



T.C.

SELÇUK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MATEMATİKSEL MODELLEME KULLANARAK TÜRKİYE'NİN UZUN DÖNEM ELEKTRİK YÜK TAHMİNİ

Hayri OĞURLU

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Elektrik - Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Ocak-2011
KONYA
Her Hakkı Saklıdır

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

MATEMATİKSEL MODELLEME KULLANARAK TÜRKİYE'NİN UZUN DÖNEM ELEKTRİK YÜK TAHMİNİ

Hayri OĞURLU

Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Yrd.Doç.Dr. Nurettin ÇETİNKAYA

2011, 86 Sayfa

Jüri
Doç.Dr. Abdullah ÜRKMEZ
Yrd.Doç.Dr. Nurettin ÇETİNKAYA
Yrd.Doç.Dr. Mehmet ÇUNKAŞ

Bu tez çalışmasında, elektrik enerjisinin son kullanıcılara ekonomik, kaliteli ve sürekli olarak sağlanabilmesi için yapılan planlama çalışmalarının önemi vurgulanmıştır. Yapılacak planlamanın en önemli unsuru olan geleceğe dönük tahmin yöntemleri detaylı biçimde incelenmiş ve 2010 ile 2025 yılları arasındaki yıllık tüketilen toplam enerji miktarları ve puant günde tüketilen enerji miktarları tahmin edilmiştir. Buna göre geçmiş yıllara ait, enerji tüketimi ile ilişkili olan verilerden uygun matematiksel modeller oluşturulmuş ve gelecek yıllara ait sonuçlar elde edilmeye çalışılmıştır. Yapılan tahminden elde edilen veriler daha önceden farklı yöntemler kullanılarak yapılmış olan diğer akademik çalışmalar ile kıyaslanmıştır.

Anahtar Kelimeler: ENPEP, MAED, regresyon analizi, tahmin yöntemleri, YSA, yük tahmini.

ABSTRACT

MS THESIS

LONG TERM ELECTRICAL LOAD FORECASTING OF TURKEY USING MATHEMATICAL MODELING

Hayri OĴ URLU

THE GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCE OF SELÇUK UNIVERSITY
THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE
IN ELECTRICAL ELECTRONICAL ENGINEERING

Advisor: Asst.Prof.Dr. Nurettin ÇETĶNKAYA

2011, 86 Pages

Jury
Assoc.Prof.Dr. Abdullah ÜRKMEZ
Asst.Prof.Dr. Nurettin ÇETĶNKAYA
Asst.Prof.Dr. Mehmet ÇUNKAķ

In this study, end users of electrical energy economically, to ensure consistently high quality and emphasize the importance of the planning studies. The most important element of planning to do for the future of the prediction methods were examined in detail and the 2010 - 2025 the total amount of energy consumed between the amount of energy consumed and the peak day forecasts were made. Accordingly, for the years past, the energy consumption associated with the appropriate mathematical models are created from the data and results in future periods to be studied. The data obtained from the estimate made previously using different methods are compared with other academic studies.

Keywords: ANN, ENPEP, forecast methods, load forecasting, MAED regression analysis.

ÖNSÖZ

Elektrik enerjisi piyasasının yeniden oluşturulduğu, sektördeki bütün aktörlerin ve işlevlerinin yeniden yapılandırıldığı günümüzde geleceğe yönelik planlama çalışmaları her zamankinden daha önemli bir yere sahip olmuştur. Yeni oluşturulan dağıtım şirketleri, özel girişimlerle kurulan üretim santralleri, kamu kurumlarınca idare edilen iletim sistemi ve bütün bunların koordinasyonunu üstlenen üst kurulların en çok ihtiyaç duyacağı bilgi, gelecekteki arz ve talep değerleri olacaktır. Planlama ve tahmin konularının önemini kavrayan birçok akademik ve ticari çevre sayesinde bu konuyla ilgili çalışmalar ülkemizde hızla artmaktadır. Ayrıca Enerji Piyasası Düzenleme Kurulu tarafından elektrik enerjisi talep tahminleri ile ilgili hazırlanan ve 2006 yılında yürürlüğe giren yönetmelik, planlama ve talep tahmini konusunu belirli bir programa bağlamış durumdadır. Bu çalışmada da bu konu ile ilgili uygulanan yöntemler ve yapılan çalışmalar incelenmiş ve oldukça pratik ve gerçeğe uygun tahminler elde edilmiştir.

Bu çalışmanın ortaya çıkmasında bana yardımlarını esirgemeyen değerli hocam Yrd.Doç.Dr. Nurettin ÇETİNKAYA'ya ve AKŞLEME çok teşekkür ederim.

Hayri OĞURLU
KONYA – 2011

İÇİNDEKİLER

ÖZET ..... **iv**

ABSTRACT ..... **v**

ÖNSÖZ ..... **vi**

İÇİNDEKİLER ..... **vii**

SİMGELER VE KISALTMALAR ..... **ix**

1. GİRİŞ VE LİTERATÜR TARAMASI **1**

1.1. Giriş 1
1.2. Literatür Taraması 3

2. TÜRKİYE ELEKTRİK SEKTÖRÜNÜN İNCELENMESİ **5**

2.1. İlgili Kurum ve Kuruluşlar 5
2.2. Elektrik Piyasasının Dönemsel Gelişimi 7
2.2.1. Birinci dönem (1902'ye 1970) 8
2.2.2. İkinci dönem (1970'e 1982) 8
2.2.3. Üçüncü dönem (1982'ye 1983) 9
2.2.4. Dördüncü dönem (1984'e 2001) 9
2.2.5. Beşinci ve altıncı dönem (2001-...) 10
2.3. Türkiye'de Uygulanan Yük Tahmini Çalışmaları 10
2.3.1. ENPEP modeli ve modülleri 10
2.3.1.1. MAED modülü 12

3. PLANLAMA KAVRAMI VE ÖNEMİ **14**

3.1. Planlama Süreci 14
3.2. Elektrik Enerji Sisteminde Planlama Aşamaları 14
3.2.1. Yük tahmini 16
3.2.2. Üretim sistemi planlaması 17
3.2.3. İletim sistemi planlaması 18
3.2.4. Alt iletim sistemi planlaması 19
3.2.5. Dağıtım sistemi planlaması 19
3.2.6. Yakıt destek ve yöneylem planlamaları 20
3.2.7. Çevresel planlama 20
3.2.8. Finansal planlama 20
3.2.9. Araştırma ve Geliştirme planlaması 21
3.3 Tahmin Yöntemleri 21
3.3.1. Tahmin için önemli faktörler 22
3.3.2. Yüklerin özellikleri ve sınıflandırılması 25

4. YÜK TAHMİNİ YAKLAŞIMLARI 27

4.1. Zaman Serisi Analizi 28
4.1.1. Box-Jenkins tekniği 30
4.1.2. Standart hata 35
4.1.3. Standart sapma 36
4.1.4. R-kare parametresi 36
4.2. Son Kullanıcı Modeli 37
4.3. Ortalama Artık Yüzdeleri ile Yapılan Tahmin 38
4.4. Ekonometrik Metotlar 38
4.5. Gayri Safi Milli Hâsılaya Dayalı Yapılan Tahmin 39
4.6. Yüzeysel Yük Tahmini 39
4.7. Regresyon Analizi 41
4.7.1. Regresyondaki tahmin hataları 42
4.7.2. Korelâsyon katsayısı 42
4.7.3. Regresyon denkleminin oluşturulması 43
4.7.4. Üstel düzeltme 50
4.8. Yapay Sinir Ağları (YSA) 51
4.8.1. Yapay sinir ağlarının avantajları 52
4.8.2. Yapay sinir ağlarının dezavantajları 53
4.9. Bulanık Mantık 53
4.10. Uzman sistemler (US) 54

5. VERİLERİN DEĞERLENDİRİLMESİ VE TAHMİN 56

5.1. Kullanılacak Veriler ve Elde Edilecek Değerler 57
5.2. Puant Yük Talep Tahmini 61
5.3. Toplam Enerji Talep Tahmini 66
5.4. Modellerin Karşılaştırılması 70

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER 74

7. EKLER 76

F(x) Fonksiyonlarının Hesaplanması 76
Denklem 5.1: 76
Denklem 5.2: 78
Denklem 5.3: 80
Denklem 5.4: 81

KAYNAKLAR 84

ÖZGEÇMİŞ 86

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılan bazı simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler	**Açıklama**
σ	Standart Sapma

Kısaltmalar	**Açıklama**
AB	Avrupa Birliği
AIC	Akaike Information Criterion
ANFIS	Adaptive Network Based Fuzzy Inference Systems
ANL	Argonne National Laboratory
APK	Arastırma Planlama Koordinasyon
AR	Otoregresif Model
ARIMA	Birleştirilmiş Otoregresif-Hareketli Ortalamalar Modeli
ARMA	Otoregresif-Hareketli Ortalamalar Modeli
BIC	Bayesian Information Criteria
DPT	Devlet Planlama Teşkilatı
DSİ	Devlet Su İşleri
ENPEP	Energy and Power Evaluation Program
EPDK	Enerji Piyasası Düzenleme Kurulu
EÜAş	Elektrik Üretim Anonim şirketi
GSMH	Gayri Safi Milli Hâsıla
GSYİH	Gayri Safi Yurt İçi Hâsıla
HES	Hidroelektrik Santral
IAEA	International Atomic Energy Agency
İHD	İşletme Hakkı Devri
MA	Hareketli Ortalamalar Modeli
MAED	Model for Analysis of Energy Demand
NEA	Nuclear Energy Agency
PSO	Particle Swarm Optimization
TEAş	Türkiye Elektrik Anonim şirketi
TEDAş	Türkiye Elektrik Dağıtım Anonim şirketi
TEİAş	Türkiye Elektrik İletim Anonim şirketi
TEK	Türkiye Elektrik Kurumu
TETAş	Türkiye Elektrik Ticaret Anonim şirketi
TÜİK	Türkiye İstatistik Kurumu
US	Uzman Sistemler
WASP	Wien Automatic System Planning Package
YİK	Yap İşlet
YİD	Yap İşlet Devret
YSA	Yapay Sinir Ağları

1. GİRİŞ VE LİTERATÜR TARAMASI

1.1. Giriş

Sanayi ve teknoloji, günümüz dünyasında hızlı bir biçimde gelişmeye devam etmektedir. Bu gelişmenin tartışmasız en önemli kaynağı olan enerji günlük hayatın vazgeçilmezleri arasında ilk sıralardadır. Bu enerjinin çok önemli miktarını elektrik enerjisi oluşturmaktadır. Elektrik enerjisi birçok farklı kaynaktan elde edilip yine çok çeşitli tüketim alanlarında kullanılmaktadır.

Toplumsal gelişmişliğin bir göstergesi haline gelen enerji, 1970'li yıllarda dünya genelindeki enerji darboğazlarının ardından halen dünya ülkelerinin öncelikleri arasında ilk sıradaki yerini korumaktadır. Enerji üretimi, iletimi ve dağıtımının planlanması gelişmekte olan ülkelerde oldukça kritik bir öneme sahiptir. Bu nedenle elektrik enerjisinin etkin ve verimli biçimde kullanılmasına yönelik çalışmalar, bilgi ve teknoloji çağı olan günümüzde gündemin en önemli maddelerinden biri durumundadır.

Türkiye'de elektrik enerjisi talebi, artan nüfus, kentleşme, sanayileşme, teknolojinin yaygınlaşması ve refah artışına paralel olarak yükselmesini sürdürmektedir. Türkiye'de elektrik enerjisi tüketimi, geçen 40 yılda, yıllık ortalama %10'luk bir hızla büyümüştür. Bu artış hızı son 20 yılda % 8,5 düzeyine gerilemiştir. Azalan artış hızına rağmen talebin tüketimde doyuma ulaşılıncaya kadar daha uzun bir süre yüksek oranlarda artmaya devam etmesi beklenmektedir. Yapılan tahmin hesaplamaları bu durumu net bir şekilde göstermektedir.

Söz konusu tahminlerin, gerçekçi veri ve varsayımlarla abartılmadan yapılmasının, Türkiye'nin gereksiz külfetler altına sokulmaması açısından hayati önemi bulunmaktadır (Güneşi, 2002). Elektrik enerjisinin üretimi, iletimi ve dağıtımı ile yükümlü bulunan kuruluşların amacı, üretilen enerjinin tüketicilere ucuz, kaliteli ve sürekli olarak sunulmasıdır. Bu sebeple geçmiş yıllardan elde edilen veriler ve gelecekte ortaya çıkabilecek durumların öngörülerek gerçeğe en yakın tahminlerin yapılması bu sektörde hizmet veren kurumların en önemli görevidir.

Elektrik enerjisi, üretim yerinden uzaklara dağıtım şebekeleri ile kolayca taşınabilen, dağıtımı kontrol altında tutulabilen, temiz bir enerji kaynağıdır. Elektrik enerjisi sektörünün sağlıklı gelişimi için talep, arz, iletim, dağıtım ve fiyatlandırma konularında planlar yapılması büyük öneme sahiptir. Yapılacak planlama çalışmalarında karşılaşılan en önemli sorunlardan biri, gelecekteki talep bilgileridir.

Enerji sisteminin planlamasının ilk ve en önemli adımlarından biri yük tahminidir. Elektrik enerjisi talep tahminine yönelik çalışmalar üç sınıfta değerlendirilebilir:

1. Kısa dönemli tahmin: Saatlik, günlük veya haftalık,
2. Orta dönemli tahmin: Aylık, üç aylık, yıllık
3. Uzun dönemli tahmin: Bir yıldan daha uzun dönemler (Yoldaş, 2006).

Ekonomik gelişme düzeyleri yükseldikçe ülkelerin toplam enerji tüketimleri içinde elektrik enerjisinin payı artmaktadır. Ayrıca birçok ülkede ekonomik gelişmeyi sürükleyen sanayi sektörünün oransal olarak en fazla elektrik enerjisi tüketen sektör olması da ekonomik gelişme ile elektrik enerjisi ilişkisinin artmasına neden olmaktadır.

Büyük bir elektrik enerji sisteminin planlanmasında, planlama dönemleri ve içerikleri göz önüne alındığında, üretimden dağıtıma belirli bir sıra izlenir. Her donanımın planlanması için bir önceki planın verilerinden faydalanılır. Planlama sıralaması, sistem donanımları için kurulma ve devreye girme sürelerine bağlıdır.

Planlama konusunun öneminin anlaşılması ile birlikte bu alanda önemli gelişmeler yakanmaya başlanılmıştır. Bu gelişmelere bağlı olarak yapılan tahminlerin gerçeklik oranlarının arttırılması ile ilgili çalışmalar artış göstermektedir. Yapılan çalışmalarda çok çeşitli yöntemler ele alınarak mevcut tahmin yöntemlerine dâhil edilmeye çalışılmaktadır. Tahmin modellemesinde kullanılabilecek yöntemlerin çeşitliliği, model seçiminde bazı zorluklarıda beraberinde getirmektedir.

Tahmin performansını artırmak için model seçiminde zaman zaman teorik kriterler yerine tahmin performansına yönelik kriterler ön plana çıkmaktadır. Tahmin doğruluğuna yönelik çalışmalar, çeşitli modellerin tahmin doğruluklarını değerlendirmeye ve karşılaştırmaya yönelik metotlar üzerinde yoğunlaşmıştır. Diğer taraftan, alternatif bir yöntem olarak farklı modellerden alınan tahminlerin birleştirilmesi ile tahmin kalitesinin yükseltilmesine yönelik çalışmalar da bulunmaktadır.

Elektrik enerjisinin sağlıklı ve yüksek verimli kullanılabilmesi için tüketilen elektrik enerjisi kadar elektrik üretilmelidir. Bunun yanında bugün mevcut olan elektrik enerji sistemlerinin gelecekteki artan enerji talebini karşılayacak şekilde büyütülmesi gerekmektedir. Kişisan hayatının tüm alanlarında elektrik enerjisine olan bağımlılık bu zorunluluğu doğurmaktadır.

1.2. Literatür Taramasõ

Özellikle son yõllarda birçok elektrik yük tahmini çalõşmasõ yapõlmõş ve birçok farklõ yöntem kullanõlmõştõr. Yapõlan çalõşmalardan bazõlarõ ve kullanõlan yöntemler aşağõda sõralanmõştõr.

Türkiye'nin sosyo-ekonomik yapõsõ, nüfus artõşõ, büyüme hõzõ gibi konular göz önünde tutularak regresyon analizi yöntemi ve Yapay Sinir Ağlarõ (YSA) ile Türkiye'nin 2005'i 2020 yõllarõ arasõndaki elektrik enerjisi talep gelişimi projeksiyonu yapõlmõştõr (Yoldaş, 2006).

Gölbaşõ bölgesine ait 2002 ve 2003 yõllarõndaki gerçek güç ve sõcaklõk değerleri kullanõlarak YSA ve regresyon analizi yöntemi ile Gölbaşõ bölgesinin kõsa dönemli yük tahmini uygulamasõ yapõlmõş ve YSA yönteminin gerçek değerlere daha yakõn sonuç verdiği belirlenmiştir (Ceylan, 2004).

Türkiye'nin 1970'i 1990 yõllarõ arasõndaki nüfus, iskân ve GSMH verileri kullanõlarak çoklu regresyon analizi yöntemi ile Türkiye için 2000 yõlõna kadar elektrik enerjisi talep projeksiyonu yapõlmõştõr (Kakilli, 1993).

Nüfus, GSMH, sanayi üretim endeksi, petrol fiyatlarõ gibi ekonomik ve sosyal göstergeler temel alõnarak YSA ve regresyon analizi yöntemleriyle (Geri yayõlõm algoritmasõ kullanan bir YSA modeli ve çok değişkenli regresyon analizi modeli) Türkiye için uzun dönem yük tahmini uygulamasõ gerçekleştirilmiştir (Akar, 2005).

Bursa ilinin 1995'i 2004 dönemine ait yük tüketimleri ve çevre koşullarõ (sõcaklõk, nem ve rüzgâr değerleri) ile ilgili veriler kullanõlarak YSA yöntemi ile orta ve uzun dönem yük tahmini yapõlmõştõr (Çilliyüz, 2006).

Türkiye'nin nüfus, GSMH ve elektrik enerjisinde kullanõlan yakõt fiyatlarõna ait verileri kullanarak ENPEP programõnõn MAED ve WASP alt modülleri ile 2020 yõlõna kadar Türkiye elektrik enerjisi talep projeksiyonlarõnõ yapõlmõş ve geçmişte yapõlmõş diğer projeksiyonlarla karşõlaştõrõlmõştõr (Keleş, 2005).

Nüfus, GSMH, 6 yõllõk puant güç değerleri, yõl içinde puantõn olduğu günde tüketilen enerji değerleri ve yõllõk toplam tüketilen enerji değerleri kullanõlarak regresyon analizi yöntemi ile 2010 yõlõna kadar Ankara metropol alanõ yük tahmini çalõşmasõ yapõlmõştõr (Şener, 2005).

2001'i 2004 yõllarõ arasõndaki tüketilen elektrik enerjisi verileri kullanõlarak hareketli ortalamalar yöntemi ve YSA yöntemi ile Niğde bölgesinin elektrik enerjisi yük tahmini çalõşmasõ yapõlmõştõr (Yalçõnöz ve Herdem, 2000).

1970'i 1999 yıllarına ait veriler kullanılarak regresyon analizi ve YSA yöntemi ile 2010 yılına kadar Türkiye'nin elektrik enerjisi tüketimin tahmin edilmiştir. YSA yönteminin bir tahmin aracı olarak kullanılabilirliği ve oldukça iyi sonuçlar verdiği belirlenmiştir (Hamzaçebi, 2004).

YSA yöntemi kullanılarak İstanbul'un bazı bölgeleri için yük tahmin analizi gerçekleştirilmiştir (Erkiyok, 1995).

En küçük kareler yöntemi kullanılarak Gaziantep yöresi için beş yıllık yük tahmin analizi gerçekleştirilmiştir (Hengirmen ve Kabak, 1999).

En küçük kareler, hareketli ortalamalar ve basit exponansiyel yöntemleri, Gaziantep bölgesinin toplam enerji ihtiyacının tahmin edilebilmesi için kullanılmış ve böylece ilgili yöntemlerden elde edilen değerler birbirleriyle karşılaştırılmıştır (Hengirmen, 1999).

Beş farklı tahmin yaklaşımı ile Niğde bölgesine ait yük tahmin analizi gerçekleştirilmiş ve bu yaklaşımların birbirlerine göre farklı kullanım biçimleri üzerinde incelemeler gerçekleştirilmiştir (Yalçınöz ve Karadeniz, 2000).

YSA kullanılarak 2008-2014 yılları için Türkiye'nin uzun dönem elektrik talep tahmini yapılmış ve MAED modeli ile karşılaştırılmıştır. (Çunkaş ve Altun, 2010)

Yapılan bu tez çalışmasının birinci bölümünde tez çalışmasının konusu olan planlama ve elektrik yük tahmini konuları kısaca tanımlanmış ve konu hakkında daha önce yapılan diğer akademik çalışmalar incelenmiştir.

İkinci bölümünde, Türkiye elektrik sektörünün geçmişten günümüze kadar olan yapılanma süreci incelenmiştir. Elektrik üretim, iletim ve dağıtımın görevini yapan kurumlar ve sektördeki diğer kamu-özel kurumların çalışmaları ele alınmıştır.

Üçüncü bölümde, planlama kavramı açıklanarak planlamanın enerji sektörü için önemi ve aşamaları detaylı biçimde incelenmiştir. Yapılacak planlama çalışmalarında kullanılacak etken faktörler ve yük çekitleri tanımlanmıştır.

Dördüncü bölümde elektrik yük tahmini ile ilgili kullanılan tahmin yöntemleri detaylı biçimde incelenmiştir. Kullanılan yöntemlerin farklılıkları, avantajları ve dezavantajları sıralanmıştır.

Beşinci bölümde ise Türkiye'nin 2010-2025 yılları arasındaki puant yük talebi ve toplam elektrik enerjisi talebi matematiksel modelleme kullanılarak tahmin edilmiştir. Yapılan tahmin sonuçları diğer akademik çalışmalar ve uygulamada kullanılan yöntemlerle karşılaştırılmıştır. Altıncı bölümde tez çalışmasının sonucu ve yedinci bölümde ise kullanılan formüllerin elde edilişi açıklanmıştır.

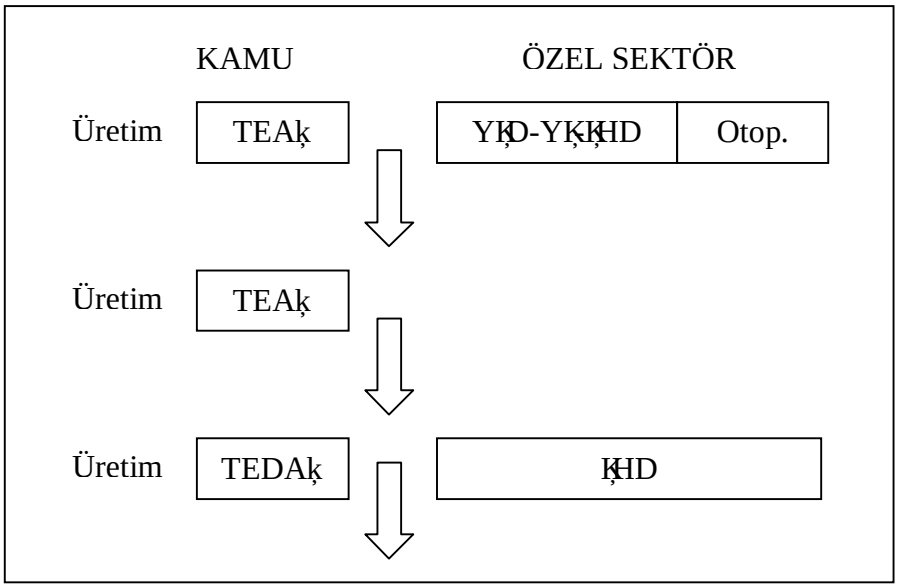
2. TÜRKİYE ELEKTRİK SEKTÖRÜNÜN İNCELENMESİ

2.1. İlgili Kurum ve Kuruluşlar

Türkiye, ilk defa 1902 yılında Mersin'in Tarsus ilçesinde bir su değirmeninden yararlanılarak üretilmiş olan hidroelektrik enerji sayesinde elektrik enerjisiyle tanışmıştır (Tutuş, 2005). Ardından 1913 yılında ilk büyük santralin İstanbul Silahtarağa'da kurulmasıyla Türkiye'de gerçek anlamda ilk kez elektrik sektörü oluşmuştur. Ancak ilk elektrik işletmeciliği 1935 yılında 2805 sayılı kanunla kurulan Etibank ile başlamıştır. 1970 yılına kadar bu kapsamda faaliyet gösteren elektrik enerjisi sektörü 15.07.1970 tarih ve 1312 sayılı kanunla Etibank'tan ayrılarak Türkiye Elektrik Kurumu'na (TEK) devredilmiştir. TEK'in kurulmasıyla Türkiye elektrik sektöründe ilk kez kurumsal bir yapıya kavuşulmuştur. 1984 yılına kadar, Türkiye elektrik endüstrisi, kamu mülkiyetinde dikey entegre tekel yapı özelliği göstermektedir. 1984 yılında, 3096 sayılı kanun ile özel sektörün elektrik üretimi, dağıtımı ve ticareti yapabilmesine, dolayısıyla kamu tekeli dışındaki firmalara imkân tanınmıştır (Akçollu, 2003). 1993 yılında, 4789 sayılı Bakanlar Kurulu kararıyla, TEK, üretim ve iletim piyasalarından sorumlu olan Türkiye Elektrik Üretim İletim A.Ş. (TEAŞ) ve dağıtım piyasasından sorumlu olan Türkiye Elektrik Dağıtım A.Ş. (TEDAŞ) olmak üzere ikiye bölünmüştür. 1994'ü 1997 yılları arasında Yap-İşlet-Devret (YİD), İşletme Hakkı Devri (İHD) ve Yap-İşlet (Yİ) modelleri çerçevesinde yatırımların yapılması ve hizmetlerin verilmesi için kanunlar çıkarılmıştır.

1999 yılında 4446 sayılı kanun ile tahkime ilişkin anayasa değişikliği yapılmış ve 2000 yılında (elektriğin dâhil olduğu) kamu hizmetleri ile ilgili imtiyaz sözleşmelerinde tahkim yoluna başvurulmasıyla ilgili 4501 sayılı kanun yürürlüğe girmiştir. 2000 yılında 1312 sayılı Bakanlar Kurulu Kararıyla TEAŞ, Türkiye Elektrik Üretim A.Ş. (EÜAŞ), Türkiye Elektrik İletim A.Ş. (TEİAŞ) ve Türkiye Elektrik Ticaret ve Taahhüt A.Ş. (TETAŞ) olmak üzere üç bağımsız bölüme ayrılmıştır. Elektrik piyasalarının düzenlenmesi amacıyla 2001 yılında 4628 sayılı yasa ile Enerji Piyasası Düzenleme Kurulu (EPDK) teşkil edilmiştir. Daha sonraları doğal gaz, petrol ve LPG piyasalarının düzenlenmesi görevlerini de alan EPDK tarafından, TEİAŞ'a 13 Mart 2003 tarihinde İletim Lisansı verilmiştir. Bu çerçevede TEİAŞ, yeni piyasa yapısına uygun olarak merkez birimleri ve ülkenin her bölgesine dağıtılmış tasarı, tesis, kontrol, işletme, bakım ve yük dağıtım birimleriyle faaliyetlerine devam etmektedir.

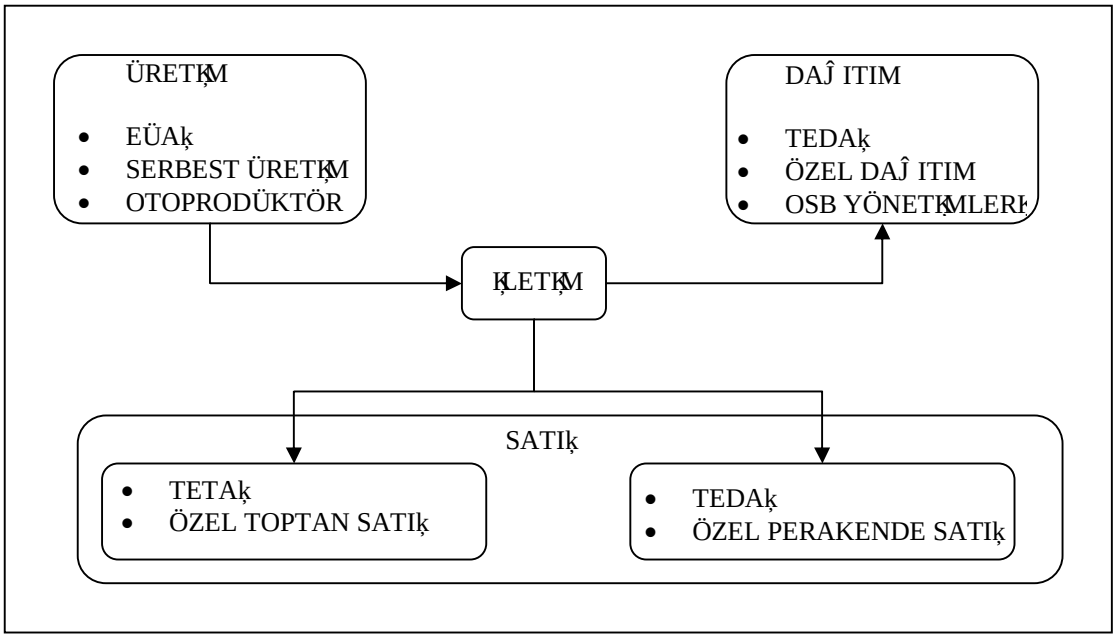
EPDK, bağımsız nitelikte bir üst kuruldur. Bir kamu kurumu olmasına karşın hükümetin vesayeti altında değildir. Böyle bir yapı kurulmak suretiyle enerji piyasalarının tarafsız bir otorite tarafından ekonomik kurallar dikkate alınarak yönetilmesi hedeflenmiştir.



Sekil 2.1: Türkiye'de 4628 Sayılı Kanun Öncesi Elektrik Sektörü

Türkiye'de, 2000 yılı sonuna doğru, uzun süredir yürütülen elektrik sektöründe reform ve bunu destekleyen yeni kanun çalışmaları hızlanmış ve 2001 yılının Mart ayında yeni elektrik piyasası kanunu yürürlüğe girmiştir. Yeni elektrik piyasası kanunu yürürlüğe girmeden önce elektrik piyasasında şekil 2.1'de de görüldüğü üzere, kamu (TEAŞ) tek alıcı konumundadır. TEAŞ ile özel sektör şirketleri arasında üretim piyasasında yirmi yıllığına YİD, YİK ve İHD modelleri çerçevesinde anlaşmalar imzalanmıştır.

Dağıtım piyasasında ise TEDAŞ ile özel sektör şirketleri arasında otuz yıllığına İHD sözleşmeleri imzalanmıştır. Söz konusu imtiyaz sözleşmeleri ile uzun dönem alım/gelir garantileri verilmiştir. Elektrik sisteminin bahsedilen dönüşümlerden sonra ortaya çıkan yapısı da şekil 2.2'de verilmiştir.



