanılacak modele karar verilebilir. Eğer verilerin dağılımı lineer bir ilişki ile temsil edilebilir ise lineer yaklaşım kullanılır. Eğer dağılım eğrisel özellik gösteriyor ise bu durumda eksponansiyel veya polinomsal yaklaşım kullanılabilir.

Veri dağılımının lineer ilişki ile temsil edilebileceğini düşünelim. Bu lineer ilişki çoğu zaman bir rastgele bileşen içerir; yani bağımsız değişkenin ( $x$ : yıl) her bir değeri için, bağımlı değişkenin ( $y$ : enerji talebi) alabileceği olası değerler dağılımı vardır. İki değişken arasındaki

ilişki aşağıdaki eşitlikle verilebilir:

$$y = \beta_0 + \beta_1 x + \varepsilon \quad (3.1)$$

Regresyon analizinin ilk amacı eşitlikteki  $\beta_0$  ve  $\beta_1$  regresyon katsayılarının belirlenmesidir. Bu katsayılar belirlendikten sonra regresyon doğrusu aşağıdaki denklemle tahmin edilebilir:

$$y' = b_0 + b_1 x \quad (3.2)$$

Burada  $b_0$  ve  $b_1$  katsayıları sırasıyla  $\beta_0$  ve  $\beta_1$  için tahmin değerleridir. Verilen bir  $x$  değeri için  $y$ 'nin ortalama değeri (2) numaralı formülle hesaplanabilir ve  $y$ 'nin tahmini değeri adını alır. Regresyon sabitlerini tahmin etmenin standart yolu “En küçük kareler metodu” kullanmaktır.

Yöntemde amaç; gerçek değerler ile tahmin edilenler arasındaki hatayı minimize edecek tahmin doğrusunu elde etmektir. Metot; hataların karesi toplamını minimize ederek en uygun doğruyu belirler. Bu durumda (2) numaralı denklemdeki katsayılar:

$$b_1 = (\sum xy - \sum x \sum y / n) / (\sum x^2 - [\sum x]^2 / n) \quad (3.3)$$

$$b_0 = \sum y / n - b_1 \sum x / n \quad (3.4)$$

şeklinde hesaplanabilir [6].

Değişkenler arası lineer ilişki bulunmadığı durumlarda; en küçük kareler metodunun uygulanabilmesi için lineer dönüşümlerden yararlanılarak lineer denklem elde edilir. Uygulamada kullanılacak dönüşüm fonksiyonlarına örnek olarak eksponansiyel fonksiyon gösterilebilir.

### 3.2. Exponansiyel Fonksiyonla Regresyon

Regresyon analizi yapılacak değişkenler arasındaki ilişkinin aşağıdaki gibi eksponansiyel bir fonksiyonla ifade edildiğini düşünelim:

$$y = \alpha \beta^x e^\varepsilon \quad (3.5)$$

$y$ 'nin logaritmasını yeni bir değişkene ( $z$ ) eşitleyerek;

$$z = \ln \alpha + x \ln \beta + \varepsilon \quad (3.6)$$

Lineer denklemi elde edilir. (1) numaralı denklemdeki katsayılar  $\beta_0 = \ln \alpha$  ve  $\beta_1 = \ln \beta$

olarak yeniden tariflenirse:

$$z = \beta_0 + \beta_1 x + \varepsilon \quad (3.7)$$

yazılabilir. Bu aşamadan sonra problem önceki kısım 2.1 işlemleri gerçekleştirilerek çözülür. Sonuçta z değişkeni aracılığıyla  $y=ez$  dönüşümü sağlanarak üstel fonksiyonla tahmin yapılabilir.

Bu uygulama; veri dağılımını temsil eden tahmini fonksiyonun sürekli artan veya sürekli azalan olması durumu için, uygulanabilir. Eğer veri en azından bir adet göreceli minimum veya göreceli maksimum değer içeriyorsa; yukarıdaki işlemlerle yapılan dönüşüm lineerleştirmeyi gerçekleştiremeyeceği için, lineer regresyon analizi yapılamaz. Bu durumda polinomsal regresyon kullanılabilir.

### 3.3. Polinom ile Regresyon

Polinom ile regresyonda; n adet veri için (n-1). Dereceden polinomla yaklaşımda bulunmak her zaman mümkündür. Ancak, veriyi uygun şekilde temsil edecek mümkün olan en küçük mertebeden polinom tercih edilir. Çoğu uygulama için 2. dereceden (kuadratik) veya 3. dereceden (kübik) polinom yeterlidir. Bu çalışmada kuadratik yaklaşım tercih edilmiş olup değişkenler arası ilişki aşağıdaki gibidir:

$$y = \beta_0 + \beta_1 x + \beta_2 x^2 + \varepsilon \quad (3.8)$$

En küçük kareler metodu ile  $\beta_i$  katsayıları belirlendikten sonra tahmini regresyon formülü:

$$y' = b_0 + b_1 x + b_2 x^2 \quad (3.9)$$

olacaktır. (9) numaralı denklemin katsayıları aşağıdaki matris denkleminde elde edilebilir.

$$\begin{bmatrix} n & \sum_{i=1}^n x_i & \sum_{i=1}^n x_i^2 \\ \sum_{i=1}^n x_i & \sum_{i=1}^n x_i^2 & \sum_{i=1}^n x_i^3 \\ \sum_{i=1}^n x_i^2 & \sum_{i=1}^n x_i^3 & \sum_{i=1}^n x_i^4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} b_0 \\ b_1 \\ b_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sum_{i=1}^n y'_i \\ \sum_{i=1}^n x_i y'_i \\ \sum_{i=1}^n x_i^2 y'_i \end{bmatrix} \quad (3.10)$$

### 3.4. Yapay Sinir Ağları ile Tahmin

Yapay sinir ağları (YSA), biyolojik sinir sistemlerinin çalışma şeklini taklit eden matematiksel modellerdir. Sistem; sinir hücreleri (nöron) içerir ve bu nöronlar çeşitli şekillerde birbirlerine bağlanarak ağı oluştururlar. Bu ağların en önemli özelliği öğrenme, hafızaya alma



ve veriler arasındaki ilişkiyi ortaya çıkarma kapasitelerinin olmasıdır. YSA'lar; bir insanın düşünme ve gözlemlemeye yönelik doğal yeteneklerini simüle ederek, problemlere çözüm üretmektedir [7].

Biyolojik sistemlerde öğrenme, nöronlar arasındaki sinaps bağlantılarının ayarlanması ile olur. İnsanlar doğumdan itibaren yaşayarak öğrenme süreci içerisine girer ve bu süreç içinde beyin sürekli bir gelişme gösterir. Tecrübeler arttıkça sinaptik bağlantılar ayarlanır ve yeni bağlantılar oluşur. Bu sayede öğrenme gerçekleşir. Bu durum YSA için de geçerlidir. Öğrenme, giriş ve çıkış verilerinin işlenmesiyle, yani eğitime algoritmasının bu verileri kullanarak bağlantı ağırlıklarını bir yakınsama sağlanana kadar, tekrar tekrar ayarlamasıyla olur.

YSA'lar, ağırlıklandırılmış şekilde birbirlerine bağlanmış birçok nöronlardan oluşan sistemlerdir. Bir işlem birimi olarak nöron, aslında matematiksel olarak transfer fonksiyonu ile gerçekleştirilir. Bu işlem birimi, diğer nöronlardan sinyalleri alır; bunları birleştirir, dönüştürür ve sayısal bir sonuç ortaya çıkartır.

YSA hesaplamalarının merkezinde dağıtılmış, adaptif ve doğrusal olmayan işlem kavramları vardır. Geleneksel işlemcilerde, tek bir merkezi işlem birimi her hareketi sırasıyla gerçekleştirir. YSA'lar da ise her biri büyük bir problemin bir parçası ile ilgilenen, çok sayıda basit işlem birimleri bulunmaktadır. Bir nöron, girdiyi bir ağırlık kümesi ile ağırlıklandırır, doğrusal olmayan bir şekilde dönüşümünü sağlar ve bir çıktı değeri oluşturur. İlk bakışta, nöronların çalışma şekli basittir. Ancak YSA'ların gücü, toplam işlem yükünü paylaşan nöronların birbirleri arasındaki yoğun bağlantı yapısından gelmektedir.

YSA tarafından ortaya konan matematiksel fonksiyonu ağ mimarisi belirler. Fonksiyonun temel yapısını ağırlıkların büyüklüğü ve nöronların işlem şekli belirler. Çok farklı ağ mimarileri ve eğitim algoritmaları vardır. Bu konuda literatürde pek çok kaynak bulunmaktadır. Burada sadece zaman serileri ile tahmin yapmaya imkân veren ağ yapısından bahsedilecektir.

