



T.C.

SELÇUK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

TÜRKİYE'NİN KISA DÖNEM ELEKTRİK YÜK TAHMİNİ

Hasan Hüseyin ÇEVİK

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Haziran-2013

KONYA

Her Hakkı Saklıdır

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

TÜRKİYE'NİN KISA DÖNEM ELEKTRİK YÜK TAHMİNİ

Hasan Hüseyin ÇEVİK

Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Elektrik – Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç.Dr. Mehmet ÇUNKAŞ

2013, 86 Sayfa

Jüri
Yrd.Doç.Dr. Nurettin ÇETİNKAYA
Doç.Dr. Mehmet ÇUNKAŞ
Yrd.Doç.Dr. Ömer AYDOĞDU

Kısa dönem yük tahmini elektrik sisteminin işletilmesinde ve planlanmasında kritik bir rol oynar. Gün öncesi planlama elektrik üretim tüketim dengesinin bir gün öncesinden sağlanmasında, üretim tesislerinin çalışma programlarının belirlenmesinde ve üretim ünitelerinin ekonomik olarak çalıştırılmasında fayda sağlar. Bu tez çalışmasında Türkiye'nin 24 saatlik elektrik yükü bir gün öncesinden tahmin edilmiştir. Türkiye'nin 2009-2011 yılları arası yük ve sıcaklık verileri kullanılarak 2012 yılı için tahmin gerçekleştirilmiştir. Resmi tatil günleri hariç 2012 yılının tüm günleri için ortalama mutlak yüzde hata değeri bulanık mantık ve ANFIS metotlarıyla sırasıyla 2.1 ve 1.85 olarak bulunmuştur.

Anahtar Kelimeler: ANFIS, Bulanık Mantık, Kısa Dönem Yük Tahmini, Yük Tahmin Yöntemleri

ABSTRACT

MS THESIS

SHORT TERM ELECTRICAL LOAD FORECASTING OF TURKEY

Hasan Hüseyin ÇEVİK

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

Advisor: Assoc.Prof.Dr. Mehmet ÇUNKAŞ

2013, 86 Pages

Jury
Asst.Prof.Dr. Nurettin ÇETİNKAYA
Assoc.Prof.Dr. Mehmet ÇUNKAŞ
Asst.Prof.Dr. Ömer AYDOĞDU

Short term load forecasting plays a critical role in electric system operation and planning. Day ahead planning helps in balancing of generation and consumption of electricity one day ahead, determining work programs of electricity generation plants and operating generation units economically. In this study, 24 hours electric load of Turkey has been forecasted one day ahead. Using the load and tempature data of Turkey between years of 2009-2011, a prediction was carried out for 2012. Using the fuzzy logic and ANFIS, mean absolute percentage errors were found respectively 2.1 and 1.85 for all days except holidays of 2012.

Keywords: ANFIS, Fuzzy Logic, Short Term Load Forecasting, Forecast Methods

ÖNSÖZ

Yüksek lisans tezimin tamamlanmasında pay sahibi olan başta danışmanım Doç.Dr. Mehmet ÇUNKAŞ'a, yük verilerinin elde edilmesinde yardımcı olan Elk.Yük.Müh. Hakkı ÖZATA'ya, meteorolojik verilerin elde edilmesinde yardımcı olan Meteoroloji Genel Müdürlüğü çalışanlarına, yardımlarından dolayı Yrd.Doç.Dr. Kemal TÜTÜNCÜ'ye, Öğr.Gör. Tahir SAĞ'a ve Arş.Gör. Okan UYAR'a, desteklerinden dolayı anneme, babama ve eşime teşekkür ederim.

Hasan Hüseyin ÇEVİK
KONYA-2013

İÇİNDEKİLER

ÖZET ..... **iv**

ABSTRACT ..... **v**

ÖNSÖZ ..... **vi**

İÇİNDEKİLER ..... **vii**

SİMGELER VE KISALTMALAR ..... **ix**

1. GİRİŞ **1**

1.1. Tezin Amacı 2
1.2. Literatür Taraması 3
1.2.1. Türkiye'de yapılan çalışmalar 3
1.2.2. Yurtdışında yapılan çalışmalar 4
1.2.3. Son dönemde yapılan çalışmalar 6
1.3. Tezin Bölümleri 6

2. YÜK TAHMİNİ **8**

2.1. Zamana Göre Sınıflandırılması 10
2.1.1. Uzun dönem yük tahmini 10
2.1.2. Orta dönem yük tahmini 11
2.1.3. Kısa dönem yük tahmini 11
2.1.4. Çok kısa dönem yük tahmini 12
2.2. Etkileyen Faktörler 13
2.2.1. Ekonomik faktörler 13
2.2.2. Zaman faktörü 14
2.2.3. Meteorolojik Koşullar 14
2.2.4. Rastgele değişkenler 15

3. YÜK TAHMİN YÖNTEMLERİ **16**

3.1. Regresyon Analizi 16
3.1.1. Basit regresyon 16
3.1.2. Çoklu regresyon 17
3.2. Zaman Serileri 18
3.3. Yapay Sinir Ağları 19
3.4. Bulanık Mantık 20
3.5. Benzer Gün Yaklaşımı 22
3.5. Destek Vektör Makineleri 22
3.6. ANFIS 23

4. TÜRKİYENİN YÜK KARAKTERİSTİĞİ VE VERİ ANALİZİ **27**

4.1. Yük Verileri 27
4.1.1. Yük eğrisinin günlük ritmi 27

4.1.2. Gün tipleri 30
4.2. Sıcaklık Verileri 34
4.3. Mevsim Verileri 35
4.4. Hata Çeşitleri 36

5. BULANIK MANTIK İLE YÜK TAHMİNİ 37

5.1. Pazartesi Modeli 37
5.1.1. Giriş ve çıkışlar 37
5.1.2. Kural tabanı 42
5.1.3. Sonuçlar 43
5.2. Hafta İçi Modeli 46
5.2.1. Giriş ve çıkışlar 46
5.2.2. Kural tabanı 50
5.2.3. Sonuçlar 51
5.3. Cumartesi Modeli 53
5.3.1. Giriş ve çıkışlar 53
5.3.2. Kural tabanı 57
5.3.3. Sonuçlar 58
5.4. Pazar Modeli 60
5.4.1. Giriş ve çıkışlar 60
5.4.2. Kural tabanı 63
5.4.3. Sonuçlar 64

6. ANFIS İLE YÜK TAHMİNİ 67

6.1. Pazartesi Modeli 67
6.2. Hafta İçi Modeli 69
6.3. Cumartesi Modeli 72
6.4. Pazar Modeli 74

7. SONUÇLARIN KARŞILAŞTIRILMASI 77

7.1. Bulanık Mantık Tahminleri 77
7.2. Sonuçların Değerlendirilmesi 78

8. SONUÇLAR VE ÖNERİLER 80

8.1. Sonuçlar 80
8.2. Öneriler 82

KAYNAKLAR 83

ÖZGEÇMİŞ 86

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler		**Açıklama**
f	:	Tahmin Günü
h	:	Saat
T	:	Günlük Ortalama Sıcaklık
P	:	Yük
PP	:	Geçmiş Yük
ΔT	:	Günlük Sıcaklık Farkı
M	:	Mevsim
Pf (h)	:	Tahmin Edilecek Yük
Σ	:	Toplam Sembolü
μ	:	Üyelik Derecesi

Kısaltmalar	**Açıklama**
ANFIS :	Adaptif Ağ Tabanlı Bulanık Çıkarım Sistemi
GA :	Genetik Algoritma
GÖP :	Gün Öncesi Planlama
MYTM :	Milli Yük Tevzi Merkezi
PMUM :	Piyasa Mali Uzlaştırma Merkezi
TEİAŞ :	Türkiye Elektrik İşleri Anonim Şirketi
TM :	Trafo Merkezi
YSA :	Yapay Sinir Ağları

1. GİRİŞ

Elektrik enerjisi günümüzde dünya ölçeğinde bakıldığında hem sosyal hayat hem de ekonomik gelişme açısından vazgeçilmez bir enerji çeşididir. Diğer enerji kaynaklarına göre hızlı bir şekilde taşınabilmesi ve daha temiz olması elektrik enerjisinin avantajlarıdır. Dünya nüfusunun artması, teknolojik gelişmeler ve sanayileşmenin artmasıyla beraber elektrik enerjisinin kullanımı daha da artmaktadır.

Endüstriyel üretimin büyük oranda sanayileşmesi ve sanayide kullanılan enerjinin büyük bir kısmının da elektrik enerjisi olmasından dolayı, elektrik enerjisi dolaylı yoldan ekonomiyi ve gelişmişlik seviyesini etkilemektedir. Ülkelerin gelişmişlik seviyelerindeki göstergelerden biri de kişi başına düşen elektrik enerjisi tüketim miktarıdır.

Tüketiciye ulaşan elektrik enerjisi bazı özelliklere sahip olmalıdır. Bunların ilki kullanılan elektriğin minimum fiyata tüketiciye sunulmasıdır. Eğer bu yapılmadığı takdirde üretimde kullanılan enerji girdileri yükselecek, yerli sanayici ülke dışıyla rekabet edemeyecek ve bundan birçok alan etkilenerek ekonomiye olumsuz etki yapacaktır. İkinci olarak elektrik enerjisinin olabildiğince kaliteli, yani harmoniksiz ve frekansının kabul edilebilir bir aralıkta sabit olması gerekmektedir. Eğer bu sayılan özelliklere sahip olmazsa son tüketicinin cihazlarında arızalar, planlanan iş akışında gecikmeler meydana gelecek ve bu da son tüketiciye zaman ve para kaybına neden olacaktır. Elektrik enerjisinin sahip olması gereken bir başka özelliği ise güvenilir bir elektriğe sahip olması gerekliliğidir. Bunu sağlamak için elektrik üretim, iletim ve dağıtım sistemlerinin alt yapısı elektrik enerjisini güvenli bir şekilde tüketiciye ulaştırabilecek niteliklere sahip olmalıdır. Bunlara ek olarak elektrik enerjisinin yeterli miktarda üretilmesi gerekmektedir. Elektrik enerjisi depolama teknolojilerinin çok pahalı olması ve büyük miktarlarda enerji depolamanın zorluğu nedeniyle ihtiyaç anında üretilen ve tüketilen bir enerjidir. Tüketilecek elektriğin üretilememesi halinde elektrik kesintileri meydana gelecek böylece sanayi ve toplumsal hayat kesintiye uğrayarak ekonomik kayıplar meydana gelecektir. Son olarak elektrik enerjisi sürekli olmak zorundadır. Üretim, iletim ve dağıtım sistemlerinin alt yapısı ve teknik personeli elektriğin kesintisiz bir şekilde tüketiciye ulaştırmasında çok büyük öneme sahiptir. Elektrik enerjisinin bu bahsedilen özelliklere sahip olabilmesi için üretim, iletim ve dağıtımda çeşitli planlamalar yapılması gerekmektedir. Bu planlamaları yapabilmek için öncelikle elektrik yük tahminleri yapılmalıdır.

Elektrik enerjisinin planlanması ekonomi için çok önemlidir. Elektrik enerjisi üretim, iletim ve dağıtımını sağlayan tesislerin kurulması pahalı ve uzun zaman isteyen süreçlerdir. Ülkeler kalkınma planlamalarını yaparken enerji yatırımlarına büyük miktarda paralar ayırmaktadırlar. Planlamanın doğru bir şekilde yapılması ülkelerin ekonomilerine pozitif etki yapacaktır. Doğru bir şekilde yapılmayan planlamalar sonucunda ise bazı olumsuzluklar ortaya çıkacaktır.

Elektrik enerjisi talebinin olması gerekenden düşük tahmin edilmesiyle yanlış kurgulanmış bir sistem tasarımına sebep olur. Bu da zorunlu elektrik kesintileri ve zorlama elektrik tasarrufları gibi pek çok problemin ortaya çıkmasına neden olur. Hatta ekonomik büyüme ve bireysel refah artışının sekteye uğraması bile gündeme gelecektir. Elektrik enerji talebinin olması gerekenin çok üzerinde tahmin edilmesiyle özellikle orta-uzun vadeli yatırım karalarının, belirlenen iyimser projeksiyonlar üzerine tesis edilmesi durumunda ise ihtiyaçtan fazla miktarda yatırım yapılmasına neden olacaktır. Böylece ciddi miktarda arz kapasitesinin atıl hale gelmesi, yatırım ödeneklerinin ihtiyaç duyulan diğer alanlara tahsis edilememesi nedeniyle kaynak israfı olacaktır (Keleş, 2005).

1.1. Tezin Amacı

Elektrik piyasasında elektrik yük tahmini çok önemli bir yere sahiptir. Bu tez çalışmasında bir gün öncesinden Türkiye'nin saatlik elektrik yük tahmini yapılması amaçlanmıştır. Gün öncesi planlama elektrik üretim tüketim dengesinin bir gün öncesinden sağlanmasında, üretim tesislerinin çalışma programlarının belirlenmesinde ve üretim ünitelerinin ekonomik olarak çalıştırılmasında fayda sağlar. 2009-2011 arası sıcaklık ve yük verileri kullanılarak, 2012 yılı için saatlik yük tahmini yapılmıştır. Elektrik yükü için Türkiye'nin saatlik elektrik tüketim bilgileri kullanılırken, hava sıcaklığı için Türkiye'de elektrik tüketimi en fazla olan 5 ilin sıcaklık ortalamaları kullanılmıştır. Sıcaklığın yük tüketimine etkisi mevsimlere göre değişmektedir. Bu yüzden mevsim de bir değişken seçilmiştir. Mevsim sisteme ay cinsinden girilmiş ve kış mevsimin başlangıcı olan aralık ayı birinci ay olarak kabul edilmiştir.

1.2. Literatür Taraması

1.2.1. Türkiye'de yapılan çalışmalar

Elektrik yük tahmini konusunda Türkiye'deki ilk çalışmalardan biri 1995 yılında Eşiyok ve ark. tarafından yapılmıştır. Bu çalışmada İstanbul'da bulunan 6 TM'nin günlük enerji tüketimleri 1993-1994 yılları için kayıt edilmiş ve bu veriler YSA kullanılarak günlük yük tahmini gerçekleştirilmiştir. Eksik olan veriler interpolasyon analiziyle bulunmuştur. Ekstrapolasyon analiziyle de eğitilen ağların gelecekte alacağı değerler bulunarak tahmin gerçekleştirilmiştir. 5 TM için %90 başarı sağlanırken 1 TM için %80 başarı sağlanmıştır.

1997 yılında Erkmen ve Özdoğan tarafından yapılan çalışmada 1993 yılına ait yük verileri kullanılmıştır. Kohonen algoritması, GA ve YSA ayrı ayrı ve hibrit bir şekilde uygulanmıştır. Hibrit modelde tarihsel yük verileri modifiye edilmiş kohonen algoritmasıyla sınıflandırılmış. Daha sonra GA kullanılarak YSA için giriş değerlerinin ağırlıkları optimize edilmiştir. Son olarak YSA çalıştırılarak sonuç elde edilmiştir. Rastgele olarak seçilmiş haftaların farklı 12 gününü içeren bir tahmin tablosunda hata oranları şu şekilde belirlenmiştir: sadece YSA için %2.76, GA+YSA için %2.64, Kohonen+YSA için %1.89, Kohonen+GA+YSA içinse %0.96'dır.

2002 yılında Yalçınöz ve arkadaşları tarafından gerçekleştirilen çalışmada YSA ve hareketli ortalamalar metodu ile Niğde bölgesi 2001-2004 yıllarına ait aylık yük tahmini gerçekleştirilmiştir. 1991-2001 arası aylık tüketimler tarihsel veri olarak alınmıştır. 2001 yılı gerçek verileri ile tahmin değerleri karşılaştırılmış ve sonuçlar her iki model içinde makul değerlerdedir. Ocak, Şubat, Mart, Nisan, Mayıs ve Aralık için YSA daha az hata oranına sahiptir.

Topallı ve Erkmen tarafından 2003 yılında yapılan çalışmada öğrenmeye dayalı hibrit bir ağ uygulaması kısa dönem yük tahmini Türkiye için yapılmıştır. Bu modelde 2000 yılına ait veriler ağırlıkları rastgele belirlenmiş bir YSA ya uygulanıp bir sonuç elde edilmiş ve bu sonuçlardaki hatalara göre ise yeni bir başlangıç ağırlık değerleri elde edilmiştir. Bu işlem önceden belirlenen bir değer kadar sürekli tekrarlanmış böylece offline öğrenme yapılmıştır. Bu başlangıç ağırlık değerleri 2001 yılına ait yapılacak kısa dönem yük tahmini için başlangıç ağırlık değerleri olarak kullanılmıştır. 2000 yılı için %2.31, 2001 yılı için %2.45 hata oranı elde edilmiştir.

Erkmen ve Topallı tarafından 2003 yılında yapılan çalışmada yapay zeka kullanılarak 4 farklı metotla kısa dönem yük tahmini Türkiye için gerçekleştirilmiştir. İlk olarak genelleştirilmiş öğrenme vektör niceleme ile tarihsel veriler sınıflandırılıp YSA

kullanılmıştır. İkinci olarak Kohonen ile veriler sınıflandırılmış ve YSA için başlangıç ağırlık değerleri belirlenmiş ve YSA kullanılmıştır. Üçüncü olarak bulanık ağ yaklaşımı kullanılmıştır. Son olarak öğrenmeye dayalı bir YSA kullanılmıştır. En iyi yöntem ise öğrenmeye dayalı YSA sistemidir. Çalışma günleri için %1.723, Cumartesi günleri için %1.75 ve Pazar günleri içinse %2.065 hata oranı elde edilmiştir.

2006 yılında Ceylan ve Demirören tarafından yapılan çalışmada İç Anadolu bölgesi için kısa dönem saatlik elektrik yük tahmini benzer gün yaklaşımı ve YSA kullanılarak yapılmıştır. 2002 ve 2003 yılları elektrik yük verileri ve meteorolojik veriler kullanılarak 2003'ün bazı günleri için yük tahmini yapılmıştır. Ayrıca sonuçlar regresyon metoduyla karşılaştırılmıştır. YSA sonuçları daha az hata ile bulunmuştur.

Topallı ve ark. tarafından 2006 yılında yapılan çalışmada, Türkiye için kısa dönem yük tahmininde online ve offline öğrenmeli yapay sinir ağları kullanılarak bir model önerilmiştir. 2001-2002 yılına ait yük ve meteorolojik veriler kullanılarak 2002 yılı için tahmin gerçekleştirilmiştir. Karşılaştırmak için otoregresif bütünleşik hareketli ortalama (ARIMA) metodu kullanılmış ve tekrarlı yapay sinir ağı modeli daha iyi sonuç vermiştir. Erken pazartesi, hafta günleri, cumartesi, Pazar ve özel günler için ortalama mutlak yüzde hata (MAPE) değerleri sırasıyla 1.97, 1.39, 1.47, 1.99 ve 4.10 bulunmuştur. 2002 tüm günler için ise MAPE değeri 1.60 bulunmuştur.

2011 yılında Toker ve Korkmaz tarafından yapılan çalışmada Türkiye kısa süreli saatlik talep tahmini gerçekleştirilmiştir. 2008-2009 yılına ait Türkiye elektrik tüketimi verileri ve İstanbul iline ait meteorolojik veriler kullanılmıştır. Tüketim verisindeki aylık sezonsallık, spectrum analizi yöntemiyle ayrılmaktadır. Gün öncesi saatlik ve bir hafta öncesi saatlik tahmin olmak üzere iki farklı tahmin yapılmıştır. Gün öncesinde 2009 yılının son 5 ayı için MAPE değeri 2 olarak bulunurken, bir hafta öncesi için yapılan tahminde MAPE değeri 4 olarak bulunmuştur.

1.2.2. Yurtdışında yapılan çalışmalar

Papadakis ve ark. tarafından 2003 yılında yapılan çalışmada Yunanistan'a ait 1986-1994 yılı sıcaklık ve yük verileri kullanılarak 1995 yılının saatlik elektrik yük tahmini gerçekleştirilmiştir. Bulanık C ortalaması ve Genetik algoritma kullanılarak bir sistem önerilmiştir. Her mevsim için ayrı ayrı olmak üzere haftanın her günü için ayrı ayrı toplamda 28 bulanık sistem üretilmiştir. Önerilen sistemin MAPE değeri 1.76'dır ve yapay sinir ağlarına göre daha iyi sonuçlar vermiştir.

2006 yılında Pandian ve ark. Hindistan'ın bir bölgesi için saatlik elektrik yük tahmininde bulunmuşlardır. Seçilen bazı günler için yapılan tahmin bulanık mantık kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bulanık mantığa giriş olarak zaman ve sıcaklık verilmiş çıkış olarak ise yük seçiliştir. Geleneksel metot ve bulanık mantık sonuçları karşılaştırılmış ve bulanık mantık ±3% hata oranıyla daha iyi sonuç vermiştir.

Feng ve ark. 2006 yılında yaptıkları çalışmada 1999-2001 arasındaki yük ve meteorolojik verileri kullanarak, 2002 için yük tahmininde bulunmuşlardır. Önerilen metot parçacık sürü optimizasyonu ile optimum kuralları kullanan bulanık tabanlı bir sınıflandırma metodudur. Günler hafta içi, hafta sonu, tatiller ve tatil öncesi günler olarak gruplanmıştır. Önerilen metot yapay sinir ağları ve regresyon metoduna göre daha iyi sonuç vermiştir. MAPE değerleri şu şekilde bulunmuştur; hafta içi 1.73, hafta sonu 2.47, tatil günleri 3.46 ve tatil öncesi günler için 2.39 bulunmuştur.

2008 yılında Soares ve ark. tarafından yapılan çalışmada Brezilya'nın bir kısmı için saatlik elektrik yük tahmininde bulunulmuştur. 1990-1998 saatlik yük verisi kullanılarak 1999-2000 yılları için tahmin yapılmıştır. Yük tahmini giriş verisi olarak sıcaklık kullanılmamış, geçmiş yılların yük eğrileri her bir saat için çıkartılmıştır. Kullanılan 4 metot için 7 farklı gün tipinde hata oranları sonuç olarak verilmiştir.

2008 yılında Cancelo ve ark. tarafından yapılan çalışmada zaman serileri kullanarak İspanya için iki farklı tahminde bulunulmuştur. İlk tahmin birkaç gün öncesinden günlük yük tahminidir. İlk tahmin için 1993-2005 verileri kullanılarak 2006 yılı günlük tahmini, pazar-cumartesi günleri için MAPE hata değerleri sırasıyla 1.35, 1.74, 1.53, 1.53, 1.72, 1.81, 2.01 bulunmuştur. İkinci tahminde ise 2001-2005 verileri kullanılarak 2006 yılı için, bir gün önceden saatlik yük tahmininde bulunulmuştur. Tüm günler için MAPE değeri 1.66'dır.

Dordonnat ve ark. 2008 yılında ilişkisiz regresyon ve Kalman filtreleri metotlarını kullanarak Fransa için saatlik yük tahmininde bulunmuşlardır. Çalışmada eylül 1995-ağustos 2003 verileri kullanılarak, ağustos 2003- eylül 2004 arası tahmin edilmiştir. Saatlik elektrik tahmininin MAPE değeri 1.39 olarak bulunmuştur.

2009 yılında Mamlook ve ark. tarafından Ürdün için saatlik yük tahmininde bulunulmuştur. 2000-2007 arası verileri kullanılarak 2007 yılına ait bazı günler için yük tahmini bulanık mantık kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Girişler sırasıyla, önceki günün tüketimi, önceki günün sıcaklığı, tahmin edilecek günün sıcaklığı, hava durumu ve gün tipi olarak verilirken çıkış ise tahmin edilecek yüktür. Seçilen 4 gün için MAPE değerleri sırasıyla; 1.3, 3.2, 2.2, 1.2 olarak bulunmuştur.

Souzanchi ve arkadaşları 2010 yılında yaptıkları çalışmada İran'ının doğu bölgesi için günlük yük tahmininde bulunmuşlardır. ANFIS metodunu kullanarak 40 gün için yapılan tahminin MAPE değerleri şu şekildedir: ilkbahar-çalışma günleri 0.96, yaz-çalışma günleri 0.85, sonbahar-çalışma günleri 1.13 ve kış-çalışma günleri için 1.3 olarak bulunmuştur.

1.2.3. Son dönemde yapılan çalışmalar

Fan ve Hyndman tarafından 2012 yılında yapılan çalışmada Avustralya için yarım saatlik elektrik yük tahmininde bulunulmuştur. 2004-2008 arası sıcaklık ve yük değerleri kullanılarak, 2008 ekim – 2009 mart arası tahmin gerçekleştirilmiştir. Üç metot kullanılarak gerçekleştirilen sistemde genelleştirilmiş toplamsal model, YSA ve hibrit sisteme göre daha iyi sonuç vermiştir. Genelleştirilmiş toplamsal modelde MAPE değeri 1.68 olarak bulunmuştur.

2013 yılında Koo ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada, Güney Kore'nin 2007-2008 yük verileri kullanılarak, 2008-Nisan ayının son haftası için saatlik elektrik yük tahmini gerçekleştirmişlerdir. K-En yakın komşuluk metoduyla sınıflandırılan veriler Sarıma ve Holt-winters metotları kullanarak tahmin yapılmıştır. Holt-Winters metodu daha iyi sonuç vermiştir. MAPE değerleri sırasıyla hafta içi günleri için 2.81, pazartesi için 1.73, cumartesi için 6.98 ve pazar için 5.5 olarak bulunmuştur.

1.3. Tezin Bölümleri

Yapılan bu tez çalışmasının birinci bölümünde elektrik enerjisinin planlanmasının önemi hakkında bilgi verilmiş ve yük tahmini konusunda daha önce yapılan çalışmalardan bahsedilmiştir.

İkinci bölümde yük tahmini açıklanmıştır. Yük tahminin önemi, çeşitleri ve yük tahminini etkileyen faktörlerden bahsedilmiştir.

Üçüncü bölümde yük tahmin yöntemlerinden bahsedilmiştir.

Dördüncü bölümde Türkiye'nin elektrik yük karakteristiği incelenmiştir. Kullanılan yük, sıcaklık ve mevsim verileri açıklanarak analizleri yapılmıştır. Yük eğrisinin günlük ritmi ve gün tipleri belirlenmiştir. Ayrıca hata çeşitlerinden bahsedilmiştir.

Beşinci bölümde yük tahmini için gerçekleştirilen bulanık mantık modeli tanıtılmıştır. Her bir gün tipi için en iyi, en kötü tahmin değerleri grafikler halinde verilmiştir.

Altıncı bölümde yük tahmini için gerçekleştirilen ANFIS modeli tanıtılmış ve her bir gün tipi için en iyi ve en kötü tahmin grafikler halinde verilmiştir.

Yedinci bölümde bulanık mantık ve ANFIS metotlarıyla bulunan yük tahmini sonuçları karşılaştırılmıştır.

Sekizinci bölümde yapılan çalışmaların sonuçları verilerek bunlar üzerinde yorumlar yapılmıştır. Ayrıca modelleme yaparken nelerin göz önünde bulunması gerektiği vurgulanmıştır. Öneriler kısmında ise çalışmaların hata oranlarını azaltabilecek çeşitli işlemlerden bahsedilmiştir.

2. YÜK TAHMİNİ

Yük tahmini, geçmişteki ve şimdiki koşulların incelenerek değişimlerin karakteristiklerinin çıkarılarak, gelecekteki durumun ne olacağı varsayımına dayanır. Tahminin yapılacağı zaman aralığına göre farklı faydalar sağlamaktadır. Üretim, iletim ve dağıtım sistemlerinde gelecekte oluşacak talepleri karşılayabilecek şekilde kapasite artışlarının belirlenmesinde gereklidir. Planlama çalışmalarının daha doğru yapılabilmesi için kullanılacak olan tahmin verileri gerçeğe yakın olarak tahmin edilmelidir. Gerek duyulan enerji ihtiyacının ve puant yük miktarının doğru bir şekilde öngörülmesi etkili bir sistem planlaması için şarttır (Çilliyüz, 2006). Üretim sisteminin planlanması için gerekli olan enerjinin tahmini oldukça önemlidir. Öngörülen enerji talebini karşılayacak şekilde enerji santrallerine yapılması gereken eklemeler veya yeni enerji santrallerinin kurulması gerekmektedir. Duruma uygun olacak tesis tipleri ve bu tesisler için üretim olanakları araştırılır. Yük tahminleri sonucuna göre üretim sistemlerindeki kapasite artırımına paralel şekilde iletim ve dağıtım sistemlerinde de yapılması gereken kapasite eklemeleri ve bu eklemelere ilişkin yatırım maliyetleri belirlenir (Aksel, 2000). Bunlarla beraber mevcut üretim tesislerinin bakım ve onarım süreleri, üretim tesislerinin çalışma planları, ekonomik ömrünü doldurması beklenen santrallere ait bilgiler, birinci enerji kaynak temin imkanları, ithalat-ihracat olanakları ve enerji kayıplarına ilişkin hedef ve beklentiler de elektrik yük tahminlerine göre yapılmaktadır (Keleş, 2005).

Rekabet ortamında elektrik sağlayıcıları için yük tahminin doğru bir şeklide yapılması çok önemlidir. Enerji şirketlerinin görevi tüketicilerin ihtiyacı olan yüksek kaliteli elektrik enerjisini güvenli ve ekonomik bir şekilde müşterilere ulaştırmaktır. Enerji şirketleri elektriğin işletme, planlama ve kontrolü gibi konularda birçok ekonomik ve teknik problemlerle karşılaşmaktadırlar. Yük tahmini enerji üretimi, enerji satın alma, yükün anahtarlanması ve altyapının gelişmesi gibi önemli konularda elektrik sağlayıcılarına kararlar vermesinde yardımcı olur (Shu, 2009).

Ayrıca elektrik tüketiminin tahmini Akıllı Şebeke teknolojisinin ilk adımlarından birisidir. Akıllı şebeke tanım olarak: şebekeye bağlı tüm üretici ve tüketicilerin maliyeti en aza indirecek şekilde hareket etmelerini sağlayan teknolojik araçlarla güçlendirilmiş bir şebekedir. TEİAŞ (Türkiye Elektrik İşleri Anonim Şirketi) çeşitli senaryolara göre Türkiye'nin artan enerji ihtiyacının tahmini yapmakta ve bu tahminler PMUM (Piyasa Mali Uzlaştırma Merkezi) aracılığıyla yayınlanmaktadır.

Türkiye geneli için yapılan tahminler bölgesel planlamalar için yeterli değildir. Dağıtım şirketlerinin de kendi bölgelerinin elektrik tüketim ihtiyaçlarına göre çeşitli senaryolarına göre yıllık ve günlük bazda tahminler yaparak şebekelerini planlamaktadırlar (Toker ve Korkmaz, 2011).

Türkiye'de elektrik sistem işletmecisi TEİAŞ bünyesinde yer alan Milli Yük Tevzi Merkezidir (MYTM). Elektrik piyasa işletmecisi ise yine TEİAŞ bünyesinde yer alan PMUM'dur. MYTM elektrik enerjisi arz ve talebinin gerçek zamanlı olarak dengelenmesinden ve sistem işletiminden sorumludur. PMUM ise gün öncesi planlama, gün öncesi piyasasının işletimi, uzlaştırma yönetimi ve veri yayımlama faaliyetlerini yürüten bir birimdir. PMUM'un temel amacı Türkiye, elektrik enerjisi arz ve talebini dengede tutmaktır (EPDK, 2009).

Gün öncesi planlama, gün öncesi piyasasının devreye gireceği zamana kadar, bir gün sonrasına yönelik olarak öngörülen saatlik talebin gün öncesinden dengelemesi amacıyla PMUM koordinasyonunda yürütülen faaliyetlere denir. Gün öncesi planlama bir gün sonrasına yönelik olarak öngörülen saatlik talebin, işletme güvenliği ve sistem bütünlüğü sağlanacak şekilde, arz güvenilirliği ve arz kalitesine ilişkin kriterler doğrultusunda ve dengeleme maliyetlerini en aza indirecek şekilde dengelenmesi esasına dayalı olarak yürütülür. Gün öncesi planlama teklifleri günlük olarak, saatlik bazda verilir ve her bir gün, 00:00'dan başlayıp, ertesi gün 00:00'da sona eren saatlik zaman dilimlerinden oluşur. Tüm piyasa katılımcılarının gün öncesi planlamaya katılımları zorunludur. Gün öncesi programı sonucunda bir gün sonrası için ulusal ölçekli üretim/tüketim programı oluşturulmuş olur (EPDK, 2009). Talep tarafının Gün Öncesi Planlama sistemine verdiği tahmin değerlerine göre, gün öncesinden tüm sistemin dengelenmesi gerçekleştirilir. Tahmin hatalarından dolayı sistem dengesizliğe düşmektedir. Sistemin dengesizliğe düşmesi sonucunda oluşan maliyetler, dengesizliğe sebep olan taraf tarafından karşılanmaktadır. Sistemin dengesizliğinden oluşan maliyeti en asgari düzeye çekmek için saatlik talep tahminlerindeki hata payının düşük olması gerekmektedir. Talep tahminlerinin düşük hatalarla yapılması ve gerçek zamanda dengesizliğe düşülmemesini ve diğer perakende satış firmalarıyla rekabet avantajı sağlayacaktır (Toker ve Korkmaz, 2011).

Gün öncesi planlama yapılarak gün öncesi piyasasının amaçları olan;

- Piyasa katılımcılarına üretim ve/veya tüketim ihtiyaçları ile sözleşmeye bağlanmış yükümlülüklerini gün öncesinde dengeleme olanağını sağlama,
- Elektrik enerjisi referans fiyatını belirleme,

- Sistem İşletmecisine gün öncesinden dengelenmiş bir sistem sağlama,
- Sistem İşletmecisine gün öncesinden kısıt yönetimi yapabilme imkanı sağlama,
- Piyasa katılımcılarına, ikili anlaşmalarına ek olarak bir sonraki gün için enerji alış-satışı yapma fırsatı yaratma

  gibi maddeler gerçekleştirilmiş olur (EPDK, 2009).

2.1. Zamana Göre Sınıflandırılması

2.1.1. Uzun dönem yük tahmini

Yük tahminlerinin ilk yapılmaya başlandığı yıllardan günümüze kadar uzun, orta ve kısa dönem yük tahminlerinin tanımlanmalarında belirtilen süreler hep değişmiştir. Bunda gelişen tahmin metotlarıyla birlikte kısa dönem yük tahminin tahmin sürelerinin kısalması da önemli bir etkendir. İlk yıllarda 10-30 yıl aralığı için yapılan tahminler için uzun dönem yük tahmini tanımlaması yapılırken, günümüzde yapılan çalışmalarda 1 yıldan uzun süreler için yapılan çalışmalara uzun dönem yük tahmini denmektedir. Yapılacak tahminin süresinin uzunluğuna göre, tahmin sonucundaki belirsizlikler artar.

