

**ADAPTİF SİNİRSEL BULANIK ÇIKARIM SİSTEMİ (ANFİS) İLE
TÜRKİYE’DE ORTA DÖNEMLİ ELEKTRİK ENERJİSİ TALEP
TAHMİNİ**

Yeşim OK

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ŞUBAT 2010
ANKARA**

Yeşim OK tarafından hazırlanan ADAPTİF SİNİRSEL BULANIK ÇIKARIM SİSTEMİ (ANFIS) İLE TÜRKİYE’DE ORTA DÖNEMLİ ELEKTRİK ENERJİSİ TALEP TAHMİNİ adlı bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Yrd. Doç. Dr. Mehmet ATAK
Tez Danışmanı,
Endüstri Mühendisliği A.B.D, G.Ü.

Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği / oy çokluğu ile Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. İhsan ALP (Başkan)
İstatistik A.B.D., G.Ü.

Prof. Dr. Hadi GÖKÇEN
Endüstri Mühendisliği A.B.D., G.Ü.

Yrd. Doç. Dr. Mehmet ATAK
Endüstri Mühendisliği A.B.D., G.Ü.

Tarih :09/02/2010

Bu tez ile G.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu Yüksek Lisans derecesini onaylamıştır.

Prof. Dr. Bilal TOKLU
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada orijinal olmayan her türlü kaynağa eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

Yeşim OK

**ADAPTİF SİNİRSEL BULANIK ÇIKARIM SİSTEMİ (ANFİS) İLE
TÜRKİYE’DE ORTA DÖNEMLİ ELEKTRİK ENERJİSİ TALEP TAHMİNİ
(Yüksek Lisans Tezi)**

Yeşim OK

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
Şubat 2010**

ÖZET

Elektrik talebinin kendine özgü yapısı, talebin her an karşılanabildiği bir sistemin tasarlanmasını gerekli kılmaktadır. Elektrik enerjisinin en önemli karakteristik özelliği ise depolanamaz olmasıdır. Üretildiği anda tüketilmesi zorunluluğu, doğru ve tutarlı elektrik enerjisi talep tahmininin, optimal enerji sistemi modellenmesinde en önemli adım olmasını açıklar. Bu konu üzerine literatürde birçok çalışma yapılmıştır. Bu tez çalışmasında Türkiye’de orta dönemli brüt elektrik enerjisi talep tahmininde bulunulmuş ve bu amaçla da yapay sinir ağları ve bulanık mantık yöntemlerinin birleşiminden oluşan ANFİS (Adaptif Sinirsel Bulanık Çıkarım Sistemi) kullanılmıştır. Oluşturulan modelin performansını karşılaştırmak amacıyla da ayrıca bir regresyon analizi modeli oluşturulmuş ve elde edilen tahmin sonuçları ortalama mutlak yüzde hata kriteri üzerinden değerlendirilmiştir. Sonuç olarak ANFİS ile oluşturulan modelin başarılı ve tatmin edici bir tahmin performansı gösterdiği kanısına varılmıştır.

Bilim Kodu : 906.1.148
Anahtar Kelimeler : Orta dönemli elektrik enerjisi talep tahmini, ANFİS, sinirsel bulanık sistemler
Sayfa Adedi : 104
Tez Yöneticisi : Yrd. Doç. Dr. Mehmet ATAĞ

**MEDIUM TERM ELECTRICITY ENERGY DEMAND PREDICTION IN
TURKEY WITH ADAPTIVE NEURO FUZZY INFERENCE SYSTEM**

(ANFIS)

(M.Sc. Thesis)

Yeşim OK

GAZİ UNIVERSITY

INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY

February 2010

ABSTRACT

Due to the reasons of the specific structure of electricity demand, as electricity must be consumed as it is generated because it can not be stored, designing a system which can always meet the demand is the most important pillar of power system planning. In this context forecasting of electricity demand accurately and consistently has great importance. In the literature many studies on this subject have been made. Unlike other studies, in this thesis medium term gross electricity demand prediction for Turkey is made by using a combination of ANN (Artificial Neural Network) and fuzzy inference system which is called ANFIS. In order to measure the performance of the created model, a regression analysis model is used. Obtained estimation results are compared through the mean absolute error criteria. As a result of evaluations, it has been reached that ANFIS has provided a quite successful prediction performance.

Science Cide : 906.1.148

**Keywords : Medium term electricity energy demand prediction, ANFIS,
neuro-fuzzy systems**

Page Number : 104

Adviser : Assist. Prof. Dr. Mehmet ATAĞ

TEŞEKKÜR

Çalışmalarım boyunca değerli yardım ve katkılarıyla beni yönlendiren sayın danışman hocam Yrd. Doç. Dr. Mehmet ATAK' a, yine çalışmam boyunca engin ve kıymetli bilgisinden yararlandığım sayın hocam Prof. Dr. Ercan ÖZTEMEL'e teşekkür ederim. Ayrıca manevi destek ve katkılarıyla hep yanımda olan sevgili eşim Yakuphan OK, babam Selahattin SİNİCİ, ablam Nurdan KÜLERİ, ağabeyim Hakan SİNİCİ ve son olarak da oğlum Yusuf Alperen' e ayrı ayrı teşekkürler ederim.

Bu tez çalışmasını kısa zaman önce kaybettiğim ve derin acısıyla sarsıldığım çok kıymetli Annem, Naran SİNİCİ' nin anısına ithaf ediyorum.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET	iv
ABSTRACT	v
TEŞEKKÜR	vi
İÇİNDEKİLER.....	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	x
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	xi
SİMGELER VE KISALTMALAR	xiv
1. GİRİŞ	1
2. ELEKTRİK ENERJİSİ VE TALEBİ	4
2.1. Elektrik Enerjisinin Önemi ve Özellikleri	4
2.1.1. Türkiye'nin enerji bakımından Dünyadaki yeri	6
2.1.2. Türkiye elektrik enerjisi sisteminin yapısı	7
2.1.3. Elektrik enerjisi ile ilgili temel bazı terim ve kavramlar	8
2.1.4. Türkiye'de elektrik enerjisi arz-talep denge sisteminin işleyişi.....	10
2.2. Elektrik Enerjisi Talep Tahmininin Önemi.....	11
2.2.1. Talep tahminlerinde yapılacak hataların olası sonuçları.....	13
2.3. Elektrik Enerjisi Talebini Etkileyen Faktörler	14
2.4. Türkiye'de Elektrik Talep Tahminlerinde Kullanılan Model: MAED.....	16
2.4.1.MAED' in eksileri	19
2.4.2.Modelin hatalı tahminlerinin nedenleri.....	22
3. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI.....	24
3.1. Türkiye İçin Yapılan Enerji Tahmin Çalışmaları.....	24

Sayfa

3.2. ANFIS ile Yapılmış Tahmin Çalışmaları	29
4. TEORİK ALTYAPI.....	37
4.1.Yapay Sinir Ağları.....	37
4.1.1. Biyolojik sinir hücreleri	37
4.1.2. Yapay sinir hücresi	38
4.1.3. Yapay sinir ağının yapısı.....	40
4.1.4. Yapay sinir ağlarında öğrenme.....	41
4.1.5. Yapay sinir ağlarının genel özellikleri.....	41
4.1.6. Yapay sinir ağlarının avantajları.....	42
4.1.7. Yapay sinir ağlarının dezavantajları	43
4.2. Bulanık Mantık.....	44
4.2.1. Bulanık mantık kavramı.....	44
4.2.2. Bulanık mantığın avantaj ve dezavantajları	45
4.2.3. Bulanık modelleme ve aşamaları.....	46
4.2.4. Üyelik fonksiyonları	47
4.2.5. Bulanık çıkarım sistemi	47
5. SİNİRSEL - BULANIK SİSTEMLER.....	49
5.1. Sinirsel Bulanık Sistemlerin Tanımı	49
5.2. Sinirsel-Bulanık Sistemlerin Avantajları.....	50
5.3. Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System - ANFIS	51
5.3.1. Genel mimarisi ve işleyişi.....	52
5.3.2. Öğrenme algoritması.....	56
6. UYGULAMA.....	57

Sayfa

6.1. Modelin Genel Yapısı.....	57
6.2. Modelde Kullanılan Sosyo – Ekonomik Parametrelerin Derlenmesi	57
6.3. Modelin Oluşturulma Süreci.....	58
6.4. Izgara Bölümleme (Grid Partition) Yöntemi ile Oluşturulan Model	62
6.4.1. Izgara bölümleme yöntemi ile oluşturulan modelin tahmin sonuçları ..	69
6.5. Alt Kümeleme (Sub - clustering) Yöntemi ile Oluşturulan Model ve Tahmin Sonuçları	75
6.5.1. Alt kümeleme yöntemi ile oluşturulan modelin tahmin sonuçları	82
6.6. Çoklu Regresyon Analiziyle Brüt Elektrik Talep Tahmini	85
6.6.1. Aşamalı Regresyon Analizi ve En İyi Regresyon Modeli	89
7. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME	95
KAYNAKLAR.....	98
ÖZGEÇMİŞ	104