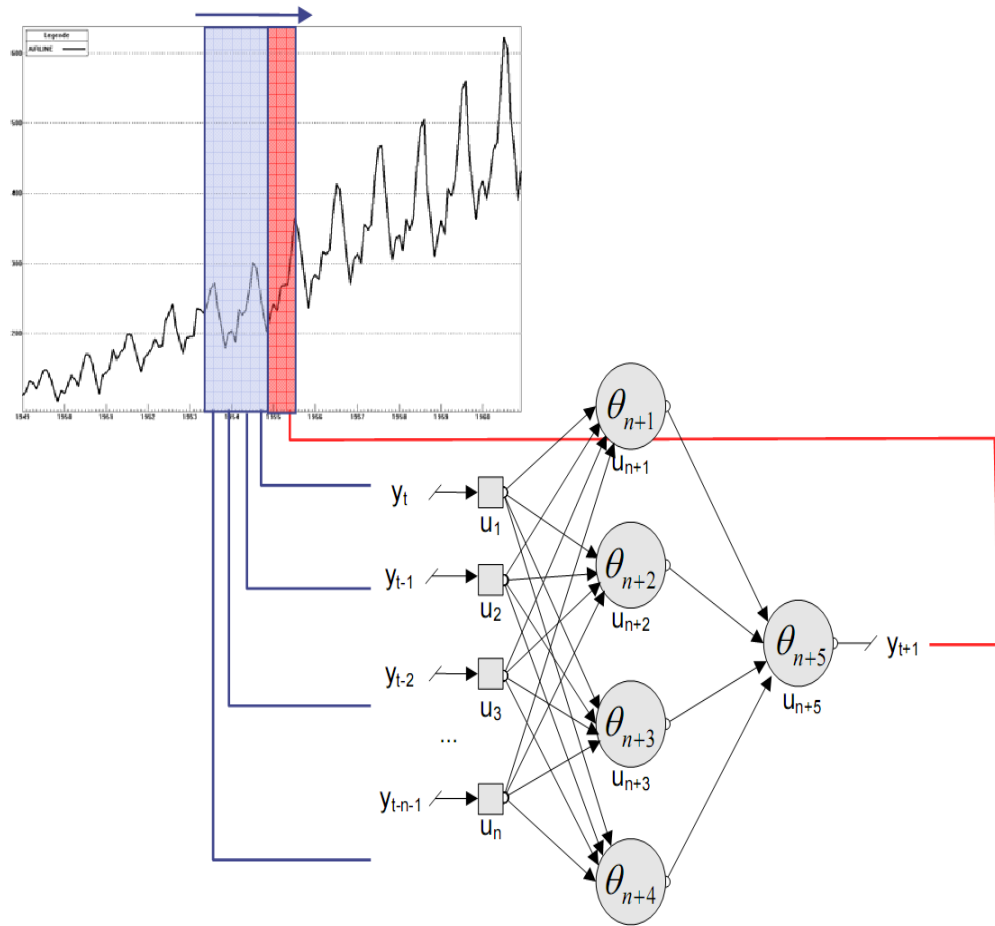
Önceki üç alt bölümde tek değişkenli regresyon analizi metodu izah edilmişti. Bu bölümde de tek değişkene (zaman) bağlı olarak yapay sinir ağı ile tahmin metodolojisi üzerinde durulacaktır. Bağımsız değişken sadece zaman olduğunda; zamana bağımlı değişkenlerin tahmin edilmesi, bir zaman serileri tahmini problemi olur. Bir zaman serisi;  $t$  geçen zamanı göstermek üzere,  $t = 0, 1, \dots$  için bir  $x(t)$  vektör dizisidir. Teorik olarak bu dizi; zamana göre sıcaklık değişimi veya konumuzda olduğu gibi belirli zaman dilimlerinde tüketilen elektrik enerjisi miktarı olabilir. Yapay sinir ağlarının buradaki odak noktası zaman serilerindeki geçmişten geleceğe gelişimi tahmin etmektir. Resmiyette bu durum giriş ve çıkış değişkenleri

arasında bir fonksiyon bulma ( $N$  adet  $t$  zamanı öncesi geçmiş verilerinden  $t+d$  zamanındaki değeri elde etme) şeklindedir. Bu durum;

$$x(t+d)=f(x(t), x(t-1), \dots, x(t-N+1)) \quad (3.11)$$

formülü ile gösterilebilir [8]. Bu denklemdeki  $d$  değeri normalde birdir; yani  $f$  fonksiyonu  $x$  in bir sonraki değerini tahmin edecektir.

Zaman serileri tahmini yapmanın standart YSA metodu, herhangi bir ileri beslemeli fonksiyon yaklaşımı sinir ağı mimarisi kullanarak  $f$  fonksiyonu oluşturmaktır. Bu çoğu zaman Çok katmanlı perseptron (MLP: Multi Layer Perceptron) mimarisi kullanılmaktadır. Aşağıdaki şekilde iki katmanlı ileri beslemeli perseptron mimarisi ile bir zaman serisinin tahmini gösterilmektedir.



**Şekil 3.1** Zaman serisinin nonlinear otoregresyonu için yapay sinir ağı mimarisi [9].

Mimaride giriş katmanında  $u_1$  den  $u_n$  e kadar olan girişlere zaman serisinin  $t$  anındaki değerinden ve  $t-n-1$  değerine kadar olan sinyaller beslenmektedir. Bu katmanda sinyaller

kullanılacak nonlinear aktivasyon fonksiyonuna bağlı olarak uygun ölçeklendirmeye tabi tutulmaktadır. Katmanlar arasındaki ileri yönlü oklar bilgi akış yönünü temsil ederken aynı zamanda belirli bir ağırlığa sahiptirler ve bu ağırlıklar ayarlanarak öğrenme gerçekleştirilmektedir.

Katmanlardaki nöronlar nonlinear bir transfer fonksiyonuna sahiptirler. Bu fonksiyon herhangi bir türevi alınabilir fonksiyon olabilir. Genelde tanjant hiperbolik; lojistik sigmoid veya lineer transfer fonksiyonu kullanılır. Girişlere uygulanan sinyaller ölçeklendirildikten sonra ağırlıklar aracılığıyla belli bir kazanç değerine ulaşır ve nöronlardaki transfer fonksiyonundan çıktıktan sonra birleştirilir ve elde edilen yeni sinyal bir sonraki katmana ulaştırılır.

Çıkış katmanı sonrası elde edilen sonuç ile t anındaki hedef değer karşılaştırılır. Aradaki fark istenilen hata seviyesine düşürülene kadar bir hatanın geriye yayılması algoritması (backpropagation) ile ağırlıklar ayarlanır. Genelde çok hızlı çözüme ulaşması nedeniyle Levenberg-Marquart optimizasyon metodu kullanılır [10].

Sonuçta girişlerle çıkış arasında tanjant hiperbolik aktivasyon fonksiyonu kullanılması durumunda aşağıdaki türden bir lineer olmayan bağıntı elde edilmiş olur:

$$y_{t+1} = \tanh\left(\sum_k w_{kj} \tanh\left(\sum_i w_{ki} \tanh\left(\sum_j w_{ji} y_{t-j} - \theta_j\right) - \theta_i\right) - \theta_k\right) \quad (3.12)$$

#### 4. UYGULAMA VE DEĞERLENDİRMELER

Bursa Türkiye Elektrik Dağıtım Anonim Şirketinden (TEDAŞ) alınan; 2002–2007 yıllarına ait aylık elektrik enerjisi tüketim değerleri kullanılarak, Bursa için gelecek bir yıllık elektrik enerji talebi tahmini yapılmıştır. Çalışmada; 2002–2006 yıllarına ait aylık değerler regresyon analizi için kullanılmış, 2007 yılının aylık verileri ise yapılan regresyonun validasyonu için kullanılmıştır.

Çizelge 4.1'de 2002-2007 yıllarına ait elektrik tüketim verileri görülmektedir. Bu değerlere yakınsayacak regresyon hesaplamaları Matlab programına ait cftool grafik ara yüzü kullanılarak yapılmıştır [12].

Burada yapılan çalışmalar sonrası elde edilen yaklaşık fonksiyonlar ve bu fonksiyonların ürettiği 2002-2006 yıllarına ait tahmini veriler verilmeyecek; ancak gerçek değerler ile tahmini değerler arasındaki uyumluluk ölçüsünü verecek bazı istatistikî bilgiler verilecektir.