Şekil 2.2: Türkiye'de 4628 Sayılı Kanun Sonrası Elektrik Sektörü

2.2. Elektrik Piyasasının Dönemsel Gelişimi

Türkiye'de elektrik enerjisi sektörünün dönemsel incelenmesine bakıldığında; ilk defa 1902 yılında Mersin'in Tarsus ilçesinde, günümüzde mikro santral boyutunda olan 2 kW kurulu gücündeki su değirmeninden yararlanılarak üretilmiş olan hidroelektrik enerji santraline rastlanmaktadır. Bu santral, o günün Türkiye'sinde hidroelektriğin gelişimi için oldukça önemli bir başlangıç olmuştur.

Bu dönemden başlamak üzere Türkiye'deki elektrik enerjisinin gelişimi 6 periyotta değerlendirilebilmektedir.

1. Kıntiyazlar ve dağınık uygulamalar dönemi (1970'e kadar)
2. Bütünleşme (Yarı tekel) dönemi (1970'ı 1982)
3. Kamu tekeli dönemi (1982'ı 1983)
4. Özel sektöre açılım dönemi -YİD, YİK, İHD, Otop.- (1984'ı 2001)
5. Piyasa dönemi(2001 ı 2003)
6. Serbest (Rekabetçi) piyasa dönemi (2003 - é)

2.2.1. Birinci dönem (1902–1970)

2 kW gücündeki santralle başlayan bu dönemde 1910'lu yıllardan itibaren, yabancı şirketlerle yapılan imtiyaz anlaşmalarıyla santraller kurdurulmuştur. Bu dönemde sektörde birden fazla elektrikle iştigal eden kuruluşun faaliyet göstermesi nedeniyle bir dağınıklık dönemi yaşanmıştır.

Türkiye Cumhuriyeti'nin kurulduğu 1923 yılında kurulu güç 33 MW'tı. 1930 yılından itibaren endüstrinin gelişmesiyle birlikte elektrik enerjisi aydınlatma dışında da kullanılmaya başlamıştır. 1932 yılında Bayındırlık Bakanlığı'na bağlı olarak su ile ilgili işler başlatılmış ve Türkiye'nin enerji ihtiyacını belirlemek, su ve diğer enerji kaynaklarıyle ilgili inceleme ve araştırmalar yapmak amacıyla 1935 yılında Elektrik İşleri Etüt İdaresi kurulmuştur. Dönemin en önemli projeleri Seyhan Sarıyar, Hirfanlı, Kesikköprü, Demirköprü ve Kemer Barajlarıve hidroelektrik santrallerdir (HES). 1940 yılına kadar 28 adet HES kurulmuştur. Aynı dönemde kurulmuş olan Etibank ve İşler Bankasıise küçük ölçekli HES'lerin inşaası, köy ve kasabaların elektrifikasyonu ile ilgili işleri yürütmüştür.

1950 yılında toplam kapasite içerisinde hidroelektriğin payı 18 MW kurulu güç ile %4,4'e ulaşmıştır. 1954 yılında su ve toprak kaynaklarının geliştirilmesi amacıyla Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü'nün (DSİ) kuruluşuyla birlikte hidroelektrik projelere ağırlık verilmiş ve bu dönemin sonunda toplam enerji üretimi içinde hidroelektrik enerjinin payı %35'e ulaşmıştır.

2.2.2. İkinci dönem (1970–1982)

Ülkede artan üretim, dağıtım ve iletim ihtiyaçlarıkurumsal bir yapıyı gerekli kılmış bu ihtiyaçtan dolayı 1970 yılında yürürlüğe giren TEK yasasıile Türkiye Elektrik Kurumu (TEK) kurulmuş ve sektördeki dağınıklık kısmen giderilmiştir. TEK'in kurulmasıyla birlikte genellikle üretim alanlarının tüketim alanlarından çok uzakta olduğu hidroelektrik projeler için çok önemli olan enterkonnekte sistem geliştirilmiştir. Türkiye'nin Keban (1330 MW), Karakaya (1800 MW), Atatürk (2400 MW), Altınkaya (700 MW), Oymapınar (540 MW) gibi birçok büyük projesi bu dönemde projelendirilmiş veya gerçekleştirilmiştir. Bu dönemde hidroelektrik projeler altın çağını yaşamış ve dönem sonunda hidroelektriğin 3082 MW kurulu güç ile toplam üretim içindeki payı %53'e ulaşmıştır.

2.2.3. Üçüncü dönem (1982ï 1983)

1982 yõlõnda, askeri yönetim döneminde, belediyeler elindeki elektrik daîõtõm úebekeleri bir yasa ile TEK bünyesine katõlmõú böylece elektrik sektöründe çok kõsa süreli bir kamu tekeli dönemi yaúanmõútõr. Bu dönemde sadece 157 MW kurulu güç sisteme ilave edilebilmiútir (Tutuk, 2005).

2.2.4. Dördüncü dönem (1984ï 2001)

Ikinci ve üçüncü dönem olan 1970 ve 1983 yõllarõ arasõnda elektrik enerjisi yatõrõmlarõnda özellikle de HES yatõrõmlarõnda genellikle kamu hâkimiyeti söz konusudur. Dönemin sonlarõnda ortaya çõkan elektrik arz eksikliîi ve kamu kaynaklarõnõn yeni yatõrõmlar için yetersiz kalmasõ sonucunda TEK tekeli kaldõrõlmõú, sektörün özel giriúimcilere açõlmasõna karar verilmiú ve 3096 sayõlõ kanun ile YIS, YIKD, IKHD ve otoprodüktör modelleri ile özel teúebbüsün yatõrõm yapmasõ teúvik edilmiútir. Ancak son yõllarda açõîõn giderilebilmesi için baúvurulan bu modeller ciddi bir planlama sürecinden geçirilmeden uygulamaya konulmuútur. Bunun sonucu olarak 17 yõl boyunca sadece kurulu güçleri toplamõ 980 MW ve ortalama üretimleri toplamõ 3908 GWh/yõl olan 18 adet HES projesi YIKD modelinde, 29.80MW kurulu gücünde ortalama üretimi 50 GWh/yõl olan 1 adet proje IKHD modelinde iúletmeye alõnabilmiútir. 499.45 MW kurulu gücünde ve 1921 GWh/yõl ortalama üretime sahip 23 adet proje için ise otoprodüktör statüsünde sözleúme imzalanmõútõr.

1990'lõ yõllarda elektrik sektöründe yeterli yatõrõmõn yapõlamamasõ nedeniyle ülkemiz elektrik enerjisi arz-talep dengesinde kritik bir dönemden geçmiú. 1997 yõlõnda 105,5 milyar kWh olan talebin 2,2 milyar kWh'i, 1998 yõlõnda 114 milyar kWh olan talebin 3 milyar kWh'i, 1999 yõlõnda ise 118,5 milyar kWh olan talebin 2,3 milyar kWh'i ithalat yoluyla karúõlanmõútõr. Ayrõca bu dönemin sonlarõnda, yanõltõcõ verilerle yapõlan planlama çalõúmalarõyla hidroelektrik projelerin enerji üretimindeki payõ geriletilirken doîalgaz ile çalõúan santrallerin payõ artõrõlarak ülke iyiden iyiye dõúa baîõmlõ hale getirilmiútir. 2000 yõlõ kõú döneminde doîalgaz teminindeki aksamalar, akõúõ soîuklar nedeniyle doîalgaz alõmõndaki ani artõú ve termik santrallerdeki bazõ münferit problemler nedeniyle kõsa süreli de olsa elektrik kesintilerine yaúanmõútõr.

2.2.5. Beşinci ve altıncı dönem (2001-...)

3096 sayılı kanun kapsamında uygulanan modellerin başarıya ulaşmaması sonucunda Dünya Bankası'nın girişimiyle ve Avrupa Birliği (AB) mevzuatına paralel olarak başlatılan yeniden yapılanma çalışmaları sonucunda 4628 sayılı Elektrik Piyasası Kanunu 3 Mart 2001 tarihinde yürürlüğe girmiş ve yeni piyasa modeli 3 Eylül 2002 tarihinden itibaren uygulamaya konmuştur (Tutuş, 2005).

2.3. Türkiye'de Uygulanan Yük Tahmini Çalışmaları

Ülkemizde özellikle 2001 yılında üç bölüme ayrılan TEAŞ yapısından sonra planlama konusunda etkili çalışmalar başlatılmış ve kapasite projeksiyonu TEİAŞ, üretim projeksiyonu da EÜAŞ tarafından yapılmaya başlanmıştır. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı çatısı altında toparlanan bu çalışmalarda uluslar arası yöntemler ele alınmakta ve gerçekçiliği diğer ülkeler tarafından da teyit edilen modeller kullanılmaktadır. Kısaca ENPEP (Energy and Power Evaluation Program) olarak isimlendirilen ve içerisinde farklı amaçlar için çalışan birçok alt modülün olduğu bu program sayesinde geleceğe dönük üretim ve kapasite projeksiyonları gerçekleştirilerek uzun dönem yatırımlara yön verilmeye çalışılmaktadır.

2.3.1. ENPEP modeli ve modülleri

ENPEP, Uluslararası Atom Enerjisi Ajansı (International Atomic Energy Agency - IAEA) ve Ulusal Argon Laboratuarı (Argonne National Laboratory - ANL) tarafından; Amerika Birleşik Devletleri Enerji Bakanlığı, Macaristan Elektrik Kurumu ve Dünya Bankası desteğiyle tasarlanmıştır. Gelişmekte olan ülkelerin enerji analizi yeteneklerini artırmak, bunun için uygun alt yapıyı kurmak, makroekonomiden çevresel etkilere kadar geniş bir yelpazeyi kapsamak ve çeşitli alternatif çalışmalar yapılmasına yardımcı olmak amacıyla hayata geçirilmiştir.

Günümüzde, yaklaşık 90 ülkede enerji planlamasında bu programın tam sürümü veya bazı alt modülleri kullanılmaktadır. 9 farklı modülün bir arada çalıştırılmasını sağlayan ENPEP bir yönetici modeldir. Modül adları ve işlevlerini aşağıdaki gibi özetleyebiliriz.

MACRO: Makroekonomik büyüme varsayımlarının enerji talep projeksiyonlarında kullanılabilecek forma dönüştürülmesi,

BALANCE (Enerji Kaynaklarıve Talep Dengesi - Balance of Energy Supplies and Demands): Kaynaktan son kullanıcıya kadar olan tüm aşamalarda, enerji kaynaklarının talep noktalarına dengeli ve ekonomik olarak dağıtılmasını sağlayacak biçimde enerji arz-talep projeksiyonlarının yapılması,

DEMAND: MACRO'dan alınacak veriler ışığında, enerji ve yakıt talep projeksiyon setlerinin hazırlanarak, BALANCE modülünce kullanılmalarının sağlanması,

MAED (Enerji Tahmin Analizi Modeli - Model For Analysis of Energy Demand): Uzun dönemli enerji ve elektrik talep tahminlerinin deterministtik senaryo yaklaşımı ile simüle edilmesi,

WASP (Viyana Otomatik Sistem Planlama Paketi - Wien Automatic System Planning Package): MAED tarafından öngörülen elektrik talebinin en düşük maliyetle ve en optimum şekilde karşılanabilmesini sağlayacak elektrik üretim sistem planlamasının hazırlanması,

LDC (Yük Zaman Eğrileri - Load Duration Curves): BALANCE ve MAED'den alınacak bilgiler yardımıyla, WASP modelinde elektrik üretimiyle ilgili hesaplamalarda kullanılacak verilerin hazırlanması, dönüştürülmesi ve gerekli hesaplamaların yapılması,

PLANTDATA: Termik ve hidrolik santrallere ait bilgilerin tutulması, WASP ve BALANCE modellerine veri sağlanması,

ICARUS (Enerji Sistemindeki Maliyetler ve Güvenilirliğinin Araştırılması - Investigating Costs and Reliability in Utility Systems): Elektrik teçhizat ve sistemlerinin alternatif gelişim senaryolarıile maliyet ve güvenilirlik analizleri üzerine raporlamalar yapılması,

IMPACTS (Çevresel Etkiler ve Kaynak Planlama Paketi ï Environmental Burdens and Resource Planning Package): BALANCE ve WASP modellerinden elde edilen sonuçlar kullanılarak, alt sektörlerden (elektrik, sanayi, konut, ulaştırma, tarım) kaynaklanan CO_2, NO_2 ve SO_2 emisyonlarıve bu emisyonların azaltılmasına yönelik çevre koruma teknolojilerinin maliyet analizinin yapılması.

Türkiye'de, ENPEP'in 9 alt modülünden 4'ü (BALANCE, MAED, WASP ve IMPACTS) ilgili kurumlar tarafından aktif bir biçimde kullanılmaktadır. Bu modüllerden elektrik enerjisi talep tahmini işlevini gerçekleştiren MAED modülü Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı (ETKB) tarafından kullanılmakta ve elde edilen sonuçlara göre enerji sisteminin planlaması yapılmaktadır.

2.3.1.1. MAED modülü

Genel enerji planları içerisinde talep tahmin çalışmasının hassas ve gerçeğe en yakın bir şekilde yapılması olması önemlidir. Büyük sermaye gerektiren enerji sektörü yatırım kararlarının alınmasında, talep çalışmalarının sonuçları önemli rol oynamaktadır. Talep çalışmalarının çeşitli ekonomik, sosyal, teknik ve coğrafi değişkenleri kapsaması, etkilerini irdelemesi ve revize edilebilir olması sağlıklı bir planlama yapılabilmesi açısından şarttır.

Ülkemiz genel enerji planlaması çalışmaları için ETKB'nca, MAED talep modeli kullanılarak genel enerji ve genel enerji içerisinde çok önemli bir bölüm teşkil eden elektrik enerjisi talepleri belirlenmektedir. Bu çalışmaların önemli bir safhasını teşkil eden elektrik enerjisi üretim planlaması çalışmaları ise TEİAŞ Genel Müdürlüğü'nce WASP modülü kullanılarak yapılmaktadır. ETKB'nca halen kullanılmakta olan MAED modeli, ülkenin orta ve uzun dönemli genel enerji ve elektrik enerjisi talebini değerlendiren bir simülasyon modelidir. Çok geniş bir girdi listesi olan model; ekonomik, sosyal ve teknik yapıyı detaylı olarak irdelemekte, benimsenen politika ve kararlar çerçevesinde enerji taleplerini ortaya koymaktadır. Hedef ve politikalardaki değişikliklerin kısa süre içerisinde modele yansıtılabilmesi planlama çalışmalarına önemli bir boyut kazandırmaktadır.

Modelin uygulanması, öncelikle tüm istatistik bilgileri güvenilir olarak belirlenmiş geçmiş bir yıldan başlayı yıl olarak seçilmesi ile başlamaktadır. Model esas olarak sabit parametreler ve teknik parametreler olmak üzere iki tip veri kullanmaktadır. Sabit parametreler, baz yılın yapılanması için gerekli parametrelerdir. Teknik parametreler ise projeksiyonların belirlenmesi için kullanılmaktadır. Gelecek yıllara ilişkin enerji taleplerinin sağlıklı olarak belirlenebilmesi amacıyla, baz yıla ilave olarak gerçekleşen bir yılın enerji talebi, model vasıtasıyla da ortaya konulmakta ve model sonuçlarının doğruluğunun kontrolü gerçekleştirilmektedir.

Modelden elde edilen elektrik enerjisi talep projeksiyonu modelde kullanılan verilerin tamamına duyarlıdır. Ancak bu duyarlılık veriye göre değişiklik göstermektedir. Bu nedenle, modelde kullanılan verilerin gerçek değerlere daha yakın olması için verilerin arasındaki ilişki durumunun doğru tespit edilmesi gerekmektedir. Bunun sonucu olarak kısa ve orta dönemde elektrik enerjisi talep gerçekleşmeleri tahminlere daha yakın sonuçlar ortaya koymaktadır.

Model; kişilerin sosyal ihtiyaçlarındaki değişim, ülkenin kalkınma ve sanayileşme politikası, ulaştırma ve teknolojik gelişme gibi alanlarda benimsenen politikaları ayrıntılı olarak incelemektedir. Enerji talebinin sınıflandırılmasını sektörel olarak aşağıdaki biçimde belirlemektedir.

- Tarım
- Sanayi
- Ulaştırma
- Konut ve Hizmetler

Modele beş ana grup altında veri girişi yapılmaktadır. Bunlar; ekonomik ve sosyal veriler, sanayi verileri, konut verileri, hizmet ve ulaştırma sektörlerine ait verilerdir. Söz konusu verilerin bir bölümü, Devlet Planlama Teşkilatı (DPT) Müsteşarlığından ve Devlet İstatistik Enstitüsü Başkanlığından (DİE) temin edilmekte, bir bölümü ise çeşitli verilerin kullanılmasıyla hesaplanarak elde edilmektedir.

Gayri Safi Yurtiçi Hasılanın (GSYİH) bireylere ve sektörlere göre dağılımı ve nüfus gibi parametreler, modelin ana girdilerinden olup, sonuçları oldukça etkileyen hassas verilerdir. Sosyal faktörler arasında modelin hassas olduğu diğer veriler ise; işgücü potansiyeli, kırsal nüfusun gelişimi, ortalama hane büyüklüğü gibi verilerdir. Bu verilerin yanısıra modele çok sayıda sanayi, ulaştırma konut ve hizmetler sektörlerine ilişkin enerji tüketimini etkileyen veriler de girilmektedir.

Modele bir yıl için yaklaşık 170 adet veri girilmektedir. Modelde toplam yedi yıldan incelendiği göz önüne alındığında yaklaşık 1200 adet veri girişi yapılmaktadır. Model baz yıl verilerini teknik parametrelerle simüle ederek beş veya on yıllık aralıklarla projeksiyonları ortaya koymaktadır. Projeksiyon yıllarının seçimi isteğe göre değişebilmektedir. Ara yılların talepleri ekstrapolasyon yöntemiyle ve/veya GSYİH artış hızlarına dikkate alınarak uzmanlar tarafından belirlenmektedir.

3. PLANLAMA KAVRAMI VE ÖNEMİ

Genel anlamda planlama; bir veya daha fazla amaç belirleyerek, bunlara ulaşmak için gerekli araç ve yolların önceden belirlenmesi olarak tanımlanabilir. Planlama, işletme için amaç geliştirme, bu amaçlara ulaşmak için çeşitli alternatiflerin değerlendirilmelerini kapsayan süreçleri içerir. Elektrik enerji sistemlerinde planlama ise, belirlenen amaçlar doğrultusunda göz önüne alınan çalışma koşullarına göre sistemin gelişiminin ve buna ilişkin seçimlerin kesin ve açık olarak belirlenmesini gerektirmektedir. Elektrik enerjisinin üretimi, iletimi ve dağıtımındaki en önemli amaç, enerjinin tüketicilere ucuz ve kaliteli olarak ulaştırılmasıdır. Kişi başına düşen elektrik enerjisi tüketimi, çeşitli ölçütlerin yanı sıra, ülkelerin gelişmişlik durumlarını da açıklamakta kullanılan önemli bir faktördür.

Tüketicilere ekonomik, güvenilir, kaliteli ve sürekli elektrik enerjisi sunabilmek için mevcut olan elektrik enerji sistemlerinin gelecekteki elektrik enerji ihtiyacını ve puant yükü karşılayabilecek şekilde büyütülmesi gerekmektedir (Ceylan, 2004).

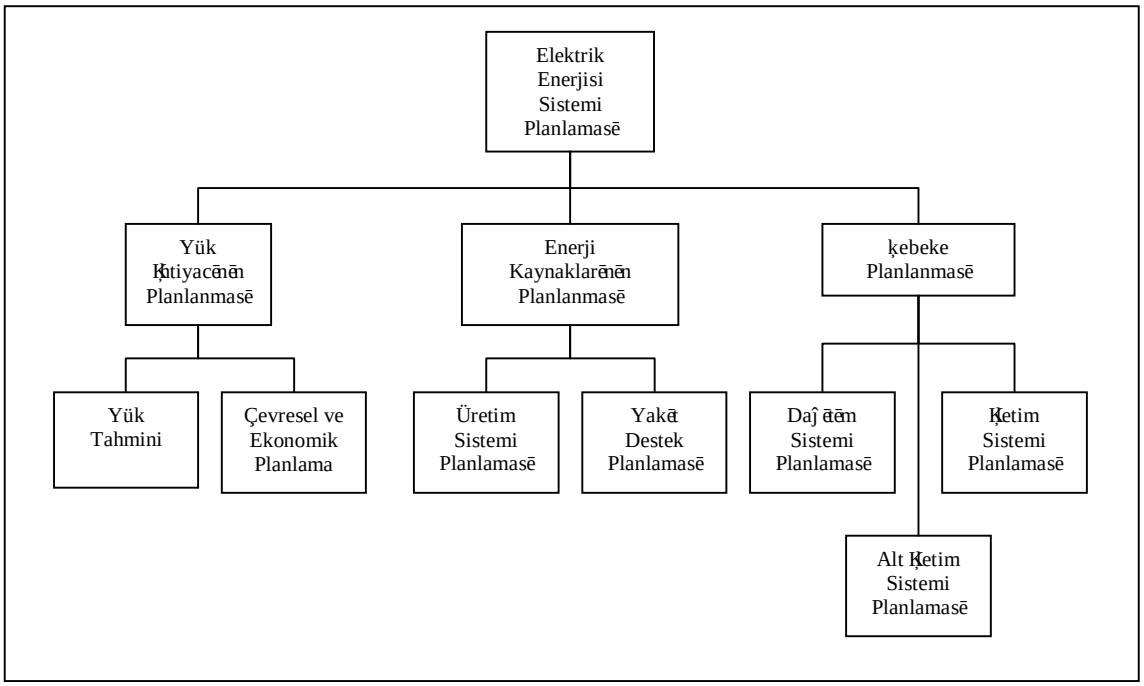
3.1. Planlama Süreci

Gelecekte de tüketicilere kaliteli ve sürekli elektrik enerjisi sağlamak için hızlı ve etkin planlama araçlarına gerek duyulacaktır. Elektrik enerjisi sistemi planlaması için üç ana başlık sayabiliriz. Bunlar yük ihtiyacının planlanması, bu ihtiyacı karşılayacak enerji kaynaklarının planlanması ve bu kaynaklardan son kullanıcılara elektrik enerjisini ulaştıracak olan şebekenin planlamasıdır. Bu planlama genel olarak şekil 3.1'de gösterilmiştir.

3.2. Elektrik Enerji Sisteminde Planlama Aşamaları

Kısa dönem planlamasında; doğrudan doğruya hızlı ve kesin kararlar alınmalıdır. Bu kısa zamanda, önerilen işletme programının seçimi yapılarak, kısa vadeli amaçların gerçekleştirilmesinde kullanılacak en kullanışlı alternatif yöntemlerin de değerlendirilmesiyle yakın gelecek için en iyi çözümlerin bulunması amaçlanır.

Orta dönem planlamasında; ise yapılacak işlemler daha geniş bir süreye yayılmaktır. Bu tür planlamada yatırım programının seçiminin yanı sıra, amaçların gerçekleştirilmesi için alternatif yollar değerlendirilerek geleceğe ilişkin belirlemeler yapılır ve programa konulur.



Şekil 3.1: Elektrik Enerjisi Sisteminin Planlaması.

Uzun dönem planlaması ise; elektrik enerjisinin üretimi, iletimi ve dağıtımında farklı alternatiflerin incelenebilmesine olanak sağlar. Planlama için kullanılacak birçok verinin farklı araçlar kullanılarak değerlendirilmesinin ardından gerçekçi yaklaşımlar ortaya çıkarılır. Ekonomik gelişmelerden sosyal girdilere kadar uzanan pek çok farklı veriyi birleştirerek ortaya çıkan sonuçları enerji tüketimi ile ilişkilendirmek ve geleceğe dönük gerçekçi sonuçlar ortaya çıkarmak için uzun ve detaylı bir çalışma yapılır. Aynı zamanda bu çalışma kısa dönem ve orta dönem planlama için alınan kararlarda ve geliştirilen yatırım programlarında da yönlendirici olarak işlev görür.

Genel olarak, elektrik enerji sistemlerinin planlamasında yapılan çalışmalar aşağıda verilmiştir.

- Yük tahmini,
- Üretim sisteminin planlaması,
- İletim sisteminin planlaması,
- Dağıtım sisteminin planlaması,
- Yakıt olanaklarının planlaması,
- Yöneylem planlaması,
- Çevresel planlama,
- Finansal planlama.

Büyük bir elektrik enerji sisteminin planlanmasında, planlama dönemleri ve içerikleri göz önüne alındığında, üretimden dağıtıma belirli bir sıra izlenir. Her donanımın planlanması için bir önceki planının verilerinden faydalanılır. Planlama sıralaması, sistem donanımları için kurulma ve devreye girme sürelerine bağlıdır (Yoldaş, 2006).

3.2.1. Yük tahmini

Elektrik enerji sistemi planlamasının ilk adımı, gelecekteki yük ihtiyacının tahminidir. Yük tahmini, geçmişteki ve şimdiki koşulların incelenerek değişkenlerin karakterlerinin çıkarılarak, gelecekteki durumun varsayımına dayanır. Etkili bir sistem planlaması için, puant yük ve toplam enerji ihtiyacının tahmin edilmesi gereklidir. Gerekli olan enerjinin tahmin edilmesi, üretim sistemi planlaması için oldukça önemlidir. Enerji santrallerine yapılması gerekecek eklemeler veya yeni enerji santrallerinin kurulması, puant güçler göz önüne alınarak, öngörülen enerji talebini karşılamak üzere belirlenir. Yük tahminleri sonucuna göre üretimle birlikte iletim ve dağıtım sistemlerine yapılması gereken kapasite eklemeleri ile bu eklemelere ilişkin yatırım maliyetleri belirlenmektedir.

Gerektiğinden düşük yük tahminlerine dayalı yapılan planlama, sistem güvenilirliğinin azalmasına, tüketiciye sunulan enerji arzının kısıtlanmasına ve enerji kalitesinde düşmelere neden olacaktır. Gerektiğinden fazla yük tahminlerine dayalı yapılan planlama ise tam kapasite ile hizmet veremeyen, düşük kapasiteyle çalışan ve dolayısıyla ekonomik olmayan işletme koşullarına neden olacaktır. Bu durumda sisteme yapılan büyük ölçekli yatırımlar önemli mali sorunlar ortaya çıkaracaktır.

Yük tahmini, enerji sektöründeki şirketler açısından planlama ve koordinasyonun yapılabilmesi için her zaman önemli bir konu olmuştur. Bununla beraber enerji mevzuatının yeniden düzenlenmesi ve üretim, iletim ve dağıtım sistem operatörlerine verilen görevlerin belirlenmesi ile yük tahmini daha fazla önem kazanmıştır. Talep ve arzdaki ani değişimler ve hava koşullarının değişmesi, bunlarla beraber puant durumlarda enerji fiyatlarının aşırı biçimde yükselebilmesi yük tahminin önemini arttırmaktadır.

3.2.2. Üretim sistemi planlaması

Üretim planlaması; enerji üretiminin gelecekteki maliyetinin ekonomik olması ve talep edilecek elektrik enerjisini karşılayabilecek yeterlikte, uygun üretim kapasitesinin sağlanabilmesi amacı ile yapılır. Mevcut enerji sistemine eklenmesi gereken ve/veya halen işletmede olan üretim merkezine eklenecek yeni birimlerin, yerlerinin, teknolojilerinin, tiplerinin, güçlerinin, devreye alınma zamanlarının belirlenmesi gereklidir. Bu nedenle üretim planlaması;

- Üretim kapasitesi planlaması,
- Enerji üretim maliyetlerinin belirlenmesi,
- Yatırım, işletme ve bakım maliyetlerinin hesaplanması;

aşamalarını kapsar. Üretim planlaması geliştirilirken, sisteme ilişkin güvenilirlik kriteri (enerjideki süreklilik) karşılanmalıdır. Gereken kapasiteyi belirlemek üzere, programlanan bakım işlerini de kapsayan üretim modelleri ile yük modelleri birleştirilerek incelenmelidir.

Sistemdeki üretim birimlerine ilişkin, kullanılacak hammaddenin yakın ve kolay elde edilebilir olması, dışa bağımlılık yönünden etkisi, bakım çalışmalarının ve öngörülen zorunlu devre dışı kalmaların süreleri, bunların sistem üzerindeki etkileri göz önüne alınarak, sistemin enerji ihtiyaçlarına karşı düşen üretim maliyetleri bulunur. Yer araştırması yapılırken santrallerin kurulması düşünülen yerlerin jeolojik özellikleri ve deprem riski araştırılır. Son olarak, yatırım, işletme ve bakım maliyetlerinin güncel değerleri hesaplanır ve önceden belirlenen bu değerler üzerinde daha ayrıntılı incelemelere gidebilir (Yoldaş, 2006).

3.2.3. İletim sistemi planlaması

İletim sistemi planlaması, üretim sistemi planlamasını takip eder. Bunun nedeni, iletim sistemi planlamasının üretim ve yük merkezlerinin konumları ile kapasitelerine bağlı olmasıdır. Ayrıca yeni iletim sistemi donanımlarının kurulma ve devreye alınma süresinin, üretim donanımlarının kurulması ve devreye alınması için gerekli olan zamandan kısa olması iletim sistemi planlamasının üretim sistemi planlamasını takip etmesinin nedenidir.

İletim sistemi planlamasının amacı, mevcut enerji sistemini göz önüne alarak, planlama süreci üzerinde iletim sisteminin gelişimini belirlemektir. Bu amaç, gelecekteki yük ve üretim senaryolarına, iletim koridorlarına (enerji iletim hatlarının geçebileceği ya da geçmesinin ekonomik olacağı yerler) ilişkin kısıtlamalara, yatırım maliyetlerine, iletim sistemi elemanlarının kapasitelerine ve öngörülen güvenilirlik kriterine bağlıdır. Bir iletim sisteminin geliştirilmesi için bilgisayar programlarından yararlanılarak, değişik çalışma koşulları altında ortaya çıkabilecek problemleri uygun şekilde aşılması ve bunun için de farklı üretim ve yük gruplarının kullanılması alternatiflerinin değerlendirilmesi yararlı olmaktadır. İletim hattı, optimal durumda, bazı hatların devreden çıkarılması ya da bazı hatlarda arıza olması durumlarında da ayrı ayrı incelenmelidir.

Enterkonnekte sistemlerin oluşturulmasına ilişkin alınan kararlar, güç alışverişinin gerçekleştirildiği sistemlerin her birinde ayrı ayrı ve birlikte iletim devresi eklemelerini zorunlu kılacağından, iletim sistemi planlamalarını etkileyecektir.

3.2.4. Alt iletim sistemi planlaması

Alt iletim sistemi planlaması, ana dağıtım istasyonlarını, indirici trafo merkezlerine (dağıtım trafolarına) bağlayan, gerilimi ana iletim sistemine oranla daha düşük gerilim kademesinde olan iletim elemanlarının ve dağıtım trafolarının yüksek gerilim tarafındaki planlama etkinliklerini kapsar.

3.2.5. Dağıtım sistemi planlaması

Dağıtım sistemi planlamasının amacı, hızla artan büyüme oranları ve yüksek yük yoğunluklarına göre, enterkonnekte sisteminden dağıtım transformatörleri aracılığıyla alınan elektrik enerjisini, mümkün olduğu kadar düşük maliyette, gereken yeterlilik ve nitelikte tüketicilere sunmaktır.