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 2.1. 2006 yılında Türkiye ve Dünya’da elektrik üretimi, kurulu güç ve Gayri Safi Milli Hasıla	7
Çizelge 2.2. Elektrik enerjisi kurulu güç, üretim ve tüketiminin gelişimi	8
Çizelge 2.3. Türkiye elektrik tüketiminde yıllık programlardaki sapmalar (2002-2004)	22
Çizelge 3.1. Literatür araştırması tablosu 1 - Türkiye için yapılan enerji tahmin çalışmaları	31
Çizelge 3.2. Literatür araştırması tablosu 2 – ANFIS ile yapılan enerji tahmin çalışmaları	35
Çizelge 6.1. Alternatif üyelik fonksiyonlarına karşılık gelen hata değerleri	70
Çizelge 6.2. Izgara bölümlleme (grid partition) yöntemi ile oluşturulan modelde test veri seti için ortalama hata hesaplaması	74
Çizelge 6.3. Alt kümeleme (sub-clustering) yöntemi ile oluşturulan modelde test veri seti için ortalama hata hesaplaması	84
Çizelge 6.4. Dört değişkenli regresyon modeli ile elde edilen tahmin sonuçları	92
Çizelge 6.5. İki değişkenli regresyon modeli ile elde edilen tahmin sonuçları	94

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 1.1. Uygulanan metodolojinin akış şeması.....	3
Şekil 2.1. Dünya enerji tüketimi.....	5
Şekil 2.2. Brüt ve net elektrik enerjisi talebi arasındaki ilişki.....	10
Şekil 2.3. 1970-2020 yılları arasında GSMH ve elektrik enerjisi talep artış hızları...	15
Şekil 2.4. Elektrik enerjisi talep projeksiyonlarının gerçekleşmelere göre sapma oranları	21
Şekil 4.1.(a) Biyolojik sinir hücresi ve (b) yapay sinir hücresi	37
Şekil 4.2. Sigmoid fonksiyonu	40
Şekil 4.3. Çok katmanlı bir yapay sinir ağı örneği	40
Şekil 4.4. Uzun boylu insanlar kümesinin klasik ve bulanık gösterimi.....	47
Şekil 4.5. Bulanık mantık sisteminin genel yapısı.....	48
Şekil 5.1. Sugeno bulanık modeli ve eşdeğer ANFIS mimarisi.....	53
Şekil 5.2. Uyarlamalı (adaptif) ağ tabanlı bulanık mantık çıkarım sistemi	54
Şekil 6.1. Brüt talep tahmin modeline ilişkin BÇS' nin temel yapısı.....	57
Şekil 6.2. Modelin akış şeması (a) alt kümeleme yöntemi ile (b) Izgara bölümlleme yöntemi ile.....	59
Şekil 6.3. ANFIS açılış ekranı.....	60
Şekil 6.4. Eğitim, kontrol ve test verilerinin ANFIS' e yüklenmesi	61
Şekil 6.5. Alternatif girdi /çıktı üyelik fonksiyonu tipleri.....	62
Şekil 6.6. Aşırı uyum (overfitting) noktasına bir örnek.....	63
Şekil 6.7. Sinirsel bulanık ağ modelinin eğitim süreci ve bu süreç boyunca hatanın seyri.....	64
Şekil 6.8. Izgara bölümlleme yöntemi ile oluşturulan modelin ağ yapısı.....	65

Şekil	Sayfa
Şekil 6.9. Nüfus verisine ait üyelik fonksiyonları	66
Şekil 6.10. Izgara bölümlleme yöntemi ile oluşturulan modelin çıktı fonksiyonları ..	67
Şekil 6.11. ANFIS modelinin oluşturduğu kurallar.....	68
Şekil 6.12. ANFIS’ in belirlediği kuralların grafiksel gösterimi.....	69
Şekil 6.13. Eğitim veri seti için gerçek değerlerle tahmin değerlerinin örtüşmesi.....	72
Şekil 6.14. Kontrol veri seti için gerçek değerlerle tahmin değerlerinin örtüşmesi ...	72
Şekil 6.15. Test veri seti için gerçek değerlerle tahmin değerlerinin örtüşmesi	73
Şekil 6.16. Alt kümeleme (Sub-clustering) yönteminin parametreleri.....	75
Şekil 6.17. Devir sayısını belirlemek için bir deneme	76
Şekil 6.18. Alt kümeleme yöntemi ile oluşturulan modelin yapısı	77
Şekil 6.19. Alt kümeleme yöntemi ile oluşturulan modelde nüfus girdisine ait üyelik fonksiyonları.....	78
Şekil 6.20. Alt kümeleme yöntemi ile oluşturulan modelde ithalat girdisine ait üyelik fonksiyonları.....	79
Şekil 6.21. Alt kümeleme yöntemi ile oluşturulan modelde ihracat girdisine ait üyelik fonksiyonları	79
Şekil 6.22. Alt kümeleme yöntemi ile oluşturulan sistemde GSMH girdisine ait üyelik fonksiyonları	80
Şekil 6.23. Alt kümeleme yöntemi ile oluşturulan modelin çıktı fonksiyonları	80
Şekil 6.24. ANFIS’ in belirlediği kuralların gösterimi	81
Şekil 6.25. ANFIS’ in belirlediği dört kuralın grafiksel gösterimi.....	81
Şekil 6.26. Eğitim aşaması için gerçek sonuçlar ile model sonuçlarının karşılaştırılması	82
Şekil 6.27. Kontrol aşaması için gerçek sonuçlar ile model sonuçlarının karşılaştırılması	83

Şekil	Sayfa
Şekil 6.28. Test aşaması için gerçek sonuçlar ile model sonuçlarının karşılaştırılması	83
Şekil 6.29. Alt kümeleme yöntemi ve ızgara bölümlene yöntemi ile oluşturulan modellerde değişkenler arası üç boyutlu ilişki	85
Şekil 6.30. MİNİTAB veri giriş sayfası.....	86
Şekil 6.31. Regresyon analizi	87
Şekil 6.32. Çoklu regresyon analizi işlem penceresi	87

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış simge ve kısaltmalar açıklamaları ile aşağıda verilmiştir.

Kısaltmalar	Açıklama
ANFIS	Adaptive neuro fuzzy inference system (Adaptif sinirsel bulanık çıkarım sistemi)
YSA	Yapay sinir ağları
ANN	Artificial neural network
BÇŞ	Bulanık çıkarım sistemi
MAED	Model for analysis of energy demand (Enerji talep analizi modeli)
OECD	Organization for Economic Cooperation and Development (Ekonomik İşbirliği Kalkınma Örgütü)
TEİAŞ	Türkiye Elektrik İletim Anonim Şirketi
GUI	Graphical user interface (Grafiksel kullanıcı Arayüzü)
IEA	International Energy Agency
ARIMA	Auto regressive integrated moving average
RMSE	Root mean square error
GSMH	Gayri safi milli hasıla
ETKB	Enerji ve Tabi Kaynaklar Bakanlığı

1. GİRİŞ

Nihai enerji tüketimindeki payı sürekli yükselen yegâne enerji kaynağı, elektrik enerjisine yönelik talep, küresel ekonomik büyümeye paralel olarak, her geçen gün hızlı bir şekilde artmaya devam etmektedir.

Elektriğin kaliteli, güvenilir, kullanım alanı oldukça geniş, hızla iletilebilen, ihtiyaç duyulduğu anda üretilip eş zamanlı olarak tüketilebilen, çevreye zararsız ve verimli bir enerji kaynağı olması gibi avantajlarının yanı sıra dezavantajları da vardır. Bunlar arasında depolanamaması, talebin oldukça dalgalı olması, fiziksel akışının doğru biçimde izlenmesinin ve ölçülmesinin teknik olarak sağlanamaması halinde suiistimallere açık hale gelmesi ve üretilmesinde jeolojik, coğrafi ve iklimsel koşullar ile ülkelerin birincil enerji kaynakları açısından yeterlilik ve dışa bağımlılık seviyelerinin büyük önem taşıması gibi kritik bazı özellikler de gösterilebilir.

Elektrik enerjisinin depolanamaması ve üretiminin yüksek maliyetler gerektirmesi nedeniyle, talebin her an kaliteli bir biçimde karşılanabildiği bir sistemin tasarlanması büyük önem taşımaktadır.

Elektrik talebi, bölgesel olarak mevsimlik, günlük ve saatlik farklılıklar göstermektedir. Talebin kendine özgü bu yapısı ve elektrik enerjisinin depolanamaması nedeniyle, yük-talep eğrisine en iyi şekilde cevap verecek optimal bir üretim sistemini gerektirmektedir. Bu bağlamda *elektrik enerjisi talep tahminlerinin en doğru ve tutarlı bir şekilde yapılması optimal bir sisteme ulaşılmasında en önemli basamaklardandır.*