**Çizelge 4.1:** Bursa ili 2002–2007 yılları aylık enerji tüketim verileri (MWh) [11].

AYLAR	2002	2003	2004	2005	2006	2007
OCAK	500422	564032	581944	590953	598915	702390
ŞUBAT	417345	470220	512099	584339	643686	688445
MART	509937	587601	606040	644538	709934	761827
NİSAN	489827	547462	599188	637265	656725	712366
MAYIS	493114	559066	590457	637741	696309	755108
HAZİRAN	495135	559673	625893	648961	704359	761430
TEMMUZ	526829	593178	631431	653340	669044	817209
AĞUSTOS	518424	591840	606987	681497	734378	778823
EYLÜL	502199	578089	635993	668223	709202	750990
EKİM	524530	595957	640605	679229	655600	716812
KASIM	526367	515362	589627	632401	704976	781785
ARALIK	525045	627822	659373	702287	725306	744545

Lineer; eksponansiyel ve kuadratik yaklaşımlarla elde edilen sonuçların, verileri ne kadar temsil ettiğinin anlaşılması için, Çizelge 4.2, Çizelge 4.3 ve Çizelge 4.4 verilen istatistikî bilgiler incelenmelidir.

İyi bir yaklaşım fonksiyonu elde edilmesi durumunda; gerçek veri ile tahmini veri arasındaki yüzde hataların; hata ortalamalarının ve hata standart sapmalarının minimum olması; determinasyon katsayısı ve serbestlik derecesi dikkate alınarak hesaplanmış determinasyon

katsayısı  $R^2$  lerin mümkün olduğunca 1 değerine yakın olması söz konusudur.

**Çizelge 4.2:** 2002-2006 yılları lineer regresyon çalışması için istatistikî veriler.

<b>Lineer</b>				
AYLAR	Ortalama  %hata	Standart Sapma	$R^2$	Uyarlanmış $R^2$
OCAK	2.55	1.56	0.800	0.735
ŞUBAT	1.05	0.96	0.992	0.990
MART	1.92	1.12	0.962	0.949
NİSAN	1.75	0.71	0.967	0.957
MAYIS	1.12	0.63	0.989	0.985
HAZİRAN	1.53	1.04	0.978	0.971
TEMMUZ	2.25	1.08	0.919	0.892
AĞUSTOS	1.56	1.41	0.974	0.965
EYLÜL	1.83	1.17	0.971	0.961
EKİM	3.77	1.26	0.801	0.735
KASIM	3.13	2.36	0.915	0.887
ARALIK	3.74	3.46	0.823	0.764

**Çizelge 4.3:** 2002-2006 yılları Kuadratik regresyon çalışması için istatistikî veriler.

<b>Kuadratik</b>				
AYLAR	Ortalama  %hata	Standart Sapma	$R^2$	Uyarlanmış $R^2$
OCAK	2.67	1.62	0.966	0.932
ŞUBAT	0.73	0.52	0.996	0.993
MART	1.85	1.51	0.962	0.924
NİSAN	2.17	0.96	0.999	0.998
MAYIS	1.04	1.09	0.989	0.978
HAZİRAN	1.92	1.40	0.988	0.977
TEMMUZ	2.50	1.22	0.996	0.992
AĞUSTOS	1.65	1.28	0.975	0.950
EYLÜL	2.31	1.55	0.996	0.992
EKİM	4.02	1.45	0.985	0.971
KASIM	2.60	2.40	0.969	0.938
ARALIK	4.12	3.59	0.917	0.834

Çizelgelerden görülebileceği üzere; aylar için elde edilen değerler incelendiğinde, genel olarak bu şartları “kuadratik” fonksiyon yaklaşımının sağladığı görülür. Burada bütün aylar için de genel manada kuadratik yaklaşım, diğer iki yöntemden daha başarılı sonuçlar vermiştir.

**Çizelge 4.4:** 2002-2006 yılları Eksponansiyel regresyon çalışması için istatistikî veriler.

<b>Eksponansiyel</b>				
AYLAR	Ortalama  %hata	Standart Sapma	R <sup>2</sup>	Uyarlanmış R <sup>2</sup>
OCAK	1.04	0.56	0.784	0.712
ŞUBAT	0.74	0.51	0.996	0.995
MART	1.93	1.06	0.960	0.946
NİSAN	0.27	0.17	0.951	0.935
MAYIS	1.12	0.64	0.987	0.983
HAZİRAN	0.95	0.84	0.966	0.955
TEMMUZ	0.44	0.29	0.901	0.868
AĞUSTOS	1.58	1.34	0.974	0.966
EYLÜL	0.62	0.31	0.954	0.939
EKİM	0.87	0.52	0.775	0.701
KASIM	1.77	1.64	0.934	0.912
ARALIK	2.70	1.74	0.800	0.734

Tüm aylar göz önüne alındığında; en fazla mutlak yüzde hata oranı, lineer için % 7.58; kuadratik için % 5.39 ve eksponansiyel yaklaşım için de % 8.62 bulunmuştur ve makul değerler olarak değerlendirilmektedir.

Ayrıca her üç yöntem içinde ayların hata analizleri yapıldığında; özellikle Kasım, Aralık ve Ocak aylarının yüzde hatalarının, hata ortalamalarının ve hata standart sapmalarının yüksek değerlerde; Nisan ve Mayıs aylarında ise düşük seviyede olduğu görülür. Bu analiz kış aylarında ısıtmada kullanılan elektrik yükündeki ani artış; tahmin sonuçlarında sapmaya neden olmuştur. Bahar aylarında ise herhangi bir ani sıcaklık değişimleri olmadığından daha iyi sonuçlar alınmıştır.

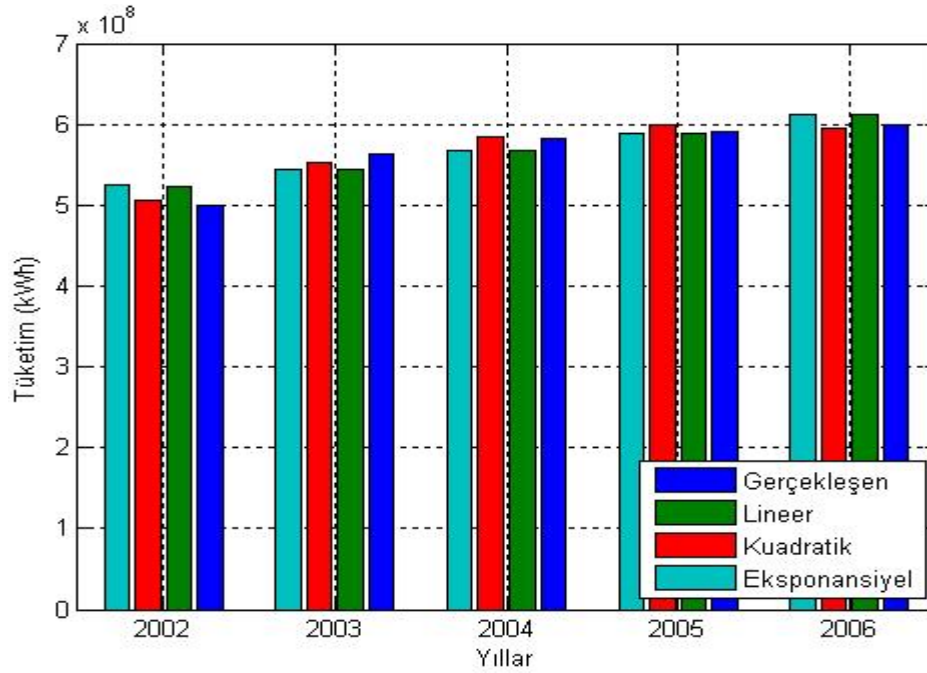
#### 4.1. Aylık Tahminlerin Karşılaştırılması

Tahmin sonuçları karşılaştırılırken; aylık bazda tahmin modellerinin elde ettiği sonuçlar aynı şekil üzerinde gösterilmiştir. Şekillerde gerçekleşen orijinal değerler ile lineer, eksponansiyel ve kuadratik tahmin modellerinde bulunan sonuçlar ayrı ayrı çizilmiştir.

Böylece değerlendirilen ay için hangi tahmin modelinin daha doğru sonuçlar elde ettiği açıkça görülmüştür. Ayrıca tahminlerin hangi yıllar arasında sapma gösterdiği de şekillerde belirlenip; bu durumun nedenleri üzerinde durulmuştur.

#### 4.1.1 Ocak Ayı Tahminlerinin Karşılaştırılması

Ocak ayı için elde edilen sonuçlar Şekil 4.1'de görülmektedir. Şekil incelendiğinde her üç yöntemin de makul ve yakın değerlerde tahmin gerçekleştirdiği anlaşılır. Dikkatli bir şekilde analiz yapılırsa Kuadratik yaklaşımın çok daha yakın değerlerde sonuçlar elde ettiği ortaya çıkar.