Dağıtım sistemi planlamasında indirici trafo merkezlerinin yerleşimleri, güçleri, karakteristikleri, gerilim kademeleri, besleme alanlarının büyüklükleri, yoğunlukları ve özellikleri göz önüne alınır. Bununla birlikte, güvenilir ve etkin maliyetli sistem planlamalarını sağlayabilmek için, ayrıntılı alt iletim sistemi planlamaları ve iletim sistemi planlamalarının öngördüğü düzenlemeler dikkate alınmalıdır (Yoldaş, 2006).

Dağıtım sistemi planlaması, tüketici düzeyinde bakılır. Talep değeri, talep türü, yük faktörü ve diğer tüketici yük karakteristikleri, gereksinim duyulan dağıtım sisteminin özelliklerinin saptanmasında ağırlıklı olarak etkilidir. Mevcut yük karakteristikleri belirlendikten sonra, dağıtım transformatörlerine bağlı dağıtım sistemi hatları saptanarak aralarında gruplaştırılır. Bu gruplama işleminin devamında dağıtım transformatörü yükleri ana dağıtım sistemi üzerindeki talepleri belirlemek için birleştirilir. Bulunan ana dağıtım sistemi yükleri daha sonra, indirici trafo merkezlerine atanır. Dağıtım sistemi yükleri, sıra ile indirici trafo merkezlerinin konumlarının, karakteristiklerinin belirlenmesini sağlayacak, böylece ilgili dağıtım elemanlarının kapasiteleri ile konumlarının saptanmasında etkili olacaktır. Dağıtım sistemi planlamacıları, dallı (radikal) ve halka (loop) şebekelerde güç akışı, kısa devre, gerilim düşümü, gerilim regülâsyonu, yük tahmininin yanı sıra güvenli ve sürekli enerjiyi sağlayabilmek için çaba gösterirler.

3.2.6. Yakıt destek ve yöneylem planlamaları

Yakıt destek ve yöneylem planlamalarının her ikisinin de amacı kıbeke işletmesine en uygun modeli belirlemek için ilgili verileri, üretim planlamasının geliştirilmesine yönelik olarak kullanmaktadır. Yakıt destek planlamasında, farklı yakıt türlerinin geçerlilikleri ve fiyatları tahmin edilir, uzun dönemde yakıt sağlanmasına ilişkin olarak yapılan girişimler ve bunların sonuçları topluca değerlendirilir. Yöneylem planlamasında ise, alternatif enerji kaynakları, enerji santrallerinin kapasitelerine ilişkin sınırlamalar, mevcut enerji santrallerinin bakımları gibi etkenler göz önüne alınır (Yoldaş, 2006).

3.2.7. Çevresel planlama

Çevresel planlamada, çevre ile ilgili kanun, yönetmelik ve sorumluluklar göz önüne alınarak kurulması düşünülen enerji üretim birimlerinin tipleri, konumlarının, boyutlarının ve geçerli yakıt olanaklarının değerlendirilmesi yapılır. Bu değerlendirme, sistem genişletme planları oluşturulurken uygun alternatiflerin bulunmasına olanak verir ve özellikle üretim planlaması için önemli bir veridir.

3.2.8. Finansal planlama

Finansal planlamada, çeşitli finansal analiz ve modeller, dönemsel, yıllık ve aylık raporların hazırlanmasında kullanılır. Sistem genişletmesine ilişkin para girişi ve çıkışları, vergi, sigorta vb. hukuki kısıtlamaları da içerecek şekilde saptanır. Finansal planlama, enerji kurumunun bütçe olanakları içinde, yatırım harcamaları üzerinde sınırlamalar getirir. Özellikle, Türkiye gibi enflasyon oranı yüksek ülkelerde, finansal planlamada işletmenin finansman durumu üzerinde enflasyonun etkileri göz önüne alınmalıdır. Enflasyon ortamında işletme aktiflerinin (kuruluşun sahip olduğu mal varlıkları) değerlerinin, en azından fiyatların genel seviyesinin artışına paralel olarak artırılması gerekir. Aktiflerin değerinin hangi oranda artacağına hükümet karar verir. İşletme, aktiflerinin değerini bu oranda artırmaktansa aktif değerini aynı tutarak üstünü fona dönüştürebilir. Bunlar yapılmadığı veya eksik yapıldığında kurumlar enflasyondan zarar görecekler ve bir süre sonra finansal dengelerini yitirerek, darboğazlarla karşılaşacaklardır.

3.2.9. Araştırma ve Geliştirme planlaması

Araştırma ve Geliştirme planlaması, özellikle üretim sistemlerine ilişkin olarak gelecekteki teknolojik gelişmelere göre alternatif enerji kaynaklarının geçerliliği, karakteristikleri ve maliyet ile ilgili bilgiler sağlar. Araştırma-Geliştirme, üretim ve planlama fonksiyonları arasında çok yakın ilişkiler kurulmasını, bu fonksiyonlar arasında işletme yönünden dengenin sağlanmasını ve aynı zamanda işletme stratejisinin işletme yeteneklerine uygun ve ekonomik biçimde belirlenmesini sağlar.

3.3 Tahmin Yöntemleri

Genel olarak tahmin yöntemleri, sübjektif, tek değişkenli, çok değişkenli, son kullanıcı ve birleştirme yöntemi olmak üzere beş ana grupta toplanabilir. Sübjektif yaklaşımlar, karar, önsezi, tecrübe ve benzer bilgileri kullanarak, tahmini yapan kişinin geçmiş verileri dikkate alarak yapacağı tahminlerdir. Tek değişkenli tahminler, zaman serisi analizi şeklinde verilerin geçmişteki değerlerine bağlı olarak yapılan tahminlerdir. Çok değişkenli tahminler nedensel ilişkileri ortaya koymaya çalışır. Son kullanıcı metodunda ise tahmin yapılırken veriler temel bileşenlerine ayrılarak tahmin ortaya çıkarılır. Birleştirme metodu değişik tahminleri birleştirerek, yeni ve daha iyi tahminler elde etmeyi amaçlar (Yoldaş, 2006).

Yük tahmini için son birkaç yılda birçok yöntem geliştirilmiştir. Regresyon analizi, zaman serisi analizi gibi yöntemlere ek olarak çok hızlı işlem yapan bilgisayarların geliştirilmesiyle yapay zekâ, bulanık mantık gibi yöntemlerle de yük tahmini çalışmalarında kullanılmaya başlanmıştır. Yük tahmini yöntemleri genel olarak iki grupta toplanabilir. Bunlar istatistiksel yöntemler ve öğrenmeye dayalı yöntemlerdir. İstatistiksel yöntemler olarak zaman serisi analizi, son kullanıcı modelleri, ortalama artış yüzdelerinden elde edilen tahmin, ekonometrik verilerle yapılan tahmin, yüzeysel verilerle yapılan tahmin ve regresyon analizi yöntemleri sayılabilir. Öğrenmeye dayalı sistemler ise, YSA, bulanık mantık ve her ikisini de kullanabilen uzman sistemler olarak adlandırılan tahmin sistemleri olarak gruplandırılabilir. Bu üç grubun dışında ve bu yöntemlerin birleşimi olan yöntemler ile literatürde az bulunan başka yöntemler de vardır (Bayraktar, 1994).

Yük tahminleri, zaman kavramı bakımından üç bölüme ayrılabilir; kısa dönem yük tahmini, genellikle bir saatten bir haftaya kadar olan tahminlerdir. Orta dönem yük tahmini, bir haftadan bir seneye kadar olan tahminlerdir. Uzun dönem yük tahmini bir yıldan uzun olan bir dönemi kapsar.

Genel olarak yük tahmini yük akışlarının tahmininde ve aynı zamanda akımın yüklenmenin önlenmesi için kararlar alınmasında da yardımcı olur. Bu tip kararların zamanında uygulanması kebeke güvenliğinin arttırılmasını ve çalışan makinelerin bozulma sıklığının azalmasını sağlar. Bunlara ek olarak yük tahmini sözleşme değerlendirmeleri ve çeşitli finansal ürünlerin fiyatlarının belirlenmesinde önem kazanmaktadır.

3.3.1. Tahmin için önemli faktörler

Kısa dönem yük tahmini için zaman etkeni, elektriksel veri ve müşteri sınıflarını gibi faktörler ön plana çıkmaktadır. Orta ve uzun dönem tahminler ise geçmiş verileri, elektriksel verileri, farklı müşteri sayılarını, uygulama alanını, ekonomik verileri ve onların geleceğe dönük tahminlerini hesaba katar.

Zaman faktörü, yılları, mevsimleri, haftanın günlerini ve günün saatlerini içerir. Yük tahmini için, mevsimsel değişimler ya da hafta içi ve hafta sonu arasındaki farklar önemlidir. Örneğin, pazartesi ve cuma hafta sonuna yakındır, salıdan perşembeye yükün farklı olması beklenir. Bu durum, yaz süresince kısmen doğrudur. Tatillerin yük tahmini, tatil olmayan günlerden daha zordur. Çünkü sık olmayan göreceli bir yük tüketimi vardır. Havanın durumu yükü etkiler. Aslında tahmini hava parametreleri kısa dönem yük tahmininde oldukça önemli faktörlerdir. Çeşitli hava değerleri yük tahmini için göz önünde tutulabilir. Sıcaklık ve nem değerleri yük beklentilerinde oldukça sık kullanılır.

Yük talebi, güç ve enerji kullanımının zamana göre değişimidir. Tahmin terimi, yeterli sayısal ayrıntılarla gelecekteki yükleri tanımlayan, sistematik bir yöntem ile belirlenen, planlanmış yük ihtiyacını gösterir. Yük tahmini üzerindeki etkenlerden önemli olanlarıkunlardır;

- Yük yoğunluğu
- Alternatif enerji kaynakları
- Toplumsal gelişme planı
- Geçmişteki veriler
- Endüstriyel planlar
- Şehir planları
- Arazi kullanımı
- GSYİH (Gayri Safi Yurt İçi Hâsıla),
- Sektörel katma değerler,
- Nüfus ve demografik değişiklikler,
- Hane halkı sayısı ve ortalama hane halkı büyüklüğü,
- Elektrikli hane ve köy oranı,
- Çok odalı konut yüzdesi ve konut sahipliği artış oranı,
- şehirleşme oranı,
- şehir ve köy gelirleri,
- Elektrikten yararlanan nüfus oranı,
- İstihdam verileri,
- Teknolojik gelişmeler ve elektrikli iş aletleri kullanımının yaygınlaşması,
- Kişi başına düşen elektrikli alet sayısındaki değişmeler,
- Elektrikli aletler ve ilgili işkamelerinin fiyatları,
- Elektrik fiyatı,
- Mevsimsel değişiklikler ve iklim koşulları,
- Ülkelerin coğrafi özellikleri,
- Zaman.

Bu etkenlerden bazıları elde edilecek tahminler üzerinde doğrudan ve büyük oranda etkiye sahipken, bazıları ise dolaylı olarak ve daha zayıf etki göstermektedir. Bunun yanında yukarıda verilen etkenlerin kendi aralarında da etkileşimleri bulunmaktadır. Bu durum yapılacak tahminler için daha karmaşık denklemlerin ortaya çıkmasına neden olmaktadır. Örneğin sanayinin gelişmesi ile ortaya çıkan nüfus yoğunluğu ve buna bağlı olarak artış göstermesi beklenen sosyal yaşam farklılıkları yapılacak yük tahmini üzerinde etkili olacaktır.

Tahmini doğrudan etkileyen faktörlerden olan nüfus artışı hızı, aynı zamanda kişi başına düşen elektrik tüketiminin de artmasına neden olduğu için toplam enerji ihtiyacını daha etkili biçimde değiştirmektedir. Bütün bu verilerin yanında yine enerji tüketimi üzerinde etkili olan ancak öngörülemeyen bazı durumlar ortaya çıktığında tahminlerin gerçekliğinde sapmalar da ortaya çıkabilecektir. Örneğin, teknolojide ortaya çıkan gelişmeler sayesinde çok daha az enerji tüketen elektrikli cihazların ortaya çıkması ya da yenilenebilir enerji kaynaklarından elde edilen elektrik enerjisinin yaygın olarak kullanılmaya başlaması böyle bir durumun oluşmasına neden olabilir.

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

Elektrik talebinin akarı 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'i 1983 yıllarında görüldüğü gibi, zorunlu tasarruf ve kesinti uygulamalarına gidilmesi gündeme gelebilecektir. Bu durum, ekonomik açıdan son derece olumsuz sonuçlar doğuracağı ve ülkedeki mevcut yatırımların atıl kalmasına neden olacağı gibi, yeni yatırım kararlarının ertelenmesine ve ülkenin uluslararası alandaki ekonomik güvenilirliğinin ciddi anlamda zedelenmesine sebep olacak niteliktedir.

Bu çerçevede, elektrik arz kapasitesinin, maksimum talebi karşılayabilecek bir düzeyde olması ve olası risklere karşı yedek bir kapasitenin hazır bulundurulması şarttır. Bu bakımdan, elektrik sistemi planlanırken, talebin bölgesel ve dönemsel değişkenliği dikkate alınarak, oluşan talebi en düşük kayıp ve maliyetlerle karşılayabilecek optimal üretim ve iletim sistem planlarının ortaya konulması gereklidir. Tüm bunların gerçekleştirilebilmesi için, elektrik talebini etkileyen tüm etkenlerin ve elektrik sistemine ilişkin her türlü maliyetin en ince ayrıntısına kadar analiz edilmesi ve tüketim tahminlerinin rasyonel yapılması büyük önem taşımaktadır. Bu şartların sağlanması halinde ise, hem arz güvenliği kaygılarının giderilmesinde, hem de piyasa oyuncularının karar alma ve strateji belirleme aşamalarında sağlıklı sonuçlar alınması mümkün olacaktır (Keleş, 2005).

Ekonomik büyüme ile elektrik talebi arasındaki ilişki tek yönlü değildir. Enerji kullanımının artması, hem sosyal gelişimi sağlayarak toplumsal refahı artırmakta, hem de klasik ekonomi teorisinde bakılan girdiler olarak sayılan emek ve sermayenin daha etkin ve verimli kullanımını sağlayarak ekonomik gelişime ivme kazandırmaktadır.

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

3.3.2. Yüklerin özellikleri ve sınıflandırılması

Yük sınıflandırmalarının yapılması için tüketici gruplarının özelliklerinin göz önüne alınması gerekir. Sayısal olarak fazla olan yüklerin karakteristikleri ile sayıca az ama enerji tüketimleri bakımından fazla olan yüklerin karakteristikleri farklılıklar gösterebilmektedir. Buna göre sayıları ülke genelinde fazla olan mesken ve ticarethanelerin yanında çok fazla miktarda enerji tüketen sanayi kuruluşlarına yapılacak tahminlerin doğru sonuç vermesi açısından önemli yer tutmaktadır. Buna göre yükleri aşağıdaki biçimde sınıflandırabiliriz;

- Meskenler,
- Ticarethaneler,
- Sanayi kuruluşları,
- Diğer tüketiciler.

Mesken tipi tüketiciler, enerjiyi evdeki ihtiyaçlarını karşılamak amacıyla kullanırlar. Müstakil bina ve apartmanlar bu gruba girmektedir. Ticarethaneler ise tüccar, esnaf, doktor, avukat, mühendis ve benzeri meslek sahiplerinin iş görmek için kullandığı yerler ile özel okul dershane, yurt, otel ve benzeri yerlerdir. Sanayi tipi tüketiciler fabrikalar büyük atölyeler gibi endüstriyel amaçlı kurulmuş işletmelerdir. Diğer tüketiciler grubunda ise resmi daireler, genel aydınlatma, hayır kurumları vb. kuruluşlar vardır (Aksel, 2000).

Yapılacak tahminlerde, kullanılan yöntemden bağımsız olarak, bu yük tiplerinin kendine özgü durumlarının iyi değerlendirilerek buna göre verileri incelemek gereklidir. Sanayi kuruluşlarının gelişme evreleri, mesken tipi yüklerin sosyo-ekonomik davranışları, ticarethanelerin belirli bölgelerde yoğunlaşması ve enerji tüketim karakteristikleri incelemeye alınması gereken özel durumlardandır. Aksi takdirde ortaya çıkacak veriler salt matematiksel sonuçlardan ibaret kalacak ve gelecek için gerçekçi tahminlere ulaşılamayacaktır.

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 ñtemel girdiò 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 öngörüleri eklenmek suretiyle brüt talep hesaplanmaktadır (Keleş, 2005).

4. YÜK TAHMİNİ YAKLAŞIMLARI

İleriye dönük yük taleplerinin belirlenmesinde, kullanılacak tahmin tekniğinin seçimi önemlidir. Yük değişikliklerinin yapısına bağlı olarak bir yöntem diğerine göre üstünlük gösterebilir. Özel bir metodu seçmeden önce, yükün davranışını incelemek gereklidir. Yükün davranışından uygun bir eğrinin mi, yoksa stokastik bir modelin mi seçilmesinin uygun olduğu anlaşılabilir. Elektrik şebekeleri birbirinden farklı özellikler gösterdiğinden mevcut sistemin yapısı da incelenmelidir. İncelenen sisteme göre en uygun yöntemi seçmek için farklı yöntemlerin avantaj ve dezavantajlarının bilinmesi önemlidir.

Temelde ekstrapolasyon ve korelâsyon analizi olmak üzere iki tahmin yöntemi vardır. Ekstrapolasyon, geçmiş verilerin ve bu verileri etkileyen güçlerin geçmişte olduğu gibi gelecekte de aynı oranda artacağı varsayılarak yapılan tahmindir. Birçok ekstrapolasyon metodu vardır. Bunların bazıları matematiksel büyüme eğrilerinin yorumlanmasından oluşur. Diğerleri ise geçmiş yıllardaki büyüme ortalamalarının gelecek yıllar için kullanılmasıdır.

Korelâsyon, yüklerin durumunun hava şartları veya ekonomik durum gibi diğer faktörlerle ilişkilendirilmesi ile gerçekleştirilen tahmindir. Örneğin hava koşulları ve yük arasındaki ilişkinin sayısallaştırılmasıdır. Korelâsyonun en önemli avantajı büyümeyi etkileyen faktörleri önemlerine göre değerlendirmesidir. Korelâsyon metodu aynı zamanda tahminlerin gerçek değerlerden sapması durumunda sebebin belirlenmesinde de yardımcı olabilmektedir.

Son yıllarda gelişimi hızlanan tahmin yöntemlerinden orta ve uzun dönem yük tahmini için kullanılan son kullanıcı ve ekonomik yaklaşım yöntemleri genel kullanıma en yakın olanlarıdır. Benzer gün yaklaşımı, çeşitli regresyon modelleri, zaman serileri, sinir ağları, uzman sistemler, bulanık mantık ve istatistiksel öğrenme algoritmaları gibi yöntemler daha çok kısa dönem tahmininde kullanılır. Uygun matematiksel araçların araştırılması, geliştirilmesi ve ilerlemesi daha kesin yük tahmini tekniklerinin gelişmesine yardımcı olmaktadır.

Genelde kullanılan tahmin yöntemlerini şöyle sıralayabiliriz;

1. Zaman serisi analizi,
2. Son kullanıcı modeli,
3. Ortalama artış yüzdeleri ile tahmin,
4. Ekonometrik modeller,
5. Gayri safi milli hâsılaya (GSMH) dayalı yapılan tahmin,
6. Yüzeysel yük tahmini,
7. Regresyon analizi,
8. Yapay sinir ağları (YSA),
9. Bulanık mantık,
10. Uzman sistemler (US).

4.1. Zaman Serisi Analizi

Zaman serisi yaklaşımından elektrik tüketimi, ekstrapolasyon teknikleri kullanılarak tahmin edilmektedir. Ekstrapolasyon işlemi gerçekleştirilirken, büyüme eğilimini yansıtmak için tarihsel veriler düzenlenir ve bunlar için en uygun olan fonksiyon elde edilmeye çalışılır (Aksel, 2000).

Zaman serisi, bir değişkene ilişkin zamanın belli periyotlarında ortaya çıkan nümerik verilerin kronolojik dizilişiyle oluşan veri setleridir. Yani geçmişten elde edilen verilerin gelecekte de benzer karakteristik göstereceği düşünülerek sayısal modeller üzerinden tahmin yapılır. Zaman serilerine ilişkin veriler stokastiktir, diğer bir ifadeyle, zamanın belli anlarında rastlantısal değerler alır ve aldıkları bu değerlerin önceden kestirilebilmesi mümkün değildir. Zaman serileri yıllık, üç aylık ve aylık periyotlarda toplanmış verilerden oluşabileceği gibi daha dar ya da daha geniş periyotlar bazında da ölçümlenebilir.

Tek bir değişkene ait veri setiyle yapılan analizler tek değişkenli zaman serisi analizi olarak adlandırılmaktadır. Tek değişkenli zaman serisi analizleri genel olarak ilgili değişkenin gelecek değerlerinin tahmin edilmesi amacıyla kullanılır. Bir serinin ileriki dönemlerine ilişkin tutarlı tahminlerinin yapılabilmesi; bu serinin, eğer varsa, nasıl bir fonksiyonel yapı içerisinde oluştuğunun veya bu yapıya en yakın fonksiyonel formun bulunmasıyle mümkün olabilir.

Normal koşullar altında, zaman serilerinin gerçekte nasıl bir fonksiyonel yapıya başlı olarak oluşacağının tam olarak bilinmesi mümkün değildir. Bununla beraber, ilgili serilere ilişkin çeşitli istatistiksel test ve analiz araçları kullanılarak elde edilen bulgular yardımıyla bu fonksiyonel formlara ait ipuçları sağlanabilir.

Zaman serileri, aynı değişkenin belirli bir zaman dönemi içerisindeki gözlem sonuçlarını gösteren serileridir. Zaman serileri aynı zamanda istatistik verilerin oluş zamanları esas alınarak sıralanmasıyla elde edilen serilerdir. Zaman serileri bir olayın zaman boyunca aldığı farklı değerlerin bir araya getirilmesi ile oluşur.

Zaman serilerinin analizinde gözlemler geçmiş dönem için hazırlanmış dokümanlardan oluşur, belirli bir zamandaki gözlemlerin değerleri ile ilgilenir ve genellikle analizler için eşit zaman aralıkları (yıllık, aylık günlük, ...) ele alınır. Serideki dalgalanmalar sadece tesadüfî etkenlerden ileri gelmemektedir. İktisadi olaylarla ilgili zaman serilerinin analizi, dalgalanmaların dört farklı hareketin bir arada gösterdiği etkiden meydana geldiğini varsaymaktadır. Bu dört hareket, ñ***Trend***ò, ñ*Devresel* ***Değişmeler***ò, **ñ***Mevsimsel* ***Değişmeler***ò, **ñ***Tesadüfî ve Arızi* ***Değişmeler***ò olarak verilebilir.

Trend, uzun bir zaman devresi içerisinde, zaman serisinin belirli bir yönde gösterdiği genel eğilimdir. Trend analizi uzun bir dönem analizi olduğundan verilerin aylık veya mevsimlik olarak verilmiş olması tahlilin sonucunu etkilemeyecektir. Serinin genel eğiliminin ölçülebilmesi için, ele alınan dönemin 10 yıldan az olmaması gerekli görülmektedir.

Bir serinin trendi doğrusal veya eğrisel olabilir. Ancak trendin önemli bir özelliği her iki durumda da istikrarlı oluşudur. Trendi etkileyen faktörlere bünyesel faktörler denir. Devresel değişmeler ise bir trend doğrusu etrafındaki uzun dönem dalgalanmalara denir. Hareketler mevsimsel değişmelere benzer şekilde devresel olarak tekrarlansalar da, devrelerinin uzunluğu (5ï 10 yıl) ve sürelerinin belirsizliği ile dikkati çekerler. Genel olarak 12 aylık dönem içerisinde oluşan az veya çok, düzenli iniş ve çıkışlara mevsimlik değişmeler denir. Mevsim dalgalanmaları doğal, sosyal veya zahiri nedenlerle ortaya çıkar. Yıllar itibariyle düzenlenen zaman serisinde mevsimlik dalgalanmalar görülemez.

Zaman serilerinin üzerinde düzensiz değişmeler dediğimiz arızi ve tesadüfî hareketlerin de etkisi vardır. Belirli faktörler dışında kalan ve varlığı daha önceden tahmin edilemeyen ve etkisini devamlı olarak göstermeyen olayların sonucunda ortaya

çıkar. Bunlar grevler, devalüasyonlar, doğal afetler vb. siyasal, ekonomik veya doğal sebepler olabilir.

Zaman serisi analizleriyle trend, devresel değişmeler, mevsimlik değişmeler hesaplanabilir, fakat rastlantısal değişimler hiçbir şekilde hesaplanamaz (Türkbal, 1987). Zaman serilerinde genel olarak bir analiz ve tahmin yöntemi olan Box-Jenkins tekniği kullanılır. Bu teknik, kesikli, doğrusal stokastik süreçlere dayanır.

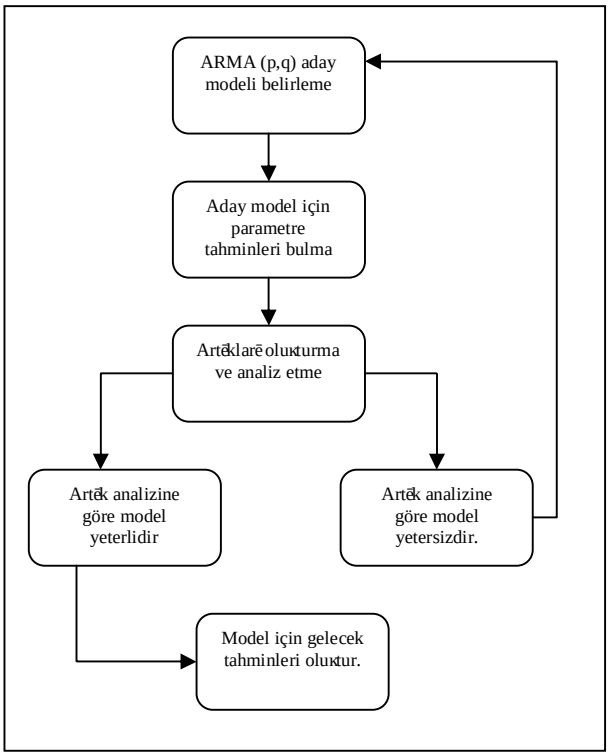
Otoregresif (Auto Regressive - AR), Hareketli Ortalama (Moving Average - MA), Otoregresif - Hareketli Ortalama (Auto Regressive-Moving Average - ARMA) ve Birleştirilmiş Otoregresif-Hareketli Ortalama (Auto Regressive Integrated Moving Average - ARIMA), Box-Jenkins tahmin modelleridir. AR(p), MA(q) ve bunların birleşimi olan ARMA(p,q) modelleri durağan süreçlere uygulanırken, ARIMA(p,d,q) modelleri durağan olmayan süreçler için kullanılmaktadır.

4.1.1. Box-Jenkins tekniği

Bu sınıfa giren modeller veya genel tanımıyla ARIMA, zaman serilerinin modellenmesinde kullanılan diğer yöntemlere göre daha kapsamlı ve genel bir tahmin modelidir. Zaman serisi analizlerinde tahmin ve denetim aracı olarak kullanılan Box-Jenkins tahmin yöntemleri, yeni ve bakarlığı fakat oldukça karmaşık bir yöntemdir.

Yöntem çeşitli koşullarda elde edilen süreksiz zaman serileri ve dinamik sistemler için modeller hazırlanmasında kolaylıklar ve yararlar sağlamaktadır. Box ve Jenkins tahmin modellerinin birbirini tamamlayan dört aşamadan geçerek kurulmasını önermektedirler. Bunlar:

- Model bulma aşaması,
- Parametre tahmin aşaması,
- Artık analizi aşaması,
- Gelecekle ilgili tahmin yapma aşaması(Günay, 2007).



Şekil 4.1. : Box-Jenkins Tekniği

4.1.1.1. Model bulma aşaması

Bu aşamada trend içeren serilerin trendden bağımsız hale getirilerek ARIMA modelleri ile modellenmesi yapılır. Bu aşama durağan zaman serisine ARMA modellerinden herhangi birinin aday olarak belirlenmesi ve ARMA(p,q) modelinde p ve q'nun değerinin bulunmasıaşamasıdır. Bu değerler otoregresif ve hareketli ortalamalar sürecinin özelliklerinden yararlanarak bulunur. ARMA modelleri oto korelâsyon fonksiyonu ve kısmi oto korelâsyon fonksiyonu sayesinde karakterize edilebilir.

ARMA modelleri, ele alınan serilerin durağan olmasını gerektirir. diğer bir ifadeyle, serilerin trend içermemesi gerekir. Trend, uzun bir zaman devresi içerisinde, zaman serisinin belirli bir yönde gösterdiği genel eğilimi olduğundan aylık veya mevsimlik olarak verilmiş olmasıtahlilin sonucunu etkilemeyecektir.

4.1.1.2. Parametre tahmin aşaması

Box-Jenkins yönteminde, aday model belirlendikten sonra parametre tahmin aşamasına geçilir. ARMA modellerinde parametre tahmin yöntemleri, olabilirlik fonksiyonuna dayalı yöntemler ve eşyrisel en küçük kareler yöntemleridir. Bir ARMA modelinin parametreleri olabilirlik fonksiyonunun maksimize edilmesi ile ya da en küçük kareler fonksiyonunun minimize edilmesi ile bulunabilmektedir. Bundan başka yöntemler ile tahminleme üzerine de literatürde birçok yöntem olmasına raşmen karmaşık integrasyon işlemler gerektirdiş inden yaygın kullanım alanı bulamamıştır.

4.1.1.3. Artık analizi aşaması

Bu aşamada, bulunan ve parametreleri tahmin edilen modelin artıkları incelenir. Burada modelin performans ölçütü Akaike Bilgi Ölçütü (Akaike Information Criterion - AIC) ve Bayesci Bilgi Ölçütü (Bayesian Information Criteria ï BIC) elde edilir. Ölçüt istenen düzeyde ise gelecekle ilgili tahminler yapılır. Eş er istenen düzeyde deş ilse model bulma aşamasına dönülerek başka bir model için aynı işlemler tekrar edilir. Performans ölçütü en iyi olan model için gelecekle ilgili tahminler yapılır.

Modelin performans ölçütü olarak artık kareler toplamına dayalı AIC ve BIC istatistikleri kullanılabilir. Bu istatistikler modelin parametre sayısına baş lı olarak hesaplanır. Ayrıca model kurma aşamasında bu istatistiklerden yararlanılabilir.

4.1.1.4. Gelecek tahmini yapma aşaması

Box-Jenkins yönteminin son aşaması, gelecekle ilgili tahmin yapma aşamasıdır. Bu aşamada zaman serileri için öngörü deş erleri elde edilir. Literatürde ARMA modellerinde öngörü elde etmek için kullanılan birçok yöntem bulunmaktadır.

Zaman serilerinde bir analiz ve tahmin yöntemi olan Box-Jenkins tekniş inin tahmin modelleri ARMA modelleri olarak bilinir. AR, MA, ARMA, ARIMA olmak üzere dört alt modelden oluşmuştur. Bu modeller sırasıyla aşaş ıda anlatılmıştır.

- Otoregresif (Auto Regressive - AR),
- Hareketli Ortalama (Moving Average - MA),
- Otoregresif-Hareketli Ortalama (Autoregressive-Moving Average-ARMA)
- Birleştirilmiş Otoregresif-Hareketli Ortalama (Integrated ARMA - ARIMA)

AR(p), MA(q) ve bunların birleşimi olan ARMA(p,q) modelleri durağan süreçlere uygulanırken, ARIMA(p,d,q) modelleri durağan olmayan süreçler için kullanılmaktadır. (Hamzaçebi, 2004).