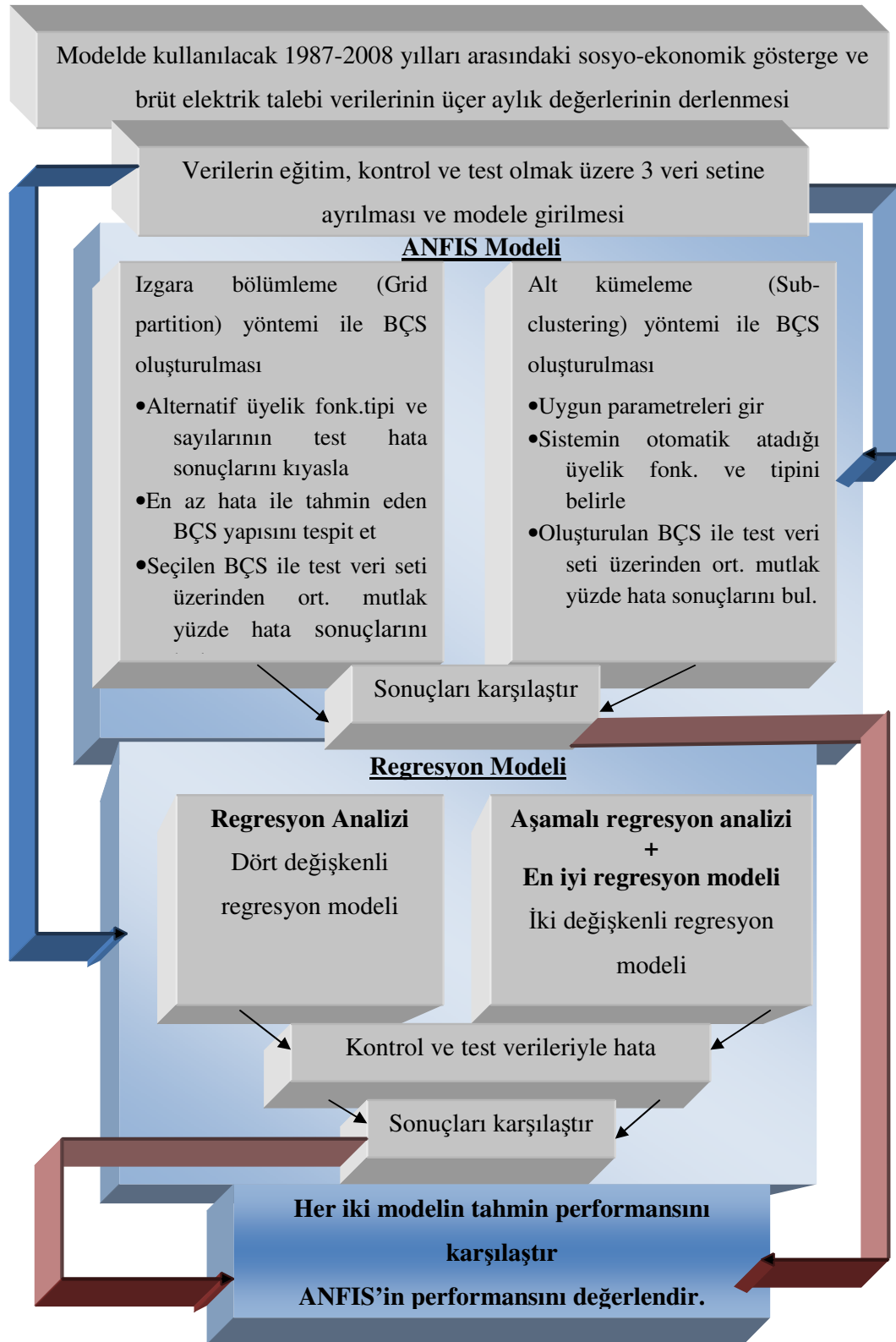
Bu amaca ulaşmak için hem Devlet tarafından yürütülen hem de akademik anlamda yapılan pek çok çalışma mevcuttur. Ülkemizdeki ekonomik, sosyal, kültürel gelişmişlik ve koşullar dikkate alınarak, ETKB tarafından çeşitli etkenler göz önüne alınarak uzun dönem yıllık talep tahminleri yapılır. Yıllık talep tahminleri temel alınarak aylık tüketim tahminleri hazırlanır. Aylık tahminlerden yola çıkarak günlük tüketim tahminleri yapılır. Literatürde genellikle kısa dönemli elektrik yük tahmini

veya uzun dönemli yıllık talep tahmini çalışmalarına rastlanmaktadır. Bu tez çalışmasında diğer çalışmalardan farklı olarak üçer aylık dönemlere ait orta dönemli talep tahmininde bulunulmuştur.

Yapılan literatür araştırması neticesinde doğrusal olmayan ve karmaşık süreçlerin modellenmesi ve çözümlenmesinde günümüzde sıkça kullanılan Yapay Zeka Tekniklerinden Bulanık Mantık ve Yapay Sinir Ağları tekniklerinin birlikte kullanıldığı bir yöntem olan ANFIS (*Adaptif Sinirsel Bulanık Çıkarım Sistemi*) 'in Türkiye'nin elektrik enerjisi talep tahmini çalışmalarında kullanılmadığı görülmüştür. Bu yöntemin tahmin etmedeki gücü göz önünde bulundurularak, bu tez çalışmasında yukarıda belirtilen amaçla kullanılmasına karar verilmiştir.

Ayrıca oluşturulan modelin tahmin performansını kıyaslamak maksadıyla da aynı veriler kullanılarak, geleneksel istatistik yöntemlerinden çoklu regresyon analizi ile de talep tahminin de bulunulmuştur.

Uygulanan metodolojinin akış şeması Şekil 1.1'deki gibidir.



Şekil 1.1. Uygulanan metodolojinin akış şeması

2. ELEKTRİK ENERJİSİ VE TALEBİ

2.1. Elektrik Enerjisinin Önemi ve Özellikleri

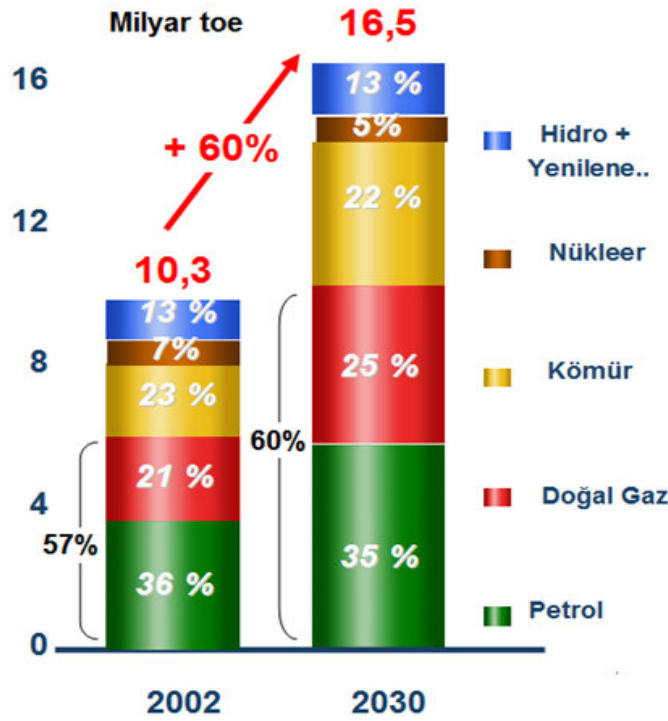
İnsanlık tarihi boyunca enerji, ekonomik ve toplumsal kalkınmanın en temel araçlarından biri olmuştur. Gerek ulusal gerekse uluslararası alanda üzerinde en çok durulan konulardan biri olan enerji, uluslar için giderek artan yaşamsal niteliği ile zaman zaman sıcak çatışmalara varan sorunlara yol açmıştır. Günümüzde, enerji kıtlığı, gelişmiş ülkeler için yaşam kalitesinin düşmesi, gelişmekte olan ülkeler için ise yoksulluk anlamına gelmektedir. Enerji kaynaklarının gelişimi incelendiğinde; Sanayi Devrimi ile beraber kömürün, daha sonra petrol ve doğal gazın dünya ekonomileri üzerindeki belirleyici konumları çarpıcıdır.

Her ne kadar yeni ve yenilenebilir kaynaklar üzerindeki enerji teminine yönelik araştırma ve çalışmalar sürdürülmekteyse de, fosil kaynakların söz konusu ağırlıklarını bugün de devam ettirdikleri açıktır. Dünyadaki tüketilen enerjinin % 36'ı petrolden, % 28'i kömürden, % 24'ü doğal gazdan sağlanıyor. Bu rakamlar fosil yakıtların dünyadaki enerji ihtiyacının % 88'ini karşıladığını göstermektedir. Uluslararası Enerji Ajansı, Dünya Enerji Konseyi, Amerikan Enerji Bakanlığı gibi önde gelen kuruluşların analizlerine bakıldığında, 2030 yılında yine bu üç fosil yakıtın enerji ihtiyacının % 85'ini karşılayacağı öngörülmektedir [1].

Enerji kaynakları, birincil ve ikincil enerji kaynakları olarak ikiye ayrılmaktadır: Birincil enerji kaynakları; kömür, petrol, doğal gaz, radyoaktif maddeler, rüzgar, hayvansal ve bitkisel atıklar, güneş ve hidrolik enerji gibi, başka kaynaklar tüketilmeden kendiliğinden var olan ve gerektiğinde doğrudan kullanılabilen kaynaklardır. Havagazı, elektrik ve buhar enerjisi örneklerinde olduğu gibi, ikincil enerji kaynaklarının elde edilebilmeleri içinse birincil enerji kaynaklarının kullanımına ihtiyaç duyulmaktadır.

Günümüzde, “enerji” denildiğinde akla ilk olarak elektrik enerjisi gelmesine karşın, halen özellikle ısınma ve ulaştırma sektörlerindeki sınırlı kullanımı nedeniyle,

elektriğin nihai enerji tüketimindeki payı tahmin edildiğinden daha düşüktür. Bununla birlikte, elektrik enerjisinin dünya nihai enerji tüketimindeki payı 1971’de %9,0 iken, 2002’de %16,1’e ulaşmış olup, bu oranın artmaya devam ederek 2030 yılında %20,2’ye ulaşması beklenmektedir (Şekil 2.1). Elektrik enerjisi, bu özelliğiyle, nihai tüketimdeki payı sürekli olarak artan yegâne enerji çeşididir.