Uzun dönem yük tahminleri, planlama stratejilerinin kararlaştırılmasında, amaçların belirlenmesinde, amaçların gerçekleştirilmesi için gerekli sermayenin sağlanmasında, iletim şebekelerinin ve üretim tesislerinin ekonomik olarak çalıştırılması ve planlanmasında, sistem elemanların çalışmalarının incelenmesinde kullanılır. Tahminler hazırlanırken çeşitli yük tipleri eğilimleri, yüklere ilişkin unsurlar ve sistemin çeşitli coğrafi bölgelerindeki eğilimler bilinmelidir (Kenç, 1998).

Uzun dönem yük tahminleri ile enerji ve puant güç tahminleri yapılarak, sahip olunan üretim kapasitelerinin bu talebi karşılayıp karşılayamadığı araştırılır. Talebin karşılanabilmesi için çeşitli enerji kaynakları belirlenir. Üretim yerleri, enerji sistemi gelişimi için modeller hazırlanır. Uzun dönem yük tahminleri özellikle ekonomik ve sosyal verilere dayandığı için, bölgenin enerji talep tahmini bu veriler göz önüne alınarak yapılır. Bu veriler tüketici tipine bağlı olarak nüfus, gayri safi yurt içi hâsıla, kişi başlına millî gelir gibi değişkenlerdir (Gürsoy, 2000).

2.1.2. Orta dönem yük tahmini

Bir haftalık bir dönemden bir yıllık bir periyoda kadar uzanan tahminler orta dönem yük tahmini olarak adlandırılır. Orta dönem yük tahmininin yapılmasıyla fiziksel donanımların planlanması ve bakım programları yapılabilmektedir. Elektrik enerji talebindeki artışa bağlı olarak, devreye alınabilecek yeni tesislerin kurulması, iletim ve dağıtımda yapılacak olan eklemeler ve bunları korumak ve kontrol etmek için kullanılacak sistemlerin planlanmasında orta dönem yük tahmin değerlerine bakılır. Hidroelektrik sistemlerde su haznesinin tutulması, mevcut su miktarlarının karşılaştırılması ve sistemi besleyen akarsuların akış rejimlerinin incelenmesi gibi konularda yardımcı olur. Termik santraller için gerekli yakıt miktarının kontrolü ve temini yük tahminlerine göre planlanır. Ayrıca satış tarifelerinin oluşturulması, bakım işleminin takviminin hazırlanmasında ve puant yükler için kısa sürede devreye alınabilecek santrallerin planlanması gibi konularda yardımcı olur (Ceylan, 2004).

2.1.3. Kısa dönem yük tahmini

Tahmin yöntemlerinin gelişmesi ve daha küçük zaman aralıklarında yük değerlerinin okunabilmesiyle, bu güne kadar yapılan çalışmalarda kısa dönem yük tahmin periyodu için belirtilen süreler azalmaktadır. Yük tahmini bir saatten bir haftaya kadar uzanan bir aralığı kapsar. Güç üretim ve enerji yönetim sistemlerinin gerçek zamanlı kontrolü için en önemli prosedürlerden biri kısa dönem yük tahminidir. Enerji santralleri için çalışma planlamalarının yapılması, yük paylaşımı ve en iyi grup belirlenerek üretimin en ekonomik şekilde yapılması için kullanılır. Santraller arasında ve yardımcı olur. Kısa dönem yük tahminleri için saatlik veya günlük verilere ihtiyaç vardır. Ayrıca saatlik ve günlük yük akışını değiştiren en önemli faktör hava verilerinin elde edilmesinde tahminin doğruluğunu artırır. Kısa dönem yük tahminlerinde ayrıca haftanın günü, yılın günü gibi sınıflandırmalar yapılarak farklı saat veya gün tipleri belirlenebilir (Gürsoy, 2000).

Elektrik ihtiyacının günlük olarak tahmin edilmesi, elektrik üretim ünitelerin bağlantılarını ve çalışma planlarını için önemlidir. Dolaylı yoldan sistemin yakıt tüketimine ve sistemin güvenilirliğine de etki etmektedir. Kısa dönem yük tahmini gerçekleştirilerek sistemdeki günlük pik yük değeri, günün belirli bir zamanındaki

sistemdeki yüklerin değerleri, sistemin saatlik enerji değerleri, günlük ve haftalık sistemin yük değerleri bilinebilir (Tan, 1997).

Kısa dönem yük tahminin esas amacı güvenilir şartlarda, işletme kısıtlılığı dikkate alınarak, fiziksel, çevresel ve ekipman limitlerinde üretim kaynaklarının en ekonomik bir şekilde kullanmaktır. Kısa dönem yük tahminin ikinci amacı ise her hangi bir zamanda sistemin güvenliğini belirleyebilmek ve güvenliğin sağlanması için dağıtıcılara düzeltici faaliyet sunmada yardımcı olur. Bu faaliyetlerden bazıları online olarak pik ünitelerini görme, yük alma, yük atma, anahtarlama işlemleridir. Kısa dönem yük tahmini için sistem dağıtıcılarına güncel bilgi sağlanmalıdır. Dağıtıcılar hava tahminlerini ve rastgele faktörleri göz önünde bulundurarak tahminlerini yaparlar. Dağıtıcıların bu bilgilere sistemi ekonomik olarak işletmek için ihtiyaçları vardır (Tan, 1997). Özetlemek gerekirse kısa dönem yük tahmini güç üretiminin kontrolü ve üretimi takviminin oluşturulmasında, yük akışının izlemesinde ve acil durum analizlerinde kullanılır. Bunlara ek olarak yük akışının tahmin edilmesiyle güç sistemlerinin aşırı yüklenmesine karşı koruma kararlarının alınmasında etkilidir (Shu, 2009).

2.1.4. Çok kısa dönem yük tahmini

Çok kısa yük tahmini bir dakikadan bir saate kadar olan zaman dilimleri için yapılan tahmin çeşididir. Bu tahminin amacı işletme kontrol merkezindeki yük akışını anlık olarak izleyebilen operatörlere, talep problemine yol açacak yük artış eğiliminin gerçekleşip gerçekleşmeyeceği bilgisini vermektir. Üretim-tüketim dengesini bozacak bir durumda kalınırsa acil bir karar alınıp işletilmesi gerekir. Üretimin tüketimden fazla olması frekans değerinde yükselmelere neden olurken, üretimin tüketimin az olması durumunda ise frekans değerinde düşmelere neden olabilmektedir. Böylesi bir durumla en fazla yükün çekildiği puant saatleri olan 17:00-22:00 arasında sistemin aşırı yüklendiği durumlarda karşı karşıya kalınabilir (Ceylan, 2004).

Enterkonnekte elektrik enerji sistemlerinde, otomatik üretim kontrol sisteminin temel amaçları;

1-Üretimin yük ile örtüşmesi,

2-Sistemin frekansının sabit olması ve net alan güç değişim değerlerinin önceden belirlenmiş değerlerine regüle edilmesi,

3-Üretimin eldeki kaynaklardan en ekonomik şekilde üretilmesidir.

Jeneratör devir sayısı regülatörünün ani yük değişimlerine ilk tepkisi, bir dakikaya yakın süre içinde yükte bozulmaların meydana gelmesidir. Bu yanıt otomatik üretim kontrol sisteminin üretimin yükle örtüşmesini sağlar. Ancak sistem frekansı ve net alan güç değişimi "yarı sürekli durum" tipi hatalara maruz kalır. Buna karşın enerji yönetim sistemindeki frekans kontrol fonksiyonu, birkaç dakika içerisinde belirlenmiş frekans ve net alan güç değişim değerlerini yerine getirerek sistemin frekansının sabit olması sağlamış olur. Üçüncü amaç ise ekonomik dağıtım fonksiyonu tarafından gerçekleştirilir. Yük frekansı kontrol stratejilerinin daha iyi tasarlanması için çok kısa dönem yük tahmini çalışmasıyla elde edilecek 15-30 dakikalık yük eğilimi bilgisi faydalı olacaktır (Ceylan, 2004).

2.2. Etkileyen Faktörler

Yük tahmini modelinin doğru bir şekilde oluşturabilmesi için öncelikle, tahmini yapılacak olan bölgenin yük karakteristiği çıkarılmalı ve hangi faktörlerin yükte ne gibi değişiklikler yaptığı incelenmelidir. Yükü etkileyen faktörler ekonomik faktörler, zaman faktörü, meteorolojik koşullar ve rastlantısal faktörlerdir. Yük tahmininde kullanılması düşünülen değişkenlerin belirlenebilmesi öncelikle bu verilerin elde edilebilmesine bağlıdır (Özdemir, 2011).

2.2.1. Ekonomik faktörler

Uzun dönem yük tahmininde ekonomik faktör en önemli etkendir. Teknolojinin gelişmesi, sanayileşme oranı, kişi başına düşen gelirin yükselmesi, elektrikle çalışan cihazların yaygınlaşması ve ekonomik büyüme rakamları gibi etmenler ekonomik faktörlerde etkilidir. Nüfusun artmasıyla beraber yük talebi de artacaktır. Yeni ticarethane ve sanayi kuruluşlarının, nüfusun artmasına paralel olarak mal ve hizmetlerdeki tüketiminin artmasıyla üretimdeki özellikle sanayi enerji ihtiyacının artmasına sebep olur (Ceylan, 2004). Ayrıca sanayi faaliyetlerinin oranı, tarım alanındaki değişiklikler, kullanılan elektrikli cihazların niteliği gibi değişkenlerde sistem yükünün büyüme ya da küçülme eğiliminde olmasında önemli rol oynar (Tan, 1997). Ayrıca bazı yıllarda özellikle büyük ülkelerde meydana gelebilecek ekonomik krizler dünyanın genelinde hissedilmekte ve bundan elektrik tüketimi etkilenmektedir.

2.2.2. Zaman faktörü

Yük eğrisinde zaman faktörünün önemli bir etkisi vardır. Dördüncü bölümde Türkiye'nin yük eğrisi için zaman faktörü ayrıntılı olarak incelenmiştir. Sezonluk, haftalık, günlük, resmi ve dini bayram günleri gibi zamanlarda yük eğrisinin farklılığından dolayı böyle bir faktör gösterilmiştir. Mevsimsel değişiklikler ülkelerin bulundukları coğrafi konumlara göre yaz veya kış için yükün tepe değerinde olup olmadığını belirlemede yardımcı olur. Yük eğrisindeki mevsimler bazı değişikliler olan gün ışığı saatleri ve hava sıcaklıklarındaki değişiklikler aniden gelişen olaylar olmayıp kademeli olarak gerçekleşir. Diğer yandan ani gelişen önemli yapısal değişiklikler meydana getiren bazı mevsimsel olaylar da vardır. Bunlar, gün ışığından daha fazla yararlanabilmek için saatlerin ileri/geri alınması olayı, okulların eğitim dönemlerinin açılma-kapanma zamanları, tatil dönemlerindeki faaliyetlerin azalması gibi sayılabilir (Tan, 1997).

2.2.3. Meteorolojik Koşullar

Kısa dönem yük tahminin için özellikle en önemli değişken meteorolojik değişikliklerdir. Sıcaklık, nem, rüzgar hızı, bulutluluk ve ışık yoğunluğu gibi çeşitli değişkenler bulunmaktadır.

Sıcaklıktaki değişimler yük eğrisinde büyük değişiklikler meydana getirmektedir. Sıcaklığın yükün üzerine etkisi tek tip değildir bunun mevsimlere göre değişir. Yaz ve kış mevsimlerinde hava büyük meteorolojik farklılıklar gösterir ve yük eğrileri farklılıklar gösterir Havadaki değişiklik tüketicilerin konfor hissinde değişikliklere neden olur ve bazı cihazların çalışılmalarına sebep olur. Örneğin kış ayında oda sıcaklığının düşmesiyle beraber ısıtıcıların devreye girmesiyle elektrik tüketimin artmasına neden olurken, yaz mevsiminde ise sıcaklığın yükselmesi oda sıcaklığını artırdığı için soğutma üniteleri klimalar devreye girer ve böylece elektrik tüketimi yükselir. Normalde gün içi sıcaklığı yük eğrisine etki etme bakımından en önemli hava değişkenidir ve böylece kısa dönem yük tahmininde birçok çalışmada bağımsız bir değişken olarak seçilmiştir. Önceki günlerin sıcaklığı da yük profiline etki eder. Örneğin, havanın sıcaklığı yüksek olan günlerin art arda gelmesiyle ısının birikerek elektrik talebine yeni bir pik yapabilir. Bazı çalışmalarda ise sıcaklık etkileri sadece aktif sıcaklık değil de genellikle sıcaklık değişiminin bir fonksiyonu olarak

düşünülmüştür. Bunun nedeni genel sıcaklığın temel etkileri mevsimsel yüklerden önceden elde edilmiştir ve sadece sıcaklık değişimleri yük değişimine yol açacaktır. Bu nedenle bu çalışmada giriş olarak aktif sıcaklık yerine günlük sıcaklık farkı kullanılmıştır. Hava duyarlılığı olan yükler için tarımsal sulama cihazları da örnek olarak verilebilir. Tarımsal sulamada öncelik toprağın nemli olmasıdır(Soliman ve Al-Kandari, 2010; Mıshra, 2008).

Nem ayrıca önemli bir faktördür çünkü tüketicilerin konfor hissine büyük şekilde etki eder. Nem özellikle yaz mevsiminde, klimaların ve diğer soğutma cihazlarının çalışmasında etkili olması bakımından yüke etki eder. Yüksek nemin etkileri sıcaklık çok fazla olduğunda fark edilebilir. Bir başka meteorolojik faktörde rüzgar hızıdır. Rüzgar etkisi özellikle kış mevsiminde etkili olur ve soğutmada rüzgar önemli bir etki yapar. Buna serinletici rüzgar etkisi de denir. Rüzgar etkisi kışın hava sıcaklığı ve rüzgarın hızına bağlı bir etkidir. Aydınlatma yüklerinin devreye girmesini sağlayan meteorolojik etki diğerlerine göre daha az etki yapmaktadır. Gündüz gün ışığı miktarının azalması sonucu elektrikli aydınlanma cihazları devreye girerek elektrik kullanımı artmaktadır. Bulutluluk, toz, sis gibi etkenler gün ışığının seviyesinde etkilidir (Soliman ve Al-Kandari, 2010).

2.2.4. Rastgele değişkenler

Günümüz elektrik sistemleri çok sayıda kullanıcıya sahiptir. Her bir bireysel kullanıcının tüketeceği elektriği bilmek mümkün olmamasına rağmen, tüm küçük kullanıcıların toplam yükü bize iyi bir istatiksel kurallar gösterir. Bu yük tahmin işinin temelidir. Fakat büyük yüklerin başlama ve bitişleri, örneğin çelikhane, parçacık hızlandırıcı rüzgar tünelleri, yük eğrisi için açık birer değişim gösterir. Bu bir rastgele değişimdir yük dağıtıcıları için, bu yük kullanıcıları için rastgele bir rastgele bir zamandır ve şebekeden çekecekleri güç için herhangi bir zaman kuralı yoktur. Yüke etki eden bazı rastgele olaylar da vardır. Örneğin bir dünya kupası maçında televizyon kullanıcılarının artacağını bilirler ama ne kadar artacağını bilemezler (Mıshra, 2008). Bütün bunların yanında grevler, sosyal karışıklıklar, fırtınalar, felaketler, sanayi ve tesislerdeki arızalar gibi çeşitli rastlantısal faktörlerde sayılabilir.

3. YÜK TAHMİN YÖNTEMLERİ

3.1. Regresyon Analizi

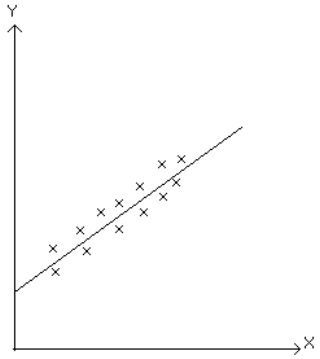
Regresyon analizi en çok kullanılan istatiksel yöntemlerden biridir. Bir bağımlı değişkenin, bir veya birden fazla bağımsız değişkenle arasındaki ilişkiyi veren fonksiyonun yazılmasına regresyon analizi denir. Regresyon analizi ile değişkenler arasındaki ilişkinin varlığı, eğer ilişki varsa bunun gücü hakkında bilgi edinilebilir. Kısa dönem elektrik yük tahmininde tahmin edilecek elektrik yüküyle geçmiş yük bilgisi, hava durumu, mevsim ve gün tipi gibi değişkenler arasında ilişkiler kullanılarak regresyon denklemleri yazılabilir. Regresyonda, değişkenlerden biri bağımlı diğeri bağımsız değişken olmalıdır. Burada tahmin edilecek yük bağımlı değişken olurken geçmiş yük bilgisi, hava durumu, mevsim ve gün tipi gibi değişkenler bağımsız değişken olarak adlandırılır.

3.1.1. Basit regresyon

Regresyonda bağımlı ve bağımsız değişkenlerin belirlemesi bir zorunluluktur. Bağımlı değişken bağımsız değişken kullanılarak açıklanmaya çalışılır. Regresyonda bağımlı değişken ve bağımsız değişken sırasıyla X ve Y ile gösterilirler. Regresyonda öncelikle bağımlı değişkenler ile bağımsız değişkenler arasındaki bağıntının ortaya çıkarılması gerekmektedir. Örneğin değişkenler arasında;

$$Y=\beta_0+\beta_1 X+\varepsilon \qquad (3.1.)$$

gibi bir doğrusal ilişki öngörülüyorsa, β_0 ve β_1 parametrelerinin tahmin edilmesi gerekir. Bu değerler tahmin edildiğinde bağımsız değişken kullanarak bağımlı değişkenin alacağı değer tahmin edilir. Bu modele bağımsız değişkenli doğrusal regresyon modeli denir. β_0 ve β_1 parametreleri modelin bilinmeyen parametreleri iken, ε ise hata terimidir. Bu modelin grafiği Şekil 3.1.'de gösterilmiştir (Ünver ve Gamgam, 2008).

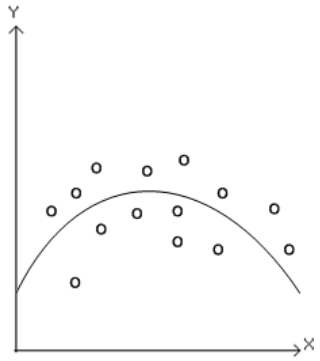


Şekil 3.1. Doğrusal ilişki

Eğer model Şekil 3.2.'deki gibi noktalar bir doğru üzerinde toplanmıyorsa, o zaman Denklem (3.1.) ile verilen modelin kullanılması doğru olmayacaktır. Bu eğri için uygun model ikinci dereceden polinom olabilir ve denklemi;

$$Y=\beta_0+\beta_1X+ \beta_2X^2 +\varepsilon \qquad (3.2.)$$

şeklinde ifade edilebilir. Bu modele bağımsız değişkenli doğrusal olmayan regresyon modeli denir. β_0, β_1 ve β_2 parametreleri modelin bilinmeyen parametreleri iken, ε ise hata terimidir. Bu modelin grafiği Şekil 3.2.'de gösterilmiştir (Ünver ve Gamgam, 2008).



Şekil 3.2. Doğrusal olmayan ilişki

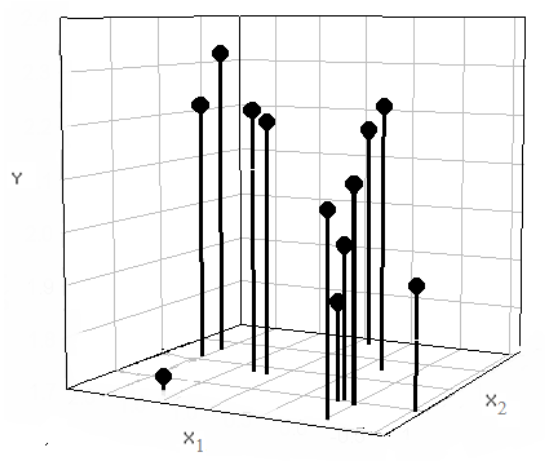
3.1.2. Çoklu regresyon

Çoklu regresyon birden fazla bağımsız değişkenin bulunduğu regresyondur. Modeldeki bağımsız değişkenlerin kendi arasında sıkı ilişki olması istenen bir durum

değildir. Örneğin X_1 ve X_2 arasındaki kolerasyon 0.995 ise belirleme katsayısı tek bağımsız değişkenli ve iki bağımsız değişkenli modelde birbirine çok yakın çıkar. Bu nedenle çoklu regresyonda seçilen bağımsız değişkenlerin kendi aralarında çok sıkı ilişki olmayanlardan seçilmesi gerekir. Bağımsız değişken sayısı k olan doğrusal model;

$$Y=\beta_0+\beta_1X_1+ \beta_2X_2+\ldots+ \beta_kX_k+\varepsilon \qquad (3.3.)$$

şeklinde gösterilebilir. Burada Y, X_1, … , X_k gözlenebilen değerler β_0, β_1, … , β_k bilinmeyen parametrelerdir. Şekil 3.3'de iki bağımsız değişken modeli gösterilmiştir (Ünver ve Gamgam, 2008).



Şekil 3.3. İki bağımsız değişkenli model

3.2. Zaman Serileri

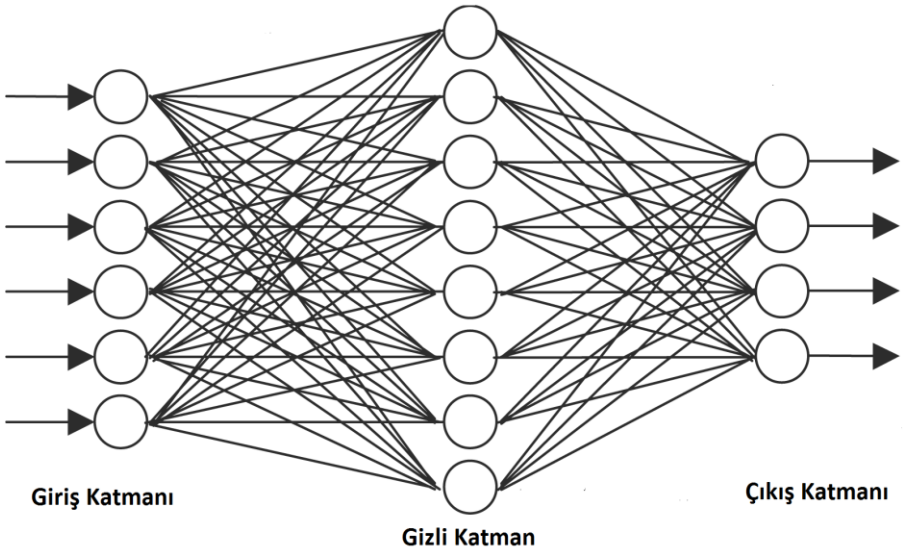
Önceki dönemlere ait gözlemlerin incelenmesi ve belirli eğilimlerin ortaya çıkarılması ile geleceğe ait tahmin yapılabilmesi açısından zaman serileri önemlidir. Zaman serileri metodu verilerin kendi içinde bir yapısı olduğu (otekolerasyon, eğilim ve mevsimsel değişikler) varsayımına dayanır. Zaman serileri veriler içindeki bu yapıyı ortaya çıkarmak için çalışırlar. Zaman serileri uzun yıllardır ekonomi, dijital sinyal işleme ve elektrik yük tahmini gibi konularda kullanılmaktadır. En çok kullanılanlar ARMA, ARIMA, ARMAX VE ARIMAX en çok kullanılan klasik zaman serileri metotlarıdır. ARMA genelde durağan işlemlerde kullanılırken, ARMA metodunun uzantısı olan ARIMA ise durağan olmayan sistemlerde daha çok kullanılır. ARMA ve ARIMA zaman ve yükü sadece giriş parametresi olarak kullanırlar. Yük tahmini için

zaman serileri içinde en uygun metot ise hava ve zaman değişkenlerini kullanabilen ARIMAX metodudur (Feinberg, 2005).

3.3. Yapay Sinir Ağları

Yapay sinir ağları elektrik yük tahmininde en çok kullanılan yöntemlerden biridir. Yapay sinir ağları, insan beyninden esinlenip geliştirilmiş, birbirlerine çeşitli ağırlarla bağlanan ve her biri kendi belleğine sahip işlem elemanlarından oluşan bilgi işleme yapılarıdır. Yapay sinir ağları için biyolojik sinir ağlarını taklit eden programlardır da denebilir. YSA bir programcının yeteneklerini gerektirmeyen, kendi kendine öğrenme düzenekleridir. Öğrenmenin yanında ezberleme ve bilgiler arasında ilişkiler kurma yeteneklerinde de sahiptir. İnsan beyninin bazı organizasyonlarına benzeyen özellikleri kullanırlar. Genel olarak YSA model seçimi ve sınıflandırılması, işlev tahmini, en uygun değeri bulma ve veri sınıflandırma gibi işlemlerde başarılıdır. Çeşitli YSA tipleri bulunmasına rağmen bazılarının kullanımı diğerlerinden daha yaygındır. En fazla kullanılan yapay sinir ağı, geri yayılımlı yapay sinir ağıdır. Geri yayılımlı yapay sinir ağı tahmin ve sınıflandırma problemlerinde çok iyi sonuçlar vermektedir. Aynı şekilde Kohonen özörgütlemeli harita modeli de, karışık bilgi kümeleri arasında ilişki bulma konusunda başarılı sonuçlar verdiğinden çok kullanılır (Elmas, 2003(a)).

Yapay sinir ağları sinir ya da düğüm olarak adlandırılan çok sayıdaki sinir elamanlarının bir araya gelmesiyle oluşur. Bir hiyerarşik sinir ağı, düğümlerin art ardına sıralı bir şekilde bağlanmasından oluşur. Giriş katmanına gelen işaret, düğümler arasındaki bağlantılar yoluyla diğer katmanlara iletilir. İletilmeden önce düğüm üzerinde işaret basit bir işlem yapılır ve bu süreç çıkış katmanına erişinceye kadar tekrar edilir. Gizli katmanları olmayan, sadece giriş ve çıkış katmanından oluşan ağlar, karmaşık işlevleri hesaplama yeteneğine sahip değillerdir. Bu nedenle karmaşık işlemlerin hesaplamasında en az bir gizli katman olmalıdır. Şekil 3.4.'te birçok girişli çok çıkışlı ve bir gizli katmana sahip bir ağ yapısı gösterilmiştir. Bir katmandaki her sinir, bir sonraki katmanın bütün sinirleri ile bağlantılıdır (Elmas, 2003(a)).



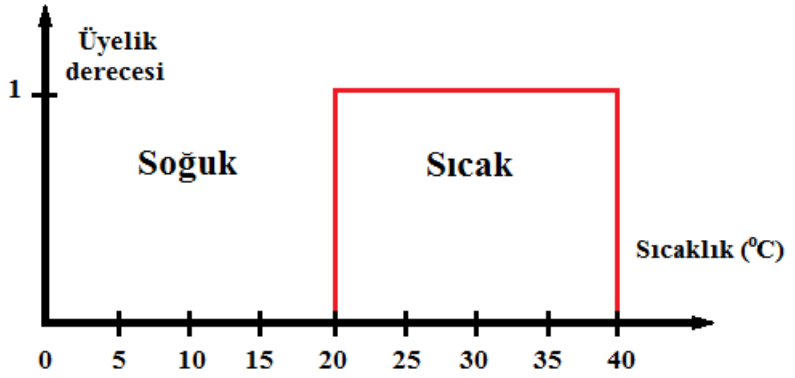
Şekil 3.4. Çok girişli çok çıkışlı ağ yapısı

3.4. Bulanık Mantık

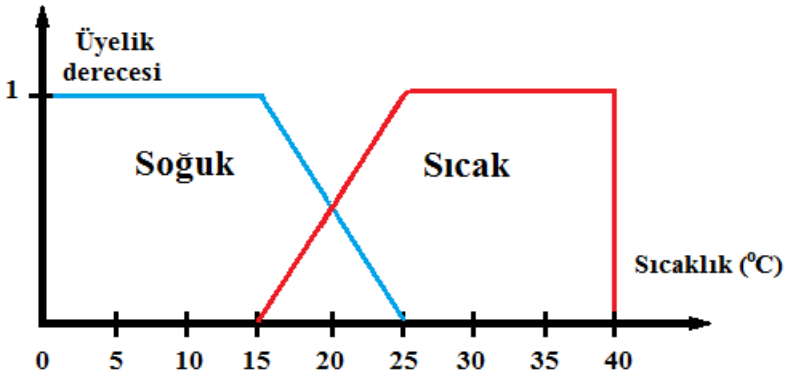
Bulanık mantık yaklaşımı ilk defa 1956 yılında bir konferansta duyurulmuştur. Bu konudaki ilk ciddi çalışma ise Lotfi A. Zadeh tarafından yapılmıştır. Bulanık mantık veya bulanık küme kuramı terimi ilk defa bu çalışmada geçmiştir. Bulanık mantık, makinelere verileri işleyebilme ve insanların deneyimlerinden ve önsezilerinden yararlanarak çalışabilme imkânı verir. Bunu yaparken sayısal ifadeler yerine sembolik ifadeler kullanılır. Bu sembolik ifadelerin makinelere aktarılması matematiksel bir temele dayanır. Bu matematiksel temel Bulanık Mantık Kümeler Kuramı ve Bulanık Mantık olarak adlandırılır. Bulanık mantığın temeli bu tür sözlü ifadeler ve bunlar arasındaki mantıksal ilişkiler üzerine kurulmuştur. Bulanık mantık uygulanırken sistemin matematiksel modellenmesi şart değildir. Zadeh tarafından Bulanık mantığın genel özellikleri şu şekilde ifade edilmiştir;

- Bulanık mantıkta, kesin değerlere dayanan düşünme yerine, yaklaşık düşünme kullanılır.
- Bulanık mantıkta her şey [0,1] aralığında belirli bir derece ile gösterilir.
- Bulanık mantıkta bilgi büyük, küçük, çok az gibi dilsel ifadeler şeklindedir.
- Bulanık çıkarım işlemi dilsel ifadeler arasında tanımlanan kurallar ile yapılır.
- Her mantıksal sistem bulanık olarak ifade edilebilir.
- Bulanık mantık matematiksel modeli çok zor elde edilen sistemler için çok uygundur (Elmas, 2003(b)).

Klasik küme örneği Şekil 3.5.'de gösterilmiştir. Sıcaklık 20 °C'nin altında ise soğuk, 20 °C ve üstünde ise sıcak olarak verilmiştir. Klasik mantığın hiçbir esnekliği yoktur. Gerçekte ise sınırlar bu kadar keskin değildir. Klasik kümelerden farklı olarak bulanık mantık kümeleri üyelik dereceleri [0,1] aralığında değişir. Şekil 3.6.'da görüldüğü gibi sıcaklık 15 °C'nin altı için soğuk, 25 °C'nin üstü için sıcaktır. Fakat 15 °C-25 °C aralığında hem sıcak hem soğuktur. Yani her iki sınıfa dâhildir. 20 °C'de ise her ikisinin de üyelik dereceleri aynıdır (Elmas, 2003(b)).



Şekil 3.5. Klasik küme gösterimi



Şekil 3.6. Bulanık küme gösterimi

Yükleri sınıflandırma da bulanık mantık uygulamasında benzer yaklaşım uygulanmıştır. Normalize edilmiş olan yük değerleri gün tipi modeline göre farklı sayıda gruplara ayrılmıştır.

Üstünlükleri olarak şunlar söylenebilir;

- İnsan düşünüş tarzına çok yakın olması
- Denetim işlemlerinin birçoğunun dilsel değişkenlerle yapılması

- Matematiksel modele ihtiyaç duymaz
- Matematiksel modeli iyi tanımlanmamış, zamanla değişen ve doğrusal olmayan sistemler için başarılı olması.

Sakıncaları için şunlar söylenebilir;

- Kuralların mutlaka uzman deneyimine dayanarak yazılmasının gerekmesi
- Üyelik işlevleri ve bulanık kuralları tanımlamanın her zaman kolay olmaması
- Üyeliklerin ve derecelerinin belirlenmesinde kesin bir sonuç veren belirli bir yöntem ve öğrenme yeteneğinin olmaması
- En uygun yöntemin deneme yanılmayla bulunması sonucunda uzun zaman alabilmesi
- Üyelik işlevlerinin değişkenleri sisteme özeldir, başka sistemlere uyarlanmasının çok zor olmasıdır (Elmas, 2003(b)).

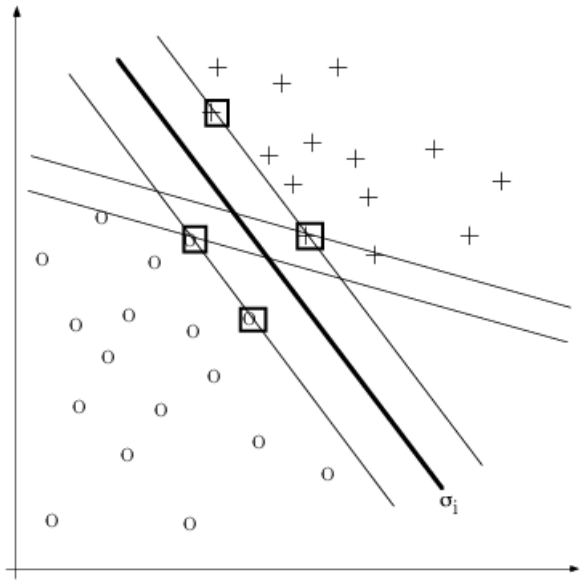
3.5. Benzer Gün Yaklaşımı

Bu yaklaşım geçmiş verilerde, tahmin edilecek günün karakteristiğine benzer günün aranmasıdır. Benzer özeliklere hava durumu, haftanın günü ve o günkü tarih gibi çeşitli değişkenler girebilir. Bulunan benzer günün yükü tahmin sonucu olarak sunulur. Bir benzer gün bulunması yerine birden çok benzer gün bulunup, tahmin sonucu regresyon veya lineer metotlarla bulunabilir. Tahminin doğruluğunu artırmak için, önceki yıllarda bulunan benzer günler için değişim katsayısı gibi katsayılar kullanılabilir (Feinberg, 2005).

3.5. Destek Vektör Makineleri

Destek Vektör Makineleri (DVM) öğrenme, sınıflandırma, kümeleme, yoğunluk tahmini ve veriden regresyon kuralları üretmek için kullanılan bir eğitme algoritmasıdır. 1960 yıllarda temelleri atılan DVM 1995 yılında sınıflandırma konusunda önerildi. Ayrıca regresyon ile yoğunluk fonksiyonu tahminli araştırmalarda da yaygın bir şekilde kullanılmaya başlanmıştır (Çomak, 2004).