- **AR(p) modelleri**

AR(p) modelinde değişkenin, t dönemdeki değeri; değişkenin geri dönemlerdeki belirli sayıda değerleriyle, hata değişkeni a_t'nin doğrusal bileşimi olarak ifade edilmektedir. Model şu biçimde gösterilir:

$$Yt = \phi_1 Y_{t-1} + \phi_2 X_{t-2} + ... + \theta_p Y_{t-p} + \delta + a_t \qquad (4.1)$$

Burada $Y_{t-1}, Y_{t-2}, \ldots, Y_{t-p}$ değişkenin t ekit zaman aralıklarıyla ifade edilen gözlem değerleridir, $\phi_1, \phi_2, \ldots \phi_P$ geçmiş gözlem değerleri için katsayılar, θ bir sabit değer ve a_t de hata terimidir (Yoldaş, 2006).

Burada Yöder, AR(p) ve diğer modellerde genellikle geri kaydırma işlemcisi kullanılarak yazılır. B geri kaydırma işlemcisi olup aşağıdaki şekilde tanımlanmaktadır:

$$Y_{t+1} = B.Y_1 \qquad (4.2)$$

$$Y_{t-m} = B^m.Y_t \qquad (4.3)$$

$$\phi(B)Y_t = B^m.Y_t \qquad (4.4)$$

$$\phi(B) = 1 - \phi_1 B - \phi_2 B^2 - \ldots - \phi_p B^p \qquad (4.5)$$

- **MA(q) modelleri**

Bu modelde değişkenin t dönemdeki değeri aynı dönemdeki hata terimi a_t ve belirli sayıda geri dönem hata terimleri a_{t-q}'lerin bileşimi olarak yazılır: MA(q) modelinde Y_t değeri, serinin geriye doğru q dönem geçmiş hata terimlerinin ve

ortalamasının doğrusal fonksiyonudur. MA(q) modelleri genel olarak aşağıdaki gibi gösterilir.

$$Y_t = \varepsilon + a_t - \theta_1 a_{t-1} - \theta_1 a_{t-2} - \ldots - \theta_q a_{t-q} \quad (4.6)$$

Burada a_t, a_{t-1}, a_{t-2},…,a_{t-q} hata terimlerini, θ_1 ,θ_2,… , θ_q hata terimleri ile ilgili katsayıları, ε sürecin ortalamasını olan bir sabiti göstermektedir. Buradan;

$$Y_t = \phi(B)a_t \quad (4.7)$$

$$\phi(B) = 1 - \phi_1 B - \phi_2 B^2 - \ldots - \phi_q B^q \quad (4.8)$$

elde edilir. Denklem (4.8)'de görünen q, model mertebesidir.

Hareketli ortalama bir zaman serisine ait her değerin yerine, o değer ve daha önce ve sonra gelen birkaç değerin ortalamasını koymak suretiyle elde edilmiş bir zaman serisidir. Bu yöntemde zaman değerleri 3, 5 ve 7'şerlik gruplar halinde bir araya getirerek, her grup için aritmetik ortalamayı hesaplayıp, bulunan değerleri grupların tam orta noktalarına isabet eden değerin yerine koymaktır. Kümeler hareket halinde ve gerçek seride her defasında bir değer aşağı kaydırılmak suretiyle oluşturulduğundan, bunların ortalamaları adeta hareket etmekte ve bu nedenle yönteme hareketli ortalamalar metodu denilmektedir.

- **ARMA(p,q) modelleri**

ARMA modelleri en genel durağan stokastik süreç modelleri olup, geçmiş gözlemlerin ve geçmiş hata terimlerinin doğrusal bir fonksiyondur. Zaman serilerinin modellenmesinde esneklik sağlamak ve en az sayıda parametre ilkesini gerçekleştirmek amacıyla bazı hallerde modele hem otoregresif ve hem de hareketli ortalama parametrelerinin alınmasıyle birçok yararlar sağlanmaktadır. Bu düşünce ARMA(p, q) modelini ortaya çıkarmıştır. Model aşağıdaki şekilde gösterilebilir:

$$Y_t = \phi_1 Y_{t-1} + \phi_2 Y_{t-2} + \ldots + \phi_p Y_{t-p} + \theta + a_t - \theta_1 a_{t-1} - \theta_2 a_{t-2} - \ldots - \theta_q a_{t-q} \quad (4.9)$$

Burada;

$$\phi(B)Y_t = \theta(B)a_t \quad (4.10)$$

$$\phi(B) = 1 - \phi_1 B - \phi_2 B^2 - \ldots - \phi_p B^p \quad (4.11)$$

Yukarıdaki eşitlikte, $Y_{t-1}, Y_{t-2}, \ldots, Y_{t-p}$ geçmiş gözlem değerlerini, $\phi_1, \phi_2, \ldots, \phi_p$ geçmiş gözlem değerleri için katsayıları, θ bir sabit değeri, $a_t, a_{t-1}, a_{t-2}, \ldots, a_{t-q}$ hata terimlerini ve $\theta_1, \theta_2, \ldots, \theta_q$ hata terimleri ile ilgili katsayıları temsil etmektedir.

- **ARIMA(p,d,q) modelleri**

Zaman serisinin durağan olduğu durumlarda, yani sürecin ortalamasının, varyansının ve kovaryansının zamana bağlı olarak değişmediği durumlarda ARMA(p,q) veya ARMA(p,q)'nun özel hali olan AR(p) veya MA(q) modellerinden uygun olanı kullanılabilir. Ancak gerçekte zaman serilerinin ortalama ve varyansında zamana bağlı olarak bir değişim olmaktadır. Bu durum durağan olmayan seri olarak adlandırılır. Bu tip zaman serileri durağan hale dönüştürüldüğünde yukarıda bahsedilen ARMA(p,q) modelleri tahmin için kullanılabilir. Zaman serisinin durağanlaştırılması ise fark almak suretiyle yapılır. Zaman serisinin doğrusal bir trendi var ise birinci fark serisi durağan olur. Eğer zaman serisinin eğrisel bir trendi var ise farkların tekrar farkı alınarak ikinci farkların serisi durağan hale getirilir. Bu durumda model, ARIMA(p,d,q) olarak ifade edilir. Burada ñdò serinin durağanlaştırma (fark alma) parametresidir (Hamzaçebi, 2004).

4.1.2. Standart hata

Y ve X büyüklükleri arasındaki ilişki ne kadar kuvvetli ise, regresyon denklemi ile yapılacak olan tahminlerin hatası, o kadar küçülecek, ilişki zayıfladıkça tahminlerin hata payı büyüyecektir. Regresyon analizindeki tahmin hataları gözlemler sonucu elde edilen gerçek değerler ile regresyon sonucu hesaplanan teorik değerler arasındaki sapmalardır.

Hatayı sıfırlamak için gerçek değerler ile teorik değerler arasındaki farkların toplamının sıfır olması gerekmektedir. Bununla birlikte; gerçek ve teorik değerler arasındaki farkın karelerinin toplamı da minimum olmalıdır. Regresyon analizi ile farkların kareleri toplamı minimum yapılmaya çalışılır. Standart hata, tanım olarak gerçek değerler ile regresyon denkleminden hesaplanan değerler arasındaki farkın karesinin veri sayısına bölümünün karekökü olarak tanımlanır.

Yapılan bir tahminin standart hatası (Yönün Xöe göre standart hatası) :

$$S_{yx} = \sqrt{\frac{\sum (Y - \bar{Y})^2}{n}} \qquad (4.12)$$

formülü ile bulunur.

4.1.3. Standart sapma

Bir serinin aritmetik ortalamasından sapmalarının karelerinin toplamı serideki terim sayısına bölünürse bulunan değer ñvaryansò olarak tanımlanır.

$$\text{Varyans} = \sigma^2 = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(Y_i - \bar{Y})^2 \qquad (4.13)$$

Bir serinin varyansının karekökü alınırsa yani gerçek dağılım değerlerinin aritmetik ortalamasından sapmalarının karelerinin ortalaması alınır ise standart sapma elde edilir (Kalıpsız, 1994).

$$\text{Standart sapma} = \sigma = \sqrt{\frac{\sum (Y_i - \bar{Y})^2}{n}} \qquad (4.14)$$

4.1.4. R-kare parametresi

Regresyon doğrusu ile verilen uyumun derecesini belirlemek için kullanılan parametre R^2 (determinasyon, belirlilik katsayısı) parametresidir. R^2 katsayısı, verilerin ortalama civarındaki değişkimlerinin regresyon doğrusuna oranı olarak yani, açıklanan değişkimin, açıklanamayan değişkime bölünmesi ile tanımlanır. Bu değer Denklem 4.15 ile verilir;

$$R^2 = \frac{\sum(\hat{Y} - \bar{Y})^2}{(Y - \bar{Y})^2} \qquad (4.15)$$

R^2'nin değeri 0 ile 1 arasında değişir. R^2'nin 0 olması regresyon doğrusu ile Y değerleri arasında hiçbir ilişki olmadığını, 1 olması regresyon doğrusunun bütün veri noktaları üzerinde bulunduğunu gösterir. Bu yüzden R^2'nin mümkün olduğu kadar 1'e yakın olması istenir. Yeterli bir uyum için R^2 değerinin 0,9 ile 1 arasında olması gerekir. Elbette bu verilerin sayısına ve değişkliğine de bağlıdır. Dört adet veri için 0,9 değeri bazı durumlarda kabul edilebilir olmayabilir ama yüz adet veri için R^2 değerinin 0,7 değeri yeterli bir uyumu gösterebilir (Yoldaş, 2006).

4.2. Son Kullanıcı Modeli

Ekonometrik model ve onların kombinasyonları, orta ve uzun dönem yük tahmininde oldukça sık kullanılan yöntemlerdir. Müşterilerin kullandıkları cihazların tanımlanması, evlerin genişliği, cihazların ömrü, teknolojideki değişmeler, müşteri alışkanlıkları ve nüfus dinamikleri gibi detaylı veriler genellikle son kullanıcı yaklaşımlarında simülasyon ve istatistiksel modellere dâhil edilir. Aslında kişi başına düşen gelir gibi ekonomik etkenler, çalışma düzeyleri, iş saatleri ve elektrik fiyatları ekonometrik modellere dâhil edilir. Bu modeller son kullanıcı yaklaşımlarının birleşiminde kullanılır. Uzun dönem tahminler, nüfus değişimlerini, ekonomik gelişmeleri, endüstriyel yapılanmayı ve teknoloji gelişimi tahminlerini kapsar.

Bu yöntem ile mal ve hizmetlerin üretilmesi için gerekli enerji tüketimi, kapsamlı enerji tüketim bilgisi, müşteri kullanımı, onların yakları, evlerin büyüklüğü gibi detaylı hedeflerle belirlenmektedir. Müşteriler hakkındaki istatistiksel bilgiler ile birlikte değişken dinamikler, tahminin esas temelini oluşturur.

Bu hedefler için bulunan tüketim miktarları toplanarak toplam tahmin elde edilmektedir. Örneğin mesken ısıtma amacıyla talep edilen enerji, elektrikli ev ısıtıcılarının sayısı ve bunların ortalama yıllık tüketim miktarı çarpılarak tahmin edilir. Mesken sahiplerinin diğer amaçlar için talep ettikleri enerji miktarı da benzer şekilde tahmin edilmekte ve bunların toplamı alınarak mesken sahiplerinin toplam enerji talep miktarı ortaya çıkarılmaktadır.

Bu yöntemde kullanılacak verilerin çok detaylı olması gerekmektedir. Bütün elektrikli ev aletlerinin sayılarının yaklaşık olarak bilinmesi ve bunların ortalama enerji tüketimleriyle ilgili bilgilerinin toplanması çok zor olacağından aslında bu yöntem çok kullanışlı değildir. Son kullanıcı modeli, konutlar, ticari ve endüstriyel sektörlerdeki elektrik tahmini için kullanılır.

İdeal olarak kullanıldığında bu yaklaşım oldukça kesin sonuçlar verecektir. Bununla beraber, son kullanıcı verilerinin kalitesi ve miktarının hassas olması oldukça önemlidir. Son kullanıcı tahmini daha az tarihsel veri içerir, fakat daha çok müşteriler hakkında bilgi ve onların araç-gereçlerinin detaylı özelliklerini içerir.

4.3. Ortalama Artış Yüzdeleri ile Yapılan Tahmin

Bu yöntemde geçmiş yıllardaki tüketilen enerji değerindeki yıllık artış oranlarının ortalamaları bulunarak ileriye yönelik tahminler yapılır. Geçmiş yıllardaki ortalama enerji artışının gelecekte de aynı olacağı varsayımından yola çıkılmaktadır. Gelecekteki enerji tüketiminin belirlenmesi için aşağıdaki formül kullanılır;

$$E(t) = Eo\ (1+Ů)^{exp(t)} \qquad (4.16)$$

E(t): t yıl sonraki enerji tüketimi,
Eo : En son yıldaki enerji tüketimi,
Ů: Ortalama yıllık artış yüzdesi.

Çok basit olan bu yöntem genelde doğru sonuçlar vermektedir. Ancak enerji gibi günlük hayatın ve ekonomik hayatın her alanıyla yakından ilişkili olan, bu sebeple de zamana göre sürekli değişim halinde bulunan bir kavramın geleceğe dönük tahminleri yapılırken farklı veri kaynaklarında değerlendirilmelidir.

4.4. Ekonometrik Metotlar

Ekonometrik yaklaşımlar, elektrik enerjisi talep tahmini için ekonomik verileri ve istatistiksel teknikleri birleştirir, değişkenler arasında bağlantı kurarak bunlardan matematiksel bir fonksiyon elde edilmesini sağlar. Bu yaklaşım, enerji tüketimi (bağımlı değişken) ve ekonomik veriler (bağımsız değişken) arasındaki ilişkiyi hesaplar.

Regresyon analizi baş ğmlğ ve baş ğmsğz deş ikkenler arasğnda baş lantğ kurarak bunlarğn oluĸturduş u fonksiyonun bulunmasğna yardğmcğ olur.

Elektrik enerjisi talebi sadece zamanğn bir fonksiyonu olmayğp, ekonomik ve sosyal deş ikimlerden, teknolojik geliĸmelerden, sanayideki yeniliklerden ve çevre ĸartlarğndan da etkilenmektedir. Bahsedilen deş ikkenler ile enerji talebi arasğndaki iliĸkiyi açğklamak için regresyon analizinden yaralanğlğr. Bu yaklaĸğma göre analizin sonucunda etkin olacak en önemli veri ekonomik deş erlerdir. Sayğsal olarak kayğt altğna alğnmasğ ve iĸlenmesi diş er soyut verilere göre daha kesin ve detaylğ olan ekonomik veriler genel olarak enerji tüketim deş erleri için gerçekçi sonuçlar ortaya çğkarmaktadğr.

4.5. Gayri Safi Milli Hâsğlaya Dayalğ Yapğlan Tahmin

Türkiyeôde uzun dönemli tahminler yapğlğrken kullanğlan yöntemlerden biri de Gayri Safi Milli Hâsğla (GSMH) büyüme hğzğyla, elektrik büyüme hğzğ arasğndaki iliĸkiyi bir katsayğ ile belirlemek ve kalkğnma planğ ile hedeflenen büyüme hğzlarğna göre elektrik enerjisi tahminini bulunan bu katsayğya göre hesaplamaktğr. Bir önceki yaklaĸğmda belirtildiş i gibi ekonomik verilerle enerji tüketim deş erleri arasğnda doş rudan ve kesin bir iliĸki bulunmaktadğr. Enerji tüketen bireylerin ekonomik düzeyleri de toplam enerji tüketimi ve tahmin sonuçlarğ üzerinde oldukça belirleyici bir veri olacaktğr.

Bu yöntemde belli bir döneme ait GSMHônin ortalama büyüme hğzğ ile elektrik tüketiminin ortalama büyüme hğzğ bulunur. Bu iki büyüme hğzğnğn oranğ milli gelir ile elektrik enerjisi tüketimi arasğndaki iliĸkiyi gösteren katsayğdğr. Bu yöntem de zaman serisi analizinde olduş u gibi ekonomik ve siyasi açğdan istikrara sahip ülkelerde geçerli ve baĸarğlğ olur. Ülkemizde genel amaçlğ yapğlan bazğ tahmin çalğĸmalarğnda kullanğlan bu yöntem, ekonomik kriz ve duraksama dönemlerinde hatalğ sonuçlar ortaya çğkmasğna neden olmuĸtur. Önceden öngörülemeyen bu tip durumlarğn bu yaklaĸğmla tahmin sonucuna dâhil edilmesi mümkün deş ildir.

4.6. Yüzeysel Yük Tahmini

Bu yöntemde tahmin için önemli olan iki unsur yük tahmini ve büyüme karakteristiş idir. Belirtilen unsurlara ulaĸmak için yerleĸim alanğ sğnğflara ayrğlmğĸtğr.

- Yerleşim yeri, (Kırsal yerleşim yeri, tek katlı müstakil evler.)
- Apartmanlar, iki katlı evler, villalar,
- Ticarethaneler,
- Ofisler,
- Yüksek binalar ve gökdelenler,
- Küçük işyerleri ve küçük ölçekli fabrikalar,
- Depolar,
- Ağır sanayi, büyük ölçekli fabrikalar,
- Resmi daireler.

Küçük ve orta ölçekli yerleşim yerlerinde yük tahmini için ışyer renklendirme yöntemiö kullanılır. Bu yöntemde ilk olarak her bir tüketici sınıfının yerleşim yerleri belirlenir ve bunun için ele alınan bölge küçük çıkıt parçalar bölünerek tüketici gruplarına karşı düşen alan hesaplanır. Ayrıca incelenen bölgenin ölçekli haritası (otoyollar, demir yolları, yerleşim yerlerinin ve bölgenin elektrik iletim-dağıtım sistemini içeren harita) kullanılır.

Bu tip çalışmalarda sonuca ulaşmak için genel olarak aşağıdaki kaynaklardan faydalanılır:

1. Yük tahmini yapanın yargısı,
2. İncelenen bölgenin güncel krokisi,
3. Yerleşim yerinin imar-iskân planı.

Bu yöntem için önemli olan, farklı kaynaklardan elde edilen verilerin gerçekten yerinde mevcut olup olmadığının tespitidir. Bunun için her tüketici grubunun yerinde tespiti yapılarak bulunduğu yer, çıkıt parçalara bölünmüş haritaya işaretlenir. Bunun sonucunda tüketici gruplarının ölçekli haritada kapladığı alan bulunur (İşener, 2005).

İkinci adım olarak, tüketici gruplarının alan başına düşen tepe yük değeri hesaplanır. Bunun için abone sayısı başına düşen tepe yük değeri hesaplanır ve her bir tüketici grubunun kapladığı alana bölünerek, alan başına düşen tepe yük değeri bulunur. Bulunan değerler gelecek yük tahmininde kullanılır.

Yer renklendirme yöntemi basit gibi görünse de hatalarê en aza indirgeyen bir yöntemdir. Bu yöntem küçük ve orta ölçekli yerleкim yerlerine uygulandığında çok iyi sonuçlar verebilir. Baкka bir deyiкle bu yöntem, hem tüketici grubundaki yüksek artıк değerlerinden hem de yerleкim yerinin geniкleme değerlerinden yaralanarak tepe yük değerlerini bakarêyla tahmin edebilir.

4.7. Regresyon Analizi

Bağımsız değiкkenlerin bağımlê değiкkenler üzerindeki etki biçimi ve yönü, istatistik denklemlerle de belirtilebilmektedir. Bir örnek üzerindeki ñx_1, x_2, ...ò bağımsız değiкken ve ñyò bağımlê değiкken ölçülerine dayanarak ñyò ile ñx_1, x_2, ...ò değiкkenleri arasındaki,

$$y = f(x_1, x_2, é) \qquad (4.17)$$

fonksiyonel iliкkisini kestirme iкlemine regresyon analizi adê verilmektedir. Fonksiyonel iliкki sayesinde ñx_1, x_2, ...ò bağımsız değiкkenleri ölçülerek, bu ölçüler yardımê ile ölçülemeyen ñzò değeri tahmin edilebilmektedir.

Regresyon analizinde ñx_iò bağımsız değiкkenleri ile ñy_iò bağımlê değiкkenleri arasındaki iliкki, matematiksel bir fonksiyon olarak ifade edilir. Bağımlê ve bağımsız değiкkenler arasındaki dağılım diyagramının çizilmesiyle iki değiкken arasında bir bağlantının kurulup kurulamayacağına, eğer kuruluyorsa nasıl bir fonksiyonun ele alınacağına karar verilir.

Bu model, bir ya da birden çok sayıda serbest değiкkenli, doğrusal ya da eğrisel, toplanabilir ya da toplanamaz кekilde olabilir. Fonksiyon biçiminin kararlaкtırılmasında, grafik çiziminden yararlanılabilir (Kalıpsız, 1994).

Regresyon analizi ile bir değiкkenin baкka bir veya birkaç değiкken karкısında gösterdiği farklê durumlar, sürekli bir fonksiyon halinde belirtilmektedir. Bu кekilde, incelenen değiкkenler arasında bulunduğu sanılan iliкkinin varlığı, yönü, biçimi ve standart hatasê saptanmaktadır.

4.7.1. Regresyondaki tahmin hatalarê

Regresyon denklemleri bize baŞ ëmlê ve baŞ ëmsêz deŞ iækenler arasëndaki gerçek iliækiyi deŞ il, noktalarën daŞ ëlëmëna göre teorik ortalama bir iliækiyi gösterir. Bu yüzden gerçek deŞ er olan bir x deŞ erine karæëlëk tahmin edilen f(x) deŞ eri regresyon fonksiyonunun üzerinde olacaktêr. Ancak pratikte gerçekleæen deŞ erler regresyon fonksiyonunun civarëndaki daŞ ëlmëæ lardêr. Bu yüzden bulunan tahmin deŞ erlerinde hatalar meydana gelecektir. Hata payënën küçülmesi, baŞ ëmlê ve baŞ ëmsêz deŞ iækenler arasëndaki iliækinin kuvvetlilik derecesine baŞ lëdêr. Bu iliæki ne kadar kuvvetli ise, regresyon analizi ile bulunacak tahmin deŞ erindeki hata o oranda azalacaktêr. BaŞ ëmlê ve baŞ ëmsêz deŞ iækenler arasëndaki iliækinin derecesini ve önemini inceleyen teknik, korelâsyon tekniŞ idir. Türkçeye ñilgileæim tekniŞ iò olarak çevrilen bu teknik sonucunda elde edilen ve deŞ iækenler arasëndaki ilginin kuvvetini belirten katsayêya da korelâsyon katsayêsêdenilmektedir.

4.7.2. Korelâsyon katsayêsê

Standart hatanën karesinin standart sapmanën karesine oranê, belirsizlik katsayêsê olarak tanëmlanêr. ñyò baŞ ëmlê deŞ iækeninde belirli ve belirsiz nedenlerden meydana gelen deŞ iækmelerin toplamê 1 olacaŞ ëndan, bundan belirsizlik katsayêsê çëkarëlërsa belirlilik katsayêsê elde edilir. Bu da belirli ñxò deŞ iækenine baŞ lê olan deŞ iækmelerin oranënêgösterir.

$1-S^2/\mathring{u}^2$ (S: standart hata) (4.18)

$Ry^2 = 1-Sy^2/\mathring{u}\ y^2 = l-[\ \text{Æ}(y_i-y_i\hat{o})^2]/[\ \text{Æ}(y_i-y_i\hat{o}\hat{o})^2]$ (4.19)

$Rx^2 = 1-Sx^2/\mathring{u}x^2 = l-[\ \text{Æ}(x_i-x_i\hat{o})^2]/[\ \text{Æ}(x_i-x_i\hat{o}\hat{o})^2]$ (4.20)

($x_i\hat{o}\hat{o}$, $y_i\hat{o}\hat{o}$: regresyon analizi sonucu hesaplanan teorik deŞ erler)

Katsayê ne kadar büyükse, iliæki o kadar güçlüdür. Belirlilik katsayêsënën karekökü de korelâsyon katsayêsênê verir. xô in belli deŞ erlerine karæëlëk y deŞ erleri tayin ediliyorsa korelâsyon katsayêsê, sadece y deŞ erlerinin gerçek deŞ erleri ile tahmin edilen deŞ erleri arasëndaki iliækinin gücünü ölçer.

$$R = \pm(1-S_y^2/\sigma_y^2)^{1/2} = \pm\{1-[\Sigma(y_i-y_{i\text{ölç}})^2]/[\Sigma(y_i-y_{i\text{ort}})^2]\}^{1/2} \quad (4.21)$$

Denklem 4.21 ile gösterilen korelâsyon katsayısına Pearson Korelâsyon Katsayısı denilmektedir. R>0 ise x ile y değişkeni arasında pozitif bir korelâsyon vardır. R = 1 olduğunda değişkenler arasında tam ve pozitif korelâsyon bulunur. yöntnin verilen değerleri regresyon denklemine göre bulunan değerlere tamamen uyar. x arttırıldıkça y de artar. R<0 ise değişkenler arasında negatif korelâsyon vardır. x ile y ters orantılı olarak değişir. x ile y arasında çift yönlü ilişki varsa, yani x de yö ye göre değişim gösteriyorsa (x=Ü+by) korelâsyon katsayısı:

$$R = \Sigma(y_i-y_{i\text{ort}})(x_i-x_{i\text{ort}})/\{[\Sigma(y_i-y_{i\text{ort}})^2][\Sigma(x_i-x_{i\text{ort}})^2]\}^{1/2} \quad (4.22)$$

olarak hesaplanır. Bu ilişkinin kuvvetli olması için $R^2 = 0.50$ ve $R = \pm 0.71$ olmalıdır.

4.7.3. Regresyon denkleminin oluşturulması

N tane x serbest değişkeninin (x_1 , x_2, ..., x_n) değerlerine karşılık gelen n tane y değişkeninin (y_1, y_2, ..., y_n) olduğunu varsayalım. Bu durum dağılım diyagramında n adet nokta belirtir. Noktaların genel durumuna göre değişkenler arasındaki ilişki doğruyla gösterilebiliyorsa doğrusal regresyon göz önüne alınır. Noktalar arasından geçen doğrunun denklemi y=f(x)=a+bx dir.

Doğrunun her x_i değerine karşılık gelen nokta $f(x_i)$' dir. Böylece her gerçek y_i değerine doğru üzerinde bir $f(x_i)$ teorik değeri karşılık gelecektir. Noktalar arasından geçirilen doğrunun iki değişken arasındaki ilişkiyi en iyi şekilde temsil etmesi için a ve b katsayılarının, n nokta için gerçek ve teorik koordinatlarının aralarındaki farkların karelerinin toplamı minimum olacak şekilde seçilmesi gerekmektedir. $Q = \Sigma[y(i)-f(x_i)]^2$ minimum olmalıdır. Bunu gerçekleştirmek için $Q = \Sigma[y(i)-(a+bx)]^2$ fonksiyonun a ve bö ye göre kısmi türevleri alınıp sıfıra eşitlenir.

$$dQ/da- 2\Sigma[y_i-(a+bx_i)]=0 \quad (4.23)$$

$$dQ/db=-2\Sigma[x_i(y_i-a-bx_i)]=0 \quad (4.24)$$

Denklemler düzenlendiğ inde;

$$n_a + \sum bx_i = \sum y_i \quad (4.25)$$

$$a \sum x_i + \sum bx_i^2 = \sum x_i y_i \quad (4.26)$$

$\hat{y}_o = \sum y_i/n$ ve $\hat{x}_o = \sum x_i/n$ olmak üzere; (n=toplam gözlem sayēsē)

$$a = \hat{y}_o - b\hat{x}_o \quad (4.27)$$

$$b = (\sum x_i y_i - \hat{y}_o \sum x_i)/(\sum x_i^2 - \hat{x}_o \sum x_i) \quad (4.28)$$

bulunur. Eğ er regresyon denklemi üstel bir ifade ise yani iki değ işken arasēndaki ilişki üstel bir fonksiyon ise $y = a.b.\exp(x)$ olarak yazēlabilir. Bu denklemin logaritmasē alēnērsa;

$$\log y = I\log a + x\log b \quad (4.29)$$

$$Y = \log y,\ A = \log a,\ B = \log b \quad (4.30)$$

$$Y = a + Bx \quad (4.31)$$

doğ ru denklemi elde edilir. Doğ rusal regresyondaki özellikler burada da geçerlidir. Noktalarēn genel durumuna göre değ işkenler arasēilişki parabol ile gösteriliyorsa;

$$f(x) = a + bx + cx^2 \quad (4.32)$$

$$Q = \sum [y_i - f(x_i)]^2 = \sum [y_i - (a + bx_i + cx_i^2)]^2 \quad (4.33)$$

denklem 4.33 ile verilen Q değ eri minimum olmalē. Q'nun a, b ve c' ye göre kēsmi türevleri alēnēp sēfēra eşitlenirse;

$$dQ/da = -2 \sum (y_i - a - bx_i - cx_i^2) = 0 \quad (4.34)$$

$$dQ/db = -2 \sum x_i(y_i - a - bx_i - cx_i^2) = 0 \quad (4.35)$$

$$dQ/dc = -2 \sum x_i^2(y_i - a - bx_i - cx_i^2) = 0 \quad (4.36)$$

bulunur. Denklemler düzenlenirse:

$$na + \sum bx_i + c \sum x_i^2 = \sum y_i, \quad (4.37)$$

$$a \sum x_i + \sum bx_i^2 + c \sum x_i^3 = \sum x_i y_i \quad (4.38)$$

$$a \sum x_i^2 + \sum bx_i^3 + c \sum x_i^4 = \sum x_i^2 y_i \quad (4.39)$$

bulunur. Bu üç denklemin çözülmesi ile a, b, c katsayıları bulunur. Eğer değişken sayısı birden fazla ise yani elektrik enerjisi talep artışına birden fazla etken etki ediyorsa, çoklu regresyon analizi yapılır. Bu durumda fonksiyon denklem 4.40'taki gibi alınır;

$$y_i = f(x_i) = a_0 + a_1 x_{i1} + a_2 x_{i2} + \ldots + a_n x_{ni} \quad (4.40)$$

Burada y_i bağımlı değişken, x_{i1}, x_{i2}, ..., x_{in} bağımsız değişkenlerdir. Basit doğrusal regresyon modeli için bir başka yaklaşım ise aşağıdaki biçimdedir;

$$Y = \alpha + \beta x + e_i \quad (4.41)$$

x_i = Açıklayıcı değişken,
y_i = Bağımlı ya da açıklanan değişken,
e_i = Hata terimidir.