Şekil 2.1. Dünya enerji tüketimi

Elektrik enerjisi, aydınlatmadan ısınmaya, televizyonlardan bilgisayarlara kadar son derece yaygın kullanım alanı ile insan yaşamı için vazgeçilmez olduğu kadar, genel ekonomi içerisindeki üretim, ulaştırma-dağıtım ve iletişim faaliyetleri bakımından da olmazsa olmaz konumuna erişmiştir.

Elektrik enerjisi santralleri, kullanılan ilk enerji tipine göre şöyle sınıflandırılırlar:

- ✓Termik santraller
- ✓Nükleer santraller

✓Hidrolik santraller

Elektrik enerjisi üretiminde, termik santrallerde; kimyasal yakıtlardaki (kömür, doğal gaz, fuel oil) ısı enerjisi, hidrolik santrallerde; sudaki potansiyel enerji ve nükleer santrallerde ise nükleer fizyondan elde edilen ısı enerjisi kullanılmaktadır.

2.1.1. Türkiye'nin enerji bakımından Dünyadaki yeri

Türkiye'deki enerji ihtiyacının %52'si ithalatla karşılanmaktadır ve ithalatın oranı giderek artmaktadır. OECD ülkeleri arasında Türkiye'nin 1995'te %2 olan üretim oranının 2020'de %7'ye çıkması beklenmektedir. Türkiye'nin birincil enerji kaynakları kömür, linyit, asfaltit, hidrolik, petrol, doğalgaz, jeotermal, güneş enerjisi ve hayvan-bitki artıklarıdır. Kömür halen en büyük yakıt kaynağıdır ve enerji kullanımının yarısını petrol ve doğalgaz oluşturur. Doğalgaz enerji kullanımında %12'lik paya sahipken, petrol %44'le en büyük paya sahiptir. Ancak doğalgaz ve petrol rezervleri oldukça sınırlıdır. Petrol ve doğalgazın birincil enerji üretimindeki payları sırasıyla %13 ve %1'dir. Linyit ise birincil enerji üretiminin %43'ü ile en büyük paya sahiptir [2].

Enerji talebindeki hızlı artış Türkiye'yi yabancı enerji tedarikçilerine bağımlı hale getirmektedir ve 21. yüzyılda enerji kıtlığı olasılığını doğurmaktadır [2]. Türkiye'nin ithal kaynaklara olan bağımlılığı gelişiminin istikrarı açısından önemli bir engeldir. Türkiye ithalci konumdan çıkmak için geleneksel enerji kaynaklarını kullanmak yerine yenilenebilir enerji kaynaklarını kullanmalıdır [3].

Türkiye'deki 2006 yılı elektrik üretimine bakıldığında (Bkz. Çizelge 2.1) Dünya'daki toplam elektrik üretiminin %1,21'i Türkiye tarafından gerçekleştirilmiştir. Kişi başına düşen elektrik üretimi de dünya ortalamasının üzerindedir. Dünyadaki toplam kurulu gücün %1,07'sini oluşturan Türkiye kişi başına kurulu güçte dünya ortalamasının altındadır. Ekonominin elektrik yoğunluğuna bakıldığında ise Türkiye'de bu oran dünya ortalamasının %17 üzerindedir. Türkiye ekonomik olarak büyümedikçe bu oranın düşmesi beklenemez. Çizelge 2.1'de de görüldüğü gibi

Türkiye elektrik üretiminde kişi başına 2400 kWh ile dünya ortalamasının üzerindedir ancak OECD ülkeleri arasında sonuncudur.

Çizelge 2.1. 2006 yılında Türkiye ve Dünya’da elektrik üretimi, kurulu güç ve Gayri Safi Milli Hasıla

	Nüfus (milyon)	ELEKTRİK ÜRETİMİ		KURULU GÜÇ		GSMH		
		Toplam (milyar kWh)	Kişi başına ortalama yıllık (kWh)	Toplam (GW)	Kişi başına (W)	Toplam (milyar \$)	Kişi başına (\$)	Ekonominin elektrik yoğunluğu (kWh/\$)
DÜNYA	6400	14300	2234	3641	569	35000	5470	0,41
TÜRKİYE	72	173,1	2400	38,3	539	360	5000	0,48
Türkiye’nin Dünyadaki payı	%1,12	%1,21	%1,07	%1,07	%0,95	%1,03	%91	%117

2.1.2. Türkiye elektrik enerjisi sisteminin yapısı

2007 yılında Türkiye elektrik sisteminin kurulu gücü 40836 MW’ dır. Üretim kapasitesi ise 200 bin GW’ i aşmış bulunmaktadır. Kurulu gücün 27420 MW (%67,6) termik, 13145 MW’ ı (%32,4) hidrolik ve yenilenebilir kaynaklardan oluşmaktadır. 2020 yılı için söz konusu kalemler itibarıyla ulaşılması gereken hedefler, sırasıyla 105 bin MW ve 605 bin GW olarak belirlenmiştir [5].

Türkiye enerji kaynakları açısından, ne yazık ki kendisine yeterli bir ülke değildir. (Bkz. Çizelge 2.2.) Petrolü yok denecek kadar az, hidroelektrik kaynakları nispeten bol, ama yetersiz, 6 milyar tona varan linyit rezervleri ise kalitesizdir [5].

Türkiye hâlihazırdaki elektrik üretiminin yüzde 40’ını kendi hidrolik, yüzde 37’sini kendi linyit kaynaklarından, yüzde 20’sini de ithal doğal gazdan sağlamaktadır. Türkiye, 1980’lerin başında hidroelektrik potansiyelinin ancak yüzde 15’ini

kullanırken, bugün yüzde 30'unu devreye sokmuş bulunmaktadır. 2010 yılına kadar bu oranın yüzde 65'e, 2020 yılında da yüzde 80'e çıkarılması tasarlanmaktadır [5].

Çizelge 2.2. Elektrik enerjisi kurulu gücü, üretim ve tüketiminin gelişimi

	1990	1995	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006
KURULU GÜÇ (MW)	16318	20954	27264	28332	31846	35587	36824	38844	40565
ÜRETİM (GWh)	57543	86247	124922	122725	129400	140581	150698	161956	176300
İTHALAT (GWh)	176		3791	4579	3588	1158	464	636	573
İHRACAT (GWh)	907	696	437	433	435	588	1144	1798	2236
BRÜT ARZ (GWh)	56812	85551	128276	126871	132553	141151	150018	160794	174637
ARTIŞ (%)		8,5	8,3	-1,1	4,5	6,5	6,3	7,2	8,6
NET TÜK. (GWh)	46820	67394	98296	97070	102800	111766	121142	130263	142216
ARTIŞ (%)		7,6	7,8	-1,2	5,9	8,7	8,4	7,5	9,1
KİŞİ BAŞ.NET TÜK. (kWh)	834	1092	1449	1416	1479	1581	1687	1808	1961
KİŞİ BAŞ.BRÜT TÜK. (kWh)	1012	1386	1891	1851	1904	1996	2090	2231	2393

2.1.3. Elektrik enerjisi ile ilgili temel bazı terim ve kavramlar

Kurulu güç

Bir elektrik üretim tesisinin birim zamanda üretebileceği enerji miktarı olup, Watt ve bin katları [kW(KiloWatt), MW(MegaWatt), GW(GigaWatt), TW(TerraWatt)] cinsinden ifade edilmektedir.

Üretim kapasitesi

Bir santralin normal koşullar altında bir yılda üretebileceği elektrik enerjisi miktarıdır.

$$\text{Üretim Kapasitesi (MW)} = [\text{Kurulu Güç (MW)}] * [\text{Ortalama Verim Yüzdesi (\%)}] * [\text{Yıllık Teorik Çalışma Süresi (Saat)}]$$

Puant talep

Belirlenen bir dönemdeki (genellikle yıllık veya aylık) maksimum enerji talebinin güç cinsinden (MW) ifade edilmiş şeklidir. Yıl içinde maksimum ve minimum talep arasında 2 kata yakın farklılıklar görülebilmektedir. Ancak, elektrik sisteminin puant (maksimum, tepe) güç talebini karşılayabilecek bir biçimde planlanması ve yeterli kurulu güç kapasitesinin, belirlenen bir yedekle birlikte devamlı hazır tutulması gerekmektedir.