Veri noktalarını mümkün olduğu kadar iyi sınıflandıran ve mümkün olduğu kadarıyla iki sınıf noktaya ayıran optimum ayırıcı düzlemin bulunması DVM'nin amacıdır. Yani iki sınıf arasındaki mesafenin maksimum olduğu durumun bulunmasını amaçlanmıştır. Bu sınıflandırma mantığının temeli ise her iki sınıfın uç noktalarında bulunan ve eğitme örneklerinin arasından seçilen destek vektörleridir. Ayırıcı düzlemin optimum olmasıyla genelleme yeteneği de maksimum düzeye çıkmış olacaktır. Fakat bu verileri iki sınıfa ayıracak çok sayıda fazla ayırıcı düzlem mevcuttur. Öncelikle bu ayırıcı düzlem sayısı sınıflar arası mesafe ölçüsüyle sınıf genişliği ölçüsünün çarpımı 1 alınarak sınırlandırılmıştır. Son olarak bu ayırıcı düzlemler arasında optimum olanının bulunması gerekir. Optimum ayırıcı düzlem ise, iki sınıfın destek vektörleri arasındaki uzaklık (her iki sınıfın en uç verileri arasındaki mesafenin) maksimum olmasını sağlayan ayırıcı düzlemdir. Bu ayırıcı düzlem aralığın tam ortasından geçmelidir. Şekil 3.7.'de destek vektör gösterimi verilmiştir (Çomak, 2004).

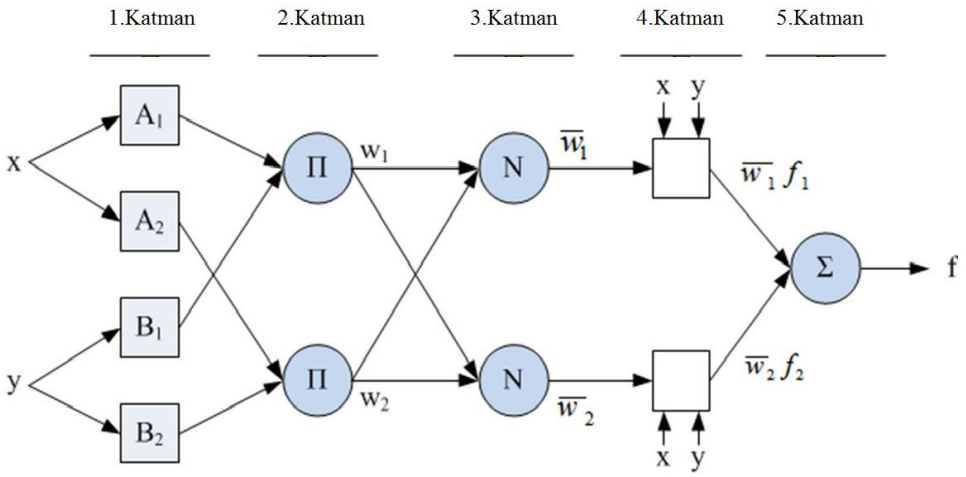


Şekil 3.7. Destek vektör gösterimi

3.6. ANFIS

Adaptif ağ tabanlı Bulanık Çıkarım Sistemi (Adaptive-Network Based Fuzzy Inference Systems-ANFIS) yapay sinir ağlarıyla bulanık mantığın birleşmesinden oluşan melez bir yapay zeka yöntemidir. Yapay sinir ağlarının paralel hesaplayabilme ve öğrenme kabiliyeti ile bulanık mantığın çıkarım özelliğini kullanır. Jang tarafından 1993 yılında önerilen bu yöntem sugeno tipi bulanık çıkarımı ve melez öğrenme

algoritmasını kullanmaktadır. Bu sitemde her bir düğüm bir işlem birimini temsil eder, ayrıca düğümler arası bağlantılar ise değeri tam belli olmayan bir ağırlığı ifade etmektedir. Düğümlerin hepsi ya da bir kısmı adaptif yapıda olabilirken, adaptasyon bu düğüm çıkışlarının parametrelerle belirlenmesiyle oluşur. Öğrenme kuralları hata minimum oluncaya kadara parametrelerin nasıl değiştirilmesi gerektiğini belirler. ANFIS, ele alınan probleme göre tüm kuralları hem kendi atayabilmekte hem de kuralların uzman tarafından atanmasına izin vermektedir. ANFIS uzman görüşüne imkan tanıdığı için ortalama kareler kriterine göre bir çok tahmin probleminde iyi sonuçlar elde dilebilmesine imkan tanımaktadır. Şekil 3.8.'de iki girişli tek çıkışlı ve iki kurallı bir Sugeno tipi bir ANFIS yapısı verilmiştir. ω sembolü düğüm çıkışındaki ateşleme sembolünü gösterir. Aşağıda her bir katmandan bahsedilmiş olup her katmandaki düğüm fonksiyonları özdeştirler (Demirel, 2009).



Şekil 3.8. İki girişli bir çıkışlı Sugeno tipi ANFIS yapısı

1.Katman: Bulanıklaştırma katmanı olarak adlandırılan bu katmanda giriş değerlerini bulanık kümelere ayırmada Jang'ın ANFIS modeli, üyelik fonksiyonu şekli olarak Gauss aktivasyon fonksiyonu kullanılmaktadır. Her bir düğüm çıkışı giriş değerlerine ve üyelik fonksiyonuna bağlı olan üyelik derecelerinden oluşmuştur.

Bu katmanda bulunan her i düğümü karesel bir düğümdür. Düğümün çıkışı şu denklemle ifade edilmiştir;

$$Q_{i1} = \mu A_i(x) \;\; i = 1,2.. \qquad (3.4.)$$

Burada giriş düğüm değişkeni x, bu düğümün bulanık kümesi A_i'dir. μA_i (x) ise genellikle bulanık üyelik fonksiyonlarını göstermektedir.

2.Katman: Bu katman kural katmanı olup, katmandaki her bir düğüm Sugeno bulanık mantık çıkarım sistemine göre oluşturulan kuralları ve sayısını göstermektedir. Her bir kural düğümünün çıkışı μ_i, birinci katmandan gelen üyelik derecelerinin çarpımı olmaktadır. Her düğüm çıkışı, bir kuralın ateşleme seviyesini gösterir. μ_i değerlerinin elde edilişi ise, (j=1,2) ve (i=1,,,,,,n) olmak üzere aşağıdaki gibi elde edilir.

$$\omega_i = \mu_{Ai}(x) * \mu_{Bi}(y),\ i = 1,2 \qquad (3.5.)$$

3.Katman: Bu katman normalizasyon katmanıdır. Bu katmandaki her bir düğüm, ikinci katmanından gelen tüm düğümleri giriş değeri kabul edip her bir kuralın normalleştirilmiş değerini hesaplamaktadır. Bu katmanın çıkışları, normalize edilmiş ateşleme seviyesi olarak adlandırılır. Yani, bu katmandaki her bir düğüm, N etiketli bir sabit düğümdür. *i*. düğüm, *i*. kuralın ateşleme seviyesini, bütün kuralların ateşleme seviyesini, bütün kuralların ateşleme seviyeleri toplamına oranlayarak aşağıdaki gibi hesaplanır (Demirel, 2009).

$$\overline{\omega} = \frac{\omega_1}{\omega_1+\omega_2},\ i = 1,2 \qquad (3.6.)$$

4.Katman: Bu katman durulaştırma katmanı olup katmandaki her bir düğümde verilen bir kuralın ağırlıklandırılmış sonuç değerleri hesaplanmaktadır. Bu katmandaki parametreler, sonuç parametreleri denir.

Bu katmandaki her *i* düğümü bir kare düğümü olup düğüm çıkışı aşağıda denklemi verilen çıkış üyelik fonksiyonudur.

$$Q_i^4 = \overline{\omega_\iota} f_i = \overline{\omega_\iota}(p_i x + q_i y + r_i) \qquad (3.7.)$$

5.Katman: Bu katman toplam katmanı olup bu katmanda Σ ile etiketlenen sadece bir düğüm vardır. Dördüncü katmandaki her bir düğümün çıkış değeri toplanarak ANFIS sisteminin gerçek değeri elde edilir. Aşağıdaki denklemler kullanılarak bu katmanda gelen bütün işaretlerin toplamı hesaplanır.

$$Q_i^5 = \sum_i \bar{\omega}_i f_i = \frac{\sum_i \omega_i f_i}{\sum_i \omega_i} = \frac{\omega_1 f_1 + \omega_2 f_2}{\omega_1 + \omega_2} \quad (3.8.)$$

Sonuçta ANFIS yapısı fonksiyonel olarak, Sugeno tipi bir bulanık yapısının aynısıdır (Demirel, 2009).

4. TÜRKİYENİN YÜK KARAKTERİSTİĞİ VE VERİ ANALİZİ

Bu bölümde Türkiye'nin elektrik yük karakteristiği incelenmiştir. Tez çalışmasında kullanılan yük, sıcaklık ve mevsim verileri açıklanarak analizleri yapılmıştır. Yük eğrisinin günlük ritmi ve gün tipleri belirlenmiştir. Ayrıca hata çeşitlerinden bahsedilmiştir.

4.1. Yük Verileri

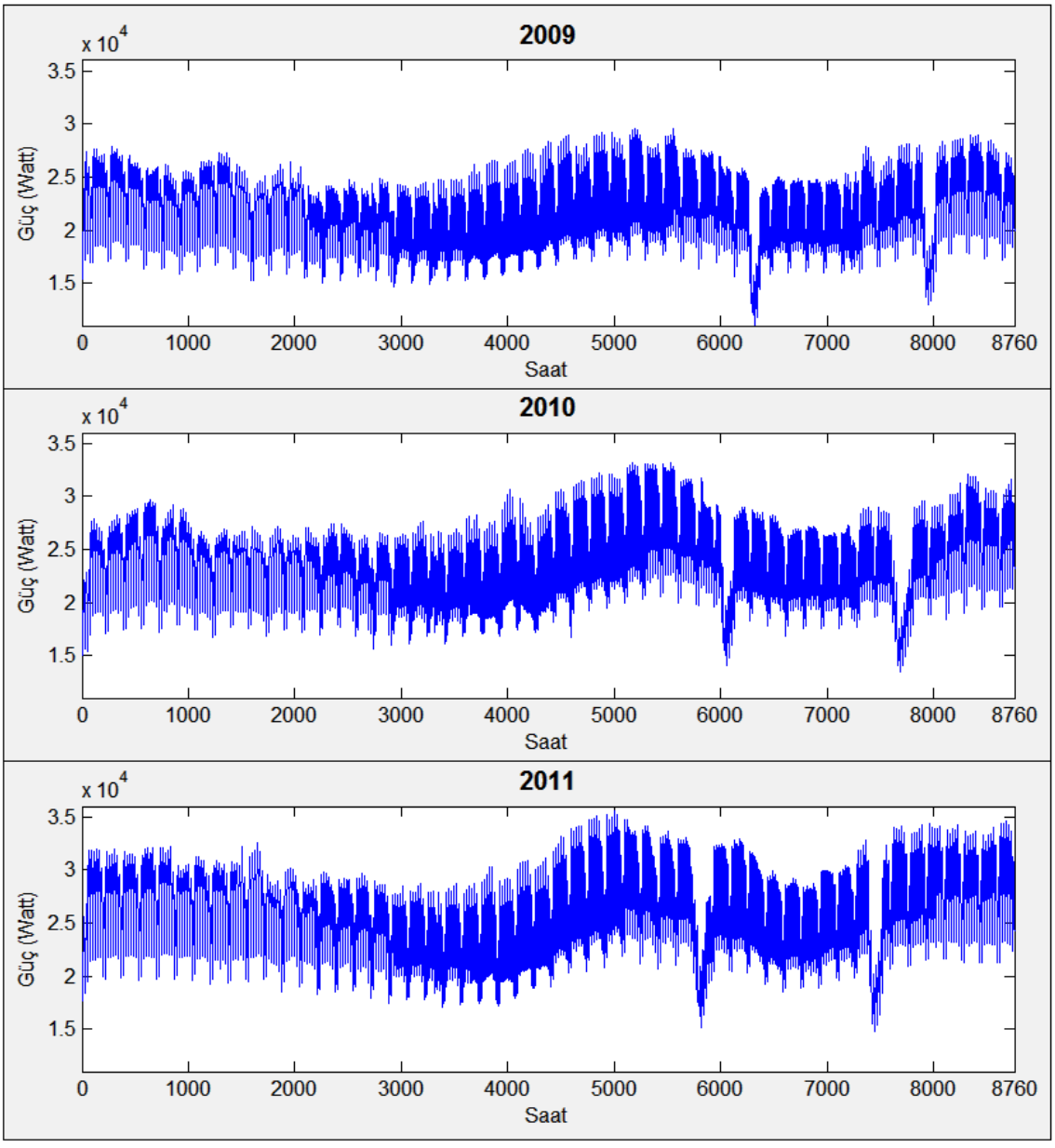
Kısa dönem yük tahmini ikinci bölümde açıklandığı gibi bir saatten bir haftaya kadar uzanan yük tahminlerini içermektedir. Bu tez çalışmasında 2012 yılı için gün öncesinden, ertesi günün 24 saati için elektrik yük tahmini yapılması amaçlanmıştır. Yapılacak tahmin için 2009-2012 yılları Türkiye'nin saatlik elektrik tüketim verileri kullanılmıştır. Bu veriler Türkiye Elektrik Anonim Şirketi'nden(TEİAŞ) alınmıştır. 2009-2011 arası veriler tahmin modellerinin çıkarılması için kullanılmış, 2012 verileri ise yapılan tahmin modellerinin doğruluğunu göstermek için kullanılmıştır. Şekil 4.1' de 2009-2011 arası Türkiye'nin saatlik elektrik yük tüketim grafiği verilmiştir.

Geçmiş yılların yük verilerinde, minimum yük sıfır ve maksimum yük bir olacak şekilde bir normalizasyon yapılmıştır. Senelik yük artışlarına göre normalizasyonda 0 ve 1'e karşılık gelen değerleri değiştirilmiştir. Sonuç olarak elde edilen tahmin yükü de denormalizasyon edilerek gerçek değere ulaşılmıştır.

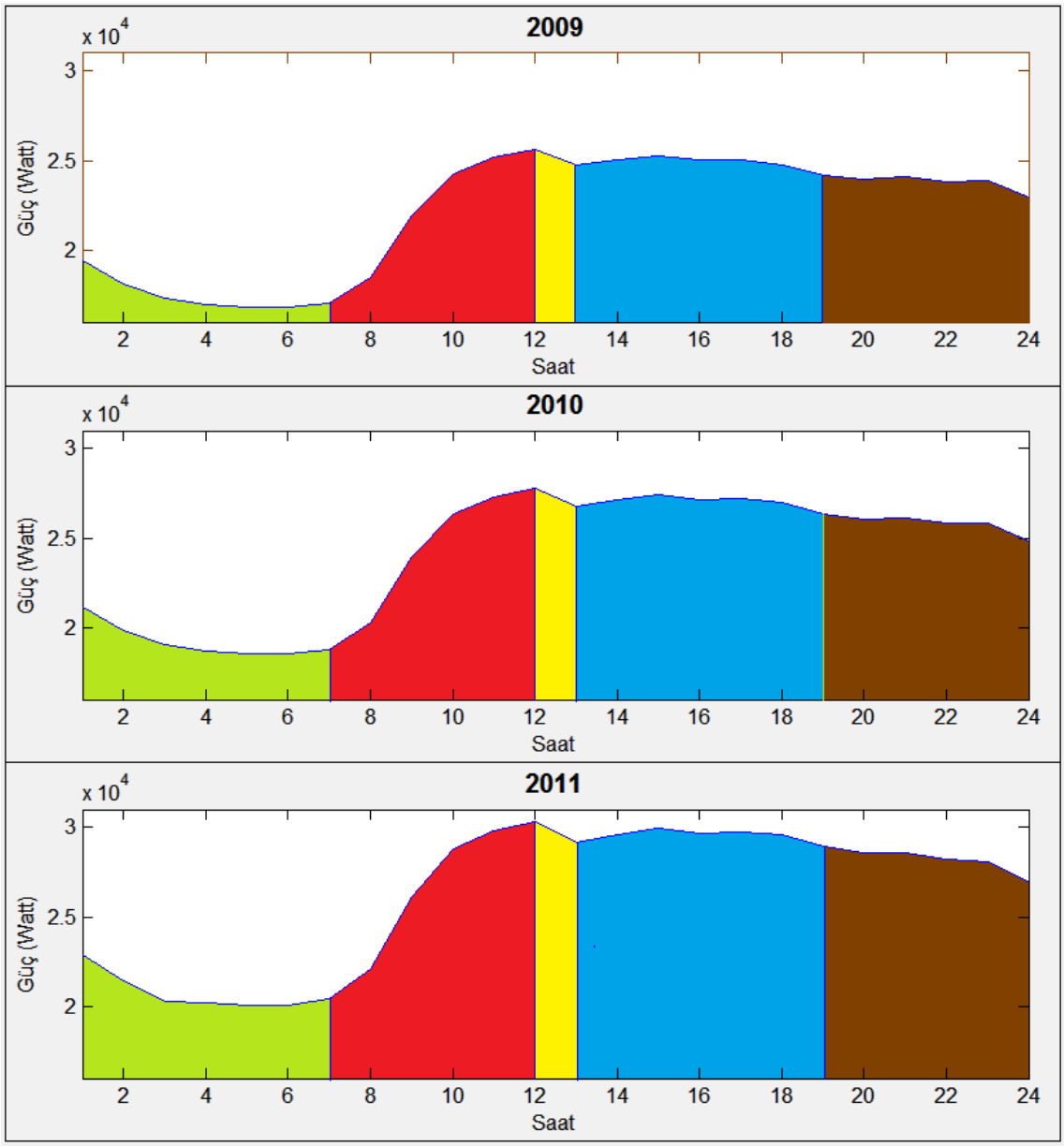
4.1.1. Yük eğrisinin günlük ritmi

Mevsimlere bağlı olarak gün ritimlerinde değişiklik olmasına rağmen, burada yapıldığı gibi yıllık ortalamalara bakılması yük eğrisinin günlük ritminin çıkarılmasında bize yardımcı olacaktır. Mevsimlerin yük eğrisinde meydana getirdiği değişikliklerden mevsim verileri kısmında ayrıca bahsedilmiştir.

Şekil 4.2.'de 2009-2011 yıllarının pazartesi gününün saatlik yük ortalamaları gösterilmiştir. Her üç yılda da ortalama saatlik yük eğrisinde yük ritimlerinin aynı olduğu görülebilir.



Şekil 4.1. 2009-2011 yılları için Türkiye saatlik elektrik tüketimi



Şekil 4.2. 2009-2011 yılları için pazartesi günü elektrik tüketim ortalaması

Pazartesi günü her üç yılda da düşük bir noktadan başlamış, aynı saat dilimlerinde yük eğrisinde yükselmeler ve düşmeler her üç yılda da senkron bir şekilde gerçekleşmiştir. Bunun nedeni ise insanların gün boyunca davranışlar biçimlerinin aynı olmasıdır. Şekil 4.2. incelendiğinde şu çıkarımlar yapılabilir;

- Saat 1-7 aralığı için: 1-3 saat aralığında gece insanların uyumaya başlaması ile yük eğrisi azalma eğilimi gösterir. 3-7 saat aralığında ise yük eğrisi sabit bir seyir izler ve bu aralıktaki yüke temel yük denebilir. Bu aralıktaki yüklerde sokak aydınlatması ve gece çalışan fabrikalar ve işyerleri büyük rol oynar.

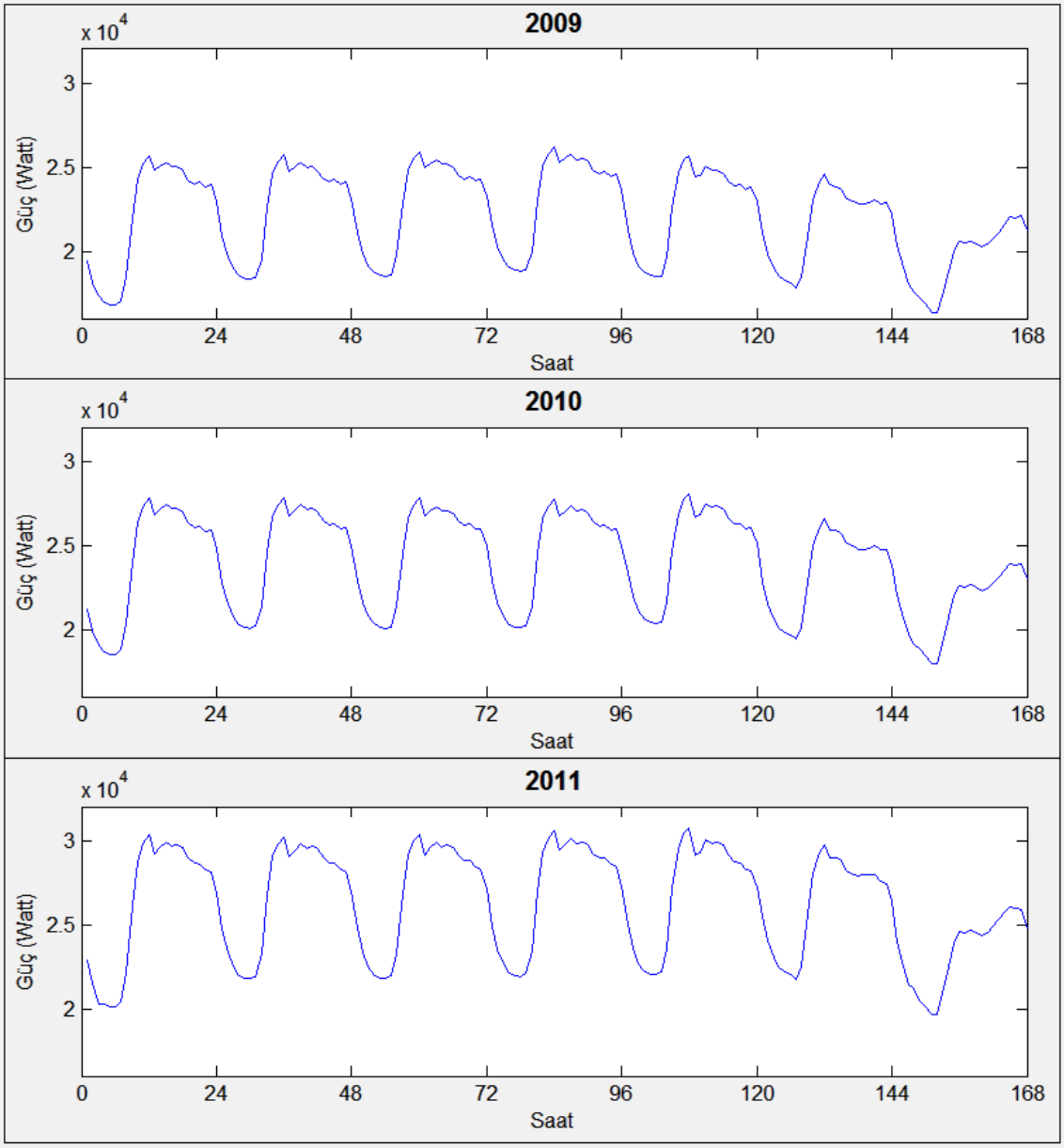
- Saat 7-12 aralığı için: 7-8 saat aralığında aydınlatma yükleri devrede olmamasına rağmen, işe gitmek için uyanan insanların elektrikli aletleri kullanmaya başlamasıyla elektrik tüketimi artar. 8-12 saat aralığında ise çalışma saatlerinin başlamasıyla artış yine devam eder. Bu artış eğilimi öğle arasına kadar devam ederek yük eğrisi en tepe değere çıkar.
- Saat 12-13 aralığı için: Çoğu işyerinde öğle arası molalarının aynı saatte olmasından dolayı, öğle arasında yük eğrisi düşme eğilimindedir.
- Saat 13-19 aralığı için: Bu aralıkta yük eğrisi sabite yakın bir seyir izler.
- Saat 19-24 aralığı için: 19-23 saat aralığında elektrik tüketimi azalmaya başlar. Çalışma saatinin bitmesine rağmen yük eğrisinde ani bir düşme yaşanmaz. Bunun nedenlerinden birinci olarak havanın kararmasıyla sokak aydınlatmasının devreye girmesi gösterilebilir. İkinci olarak ise insanların çoğunun evlerine gidip günlük ihtiyaçlarını karşılamada kullandıkları fırın, lamba, ütü, çamaşır makinesi, ısıtıcı/klima, televizyon gibi elektrikli aletleri kullanması gösterilebilir. Saat 23 ten sonra ise insanların gece uyumaya başlaması ile yük eğrisi düşme eğilimine girmiştir.

4.1.2. Gün tipleri

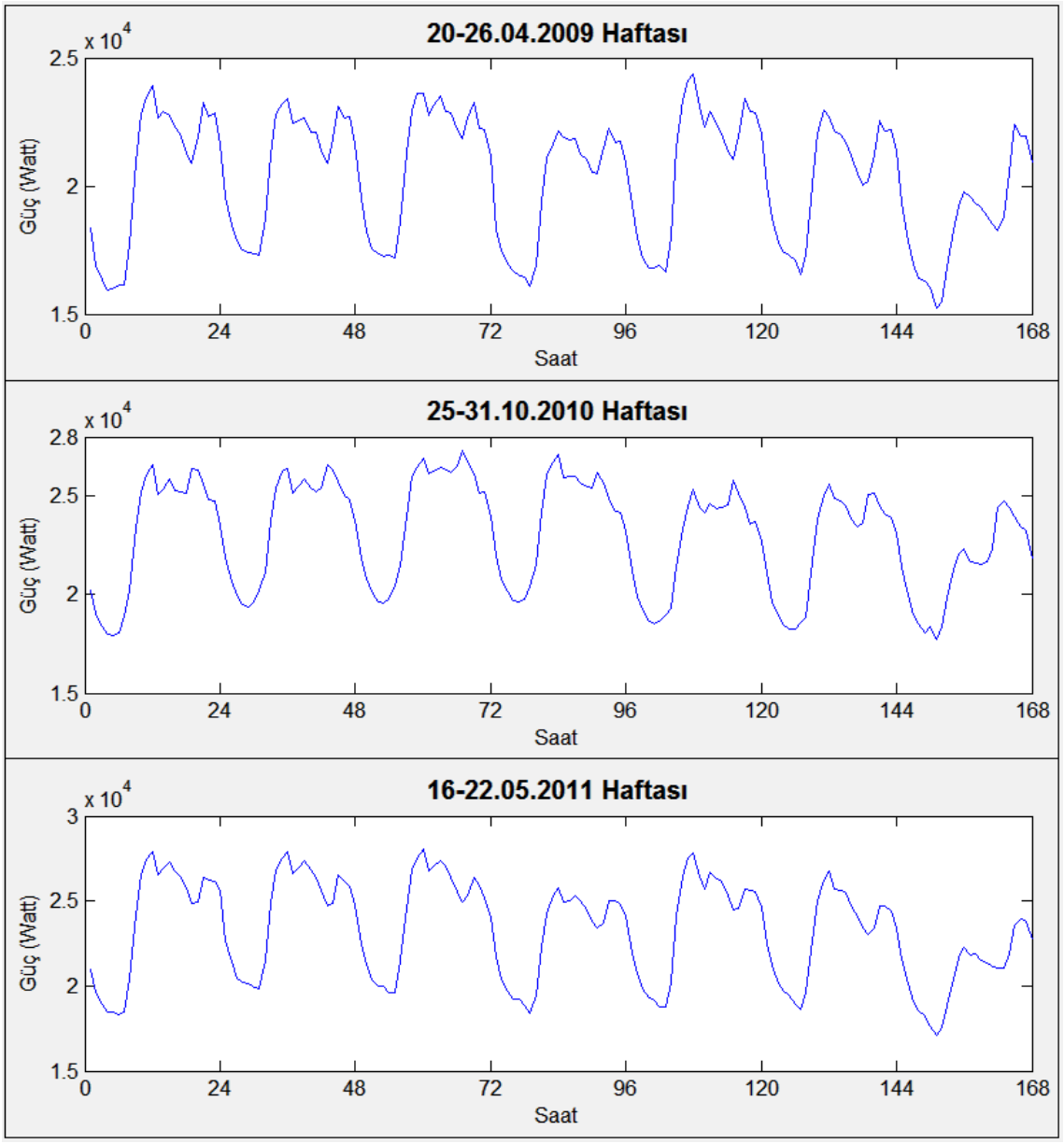
Şekil 4.3.'de 2009-2011 yıllarının haftanın her günü için saatlik yük ortalaması gösterilmiştir. Pazartesi gününden başlayıp pazar gününe kadar devam eden haftalık yük eğrisinde günlük ritimler görülmektedir. Şekil 4.3. incelendiğinde şu çıkarımlar yapılabilir;

- Şekle ilk bakıldığında 2009 yılındaki yük eğrisinin seviyesiyle 2010 ve 2011 yıllarındaki yük eğrisinin seviyesi aynı değildir. Yük eğrisinin seviyesi yıl geçtikçe yükselmiştir. Burada bahsedilen yıl aralığında Türkiye'nin elektrik tüketiminin her yıl arttığı görülebilir.
- Pazartesiden cumaya kadar olan ilk 5 günün diğerlerine nazaran daha çok benzediği görülmektedir. Cumartesi(120-144 saat arası) ve pazar(144-168 saat arası) günlerinin ise ne diğer hafta içi günlere nede birbirlerine benzediği görülmektedir. Bundan dolayı cumartesi ve Pazar günleri farklı iki gün tipi olarak ele alınabilir.

- Pazartesiden cumaya kadar olan hafta içi günler ele alındığında Salı-Cuma arası günlerin birbirlerine daha çok benzediği görülmektedir. Pazartesi gününün ilk saatlerinin daha düşük bir seviyeden başladığı, ilerleyen saatlerde diğer günleri yakaladığı görülmektedir. Dolayısıyla hafta içi günleri pazartesi gün tipi ve hafta içi gün tipi(Salı-Cuma) olarak iki farklı gün tipine ayrılabilir.



Şekil 4.3. 2009-2011 yılları için haftalık elektrik tüketim ortalaması



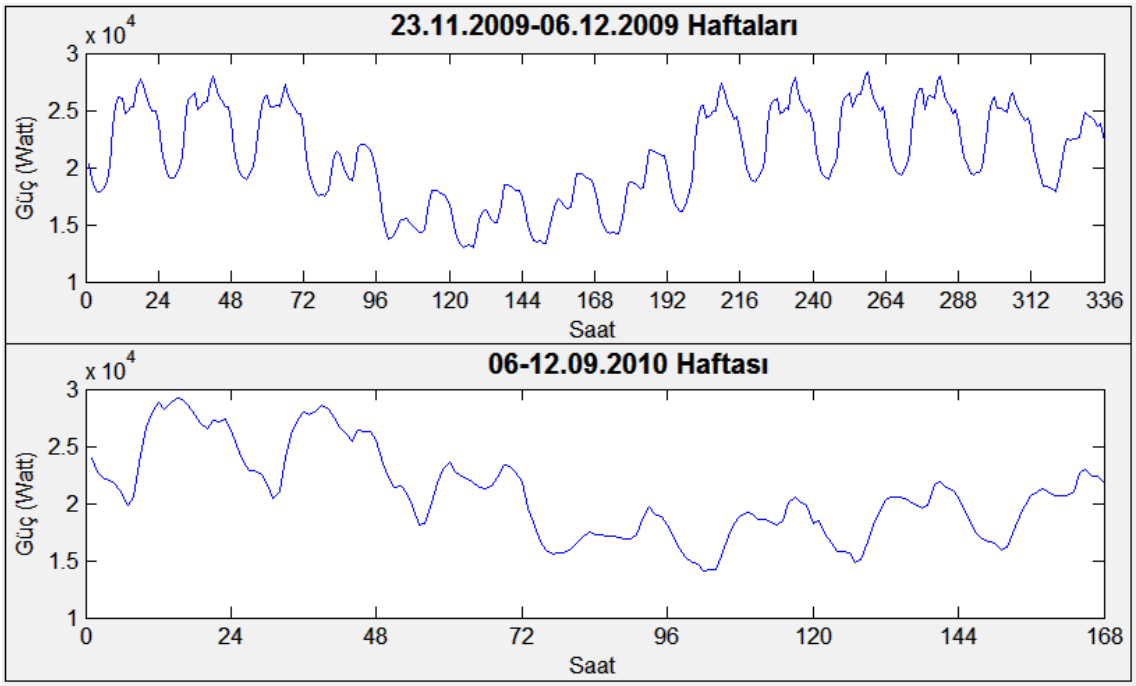
Şekil 4.4. Bazı ulusal bayram günlerini içeren haftaların yük eğrileri

Her ülkenin kendi özelliklerine göre farklı tatil günleri mevcuttur. Tatil günlerinde yük eğrisi normal günlerden farklı bir ritimde olduğundan bu tatil günleri ayrı gün tipi olarak ele alınmalıdır. Türkiye'de resmi tatil günleri ulusal bayram günleri ve dini bayram günleri olarak ikiye ayrılabilir. Ulusal bayramlar her yıl aynı tarihte kutlanırken dini bayramlar ise her yıl farklı tarihte kutlanırlar. Şekil 4.4.'te bazı ulusal bayram günlerini içeren haftaların yük eğrileri gösterilmiştir.

Şekil 4.4. incelenirse şu gözlemler yapılabilir;

- İlk olarak 23.04.2009 Ulusal Egemenlik ve Çocuk Bayramı gününü içeren haftanın yük eğrisi verilmiştir. Dikkat edilirse Perşembe gününün(72-96 saat arası) yük eğrisi diğer hafta içi günlere göre farklı seyretmiştir.
- İkinci grafikte ise 29.10.2010 Cumhuriyet Bayramı gününü içeren haftanın yük eğrisi verilmiştir. Cuma gününün(96-120 saat arası) yük eğrisi diğer hafta içi günlere göre daha düşük bir seyir izlemiştir.
- Üçüncü grafikte ise 19.05.2011 Atatürk'ü Anma Gençlik ve Spor Bayramı gününü içeren haftanın yük eğrisi gösterilmiştir. Perşembe gününün(72-96 saat arası) yük eğrisi diğer hafta içi günlere göre farklı seyretmiştir.