Doğrusal modelde α ve β bilinmeyen, ancak tahmin edilmek istenen parametrelerdir. α ve β için;

$$\sum_{i=1}^{n} \hat{e}^2_i = \sum_{i=1}^{n} (y_i - \hat{y}_i)^2 \rightarrow \min \quad (4.42)$$

olacak biçimde tahmin edersek en küçük kareler yönteminiği uygulamış oluruz. α ve β'yi, $S = \sum (y_i - \alpha - \beta x_i)^2 \rightarrow$ min. koşulundan yararlanarak elde edilebilir. Bilindiği gibi, normal denklemler, trend parametre tahmininden de elde edilebilir.

$$\sum y_i = \alpha n + \beta \sum x_i \quad (4.43)$$

$$\sum x_i y_i = \alpha \sum x_i + \beta \sum x_i^2 \quad (4.44)$$

Denklem 4.43'te her iki taraf n'ye bölünürse

$$y = \bar{U} + \beta x \quad (4.45)$$

$$\bar{U} = y ï \beta x \quad (4.46)$$

$$Ex_i y_i = (y ï \beta x)\, Ex_i + \beta x_i^2 \quad (4.47)$$

$$Ex_i y_i = y\, Exi - \beta x\, E x_i + \beta x_i^2 \quad (4.48)$$

β yalnız bırakılır ve gerekli düzeltmeler yapılırsa $E x_i = n.x$ eşitliği dikkate alınarak;

$$\beta = \frac{\sum x_i y_i - n\bar{x}\bar{y}}{\sum x_i^2 - n\bar{x}^2} \quad (4.49)$$

elde edilir.

4.7.4.1. Basit regresyon

Basit regresyon analizinin amacı, iki değişken arasındaki gerçek ilişkiyi Denklem 4.50'de görüldüğü gibi doğrusal bir başlangıç yardımıyla tahmin etmektir. Başka bir deyişle, değişkenler arasında bulunduğu kabul edilen gerçek doğrusal ilişkiyi verir (Demirel, 2009).

$$Y = a + bX \quad (4.50)$$

Doğrusal fonksiyonda a, fonksiyonun Y eksenini kestiği noktayı; b ise doğrunun eğimini ifade etmektedir. Serpilme diyagramı vasıtasıyle tespit edilen doğrusal bir ilişki çok sayıda doğru ile gösterilir. Ancak ilişkiyi en iyi belirleyecek denklem, en küçük kareler metodu yardımıyla tespit edilecek olan denklemdir. Bu kritere göre çizilen eğriden serpilme diyagramındaki noktalara olan dikey uzaklıkların karelerinin toplamı minimum olacaktır. Fakat bir doğrunun bu kritere göre çizilmiş olması uyumun daha iyi olması anlamına gelmez. Kriter olarak noktalardan uzaklıkların toplamının değil, uzaklıkların karelerinin toplamının kullanılmasının sebebi, gerçek uzaklıkların göz önüne alınabilmesidir. En küçük kareler metodunu kullanarak, doğru denklemindeki a ve b parametreleri Denklem 4.51'deki biçimde hesaplanır.

$$Ł(Y-(a + bX))^2 \rightarrow \min \quad (4.51)$$

Yukarıdaki denklemin minimumunu bulmak için, önce aya daha sonra bye göre kısmi türevlerini alarak sıfıra eşitlemek gerekir. Bu durumda,

$$dŁ/da = -2Ł(Y_i - a - bX_i) = 0 \quad (4.52)$$

$$dŁ/db = -2Ł(Y_i - a - bX_i)-X_i = 0 \quad (4.53)$$

$$\sum Y_i = na + b\sum X_i \quad (4.54)$$

$$\sum X_i Y_i = a\sum X_i + b\sum Y_i^2 \quad (4.55)$$

denklemleri elde edilir. Bu denklemler "normal denklemler" olarak adlandırılmaktadır. a ve b değerleri bu normal denklemlerin çözülmesiyle aşağıdaki biçimde elde edilir (Demirel, 2009).

$$\bar{X} = \frac{\sum X_i}{n} \quad (4.56)$$

$$\bar{Y} = \frac{\sum Y_i}{n} \quad (4.57)$$

$$a = \bar{Y} - b\bar{X} \quad (4.58)$$

$$b = \frac{\sum X_i Y_i - \bar{Y}\sum X_i}{\sum X_i^2 - \bar{X}\sum X_i} \quad (4.59)$$

4.7.4.2. Doğrusal çoklu regresyon

Doğrusal çoklu regresyon birden fazla değişken (X_1, X_2, ..., X_n) ile bir bağımlı değişken (Y) arasındaki ilişkiyi verir. Burada her bağımsız değişkenin bağımlı değişkenle doğrusal ilişkisi,

$$Y = a + b_1X_1 + b_2X_2 + b_3X_3 + \text{é} + b_nX_n \quad (4.60)$$

ükeklinde doğrusal bir fonksiyondur ve basit analizden farklı olarak bir regresyon katsayısı (b) yerine n tane net veya kısmi regresyon katsayısı ihtiva etmektedir. Bu katsayıların her biri katsayı ile ilgili bağımsız değişkende meydana gelebilecek bir değişkenliğin bağımlı değişken üzerindeki etkisini ölçmektedir. Basit regresyon analizinde olduğu gibi çoklu regresyon fonksiyonuna varmak için de en küçük kareler metodu kullanılabilir.

$$Y = a + b_1X_1 + b_2X_2 \qquad (4.61)$$

Bu eşitlikteki gibi bir çoklu regresyon modelinde basit modeldeki normal bir denklem yerine aşağıdaki üç normal denklemin bir arada çözülmesi gerekmektedir.

$$\sum Y = na + b_1 \sum X_1 + b_2 \sum X_2 \qquad (4.62)$$

$$\sum X_1 Y = a \sum X_1 + b_1 \sum X_1^2 + b_2 \sum X_1 X_2 \qquad (4.63)$$

$$\sum X_2 Y = a \sum X_2 + b_2 \sum X_1 X_2 + b_2 \sum X_2^2 \qquad (4.64)$$

4.7.4.3. Eğrisel Regresyon

X serbest değişken ile Y bağımlı değişken arasındaki ilişkinin eğilimi bir eğri biçiminde görülürse, bu iki değişken arasındaki bağıntı;

$$Y = a + bX + cX^2 \qquad (4.65)$$

ükeklinde ikinci derece bir parabol veya daha genel olarak;

$$Y = a + bX + cX^2 + dX^3 + eX^4 + é \qquad (4.66)$$

gibi toplanabilir bir polinom modeli ile verilebilir. Eğrisel regresyonun a,b,c,... katsayılarında da yine örnekleme yoluyla saptanan X ve Y ölçü değerlerinde ve en küçük kareler yöntemi ile hesaplanır. Değişken olan a,b,c regresyon katsayıları o ükekilde

hesaplanmalıdır ki bu fonksiyon ile bulunacak y tahmin değerleri ile gerçek y değerleri arasındaki farkların kareleri toplamı en küçük olsun.

$$\sum (Y' - Y)^2 = \sum (a + bX + cX^2 - Y)^2 = \min \qquad (4.67)$$

Bunun için, minimum fonksiyonun a,b,c değişkenlerine göre bulunacak kısmi türevleri sıfıra eşit olmalıdır.

$$\frac{\partial \sum}{\partial a} = 2\sum (a + bX + cX^2 - Y).1 = 0 \qquad (4.68)$$

$$\frac{\partial \sum}{\partial b} = 2\sum (a + bX + cX^2 - Y).X = 0 \qquad (4.69)$$

$$\frac{\partial \sum}{\partial c} = 2\sum (a + bX + cX^2 - Y).X^2 = 0 \qquad (4.70)$$

Bu eşitliklerin çözümü ile aşağıdaki denklem takımı elde edilir. İkinci derece regresyonun a,b,c katsayıları;

$$na + b\sum X + c\sum X^2 = \sum Y \qquad (4.71)$$

$$aX + b\sum X^2 + c\sum X^3 = \sum XY \qquad (4.72)$$

$$a\sum X^2 + b\sum X^3 + c\sum X^4 = \sum X^4 Y \qquad (4.73)$$

olarak bulunan parabolün normal denklemi yardımı ile hesaplanır. Üstel modeller hiperbolik ya da üstel yani toplanamaz özellikte olabilirler. Bu modeller; logaritma ya da ters sayı dönüşümleri ile doğrusal modele çevrilebilir. Bundan sonra doğrusal regresyon olarak, katsayılar hesaplanır.

4.7.4. Üstel düzeltme

Üstel düzeltme işlemi yapmak için serinin geçmiş gözlem değerlerine doğru gidildikçe azalan ağırlıklar verilmektedir. Serinin geçmiş gözlem değerlerinden yararlanarak düzeltilen seri ortalamasē bir ileri dönemin (gelecek zaman aralığ) ortalama tahminini oluşturmaktadır. Bir gelecek tahmini F_{t+1} ile gösterilirse tahmin fonksiyonu,

$$F_{t+1} = aY_1 + (1-a)F_t \tag{4.74}$$

şeklinde yazılabilir. Buradaki F_t şimdiki dönem tahmini ve Ŭ düzeltme katsayēsē olup, şimdiki dönem tahmini,

$$F_t = aY_{t-1} + (1-a)F_{t-1} \tag{4.75}$$

olacaktır. Burada F_{t-1} bir geri dönem tahmini olup,

$$F_{t-1} = aY_{t-2} + (1-a)F_{t-2} \tag{4.76}$$

olarak daha önceki dönem tahminine bağlē olarak yazılabilir. Buradan;

$$F_{t+1} = aY_t + (1-a)\left[aY_{t-1} + (1-a)F_{t-1}\right] \tag{4.77}$$

$$F_{t+1} = aY_t + (1-a)Y_{t-1} + (1-a)^2 F_{t-1} \tag{4.78}$$

elde edilir. Aynē şekilde;

$$F_{t-1} = aY_t + (1-a)Y_{t-1} + a(1-a)^2 Y_{t-2} + (1-a)^3 F_{t-2} \tag{4.79}$$

elde edilir. Genel olarak tahmin değeri aşağēdaki biçimde verilebilir:

$$F_{t+1} = aY_t + (1-a)Y_{t-1} + a(1-a)^2 Y_{t-2} + (1-a)^3 Y_{t-3} + \ldots \tag{4.80}$$

Bu tahmin, zaman serisi Y_t'nin geçmiş gözlem değerlerinin üstel olarak veya geometrik olarak nasıl gittikçe azalan bir şekilde tartıldığını göstermektedir.

$$F_{t+1} = F_{t+1} + a(Y_t - F_t) \quad (4.81)$$

$$F_{t+1} = F_t - ae_t \quad (4.82)$$

Yukarıda (Y_t-F_t) terimi gerçek gözlem değerleri ile tahmin değeri arasındaki farkı göstermektedir. Bu fark tahmin hatasıdır. t+1 dönemi tahmini, t dönem tahmini ile t dönemi hatası toplamına eşit olmaktadır. Başka bir deyişle, t+1 dönem tahmini, t dönem tahmin hatasının ışığında bir düzeltilmektedir (Yoldaş, 2006).

Üstel düzeltme yönteminde Ü'ya düzeltme katsayısı denir ve 0<Ü<1 arasındadır. Ü'nün değeri tahminin değerini etkiler. Seride büyük dalgalanmalar veya rastlantısal değişmeler varsa Ü için küçük değerler seçilmelidir. Zaman serisi grafiği incelendiğinde gözlem değerleri belirli bir şekil gösteriyorsa Ü değeri büyük alınır. Üstel düzeltme yöntemlerinin kullanılmasında hesaplamaların yapılabilmesi için değişkenlere bir takım başlangıç değerlerinin bulunması gerekir. Uygulamada genellikle serinin aritmetik ortalaması veya ilk gözlem değeri, başlangıç değeri olarak alınabilir (Yoldaş, 2006).

4.8. Yapay Sinir Ağları (YSA)

YSA, biyolojik sinir hücrelerinden esinlenerek, beynin çalışma sistemine yapay olarak benzetim çalışmaları sonucunda ortaya çıkmıştır. Genel anlamda insan beynindeki birçok biyolojik nöronun birbirine bağlanması gibi, YSA'lar biyolojik nöronun girdi, işlem, çıktı karakteristiğini taklit eden basit ve genellikle adaptif işlem birimlerinin (yapay nöron) değişik etki seviyelerinde, belirli bir bütün işlem yapısını gerçekleştirmek üzere birbirine bağlanmasıyle oluşturulmuştur.

1960'lı yıllarda başlayan YSA (Artificial Neural Networks-ANN) modelleri, bilgisayar teknolojisindeki gelişmeler ve geliştirilen matematiksel modellerle son 15 yıl içerisinde büyük gelişme göstermiştir. YSA'ların pratik kullanımı genelde, çok farklı yapıda ve formlarda bulunabilen verilerin hızlı bir şekilde tanımlanması ve algılanması aynı zamanda lineer olmayan modelleme ve adaptasyon sağlayabilmesi olarak düşünülebilir. Bu işlemler için geleneksel modellerde olduğu gibi bir sabit model ve

yönteme ihtiyaç duyulmamasından dolayı, fizik, matematik, mühendislik, sosyal bilimler gibi çok çeşitli alanlarda kullanım imkânı bulmuştur.

YSA tekniği, veriden öğrenebilme, genelleme yapabilme, sınırsız sayıda değişkenle çalışabilme gibi birçok önemli özelliğe sahiptir. Bu özellikleri sayesinde tahmin modellemesi alanında oldukça önemli avantajlar sağlayan YSA tekniği diğer alanlarda da yaygın bir şekilde kullanılmaktadır.

YSA, bir sisteme ilişkin, tek veya çoklu parametrelere bağlı olarak tanımlanan giriş verileri ile sistemin yine tek veya çoklu parametrelere bağlı olarak tanımlanabilen çıkışları arasında ilişki kurabilme yeteneğine sahiptir. Bu ilişkinin doğrusal bir formda olması zorunlu değildir.

YSA, girdi ve çıktı değişkenleri arasındaki herhangi bir ön bilgiye ihtiyaç duymadan, herhangi bir varsayımda bulunmadan, doğrusal olmayan modellemeyi sağlayabilmektedir. Ağa girdi bilgileri ve bu girdilere karşılık gelen çıktı bilgileri verilmekte ve ağın girdi-çıktı arasındaki ilişkiyi öğrenmesi sağlanmakta, böylece ağın eğitimi gerçekleştirilmektedir. Öğreticili öğrenme olarak adlandırılan bu yöntem genelde tercih edilen bir yöntemdir (Hamzaçebi, 2004).

4.8.1. Yapay sinir ağlarının avantajları

YSA öğrenme işlemini gerçekleştirebilmekte ve öğrenme işlemi gerçekleştirildikten sonra, belirsizlikler altında, öğrendikleri olaylar ile ilgili ilişkiler kurarak kararlar verebilmektedir. Yapay sinir hücrelerindeki aktivasyon fonksiyonları tarafından üretilen doğrusal olmayan çıkış sinyali, YSA'nın doğadaki hemen her probleme uygulanabilmesini sağlamaktadır. Biyolojik sinir hücrelerinde veriler dağınık yapıda saklanır. YSA'nda ise veriler, ağırlıklarda paralel olarak dağıtılmış şekilde temsil edilmekte, korunmakta ve işlenmektedir. Ağdaki paralel yapı, bilginin anlaşılmasını ve yorumlanmasını kolaylaştırır.

YSA'nın eksik bilgilerle çalışabilme yetenekleri hatalara karşı toleranslı olmalarını sağlamaktadır. Ağ, hücrelerinin bir bölümünü bozulsa bile çalışmaya devam eder. Bozulan hücrelerinin önemine göre ağın performansında düşmeler görülebilir. Fakat hangi hücrenin önemli olduğuna da yine ağ eğitim esnasında kendisi karar verir. Bunu YSA'nın kullanıcısı dahi bilmemektedir. YSA'nın örnekler ile kendisine gösterilen yeni durumlara adapte olması ve sürekli yeni olayları öğrenebilmesi mümkündür. Ağ, tanımı veya parametreleri değişken probleme veya sisteme uygun

çözümler sağlamak için tekrar tekrar eğitilebilir. Eğitim gerçek zamanda da gerçekleştirilebilir. Bu özellik, YSA'nın yük tahmini, hedef tanıma, sınıflandırma, işaret işleme, sistem kimliklendirme, otomatik kontrol ve modelleme gibi birçok alanda kullanımını sağlamıştır.

4.8.2. Yapay sinir ağlarının dezavantajları

YSA'nda, probleme uygun ağ yapısının belirlenmesi deneme yanılma yolu ile gerçekleştirilir ve bu önemli bir problemdir. Çünkü problem için uygun bir ağ oluşturulamaz ise çözümü olan bir problemin çözülememesi veya performansı düşük çözümlerin elde edilmesi söz konusu olabilir. Yapay sinir ağı içerisinde ağ parametrelerinin belirlenmesinde belirli bir kural bulunmamaktadır. Parametrelerin belirlenmesi kullanıcının tecrübesine bağlıdır ve her sistem için ayrı değerlendirilmesi gerekmektedir. YSA sadece nümerik bilgiler ile çalışır. Bu nedenle problemlerin nümerik gösterime dönüştürülmesi gereklidir. Ayrıca problemin nümerik gösterimi mümkün olsa bile bunun ağa gösteriliş sekli problemin başarılı bir şekilde çözülmesini de etkiler. Ağın eğitiminin ne zaman bitirileceğine karar vermek için geliştirilmiş bir yöntem yoktur.

Belki de en önemli sorun ağın, davranışlarının açıklanamamasıdır. Herhangi bir probleme çözüm üretildiği zaman bunun nasıl ve neden üretildiği konusunda YSA bir bilgi vermez. Bu ise ağın sonucuna olan güveni azaltmaktadır (Demirel, 2009).

4.9. Bulanık Mantık

Bazı sistemlerin matematiksel modellemesi mümkün olmayabilir. Sistemin değişkenleri matematiksel modelleme yapılabilecek kadar kesin olarak bilinmeyebilir veya bu değişkenler zaman içinde değişiklik gösterebilir (Şener, 2005). Bazı sistemlerde modelleme doğru şekilde yapılsa bile elde edilen modelin denetleyici tasarımında kullanımı karmaşık problemlere ve oldukça yüksek maliyete neden olabilir. Bu nedenle, bazı denetim algoritmalarının belirsiz, doğru olmayan, iyi tanımlanmamış, zamanla değişken ve karmaşık sistemlere uygulanması mümkün olmayabilir. Bu durumda ya hiç çözüm üretilememekte ya da elde edilen denetleyicinin performansı yeterince iyi olmamaktadır.

Bu gibi durumlarda genellikle bir uzman kişinin bilgi ve deneyimlerinden yararlanılma yoluna gidilir. Uzman kişi az, çok, pek az, pek çok, biraz az, biraz çok gibi günlük hayatta sıkça kullanılan dilsel niteleyiciler doğrultusunda bir denetim gerçekleştirir. Bu dilsel ifadeler doğru bir şekilde bilgisayara aktarılırsa hem uzman kişiye ihtiyaç kalmamakta hem de uzman kişiler arasındaki denetim farkı ortadan kalkmaktadır.

Böylece denetim mekanizması esnek bir yapıya kavuşmaktadır. Temeli insanın herhangi bir sistemi denetlemedeki düşünce ve sezgilerine bağlı davranışının benzetimine dayanmaktadır. Dolayısıyla bir insan bir sistemin bulunduğu gerçek durumdan, istenilen duruma götürmek için sezgilerine ve deneyimlerine bağlı olarak bir denetim stratejisi uygulayarak amaca ulaşmaktadır. İşte bulanık denetim bu tür mantık ilişkileri üzerine kurulmuştur. Bulanık mantık için, matematiğin gerçek dünyaya uygulanması denilebilir. Çünkü gerçek dünyada her an değişken durumlarda değişik sonuçlar çıkabilir.

Bulanık mantık (Fuzzy Logic) denetleyicinin temeli bu tür sözlü ifadeler ve bunlar arasındaki mantıksal ilişkiler üzerine kurulmuştur. Bulanık mantık denetleyici uygulanırken sistemin matematiksel modellenmesi şart değildir. Sözel ifadelerin bilgisayara aktarılması matematiksel bir temele dayanmaktadır.

Bu matematiksel temel, bulanık kümeler kuramı ve bulanık mantık olarak adlandırılır. Bulanık mantık bilinen klasik mantık gibi (0 ve 1) olmak üzere iki seviyeli değil (0 - 1) aralığında çok seviyeli ifadeleri ifade etmektedir.

Bulanık sistem yaklaşımları yük tahmininde sıcaklık, gün tipi (tatil, iş günü, ...) gibi yük değişim faktörleri içeren günlere ait yükün tahmin edilmesinde iyi sonuçlar vermektedir. Bununla birlikte YSA ve bulanık mantık tekniklerinin beraber kullanımı ile oluşturulan Uzman Sistemler ile daha etkin tahminler oluşturmak mümkündür.

4.10. Uzman sistemler (US)

Bilgisayar bilimleri alanında yaşanmakta olan hızlı gelişme ister istemez bilgisayar tabanlı sistemlerle çalışan kişi ve kuruluşlarında etkilemekte ve gelişime ayak uydurmayı zorunlu kılmaktadır. Bilginin öneminin artması ile o bilgiye ulaşabilmeyi ve bilgiyi işleyen ve farklı sonuçlar çıkarabilen karar mekanizmalarına duyulan ihtiyaçlar da artmıştır.

Uzman sistemler (US), belirli bir alanda sadece o alan ile ilgili bilgilerle donatılmış ve problemlere, o alanda uzman bir kişinin getirdiği çözüme şekilde çözümler getirebilen bilgisayar programlarıdır. İyi tasarlanmış sistemler belirli problemlerin çözümünde, uzman insanların düşünme metodolojilerini taklit ederler. Sistemin bir veya daha fazla uzmanın bilgilerini barındırmasından dolayı uzman sistem adını almıştır.

Bu üstünlüklerin yanında, US'ların gerçekleştirilmesinde bazı güçlükler vardır. Örneğin; İnsanlardan sisteme uygulanabilecek bilgi almak zordur ve alınan bilgiler her zaman okunabilir uygunlukta olmayabilir, USların çalışma alanları sınırlı olabilir. Sistemi oluşturacak ve kuracak uzmanların azlığı ve yüksek ücret talepleri sistemin maliyetini yükseltebilir, Farklı uzman bilgilerinde çelişkilerle karşılaşılabilir.

US'lar, modern bilgi sistemleri olmasına rağmen, ancak karar verme kurallarının çok açık ve bilginin güvenilir olduğu problemlerde başarı ile uygulanabilmektedir. Son yıllarda problemlerin çözümünde bulanık kümeler (Fuzzy Sets) ve YSA gibi yapay zekâ teknikleriyle beraber kullanılmaktadırlar. US'lar, bilgisayar destekli tasarımdan, hastalık teşhisine, arıza ve üretim hatalarının tespitinden, endüstriyel robotlara, iş ve süreç planlamadan, ekonomik analizlere, askeri uygulamalardan uzay çalışmalarına kadar birçok alanda başarıyla kullanılmaktadır (İşener, 2005).

Bulanık mantık ve yapay zekâ uygulamalarının birlikte kullanılmasıyle oluşturulan sistemlerden en önde gelenlerinden bir tanesi de ANFIS olarak bilinen tahmin ve analiz sistemidir. Kısaca ANFIS Adaptif Ağ Tabanlı Bulanık Çıkarım Sistemi (Adaptive-Network Based Fuzzy Inference Systems-ANFIS), YSAnın paralel hesaplayabilme ve öğrenme kabiliyeti ile bulanık mantığın çıkarım özelliğini kullanan melez bir yapay zekâ yöntemidir.

5. VERİLERİN DEĞERLENDİRİLMESİ VE TAHMİN

Yapılan uygulama için kullanılacak veriler ve bu verilerin grafik olarak yıllara göre değerleri Bölüm 5.1'de verilmiştir. Modelin oluşturulmasında kullanılacak bağımsız değişkenler Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) tarafından geçmiş 11 yıl için (1999'dan 2009) elde edilen Türkiye genelindeki Gayri Safi Yurtiçi Hâsıla (GSYİH) verileri, genel nüfus sayımı verileridir. Bağımlı değişken ise TEİAŞ tarafından kayıt altına alınan geçmiş 11 yıllık puant gündeki tüketilen enerji değeri ve toplam enerji tüketim değerleridir. Tahmin elde etmek için kullanılacak diğer veriler ise TÜİK'in önümüzdeki 16 yıl için verdiği toplam nüfus tahmini ve üç farklı senaryoya göre elde edilmiş Türkiye geneli GSYİH verileri olacaktır. Bu senaryolar, Türkiye'deki ekonomik büyümenin oranı ile ilişkilendirilmiş ve ortalama olarak %3, %6 ve %10 büyümeye paralel olarak GSYİH değerleri elde edilmiştir. Oluşturulacak matematiksel modeller ile öncelikle 2010-2025 yılları arasındaki puant günde tüketilen enerji miktarı tahmin edilmeye çalışılacaktır. Elde edilecek bu veri Türkiye'nin enerji talepleri için hazır bulundurması gereken kurulu güç miktarının belirlenmesi için kullanılacaktır. İkinci olarak 2010-2025 yılları arasında her yıl için tüketilen toplam enerji miktarları tahmin edilecektir. Yapılan bu tahminler farklı modeller kullanılarak yapılan diğer tahminlerle karşılaştırılacaktır. Burada dikkat edilmesi gereken en önemli nokta karşılaştırılacak verilerin tam olarak neyi içerdiğinin doğru tespit edilmesidir. Örneğin bir yılda tüketilen toplam enerji miktarı TEİAŞ'ın kullandığı MAED modülü ile hesaplanırken (Türkiye genelindeki üretim miktarı + Toplam dış alımlar – Toplam Dış satımlar) formülü kullanılmaktadır. Diğer taraftan yıllık toplam enerji miktarı TEDAŞ verilerinden hesaplanırken son kullanıcıların sayaçlarından okunan kWh değerlerini dikkate alınmaktadır. Bu iki veri arasındaki en temel fark ise ortalama %20 civarındaki dağıtım kayıplarıyle ortalama %3 civarındaki iletim kayıplarıdır.

Matematiksel modeller ile yapılacak toplam enerji talep tahmini TEİAŞ tarafından 2009 yılında MAED modülü kullanılarak yapılan tahminle, Ünler (2008) tarafından Particle Swarm Optimization (PSO) modeli kullanılarak yapılan tahminle ve son olarak Hamzaçebi (2007) tarafından YSA modeli kullanılarak yapılan tahminle karşılaştırılacaktır. Yapılan karşılaştırmalar sonucunda modüller arasındaki benzerlikler ve farklılıklar ortaya konularak geleceğe dönük yapılacak tahminlerde hangi modelin daha işlevsel olduğu ortaya konulabilecektir.

5.1. Kullanılacak Veriler ve Elde Edilecek Değerler

Kullanılacak veriler:

- Yıllara Göre Puant Günde Tüketilen Enerji Miktarı (1999-2009)
- Yıllara Göre Tüketilen Toplam Enerji Miktarı (1999-2009)
- Yıllara Göre Gayri Safi Yurtiçi Hâsıla Değerleri (1999-2009)
- Yıllara Göre Nüfus Değerleri (1999-2009)
- Yıllara Göre Türkiye Geneli Kurulu Güç Miktarı (1999-2009)
- Yıllara Göre Gayri Safi Yurtiçi Hâsıla Projeksiyonu (2010-2025)
- Yıllara Göre Nüfus Projeksiyonu (2010-2025)

Elde edilecek değerler

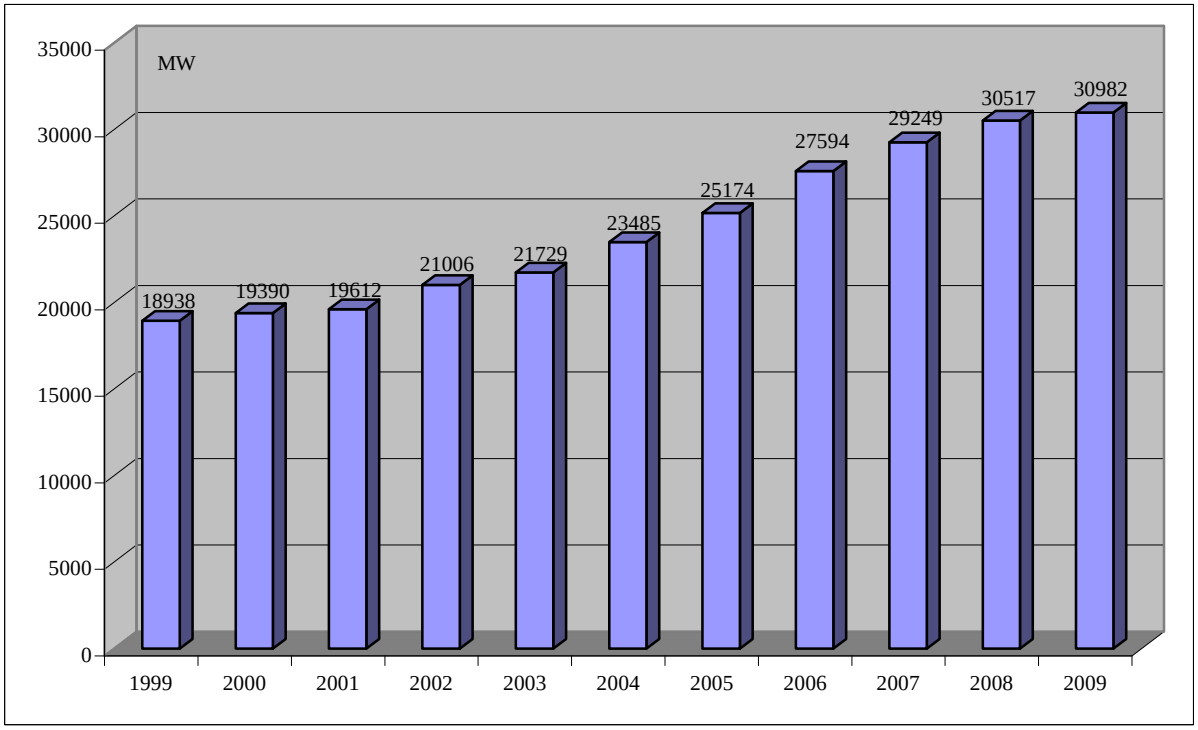
- Puant Günde Tüketilen Enerji Miktarı Talep Tahmini (2010-2025)
- Tüketilen Toplam Enerji Miktarı Talep Tahmini (2010-2025)

Karşılaştırma

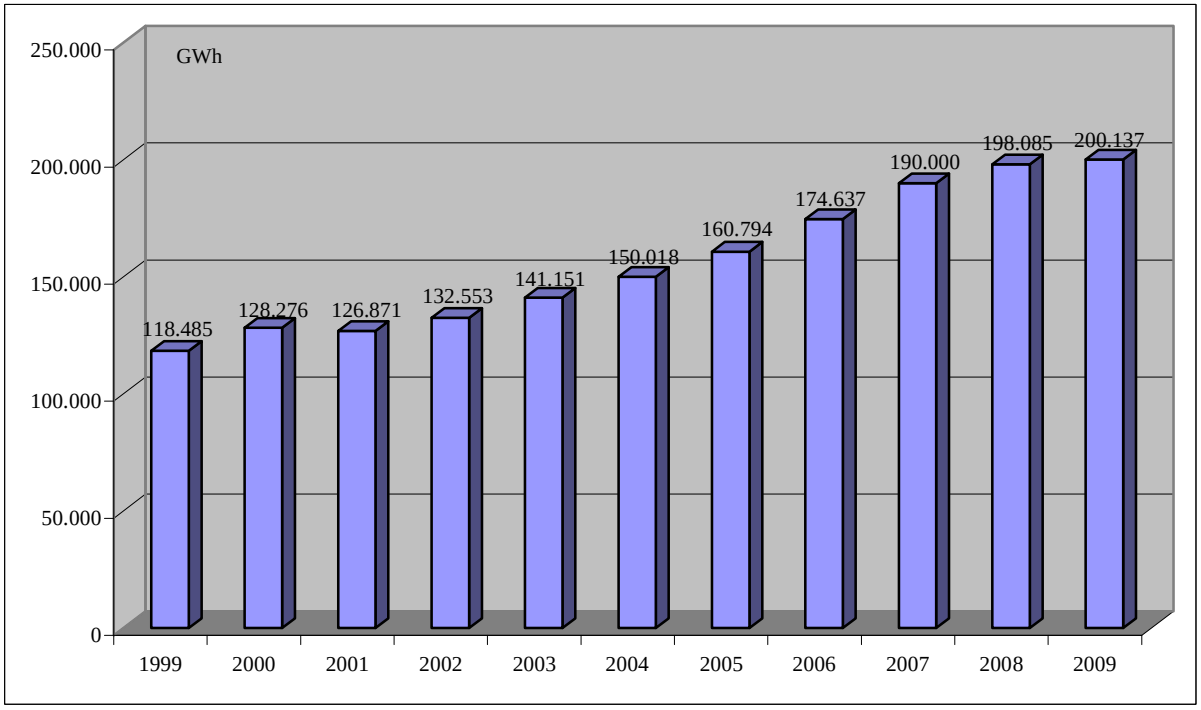
- MAED Modeli ile yapılan tahmin (TEİAŞ, 2009) (2009-2018)
- PSO Modeli ile yapılan tahmin (Ünler, 2008) (2008-2025)
- YSA Modeli ile yapılan tahmin (Hamzaçebi, 2007) (2007-2020)

Yukarıda başlıklar halinde listelenen verilerin belirtilen tarihler arasındaki değerleri kullanılarak matematiksel modeller oluşturulacak ve iki farklı veri tahmin edilmeye çalışılacaktır. Bunlar puant günde tüketilen enerji miktarı ve yıl boyunca tüketilen enerji miktarıdır. Matematiksel modelin bir kez ortaya çıkarılmasının ardından bağımsız değişkenler için ne kadar süreyle tahmin verileri elde edilebilmiş ise bağımsız değişkenlerde o kadar süre için tahminler yapılabilir. Ancak ekonomik kriz, doğal afet yâda teknolojide yaşanabilecek çok ani ve etkin bir değişim bütün tahmin sonuçlarını geçersiz kılabilir. Bununla beraber çok fazla beklenmeyen değişimlerin olmadığı durumlarda tahmin sonuçları gerçeğe oldukça yakın değerler verecektir.