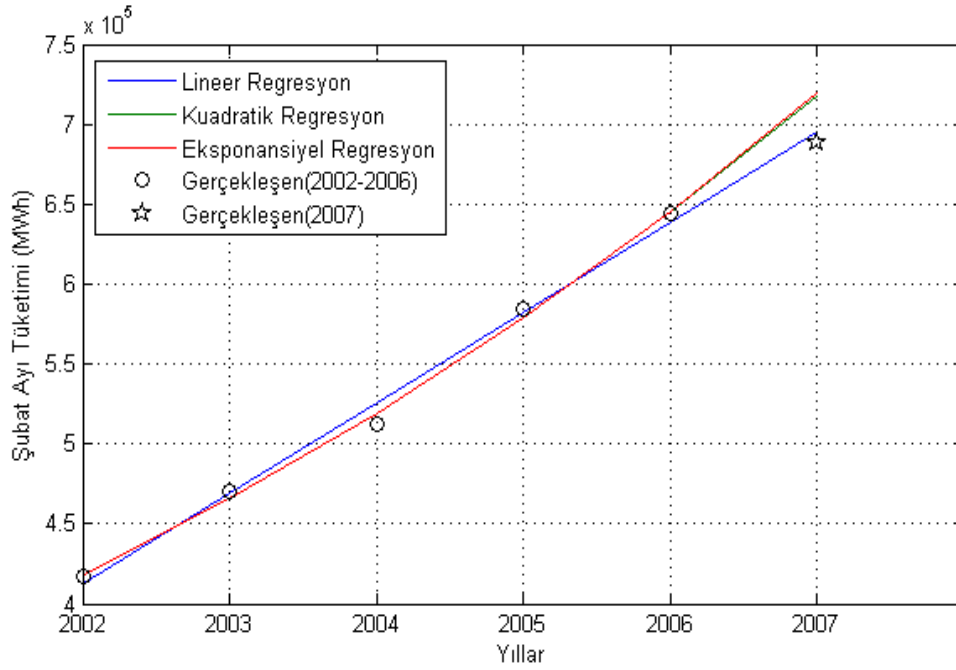


Şekil 4.1. 2002–2006 yıllarının Ocak ayı için tüketim verileri; gerçekleşen değerler ve tahmin yöntemleri sonuçları.

#### 4.1.2 Şubat Ayı Tahminlerinin Karşılaştırılması

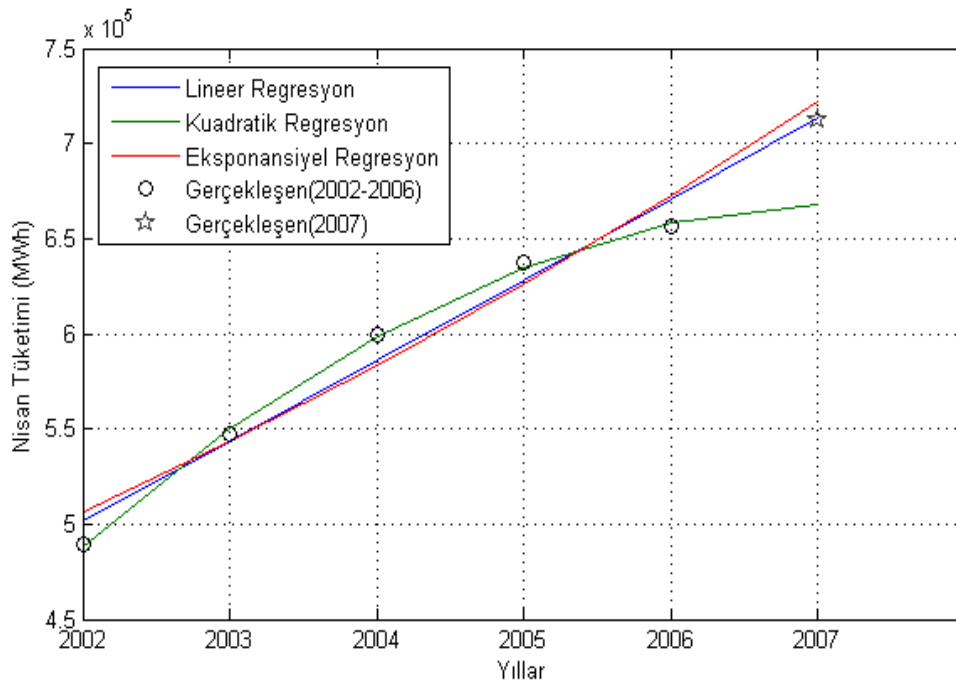
Şubat ayı için elde edilen sonuçlar Şekil 4.2'de görülmektedir. Şekil incelendiğinde özellikle Kuadratik ve Eksponansiyel Regresyonun çok yakın değerlerde olduğu görülmüştür. Gerçekleşen değerlerle karşılaştırıldığında her üç Regresyonunda yakın değerlerde sonuçlar elde etmişlerdir.

Özellikle 2006 ve 2007 yıllarına ait sonuçlara bakıldığında Lineer Regresyonun gerçekleşen değerlerle neredeyse aynı değerlerde sonuçlar elde ettiği görülmüştür. Burada birazda 2007 de gerçekleşen tüketim değerinin geçen yıllara göre artış değerinin altında olması sonuca etki etmiştir.



Şekil 4.2. 2002–2007 yılları için tüketim verileri gerçekleşen değerler ve tahmin yöntemleri sonuçları(Şubat).

#### 4.1.3 Nisan Ayı Tahminlerinin Karşılaştırılması



Şekil 4.3. 2002–2007 yılları için tüketim verileri gerçekleşen değerler ve tahmin yöntemleri sonuçları (Nisan).

Nisan ayı için elde edilen sonuçlar Şekil 4.3'de görülmektedir. Şekil incelendiğinde



özellikle Lineer ve Eksponansiyel Regresyonun yakın değerlerde olduğu görülmüştür. Kuadratik Regresyonun da özellikle 2002–2006 yılları arası gerçekleşen değerlerle neredeyse aynı sonuçlar elde ettiği görülmüştür.

Ancak 2007 yılı için Lineer ve Eksponansiyel Regresyonun gerçekleşen değere daha yakın sonuç elde etmişlerdir. Kuadratik Regresyonun ise gerçekleşen değer altında kaldığı görülmüştür. Bu sonucun oluşmasında gerçekleşen değer 2007 yılında ani bir şekilde yüksek değerde çıkmasıdır. Böylelikle Kuadratik Regresyonun tahmini gerçekleşen değer altında değer hesaplamıştır.

#### 4.2. 2007 Yılı Validasyon Çalışması Sonuçları

Elde edilen yaklaşım fonksiyonları; model uyumluluğunun validasyonu için, 2007 yılındaki aylık tüketim miktarlarını tahminde kullanılmış ve gerçekleşen değerlerle karşılaştırılmıştır. Sonuçlar Çizelge 4.5’de ve Şekil 4.4’de görülmektedir. Başarı oranı beklendiği üzere daha azdır.

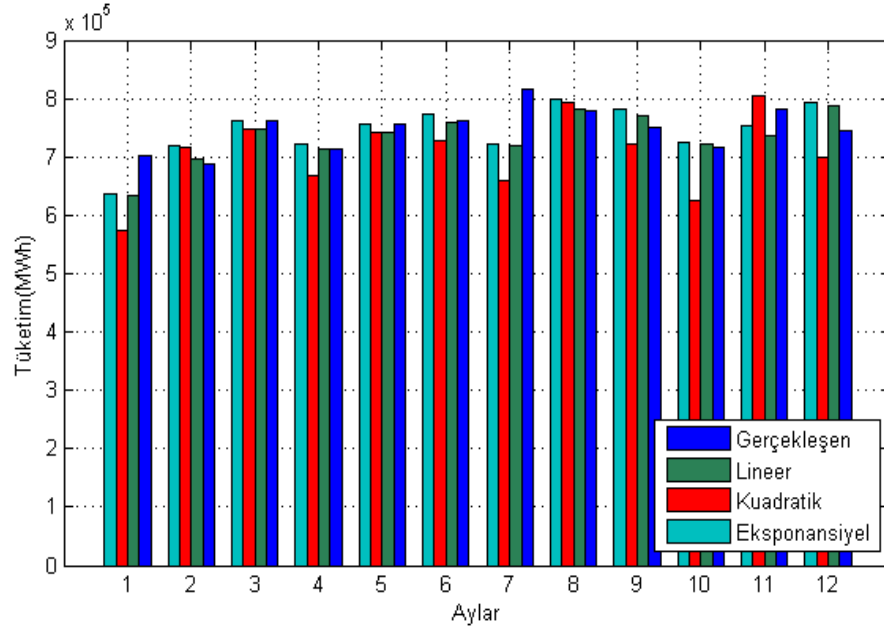
**Çizelge 4.5:** Bursa ili 2007 yılı için gerçekleşen tüketim değerleri ve tahmin sonuçları (MWh).