Santrallerce üretilen enerjinin tamamı iletim sistemine aktarılamamakta, bir kısım enerji, tesislerin bizzat kendilerince tüketilmektedir. Bu şekilde tüketilen enerji, “iç tüketim” olarak adlandırılmaktadır. İç tüketimin yanı sıra, iletim ve dağıtım hatlarında da kayıplar meydana gelmektedir. Dolayısıyla, brüt üretimin tamamı nihai tüketiciye ulaştırılamamaktadır. 2005 yılında OECD ülkelerindeki toplam iletim ve dağıtım kayıpları ortalama yüzde 5 ile yüzde 7 arasındadır. Ülkemizde ise bu değer TEİAŞ verilerine göre %15,6’ dır.

$$\text{Brüt Talep} = \text{Elektrik Gerekliliği} = \text{Görünen Tüketim} = \text{Brüt Üretim} + \text{İthalat} - \text{İhracat}$$

$$\text{Net Üretim} = \text{Brüt Üretim} - \text{İç Tüketim}$$

$$\text{Net İthalat} = \text{İthalat} - \text{İhracat}$$

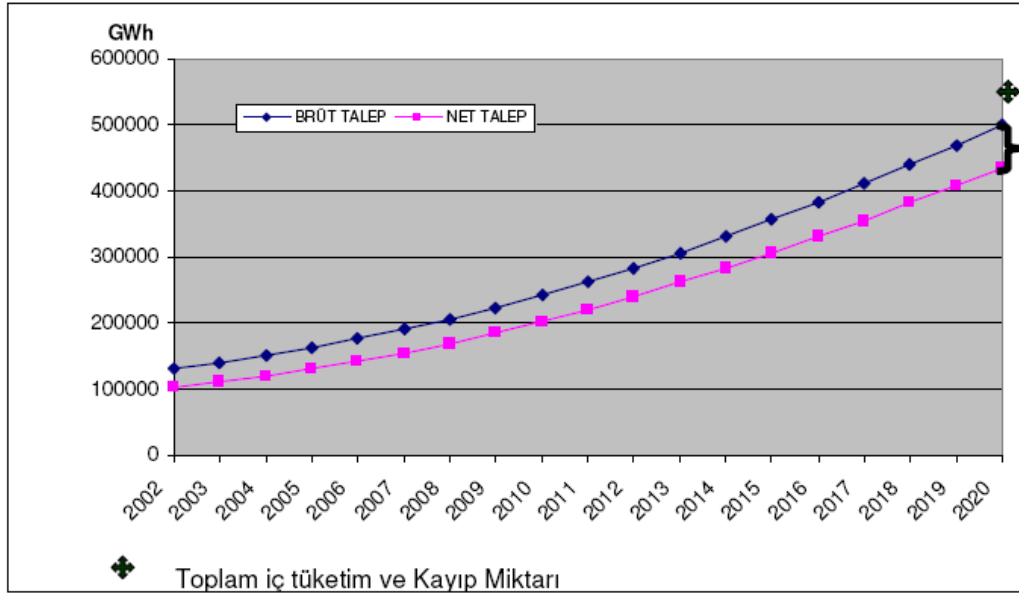
$$\text{Brüt Talep} = \text{Brüt Üretim} + \text{Net İthalat}$$

$$\text{Brüt Arz} = \text{Net Üretim} + \text{Net İthalat}$$

$$\text{Net Talep} = \text{Brüt Arz} - \text{İletim Kaybı} - \text{Dağıtım Kaybı}$$

$$\text{Net Talep} = \text{Brüt Talep} - \text{İç Tüketim} - \text{İletim Kaybı} - \text{Dağıtım Kaybı}$$

Şebekeye verilen= Net Üretim+İthalat



Şekil 2.2. Brüt ve net elektrik enerjisi talebi arasındaki ilişki

2.1.4. Türkiye’de elektrik enerjisi arz-talep denge sisteminin işleyişi

Üretim-tüketim (arz-talep) dengesinin sağlanması yapılan bir dizi işlemin yanı sıra çok önemli ön çalışmaları da zorunlu kılar. Adım adım bunları incelersek:

1. Ülkemizdeki ekonomik, sosyal, kültürel gelişmişlik ve koşullar dikkate alınarak, ETKB tarafından çeşitli etkenler göz önüne alınarak uzun dönem yıllık talep tahminleri yapılır.
2. Yıllık talep tahminleri temel alınarak aylık tüketim tahminleri hazırlanır.
3. Aylık tahminlerden yola çıkarak günlük tüketim tahminleri yapılır.
4. Günlük tüketim tahminleri gün içindeki talep değişimleri dikkate alınarak saatlik şekilde çizelgelere dökülür ve bir önceki gün internet üzerinden ilgililere duyurulur.
5. Konunun muhatapları (elektrik üretim şirketleri, elektrik ticaret şirketleri vb.) saatlik tüketim tahminlerine ve kendi özel durumlarına uygun olarak birlikte bildirirler.

6. Toplanan arz miktarları; talebin karşılanması, fiyatı, bağlaşımlı sistemin koşulları, varsa bölgesel, yöresel teknik sorunlar, hem iletim hem de dağıtım sistemindeki yapılacak programlı bakımlar, “diğer zorunluluklar” vs dikkate alınarak ve belli bir önem sırasına dizilerek tahminde bulunulan talep miktarları karşılanıncaya kadar alınması suretiyle üretim programına dahil edilir.
7. Saatlik olarak satın alınmasına karar verilen üretimleri ucuzdan pahalıya doğru sıralayarak, önceden öngörülerek duyurulan saatlik tüketim tahmin değerine ulaşınca liste doldurulur. Böylece bulunan fiyat o saat için belirlenmiş fiyat olup o saat için üretim yapacak tüm santraller için geçerli olur.
8. Bu yöntemle oluşturulan liste kesinleştirilip günlük üretim planı hazırlanır. Hazırlanan bu liste aynı zamanda o listede yer alan üretim şirketleri için üretim taahhüdü anlamına gelir.
9. Her hangi bir nedenle (üretim tesisinde arıza, iletim tesisinde arıza v.b.) üretim şirketleri taahhüt ettikleri üretimi gerçekleştiremezlerse onların yerine diğer başka santrallerden fazla üretim yaptırılmak veya başka üretim tesislerini devreye almak suretiyle ek üretim yaptırılarak sistem dengesi sağlanır.

2.2. Elektrik Enerjisi Talep Tahmininin Önemi

Elektrik talebi, bölgesel olarak mevsimlik, günlük ve saatlik farklılıklar göstermektedir. Talebin kendine özgü bu yapısı ve elektrik enerjisinin depolanamaması nedeniyle, yük-talep eğrisine en iyi şekilde cevap verecek optimal bir üretim sistemini gerektirmektedir.

Genel enerji planları içerisinde talep tahmin çalışmasının hassas ve gerçeğe en yakın bir şekilde yapılmış olması önemlidir. Büyük sermaye gerektiren enerji sektörü yatırım kararlarının alınmasında, talep çalışmalarının sonuçları önemli rol oynamaktadır. Talep çalışmalarının çeşitli ekonomik, sosyal, teknik ve coğrafi

değişkenleri kapsamı, etkilerini irdelemesi ve revize edilebilir olması sağlıklı bir planlama yapılabilmesi açısından şarttır.

Enerji politikaları belirlenirken dikkate alınması gereken öncelikli hususlardan biri de, ülkenin enerji kaynakları potansiyelinin, sağlıklı ve bilimsel olarak belirlenmesidir. Ülke enerji kaynakları potansiyelinin saptanmasından sonra; söz konusu kaynakların nasıl geliştirileceği, yerli ya da yabancı özel sektörün hangi alanlarda katkısına gereksinim olduğu, ithalatın gerekli olup olmadığı gibi konularda strateji geliştirilebilir. İthalatın kaçınılmaz görüldüğü veya dönemsel olarak kullanılması gereken koşullarda ise; kaynak çeşitliliği, enerji politikasının en önemli gerekliliklerinden biri olarak dikkate alınmalıdır [1].

Enerji politikalarının yaşamsal bir gerekliliği de, enerji talep tahminlerinin sağlıklı yapılmasıdır. Tahminlerin dayandırılması gereken temel parametrelerin başlıcaları; ekonomik büyüme (sermaye birikimi, istihdam vb.) nüfus (göç, etkin çalışan nüfus, vb.) enerji fiyatları, ekonomik gelişmeler, enerji politikaları ve enerji tasarrufuna yönelik tüketici davranışlarıdır. Bunların bilimsel ve gerçekçi yöntemlerle öngörülmesi ve gerek dünyadaki gerekse ülkedeki gelişmeler doğrultusunda, sürekli güncelleşmesi ve gerektiğinde revize edilmesi ise doğru bir enerji politikasının ön koşuludur [1].

- ✓ Elektrik üretim, iletim ve dağıtım sistemlerine yönelik hangi temel yatırımların ne şekilde yapılacağı,
 - ✓ Bu sistemlerin birbirleri ile nasıl entegre edileceği,
 - ✓ Kısa-orta-uzun vadede hangi santralde, ne zaman ve ne kadar enerji üretilmesi gerektiği,
 - ✓ Üretilen enerjinin hangi şebekeler üzerinden tüketiciye nasıl ulaştırılacağı,
 - ✓ Acil durumlarda hangi ek tedbirlerin alınması gerektiği,
 - ✓ Komşu ülkelerle enerji alış-verişinin nasıl olması gerektiği ve
 - ✓ Ülkelerin dış şoklara karşı nasıl bağımsızlık kazanabileceği,
- gibi bir dizi karmaşık tasarım ve planlama kararı ile stratejinin belirlenmesi ancak güvenilir talep tahminleri ile gerçekleştirilir [7].

2.2.1. Talep tahminlerinde yapılacak hataların olası sonuçları

- ✓ Elektrik enerjisi talebinin olması gerekenden düşük tahmin edilmesi ve buna bağlı olarak yanlış kurgulanmış sistem tasarımı ve planlamasına sahip olunması halinde; zorunlu elektrik kesintileri ve zorlama elektrik tasarrufları gibi pek çok sıkıntının ortaya çıkması, hatta, ekonomik büyüme ve bireysel refah artışının sektöre uğraması gündeme gelecektir.
- ✓ Talebin olması gerekenin çok üzerinde tahmin edilmesi ve özellikle orta-uzun vadeli yatırım kararlarının, bu şekilde belirlenen iyimser projeksiyonlar üzerine alelacele bir biçimde tesis edilmesi durumunda ise; ciddi miktarda arz kapasitesinin atıl hale gelmesi, yatırım ödeneklerinin ihtiyaç duyulan diğer alanlara tahsis edilememesi nedeniyle kaynak dağılımının rasyonel yapılamaması ve kaynak israfı kaçınılmaz olacaktır.