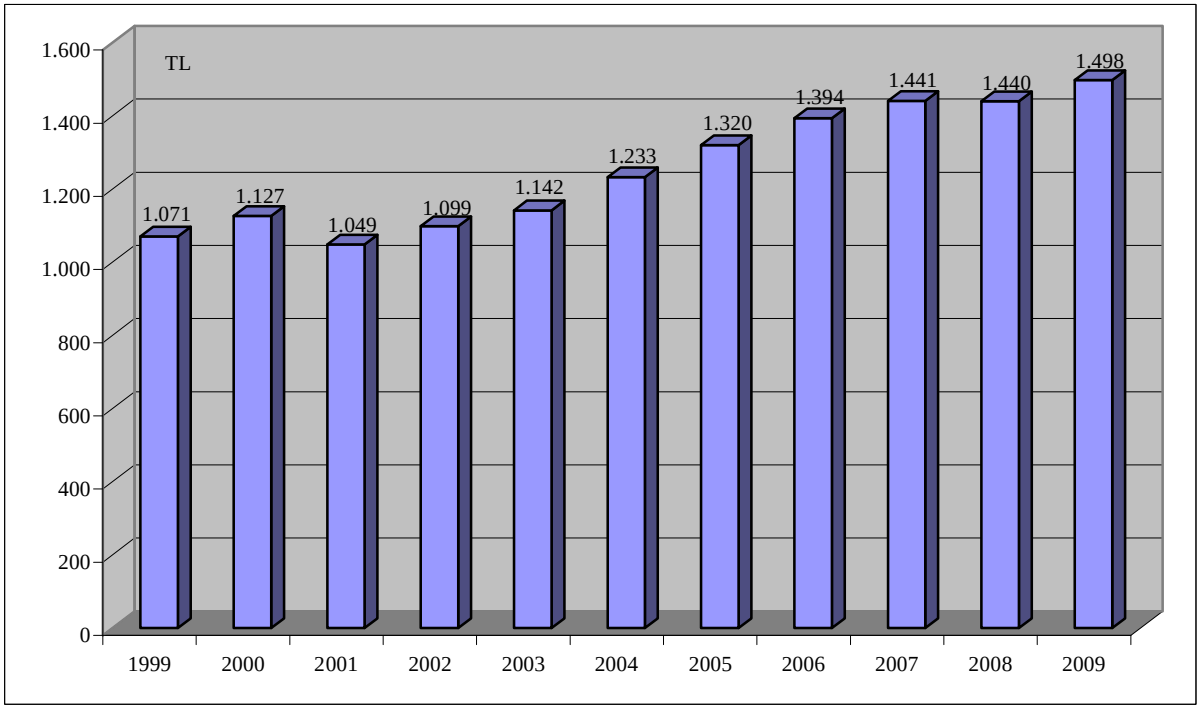
Matematiksel modelin oluşturulmasında yardımcı olacak verilerin yıllara göre değişimi Grafik 5.1, Grafik 5.2, Grafik 5.3, Grafik 5.4, Grafik 5.5 ve Grafik 5.6'da gösterilmektedir.



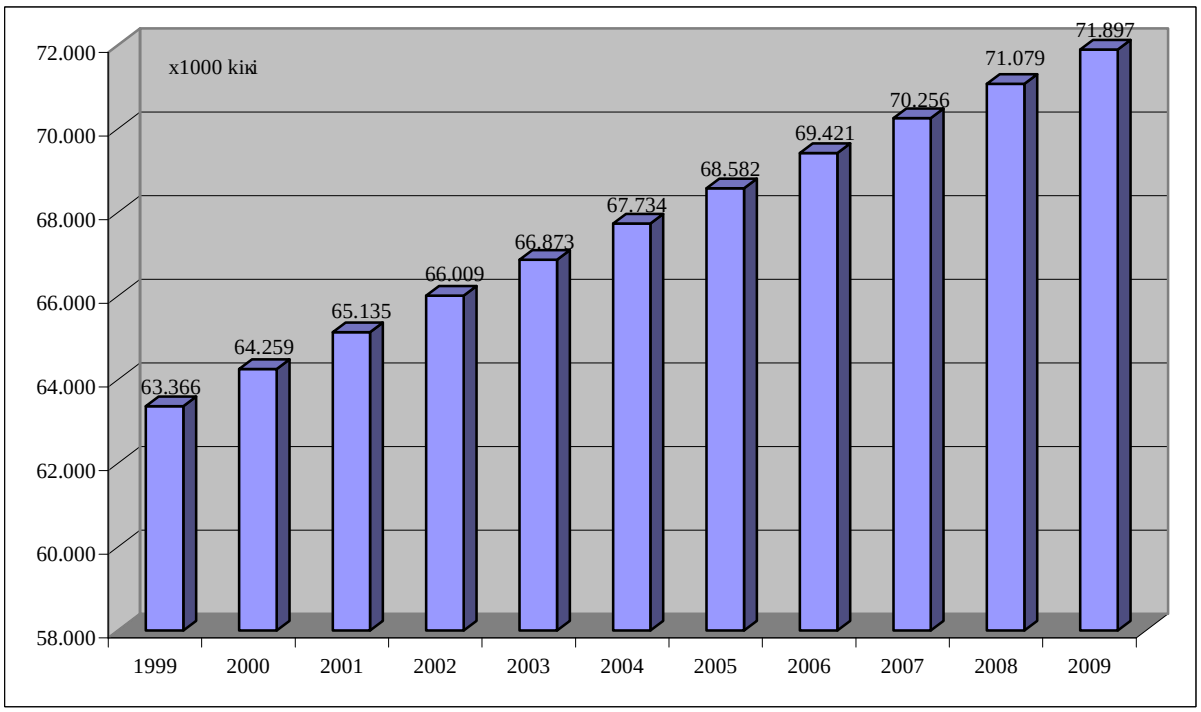
Grafik 5.1: Yıllara Göre Puant Günde Tüketilen Enerji Miktarı (Türkiye Geneli)



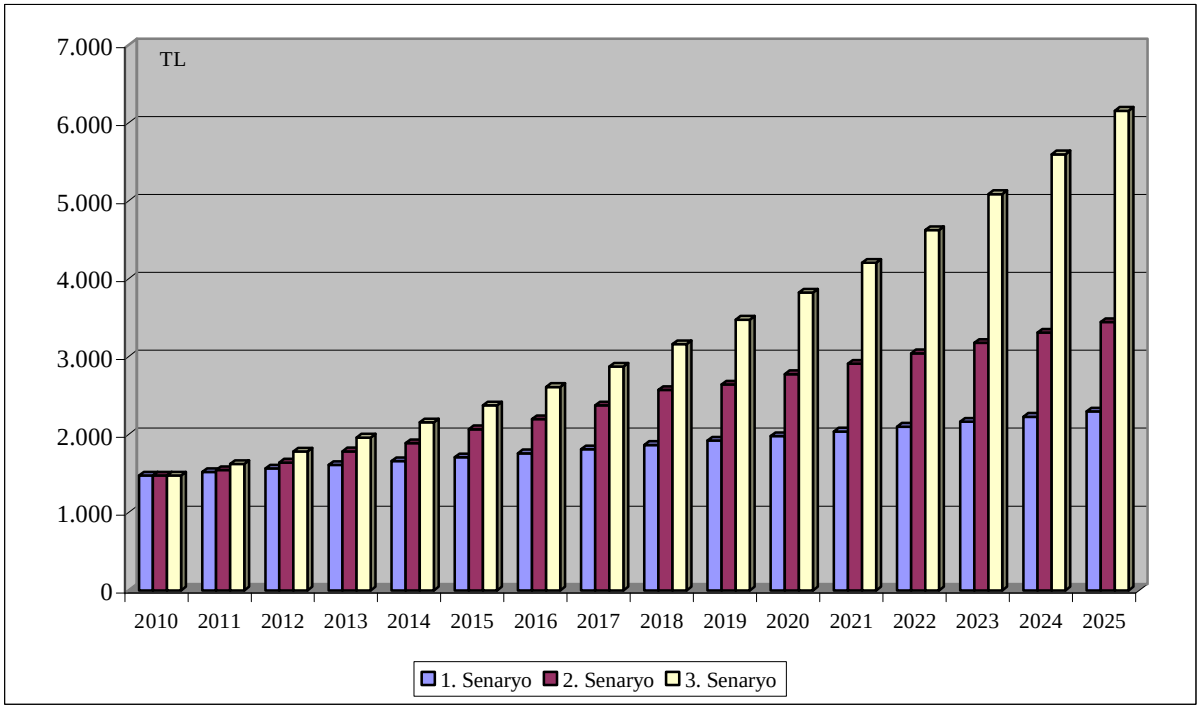
Grafik 5.2: Yıllara Göre Tüketilen Toplam Enerji Miktarı (Türkiye Geneli)



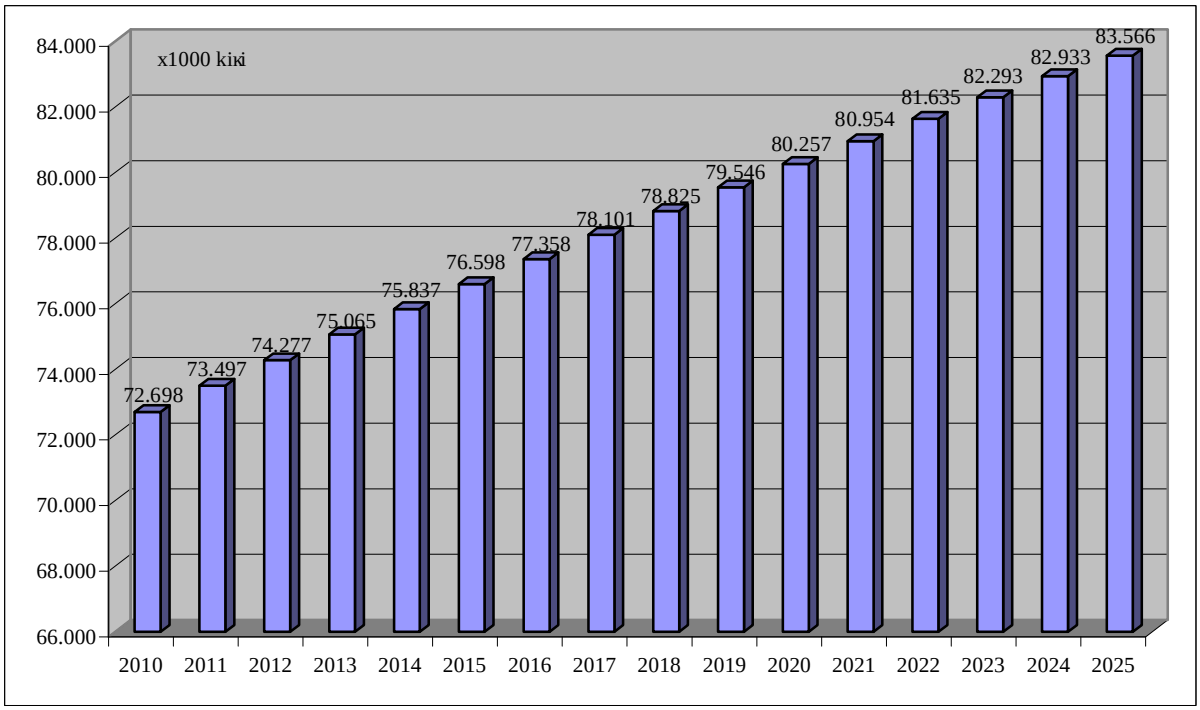
Grafik 5.3: Yıllara Göre Gayri Safi Yurtiçi Hâsıla Değeri (Türkiye Geneli)



Grafik 5.4: Yıllara Göre Nüfus Sayıları (Türkiye Geneli)



Grafik 5.5: Yıllara Göre Gayri Safi Yurtiçi Hâsıla Projeksiyonu (Türkiye Geneli)



Grafik 5.6: Yıllara Göre Türkiye Nüfus Sayıları Projeksiyonu (Türkiye Geneli)

5.2. Puant Yük Talep Tahmini

Öncelikle, yalnızca geçmiş yıllara ait kişi başına düşen GSYİH değeri dikkate alınarak oluşturulacak matematiksel model ile puant yük talebi tahmini yapılarak talebin yıllara göre değişimi incelenecektir. Bunun için Tablo 5.1'de listelenen veri serileri kullanılacaktır.

Tablo 5.1: Kişi Başına Düşen GSYİH ve Puant Yükün Yıllara Göre Değişimi

Yıllar	Puant Yük Talebi (MW)	Kişi Başına GSYİH (TL)
1999	18.938	1.071
2000	19.390	1.127
2001	19.612	1.049
2002	21.006	1.099
2003	21.729	1.142
2004	23.485	1.233
2005	25.174	1.320
2006	27.594	1.394
2007	29.249	1.441
2008	30.517	1.440
2009	30.982	1.498

Tablo 5.1'deki değerler ile oluşturulan matematiksel model aşağıda verilmiştir.

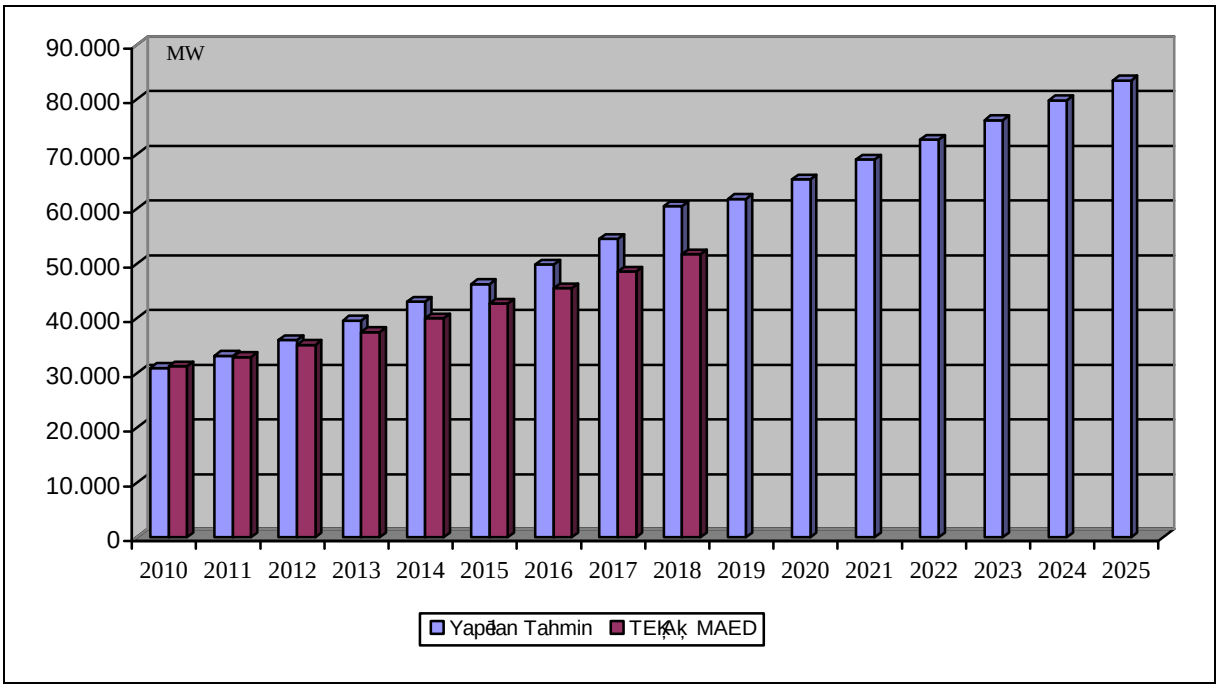
$$\mathbf{F(x) = -9602,648 + 27,0237\ x\ (GSYİH)} \qquad (5.1)$$

Denklem 5.1'e göre;

Yıllar	Kişi Başına GSYİH (TL)	Puant Yük Talep Tahmini (MW)
2010	1.474	30.230
2011	1.543	32.095
2012	1.640	34.716
2013	1.785	38.635
2014	1.890	41.472
2015	2.068	46.282
2016	2.199	49.822
2017	2.374	54.552
2018	2.571	59.875
2019	2.643	61.821
2020	2.776	65.415
2021	2.910	69.036
2022	3.043	72.630
2023	3.177	76.252
2024	3.310	79.846
2025	3.444	83.467

olarak hesaplanır.

Elde edilen bu değerlere göre çizilen tahmin grafiği ile TEİAŞ'ın MAED modülünü kullanarak yapmış olduğu talep projeksiyonu grafiği ile karşılaştırıldığında aşağıdaki Grafik 5.7 ortaya çıkmaktadır.



Grafik 5.7: Yalnızca Kıbrıs Bakımına Dikkate GSYİH Değeri ile Puant Yük Talep Tahmini.

Yapılan tahminin TEİAŞ talep projeksiyonu ile karşılaştırılmasına durumunda ortaya çıkan farklılıklar aşağıda tablo halinde verilmiştir.

Tablo 5.2: Yalnızca Kıbrıs Bakımına Dikkate GSYİH Değeri ile Puant Yük Talep Tahmini.

Yıllar	**Puant Yük Talep Tahmini (MW)**	**TEİAŞ Talep Projeksiyonu (MW)**	**Hata Oranı %**
2010	30.230	31.246	3,25%
2011	32.095	32.964	2,64%
2012	34.716	35.173	1,30%
2013	38.635	37.529	-2,95%
2014	41.472	40.044	-3,57%
2015	46.282	42.727	-8,32%
2016	49.822	45.546	-9,39%
2017	54.552	48.553	-12,35%
2018	59.875	51.757	-15,69%

Yapılan iki tahmin arasındaki ortalama hata oranı % 5,01 seviyesindedir. Aradaki farkın büyük olmasının nedeni TEİAŞ tarafından gerçekleştirilen tahmin değerlerinin içerisinde bulunan verilerin sayısal olarak fazla olmasından kaynaklanmaktadır. GSYİH verileri ile birlikte nüfus değerini de matematiksel model oluşturmak için dikkate alacak olursak Tablo 5.3 ortaya çıkmaktadır.

Tablo 5.3: Puant Yük Talebi, GSYİH ve Nüfus Değerlerinin Yıllara Göre Değişimi.

Yıllar	**Puant Yük Talebi (MW)**	**GSYİH (TL)**	**Nüfus (x1000)**
1999	18.938	1.071	63.366
2000	19.390	1.127	64.259
2001	19.612	1.049	65.135
2002	21.006	1.099	66.009
2003	21.729	1.142	66.873
2004	23.485	1.233	67.734
2005	25.174	1.320	68.582
2006	27.594	1.394	69.421
2007	29.249	1.441	70.256
2008	30.517	1.440	71.079
2009	30.982	1.498	71.897

Tablo 5.3'e göre oluşturulan matematiksel model aşağıda verilmiştir.

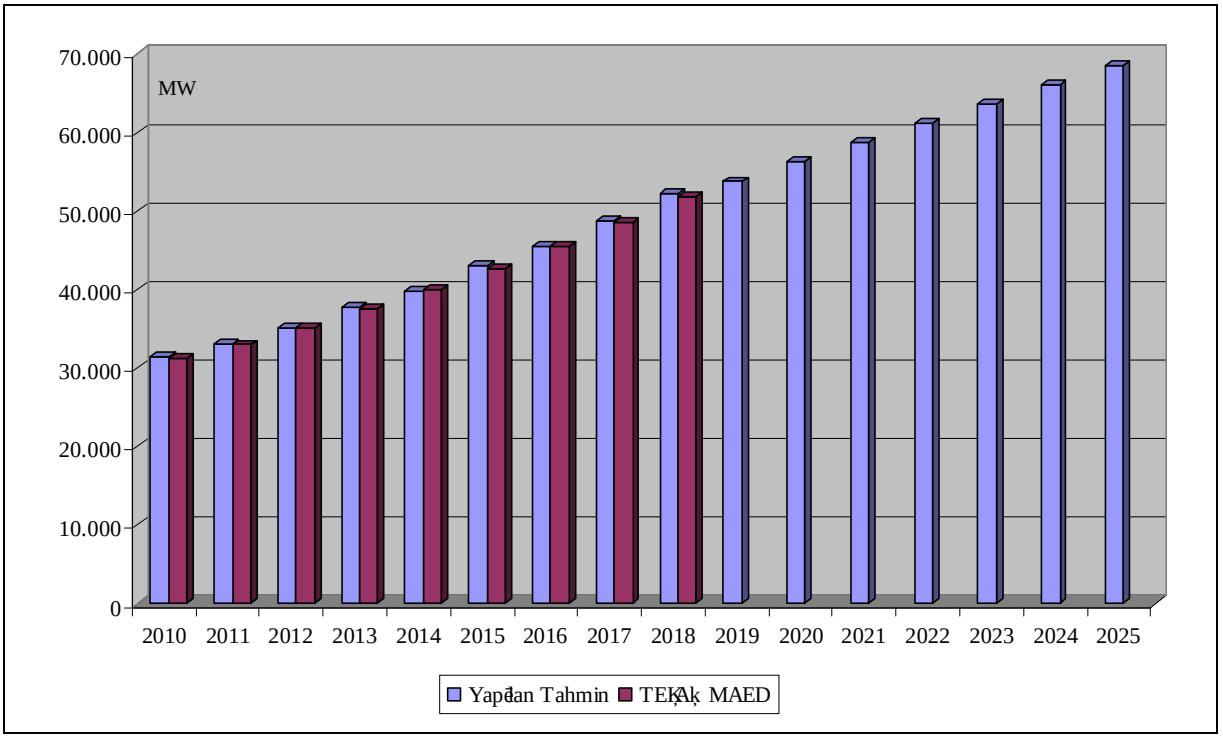
$$\mathbf{F(x) = -46074,77 + 14,6298\ x(GSYİH) + 0,7687\ x(Nüfus)} \qquad (5.2)$$

Denklem 5.2'ye göre hesap yapılırsa;

Yıllar	**GSYİH (TL)**	**Nüfus (x1000)**	**Puant Yük Talep Tahmini (MW)**
2010	1.474	72.698	31.373
2011	1.543	73.497	32.996
2012	1.640	74.277	35.015
2013	1.785	75.065	37.742
2014	1.890	75.837	39.871
2015	2.068	76.598	43.061
2016	2.199	77.358	45.561
2017	2.374	78.101	48.693
2018	2.571	78.825	52.131
2019	2.643	79.546	53.739
2020	2.776	80.257	56.231
2021	2.910	80.954	58.727
2022	3.043	81.635	61.197
2023	3.177	82.293	63.663
2024	3.310	82.933	66.100
2025	3.444	83.566	68.547

değerleri elde edilir.

Ortaya çıkan yeni değerler, TEİAŞ tarafından MAED modülü kullanılarak yapılan talep projeksiyonu sonuçlarıyle karşılaştırıldığında aşağıdaki Grafik 5.8 elde edilmektedir.



Grafik 5.8: Kişi Başına Düşen GSYİH ve Nüfus Değerleri ile Puant Güç Talep Tahmini.

Kişi başına düşen GSYİH değeri ile birlikte nüfus sayımlarından elde edilen değerlerinde tahmin denklemine ilave edilmesi ile TEİAŞ'ın MAED modülü ile yaptığı tahmine çok yakın değerler elde edilmiştir. Bu durum Tablo 5.4'te hata oranlarıyle de gösterilmektedir.

Tablo 5.4: Kişi Başına Düşen GSYİH ve Nüfus Değerleri ile Puant Güç Talep Tahmini.

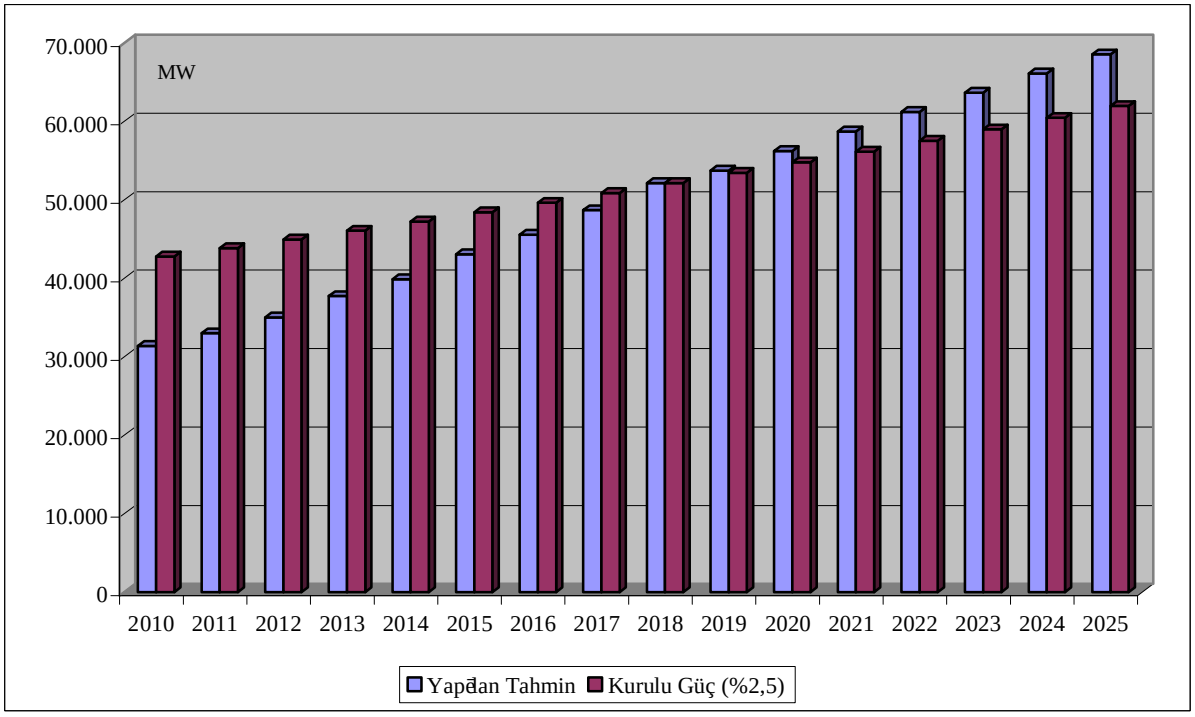
Yıllar	**Puant Yük Talep Tahmini (MW)**	**TEİAŞ Talep Projeksiyonu (MW)**	**Hata Oranı %**
2010	31.373	31.246	0,40%
2011	32.996	32.964	0,10%
2012	35.015	35.173	-0,45%
2013	37.742	37.529	0,56%
2014	39.871	40.044	-0,43%
2015	43.061	42.727	0,77%
2016	45.561	45.548	0,03%
2017	48.693	48.553	0,29%
2018	52.131	51.757	0,72%

Tablo 5.4 ve Grafik 5.8'den anlaşılacağı gibi kişi başına düşen GSYİH ve nüfus değerleri birlikte değerlendirildiğinde gerçeğe oldukça yakın bir tahmin sonucu ortaya çıkmaktadır. Hata oranı yapılan son tahmin modeli için ortalama %0,22 seviyesine kadar gerilemiştir. Tahmin için kullanılabilecek enerji tüketimi ile bağıntılı olan verilerin sayısı artırıldığında tahminin gerçeğe çok daha yakın veriler ortaya koyması kaçınılmazdır.

EÜAŞ'ın kayıt altına aldığı 1999-2009 yılları arasındaki kurulu güç verileri ile bu yıllarda gerçekleşen puant yük talep değerleri Tablo 5.5'te verilmiştir. Sonraki yıllar için hazır bulundurulması gereken kurulu güç miktarının belirlenebilmesi için yapılan puant yük talep tahmini ile kurulu güç projeksiyonu aynı grafik üzerinde incelenerek gelecekte ihtiyaç duyulacak kurulu güç miktarı için değerlendirme yapılabilecektir. Buna göre yapılan çalışma Grafik 5.9'da verilmiştir.

Tablo 5.5: Türkiye Geneli Kurulu Gücü ile Puant Enerji Talep Tahmini Karşılaştırılması

Yıllar	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
Kurulu Güç (MW)	26.125	27.264	28.332	31.752	35.564	36.824	38.820	40.519	40.755	41.744	44.556
Puant Talep (MW)	18.938	19.390	19.612	21.006	21.729	23.485	25.174	27.594	29.249	30.517	30.982



Grafik 5.9: Türkiye Geneli Kurulu Gücü ile Puant Enerji Talep Tahmini Karşılaştırılması

Grafik 5.9'a göre Türkiye genelinde yapılan elektrik enerjisi üretim tesislerine 2010 yılı ve daha sonrasında her yıl için %2,5 düzeyinde bir ilave yapılması durumunda 2020 yılına kadar kurulu güç, puant günde talep edilen enerji miktarı için yeterli düzeyde görünmektedir. Ancak bu yıldan sonra belirtilen düzeyden daha yüksek bir artış sağlanamazsa enerji talebinin karşılanamaması sonucu ortaya çıkabilecektir.