Türkiye'de Ramazan Bayramı ve Kurban Bayramı olarak iki dini bayram kutlanmaktadır. Ramazan Bayramı üç gün kutlanırken, Kurban bayramı dört gün kutlanmaktadır. Bayram günlerinden bir gün öncesi günlere Arife Günü denmekte ve bu günlerde yarım gün resmi tatil olmaktadır. Dini bayram günleri her yıl farklı tarihlerde kutlanmaktadır. Şekil 4.5.'te dini bayram günlerini içeren haftaların yük eğrileri gösterilmiştir.



Şekil 4.5. Dini bayram günlerini içeren haftaların yük eğrileri

Şekil 4.5. incelenirse şu gözlemler yapılabilir;

- İlk şekilde Kurban Bayramını içeren iki haftanın pazartesi gününden başlayarak yük eğrisi gösterilmiştir. Çarşamba günü (72-96 saat arası) Arife günü iken, perşembe-pazartesi günleri arası (96-192 saat arası) ise Kurban Bayramının dört günüdür. Bayram günleri diğer günlere kıyasla daha düşük bir seyir izlemiştir.
- İkinci şekilde ise Ramazan Bayramını içeren hafta pazartesi gününden başlanarak gösterilmiştir. Çarşamba günü (48-72 saat arası) Arife günü iken, Perşembe-cumartesi günleri arası (72-144 saat arası) ise Ramazan Bayramının üç günüdür. Bayram günleri diğer günlere kıyasla daha düşük bir seyir izlemiştir.

Bütün bunların sonucu olarak yük eğrisindeki günlük ritim farklılıkları incelenerek 5 farklı gün tipi belirlenmiş ve bunlar şu şekilde gösterilebilir;

- Pazartesi
- Hafta içi modeli (Salı-Çarşamba-Perşembe-Cuma)
- Cumartesi
- Pazar
- Tatil

4.2. Sıcaklık Verileri

Türkiye içinde çeşitli sıcaklık farklarının olabileceği alanlara sahip, yüz ölçümü 783.562 km² olan bir ülkedir. Kısa dönem yük tahmininde sıcaklık en önemli faktörlerden biridir. Özellikle büyük alanları kapsayan ülkeler için, yük tahmininde tek bir noktanın sıcaklığının alınması tahmin sonuçlarının hatalarının artmasına sebep olacaktır. Bu nedenle bu çalışmada Türkiye'nin elektrik tüketiminin en fazla olduğu 5 noktanın ortalama sıcaklıkları alınarak, Türkiye'nin ortalama sıcaklığı elde edilmiştir. Türkiye'nin elektrik tüketiminin en fazla olduğu iller: İstanbul, İzmir, Kocaeli, Ankara ve Bursa illeridir. Burada Kocaeli ilinin yükünün büyük bir kısmının sanayinin çektiği yükler olduğu ve bu yüklerin sıcaklıkla değişiminin az olduğu bilindiği için, Kocaeli ilinin sıcaklık değerleri kullanılmamıştır. İstanbul Anadolu yakası, İstanbul Avrupa yakası, İzmir, Ankara ve Bursa merkezlerine ait günlük ortalama sıcaklık verileri 2009-2012 yılları için Meteoroloji Genel Müdürlüğünden alınmıştır. 5 farklı merkezden

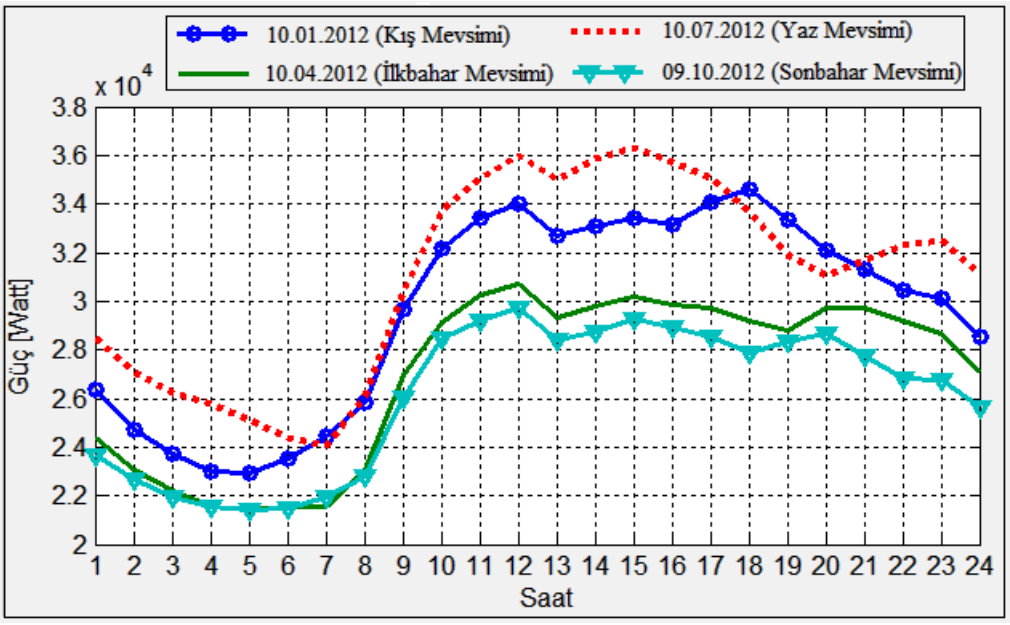
alınan bu sıcaklıkların aritmetik ortalaması alınarak Türkiye'ye ait günlük sıcaklık değeri elde edilmiştir. Bu tez çalışmasında ortalaması alınmış bu sıcaklık değeri kullanılmıştır.

$$T_{TÜRKİYE} = (T_{İST\text{-}ANA} + T_{İST\text{-}AVR} + T_{İZM} + T_{ANK} + T_{BUR}) / 5 \quad (4.1)$$

$T_{İST\text{-}ANA}$: İstanbul ilinin Anadolu yakasına ait günlük ortalama sıcaklık
$T_{İST\text{-}AVR}$: İstanbul ilinin Avrupa yakasına ait günlük ortalama sıcaklık
$T_{İZM}$: İzmir iline ait ait günlük ortalama sıcaklık
T_{ANK} : Ankara iline ait günlük ortalama sıcaklık
T_{BUR} : Bursa iline ait günlük ortalama sıcaklık
$T_{TÜRKİYE}$: Türkiye için günlük ortalama sıcaklık

4.3. Mevsim Verileri

Şekil 4.6.'da farklı mevsimlere ait Salı günlerine ait yük eğrileri gösterilmiştir. Dikkat edilirse her günün yük eğrisi birbirinden farklıdır. Yaz mevsimine ait yük eğrisi en yüksek değerdeyken sonrasında ise sırasıyla kış, ilkbahar ve sonbahar mevsimine ait olan yük eğrileri gelmektedir. Mevsimlere göre çekilen yüklerin değiştiği rahatlıkla anlaşılmaktadır.



Şekil 4.6. Farklı mevsimlere ait Salı günlerinin yük eğrileri

Aynı gün tipi için farklı mevsimlerde farklı yük eğrilerinin elde edilmesinden dolayı mevsim de bir giriş olarak eklenmiştir. Mevsim siteme ay cinsinden girilmektedir ve kış mevsimin başlangıcı olan aralık ayı birinci ay olarak kabul edilmiştir.

Ayrıca saat 00:00-15:00 arası ise yüklerin artma ve azalma saatleri 4 günde de aynı seyrederken, saat 15:00'den sonrası için farklı saatlerde artma ve azalma görülmektedir. Bunun sebeplerinden biri havanın güneş ışığı alma süresi ve güneşin doğuş ve batış zamanlarının mevsimlere göre değişmesidir.

4.4. Hata Çeşitleri

Tahmin edilen sonucun gerçek değerlerle karşılaştırılması sonucu hata değerlerine ulaşılabilir. İstatistikte hatanın çeşitli hesaplama yöntemleri mevcuttur. Tez çalışmasında kullanılan hata kriterlerinin denklemleri bu kısımda açıklanmıştır. Bunlardan ilki mutlak yüzde hatadır (Absolute Percentage Error-APE). Denklem 4.2.'de gösterilmiştir. Burada, G gerçek değeri ifade ederken, T ise tahmin değerini ifade etmektedir.

$$APE = \left|\frac{G-T}{G}\right| * 100\% \qquad (4.2.)$$

Bir başka hata çeşidi ortalama mutlak yüzde hatadır (Mean Absolute Percentage Error-MAPE). Denklem 4.3.'te gösterilmiştir. Burada, n değeri gözlem sayısıdır.

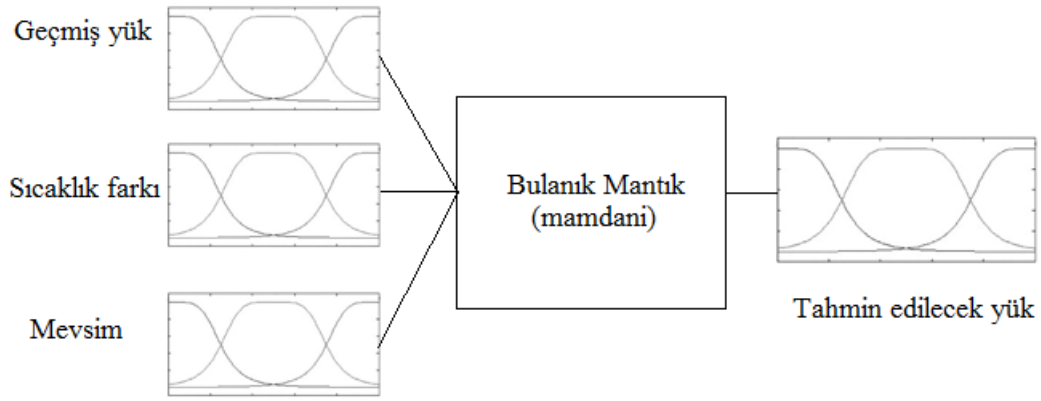
$$MAPE = \frac{1}{n}\left(\sum_{i=1}^{n} APE_i\right) \qquad (4.3.)$$

Üçüncü hata çeşidi ise hataların karelerinin ortalamasının kareköküdür (Root Mean Square Error-RMSE). Denklem 4.4.'te gösterilmiştir.

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(G_i - T_i)^2} \qquad (4.4.)$$

5. BULANIK MANTIK İLE YÜK TAHMİNİ

Bu tez çalışmasında yapılan bulanık mantık uygulamasının giriş ve çıkışları genel olarak Şekil 5.1.'de gösterilmiştir. Giriş olarak geçmiş yük, sıcaklık farkı ve mevsim bilgileri bulanık mantık sistemine verilirken, çıkış olarak ise tahmin edilecek saatlik yük değeri alınır.



Şekil 5.1. Bulanık mantık giriş/çıkış gösterimi

Bu bölümde, dördüncü bölümde belirlenen gün tiplerine göre çeşitli bulanık mantık modelleri oluşturulmuştur. Oluşturulan her model için ayrı ayrı olmak üzere girişlerinde kullanılacak veriler, giriş-çıkış üyelikleri ve kural tabanı verilmiştir. Ayrıca en iyi tahmin günü ve en kötü tahmin gününün grafikleriyle beraber her bir model için tüm yıl için yapılan tahminin ortalama hata değerleri de verilmiştir. Bulanık mantık uygulaması için Matlab programı kullanılmıştır.

5.1. Pazartesi Modeli

Pazartesi gününün günlük ritmine bakıldığında günün başlangıç saatlerinin yük eğrisinin diğer hafta içi günlere uymadığından dolayı farklı bir gün tipi olarak ele alınacağı dördüncü bölümde bahsedilmiştir.

5.1.1. Giriş ve çıkışlar

Pazartesi modelinde giriş değerlerinin elde edilmesinde kullanılacak veriler geçmiş iki haftanın pazartesi gününe ve tahmin gününe ait olan bazı verilerdir ve bu

Çizelge 5.1.'de gösterilmiştir. Eğer tahmin gününden önceki pazartesilerden biri resmi tatil gününe denk gelirse, resmi tatil gününün değerleri kullanılmayıp onun yerine resmi tatil gününden bir önceki pazartesi gününün değerleri kullanılmıştır.

Çizelge 5.1. Pazartesi modelinin girişleri için kullanılacak veriler

Pazartesi Modeli								
Saat	Geçmiş Zaman						Tahmin Günü	
	bir hafta			bir hafta			bir hafta	
	Pazartesi		Haftanın diğer günleri	Pazartesi		Haftanın diğer günleri	Pazartesi	
	Yük	Sıcaklık		Yük	Sıcaklık		Yük	Sıcaklık
h	P_{f-2} (h)	T_{f-2}		P_{f-1}(h)	T_{f-1}		P_f (h)	T_f
h+1								
. . .								
24								

Bu modelde kendinden önceki iki haftanın pazartesi günlerinin günlük sıcaklık değerleri ve saatlik yük verileri kullanılmıştır. Ayrıca tahminin yapılacağı günün sıcaklık değeri de dikkate alınmıştır. Elde edilecek değer ise tahminin yapılacağı saatin yük değeridir. Pazartesi modelinin girişleri bazı denklemler kullanılarak bulunur.

$$\Delta T = T_f - [0.8\ T_{f-1} + 0.2\ T_{f-2}] \quad (5.1)$$

$$P_P(h) = 0.8\ P_{f-1}(h) + 0.2\ P_{f-2}(h) \quad (5.2)$$

Burada

f : Tahmin günü

h : Saat

T : Günlük ortalama sıcaklık

P : Yük

P_P : Geçmiş yük

ΔT : Günlük sıcaklık farkıdır.

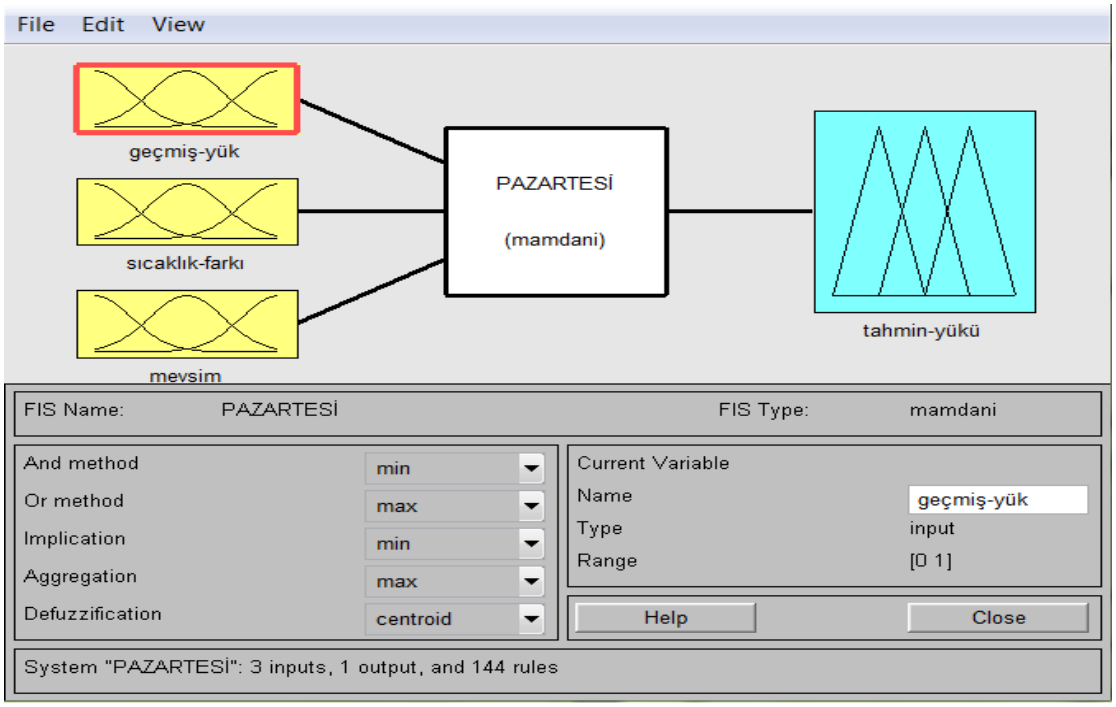
Girişler

Geçmiş yük	P_P (h)
Sıcaklık farkı	ΔT(h)
Mevsim	M

Çıkış

Tahmin edilecek yük	P_f (h)

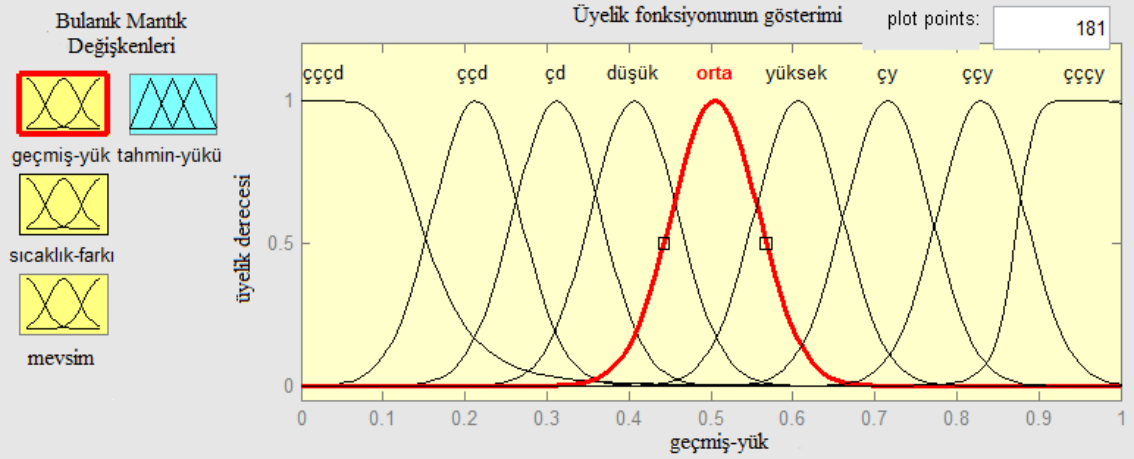
Mamdani çıkarım mekanizması kullanılarak çıkarım yapılmış ve ağırlık merkezi yöntemi ile çıkış hesaplanmıştır. Şekil 5.2.'de pazartesi modelinin matlab arayüzü görülmektedir. Ateşlenen her bir kuralın çıkışına ait üyelik fonksiyonunun üyelik derecesi VE bağlacı kullanıldığı için girişlerin minimumu, yeni elde edilen üyelik fonksiyonu arasında ise MAX işlemi uygulanmıştır.



Şekil 5.2. Bulanık mantık Pazartesi modeli

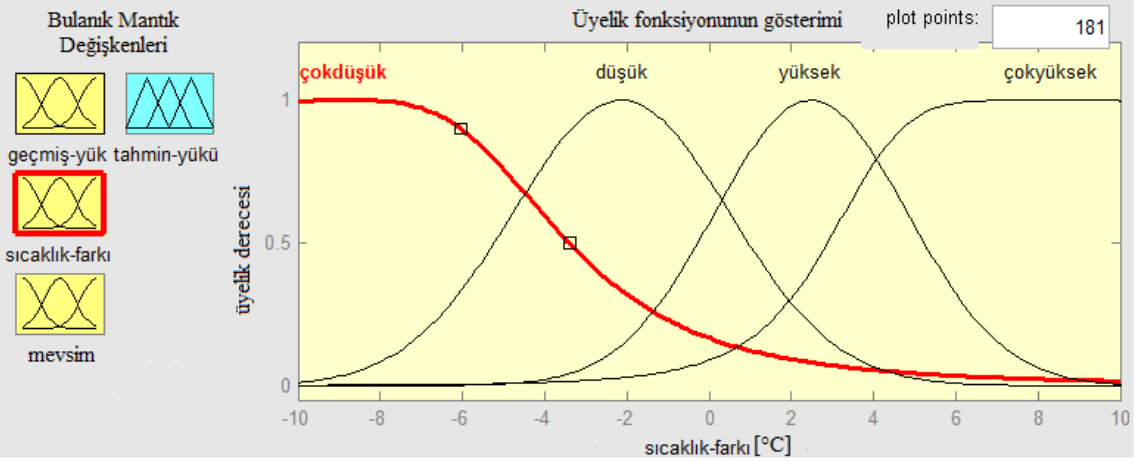
Şekil 5.3.'te birinci giriş olan geçmiş yüke ait 9 üyelik ve dereceleri gösterilmiştir. Üyelik adları sırasıyla, ÇÇÇD=çok çok çok düşük, ÇÇD=çok çok düşük, ÇD=çok düşük, düşük, orta, yüksek, ÇY=çok yüksek, ÇÇY=çok çok yüksek ve ÇÇÇY=çok çok çok yüksektir. Geçmiş yük değeri normalize edildiği için 0-1 aralığında

gösterilmiştir. ÇÇÇD ve ÇÇÇY üyelikleri gbell fonksiyonuyken, diğer üyelikler ise gauss fonksiyonudur.



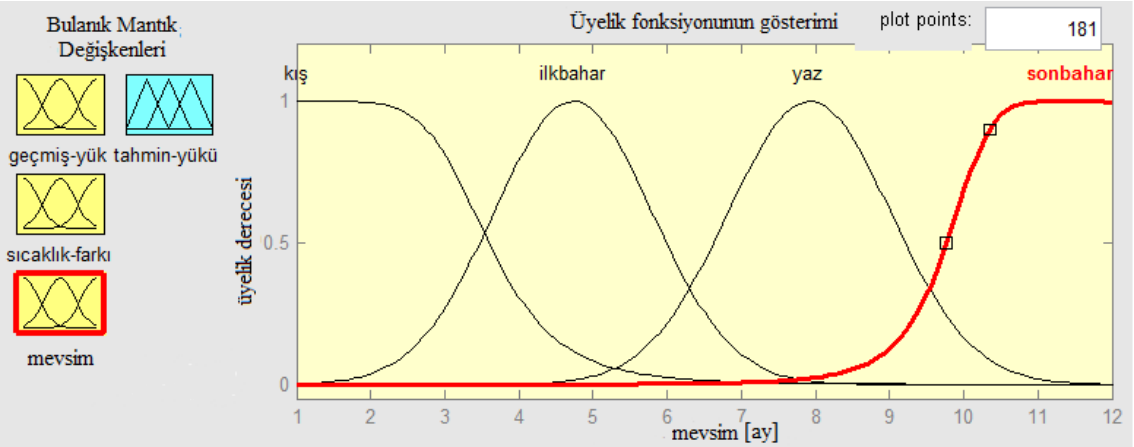
Şekil 5.3. Pazartesi modeli geçmiş yük üyelik dereceleri

Şekil 5.4.'te ikinci giriş olan sıcaklık farkına ait 4 üyelik ve dereceleri gösterilmiştir. Üyelik adları sırasıyla çok düşük, düşük, yüksek ve çok yüksektir. Çok düşük ve çok yüksek üyelikleri gbell fonksiyonuyken, düşük ve yüksek üyelikleri ise gauss fonksiyonudur.



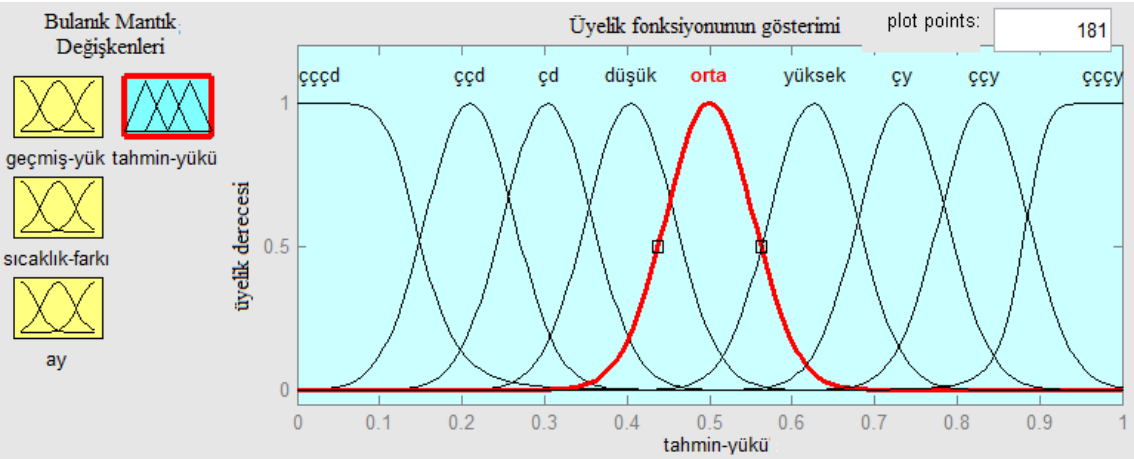
Şekil 5.4. Pazartesi modeli sıcaklık farkı üyelik dereceleri

Şekil 5.5.'da mevsim girişine ait üyelikler ve dereceleri gösterilmiştir. Üyelik adları sırasıyla kış, ilkbahar, yaz ve sonbahardır. Kış ve sonbahar üyelikleri gbell fonksiyonuyken, ilkbahar ve yaz üyelikleri gauss fonksiyonudur. Burada aralık ayı birinci ay olarak hesaba katılmıştır.



Şekil 5.5. Pazartesi modeli mevsim girişine ait üyelik dereceleri

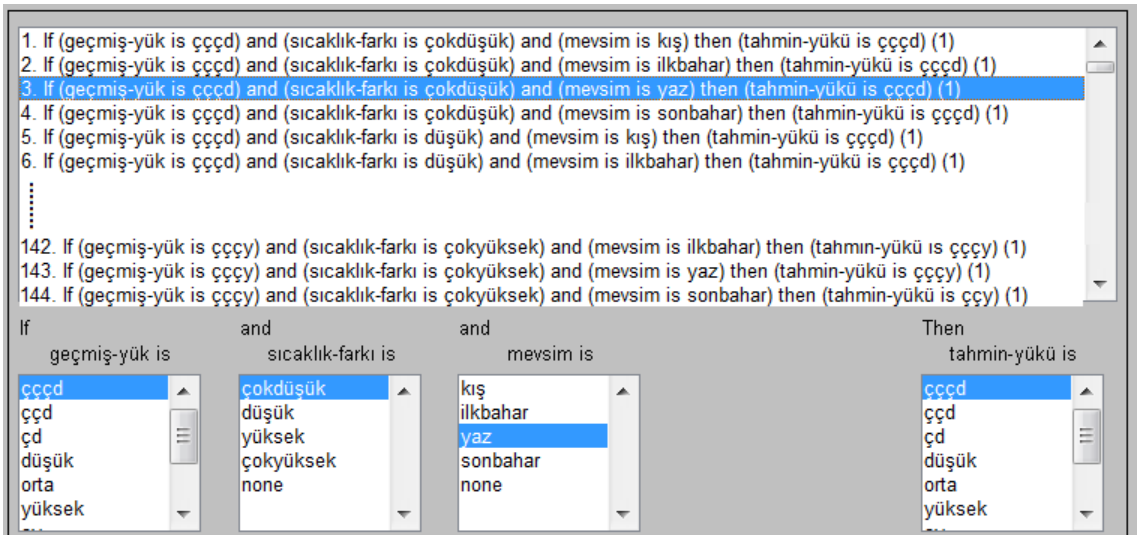
Şekil 5.6.'da tahmin yükü olan çıkış değerinin üyelikleri ve dereceleri gösterilmiştir. Üyelik adları sırasıyla, ÇÇÇD=çok çok çok düşük, ÇÇD=çok çok düşük, ÇD=çok düşük, düşük, orta, yüksek, ÇY=çok yüksek, ÇÇY=çok çok yüksek ve ÇÇÇY=çok çok çok yüksektir. ÇÇÇD ve ÇÇÇY üyelikleri gbell fonksiyonuyken, diğer üyelikler ise gauss fonksiyonudur. Tahmin yük değeri geçmiş yük değeri gibi normalize edildiği için 0-1 aralığında gösterilmiştir. İşlemin sonucunda çıkan değer, denormalizasyon edilerek gerçek değer bulunur.



Şekil 5.6. Pazartesi modeli tahmin yükü üyelik dereceleri

5.1.2. Kural tabanı

Sistemin geçmiş yük girişinin 9 üyeliği, sıcaklık farkı girişinin 4 üyeliği ve mevsim girişinin 4 üyeliği mevcuttur. Girişlerin üyelik sayılarının çarpımı kadar kural yazılabilmektedir. Üç üyeliğin çarpımı kadar yani 144 adet kural yazılmıştır. Şekil 5.7.'de kuralların bir kısmı görülmektedir.



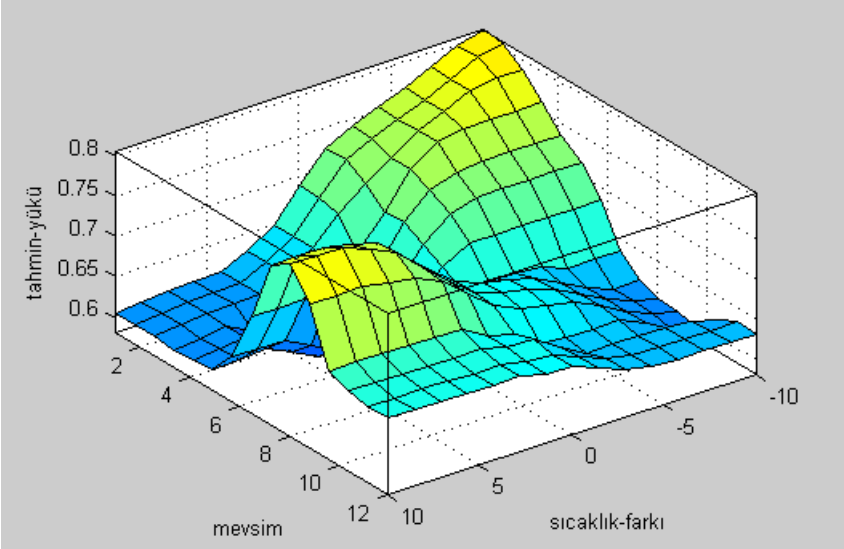
Şekil 5.7. Pazartesi modelinin kural tabanı

Şekil 5.8.'de kural tabanın yüzey görüntüsü verilmiştir. Üç girişin biri sabit kabul edilerek diğer iki girişin değişimlerine göre çıkışın nasıl değiştiği gözlemlenebilir. Geçmiş yük değişkeni 0.7 değerindeyken sıcaklık farkı ve mevsim değişimlerine göre tahmin yükünün nasıl olacağı görülmektedir. Buna göre bakılarak şu çıkarımlar yapılabilir;

- Kış mevsimi olan 1-3 ay aralığında(aralık-ocak-şubat) sıcaklık artarken tahminin 0.7 değerinden düşmeye başladığı, sıcaklık azalırken ise 0.7 değerinden artmaya başladığı görülmektedir. Buradan geçmiş yükün 0.7 olduğu referans değerinde, kış mevsiminde sıcaklık arttıkça yük tüketimi azalırken sıcaklık azaldıkça yük tüketiminin arttığı söylenebilir.
- Yaz mevsimi olan 7-9 ay aralığında(haziran-temmuz-ağustos) sıcaklık artarken tahminin 0.7 değerinden yükselmeye başladığı, sıcaklık azalırken ise 0.7 değerinden düşmeye başladığı görülmektedir. Buradan geçmiş yükün

0.7 olduğu referans değerinde, yaz mevsiminde sıcaklık arttıkça yük tüketimi artarken sıcaklık azaldıkça yük tüketiminin azaldığı söylenebilir.

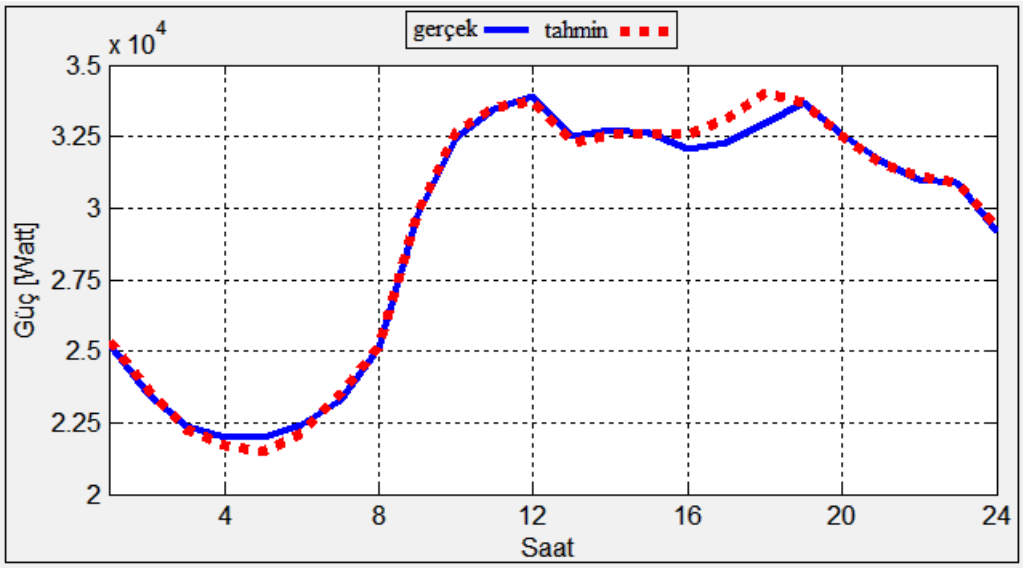
- İlkbahar mevsimi olan 4-6 ay aralığında(mart-nisan-mayıs) kış mevsiminden yaz mevsimine geçiş yaşanır. İlkbaharın mevsiminin karakteristiği de kış karakteristiğinden yaz karakteristiğine geçiş şeklindedir. Şekilde bu geçiş rahatlıkla görülebilir.
- Sonbahar mevsimi olan 10-12 ay aralığında(eylül-ekim-kasım) sıcaklık azalırken tahminin 0.7 değerinden düşmeye başladığı, sıcaklık artımında ise çok fazla bir değişikliğin olmadığı görülebilir.