Nitekim günümüzde Türkiye elektrik piyasasında yaşanmakta olan aşağıda özetlenmiş sorunların başlıca sebebinin, geçmişte elektrik talep tahminlerinin rasyonel bir biçimde yapılmamış ve sistem tasarımı/planlamasının gerçekçi olmayan bu tahminler üzerine tesis edilmiş olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir:

- ✓ Elektrik fiyatlarının yerli sanayinin uluslararası alanda rekabet etmesine engel olacak düzeyde yüksek seyretmesi,
- ✓ Geçmişte elektrik arz açığı oluşacağı öngörüsüyle imzalanan yüksek miktar ve fiyat garantili pahalı elektrik alım sözleşmeleri nedeniyle, hal-i hazırda yasal alt yapı hazır olmasına rağmen, pratikte serbest piyasa yapısına geçilememesi ve aşırı yüksek koşullu yükümlülükler nedeniyle kamu maliyesi üzerinde önemli riskler bulunması,
- ✓ Başta kamu santralleri olmak üzere elektrik üretiminde atıl kapasite oranlarının vahim boyutlara ulaşması; bu durumun ciddi kaynak israfına yol açması, yerel birincil enerji kaynaklarının yeterince değerlendirilememesi, birincil enerji kaynakları yönünden dışa bağımlılığın artması,
- ✓ Uygulanmakta olan ekonomik programın önemli bir ayağı olan özelleştirme sürecinin yukarıdaki nedenlerle aksaması,

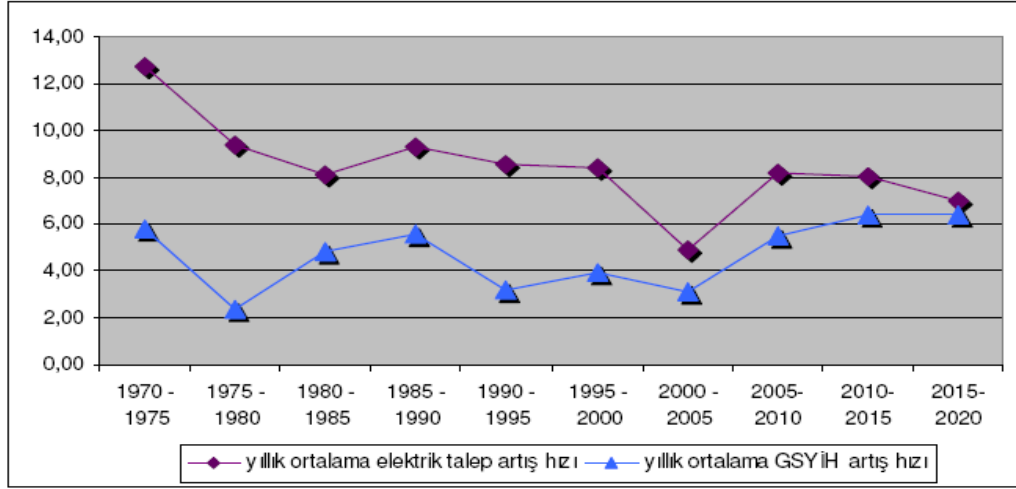
- ✓ Yatırımların sürekli olarak üretim alanında yoğunlaşmış olması sebebiyle iletim ve dağıtım sistemlerinin ihmal edilmesi [7].

2.3. Elektrik Enerjisi Talebini Etkileyen Faktörler

Elektrik tüketimi, bölgesel, mevsimsel ve hatta anlık dalgalanmalar göstermektedir. Yıl içinde en düşük tüketimle en yüksek tüketim miktarları arasında veya aynı gün içinde en düşük yükle en yüksek yük arasında %200'e varan farklar oluşabilmektedir. Elektrik talebinin aşırı değişkenlik özelliği ve elektriğin depolanamayan bir enerji kaynağı olması nedeniyle, elektrik arzının sürekli ve kesintisiz bir şekilde yapılmasını ve talebin anlık olarak karşılanabilmesini gerekli kılmaktadır.

Elektrik talep analizlerini konu eden pek çok çalışmada, elektrik talebi ile ekonomik büyüme arasında doğrudan bir ilişki olduğu ortaya konulmaktadır (Bkz. Şekil 2.3). Nitekim 1971–2002 yılları arasında Dünya ekonomisi yıllık reel ortalama %3,3 büyürken, aynı dönemde elektrik talebi yıllık ortalama %3,7 artmıştır [6].

Elektrik talebine etki eden faktörler ekonomik büyüme hızı ile sınırlı bulunmamaktadır. Talebi etkilediği saptanan faktörler, etki derecelerine bağlı olarak elektrik talep tahmin modellerinde 'girdi' olarak kullanılmaktadır. Bunlardan başlıcalarını aşağıdaki gibi özetlemek mümkündür:



Şekil 2.3. 1970-2020 yılları arasında GSMH ve elektrik enerjisi talep artış hızları

- ✓ GSMH,
- ✓ Sektörel katma değerler,
- ✓ Kişi başına düşen milli gelir,
- ✓ Nüfus ve demografik değişiklikler,
- ✓ Hane halkı sayısı ve ortalama hane halkı büyüklüğü,
- ✓ Çok odalı konut yüzdesi ve konut sahipliği artış oranı,
- ✓ Şehirleşme oranı,
- ✓ Şehir ve köy gelirleri,
- ✓ Elektrikli hane ve köy oranı,
- ✓ Elektrikten yararlanan nüfus oranı,
- ✓ İstihdam verileri,
- ✓ Teknolojik gelişmeler ve elektrikli iş aletleri kullanımının yaygınlaşma oranları,
- ✓ Kişi başına düşen elektrikli alet sayısındaki değişimler,
- ✓ Elektrikli aletler ve ilgili ikamelerinin fiyatları,
- ✓ Elektrik fiyatı,
- ✓ Alternatif enerji kaynaklarının fiyatları,
- ✓ Mevsimsel değişiklikler ve iklim koşulları,
- ✓ Ülkelerin coğrafi özellikleri,
- ✓ Zaman [7].

2.4. Türkiye’de Elektrik Talep Tahminlerinde Kullanılan Model: MAED

Türkiye’de enerji sektörünün genel analizi yapılırken, ENPEP (Energy and Power Evaluation Program)’in alt modülleri

- ✓ MAED (Model for Analysis of Energy Demand)
- ✓ WASP (Wien Automatic System Planning Package)
- ✓ BALANCE (Balance of Energy Supplies and Demands)
- ✓ IMPACTS (Environmental Burdens and Resource Planning Package),
kullanılmaktadır [7].

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

Türkiye’de enerji tahmin çalışmaları büyük bir oranda Enerji ve Tabi Kaynaklar Bakanlığı tarafından yürütülmektedir. Orta ve uzun vadeli genel enerji talebi ve bu talep içerisindeki elektrik enerjisi talebini ortaya koyan gelişmiş entegre bir Enerji Modeli olan ENPEP’in alt modülü MAED (*Model for Analysis of Energy Demand*), 1984 yılında Dünya Bankası tarafından Türkiye’ye tavsiye edilmiştir. IAEA (International Atomic Energy Agency) desteğinde test edilmesi ve alınan sonuçların Türkiye enerji sektörü ile ekonomik ve sosyal yapısına uyumlu olduğunun belirtilmesini takiben, Model, ETKB (Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı) tarafından yapılan talep tahmin çalışmalarında resmen kullanılmaya başlanmıştır [9].

Model çalışmasının ilk adımı, model için gereken tüm girdi ve istatistiki verilerin güvenilir olarak elde edilebileceği bir “temel yıl”ın seçilmesidir. ETKB tarafından yapılan Temmuz 2004 tarihli son model çalışmasında temel yıl olarak 1990 yılı alınmıştır. Gelecek yıllara ilişkin enerji taleplerinin sağlıklı olarak belirlenebilmesi

ve model sonuçlarının doğruluğunun kontrolü amacıyla, temel yıla ilave olarak, yine gerçekleşen bir “kontrol yılı”nın verileri modele girilmektedir. Temmuz 2004 tarihli çalışmada kontrol yılı olarak 2000 yılı seçilmiştir [7].

Modele, temel ve kontrol yıllarından başka, 5 ilave projeksiyon yılı daha girilebilmektedir. Örneğin, Temmuz 2004 tarihli çalışmada projeksiyon yılları olarak 2005, 2010, 2015, 2020 ve 2030 yılları tercih edilmiştir. Ara yıllara ait enerji talepleri ise, interpolasyon yöntemi veya sabit artış varsayımıyla, uzmanlar tarafından hesaplanmaktadır.

MAED, belirli bir döneme ait ekonomik ve sosyal göstergeleri temel alarak, ekonomik faaliyetlerde, teknolojiye ve halkın yaşam tarzındaki olası gelişmelerin yer aldığı geleceğe yönelik bir senaryo yaklaşımı içinde, birincil ve ikincil enerji taleplerinin ve dolayısıyla elektrik talebinin gelişiminin tahmin ve analizini içeren deterministik bir benzetim modelidir [11].