5.3. Toplam Enerji Talep Tahmini

Bu bölümde öncelikle yine sadece kişi başına düşen GSYİH değerleri ile toplam enerji talep tahmini yapılacaktır. Üç farklı senaryo halinde veriler hazırlanan GSYİH verileri için hesaplamalarda ve karşılaştırmalarda öncelikli olarak 2. senaryo kullanılacaktır. Daha sonra yapılacak genel karşılaştırmalarda 1. ve 3. senaryo ile elde edilen tahmin değerleri de incelenecektir. Sadece bir adet veriye dayandırılarak yapılacak olan tahminden gerçeğe yakın sonuçlar elde edilemeyeceği ini vurgulamak için Tablo 5.6'daki veriler ile matematiksel model oluşturulacaktır.

Tablo 5.6: Toplam Enerji Talebi ve GSYİH Değerlerinin Yıllara Göre Değişimi

Yıllar	**Toplam Enerji Talebi (GWh)**	**Kişi Başına GSYİH (TL)**
1999	118.485	1.071
2000	128.276	1.127
2001	126.871	1.049
2002	132.553	1.099
2003	141.151	1.142
2004	150.018	1.233
2005	160.794	1.320
2006	174.637	1.394
2007	190.000	1.441
2008	198.085	1.440
2009	200.137	1.498

Tablo 5.6'ya göre oluşturulan matematiksel model aşağıda verilmiştir.

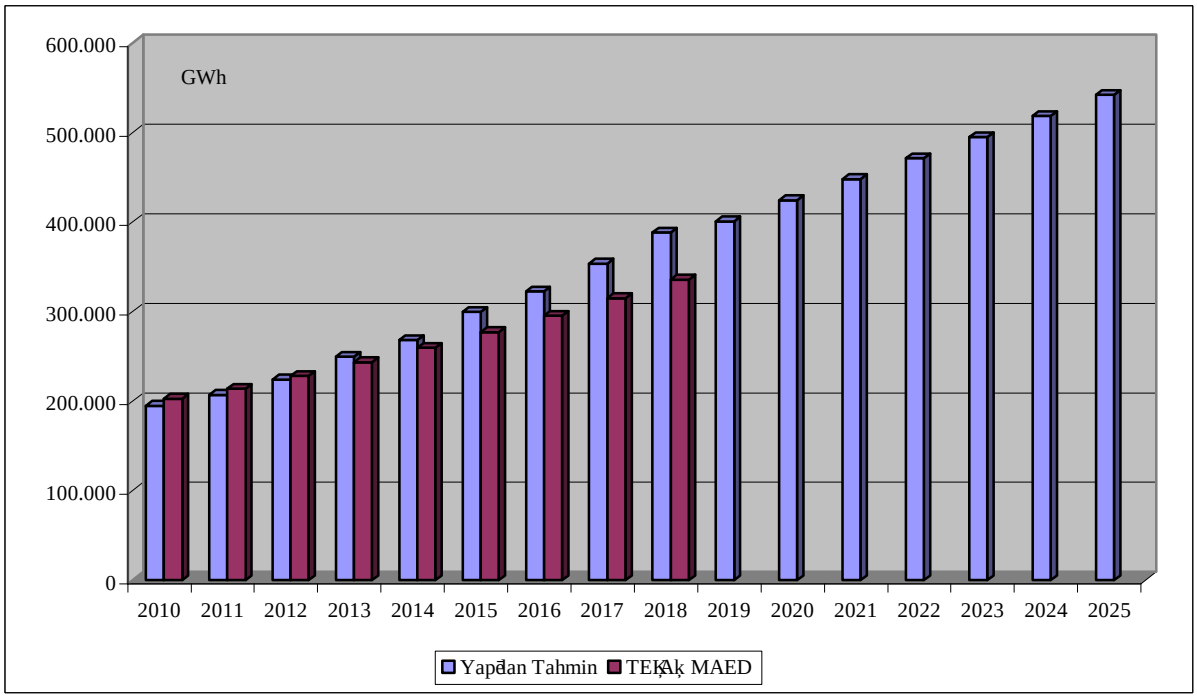
$$\mathbf{F(x) = -64915,52 + 176,2764\ x(GSYİH)} \qquad (5.3)$$

Denklem 5.3'e göre hesap yapılacak olursa;

Yıllar	Kişi Başına GSYİH (TL)	Toplam Enerji Talep Tahmini (GWh)
2010	1.501	199.675
2011	1.584	214.306
2012	1.689	232.815
2013	1.821	256.084
2014	1.948	278.471
2015	2.068	299.624
2016	2.199	322.716
2017	2.374	353.565
2018	2.594	392.345
2019	2.643	400.983
2020	2.776	424.428
2021	2.910	448.049
2022	3.043	471.494
2023	3.177	495.115
2024	3.310	518.559
2025	3.444	542.180

değerleri elde edilir.

Elde edilen bu yeni değerler, MAED modeli ile karşılaştırıldığında Grafik 5.10 ortaya çıkmaktadır;



Grafik 5.10: Sadece Kişi Başına Düşen GSYİH Değeri ile Toplam Enerji Talep Tahmini.

Sadece kişi başına düşen GSYİH verileri dikkate alındığında toplam elektrik enerjisi talep tahmininde TEİAŞ talep projeksiyonuna göre oldukça büyük farklılıklar olduğu gözlenmektedir. Aşağıda bu farklılıklar yüzde oranlarıyle Tablo 5.7'de verilmiştir.

Tablo 5.7: Kişi Başına Düşen GSYİH Değeri ile Toplam Enerji Talep Tahmini.

Yıllar	**Toplam Enerji Talep Tahmini (GWh)**	**TEİAŞ Talep Projeksiyonu (GWh)**	**Hata Oranı %**
2010	194.916	202.730	-4,01%
2011	207.079	213.880	-3,28%
2012	224.178	228.210	-1,80%
2013	249.738	243.500	2,50%
2014	268.247	259.815	3,14%
2015	299.624	277.222	7,48%
2016	322.716	295.519	8,43%
2017	353.565	315.023	10,90%
2018	388.291	335.815	13,51%

Ortalama hata oranı % 4,1 seviyesindedir. İki tahmin sonucu arasındaki farkın bu şekilde büyük olmasının nedeni kullanılan verilerin sayısının az olmasıdır. Üç farklı senaryo için hazırlanan kişi başına düşen GSYİH verilerinden ikinci senaryodan elde edilen değerler ve aynı zamanda nüfus verileri de matematiksel model için kullanılacak olursa daha gerçekçi tahmin sonuçları elde edilebilecektir. Bunun için kullanılacak veriler Tablo 5.8'de verilmiştir.

Tablo 5.8: Toplam Enerji Talebi, GSYİH ve Nüfus Değerlerinin Yıllara Göre Değişimi.

Yıllar	**Toplam Enerji Talebi (GWh)**	**Kişi Başına GSYİH (TL)**	**Nüfus (x1000)**
1999	118.485	1.071	63.366
2000	128.276	1.127	64.259
2001	126.871	1.049	65.135
2002	132.553	1.099	66.009
2003	141.151	1.142	66.873
2004	150.018	1.233	67.734
2005	160.794	1.320	68.582
2006	174.637	1.394	69.421
2007	190.000	1.441	70.256
2008	198.085	1.440	71.079
2009	200.137	1.498	71.897

Tablo 5.8'deki veriler ile oluşturulan matematiksel model aşağıda verilmiştir.

F(x)= -305337,3 + 94,5993x(GSYİH) + 5,0657 x(Nüfus) (5.4)

Denklem 5.4'e göre hesaplama yapıldığında;

Yıllar	Kişi Başına GSYİH (TL)	Nüfus (x1000)	Toplam Enerji Talebi (GWh)
2010	1.474	72.698	205.312
2011	1.543	73.497	217.252
2012	1.640	74.277	231.178
2013	1.785	75.065	247.703
2014	1.890	75.837	263.672
2015	2.068	76.598	278.923
2016	2.199	77.358	295.210
2017	2.374	78.101	315.578
2018	2.571	78.825	340.112
2019	2.643	79.546	348.409
2020	2.776	80.257	364.682
2021	2.910	80.954	380.883
2022	3.043	81.635	397.002
2023	3.177	82.293	413.004
2024	3.310	82.933	428.914
2025	3.444	83.566	444.788

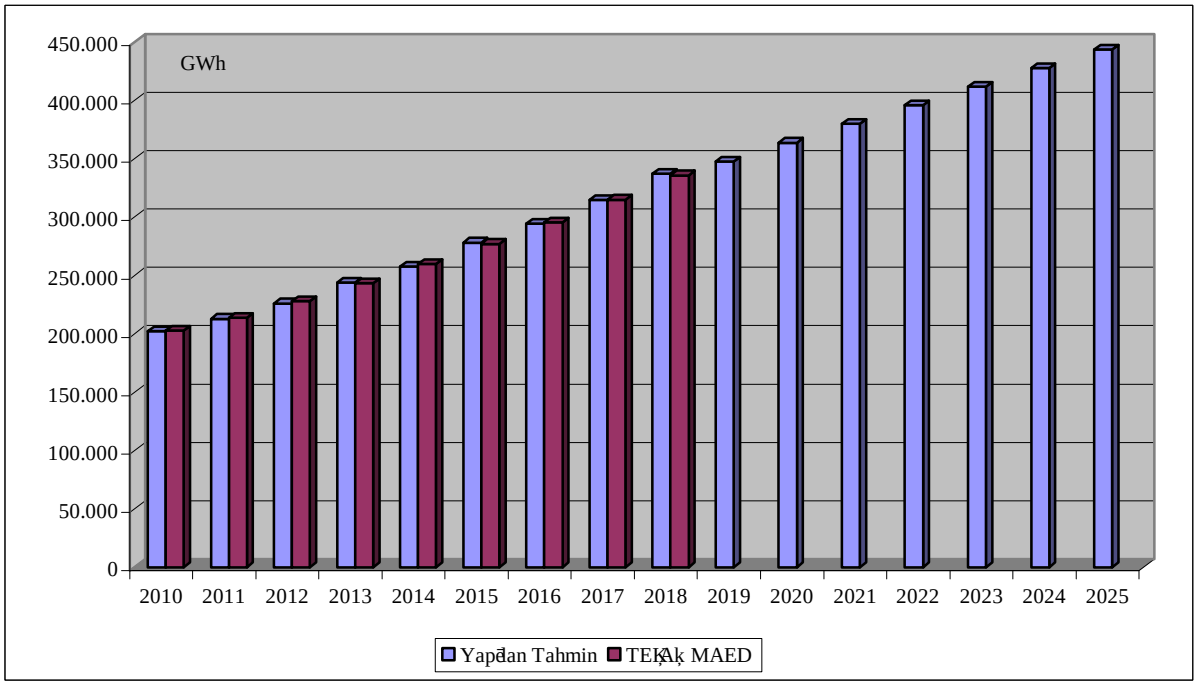
sonuçları elde edilir. Kişi başına düşen GSYİH verilerinin yanı sıra nüfus verileri de dikkate alınarak yapılan toplam enerji talep tahmininde bir önceki modele göre daha gerçekçi veriler elde edilmiştir. Elde edilen bu değerlerin TEİAŞ tarafından MAED modülü kullanılarak yapılan talep tahmini ile aralarındaki fark Tablo 5.9'da yüzde oranları halinde verilmiştir.

Tablo 5.9: Kişi Başına Düşen GSYİH ve Nüfus Değerleri ile Toplam Enerji Talep Tahmini.

Yıllar	Toplam Enerji Talep Tahmini (GWh)	TEİAŞ Talep Projeksiyonu (GWh)	Hata Oranı %
2010	202.368	202.730	-0,18%
2011	212.943	213.880	-0,44%
2012	226.071	228.210	-0,95%
2013	243.779	243.500	0,11%
2014	257.623	259.815	-0,85%
2015	278.317	277.222	0,39%
2016	294.559	295.519	-0,33%
2017	314.878	315.023	-0,05%
2018	337.181	335.815	0,41%

GSYİH ve nüfus verilerinin de matematiksel modele dâhil edilmesi ile yapılan tahmin TEİAŞ'ın MAED modülü ile gerçekleştirdiği tahmin modeline çok daha yakın değerler ortaya koymuştur. Ortalama hata oranı yaklaşık olarak % 0,21 seviyesine kadar gerilemiştir. Bu durum kullanılan verilerin elde edilmek istenen değer ile olan ilişkisinin ve uygun sayıda veri kullanılmasının gerçeğe yakın değerler elde edilmesi için çok önemli olduğu sonucunu ortaya çıkarmaktadır.

Yapılan son tahmin ile MAED modülünün karşılaştırılması sonucunda Grafik 5.11 elde edilmektedir. Grafikten de anlaşılacağı gibi oluşturulan matematiksel model, MAED modeli ile orantılı biçimde ilerlemektedir.



Grafik 5.11: Kişi Başına Düşen GSYİH ve Nüfus Değerleri ile Toplam Enerji Talep Tahmini.

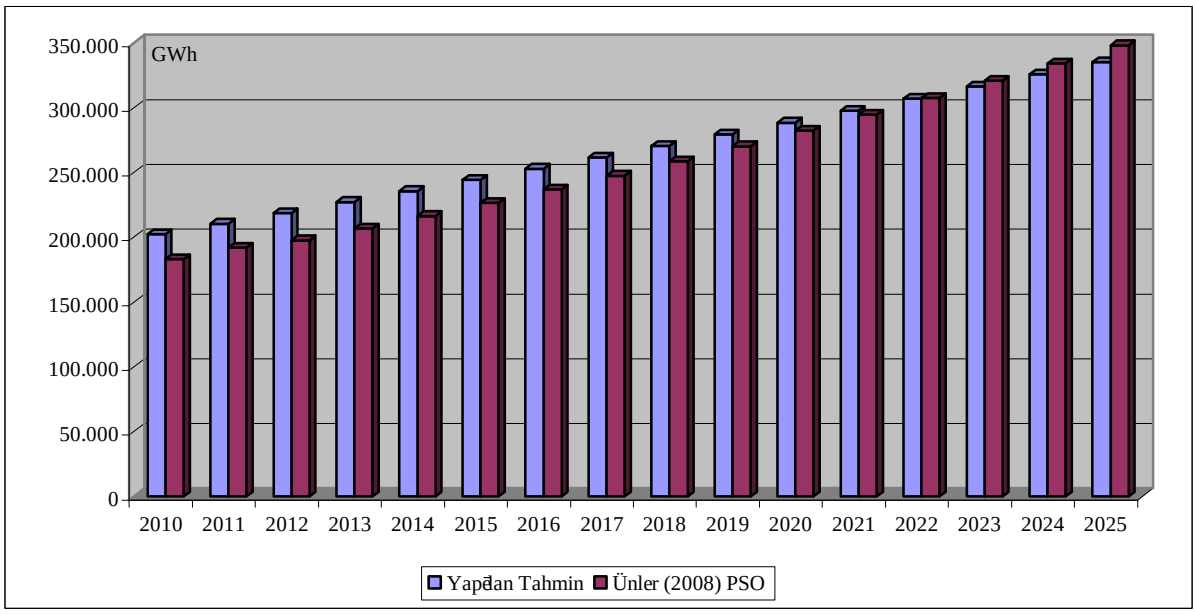
5.4. Modellerin Karşılaştırılması

Bu bölümde ise elde edilen toplam enerji talep tahmin sonuçları üç farklı senaryo için ayrı ayrı karşılaştırılacaktır. İlk olarak Ünler (2008) tarafından PSO modeli kullanılarak tahmin çalışmasındaki sonuçlarla ve ikinci olarak Hamzaçebi (2007) tarafından YSA modeli kullanılarak yapılan tahmin çalışmasındaki sonuçlarla karşılaştırılacaktır. Kişi başına düşen GSYİH değerlerinden birinci senaryo için elde edilen toplam enerji talep tahmini ile Ünler (2008) tarafından yapılan çalışmadaki sonuçlar karşılaştırıldığında Tablo 5.10 elde edilmektedir.

Ünler'in (2008) çalışmasında kullandığı toplam elektrik enerjisi tüketim değerleri TEDAŞ verilerinden; yani son kullanıcıların sayaçlarından okunan verilerden elde edildiğinden iletim ve dağıtım kayıplarının da ilave edilmesi gerekmektedir. Dağıtım kayıpları ortalama %20 ve iletim kayıpları da ortalama %3 seviyesinde olduğuna göre ekit veriler arasında doğru kıyaslama yapılabilmesi için PSO modeli ile yapılan tahmin sonuçlarına ortalama %23 ilave edilmelidir.

Tablo 5.10: Yapılan Tahmin ile PSO Modelinin Karşılaştırılması

Yıllar	**Yapılan Tahmin (Senaryo 1) (GWh)**	**(Ünler, 2008) PSO Modeli (GWh)**	**Hata oranı (%)**
2010	202.368	183.301	9,42%
2011	210.599	191.884	8,89%
2012	218.859	197.725	9,66%
2013	227.289	206.902	8,97%
2014	235.770	216.528	8,16%
2015	244.334	226.513	7,29%
2016	253.033	236.876	6,39%
2017	261.792	247.607	5,42%
2018	270.604	258.788	4,37%
2019	279.556	270.338	3,30%
2020	288.615	282.328	2,18%
2021	297.768	294.757	1,01%
2022	307.008	307.544	-0,17%
2023	316.306	320.741	-1,40%
2024	325.691	334.337	-2,65%
2025	335.225	348.301	-3,90%



Grafik 5.12: Yapılan Toplam Enerji Talep Tahmini ile PSO Modelinin Karşılaştırılması

Tablo 5.10 ve Grafik 5.12'den gözlendiği gibi yapılan tahmin Ünler'in (2008) çalışması ile yakın değerler vermektedir. Bu tahmin çalışmasında sonraki yıllarına için hazırlanan GSYİH değerlerinden birinci senaryodaki veriler kullanılmış ve hata oranının ortalama % 4,18 seviyesinde olduğu gözlemlenmiştir. İki farklı yöntemle yapılan iki ayrı tahmin çalışmasının bu kadar yakın sonuçlar ortaya koyması hazırlanan matematiksel modelin gerçeğe yakın sonuçlar verdiğini doğrulamaktadır.

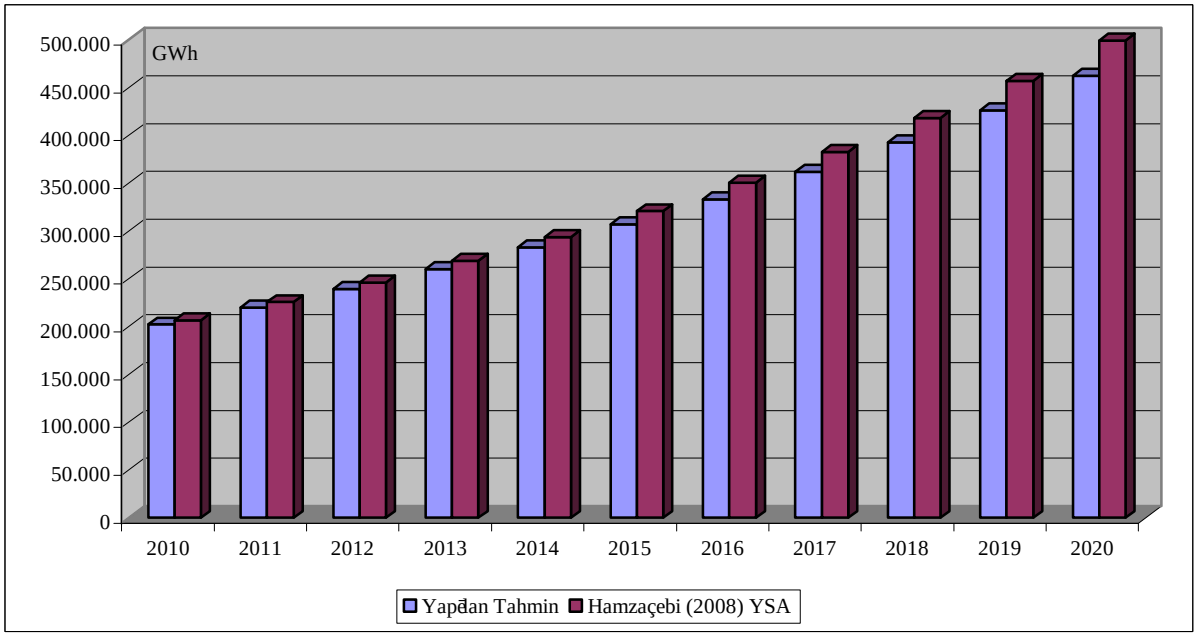
Bu bölümde yapılacak karşılaştırılmada ise oluşturulan matematiksel model, kişi başına düşen GSYİH verileri ile elde edilen üçüncü senaryoya uygulanacaktır. Elde edilen sonuçlar Hamzaçebi (2007) tarafından YSA kullanılarak yapılan toplam enerji talep tahmini sonuçları ile karşılaştırılacaktır.

Hamzaçebi'nin (2007) çalışması 2020 yılına kadar olduğu için karşılaştırma da bu yıla kadar yapılabilecektir. Buna göre yapılan tahmin ve YSA modeli ile elde edilen sonuçlar arasındaki fark tablo 5.11'da verilmiştir.

Tablo 5.11: Yapılan Tahmin ile YSA Modelinin Karşılaştırılması

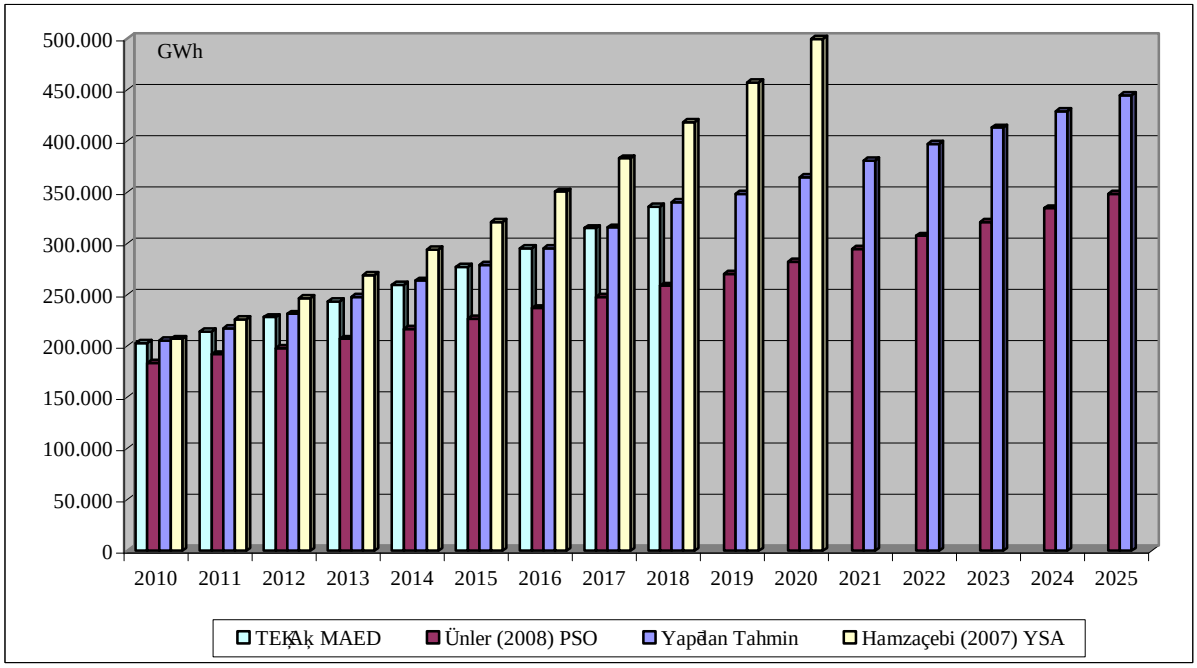
Yıllar	**Yapılan Tahmin (Senaryo 3) (GWh)**	**(Hamzaçebi, 2007) YSA Modeli (GWh)**	**Hata oranı (%)**
2010	202.368	206.832	-2,21%
2011	220.360	225.798	-2,47%
2012	239.649	246.522	-2,87%
2013	260.513	269.194	-3,33%
2014	282.983	293.961	-3,88%
2015	307.254	321.054	-4,49%
2016	333.560	350.663	-5,13%
2017	362.027	383.061	-5,81%
2018	392.867	418.479	-6,52%
2019	426.410	457.223	-7,23%
2020	462.890	499.588	-7,93%

Yukarıdaki tabloda verilen değerlere göre yapılan tahmin için kullanılan üçüncü senaryo ile Hamzaçebi'nin (2007) yaptığı çalışmadaki sonuçlar birbirine daha yakındır. Yapılan tahmin çalışmasında bu kez üçüncü senaryo'dan elde edilen sonuçlar kullanılarak karşılaştırma yapılmıştır. Bu durumda da hata oranının ortalama % 4,71 seviyesinde olduğu tespit edilmiştir. Elde edilen bu sonuçlar Grafik 5.13'de daha ayrıntılı olarak incelenebilmektedir.



Grafik 5.13: Yapılan Toplam Enerji Talep Tahmini ile YSA Modelinin Karşılaştırılması.

Son olarak, matematiksel modelleme kullanılarak yapılan tahminin, TEİAŞ tarafından MAED modülü ile hazırlanan talep tahminin (düşük senaryo), Ünler (2008) tarafından PSO modülü ile hazırlanan talep tahminin ve Hamzaçebi (2007) tarafından YSA modülü kullanılarak hazırlanan talep tahminin sonuçları aynı grafik üzerinde gösterilecek olursa aşağıdaki grafik ortaya çıkacaktır.



Grafik 5.14: Yapılan Toplam Enerji Talep Tahmininin MAED, PSO ve YSA Modülleri ile Karşılaştırılması.

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Elektrik enerjisinin kaliteli sürekli ve hesaplı biçimde son kullanıcıların hizmetine sunulabilmesi için görev yapan kurum ve kuruluşların en önemli sorumluluklarından birisi de geleceğe yönelik taleplerin önceden tahmin edilerek gerekli yatırımların bakım ve yenilemelerin yapılmasıdır. Bu tahminlerden en önemli iki tanesi, yıl içinde puant gün olarak tanımlanan sistemden en fazla elektrik enerjisinin çekildiği gündeki puant talep değeri ve yıllık tüketilen toplam enerji talep değeridir.

Bu değerlerin tahmin edilebilmesi için çok çeşitli yöntemler bulunmaktadır. Bu yöntemler birbirinden kesin olarak ayrılamamakla beraber hepsinin kendine özgü değerlendirme yöntemleri vardır. Yapay zekâ, bulanık mantık ya da uzman sistemler olarak bilinen tahmin yöntemleri, girdi olarak kullanılan verilerden öğrenme yoluyla yada mantıksal çıkarımlar yaparak elde ettiği tahminleri ortaya koymaktadır. Diğer birçok tahmin yöntemi ise geçmiş yıllara ait elde edilen verilerin artık katsayılarının benzetimi yoluyla sonraki yıllar için tahminler oluşturmaktadır.

Elektrik enerjisinin kullanımı sosyal hayatın her alanında, sanayide, ısıtmada, soğutmada, üretim süreçlerinde, evsel kullanımda yaygın olduğu için; aynı zamanda kullanılan elektrikli eşyaların artışından, sosyal alışkanlıkların değişiminden, nüfusun artmasından etkilendiği için yapılacak tahminlerde geçmiş yıllara ait birçok veri kullanılabilmektedir. Korelâsyon katsayısı olarak tanımlanan ve herhangi bir verinin enerji talep verisi ile olan ilişkisini ortaya koyan katsayının değerine göre bu veriler talep tahminlerinde göz önüne alınabilmektedir. Yapılan talepleri etkileyen birçok verinin bulunması nedeniyle ülkemizde ve diğer birçok ülkede enerji talep tahmini için ENPEP modeli kullanılmaktadır. Bu modelin alt modüllerinden biri olan MAED modülünde yaklaşık 170 farklı veri kullanılmaktadır. Ancak bu verilerden en önemli olanları ülkede yaşayan insanların sosyal alışkanlıklarını ve dolayısıyla elektrik kullanımını en çok etkileyen ñkişi başına düşen GSYİHò değeri ile ülkede yaşayan insanların sayıca çokluğudur. Bu iki veri doğru biçimde değerlendirilip yapılacak olan talep tahminleri için uygun denklemler oluşturulduğunda sonraki yıllar için gerçekçi tahminler yapılabilmektedir.

Bu çalışmada da 1999 yılından 2009 yılına kadar olan dönem için TEİAŞ Genel Müdürlüğü ve TÜİK verileri dikkate alınarak 2010 yılından 2025 yılına kadar olan süre için puant yük ve toplam enerji talep tahminleri gerçekleştirilmiştir. MAED modeli ile bu tez çalışmasında yapılan tahmin karşılaştırıldığında puant yük talep tahmini için

aradaki hata oranının ortalama % 0,22 ve toplam enerji talep tahmini için ise hata oranının % 0,21 olduğu belirlenmiştir. Literatürde bulunan diğer çalışmalar ile karşılaştırıldığında birbirine oldukça yakın değerler elde edildiği görülmüştür. Bu sonuçlara göre, kişi başına düşen GSYİH ve nüfus değerleri matematiksel model için uygun şekilde kullanıldığında sonraki yılların elektrik enerjisi tüketim değerlerinin tahmin edilmesinde oldukça gerçekçi sonuçlar elde edildiği gözlemlenmiştir.

En basit tanımı ile yapılan çalışmada ekonomik veriler ve elektrik enerjisi kullanıcılarının sayısı dikkate alınarak elektrik enerjisi tüketimi tahmin edilmiş ve bu iki verinin tahmin sonuçları üzerinde belirleyici olduğu gözlemlenmiştir. Diğer tahmin çalışmalarında kullanılan birçok farklı verinin de tahmin sonuçlarını etkileyeceği kabul edilmekle beraber yapılan bu tez çalışması için seçilen değerler gerçeğe yakın tahminler yapılabilmesi için yeterli olduğu gözlenmiştir. Sonuca ulaşmak için oldukça pratik bir yöntem olması açısından matematiksel model ile yük tahmini yapılması yönteminin kullanışlı ve uygulanabilir olduğu belirlenmiştir.

7. EKLER

F(x) Fonksiyonlarının Hesaplanması

Tez çalışmasında kullanılan matematiksel modellerin nasıl elde edildiği ile ilgili detaylı hesaplamalar bu bölümde verilmiştir. Bu bölümde yapılan hesaplamalar için WinQSB programı kullanılmıştır. Regresyon denklemlerinin oluşturulması için kullanılan bu program Bölüm 4.7'de detayları verilen formülleri kullanarak matematiksel modeli ortaya çıkarmaktadır. Bağımsız değişkenlerin ve bir bağımlı değişkenin yıllara göre değişiminin tablo halinde verilmesi ile WinQSB programı matematiksel modeli oluşturmaktadır. Bu programın kullanılmasındaki amaç yapılan hesaplamalardaki matris ve kısmi türev işlemlerinin daha kolay gerçekleştirilebilmesidir.

Denklem 5.1:

Observation	GSYIH	Puant
1	1071	18938
2	1127	19390
3	1049	19612
4	1099	21006
5	1142	21729
6	1233	23485
7	1320	25174
8	1394	27594
9	1441	29249
10	1440	30517
11	1498	30982

Şekil 7.1: Puant Yük Talep Tahmini İçin Kullanılacak Değerlerin Programa Girişi.

12-09-2010	Variable	Variable	Correlation
1	GSYIH	Puant	0,9842

Şekil 7.2: Puant Yük Talep Tahmini İçin Girilen Değerlerin Arasındaki Korelâsyon Katsayısı.