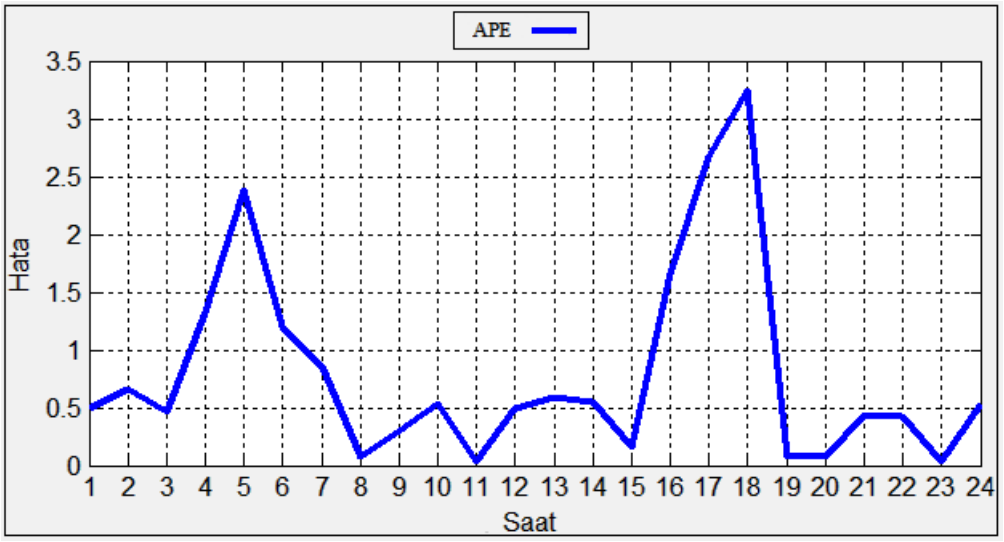
Şekil 5.8. Pazartesi modeli mevsim ve sıcaklık değişimlerine göre tahmin yükü

5.1.3. Sonuçlar

Pazartesi modelinde tüm pazartesi günlerinin her saati için tahminde bulunulmuştur. Şekil 5.9.'da en iyi tahmin günü olan 20.02.2012 tarihine ait gerçek ve tahmini yük değerleri gösterilmiştir. Şekil 5.10.'de ise aynı günün APE(mutlak yüzde hatası) değerleri gösterilmiştir. En iyi tahmin gününün MAPE değeri ise 0.81 olarak bulunmuştur.

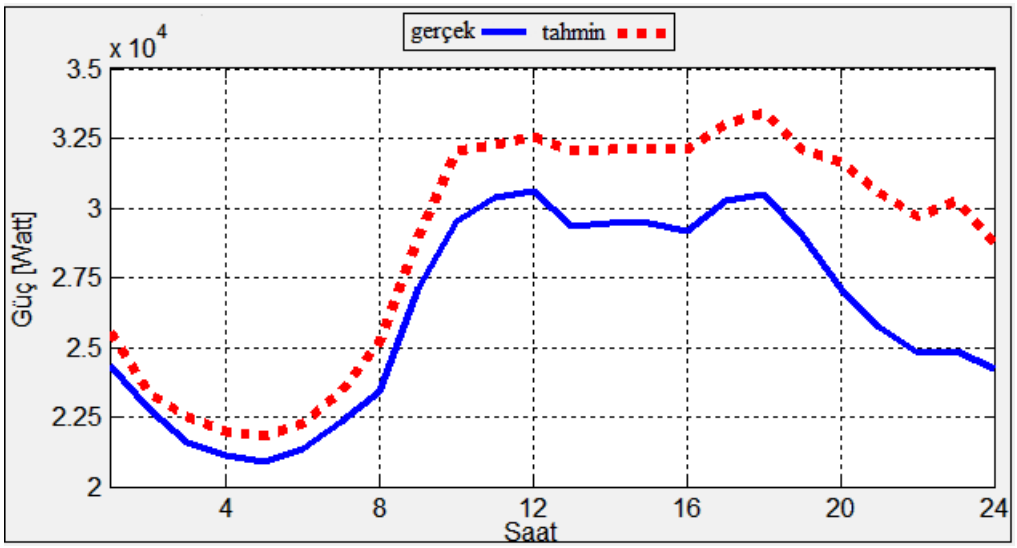


Şekil 5.9. Pazartesi modeli en iyi tahmin gününe ait gerçek ve tahmin değerleri (20.02.2012)

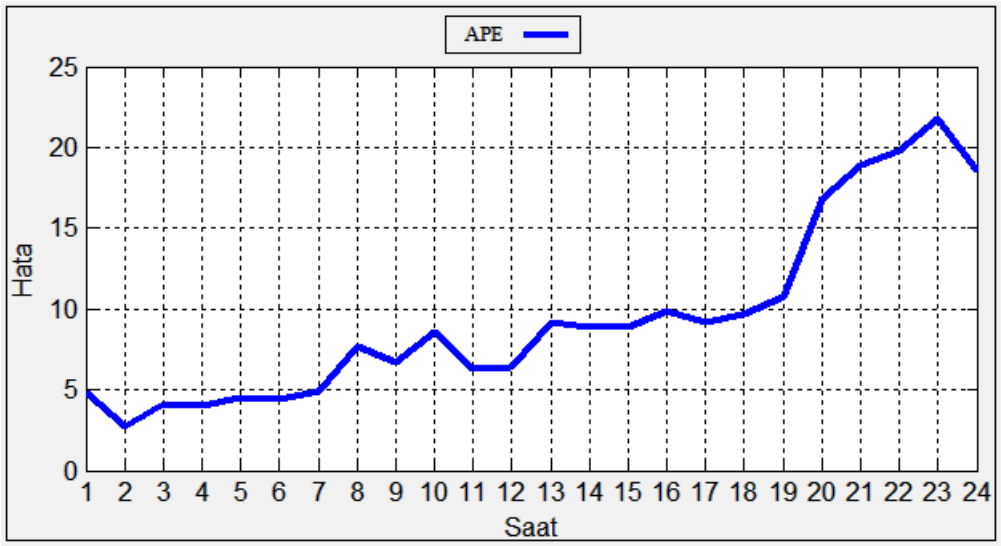


Şekil 5.10. Pazartesi modeli en iyi tahmin gününe ait APE değerleri (20.02.2012)

Şekil 5.11.'de en kötü tahmin günü olan 31.12.2012 tarihine ait gerçek ve tahmini yük değerleri gösterilmiştir. Şekil 5.12.'de ise aynı günün APE değerleri gösterilmiştir. Hata değerlerinin bu kadar yüksek çıkmasının nedeni tahmin gününün yılbaşı gününden bir gün önce olmasıdır. Özellikle saat 19:00'dan itibaren hata değerleri çok yüksek çıkmıştır. En kötü tahmin gününün MAPE değeri 9.48 olarak bulunmuştur. Resmi tatil günleri çıkarıldığında 2009-2012 yıllarının tüm pazartesi günleri için MAPE ve RMSE hata değerleri Çizelge 5.2.'de gösterilmiştir.



Şekil 5.11. Pazartesi modeli en kötü tahmin gününe ait gerçek ve tahmin değerleri (31.12.2012)



Şekil 5.12. Pazartesi modeli en kötü tahmin gününe ait APE değerleri (31.12.2012)

Çizelge 5.2. Pazartesi modeli sonuçları

	PAZARTESİ	
YIL	**MAPE**	**RMSE**
2009	2,33	4,60
2010	2,55	4,72
2011	2,50	4,58
2012	2,50	4,14

5.2. Hafta İçi Modeli

Dördüncü bölümde günlük ritimlere bakılarak Salı-Çarşamba-Perşembe-Cuma günleri hafta içi modeli olarak belirlenmişti. Hafta içi modelinin girişlerinde kullanılacak veriler, giriş-çıkış üyelikleri ve kural tabanı verilmiştir. Ayrıca en iyi tahmin günü ve en kötü tahmin gününün grafikleriyle beraber hafta içi modelinin hata ortalamaları da tüm yıl için verilmiştir.

5.2.1. Giriş ve çıkışlar

Hafta içi modelinde giriş değerlerinin elde edilmesinde kullanılacak veriler kendinden önceki üç hafta içi gününe ve tahmin gününe ait olan bazı verilerdir ve bu Çizelge 5.3.'de gösterilmiştir. Eğer tahmin gününden önceki hafta içi günlerinden biri resmi tatil gününe denk gelirse, resmi tatil gününün değerleri kullanılmayıp onun yerine resmi tatil gününden bir önceki hafta içi gününün değerleri kullanılmıştır.

Çizelge 5.3. Hafta içi modelinin girişleri için kullanılacak veriler

Hafta içi Modeli																					
Saat	bir hafta											bir hafta									
	Pazartesi	Salı		Çarşamba		Perşembe		Cuma		Cumartesi	Pazar	Pazartesi	Salı		Çarşamba		Perşembe		Cuma		Cumartesi	Pazar
		P	T	P	T	P	T	P	T				P	T	P	T	P	T	P	T		
h						$P_{f-3}(h)$		$P_{f-2}(h)$					$P_{f-1}(h)$		$P_f(h)$							
h+1																						
. . .							T_{f-3}		T_{f-2}					T_{f-1}		T_f						
24																						

Bu modelde kendinden önceki üç hafta içi gününün günlük sıcaklık değerleri ve saatlik yük verileri kullanılmıştır. Ayrıca tahminin yapılacağı günün sıcaklık değeri de dikkate alınmıştır. Elde edilecek değer ise tahminin yapılacağı saatin yük değeridir. Hafta içi modelinin girişleri bazı denklemler kullanılarak bulunur.

$$\Delta T = T_f - [0.5\ T_{f-1} + 0.3\ T_{f-2} + 0.2\ T_{f-3}] \quad (5.3.)$$

$$P_P(h) = 0.5\ P_{f-1}(h) + 0.3\ P_{f-2}(h) + 0.2\ P_{f-3}(h) \quad (5.4.)$$

Burada

f : Tahmin günü

h : Saat

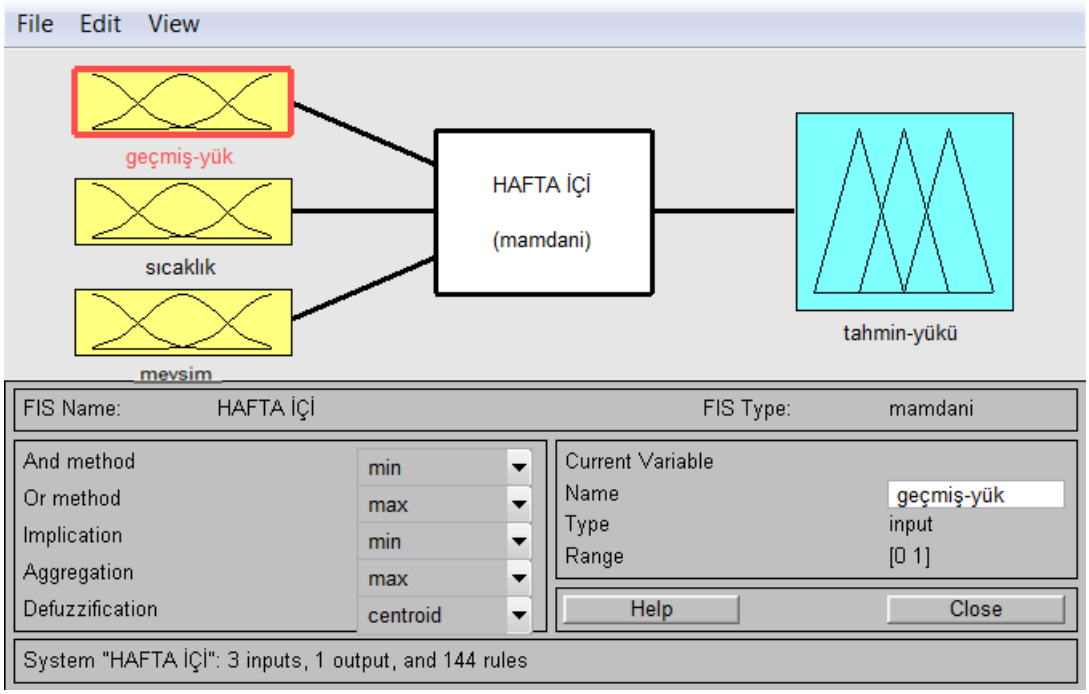
T : Günlük ortalama sıcaklık

P : Yük

P_P : Geçmiş yük

ΔT : Günlük sıcaklık farkıdır.

Mamdani çıkarım mekanizması kullanılarak çıkarım yapılmış ve ağırlık merkezi yöntemi ile çıkış hesaplanmıştır. Şekil 5.13.'de hafta içi modelinin matlab arayüzü görülmektedir. Ateşlenen her bir kuralın çıkışına ait üyelik fonksiyonunun üyelik derecesi VE bağlacı kullanıldığı için girişlerin minimumu, yeni elde edilen üyelik fonksiyonu arasında ise MAX işlemi uygulanmıştır.



Şekil 5.13. Bulanık mantık hafta içi modeli

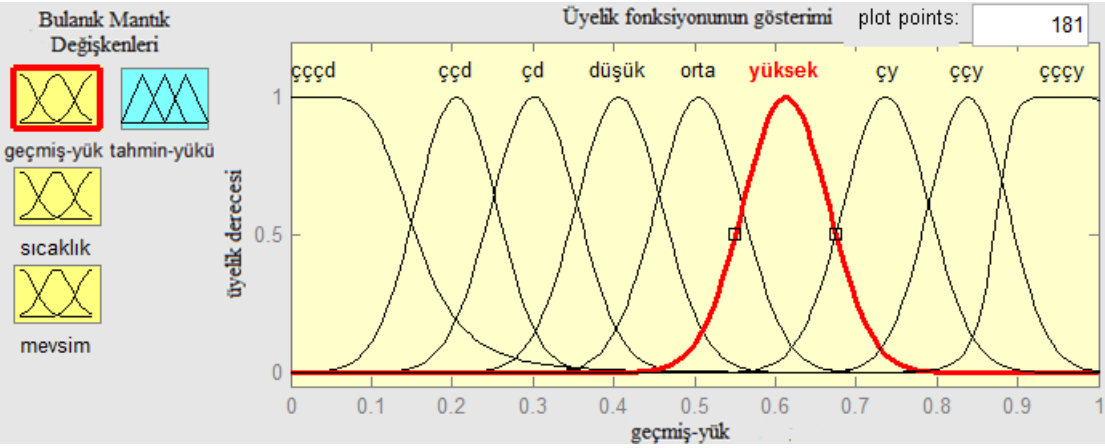
Girişler

Geçmiş yük	P_P (h)
Sıcaklık farkı	ΔT(h)
Mevsim	M

Çıkış

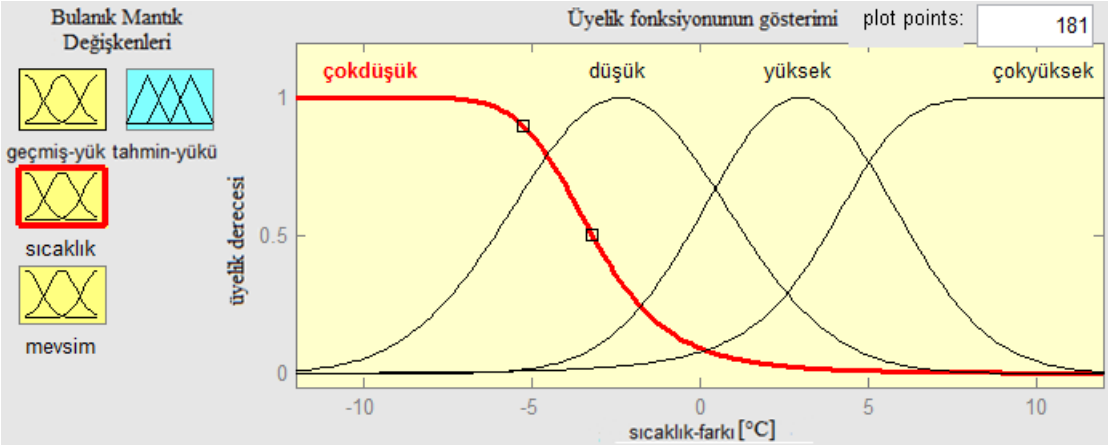
Tahmin edilecek yük	P_f (h)

Şekil 5.14.'de birinci giriş olan geçmiş yüke ait 9 üyelik ve dereceleri gösterilmiştir. Üyelik adları sırasıyla, ÇÇÇD=çok çok çok düşük, ÇÇD=çok çok düşük, ÇD=çok düşük, düşük, orta, yüksek, ÇY=çok yüksek, ÇÇY=çok çok yüksek ve ÇÇÇY=çok çok çok yüksektir. Geçmiş yük değeri normalize edildiği için 0-1 aralığında gösterilmiştir. ÇÇÇD ve ÇÇÇY üyelikleri gbell fonksiyonuyken, diğer üyelikler ise gauss fonksiyonudur.



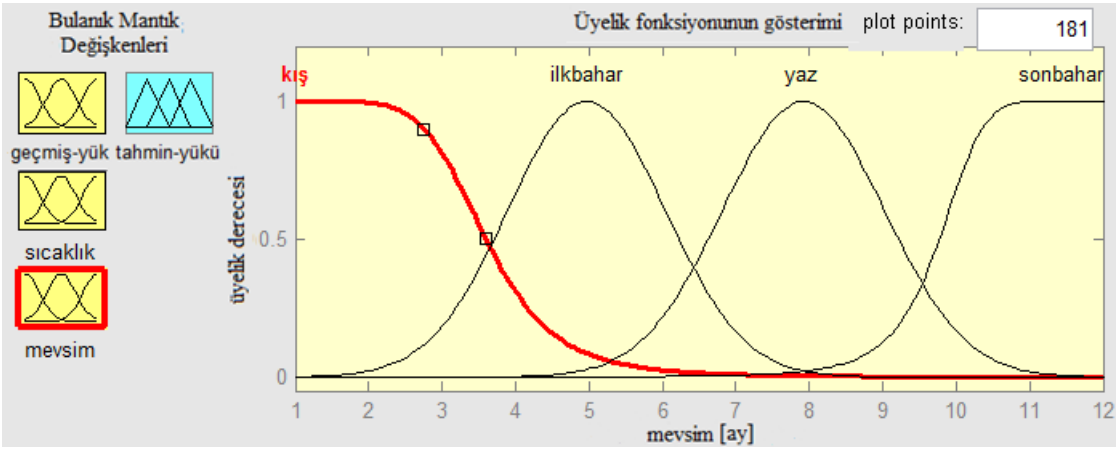
Şekil 5.14. Hafta içi modeli geçmiş yük üyelik dereceleri

Şekil 5.15.'de ikinci giriş olan sıcaklık farkına ait 4 üyelik ve dereceleri gösterilmiştir. Üyelik adları sırasıyla çok düşük, düşük, yüksek ve çok yüksektir. Çok düşük ve çok yüksek üyelikleri gbell fonksiyonuyken, düşük ve yüksek üyelikleri ise gauss fonksiyonudur.



Şekil 5.15. Hafta içi modeli sıcaklık farkı üyelik dereceleri

Şekil 5.16.'da mevsim girişine ait üyelikler ve dereceleri gösterilmiştir. Üyelik adları sırasıyla kış, ilkbahar, yaz ve sonbahardır. Kış ve sonbahar üyelikleri gbell fonksiyonuyken, ilkbahar ve yaz üyelikleri gauss fonksiyonudur. Burada aralık ayı birinci ay olarak hesaba katılmıştır.



Şekil 5.16. Hafta içi modeli mevsim girişine ait üyelik dereceleri

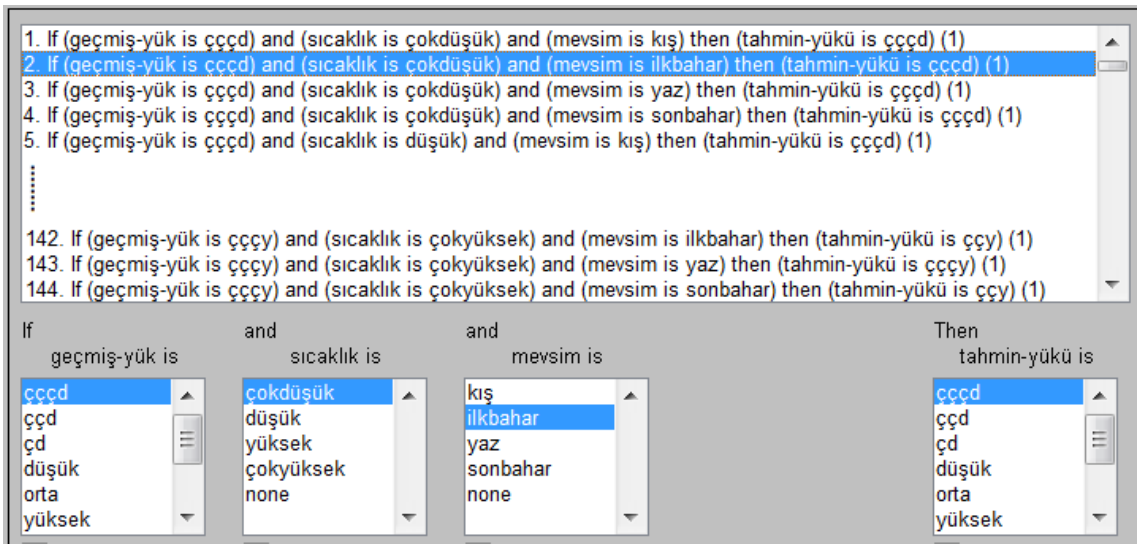
Şekil 5.17.'de tahmin yükü olan çıkış değerinin üyelikleri ve dereceleri gösterilmiştir. Üyelik adları sırasıyla, ÇÇÇD=çok çok çok düşük, ÇÇD=çok çok düşük, ÇD=çok düşük, düşük, orta, yüksek, ÇY=çok yüksek, ÇÇY=çok çok yüksek ve ÇÇÇY=çok çok çok yüksektir. ÇÇÇD ve ÇÇÇY üyelikleri yamuk(trap) fonksiyonuyken, diğer üyelikler ise üçgen(trim) fonksiyonudur. Tahmin yük değeri geçmiş yük değeri gibi normalize edildiği için 0-1 aralığında gösterilmiştir. İşlemin sonucunda çıkan değer denormalizasyon edilerek gerçek değer bulunur.



Şekil 5.17. Hafta içi modeli tahmin yükü üyelik dereceleri

5.2.2. Kural tabanı

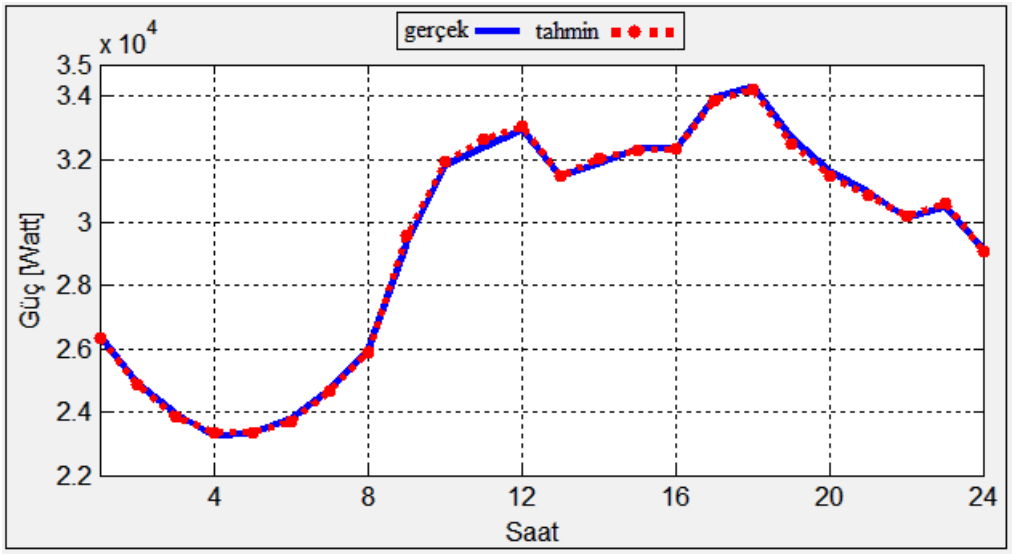
Sistemin geçmiş yük girişinin 9 üyeliği, sıcaklık farkı girişinin 4 üyeliği ve mevsim girişinin 4 üyeliği mevcuttur. Girişlerin üyelik sayılarının çarpımı kadar kural yazılabilmektedir. Üç üyeliğin çarpımı kadar yani 144 adet kural yazılmıştır. Şekil 5.18.'de kuralların bir kısmı görülmektedir.



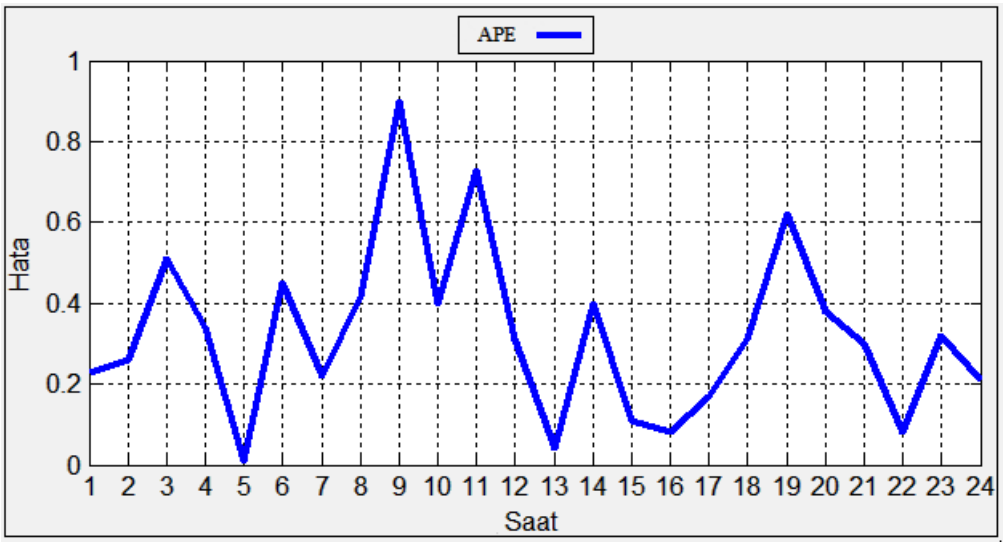
Şekil 5.18. Hafta içi modelinin kural tabanı

5.2.3. Sonuçlar

Hafta içi modelinde, modelin tüm günlerinin her saati için tahminde bulunulmuştur. Şekil 5.19.'da en iyi tahmin günü olan 13.12.2012 Perşembe gününe ait gerçek ve tahmin yük değerleri gösterilmiştir. Şekil 5.20.'de ise aynı günün APE hata değerleri gösterilmiştir. En iyi tahmin gününün MAPE değeri ise 0.32 olarak bulunmuştur.

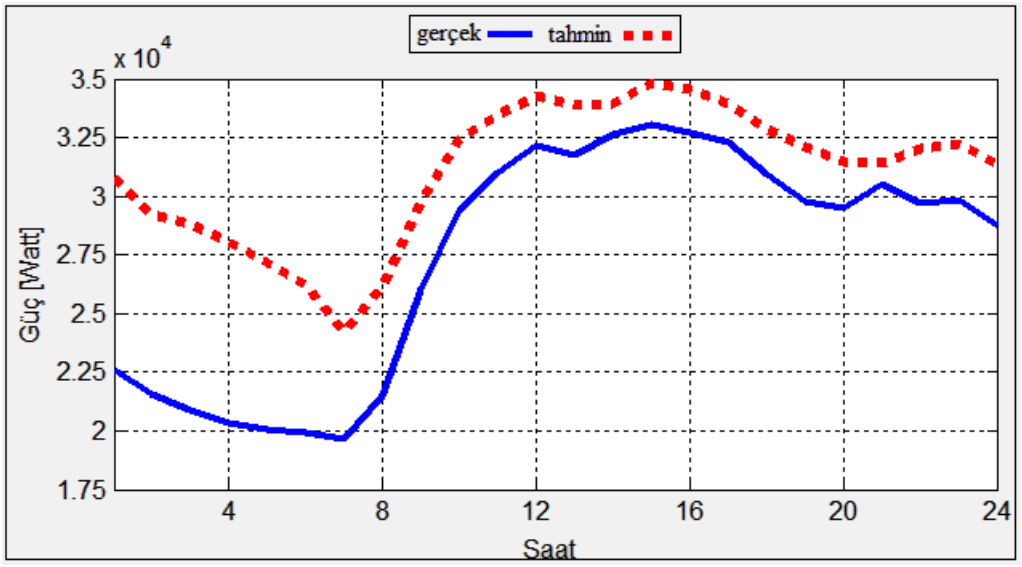


Şekil 5.19. Hafta içi modeli en iyi tahmin gününe ait gerçek ve tahmin değerleri (13.12.2012)

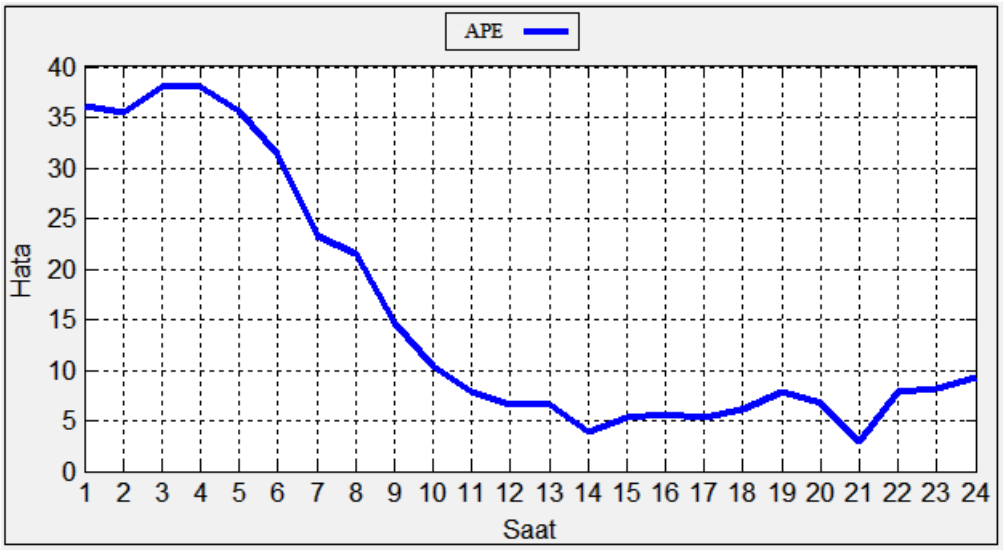


Şekil 5.20. Hafta içi modeli en iyi tahmin gününe ait APE değerleri (13.12.2012)

Şekil 5.21.'de en kötü tahmin günü olan 22.08.2012 Çarşamba gününe ait gerçek ve tahmini yük değerleri gösterilmiştir. Şekil 5.22.'de ise aynı günün APE değerleri gösterilmiştir. En kötü tahmin gününün MAPE değeri 15.6 olarak bulunmuştur. Hata değerlerinin bu kadar yüksek çıkmasının nedeni tahmin günüden önceki günün ramazan bayramının son gününün olmasıdır. Özellikle ilk saatlerin hata değerleri çok yüksek çıkmıştır. Resmi tatil günleri çıkarıldığında 2009-2012 yıllarının tüm hafta içi günleri için MAPE ve RMSE hata değerleri Çizelge 5.4.'de gösterilmiştir.



Şekil 5.21. Hafta içi modeli en kötü tahmin gününe ait gerçek ve tahmin değerleri (22.08.2012)



Şekil 5.22. Hafta içi modeli en kötü tahmin gününe ait APE değerleri (22.08.2012)

Çizelge 5.4. Hafta içi modeli sonuçları

	HAFTA İÇİ	
YIL	**MAPE**	**RMSE**
2009	1,85	4,05
2010	1,71	3,45
2011	1,78	3,94
2012	1,72	3,21

5.3. Cumartesi Modeli

Dördüncü bölümde günlük ritimlere bakılarak cumartesi günü farklılığından dolayı kendi başına bir gün modeli olarak belirlenmişti. Cumartesi modelinin girişlerinde kullanılacak veriler, giriş-çıkış üyelikleri ve kural tabanı verilmiştir. Ayrıca en iyi tahmin günü ve en kötü tahmin gününün grafikleriyle beraber cumartesi modelinin hata ortalamaları da tüm yıl verilmiştir.

5.3.1. Giriş ve çıkışlar

Cumartesi modelinde giriş değerlerinin elde edilmesinde kullanılacak veriler geçmiş iki haftanın cumartesi gününe ve tahmin gününe ait olan bazı verilerdir ve bu Çizelge 5.5.'de gösterilmiştir. Eğer tahmin gününden önceki cumartesi günlerinden biri resmi tatil gününe denk gelirse, resmi tatil gününün değerleri kullanılmayıp onun yerine resmi tatil gününden bir önceki cumartesi gününün değerleri kullanılmıştır.

Çizelge 5.5. Cumartesi modelinin girişleri için kullanılacak veriler

<table>
<tr><th colspan="11">Cumartesi Modeli</th></tr>
<tr><td rowspan="4">Saat</td><td colspan="6">Geçmiş Zaman</td><td colspan="2">Tahmin Günü</td></tr>
<tr><td colspan="3">bir hafta</td><td colspan="3">bir hafta</td><td colspan="2">bir hafta</td></tr>
<tr><td rowspan="2">Haftanın diğer günleri</td><td colspan="2">Cumartesi</td><td rowspan="2">Pazar</td><td rowspan="2">Haftanın diğer günleri</td><td colspan="2">Cumartesi</td><td rowspan="2">Pazar</td><td colspan="2">Cumartesi</td></tr>
<tr><td>Yük</td><td>Sıcaklık</td><td>Yük</td><td>Sıcaklık</td><td>Yük</td><td>Sıcaklık</td></tr>
<tr><td>h</td><td></td><td>$P_{f-2}(h)$</td><td rowspan="4">T_{f-2}</td><td></td><td></td><td>$P_{f-1}(h)$</td><td rowspan="4">T_{f-1}</td><td></td><td>$P_f(h)$</td><td rowspan="4">T_f</td></tr>
<tr><td>h+1</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>.
.
.</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>24</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
</table>

Bu modelde kendinden önceki iki haftanın cumartesi günlerinin günlük sıcaklık değerleri ve saatlik yük verileri kullanılmıştır. Ayrıca tahminin yapılacağı günün sıcaklık değeri de dikkate alınmıştır. Elde edilecek değer ise tahminin yapılacağı saatin yük değeridir. Cumartesi modelinin girişleri bazı denklemler kullanılarak bulunur.

$$\Delta T = T_f - [0.7\ T_{f-1} + 0.3\ T_{f-2}] \quad (5.5.)$$

$$P_P(h) = 0.7\ P_{f-1}(h) + 0.3\ P_{f-2}(h) \quad (5.6.)$$

Burada

f : Tahmin günü

h : Saat

T : Günlük ortalama sıcaklık

P : Yük

P_P : Geçmiş yük

ΔT : Günlük sıcaklık farkıdır.