Modele yedi ana grup altında veri girişi yapılmaktadır. Bunlardan başlıcaları, ekonomik ve sosyal göstergeler, demografik veriler, sanayi, konut, hizmet ve ulaştırma sektörlerine ait veriler ile elektrik sistemi ile ilgili bilgiler olarak sıralanabilir. Söz konusu verilerin bir kısmı DPT Müsteşarlığı, DİE Başkanlığı ve 5 Yıllık Kalkınma Planları Hedeflerinden alınmakta; bir kısmı ise mevcut verilerden yararlanılarak, modeli çalıştıran uzmanların öngörleriyle hesaplanmaktadır [12].

MAED modelinde kullanılan girdiler, ayrıntılı olarak aşağıda gösterilmektedir: [7]

- ✓ Ekonomik ve Sosyal Göstergeler: GSMH, kişi başına yıllık gelir, GSMH sektörel dağılımı, sanayinin alt sektörel gelişimi, işgücü potansiyeli, istihdam oranları ve diğer ilgili parametreler.
- ✓ Demografik Göstergeler: Nüfus, nüfus artış hızı, kent nüfusunun toplam nüfusa oranı, şehirleşme ve konutlaşma oranları, ortalama hanehalkı büyüklüğü, hane sayısı ve diğer ilgili parametreler.

- ✓ Sektörel Enerji Tüketimine İlişkin Bilgiler: Sektörel bazda enerji yoğunluğu, elektrik yoğunluğu, elektrikli alet kullanım oranları, ulaştırma ve konut sektörlerinde enerji tüketimi, eski ve yeni binalarda ısıtma ihtiyacı ve diğer ilgili parametreler.
- ✓ Elektrik Sistemi ile İlgili Bilgiler:
 - Sanayi, konut ve hizmet sektörlerinde elektriğin ikame edilmesi,
 - Kojenerasyon santrallerinin elektrik ve buhar üretimleri,
 - Geçmiş döneme ait tüketici/sektör bazında saatlik ve günlük elektrik yük eğrileri.

MAED' e girdi olarak işlenen veriler yukarıda kısaca özetlenmekle birlikte, aslında modele bir yıl için yaklaşık 170 grup halinde veri girişi yapılması gerekmektedir. Baz yıl, kontrol yılı ve beş adet projeksiyon yılı olmak üzere toplam yedi yıla ait veri girilmesi gerektiği düşünüldüğünde, her bir senaryo için modele yaklaşık 1.200 veri girişi yapılmasının zorunlu olduğu sonucu ortaya çıkmaktadır. Neticede, MAED' in çalıştırılması, ciddi deneyim, eğitim, emek ve zaman isteyen bir iş olarak gözükmektedir.

Veri girişlerinin tamamlanmasının ardından model çalıştırılarak, aşağıdaki çıktılar elde edilmektedir:

- ✓ Sektörel temelde birincil enerji talebi
- ✓ Sektörel temelde ikincil enerji talebi (Elektrik talebi özel olarak raporlanmaktadır)
- ✓ Enerji talep eğrileri
- ✓ Elektrik yük eğrileri

MAED, alt sektörler bazında enerji taleplerini, sektörel GSMH değerlerinin, enerji yoğunluğu katsayılarının ve sektöre özgü diğer parametrelerin çarpımını alarak hesapladıktan sonra, kullanım amaçları bazında toplam enerji taleplerini ve bunların toplamından da toplam nihai enerji talebini hesaplar.

2.4.1. MAED' in eksileri

Türkiye’de MAED modeli kullanılarak yapılan elektrik enerjisi talep tahminleri, orta ve uzun vadede daima gerçekleşme değerlerinin üstünde kalmıştır. Özellikle, modelin gerçek çıktısı olan net talepteki sapma oranları daha yüksektir. Brüt talepteki sapma oranları da kabul edilemez boyutlarda olmakla birlikte, kayıp-kaçak oranının 1990 yılından bu yana yükseliş eğiliminde olması ve hedeflerin ötesine geçmesi nedeniyle, brüt talepteki oransal sapma, net talepteki sapmanın bir miktar altında gerçekleşmiştir [7].

Ekonometri, ekonomik kuramların istatistiksel ve matematiksel yöntemlerle sınanmasını ve ekonomi ile ilgili verilerin yorumlanmasını sağlayan bilim dalıdır. Ekonometrik yaklaşım ise ekonomik teori ile istatistiksel teknikleri bir araya getirmektir. Ekonometrik metotlar, elektrik talebiyle, sosyal ve demografik verileri ekonomik ve istatistik yöntemler kullanarak inceleyen tahmin yöntemleridir.

Bu açıdan bakıldığında MAED ekonometrik bir model değildir. Geçmiş dönem enerji talebini ve bu talebi oluşturan göstergeleri zaman serileri yaklaşımıyla ele alarak kendi içinde dinamik bir enerji tüketim denklemi yaratmak yerine, parametrelerinin katsayıları büyük ölçüde deneme-yanılma yöntemiyle belirlenen ve bu katsayılara göre iterasyon yaklaşımıyla çalıştırılan deterministik bir modeldir [7].

MAED’ e girilen veriler sonucunda elde edilen çıktılar, öncelikle temel yılda gerçekleşen tüketim değerleriyle karşılaştırılmaktadır. Baz yıla ait gerçekleşme verileriyle, modelin temel yıla ilişkin girdiler sonucunda hesaplamış olduğu enerji ve elektrik talebine ait değerlerin birbirini tutmaması durumunda, modeli çalıştıran uzmanlarca, parametrelerin katsayıları üzerinde değişiklikler yapılmaktadır. MAED’ in temel alınan yıl için belirlemiş olduğu sektörel enerji talepleri ve elektrik talebinin gerçekleşme değerleriyle yakın sonuçlar vermesi halinde, bu defa kontrol yılına ait çıktılar ele alınmaya başlanmaktadır [9].

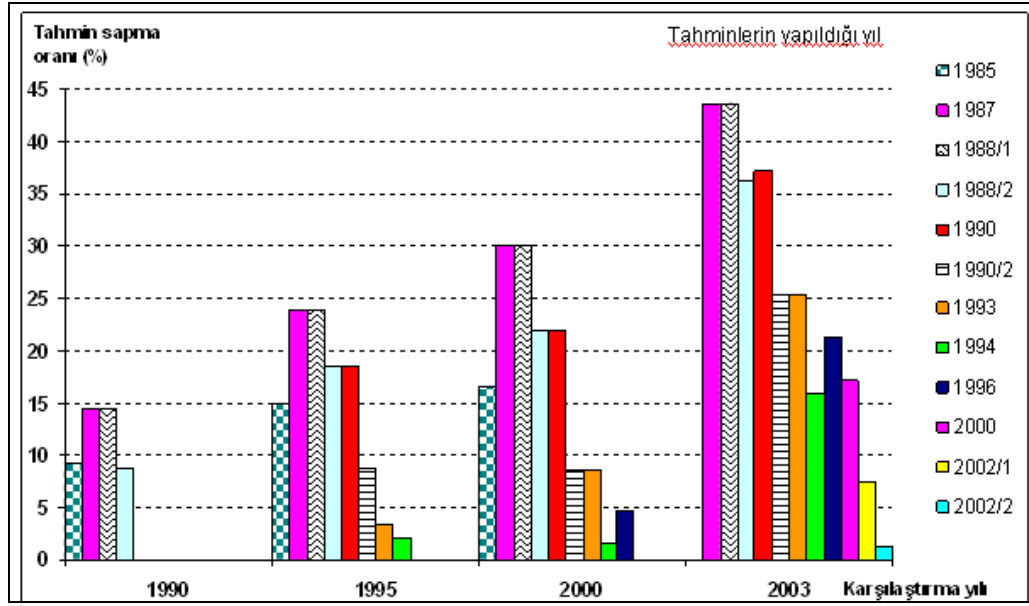
Model çıktılarının aynı anda hem temel alınan yıl, hem de kontrol yılı için ancak ihmal edilebilir sapmalar verdiği gözlemleninceye kadar, belirli parametrelere ait katsayılar değiştirilmeye devam edilir. Baz yıl ve kontrol yılı için modelin yapmış olduğu tahminlerin kabul edilebilir düzeyde olduğu tespit edildikten sonra da, bu yıllar için kullanılan katsayı seti tahmin yıllarına da uygulanarak, gelecek yıllara ait tahmini enerji ve elektrik talep değerleri elde edilir.

Bu bağlamda, MAED' in, kendisini çalıştıran uzmanların yalnızca 2 yıla ait veriler üzerinden sağduyu ve deneyimlerine dayanarak belirledikleri katsayıları kullanarak talep tahmini yapan, olası manipülasyonlara açık bir model olduğunu söylemek mümkündür [7].

MAED modeli Türkiye'de genellikle 3 senaryo (düşük, orta, yüksek) halinde çalıştırılmaktadır. Orta senaryoda 5 Yıllık Kalkınma Planları hedefleri ile yıllık program hedefleri esas alınmakta, bir başka deyişle, devletin resmen açıkladığı hedefler doğrultusunda tahmin yürütülmektedir. Yüksek ve düşük senaryolar ise, büyüme hızlarında, enerji yoğunluklarında, enerji verimliliklerinde ve teknolojik gelişmelerde temel (orta) senaryoya göre farklı gelişmeler olacağı varsayımlarına dayandırılmaktadır.