12-09-2010 17:21:00	Variable Name	Mean	Standard Deviation	Regression Coefficient	Standard Error	t value	Probability > |t|
Dependent	Puant	24334,1800	4608,2050				
Y-intercept	Constant			-9602,6480	2050,9550	-4,6820	0,0011
1	GSYIH	1255,8180	167,8309	27,0237	1,6201	16,6807	0
	Se =	859,8138	R-square =	0,9687	R-adjusted =	0,9652	

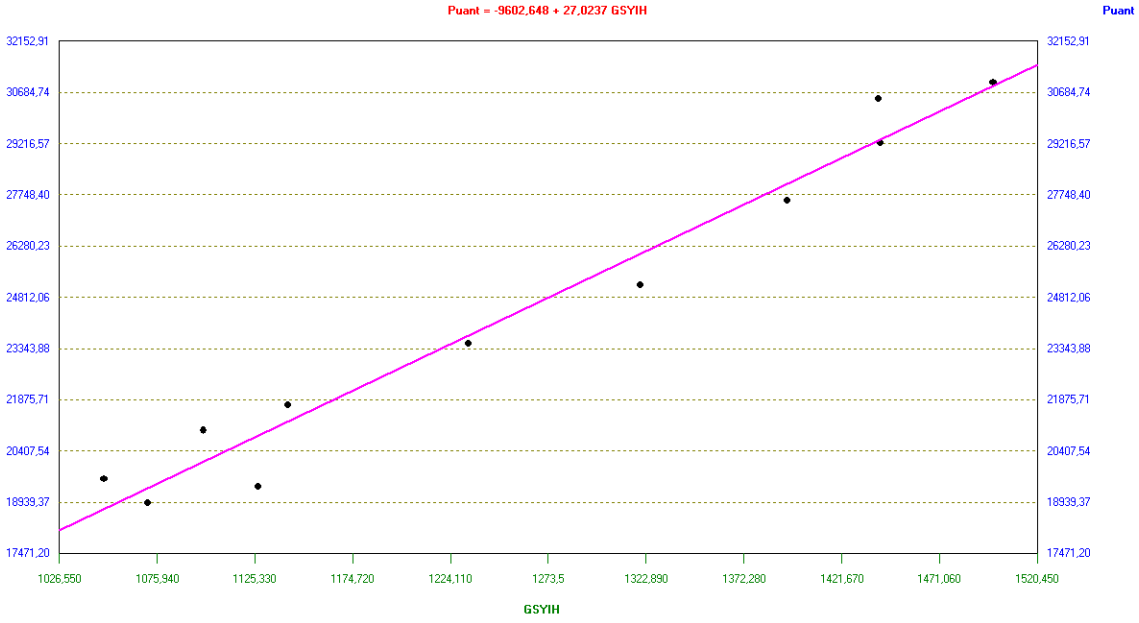
Şekil 7.3: Puant Yük Talep Tahmini İçin Oluşturulacak Matematiksel Modelin Sabitleri ve Çarpanları.

12-09-2010 17:23:59	Actual Puant	Prediction	Std. Dev. of Prediction	Residual	% Residual	Standardized Residual
1	18938,0000	19339,7500	396,0530	-401,7539	-2,0773	-0,4925
2	19390,0000	20853,0800	332,8068	-1463,0820	-7,0161	-1,7937
3	19612,0000	18745,2300	423,6408	866,7676	4,6239	1,0626
4	21006,0000	20096,4200	362,9759	909,5820	4,5261	1,1151
5	21729,0000	21258,4400	318,1320	470,5625	2,2135	0,5769
6	23485,0000	23717,6000	261,8662	-232,5957	-0,9807	-0,2852
7	25174,0000	26068,6600	279,3186	-894,6582	-3,4319	-1,0968
8	27594,0000	28068,4100	342,5231	-474,4141	-1,6902	-0,5816
9	29249,0000	29338,5300	396,4985	-89,5293	-0,3052	-0,1098
10	30517,0000	29311,5100	395,2741	1205,4940	4,1127	1,4779
11	30982,0000	30878,8800	470,2613	103,1191	0,3339	0,1264

Şekil 7.4: Puant Yük Talep Tahmini İçin Oluşturulan Matematiksel Modelde Kullanılan Diğer Veriler.

12-09-2010 17:23:23	Dependent Variable	Independent Variable
Equation:	Puant =	- 9602,6480 + 27,0237 GSYIH

Şekil 7.5: Puant Yük Talep Tahmini İçin Oluşturulan Matematiksel Model.



Şekil 7.6: Puant Yük Talep Tahmini İçin Kullanılan İki Veri Arasında Oluşturulan Regresyon Doğrusu. (GSYİH ve Puant Enerji Talebi)

Denklem 5.2:

Observation	GSYIH	Puant	Nufus
1	1071	18938	63366
2	1127	19390	64259
3	1049	19612	65135
4	1099	21006	66009
5	1142	21729	66873
6	1233	23485	67734
7	1320	25174	68582
8	1394	27594	69421
9	1441	29249	70256
10	1440	30517	71079
11	1498	30982	71897

Şekil 7.7: Puant Yük Talep Tahmini İçin Kullanılacak Değişkenlerin Programa Girişi.

12-09-2010	Variable	Variable	Correlation
1	GSYIH	Puant	0,9842
2	GSYIH	Nufus	0,9561
3	Puant	Nufus	0,9815

Şekil 7.8: Puant Yük Talep Tahmini İçin Girilen Değişkenlerin Arasındaki Korelâsyon Katsayıları.

12-09-2010 17:25:19	Variable Name	Mean	Standard Deviation	Regression Coefficient	Standard Error	t value	Probability > |t|
Dependent	Puant	24334,1800	4608,2050				
Y-intercept	Constant			-46074,7700	10383,7600	-4,4372	0,0022
1	GSYIH	1255,8180	167,8309	14,6298	3,6574	4,0001	0,0039
2	Nufus	67691,9100	2829,3330	0,7687	0,2170	3,5432	0,0076
	Se =	568,9642	R-square =	0,9878	R-adjusted =	0,9848	

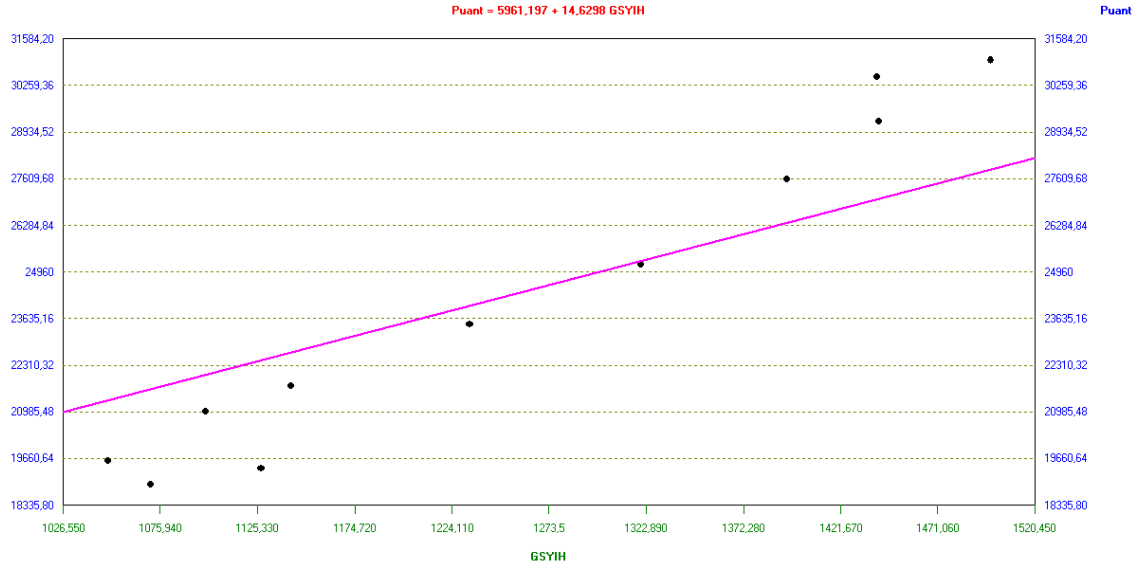
Şekil 7.9: Puant Yük Talep Tahmini İçin Oluşturulacak Matematiksel Modelin Sabitleri ve Çarpanları.

12-09-2010 17:28:15	Actual Puant	Prediction	Std. Dev. of Prediction	Residual	% Residual	Standardized Residual
1	18938,0000	18304,3000	392,5628	633,7031	3,4620	1,2452
2	19390,0000	19810,0300	367,6016	-420,0293	-2,1203	-0,8254
3	19612,0000	19342,3000	327,0407	269,6973	1,3943	0,5300
4	21006,0000	20745,6500	302,0905	260,3477	1,2550	0,5116
5	21729,0000	22038,9000	304,7360	-309,9043	-1,4062	-0,6090
6	23485,0000	24032,0800	194,7660	-547,0801	-2,2765	-1,0750
7	25174,0000	25956,7400	187,4895	-782,7441	-3,0156	-1,5381
8	27594,0000	27684,3000	251,0857	-90,3047	-0,3262	-0,1775
9	29249,0000	29013,7800	277,7907	235,2168	0,8107	0,4622
10	30517,0000	29631,8100	276,8817	885,1934	2,9873	1,7394
11	30982,0000	31109,1400	317,9967	-127,1445	-0,4087	-0,2498

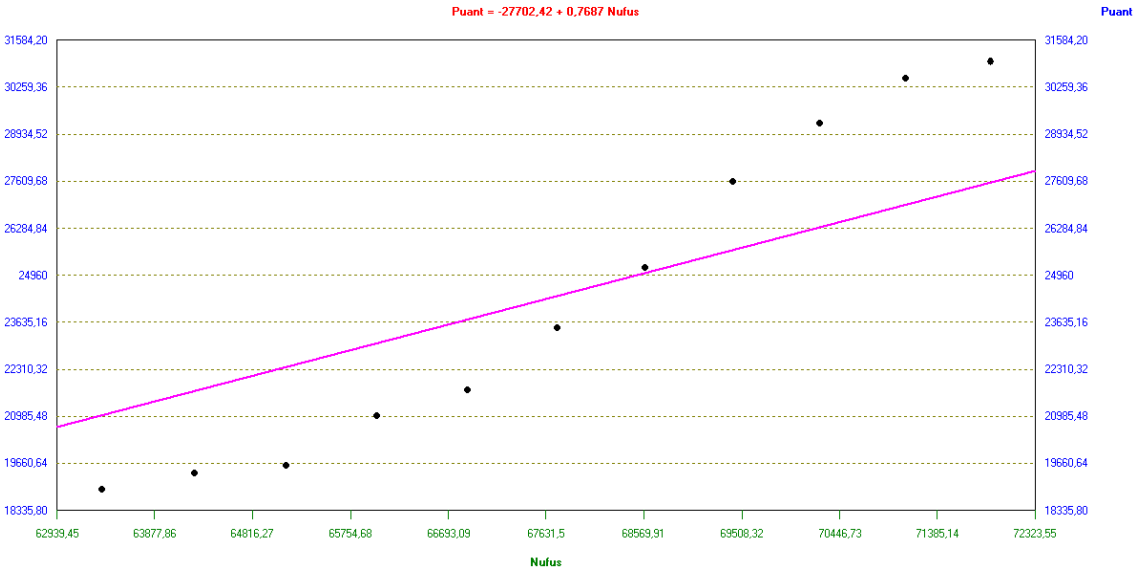
Şekil 7.10: Puant Yük Talep Tahmini İçin Oluşturulan Matematiksel Modelde Kullanılan Diğer Veriler.

12-09-2010 17:26:05	Dependent Variable	Independent Variable
Equation:	Puant =	- 46074,7700 + 14,6298 GSYIH + 0,7687 Nufus

Şekil 7.11: Puant Yük Talep Tahmini İçin Oluşturulan Matematiksel Model.



Şekil 7.12: Puant Yük Talep Tahmini İçin Kullanılan İki Veri Arasında Oluşturulan Regresyon Doğrusu. (GSYİH ve Puant Enerji Talebi)



Şekil 7.13: Puant Yük Talep Tahmini İçin Kullanılan İki Veri Arasında Oluşturulan Regresyon Doğrusu. (Nüfus ve Puant Enerji Talebi)

Denklem 5.3:

Observation	GSYIH	Toplam
1	1071	118485
2	1127	128276
3	1049	126871
4	1099	132553
5	1142	141151
6	1233	150018
7	1320	160794
8	1394	174637
9	1441	190000
10	1440	198085
11	1498	200137

Şekil 7.14: Toplam Enerji Talep Tahmini İçin Kullanılacak Değerlerin Programa Girişi.

12-09-2010	Variable	Variable	Correlation
1	GSYIH	Toplam	0,9821

Şekil 7.15: Toplam Enerji Talep Tahmini İçin Girilen Değerlerin Arasındaki Korelâsyon Katsayısı

12-09-2010 17:30:03	Variable Name	Mean	Standard Deviation	Regression Coefficient	Standard Error	t value	Probability > |t|
Dependent	Toplam	156455,2000	30122,7400				
Y-intercept	Constant			-64915,5200	14251,6500	-4,5549	0,0014
1	GSYIH	1255,8180	167,8309	176,2764	11,2575	15,6586	0,0000
	Se =	5974,6630	R-square =	0,9646	R-adjusted =	0,9607	

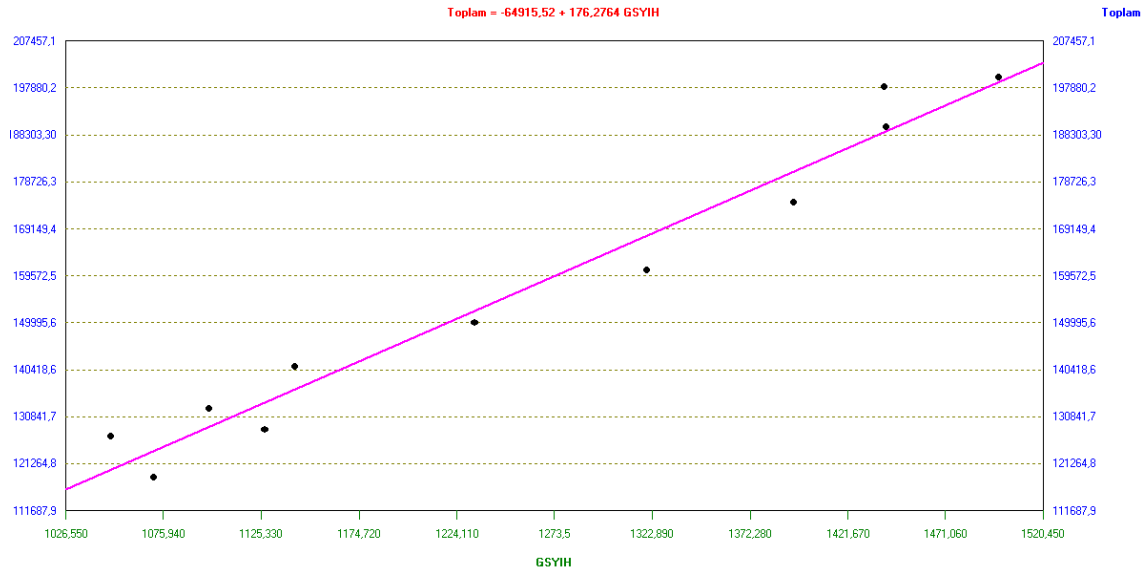
Şekil 7.16: Toplam Enerji Talep Tahmini İçin Oluşturulan Matematiksel Modelin Sabitleri ve Çarpanları

12-09-2010 17:31:14	Actual Toplam	Prediction	Std. Dev. of Prediction	Residual	% Residual	Standardized Residual
1	118485,0000	123876,5000	2752,0880	-5391,5160	-4,3523	-0,9512
2	128276,0000	133748,0000	2312,6040	-5472,0000	-4,0913	-0,9654
3	126871,0000	119998,4000	2943,7900	6872,5630	5,7272	1,2125
4	132553,0000	128812,3000	2522,2420	3740,7420	2,9040	0,6600
5	141151,0000	136392,1000	2210,6320	4758,8590	3,4891	0,8396
6	150018,0000	152433,3000	1819,6520	-2415,2970	-1,5845	-0,4261
7	160794,0000	167769,3000	1940,9260	-6975,3440	-4,1577	-1,2306
8	174637,0000	180813,8000	2380,1200	-6176,7970	-3,4161	-1,0898
9	190000,0000	189098,8000	2755,1840	901,2031	0,4766	0,1590
10	198085,0000	188922,5000	2746,6760	9162,4840	4,8499	1,6165
11	200137,0000	199146,5000	3267,7460	990,4531	0,4973	0,1747

Şekil 7.17: Toplam Enerji Talep Tahmini İçin Oluşturulan Matematiksel Modelde Kullanılan Diğer Veriler

12-09-2010 17:30:37	Dependent Variable	Independent Variable
Equation:	Toplam =	- 64915,5200 + 176,2764 GSYIH

Şekil 7.18: Toplam Enerji Talep Tahmini İçin Oluşturulan Matematiksel Model.



Şekil 7.19: Toplam Enerji Talep Tahmini İçin Kullanılan İki Verinin Regresyon Doğrusu. (GSYİH ve Toplam Enerji Talebi)

Denklem 5.4:

Observation	GSYIH	Toplam	Nufus
1	1071	118485	63366
2	1127	128276	64259
3	1049	126871	65135
4	1099	132553	66009
5	1142	141151	66873
6	1233	150018	67734
7	1320	160794	68582
8	1394	174637	69421
9	1441	190000	70256
10	1440	198085	71079
11	1498	200137	71897

Şekil 7.20: Toplam Enerji Talep Tahmini İçin Kullanılacak Değerlerin Programa Girişi.

12-09-2010	Variable	Variable	Correlation
1	GSYIH	Toplam	0,9821
2	GSYIH	Nufus	0,9561
3	Toplam	Nufus	0,9799

Şekil 7.21: Toplam Enerji Talep Tahmini İçin Girilen Değerlerin Arasındaki Korelâsyon Katsayısı

12-09-2010 17:31:56	Variable Name	Mean	Standard Deviation	Regression Coefficient	Standard Error	t value	Probability > |t|
Dependent	Toplam	156455,2000	30122,7400				
Y-intercept	Constant			-305337,3000	77632,0100	-3,9331	0,0043
1	GSYIH	1255,8180	167,8309	94,5993	27,3437	3,4596	0,0086
2	Nufus	67691,9100	2829,3330	5,0657	1,6220	3,1231	0,0142
	Se =	4253,7430	R-square =	0,9840	R-adjusted =	0,9801	

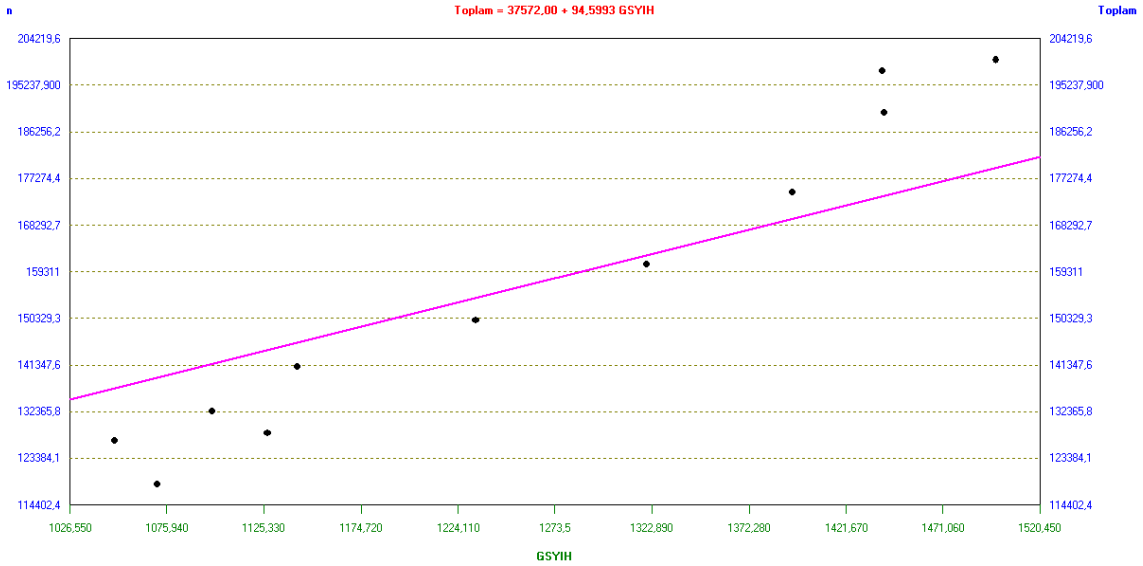
Şekil 7.22: Toplam Enerji Talep Tahmini İçin Oluşturulan Matematiksel Modelin Sabitleri ve Çarpanları

12-09-2010 17:33:50	Actual Toplam	Prediction	Std. Dev. of Prediction	Residual	% Residual	Standardized Residual
1	118485,0000	116973,9000	2934,9140	1511,1020	1,2918	0,3972
2	128276,0000	126795,2000	2748,2970	1480,8360	1,1679	0,3892
3	126871,0000	123854,0000	2445,0520	3017,0000	2,4359	0,7930
4	132553,0000	133011,4000	2258,5160	-458,4219	-0,3446	-0,1205
5	141151,0000	141456,0000	2278,2950	-304,9844	-0,2156	-0,0802
6	150018,0000	154426,1000	1456,1270	-4408,1090	-2,8545	-1,1586
7	160794,0000	166952,0000	1401,7260	-6158,0000	-3,6885	-1,6185
8	174637,0000	178202,5000	1877,1900	-3565,5000	-2,0008	-0,9371
9	190000,0000	186878,5000	2076,8450	3121,4530	1,6703	0,8204
10	198085,0000	190953,0000	2070,0490	7131,9530	3,7349	1,8745
11	200137,0000	200583,6000	2377,4360	-446,5781	-0,2226	-0,1174

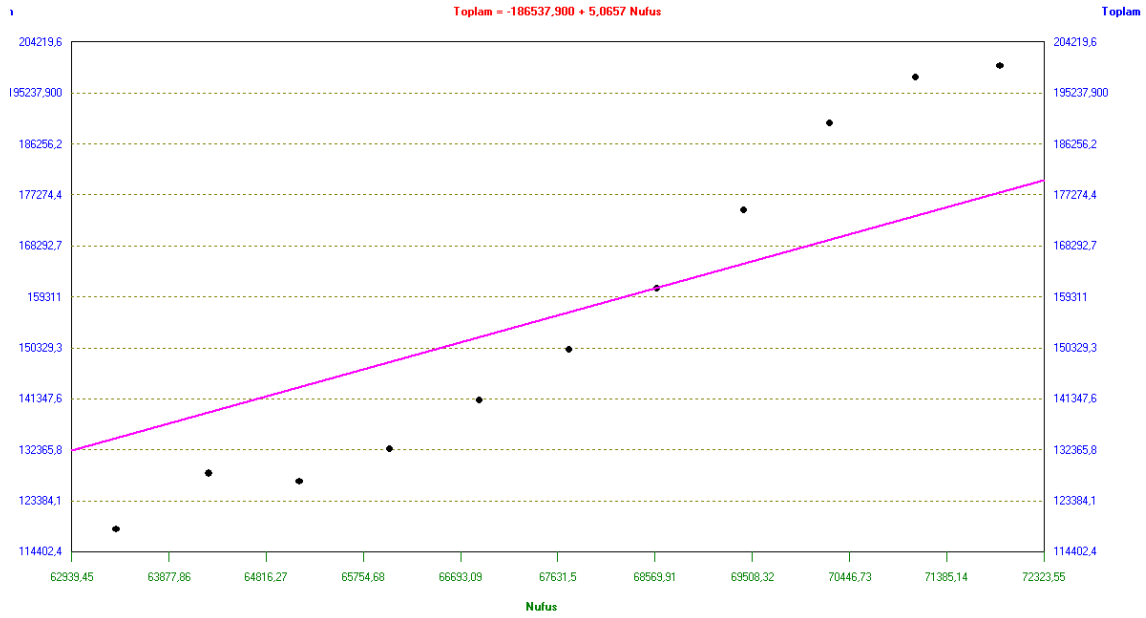
Şekil 7.23: Toplam Enerji Talep Tahmini İçin Oluşturulan Matematiksel Modelde Kullanılan Diğer Veriler.

12-09-2010 17:32:30	Dependent Variable	Independent Variable
Equation:	Toplam =	- 305337,3000 + 94,5993 GSYIH + 5,0657 Nufus

Şekil 7.24: Toplam Enerji Talep Tahmini İçin Oluşturulan Matematiksel Model.



Şekil 7.25: Toplam Enerji Talep Tahmini İçin Kullanılan İki Verinin Regresyon Doğrusu. (GSYİH ve Toplam Enerji Talebi)



Şekil 7.26: Toplam Enerji Talep Tahmini İçin Kullanılan İki Verinin Regresyon Doğrusu.
(Nüfus ve Toplam Enerji Talebi)

KAYNAKLAR

Akar H.A., 2005,ñDaðýtým Sisteminin Özelleþtirilmesi ve Yapay Sinir Aðlarý ile Yük Tahminiò, *Yüksek Lisans Tezi*, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 43-45,61.

Akçollu, F.Y., 2003, ñ*Elektrik Sektöründe Rekabet ve Regülâsyon*ò, Ankara 3-4,59-66.

Bayraktar, B.N. ve Öner Ö.D., 1994 ñElektrik Enerjisi Talep ve Arz Planlamasýnýn Deðerlendirilmesiò, *Türkiye 6. Enerji Kongresi: Teknik Oturum Tebliðleri-Cilt 4*, Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi, Ankara.

Ceylan G., Demirören A., 2004 ,ñYapay Sinir Aðý ile Gölbaþý Bölgesinin Kýsa Dönem Yük Tahminiò, *Ýstanbul Teknik Üniversitesi Elektrik-Elektronik Fakültesi Yayýnlarý*, Ýstanbul, 1-2.

Çilliyüz Y., 2006, ñYapay Sinir Aðlarý ile Çevre koþullarý Etkili Bölgesel Yük Kestirimiò, *Yüksek Lisans Tezi*, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli, 42.

Çunkaþ M, Altun A. A., 2010, ñLong Term Electricity Demand Forecasting in Turkey Using Artificial Neural Networksò, Energy Sources Part B, Taylor & Franchis Group, Konya.

Eþiyok E., Hocaoðlu A. T., Dumanlý M., 1995 ñGüç Sistemlerinde Yapay Sinir Aðlarý ile Yük Tahmin Analiziò, *Elektrik Mühendisliði 6. Ulusal Kongresi*, Bursa, 69-72.

F. Aksel, 2000, ñRegresyon Analizi ve Yapay Sinir Aðlarý Yöntemleri ile Uzun dönem Yük Tahminiò, Ýstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, *Yüksek Lisans tezi*, Ýstanbul.

Günay, S., Eðrioðlu, E. ve Aladað, Ç., 2007, ñTek Deðiþkenli Zaman Serileri Analizine Giriþò, *Hacettepe Üniversitesi Yayýnlarý*, Ankara, 68-77.

Güneþi, O., 2002, ñElektrik Enerjisinde Yeni Dönemò, *DPT Planlama Dergisi, Özel Sayý*, Ankara, 225.

Hamzaçebi C., Kutay F. 2004 ñYapay Sinir Aðlarý ile Türkiye Elektrik Enerjisi Tüketiminin 2010 Yýlýna Kadar Tahminiò, *Mühendislik Mimarlýk Fakültesi Dergisi*, Gazi Üniversitesi, Endüstri Mühendisliði Bölümü, Ankara, 227-233.

Hamzaçebi, C., 2007, ñForecasting of Turkeyôs Net Electricity Energy Consumpion On Sectoral Basesò *Energy Policy 35*, 2009-2016.

Hengirmen M.O., Kabak S., 1999, ñGaziantep ve Yöresinde 5 Yıllık Elektrik Enerjisi İhtiyaç Tahminleriò, *Elektrik Elektronik Bilgisayar Mühendisliği 8. Ulusal Kongresi*, Gaziantep, 333-335.

Hengirmen M.O., 1999, ñComparison of Three Forecast Methods for Power Demand in Gaziantepò, *Eleco'99 International Conference on Electrical and Electronics Engineering*, Bursa, 185-188.

Kakilli A., 1993, ñElektrik Enerjisi Üretimi ve Tüketiminin Optimal Planlanmasıò, *Yüksek Lisans Tezi*, Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 49.

Kalıpsız, A., 1994, ñİstatistik Yöntemleriò, İstanbul Üniversitesi, Orman Fakültesi, İstanbul.

Kayım, H., 1985, ñİstatistiksel Ön Tahmin Yöntemleriò, *Hacettepe Üniversitesi Yayınları*, Ankara.

Kelek M.S., 2005 ñElektrik Enerjisi Talep Tahminleri ve Türkiye Ekonomisine Olan Etkileriò, *Hazine Uzmanlık Tezi*, Hazine Müsteşarlığı, Kamu İktisadi Teşebbüsleri Genel Müdürlüğü, Ankara, 7-20.

Şener F., 2005, ñYük Tahmin Yöntemleri ve Ankara Merkez Metropol Alan İçin Regresyon Analizi Yöntemi Kullanılarak Uygulanmasıò, *Yüksek Lisans Tezi*, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 26-43.

Tutuk, A., 2005, ñTürkiyeôde Elektrik Enerjisinin Tarihsel Gelişimi ve Yeni Piyasa Düzeni İçerisinde Hidroelektrik Enerjinin Yeriò, *TMMOB Su Politikaları Kongresi*, Ankara, 220,318.

Türkbal, A., 1987, ñBilimsel Araştırma Metotları ve Uygulamalı İstatistikò, Atatürk Üniversitesi, Erzurum.

Ünler, A., 2008, ñImprovement of Energy Demand Forecasts Using Swarm Intelligence: The Case of Turkey With Projections to 2025ò, *Energy Policy 36*, 1937-1944.

Yalçınöz T., Herdem S. ve Eminoğlu U., 2000, ñYapay Sinir ağları ile Niğde Bölgesinin Elektrik Yük Tahminiò, *Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Yayınları*, Niğde Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Niğde, 3.

Yalçınöz T., Karadeniz Y. and Yücel Ş., 2000, ñNiğde Bölgesi İçin Elektrik Yük Tahminiò, *Eleco'2000 Elektrik-Elektronik-Bilgisayar Mühendisliği Sempozyumu (Elektrik)*, Bursa, 43-47.

Yoldaş U.C., 2006 ñElektrik Enerjisinde Yük Tahmini Yöntemleri ve Türkiyeônin 2005ï2020 Yılları Arasındaki Elektrik Enerjisi Talep Gelişimi ve Arz Planlamasıò, *Yüksek Lisans Tezi*, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 1-16.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Hayri OGURLU
Uyruğu : TC
Doğum Yeri ve Tarihi : Kadınhanı 1982
Telefon : 0 532 206 3744
Faks : 0 332 265 0972
e-mail : hayriogurlu@hotmail.com

EĞİTİM

Derece		Adı, İlçe, İl	Bitirme Yılı
Lise	:	Halide Edip Lisesi Yenimahalle ANKARA	1998
Üniversite	:	Selçuk Üniversitesi Selçuklu KONYA	2004
Yüksek Lisans	:		
Doktora	:		

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görevi
2004-2007	Meram Elektrik Dağıtım A.Ş.	Elektrik Mühendisi
2007-	Türkiye Elektrik İletim A.Ş.	Elektrik Mühendisi

UZMANLIK ALANI

YABANCI DİLLER

İngilizce

YAYINLAR