2007	Gerçekleşen	Lineer	Kuadratik	Eksponansiyel
Ocak	702390	634425	574325	636050
Şubat	688445	695578	717230	719034
Mart	761827	748690	746451	760768
Nisan	712366	713173	668173	721802
Mayıs	755108	740857	741418	754966
Haziran	761430	759125	728409	772455
Temmuz	817209	718142	659326	722822
Ağustos	778823	783095	792241	799079
Eylül	750990	769983	722235	781908
Ekim	716812	722807	624740	726061
Kasım	781785	736024	803858	753249
Aralık	744545	787497	698593	794310

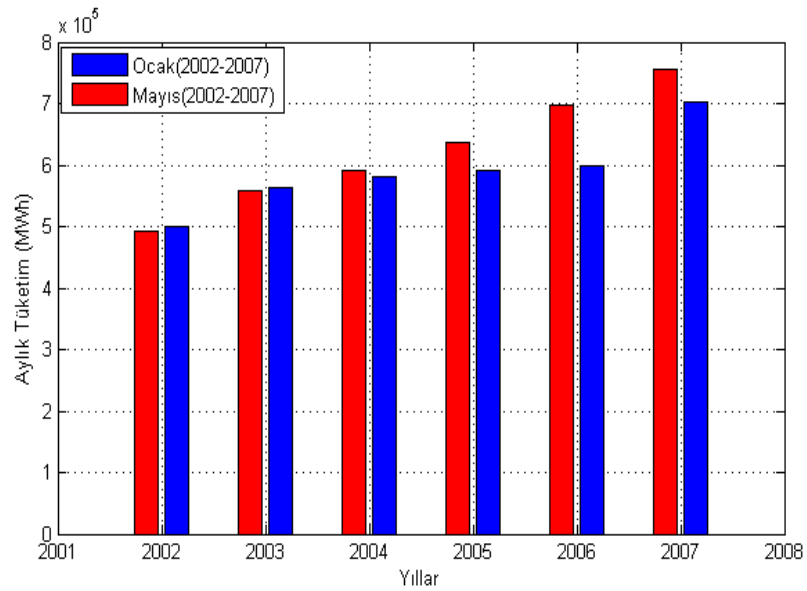
2007 yılı için elde edilen aylık tüketim miktarlarını, Şekil 4.4 çubuk grafik ile göstermektedir. Grafikten de gözlenebileceği gibi; geçmiş yıllardaki durumun aksine, lineer yaklaşım en az hatayı veren yöntem olmuştur. Kuadratik yaklaşım sonuçları beklenenden daha çok hata üretmiştir.

Bunun bir nedeni bazı aylarda 2006 yılında artış eğiminin düşmüş olması verilebilir. Bu da; kuadratik yaklaşım fonksiyonunun, 2007 yılı için olması gerekenden daha az sonuç üretmesi

anlamına gelir. Bu durum Şekil 4.5’de açıkça görülmektedir. Mayıs ayındaki tüketimler neredeyse lineer bir değişim sergilerken, ocak ayı değişimleri 2002–2006 yılları arasında azalan bir artış eğimi göstermekte; 2007 yılında ise büyük bir artış olmaktadır.



Şekil 4.4. 2007 yılı için tüketim verileri – gerçekleşen değerler ve tahmin yöntemleri sonuçları.



Şekil 4.5. 2002–2007 yılları Ocak ve Mayıs ayları için gerçekleşen tüketim verileri.

#### 4.2.1 2007 Yılı Hata Analizi

Çizelge 4.6. yaklaşım fonksiyonlarının 2007 yılı için genel performanslarını sergilemektedir. En az hata lineer yaklaşımda elde edilmiştir. Kuadratik yaklaşımın daha çok

hata oranlarına sahip olduğu görülmektedir.

**Çizelge 4.6:** 2007 yılı aylarına ait yapılan regresyon çalışması için istatistiki veriler.

2007	Lineer	Kuadratik	Eksponansiyel
Medyan(ortanca)  %hata	1.81	4.26	3.13
Ortalama  %hata	3.53	6.96	3.89
Maksimum  %hata	12.12	19.32	11.55
Standart Sapma	3.97	6.29	3.67

Lineer ve Eksponansiyel yaklaşım sonuçları gayet makuldür. Kuadratik yaklaşım sonuçlarında ise ocak; temmuz, ekim ve aralık aylarında elde edilen nispeten fazla hatalar sebebiyle ortalama yüzde hata oranının büyük çıktığı söylenebilir. Ancak; ortanca yüzde hata oranı değeri % 4.26 olup bu yaklaşım da nispeten kabul edilebilir sonuçlar üretmiştir.

#### 4.3. Yıllık Toplam Yük Analizi

Toplam Yük Analizi yapılırken tahmin yöntemlerinin karşılaştırılması yıllık olarak gerçekleştirilmiştir. Her bir yıl için toplam tüketim verileri kullanılmıştır. Ayrıca geçmiş tüketim verileri için daha önce kullanılan 2002–2006 yılları yerine 1998–2007 yılları kullanılmıştır. Böylelikle tahmin için daha fazla veri kullanılıp; daha sağlıklı sonuçlar elde edilmiştir.

Analiz yapılırken; yıllık bazda tahmin modellerinin elde ettiği sonuçlar aynı şekil üzerinde gösterilmiştir. Şekilde gerçekleşen orijinal değerler ile lineer, eksponansiyel ve kuadratik tahmin modellerinde bulunan sonuçlar ve tahmin sonuçları ayrı ayrı gösterilmiştir.

Böylece değerlendirmede hangi tahmin modelinin daha doğru sonuçlar elde ettiği açıkça görülmüştür. Ayrıca tahminlerin hangi yıllar arasında sapma gösterdiği de şekilde görülecektir. Yıllık değerlendirmede aylık değerlendirmeye göre tüketim değişimleri daha geniş bir perspektifte görülecektir.

Yapılan Analiz sonucu yıllık olarak gerçekleşen ve her üç modelden elde edilen sonuçlara ek olarak 2008–2009–2010 yılları için modellerin tahmin sonuçları ayrı ayrı olacak şekilde Çizelge 4.7’de ve Şekil 4.6’da gösterilmiştir.

Yıllık elde edilen sonuçlar Çizelge 4.7’de görülmektedir. Çizelge incelendiğinde özellikle Lineer ve Eksponansiyel Regresyonun yakın değerlerde olduğu görülmüştür.

Kuadratik Regresyonun da özellikle 2002–2006 yılları arası gerçekleşen değerlere daha yakın sonuçlar elde ettiği görülmüştür.

**Çizelge 4.7:** Yıllık toplam tüketim verileri – gerçekleşen değerler ve tahmin yöntemleri sonuçları (MWh)

Yıllar	Gerçekleşen	Lineer	% Hata	Kuadratik	% Hata	Eksponan.	% Hata
1998	4934958	4698725	2,362	4966137	0,312	4805817	1,291
1999	5268409	5118330	1,501	5185183	0,832	5138623	1,298
2000	5621643	5537935	0,837	5461532	1,601	5494476	1,272
2001	5500979	5957540	4,566	5795183	2,942	5874972	3,740
2002	6029173	6377145	3,480	6186137	1,570	6281817	2,526
2003	6790301	6796751	0,064	6634393	1,559	6716837	0,735
2004	7279637	7216356	0,633	7139952	1,397	7181982	0,977
2005	7760775	7635961	1,248	7702814	0,580	7679338	0,814
2006	8208434	8055566	1,529	8322978	1,145	8211137	0,027
2007	8971729	8475171	4,966	9000445	0,287	8779763	1,920
2008		8894777		9735215		9387767	
2009		9314382		10527287		10037875	
2010		9733987		11376661		10733004	

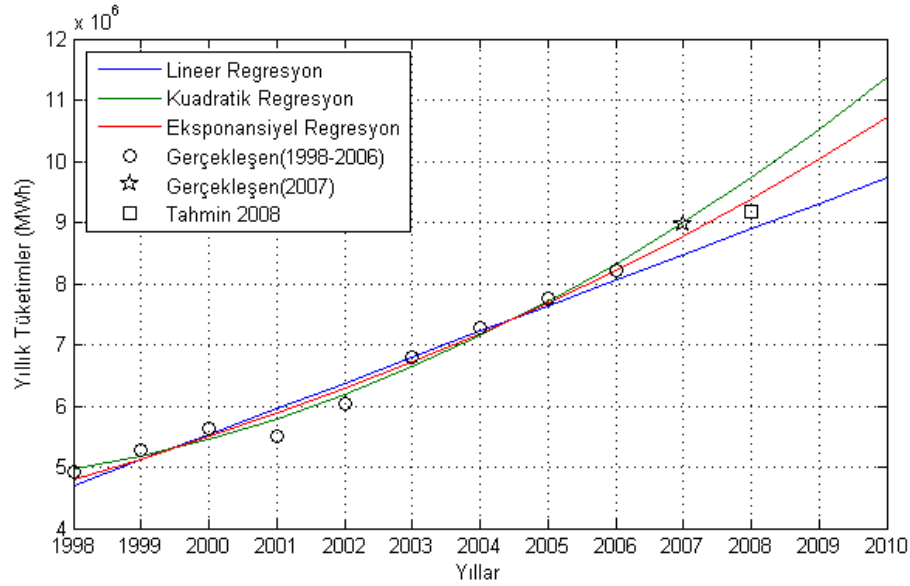
Tahmin modellerinin karşılaştırılması ve geleceğe yönelik tahminlerin daha net bir şekilde Şekil 4.6 da gösterilmiştir.