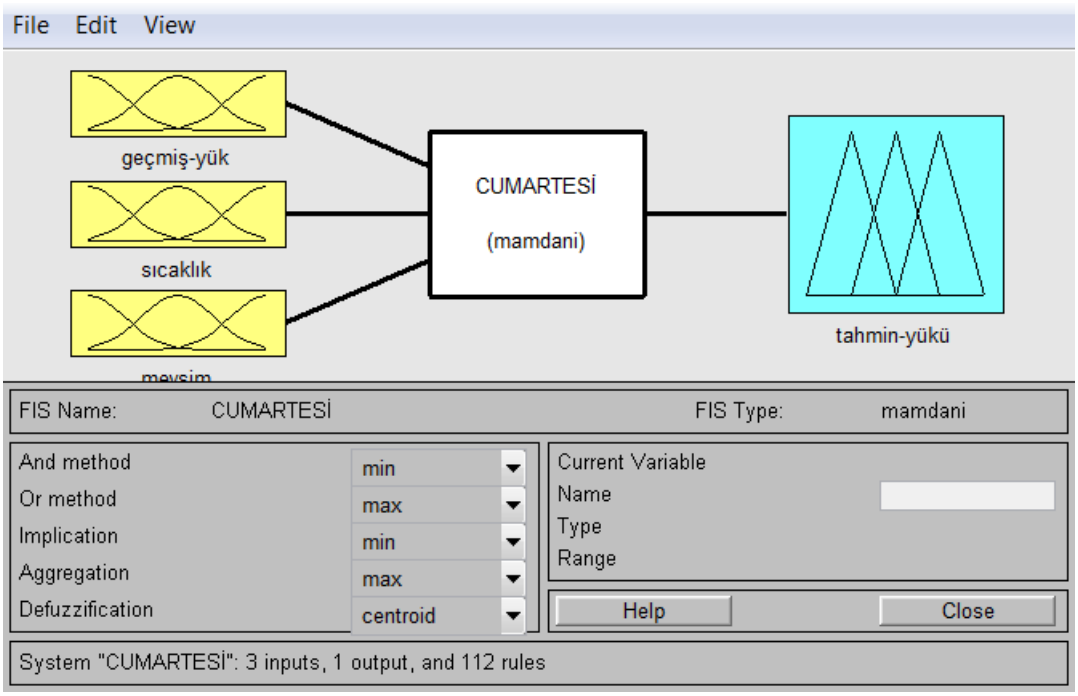
Mamdani çıkarım mekanizması kullanılarak çıkarım yapılmış ve ağırlık merkezi yöntemi ile çıkış hesaplanmıştır. Şekil 5.23.'de cumartesi modelinin matlab arayüzü görülmektedir. Ateşlenen her bir kuralın çıkışına ait üyelik fonksiyonunun üyelik derecesi VE bağlacı kullanıldığı için girişlerin minimumu, yeni elde edilen üyelik fonksiyonu arasında ise MAX işlemi uygulanmıştır.

<u>Girişler</u>

Geçmiş yük	$P_P(h)$
Sıcaklık farkı	$\Delta T(h)$
Mevsim	M

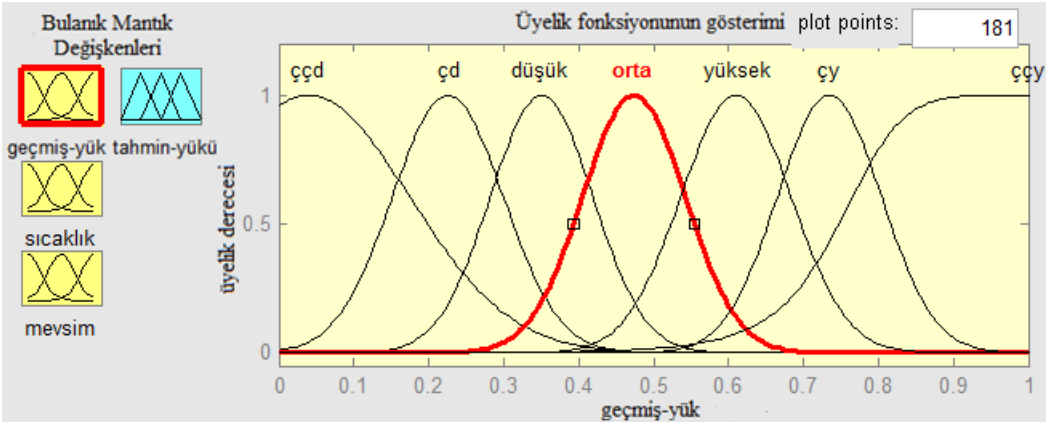
<u>Çıkış</u>

Tahmin edilecek yük	$P_f(h)$



Şekil 5.23. Bulanık mantık cumartesi modeli

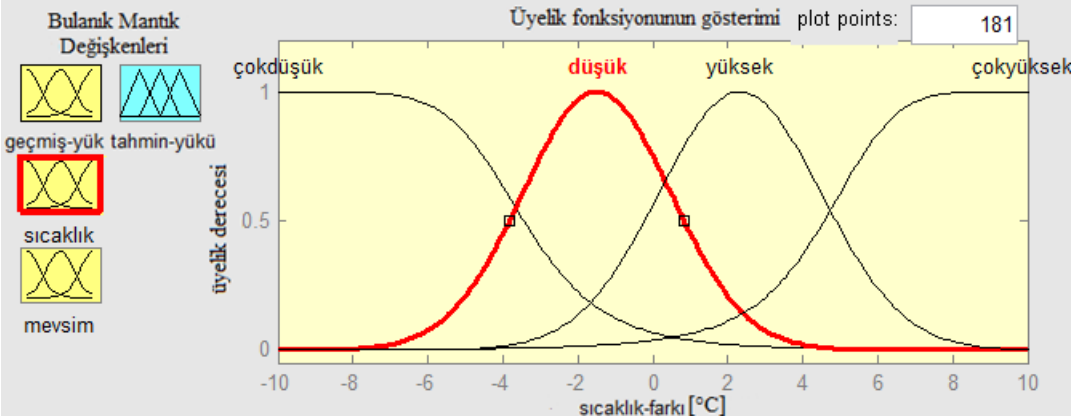
Şekil 5.24.'de birinci giriş olan geçmiş yüke ait 7 üyelik ve dereceleri gösterilmiştir. Üyelik adları sırasıyla, ÇÇD=çok çok düşük, ÇD=çok düşük, düşük, orta, yüksek, ÇY=çok yüksek ve ÇÇY=çok çok yüksektir. Geçmiş yük değeri normalize edildiği için 0-1 aralığında gösterilmiştir. ÇÇY üyeliği gbell fonksiyonuyken, diğer üyelikler ise gauss fonksiyonudur.



Şekil 5.24. Cumartesi modeli geçmiş yük üyelik dereceleri

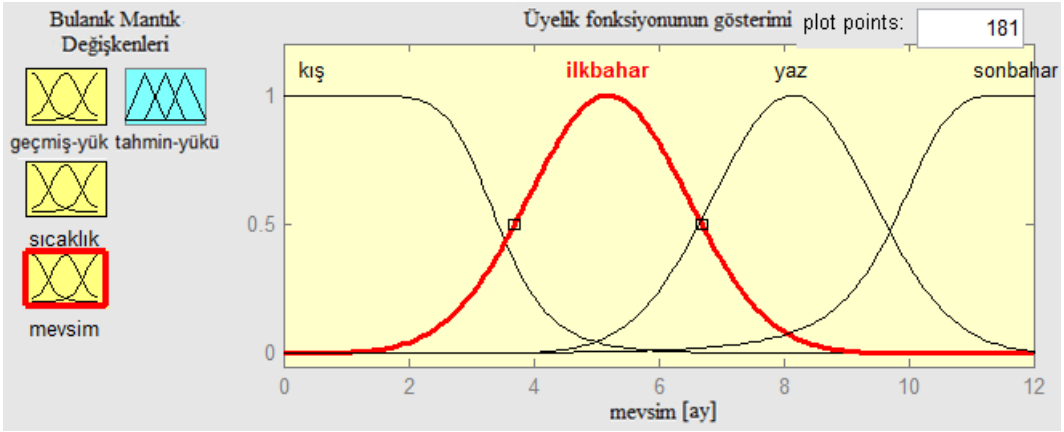
Şekil 5.25.'de ikinci giriş olan sıcaklık farkına ait 4 üyelik ve dereceleri gösterilmiştir. Üyelik adları sırasıyla çok düşük, düşük, yüksek ve çok yüksektir. Çok

düşük ve çok yüksek üyelikleri gbell fonksiyonuyken, düşük ve yüksek üyelikleri ise gauss fonksiyonudur.



Şekil 5.25. Cumartesi modeli sıcaklık farkı üyelik dereceleri

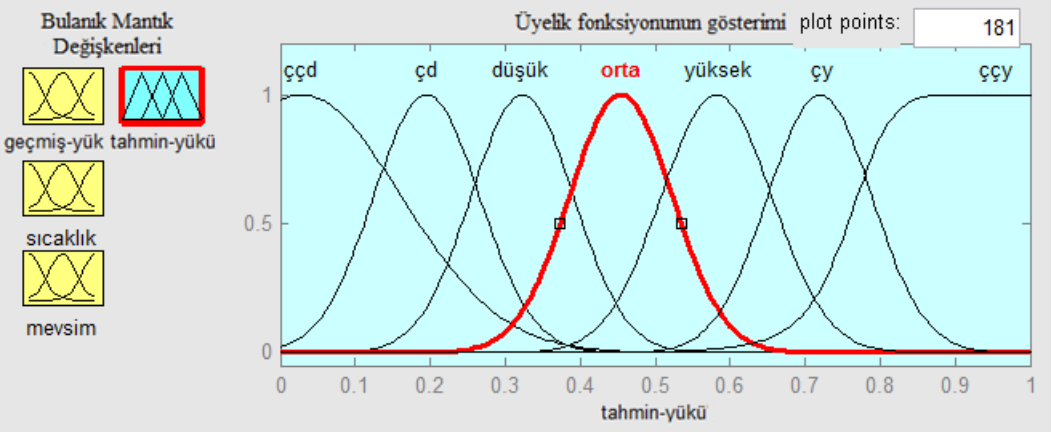
Şekil 5.26.'da mevsim girişine ait üyelikler ve dereceleri gösterilmiştir. Üyelik adları sırasıyla kış, ilkbahar, yaz ve sonbahardır. Kış ve sonbahar üyelikleri gbell fonksiyonuyken, ilkbahar ve yaz üyelikleri gauss fonksiyonudur. Burada aralık ayı birinci ay olarak hesaba katılacaktır.



Şekil 5.26. Cumartesi modeli mevsim girişine ait üyelik dereceleri

Şekil 5.27.'de tahmin yükü olan çıkış değerinin üyelikleri ve dereceleri gösterilmiştir. Üyelik adları sırasıyla, ÇÇD=çok çok düşük, ÇD=çok düşük, düşük, orta, yüksek, ÇY=çok yüksek ve ÇÇY=çok çok yüksektir. ÇÇY üyeliği gbell fonksiyonuyken, diğer üyelikler ise gauss fonksiyonudur. Tahmin yük değeri geçmiş

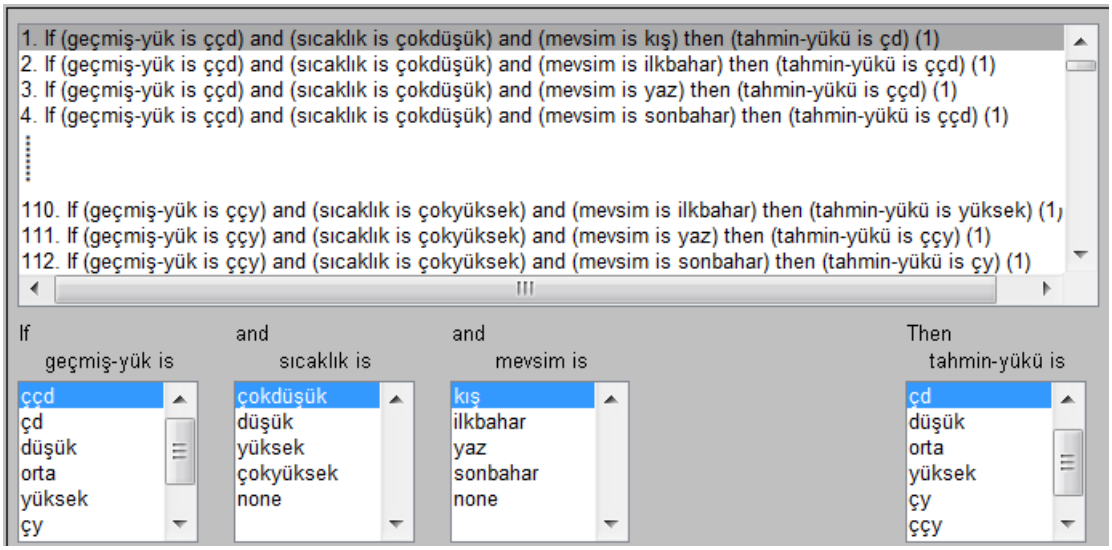
yük değeri gibi normalize edildiği için 0-1 aralığında gösterilmiştir. İşlemin sonucunda çıkan değer denormalizasyon edilerek gerçek değer bulunur.



Şekil 5.27. Cumartesi modeli tahmin yükü üyelik dereceleri

5.3.2. Kural tabanı

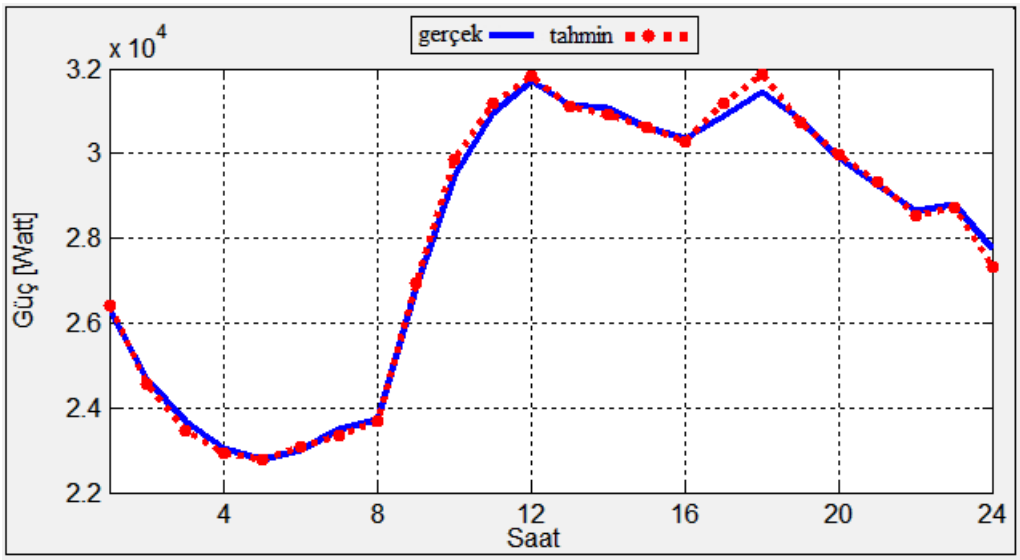
Sistemin geçmiş yük girişinin 7 üyeliği, sıcaklık farkı girişinin 4 üyeliği ve mevsim girişinin 4 üyeliği mevcuttur. Girişlerin üyelik sayılarının çarpımı kadar kural yazılabilmektedir. Üç üyeliğin çarpımı kadar yani 112 adet kural yazılmıştır. Şekil 5.28.'de kuralların bir kısmı görülmektedir.



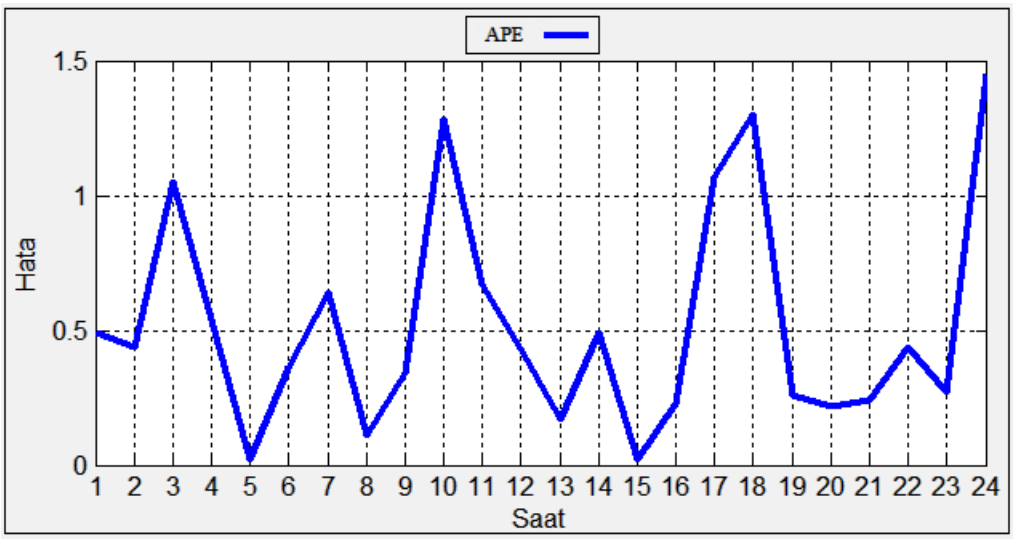
Şekil 5.28. Cumartesi modelinin kural tabanı

5.3.3. Sonuçlar

Cumartesi modelinde tüm cumartesi günlerinin her saati için tahminde bulunulmuştur. Şekil 5.29.'da en iyi tahmin günü olan 07.01.2012 cumartesi gününe ait gerçek ve tahmin yük değerleri gösterilmiştir. Şekil 5.30.'da ise aynı günün hata değerleri gösterilmiştir. En iyi tahmin gününün MAPE değeri 0.52 olarak bulunmuştur.

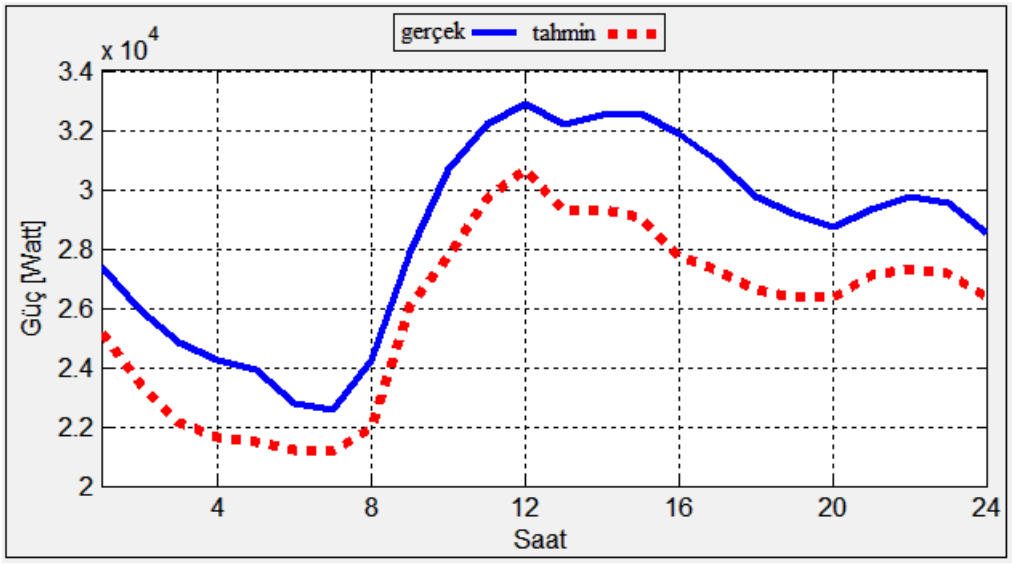


Şekil 5.29. Cumartesi modeli en iyi tahmin gününe ait gerçek ve tahmin değerleri (07.01.2012)

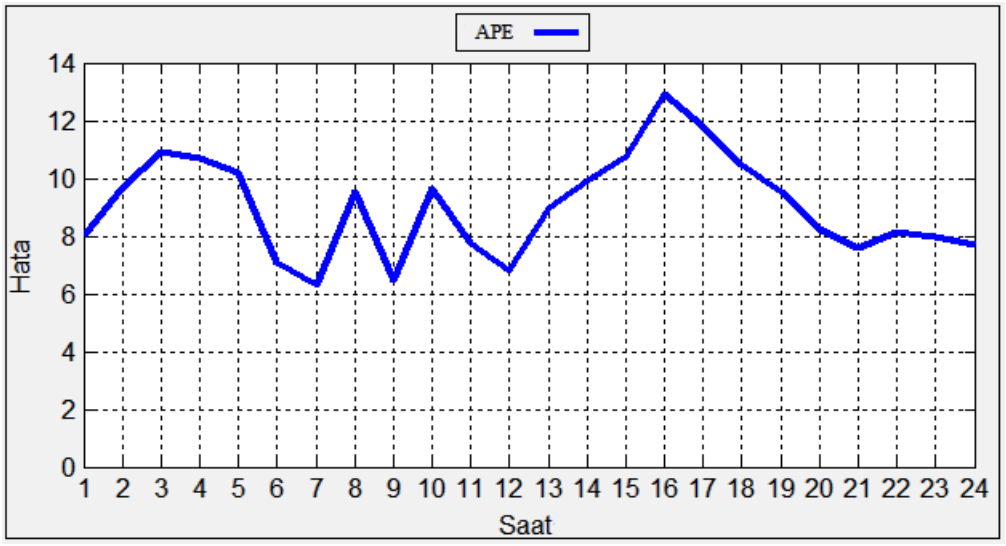


Şekil 5.30. Cumartesi modeli en iyi tahmin gününe ait APE değerleri (07.01.2012)

Şekil 5.31.'de en kötü tahmin günü olan 23.06.2012 cumartesi gününe ait gerçek ve tahmini yük değerleri gösterilmiştir. Şekil 5.32.'de ise aynı günün APE değerleri gösterilmiştir. En kötü tahmin gününün MAPE değeri 9.05 olarak bulunmuştur. Resmi tatil günleri çıkarıldığında 2009-2012 yıllarının tüm cumartesi günleri için MAPE ve RMSE hata değerleri Çizelge 5.6.'da gösterilmiştir.



Şekil 5.31. Cumartesi modeli en kötü tahmin gününe ait gerçek ve tahmin değerleri (23.06.2012)



Şekil 5.32. Cumartesi modeli en kötü tahmin gününe ait APE değerleri (23.06.2012)

Çizelge 5.6. Hafta içi modeli sonuçları

	CUMARTESİ	
YIL	**MAPE**	**RMSE**
2009	2,50	4,95
2010	3,75	7,00
2011	3,10	6,23
2012	2,69	4,68

5.4. Pazar Modeli

Pazar gününün günlük ritmine bakıldığında günün başlangıç saatlerinin yük eğrisinin diğer hafta içi günlere uymadığından dolayı farklı bir gün tipi olarak ele alınacağı dördüncü bölümde bahsedilmişti.

5.4.1. Giriş ve çıkışlar

Pazar modelinde giriş değerlerinin elde edilmesinde kullanılacak veriler kendinden önceki iki pazar gününe ve tahmin gününe ait olan bazı verilerdir ve bu Çizelge 5.7.'de gösterilmiştir. Eğer tahmin gününden önceki pazar günlerinden biri resmi tatil gününe denk gelirse, resmi tatil gününün değerleri kullanılmayıp onun yerine resmi tatil gününden bir önceki pazar gününün değerleri kullanılmıştır.

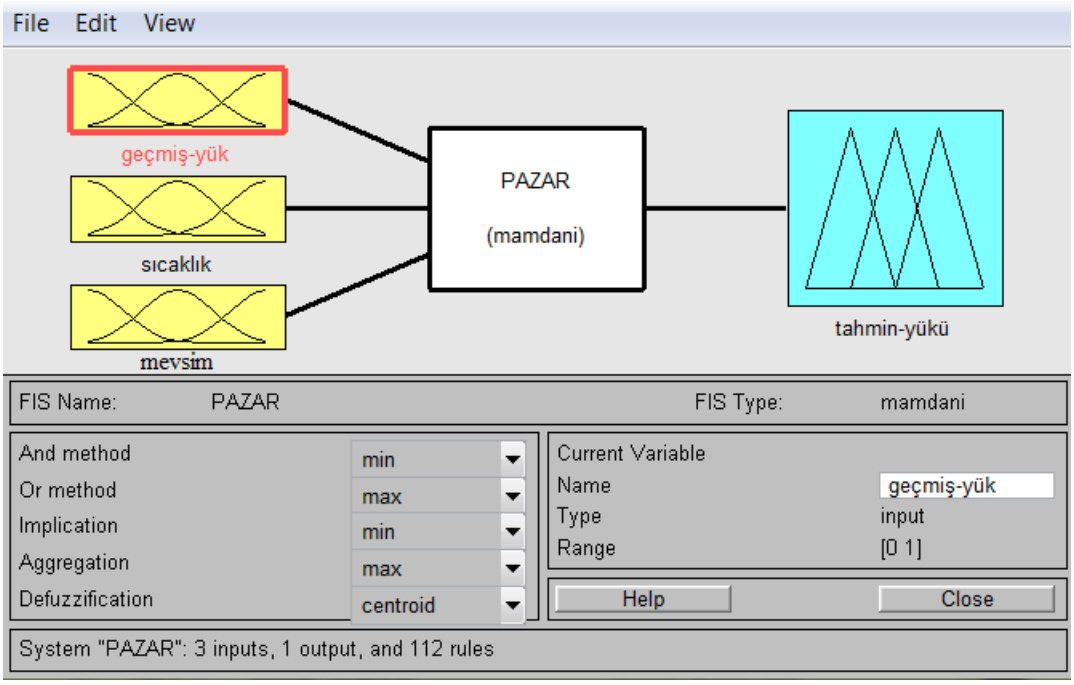
Çizelge 5.7. Pazar modelinin girişleri için kullanılacak veriler

Pazar Modeli								
Saat	Geçmiş Zaman						Tahmin Günü	
	bir hafta			bir hafta			bir hafta	
	Haftanın diğer günleri	Pazar		Haftanın diğer günleri	Pazar		Pazar	
		Yük	Sıcaklık		Yük	Sıcaklık	Yük	Sıcaklık
h		$P_{f-2}(h)$	T_{f-2}		$P_{f-1}(h)$	T_{f-1}	$P_f(h)$	T_f
h+1								
. . .								
24								

Bu modelde kendinden önceki iki pazar gününün günlük sıcaklık değerleri ve saatlik yük verileri kullanılmıştır. Ayrıca tahminin yapılacağı günün sıcaklık değeri de

dikkate alınmıştır. Elde edilecek değer ise tahminin yapılacağı saatin yük değeridir. Pazar modelinin girişleri bazı denklemler kullanılarak bulunur. Bu denklemler cumartesi modelinde kullanılan denklemlerdir.

Mamdani çıkarım mekanizması kullanılarak çıkarım yapılmış ve ağırlık merkezi yöntemi ile çıkış hesaplanmıştır. Şekil 5.2.'de pazar modelinin matlab arayüzü görülmektedir. Ateşlenen her bir kuralın çıkışına ait üyelik fonksiyonunun üyelik derecesi VE bağlacı kullanıldığı için girişlerin minimumu, yeni elde edilen üyelik fonksiyonu arasında ise MAX işlemi uygulanmıştır.



Şekil 5.33. Bulanık mantık Pazar modeli

Girişler

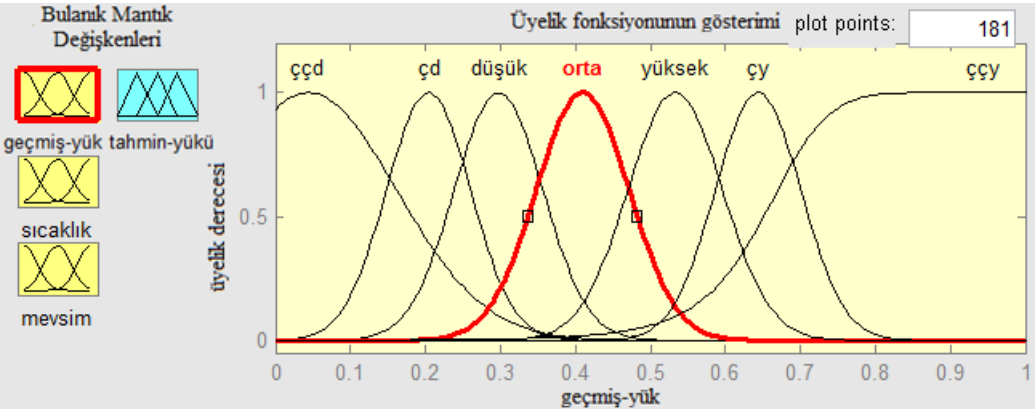
Geçmiş yük	P_P (h)
Sıcaklık farkı	ΔT(h)
Mevsim	M

Çıkış

Tahmin edilecek yük	P_f (h)

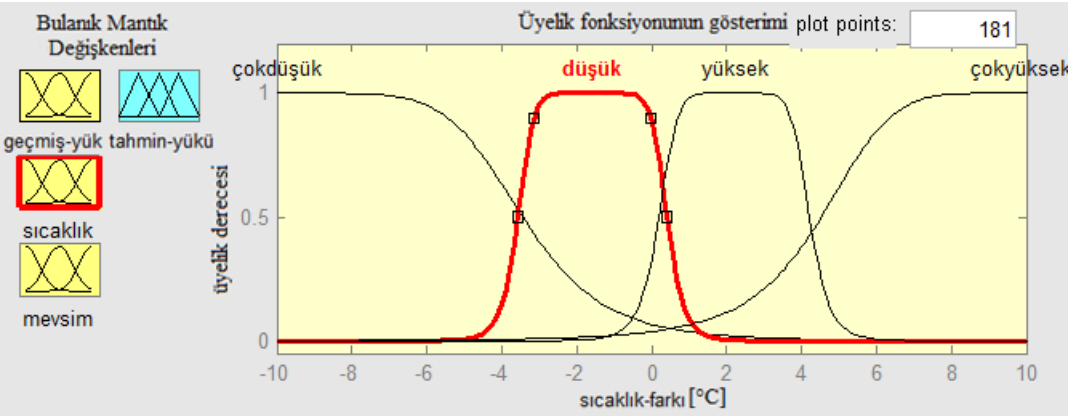
Şekil 5.34.'de birinci giriş olan geçmiş yüke ait 7 üyelik ve dereceleri gösterilmiştir. . Üyelik adları sırasıyla, ÇÇD=çok çok düşük, ÇD=çok düşük, düşük, orta, yüksek, ÇY=çok yüksek ve ÇÇY=çok çok yüksektir. Geçmiş yük değeri normalize

edildiği için 0-1 aralığında gösterilmiştir. ÇÇY üyeliği gbell fonksiyonuyken, diğer üyelikler ise gauss fonksiyonudur.



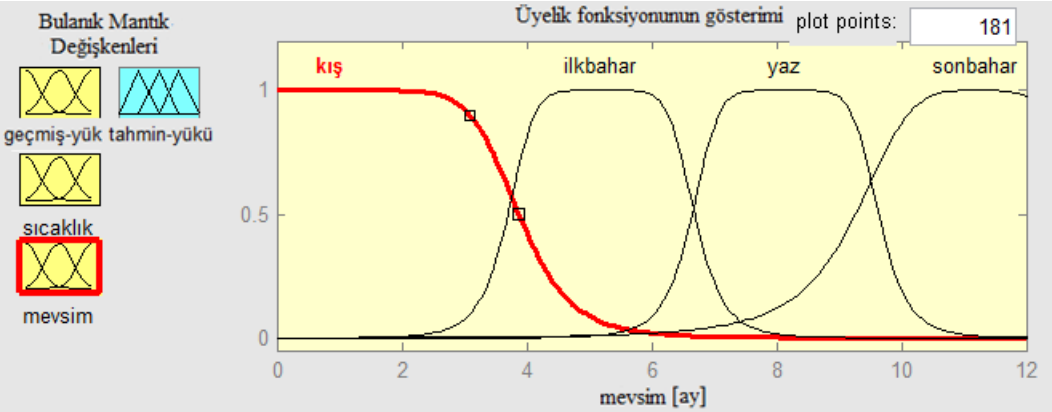
Şekil 5.34. Pazar modeli geçmiş yük üyelik dereceleri

Şekil 5.35.'de ikinci giriş olan sıcaklık farkına ait 4 üyelik ve dereceleri gösterilmiştir. Üyelik adları sırasıyla çok düşük, düşük, yüksek ve çok yüksektir. Tüm üyelikler gbelll fonksiyonudur.



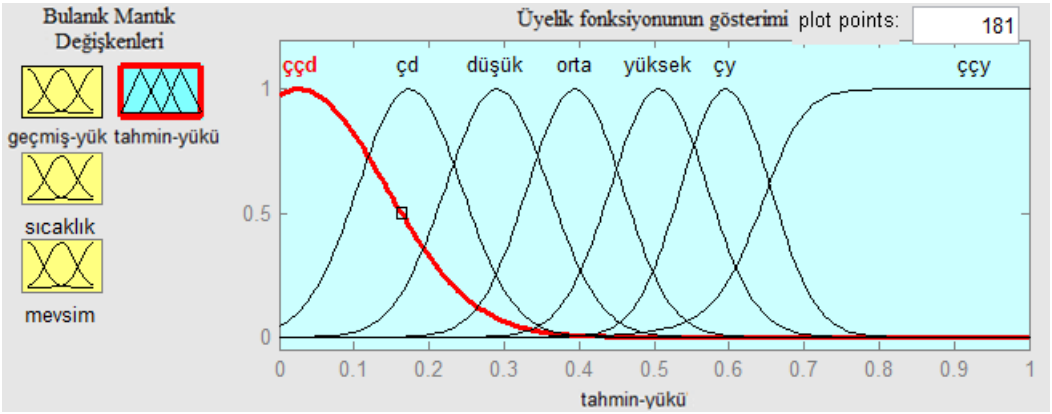
Şekil 5.35. Pazar modeli sıcaklık farkı üyelik dereceleri

Şekil 5.36.'da mevsim girişine ait üyelikler ve dereceleri gösterilmiştir. Üyelik adları sırasıyla kış, ilkbahar, yaz ve sonbahardır. Tüm üyelikler gbelll fonksiyonudur. Burada aralık ayı birinci ay olarak hesaba katılmıştır.