Şekil 4.6 incelendiğinde ilk göze çarpan özellikle gerçekleşen yıllık tüketim verilerinde 2001 ve halen yaşamakta olduğumuz 2008 krizlerinin etkisinin çok net bir şekilde görülmesidir. Burada bir sanayi şehri olan Bursa'nın krizlerden fazlası ile etkilendiği ve bunun neticesinde tüketim değerlerinin düştüğü görülmüştür.

1998–2007 yılları arası özellikle Lineer ve Eksponansiyel Regresyonun yakın değerlerde olduğu görülmüştür. Kuadratik Regresyonun da özellikle 1998–2007 yılları arası gerçekleşen değerlerle yakın sonuçlar elde ettiği görülmüştür.

Ancak 2008 yılı için Lineer ve Eksponansiyel Regresyonun gerçekleşen değere daha yakın sonuç elde etmişlerdir. Kuadratik Regresyonun ise gerçekleşen değer üstünde kaldığı görülmüştür. Bu sonucun oluşmasında gerçekleşen değer 2008 yılında ani bir şekilde düşük değerde çıkmasıdır. Böylelikle Kuadratik Regresyonun tahmini gerçekleşen değer üstünde bir

değer hesaplamıştır.



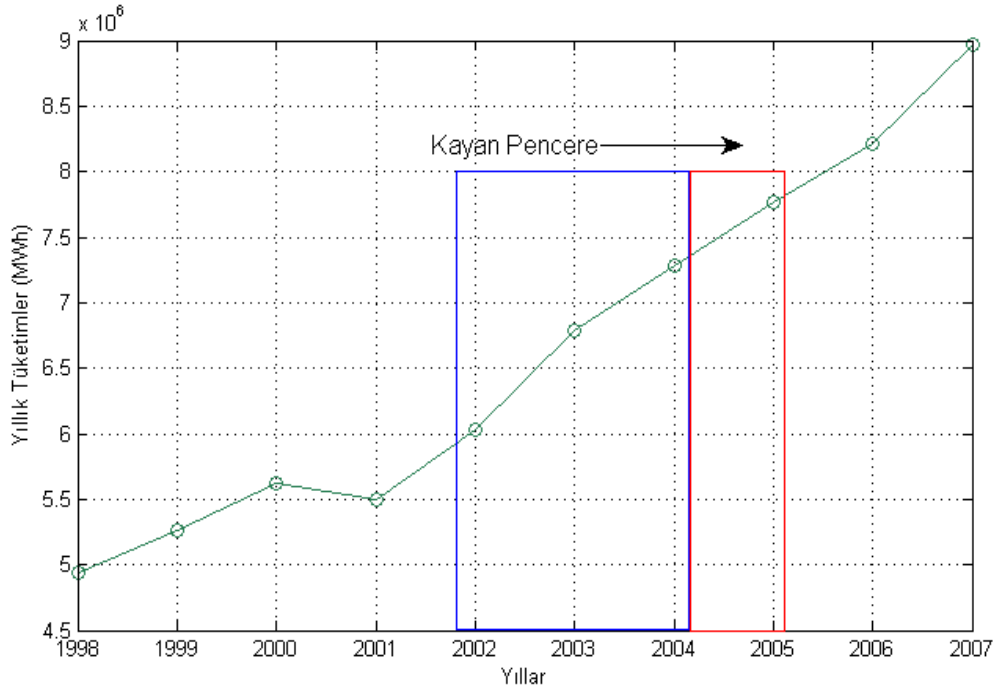
**Şekil 4.6** Yıllık toplam tüketim verileri – gerçekleşen değerler ve tahmin yöntemleri sonuçları

#### 4.4. Yapay Sinir Ağı ile Elektrik Talep Tahmini

Önceki alt bölümde; yıllık toplam elektrik enerjisi tüketim miktarlarının veri olarak kullanıldığı üç ayrı regresyon yönteminin performansı incelenmiştir. Kullanılan veride bağımsız değişken, bir yıllık zaman dilimleridir. Bağımlı değişken ise Bursa'nın yıllık enerji tüketim verileridir. Bu haliyle veri, bir zaman serisidir. Zaman serilerinin yapay sinir ağı (YSA) ile tahmini üçüncü bölümde izah edilmişti. Burada; Bursa'nın 1998-2007 yıllarına ait Şekil 4.7 de görülen yıllık elektrik enerji tüketim verileri için, uygulaması yapılacaktır.

Veri incelendiğinde 2001 yılı hariç bir sürekli artış gözlemlenir. Sanayi şehri Bursa'da 2001 yılı ekonomik krizinin etkisi açıkça görülmektedir. Şekil 4.7 de ayrıca YSA için kayan pencere (sliding window) şeklinde oluşturulacak veri görülmektedir.

YSA bir yıl sonrası için tahmin yapacağından sadece bir çıkışa sahip olacaktır ve bu durum şekilde kırmızı kutu ile gösterilmiştir. YSA girişlerinin sayısı, mevcut yıl dâhil kaç yıl daha geriye ait veri kullanılacağına bağlıdır. Daha çok veya daha az pencere kullanımı performansı etkiler; bu konuda yapılan çalışmalarda 4 veya 5 giriş kullanımının optimum çözüm olacağı belirtilmiştir [8]. Ancak, yeterli veri genişliği temin edilemediğinden bu çalışmada 3 giriş kullanılmıştır.



**Şekil 4.7** Bursa 1998-2007 yılları arası yıllık elektrik enerjisi tüketim grafiği

“Gizli katman” olarak tanımlanan YSA’nın iç kesimlerindeki katmanların sayısı tecrübeler ışığında deneme yanılma yoluyla belirlenebilir. Ancak, bir adet gizli katman kullanımının nonlineer fonksiyon yaklaşımı elde etmek için yeterli olduğu saptanmıştır. Tek bir gizli katman kullanılması durumunda; katmanda kaç adet nöron kullanılması gerektiği konusu da yine deneme yanılma ile belirlenmektedir. Yeterince nöron kullanılmazsa istenilen hata seviyesi elde edilemeyebilir. Öte yandan, çok fazla nöron kullanılması ise hafıza ihtiyacını ve işlem hacmini artırmaktadır. Bu konuda yapılan bir araştırmada gizli katmandaki nöron sayısı ile ağ performansı arasındaki ilişki incelenmiştir [13]. Burada en düşük sayı olan 2 ile başlanılarak yeterli performans elde edilene kadar nöron artırımı yöntemi benimsenmiştir.

YSA’nın çıkış ve gizli katmanlarında lojistik sigmoid aktivasyon fonksiyonu kullanıldığından; giriş ve çıkış verilerinin [0,1] aralığında olması gerekmektedir. Eğitim sonrası test aşamasında artan bir fonksiyon yaklaşımı için mevcut aralıktan daha büyük çıktı elde edileceğinden; normalizasyon aralığı olarak [0, 0.8] seçilmiştir. Aşağıda lojistik sigmoid fonksiyonu verilmektedir:

$$f(x) = (1 + \exp(-x))^{-1} \quad (4.1)$$

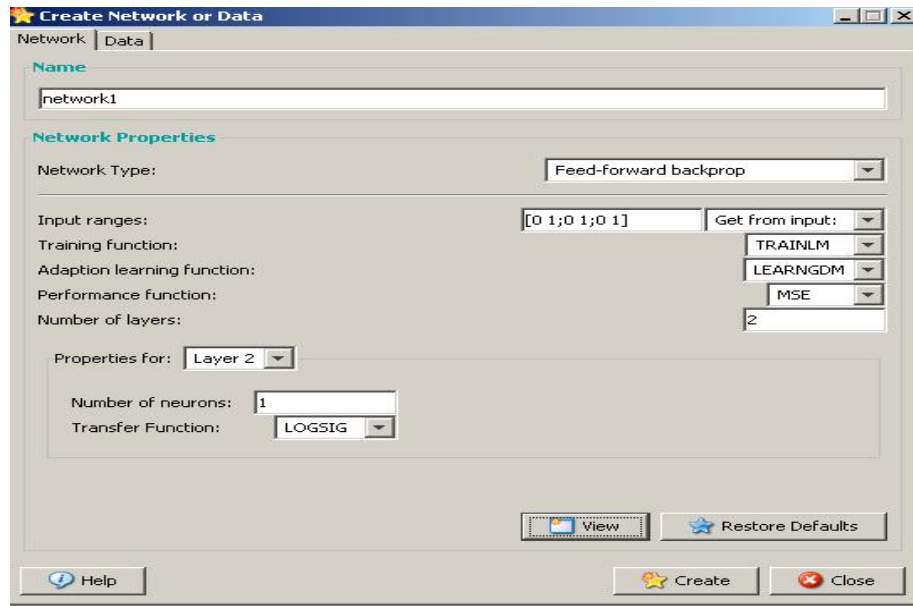
Çalışmalarda Matlab hazır programının “nntool” yapay sinir ağları alt programı kullanılmıştır. Şekil 4.7 den elde edilen YSA verisi aşağıdaki çizelgede verilmektedir. İlk eğitim

verisi; 1. giriş için 1998 yılı tüketim değeri, 2. giriş için 1999 yılı tüketim değeri, 3. giriş için 2000 yılı tüketim değeri ve çıkış için 2001 yılı tüketim değerinden oluşmaktadır. İkinci eğitim verisinde ise 1999 yılı tüketim değerinden başlanmak üzere kayan pencere şeklinde tablo oluşturulmaktadır.

Matlab YSA Toolbox ile ağ oluşturma aşaması Şekil 4.8 de görülmektedir. Ağ mimarisi, ileri beslemeli hatanın geriye yayılması algoritmali yapıdır. Eğitim fonksiyonu Levenberg-Marquart olarak seçilmiştir. Ağ iki katmanlıdır, katmanlarda lojistik sigmoid aktivasyon fonksiyonu kullanılmaktadır.

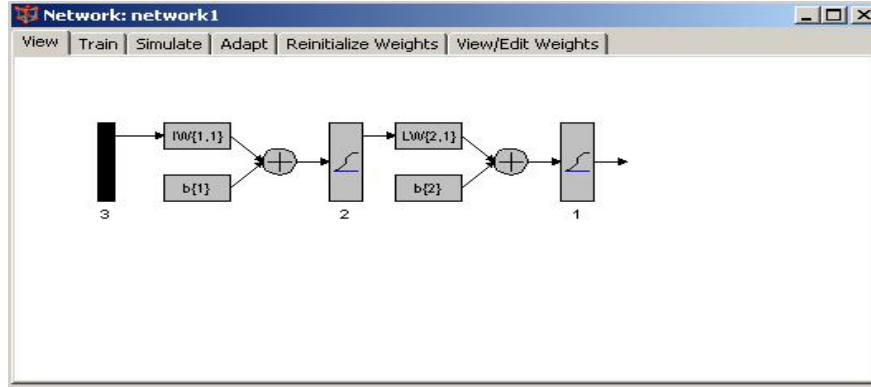
**Çizelge 4.8** Yıllık toplam tüketim verilerinden elde edilen YSA eğitim datası (MWh)

	1.Giriş	2.Giriş	3.Giriş	Çıkış
Örnek Data 1	4934958.09	5268408.58	5621642.95	5500979
Örnek Data 2	5268408.58	5621642.95	5500979	6029172.96
Örnek Data 3	5621642.95	5500979	6029172.96	6790301.3
Örnek Data 4	5500979	6029172.96	6790301.3	7279636.89
Örnek Data 5	6029172.96	6790301.3	7279636.89	7760775.19
Örnek Data 6	6790301.3	7279636.89	7760775.19	8208433.76



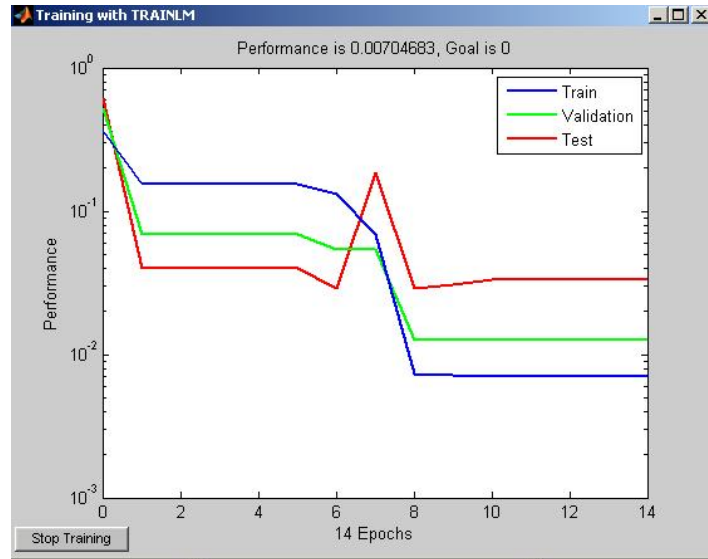
**Şekil 4.8** YSA ağ oluşturma aşaması.

Ağ eğitilmesinde; performans kriteri olarak, hataların karesinin ortalaması (MSE) seçilmiştir. Gizli katmanda ilk olarak 2 adet nöron seçilmiş ve ağ oluşturulmuştur. Ağ mimarisi 3:2:1 yapısında ve Şekil 4.9 da görülmektedir.



Şekil 4.9 Oluşturulan 3:2:1 mimarisindeki yapay sinir ağı.

Eğitim aşaması sonrasında elde edilen sonuçlar yetersiz görülmüştür. MSE değeri 0.007 olduğu için gizli katmandaki nöron sayısı artırılarak 3 yapılmıştır (3:3:1 mimarisi) ve önceki işlemler tekrarlanmıştır.

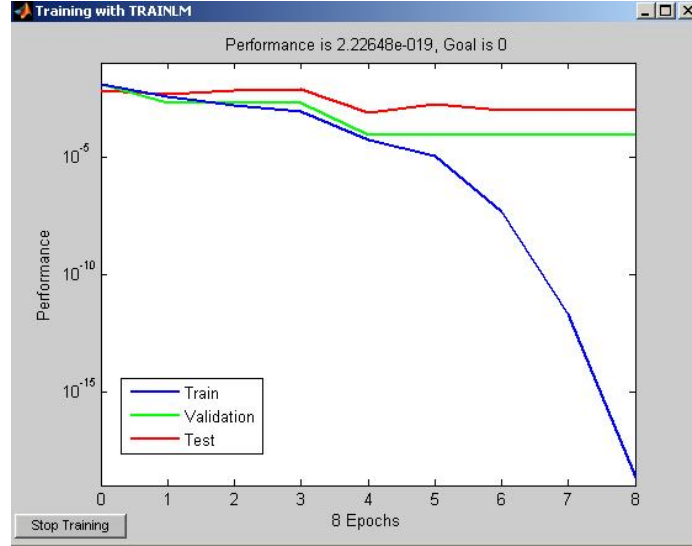


Şekil 4.10 3:2:1 mimarisindeki YSA için elde edilen MSE eğrisi.

3:3:1 mimarisine sahip ağ, bu defa yeterince iyi performans göstermiş ve hataların kare ortalaması Şekil 4.11 de görüldüğü neredeyse sıfır olarak elde edilmiştir. Şekilden görüleceği üzere eğitim datasını mükemmel temsil edecek ağ elde edilmiştir. Ancak bu sonuç ağın önceki durum olan genelleştirme yapamama (underfit) probleminin zıddı olan aşırı öğrenme (overfit) durumu da olabilir. İyi bir genelleştirme olduğunun göstergesi; validasyon ve test verileri için



de düşük MSE elde edilmesidir. Şekil 4.11 de; validasyon ve test verileri için eğitim kadar olmasa da yeteri kadar performans elde edildiği görülmektedir. Bu performans önceki ağ yapısına göre daha az iterasyon sonucunda elde edilmiştir.



Şekil 4.11 3:3:1 mimarisindeki YSA için elde edilen MSE eğrisi.

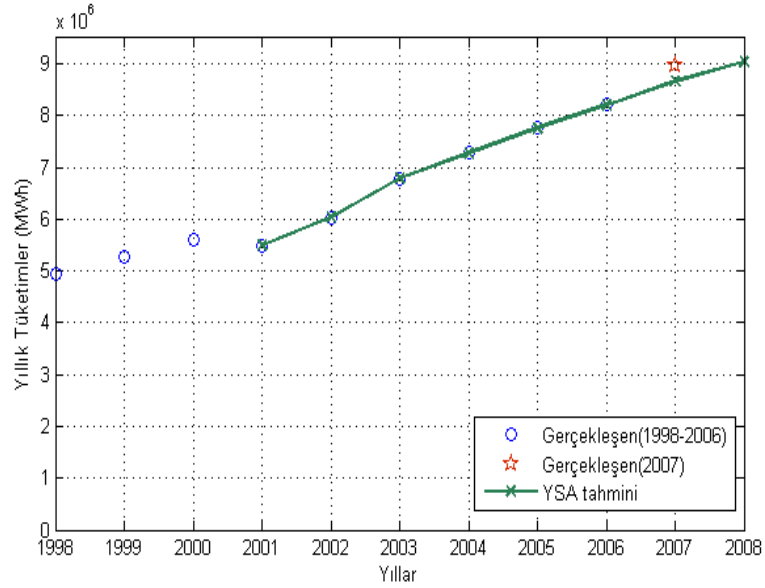
Test verisi olarak 1.giriş: 2004 yılı tüketim değeri; 2.giriş: 2005 yılı tüketim değeri, 3.giriş: 2006 yılı tüketim değeri alınmış ve ağın 2007 yılı tüketim değerini tahmin etmesi istenmiştir. Ağ çıktısı kaydedildikten sonra benzer şekilde ikinci test verisi olarak; 1.giriş: 2005 yılı tüketim değeri; 2.giriş: 2006 yılı tüketim değeri, elde edilen ağ çıktısı 2007 tüketim değeri 3.giriş olarak kullanılmış ve ağdan 2008 yılının tüketim değerinin elde edilmesi istenmiştir. Sonuçlar Çizelge 4.9 da görülmektedir.

Çizelge 4.9 3:3:1 mimarisine sahip YSA eğitim ve test aşaması sonuçları (MWh)

YIL	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
Gerçekleşen	5500979	6029172	6790301	7279636	7760775	8208433	8971729	_____
YSA	5500979	6029172	6790301	7279636	7760775	8208433	8670108	9034055
[% hata]	0	0	0	0	0	0	3.36	_____

Şekil 4.11 den de tahmin edilebileceği gibi eğitim verisi için ağ performansı mükemmel seviyede olmuştur. Çizelge 4.9 da; eğitim verisi için lineer olmayan yaklaşım sebebiyle, mutlak yüzde hata oranları sıfır olarak elde edilmiştir. 2007 yılına ait YSA tahmininde mutlak hata yüzdesi 3.36 dır. Bu durum aşağıdaki grafikten de rahatlıkla gözlemlenebilir. 2008 yılı için

gerçekleşen değer elde bulunmadığından hata hesabı yapılamamaktadır.



Şekil 4.12 3:3:1 mimarisindeki YSA için elde edilen tahmin sonuçları.

Çalışmanın orta dönem talep tahmini olduğunu dikkate alarak, bir veya iki yıl ötesini YSA ile tahmin etmenin makul olduğunu söyleyebiliriz. Daha uzun yıllara ait öngörü çalışmalarında, geçmişe yönelik çok uzun yıllara ait verilerin bulunması gerekir.

## 5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Yük tahmin analizine elektrik üretimi, iletimi ve dağıtımını planlamasının ekonomik olarak yapılabilmesi için başvurulur.

Bu çalışmada ilk önce Bursa ili için orta dönem (aylık) yük tahmini üç ayrı yöntemle gerçekleştirilmiştir. Bu yöntemler lineer, kuadratik ve exponansiyel analizdir. Bursa iline ait 2002–2006 yılları arası aylık tüketimler için yapılan modelleme sonuçlarına göre, her üç model için de elde edilen hata oranları makul seviyeler arasında kabul edilebilir. Elde edilen üç yönteme ait modeller ile 2007 yılı aylık elektrik enerjisi talep tahmini yapılmış ve sonuçlar gerçekleşen değerlerle karşılaştırılmıştır. Elde gerçek veri bulunmayan 2008 yılına ait tahminlerin çok büyük yüzde hata oluşturmayacağı düşünülmekle birlikte, daha iyi bir modelleme için çok daha önceki yıllara ait verilerin elde edilerek kullanılması ve yük miktarını etkileyici diğer ana faktörlerin de dikkate alınması uygun olacaktır.

Öte yandan; elde mevcut 1998–2007 yılları toplam yıllık tüketim verileri kullanılarak 2007 ve 2008 yılları için toplam enerji talep tahmini çalışması yapılmıştır. Bu çalışmada yukarıda bahsedilen üç yönteme ek olarak zaman serisi yaklaşımlı yapay sinir ağı ile de tahminlerde bulunulmuştur. Her ne kadar yıllık tahminler için 10 yıllık veri kullanılmışsa da, daha sağlıklı tahmin sonuçları için daha uzun geçmiş veri kullanılması uygun olacaktır. Yine de sonuçlar ümit verici niteliktedir.

Uzun vadeli geleceğe yönelik iyi bir tahmin yapabilmek için; sadece geçmişteki tüketim verileri ile tek değişkenli istatistikî çalışma ile yetinmek, doğru bir tercih olmayacaktır. Tahmin edilen süreye bağlı olarak; Gayri safi yurt içi hâsıla (GSYİH), tüketici fiyatları endeksi (TÜFE), nüfus artış oranları gibi ekonometrik ve demografik verilerin yanında, hava koşulları gibi parametrelerin de dikkate alınması gerekir.

Bu çalışmada; Bursa ili için geçmişe yönelik yukarıda bahsedilen istatistikî verilerin düzenli tutulmamış olması nedeniyle, sadece geçmiş yıllara ait elektrik tüketim bilgileri kullanılarak tek değişkenli analiz (zaman serisi tahmin analizi) yapılmıştır. Çalışmada hem lineer veya lineerleştirilmiş verilerle regresyon analizi yapılmış; hem de lineer olamayan ilişkiye sahip yapay sinir ağı modellemesi ile analiz yapılmıştır. Düzenli veri bulunması durumunda çok değişkenli lineer veya nonlineer regresyon analizi yapılabilir. Bu analiz yöntemlerinde öncelikle parametrelerin tahmin değişkeni ile olan korelasyon katsayılarına bakılarak; değişkenlerin bir kısmı model dışı bırakılabilir veya ağırlık yüzdeleri değiştirilebilir.

Sonuçta elde edilen değişken takımı ile; yapay sinir ağları, bulanık mantık, genetik

algoritmalar gibi nonlinear yöntemlerle daha uygun modellemeler elde edilerek giriş çıkış ilişkisi sağlanabilir. Normal şartlar altında iyi bir modellemeye ait tahmin sonuçları tatminkâr seviyede olacaktır. Ancak; yapılan işlem gelecekteki bir parametrenin tahmini olduğu için, ekonomik krizler, tabii afetler gibi beklenmeyen durumlarda her zaman istenen başarı seviyesi elde edilemeyebilir.

### KAYNAKLAR DİZİNİ

- [1] Syed M. Islam, Saleh M. Al-Alawi “Principles of electricity demand forecasting Part I Methodologies” Power Engineering Journal, April 1997, pp. 139-143
- [2] Nalbant A., Aslan Y., Yaşar C., “Kütahya ili elektrik puant yük tahmini” Elektrik Elektronik Bilgisayar Mühendisliği Ulusal Kongresi, 2005
- [3] Yalçınöz T., Karadeniz Y., Yücel İ., ‘Niğde Bölgesi için Elektrik Yük Tahmini’, ELECO’2000, sayfa 8-12, Bursa, 2000.
- [4] Hengirmen M. O., “Comparison of Three Forecast Methods for Power Demand in Gaziantep”, ELECO’99, sayfa 185-188, Bursa, 1999.
- [5] İşler S., ‘Elektrik Enerjisi Talep Tahminleri ve Türkiye Ekonomisine Olan Etkileri’, Hazine Uzmanlık TEZİ, Ankara, 2005
- [6] Schiff D., D’Agostino R. B., “Practical Engineering Statistics”, John Wiley & Sons, Inc. 1996
- [7] <http://tr.wikipedia.org/wiki/Vikipedi>
- [8] R.J. Frank, N.Davey, S.P.Hunt, “Time Series Prediction and Neural Networks” University of Hertfordshire, UK
- [9] Sven F. Crone “*Neural Networks for Forecasting*” 2006 IEEE summer school on Computational Intelligence, Santiago, Chile, EVIC’05
- [10] B.G. Kermani, S.S. Schimanb, H.T. Nagle, “*Performance of the Levenberg-Marquardt neural network training method in electronic nose applications*”, Sens. Actuators B 110(2005) 13–22.
- [11] TEDAŞ, Bursa verileri, 2008
- [12] [www.mathworks.com](http://www.mathworks.com)
- [13] Baum E. B. & Haussler D. (1988), "What size net gives valid generalization?", *Neural Computation*, **1**, pp. 151-160.