Şekil 5.36. Pazar modeli mevsim girişine ait üyelik dereceleri

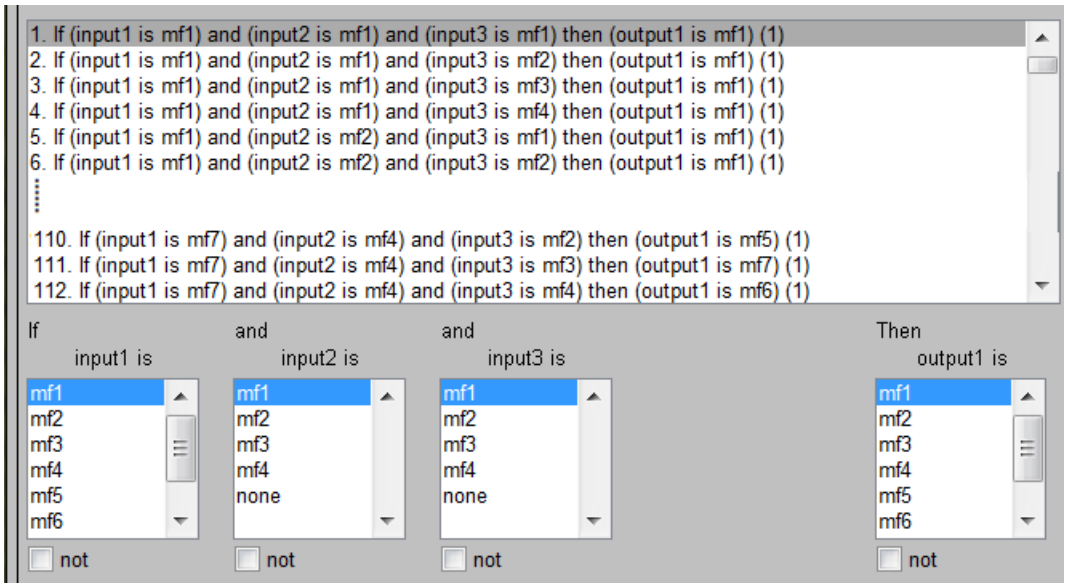
Şekil 5.37.'de tahmin yükü olan çıkış değerinin üyelikleri ve dereceleri gösterilmiştir. Üyelik adları sırasıyla, ÇÇD=çok çok düşük, ÇD=çok düşük, düşük, orta, yüksek, ÇY=çok yüksek ve ÇÇY=çok çok yüksektir. ÇÇY üyeliği gbell fonksiyonuyken, diğer üyelikler ise gauss fonksiyonudur. Tahmin yük değeri geçmiş yük değeri gibi normalize edildiği için 0-1 aralığında gösterilmiştir. İşlemin sonucunda çıkan değer denormalizasyon edilerek gerçek değer bulunur.



Şekil 5.37. Pazar modeli tahmin yükü üyelik dereceleri

5.4.2. Kural tabanı

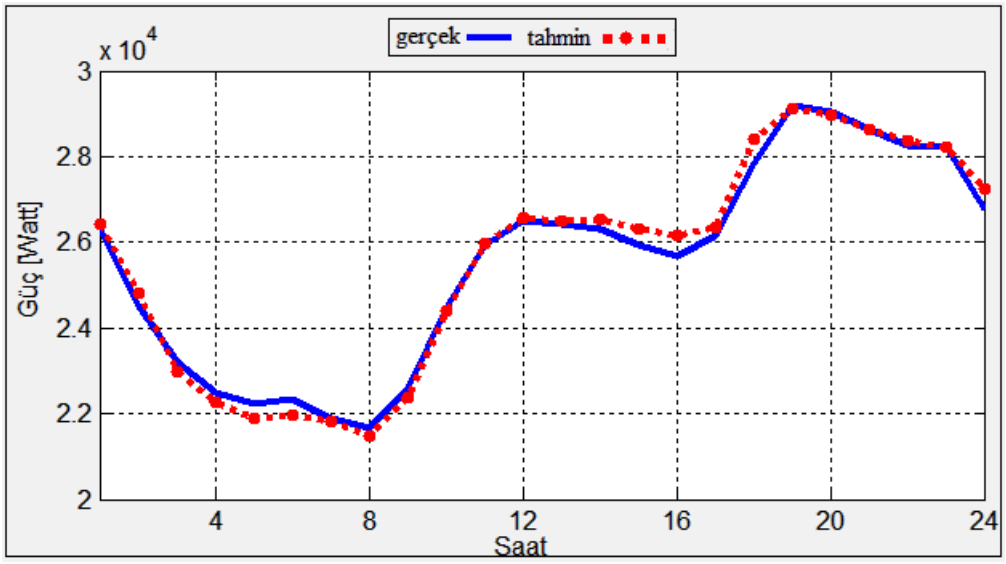
Sistemin geçmiş yük girişinin 7 üyeliği, sıcaklık farkı girişinin 4 üyeliği ve mevsim girişinin 4 üyeliği mevcuttur. Girişlerin üyelik sayılarının çarpımı kadar kural yazılabilmektedir. Üç üyeliğin çarpımı kadar yani 112 adet kural yazılmıştır. Şekil 5.38.'de kuralların bir kısmı görülmektedir.



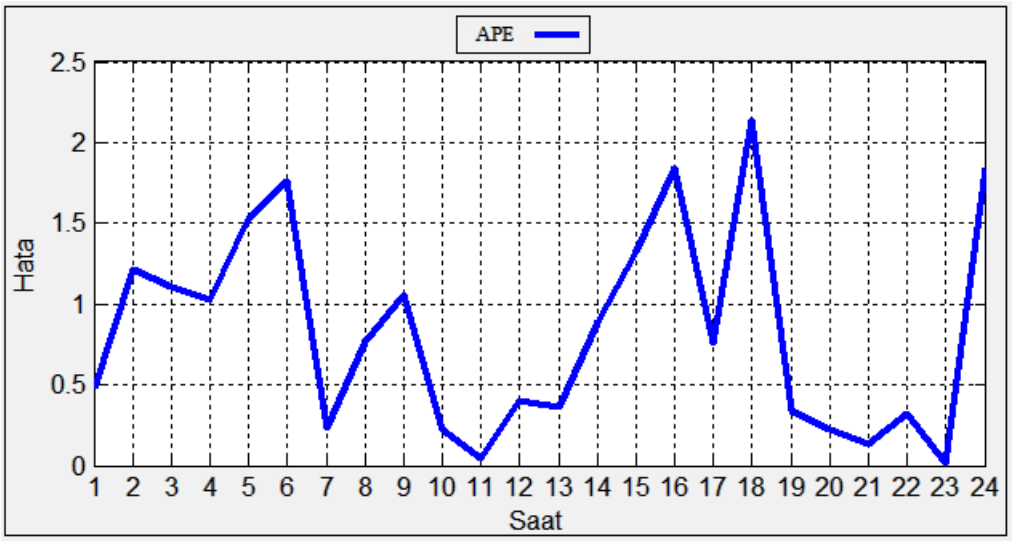
Şekil 5.38. Pazar modelinin kural tabanı

5.4.3. Sonuçlar

Pazar modelinde tüm pazar günlerinin her saati için tahminde bulunulmuştur. Şekil 5.39.'da en iyi tahmin günü olan 12.02.2012 pazar gününe ait gerçek ve tahmin yük değerleri gösterilmiştir. Şekil 5.40.'da ise aynı günün APE hata değerleri gösterilmiştir. En iyi tahmin gününün MAPE değeri ise 0.83 olarak bulunmuştur.



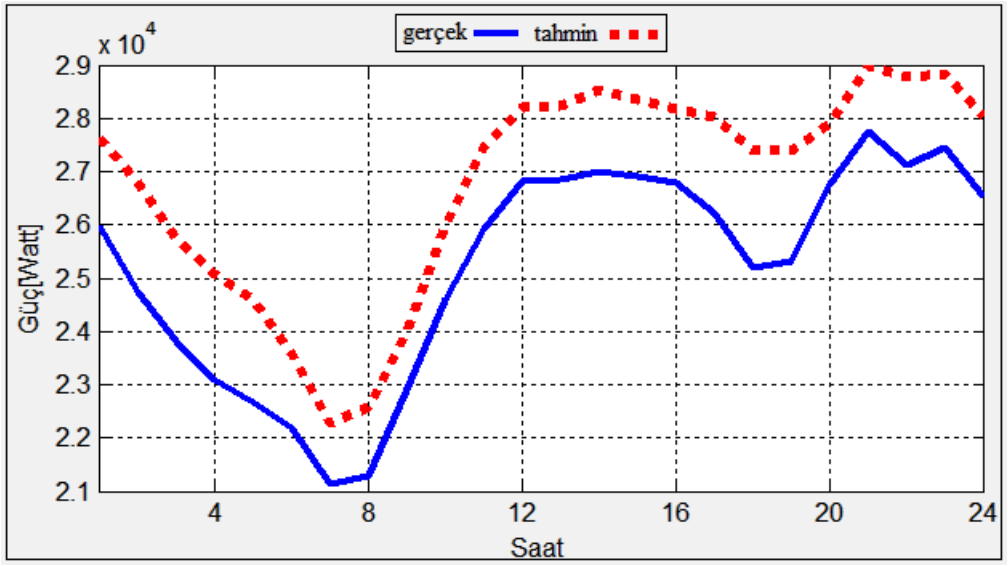
Şekil 5.39. Pazar modeli en iyi tahmin gününe ait gerçek ve tahmin değerleri(12.02.2012)



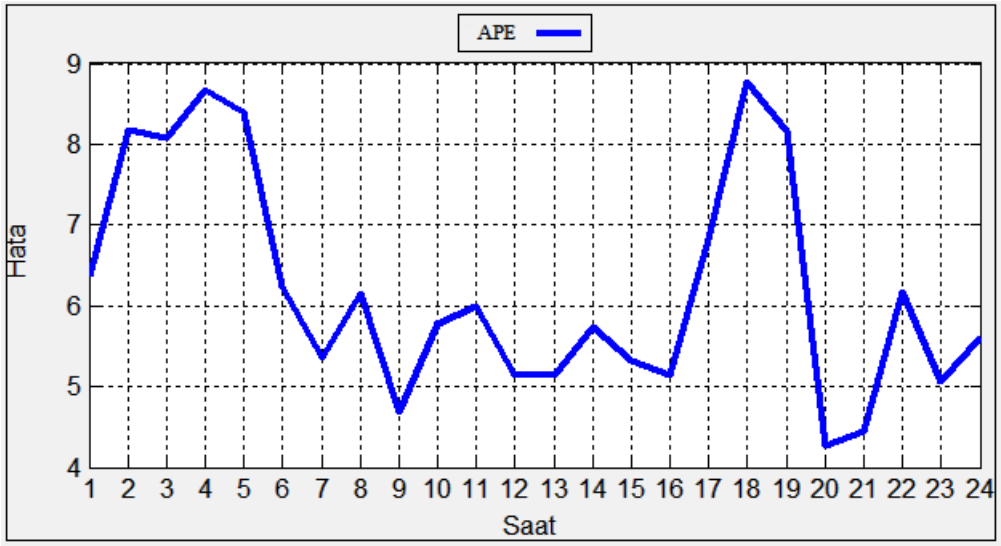
Şekil 5.40. Pazar modeli en iyi tahmin gününe ait APE değerleri (12.02.2012)

Şekil 5.41.'de en kötü tahmin günü olan 02.09.2012 pazar gününe ait gerçek ve tahmini yük değerleri gösterilmiştir. Şekil 5.42.'de ise aynı günün APE değerleri gösterilmiştir. En kötü tahmin gününün MAPE değeri 6.24 olarak bulunmuştur.

Resmi tatil günleri çıkarıldığında 2009-2012 yıllarının tüm Pazar günleri için MAPE ve RMSE hata değerleri Çizelge 5.8.'de gösterilmiştir.



Şekil 5.41. Pazar modeli en kötü tahmin gününe ait gerçek ve tahmin değerleri (02.09.2012)



Şekil 5.22. Pazar modeli en kötü tahmin gününe ait APE değerleri (02.09.2012)

Çizelge 5.8. Pazar modeli sonuçları

	PAZAR	
YIL	**MAPE**	**RMSE**
2009	2,62	4,56
2010	3,40	5,87
2011	2,66	4,24
2012	2,59	3,72

6. ANFIS İLE YÜK TAHMİNİ

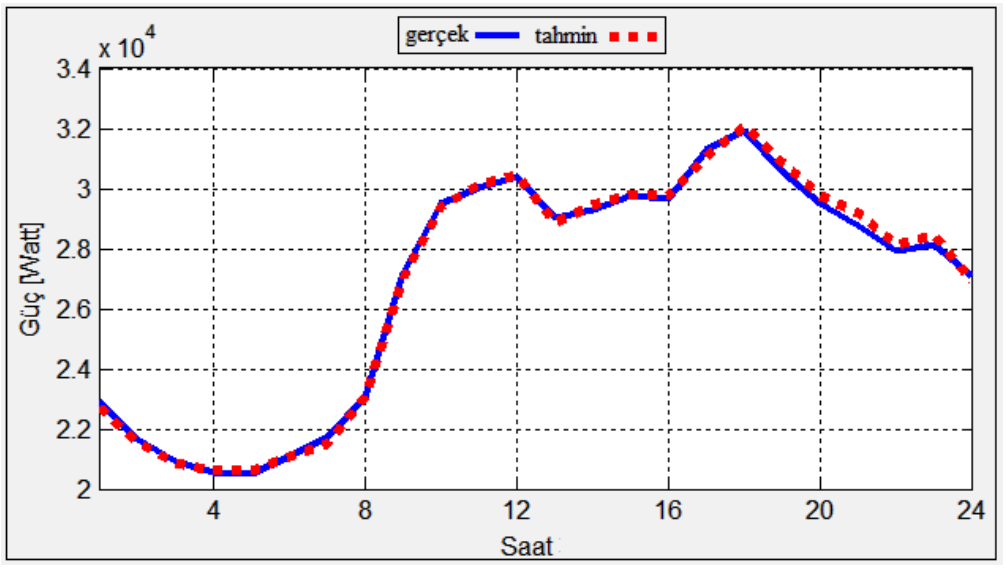
Bu tez çalışmasında yük tahmininde ikinci bir yöntem olarak ANFIS metodu kullanılmıştır. Bulanık mantık uygulamasında kullanılan aynı gün tipleri ve veriler, ANFIS uygulamasında da kullanılmıştır. Giriş olarak geçmiş yük, sıcaklık farkı ve mevsim bilgileri ANFIS'e verilirken, çıkış olarak ise tahmin edilecek saatlik yük değeri alınır. 2009-2011 arası veriler eğitim için kullanılırken 2012 verileri test amaçlı kullanılmıştır. ANFIS uygulaması için de Matlab programı kullanılmıştır.

Bu bölümde, dördüncü bölümde belirlenen gün tiplerine göre çeşitli ANFIS modelleri oluşturulmuştur. En iyi tahmin günü ve en kötü tahmin gününün grafikleriyle beraber her bir model için tüm yıl yapılan tahmin hata ortalamaları da verilmiştir.

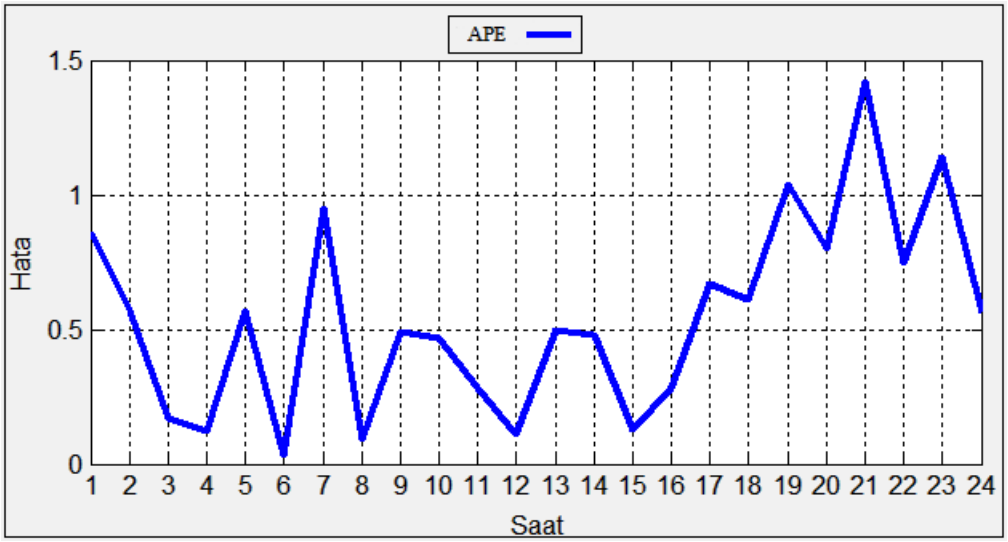
6.1. Pazartesi Modeli

Sistemin geçmiş yük girişi için 2, sıcaklık farkı girişi için 2 ve mevsim girişi için de 4 üyeliğe sahip gauss fonksiyonları kullanılmıştır. Epoc sayısı 10 olarak seçilmiştir.

Pazartesi modelinde tüm pazartesi günlerinin her saati için tahminde bulunulmuştur. Şekil 6.1.'de en iyi tahmin günü olan 09.11.2012 pazartesi gününe ait gerçek ve tahmin yük değerleri gösterilmiştir. Şekil 6.2.'de ise aynı günün APE hata değerleri gösterilmiştir. En iyi tahmin gününün MAPE değeri ise 0.54 olarak bulunmuştur.

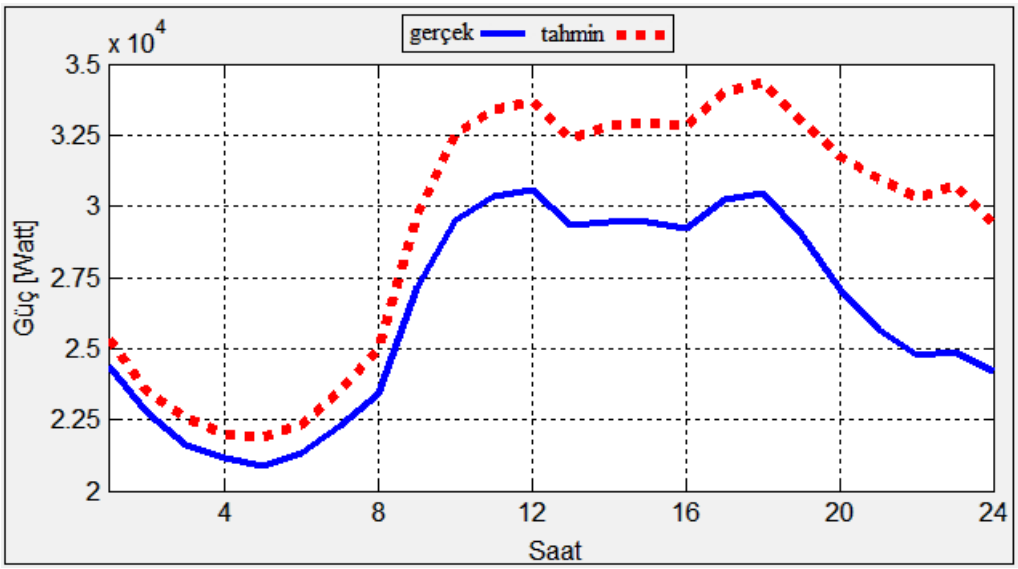


Şekil 6.1. Pazartesi modeli en iyi tahmin gününe ait gerçek ve tahmin değerleri (19.11.2012)

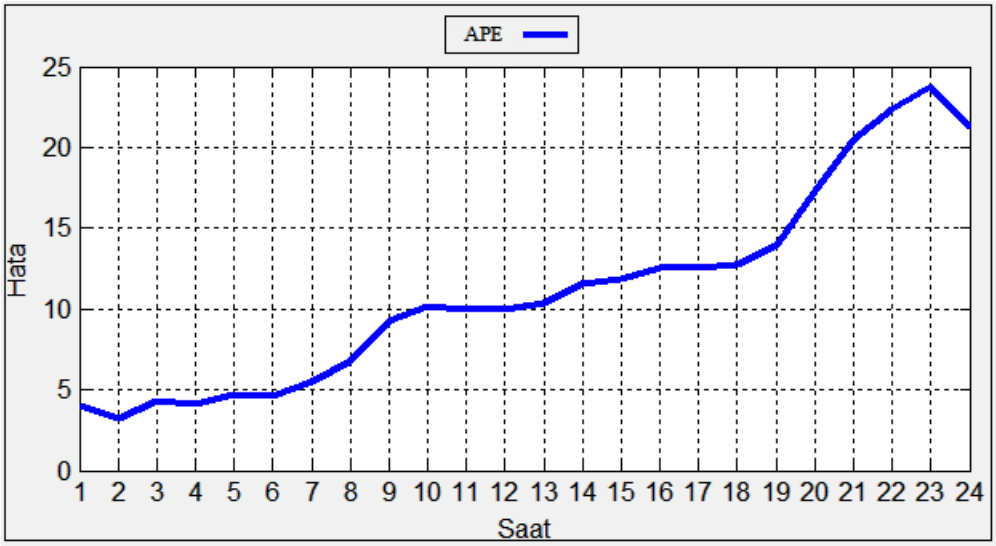


Şekil 6.2. Pazartesi modeli en iyi tahmin gününe ait APE değerleri (19.11.2012)

Şekil 6.3.'te en kötü tahmin günü olan 31.12.2012 Pazartesi gününe ait gerçek ve tahmini yük değerleri gösterilmiştir. Şekil 6.4.'te ise aynı günün APE değerleri gösterilmiştir. En kötü tahmin gününün MAPE değeri ise 11.14 olarak bulunmuştur.



Şekil 6.3. Pazartesi modeli en kötü tahmin gününe ait gerçek ve tahmin değerleri (31.12.2012)



Şekil 6.4. Pazartesi modeli en kötü tahmin gününe ait APE değerleri (31.12.20,12)

Resmi tatil günleri hariç 2012 yılının tüm pazartesi günleri için MAPE ve RMSE hata değerleri Çizelge 6.1.'de gösterilmiştir.

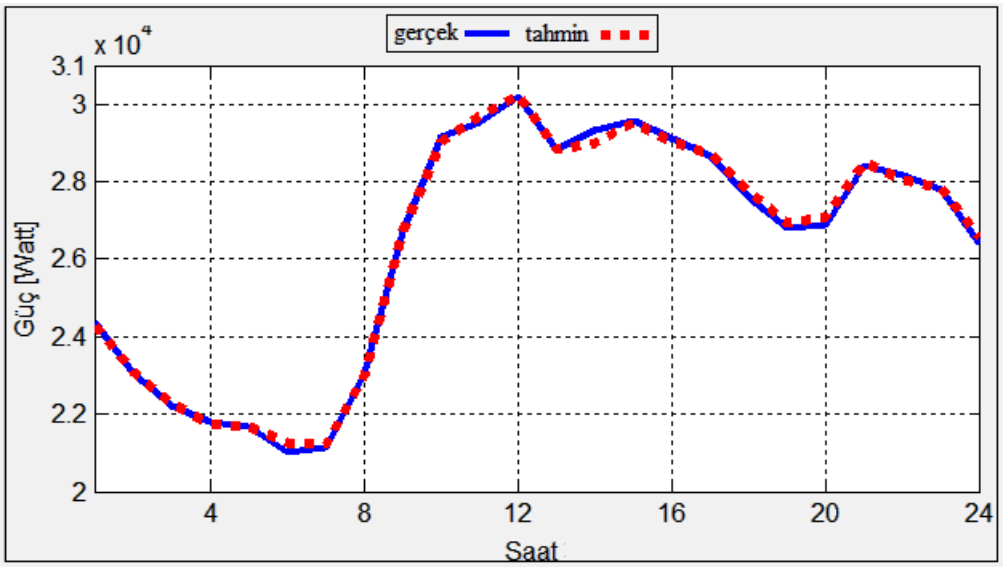
Çizelge 6.1. Pazartesi modeli sonuçları

	PAZARTESİ	
YIL	**MAPE**	**RMSE**
2012	2,02	3,66

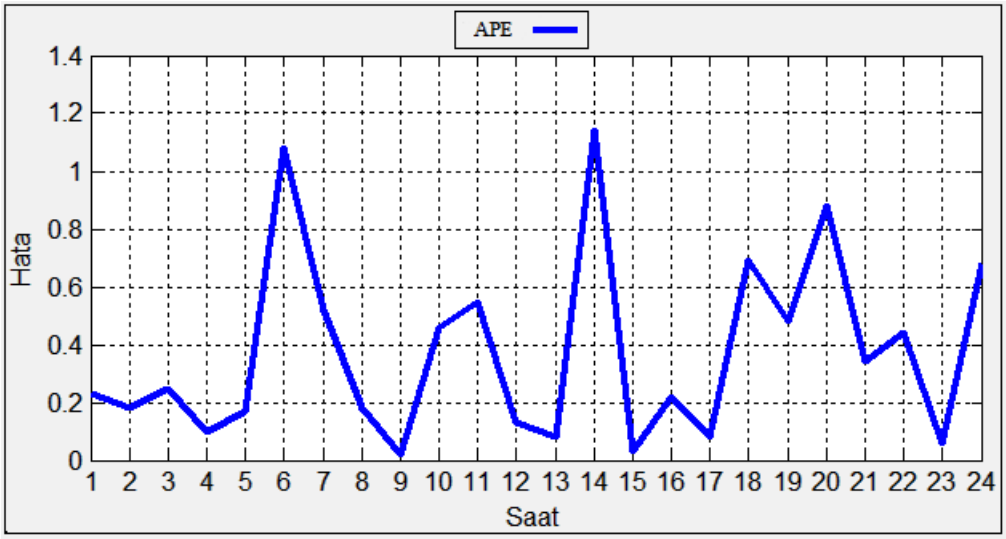
6.2. Hafta İçi Modeli

Sistemin geçmiş yük girişi için 2, sıcaklık farkı girişi için 2 ve mevsim girişi için de 4 üyeliğe sahip trap(yamuk) fonksiyonları kullanılmıştır. Epoc sayısı olarak 30 seçilmiştir.

Hafta içi modelinde tüm salı-çarşamba-perşembe-cuma günlerinin her saati için tahminde bulunulmuştur. Şekil 6.5.'de en iyi tahmin günü olan 17.05.2012 Perşembe gününe ait gerçek ve tahmin yük değerleri gösterilmiştir. Şekil 6.6.'da ise aynı günün APE hata değerleri gösterilmiştir. En iyi tahmin gününün MAPE değeri ise 0.37 olarak bulunmuştur.

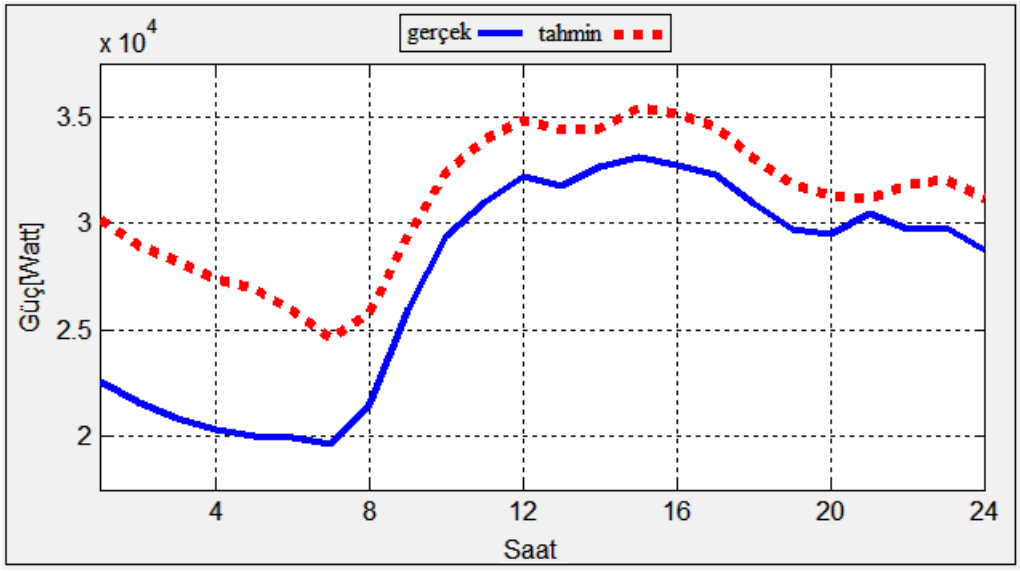


Şekil 6.5. Hafta içi modeli en iyi tahmin gününe ait gerçek ve tahmin değerleri (17.05.2012)

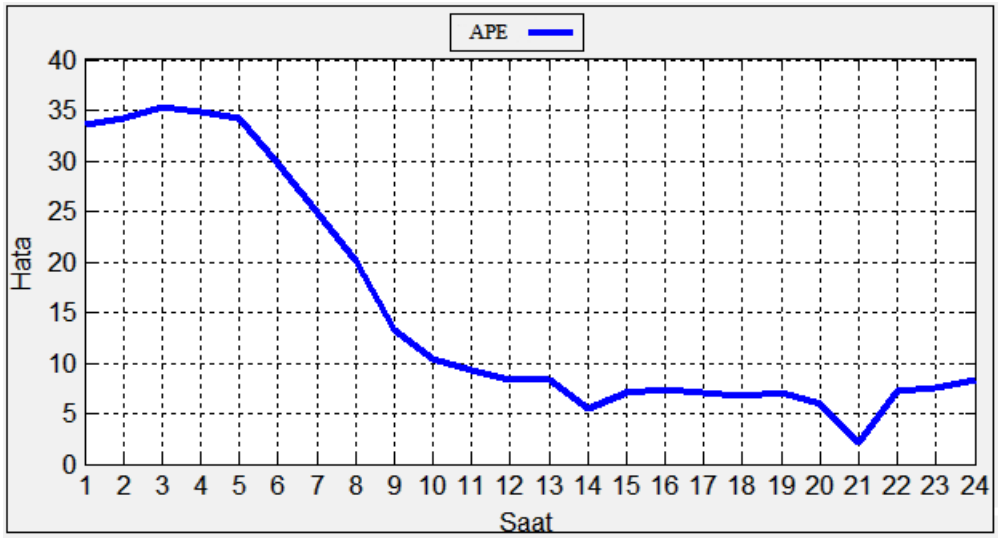


Şekil 6.6. Hafta içi modeli en iyi tahmin gününe ait APE ve MAPE değerleri (17.05.2012)

Şekil 5.21.'de en kötü tahmin günü olan 22.08.2012 Çarşamba gününe ait gerçek ve tahmini yük değerleri gösterilmiştir. Şekil 5.22.'de ise aynı günün APE değerleri gösterilmiştir. En kötü tahmin gününün MAPE değeri ise 15.35 olarak bulunmuştur.



Şekil 6.7. Hafta içi modeli en kötü tahmin gününe ait gerçek ve tahmin değerleri (22.08.2012)



Şekil 6.8. Hafta içi modeli en kötü tahmin gününe ait gerçek ve tahmin değerleri (22.08.2012)

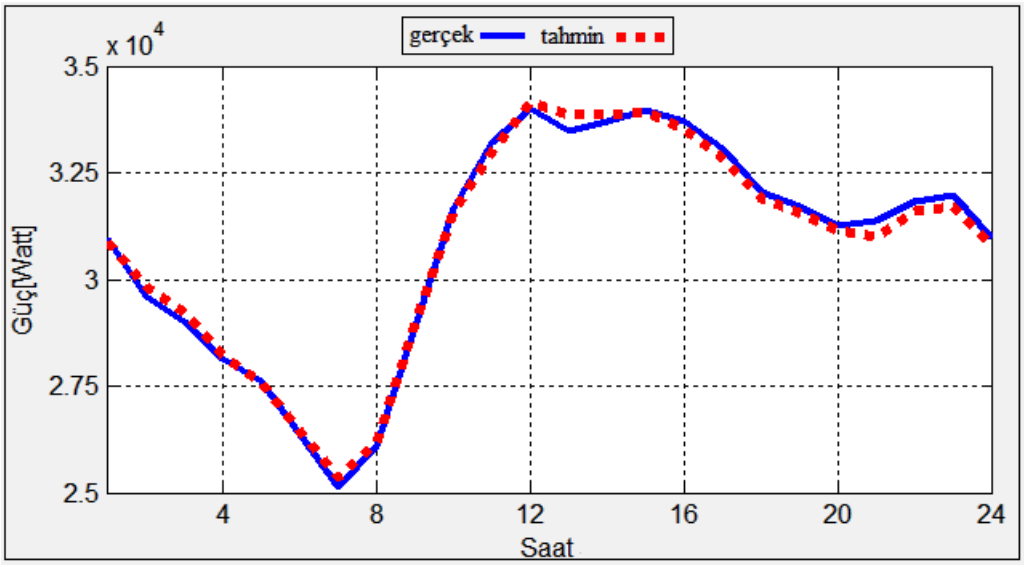
Resmi tatil günleri hariç 2012 yılının tüm hafta içi günleri için MAPE ve RMSE hata değerleri Çizelge 6.2.'de gösterilmiştir.

Çizelge 6.2. Hafta içi modeli sonuçları

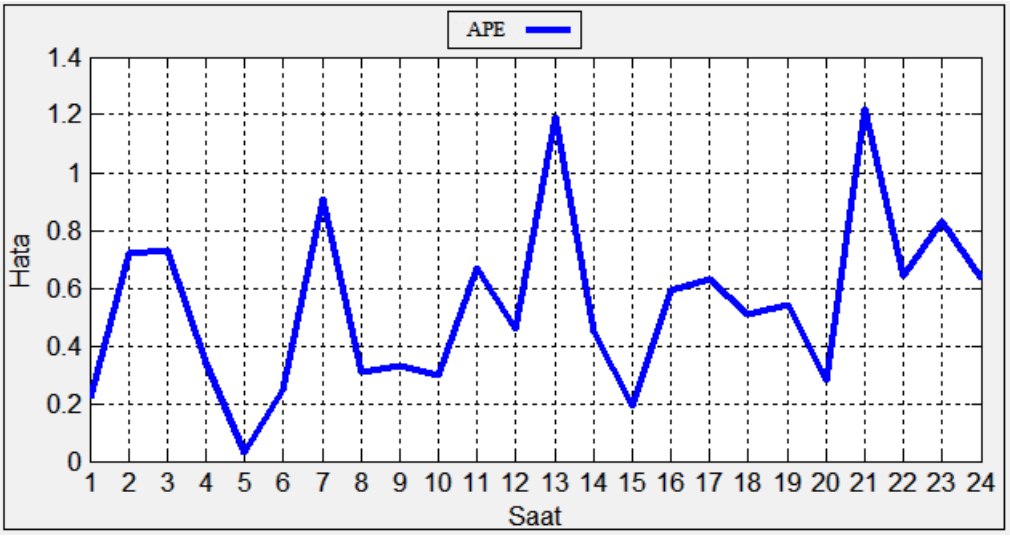
	HAFTA İÇİ	
YIL	**MAPE**	**RMSE**
2012	1,6	3,01

6.3. Cumartesi Modeli

Sistemin geçmiş yük girişi için 2, sıcaklık farkı girişi için 2 ve mevsim girişi için de 4 üyeliğe sahip trim(üçgen) fonksiyonları kullanılmıştır. Epoc sayısı olarak 30 seçilmiştir. Cumartesi modelinde tüm cumartesi günlerinin her saati için tahminde bulunulmuştur. Şekil 6.9.'da en iyi tahmin günü olan 11.08.2012 cumartesi gününe ait gerçek ve tahmin yük değerleri gösterilmiştir. Şekil 6.10.'da ise aynı günün APE hata değerleri gösterilmiştir. En iyi tahmin gününün MAPE değeri ise 0.54 olarak bulunmuştur.

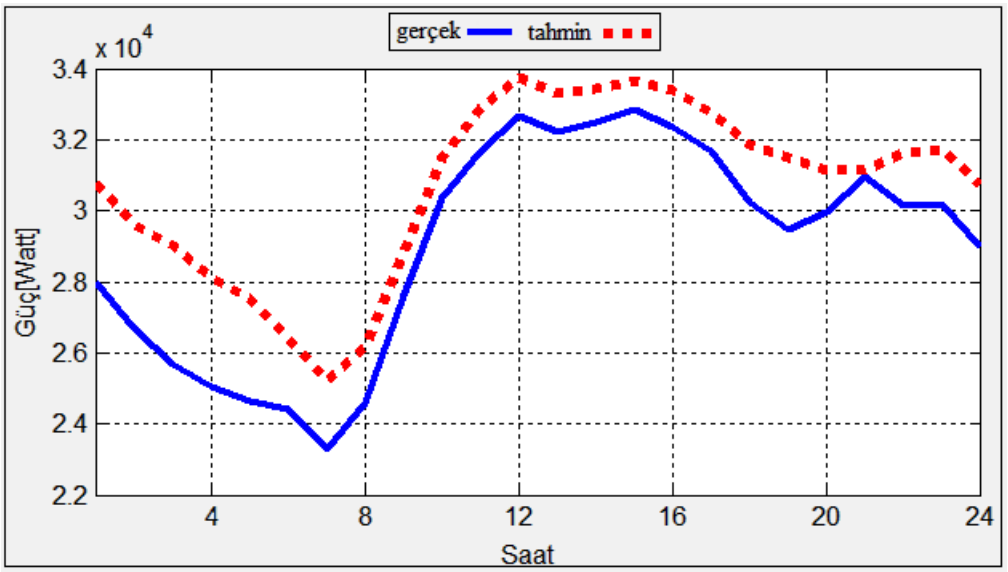


Şekil 6.9. Cumartesi modeli en iyi tahmin gününe ait gerçek ve tahmin değerleri (11.08.2012)

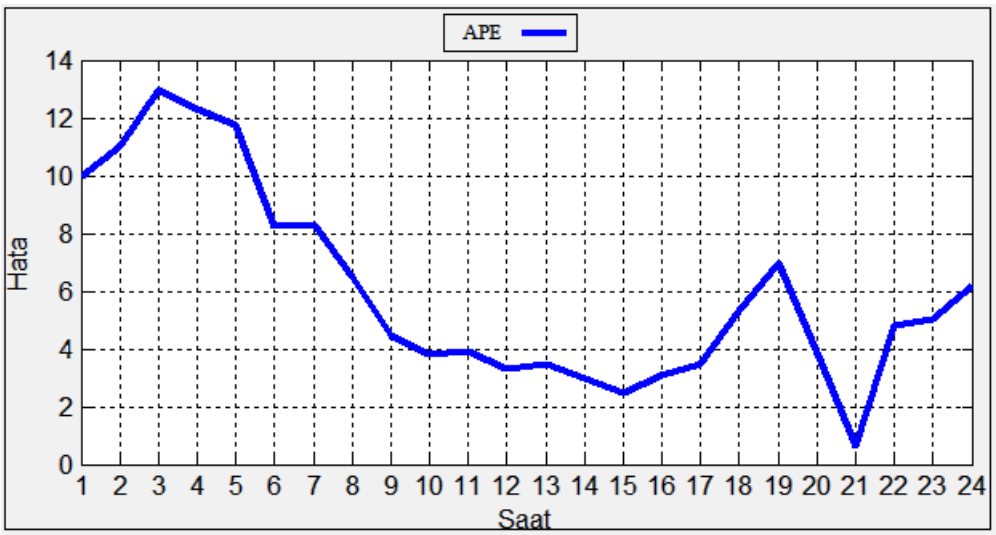


Şekil 6.10. Cumartesi modeli en iyi tahmin gününe ait APE ve MAPE değerleri (11.08.2012)

Şekil 6.11.'de en kötü tahmin günü olan 25.08.2012 cumartesi gününe ait gerçek ve tahmini yük değerleri gösterilmiştir. Şekil 6.12.'de ise aynı günün APE ve MAPE değerleri gösterilmiştir. En kötü tahmin gününün MAPE değeri 6.03 olarak bulunmuştur.



Şekil 6.11. Cumartesi modeli en kötü tahmin gününe ait gerçek ve tahmin değerleri (25.08.2012)



Şekil 6.12. Cumartesi modeli en kötü tahmin gününe ait APE ve MAPE değerleri (25.08.2012)

Resmi tatil günleri hariç 2012 yılının tüm cumartesi günleri için MAPE ve RMSE hata değerleri Çizelge 6.3.'de gösterilmiştir.

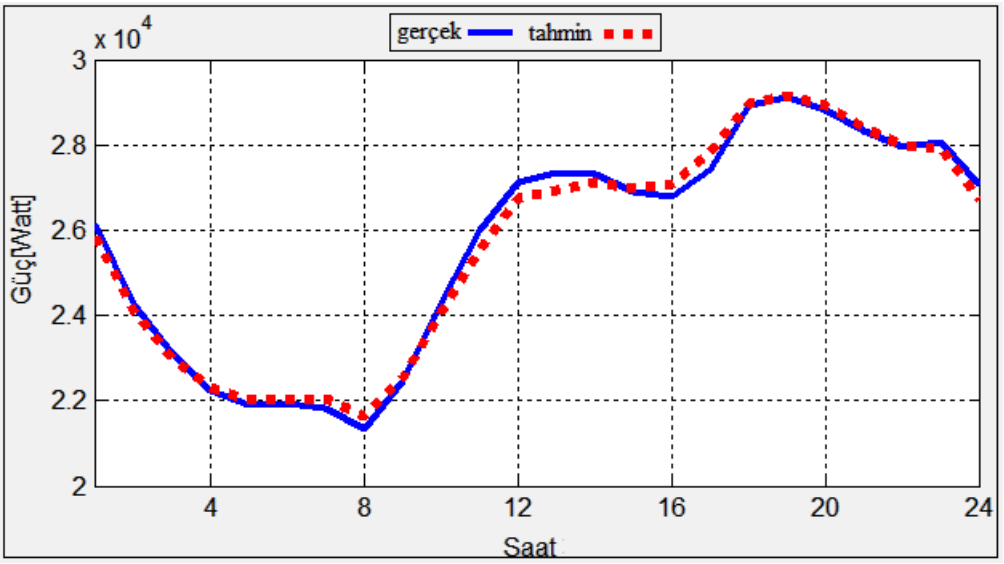
Çizelge 6.3. Cumartesi modeli sonuçları

	CUMARTESİ	
YIL	MAPE	RMSE
2012	2,21	3,81

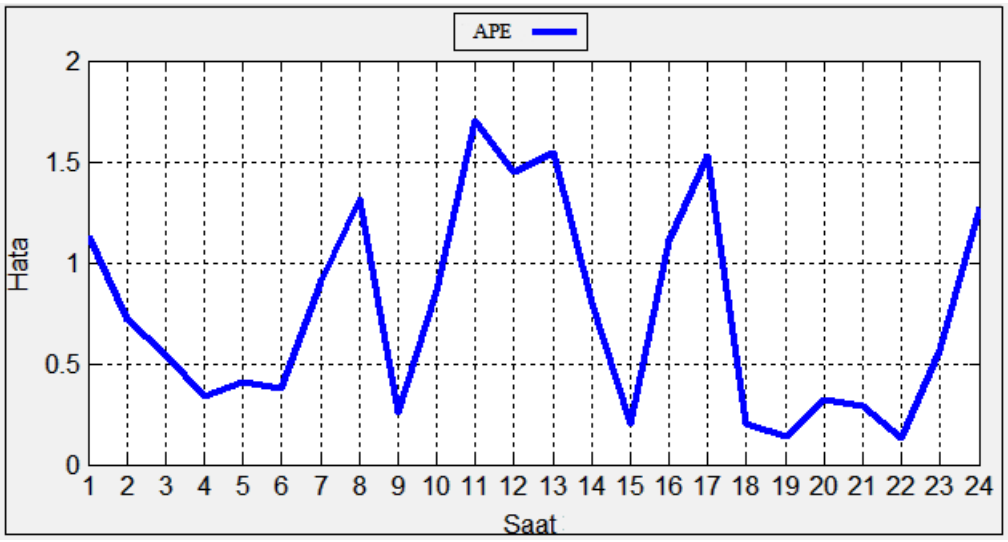
6.4. Pazar Modeli

Sistemin geçmiş yük girişi için 2, sıcaklık farkı girişi için 2 ve mevsim girişi için de 4 üyeliğe sahip trim(üçgen) fonksiyonları kullanılmıştır. Epoc sayısı olarak 10 seçilmiştir.

Pazar modelinde tüm Pazar günlerinin her saati için tahminde bulunulmuştur. Şekil 6.13.'de en iyi tahmin günü olan 22.01.2012 pazar gününe ait gerçek ve tahmin yük değerleri gösterilmiştir. Şekil 6.14.'de ise aynı günün APE hata değerleri gösterilmiştir. En iyi tahmin gününün MAPE değeri ise 0.75 olarak bulunmuştur.

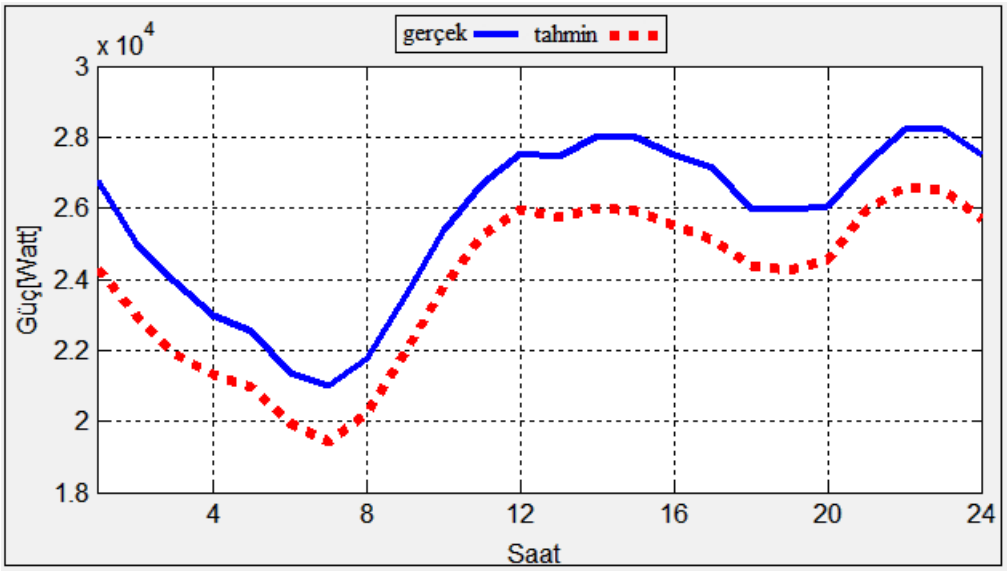


Şekil 6.13. Pazar modeli en iyi tahmin gününe ait gerçek ve tahmin değerleri (22.01.2012)

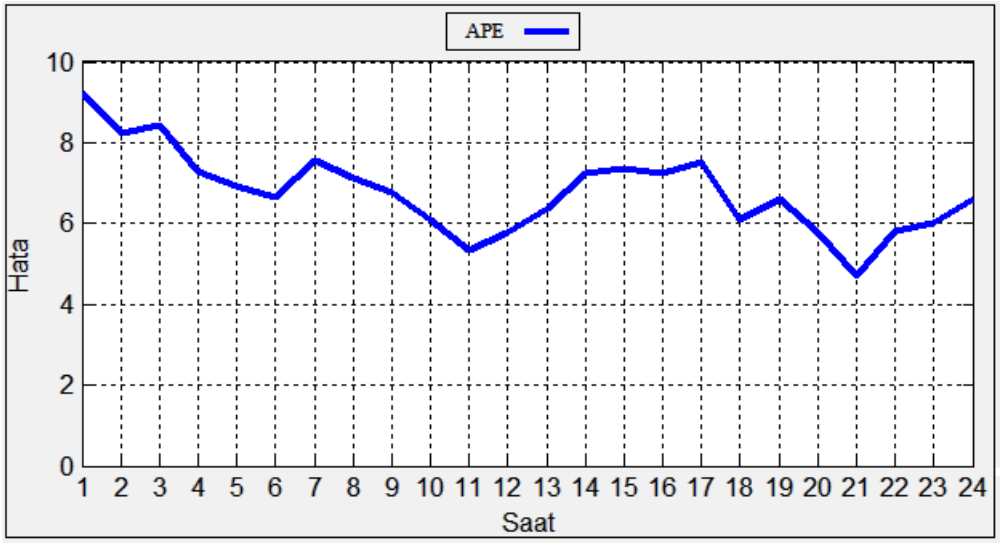


Şekil 6.14. Pazar modeli en iyi tahmin gününe ait APE değerleri (22.01.2012)

Şekil 5.21.'de en kötü tahmin günü olan 22.08.2012 Çarşamba gününe ait gerçek ve tahmini yük değerleri gösterilmiştir. Şekil 5.22.'de ise aynı günün APE değerleri gösterilmiştir. En kötü tahmin gününün MAPE değeri ise 6.78 olarak bulunmuştur.



Şekil 6.15. Pazar modeli en kötü tahmin gününe ait gerçek ve tahmin değerleri (17.06.2012)



Şekil 6.16. Pazar modeli en kötü tahmin gününe ait APE değerleri (17.06.2012)

Resmi tatil günleri hariç 2012 yılının tüm pazar günleri için MAPE ve RMSE hata değerleri Çizelge 6.4.'de gösterilmiştir.

Çizelge 6.4. Pazar modeli sonuçları

	PAZAR	
YIL	**MAPE**	**RMSE**
2012	2,31	3,55

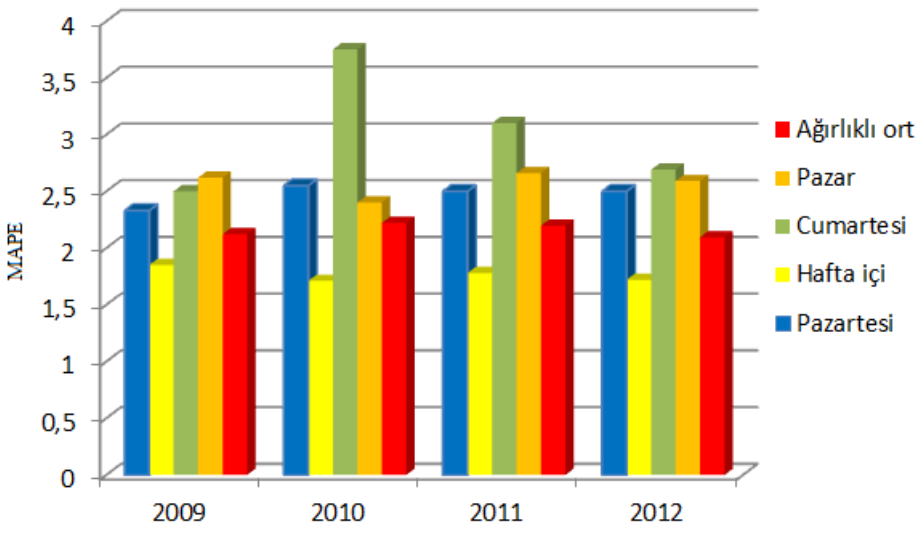
7. SONUÇLARIN KARŞILAŞTIRILMASI

7.1. Bulanık Mantık Tahminleri

Önceki bölümlerde bahsedildiği gibi bulanık mantık modellerinin kural tabanları ve üyelik fonksiyonları, 2009-2011 yılları arasındaki veriler kullanılarak tasarlanmıştı. 2012 yılı verileri ile de sistem denenmiştir. Çizelge 7.1.'de tüm yıllar için bulanık mantık MAPE hata değerleri gösterilmiştir. Şekil 7.1.'de ise Çizelge 7.1.'deki değerler grafik olarak gösterilmiştir. Hafta içi modelindeki günlerin(Salı-Çarşamba-Perşembe-Cuma) sayısı dört iken diğer modellerindeki gün sayısı birdir. Ağırlıklı ortalama hata hesaplanırken bu göz önünde bulundurulmuştur.

Çizelge 7.1. Tüm yıllar için bulanık mantık ortalama mutlak yüzde hataları (MAPE)

BULANIK MANTIK				
GÜN TİPİ	**2009**	**2010**	**2011**	**2012**
Pazartesi	2,33	2,55	2,50	2,50
Hafta içi	1,85	1,71	1,78	1,72
Cumartesi	2,5	3,75	3,1	2,69
Pazar	2,62	2,4	2,66	2,59
Ağırlıklı ort	2,12	2,22	2,20	2,10



Şekil 7.1. Tüm yıllar için bulanık mantık ortalama hata değerleri

Çizelge ve şekle bakıldığında hafta içi modelinin hata değerlerinin diğer modellere göre daha düşük olduğu görülebilir. Pazartesi modeli hata oranı ise, hafta içi modelinden yüksek diğer modellerden ise düşüktür. Cumartesi modelinin hata oranı 2010-2011 yıllarında pazar modeli hata oranından yüksekken, 2009 ve 2012 yılların çok az bir farkla düşüktür. Modellerin ağırlıklı ortalaması alındığında ise, 2009 ve 2012 yılları hatalarının diğer yıllara göre daha düşük olduğu görülmüştür.

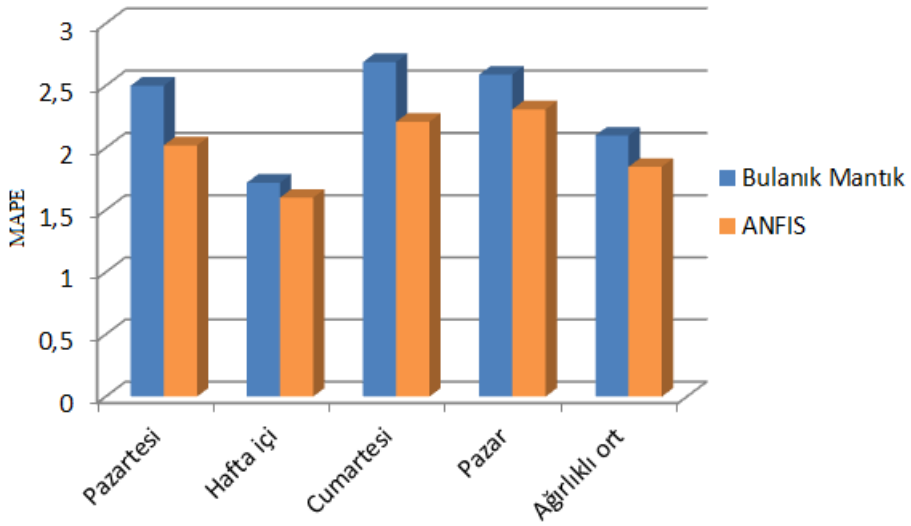
7.2. Sonuçların Değerlendirilmesi

ANFIS metodunda üyelik fonksiyonlarının sayısı ve çeşidi, 2009-2011 yılları arasındaki veriler eğitilerek bulunmuştur. 2012 yılı verileri ise test verileri olarak kabul edilmiştir. Böylece ANFIS metoduyla sadece 2012 yılı hata değerleri elde edilmiştir.

Çizelge 7.2.'de 2012 yılının bulanık mantık ve ANFIS'in MAPE hata değerleri gösterilmiştir. Şekil 7.2.'de ise Çizelge 7.2.'deki değerler grafik olarak gösterilmiştir. Çizelge ve şekilden anlaşılacağı üzere, ANFIS metodunun hata değerlerinin bulanık mantık metodunun hata değerlerine göre daha düşük olduğu görülmektedir. Resmi tatil günleri hariç 2012 yılının tüm günleri için ortalama mutlak yüzde hata değeri bulanık mantık ve ANFIS metotlarıyla sırasıyla 2.1 ve 1.85 olarak bulunmuştur.

Çizelge 7.2. 2012 yılı için bulanık mantık ve ANFIS ortalama hataları

	Bulanık Mantık	ANFIS
GÜN TİPİ	2012	2012
Pazartesi	2,5	2,02
Hafta içi	1,72	1,6
Cumartesi	2,69	2,21
Pazar	2,59	2,31
Ağırlıklı ort	2,10	1,85



Şekil 7.2. 2012 yılı için bulanık mantık ve ANFIS ortalama hata değerleri

8. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

8.1. Sonuçlar

Elektrik yük tahmini çok uzun zamandan beri üzerinde çalışılan bir konudur. Bu konuda ilk zamanlarda istatistiksel yöntemler çoğunlukla kullanılırken, yapay zeka alanında yeni yöntemlerin ortaya çıkmasıyla yapay zeka sistemlerinin kullanımı ağırlık kazanmıştır.

Elektrik yük tahmini yapılmadan önce geçmiş yük verisinin analizi iyi yapılmalıdır. Geçmişe ait yük verisinin fazla olması iyi bir tahmin modelinin oluşturulmasında yardımcı olabilir. Her ülkenin, her ilin farklı yük karakteristikleri vardır. Örneğin Fransa'da elektrik tüketiminin en fazla olduğu mevsim kış iken Türkiye'de ise yaz mevsimidir. Öncelikle modelde kullanılacak verilerin neler olması gerektiği kararlaştırılmalıdır. Bundan sonra ise tahmin işleminde kullanılacak yönteme geçilir. Bütün yük profillerinde başarılı sonuçlar veren süper bir metot yoktur. Veriler çeşitli metotlarda denenerek en iyi sonucu veren metot kullanılmalıdır.

Günümüzde elektrik yük tahmininde hibrit metotlar da kullanılmaktadır. Çeşitli yapay zeka uygulamalarının birleşiminden oluşan ya da hem yapay zeka hem de istatiksel metotlardan oluşan hibrit metotlar kullanılmaktadır. Hatta yükün profili çıkarılarak yükün bir kısmı için bir yöntem, diğer bir kısmı için başka bir yöntem kullanımı da yapılmıştır.

Gün öncesi saatlik kısa dönem yük tahmini, Türkiye'de her gün elektrik dağıtım firmaları ve büyük yük tüketicileri tarafından yapılmakta ve bu tahminler PMUM'a gönderilmektedirler. Üreticilerde de aynı şekilde ertesi günün saatlik üretebilecekleri yük değerlerini saat bazlı fiyatlarını PMUM'a göndermektedirler. PMUM ise tüketim tahmin değerlerine bakarak, üreticilerin en ekonomik şekilde çalışmasını sağlayacak şekilde elektrik piyasasını yönetir. Dağıtım firmaları ve büyük tüketicilerin tahmin ettikleri yükten belirlenen sınır oranlarından daha az ya da daha çok yük tüketmeleri durumunda çeşitli yaptırımlarla karşı karşıya kalabilmektedirler. Bu bakımdan yük tahmininin doğruluğu hem dağıtım şirketlerini yaptırımlardan kurtarırken Türkiye'nin elektrik üretim-tüketim dengesinin korunmasında da önemli bir rol oynar.

Bu çalışmada Türkiye'nin 2009-2011 yıllarına ait elektrik tüketim ve sıcaklık verileri kullanılarak, 2012 yılının elektrik yük tahmini bulanık mantık ve ANFIS metotları kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Giriş olarak geçmiş elektrik yükü, sıcaklık farkı ve mevsim seçilmiştir. Türkiye'nin saatlik elektrik tüketim grafiğindeki günlük ritimlere bakılarak günler pazartesi, hafta içi, cumartesi, pazar ve tatil günleri olarak çeşitli gün tiplerine ayrılmışlardır. Bu çalışmada 2012 yılı için tatil günleri hariç bütün gün tipleri için tahmin yapılmıştır. Sıcaklık farkı tahmin edilecek günün sıcaklığından geçmiş sıcaklık değerinin çıkarılması ile bulunur. Türkiye'nin geniş bir yüz ölçümüne sahip olmasından dolayı bölgeler arasında sıcaklık farkları meydana gelmektedir. Sıcaklık değerlerinin tek bir noktadan alınması yerine elektrik tüketimin en fazla olduğu 5 noktanın sıcaklık değerlerinin ortalaması alınarak, Türkiye'nin sıcaklık değeri elde edilmiştir. Sıcaklık değişimine göre yükün tepkisi mevsimlere göre değişmektedir. Genel olarak sıcaklık artışı kış mevsiminde yük değerini azaltırken, yaz mevsiminde ise yük değerini artırmaktadır. Bu nedenle mevsim de bir giriş olarak seçilmiştir. Sıcaklık artışı aynı gün içinde farklı yük değerlerine farklı etkiler yapmaktadır. Örneğin yaz mevsiminde sıcaklık artışının olduğu bir gün için, sıcaklığın yüke etkisi saat 01:00 iken farklı, saat 12:00 iken farklı olacaktır. Bu gibi farklılıklar bulanık mantık kural tabanı çıkarılırken göz önüne alınmıştır.

2009-2011 arası veriler modellerinin oluşturulmasında kullanılırken, 2012 verileri ise gerçekleştirilen modellerin uygunluğunu test etmek amacıyla kullanılmıştır. Çizelge 8.1.'de 2012 yılı için tahmin hataları MAPE ve RMSE verilmiştir. Resmi tatil günleri hariç 2012 yılı için MAPE değerleri bulanık mantık metodunda 2.10 bulunurken, ANFIS metodunda ise 1.85 bulunmuştur.

Hata değerleri incelendiğinde ANFIS metodunun bulanık mantığa göre daha iyi sonuçlar verdiği görülebilir. Bunun nedeni ANFIS metodunun yapay sinir ağlarının öğrenme yeteneğiyle bulanık mantığın birleşiminden oluşmasıdır. Ayrıca hafta içi günlerin diğer günlere göre daha düşük hata değerine sahip olduğu görülebilir. Bu günlerin peşi sıra gelmesinden dolayı yük eğrisindeki eğilimin yakalanması kolaylaşmıştır. Sonuç olarak hata değerlerinin düşük olması modellemenin doğruluğunu göstermektedir.

Çizelge 8.1. 2012 yılı için ortalama tahmin hataları

	BULANIK MANTIK		ANFIS	
	MAPE	RMSE	MAPE	RMSE
PAZARTESİ	2,50	4,14	2,02	3,66
HAFTA İÇİ	1,72	3,21	1,6	3,01
CUMARTESİ	2,69	4,68	2,21	3,81
PAZAR	2,59	3,72	2,31	3,55
AĞIRLIKLI ORT	2,10	3,63	1,85	3,29

8.2. Öneriler

Yük tahminindeki hataları azaltmak için çeşitli işlemlerde yapılabilir. Resmi tatil günlerinden özellikle dini ve milli bayram günlerinden bir gün önce ve bir gün sonra çekilen yükler değişiklikler göstermektedir. Bu günler farklı bir gün tipi olarak belirlenerek daha az hata oranına ulaşılabilir. Diğer bir öneri ise bazı çalışmalarda yapıldığı gibi gün tiplerini ayrıca mevsimlere göre ayırma şeklinde işlemler yapılabilir (Örneğin kış-pazartesi modeli). Böyle uygulamalar yapılırken hata oranları düşürebilirken, sistemin karmaşıklığı artarak ve sistemin modellenmesi zorlaşır.

Gelecek yıllarda Akıllı Şebeke kavramının uygulamaya daha fazla geçmesiyle birlikte, yük tahminleri artık şebekenin tümü için değil şebekenin tek bir noktası için belirli periyotlarda yapılacaktır. Günümüzde şebekenin tek bir noktası için yük tahminin yapıldığı çalışmalar da mevcuttur.

KAYNAKLAR

Aksel, F., 2000, Regresyon analizi ve yapay sinir ağı yöntemleri ile uzun dönem yük tahmini, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 10-11

Cancelo, J.R., Espasa, A. and Grafe, R., 2008, Forecasting the electricity load from one day to one week ahead for the Spanish system operator, *Intelligent Journal of Forecasting*, 24, 588-602

Ceylan, G., 2004, Yapay sinir ağları ile kısa dönem yük tahmini, , Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 7-11

Çilliyüz, Y., 2006, Yapay sinir ağları ile çevre koşulları etkili bölgesel yük tahmini, Yüksek Lisans Tezi, *Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Kocaeli, 10-11

Çomak, E., 2004, Destek Vektör Makineleri Çoklu Sınıf Problemleri İçin Çözüm Önerileri, Yüksek Lisans Tezi, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya, 8-9

Dordonnat, V., Koopman, S.J., Ooms, M., Dessertaine, A. and Collet,J., 2008, An hourly periodic state space model for modelling French national electricity load, *Intelligent Journal of Forecasting*, 24, 566-587

Demirel, Ö., 2009, ANFIS ve ARMA Modelleri ile Elektrik Enerjisi Yük Tahmini, Yüksek Lisans Tezi, *Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 49-54

Elmas, Ç., 2003(a), Yapay Sinir Ağları, *Seçkin Yayınları*, Ankara, 22-45

Elmas, Ç., 2003(b), Bulanık Mantık Denetleyiciler, *Seçkin Yayınları*, Ankara, 24-30

EPDK, 2009, Elektrik Piyasası Dengeleme ve Uzlaştırma Yönetmeliği, Ankara

Erkmen, I. and Ozdogan, A., 1997, Short term load forecasting using genetically optimized neural network casceded with a modified kohonen clustering process, *12th IEEE International Symposium on Intelligent Control*, Istanbul

Eşiyok, E., Hocaoğlu, A.T. ve Dumanlı, M., 1995, Güç sistemlerinde yapay sinir ağları ile yük tahmin analizi, *Elektrik Mühendisliği 6. Ulusal Kongresi*, Bursa, 69-72

Fan, S. and Hyndman, R.J., 2012, Short-Term load forecasting based on a semi-parametric additive model, *IEEE Transactions on Power Systems*, 27, 134-141

Feinberg, E.A., 2005, Load forecasting, *Power Electronics and Power Sysytems*, 269-285

Feng, L., He, J., Kong, Q., and Guo,L., 2006, Application of multi-objective algorithm based on particle swarm optimization in electrical short-term load forecasting, *International Conference on Power System Technology*, Chongqing

Gürsoy, E., 2000, Yük tahmini yöntemleri ve Çukurova Elektrik A.Ş., Kepez Elektrik T.A.Ş. bölgelerine uygulanması, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 6-7

Keleş, M.S., 2005, Elektrik enerjisi talep tahminleri ve Türkiye ekonomisine olan etkileri, Hazine Uzmanlık Tezi, *Hazine Müsteşarlığı,* Ankara, 2-3

Kenç, N., 1998, Yük tahmini ve Beyoğlu bölgesine uygulanması, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 14-16

Koo, B.G., Kim, M.S., Kim, K.H., Lee, H.T., Park, J.H. and Kim, C.H., 2013, Short-term electric load forecasting using data mining technique, *Conference on Intelligent Sysytems and Control*, 7, 807-813

Mamlook, R., Badran, O. and Abdulhadi, E., 2009, A fuzzy inference model for short-term load forecasting, *Energy Policy*, 37, 1239-1248

Mıshra, S., 2008, Short Term Load Forecasting Using Computational Intelligence Methods, Master Thesis, *Rourkela International Technology Institute*, 4-5

Özdemir, D., 2011, Yapay sinir ağları ile Kocaeli ilinin puant yük tahmini, Yüksek Lisans Tezi, *Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Kocaeli, 4-5

Pandian, S.C., Duraiswamy, K., Rajan, C.A. and Kanagaraj, N., 2006, Fuzzy approach for short term load forecasting, *Electric Power Sysytem Research*, 76, 541-548

Papadakis, S.E., Theocharis, J.B. and Bakirtzis, A.G., 2003, A load curve based fuzzy modelling technique for short-term load forecasting, *Fuzzy Sets and Systems*, 135, 279-303

Shu, D., 2009, Short-term load forecasing using system-type neural network architecture, Master Thesis, *Baylor University*, 1-2

Soares, L.J., and Medeiros, M.C., 2008, Modelling and forecasting short-term electricty load: A comparision of methods with an application to Brazilian data, *International Journal of Forecasting*, 24, 630-644

Soliman, S.A. and Al-Kandari, A.M., 2010, Electrical Load Forecasting, *Elsevier*, Burlington, 79-82

Souzanchi, Z., Fanaee, H., Yaghoubi, M. and Akbarzadeh, M., 2010, A multi adaptive neuro fuzzy inference system for short term load forecasting buy using previous day features, *International Conference on Electronics and Information Engineering*, Kyoto, 54-57

Tan, E., 1997, Bulanık sinir ağı kullanarak kısa dönem yük tahmini, Yüksek Lisans Tezi, *Ortadoğu Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, , Ankara, 6-8

Toker, A.C. ve Korkmaz, O., 2011, Türkiye'nin kısa süreli elektrik talebinin saatlik olarak tahmin edilmesi, *17.Uluslararası Enerji ve Çevre Konferansı*, İstanbul, 32-35

Topalli, A.K. and Erkmen, I., 2003, A hybrid learning for neural networks applied to short term load forecasting, *Neurocomputing*, 51, 495-500

Topalli, A.K. and Erkmen, I., 2003, Four methods for short-term load forecasting using benefits of artifical intelligence, *Electrical Engineering*, 85, 229-233

Topallı, A.K., Erkmen, I. and Topalli, I., 2006, Intelligent short-term load forecasting in Turkey, *Electrical Power & Energy Systems*, 28, 437-447

Ünver, Ö. ve Gangam, H., 2008, Uygulamalı Temel İstatistik Yöntemler, *Seçkin Yayınları*, Ankara, 285-330

Yalçınöz, T., Herdem, S. ve Eminoglu, U., 2002, Yapay sinir ağları ile Niğde bölgesinin elektrik yük tahmini, *ELECO'2002*, Bursa, 25-29

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Hasan Hüseyin ÇEVİK
Uyruğu : T.C.
Doğum Yeri ve Tarihi : Konya, 25.06.1984
Telefon : 0505 545 53 00
e-mail : hasanhcevik@hotmail.com

EĞİTİM

Derece		Adı, İlçe, İl	Bitirme Yılı
Lise	:	Özel Enderun Fen Lisesi, Karatay, Konya	2002
Üniversite	:	Selçuk Üniversitesi, Selçuklu, Konya	2009

Yüksek Lisans:

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görevi
2010-2011	Meta A.Ş.	Ag-Og Hat Bakım Mühendisi
2011-…..	Selçuk Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi	Araştırma Görevlisi

UZMANLIK ALANI

Elektrik tesisleri, Yük tahmini

YABANCI DİLLER

İngilizce