Şekil 2.4' de MAED' in öngördüğü elektrik talebi ile gerçekleşen değerler arasındaki oransal farklılıklar gösterilmektedir. Projeksiyonlarda üç yıl sonrası için %17, on yıl sonrası için %25, on beş yıl sonrası için % 44 gibi çok yüksek hata oranı içeren tahminler yapılmıştır [13].

ETKB tarafından elektrik talep tahminlerinde kullanılan MAED, yalnızca seçilen beş yıla ait projeksiyon değerlerini ortaya koyabilen bir modeldir. Talep tahmin çalışmaları genellikle uzun dönem (20 ila 30 yıl) için yapıldığından, MAED'e projeksiyon yılları genellikle beşer yıl arayla (2005, 2010, 2015, 2020 gibi) girilmektedir. Ara yıllara ait talep değerleri ise interpolasyon yöntemiyle veya yıllık sabit artış varsayımıyla bulunmaktadır.



Şekil 2.4. Elektrik enerjisi talep projeksiyonlarının gerçekleşmelere göre sapma oranları

Bu yöntemin metodolojik sakıncalarının yanı sıra, yıllık programlarda gerçekçi olmayan varsayımlara da yol açtığı bilinmektedir. Örneğin, MAED' in 2005 ve 2010 yıllarına ait tahmini talep değerlerinden yola çıkılarak 2006, 2007, 2008 ve 2009 yıllarına ait talep tahminlerini üretmek mümkündür. Ancak, 2006 yılı gerçekleşme değerleri ortaya çıktıktan sonra, yeni bir talep tahmin çalışması yapılmaması halinde, 2010 yılına ait tahmini talep değeri sabit kaldığından, 2007, 2008 ve 2009'daki yıllık talep artışlarının ilk çalışma sonuçlarından farklı gösterilmesi gerekmektedir [7].

5 yıllık hedeflere ulaşabilmek amacıyla yıllık programlardaki tahmini talebin yüksek gösterilmesine ilişkin Çizelge 2.3'de yer alan rakamlara bakıldığında, 2002, 2003 ve 2004 yıllarındaki fiili tüketim değerlerinin tahmini değerlerin hep altında kaldığı gözlenmektedir. 2002, 2003 ve 2004 yıllarında, GSMH büyümelerinin (2002'de %7,9; 2003'te %5,8; 2010'da tahmini %10,0) yıllık program değerlerinin (%5) oldukça üzerine çıktığı da göz önünde tutulduğunda, Türkiye elektrik talep tahminlerinin orta ve uzun vadeli sapmalarının yanı sıra, yıllık programlarda dahi böylesine ciddi oranlarda sapma göstermesi, bu konuda ciddi bir sorunun varlığına işaret etmektedir.

Çizelge 2.3. Türkiye elektrik tüketiminde yıllık programlardaki sapmalar (2002-2004)

AYLAR	2002 Prog.	2002 Fiili	Fiili- Prog.	2003 Prog.	2003 Fiili	Fiili- Prog.	2004 Prog.	2004 Fiili	Fiili- Prog.
OCAK	11291,1	11964	5,96%	12597,6	12386,2	-1,68%	12895,8	12905,6	0,08%
ŞUBAT	11109,4	9951	-10,4%	10473,3	10859,3	3,69%	11424,1	11537,6	0,99%
MART	11228,8	11214,9	-0,21%	11871,7	12391,3	4,38%	13247,9	12487,4	-5,74%
NİSAN	10014,4	10606,1	5,91%	11332,4	11045,6	-2,53%	11901,8	11734,8	-1,40%
MAYIS	10226,3	10386	1,56%	11088,4	10917,5	-1,54%	11774,1	11780,8	0,06%
HAZİRAN	10388,6	10435,2	0,45%	11297	11085,1	-1,88%	11910,4	11909,5	-0,01%
TEMMUZ	11746	11728,4	-0,15%	12712,7	12415,4	-2,34%	13363,4	13168,4	-1,46%
AĞUSTOS	11749,1	11646,9	-0,87%	12603,4	12561,3	-0,33%	13547,7	13240,7	-2,27%
EYLÜL	10926,2	10505,5	-3,85%	11362,1	11414,3	0,46%	12338	12466,6	1,04%
EKİM	11176	10770,2	-3,63%	11468,7	11578,9	0,96%	12463,5	12220,4	-1,95%
KASIM	11501,3	11222,2	-2,43%	12536,5	11439,4	-8,75%	12320,1	12034,2	-2,32%
ARALIK	12069,8	12122,3	0,43%	13156,1	13056,7	-0,76%	13910,9	13753	-1,14%
TOPLAM	133427	132553	-0,66%	142500	141151	-0,95%	151098	149239	-1,23%
Artış (%)	5,17%	4,48%	-----	6,8%	6,5%	-----	6,03%	5,73%	-----

Yıllık programlardaki bu sapmalar nedeniyle, enerji sektöründe dengeler sürekli olarak değişmekte, gerek birincil kaynak sağlayan, gerekse elektrik ticareti yapan kuruluşların gelir-gider dengeleri ciddi anlamda bozulmaktadır. Yirmi yılı aşkın kullanım süresi boyunca model ülkemiz için orta ve uzun vadede güvenilir sonuçlar üretememiştir. MAED' in özellikle elektrik talebi için sistematik olarak yüksek değerler üretmesi birçok bilimsel çalışmaya konu olmuştur [15, 19].

2.4.2. Modelin hatalı tahminlerinin nedenleri

- ✓ MAED'de enerji sektörünü ayrıntılı ele alan bir simülasyon yaklaşımı kullanılmakta, enerji taleplerinin gelişmesindeki temel etken olan ekonomik ve teknolojik gelişim öngörülleri modele dışarıdan empoze edilmektedir. Bu

yaklaşımındaki temel zafiyet enerji-ekonomi ilişkilerinin, arz-talep ve fiyat etkilerinin yeterince ayrıntılı bir şekilde temsil edilemiyor olmasıdır. Örneğin enerji fiyatlarının talebe etkisi, yakıt türlerinin birbirlerine olan fiyat esneklikleri gibi parametreler ile bunların ihtiva ettiği fiyat-talep ilişkileri dikkate alınamamaktadır.

- ✓ Dışarıdan dayatılan ekonomik öngörüler ile Türkiye ekonomisine haiz özellikler modele yansıtılamamaktadır. Ülkemizde enerji arzının yüzde yetmişten fazlası ithal kaynaklardan karşılandığından uluslararası enerji fiyatları ile ulusal makroekonomik dengeler arasındaki ilişkiler önem kazanmaktadır. MAED’de enerji-ekonomi ilişkisi ekonomiden enerjiye tek yönlü olarak tanımlanmıştır. Oysa bilimsel çalışmalar Türkiye’de enerji sektöründen ekonomiye göz ardı edilmemesi gereken bir geri besleme olduğunu ortaya koymaktadır.
- ✓ Ekonomik ve teknolojik gelişim üzerine varsayımlar MAED’in en temel girdileri arasındadır. Bu varsayımlar bilimsel modelleme çalışmalarının sonuçları olmaktan ziyade DPT tarafından belirlenen hedeflere göre konulmaktadır. Hedefler ise genellikle yüksek konulur ve tutturulmaları zordur [14].

Bu nedenle, yıllık elektrik talep öngörülerinin gerçekçi ve tutarlı bir biçimde ele alınması, MAED’ in daha sıklıkla çalıştırılması ve MAED yerine kısa vadeli yıllara ilişkin talep tahminlerini her yıl itibarıyla yapabilen bir talep tahmin modelinin kullanılmaya başlanmasında yarar görülmektedir.

3. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

3.1. Türkiye İçin Yapılan Enerji Tahmin Çalışmaları

Elektrik enerjisi tüketimi tahminine yönelik çalışmalar üç sınıfta değerlendirilebilir:

- ✓ Kısa dönemli tahmin: saatlik, günlük veya haftalık
- ✓ Orta dönemli tahmin: aylık, üç aylık
- ✓ Uzun dönemli tahmin: yıllık veya daha uzun dönemler [2].

Ülkemizde son yıllarda birincil enerji ve özellikle elektrik tüketiminin tahmininin modellenmesi üzerine çeşitli çalışmalar mevcuttur. Bu bölümde bu çalışmalar üzerinde kısaca durulmuştur. (Bkz. Çizelge 3.1. ve 3.2.)

Ediger ve Tatlıdil (2002), enerji tüketiminin yıllık ilave miktarının zaman serileri verilerinde döngüsel kalıpların analizini içeren yeni bir teknik önermişler ve elde ettikleri sonuçları Winters' ın Üstel Düzeltme metoduyla karşılaştırmışlardır. 2010 yılında Türkiye'nin enerji tüketiminin 130 milyon ton eşdeğer petrol olacağı tahmininde bulunmuşlardır [15].

Yumurtacı ve Asmaz (2004), yaptıkları çalışmada Türkiye'nin 1980-2050 yılları arasında enerji kullanım projeksiyonunu nüfus artışı ve kişi başına düşen enerji tüketim artışını esas alarak lineer regresyon modelini grafik yardımıyla kullanarak hesaplamışlardır. Sonuç olarak 2050 yılında Türkiye nüfusunun 115 milyona ulaşacağı ve kişi başına düşen yıllık elektrik tüketiminin de 10.197 KW olacağı varsayımından Türkiye'nin enerji ihtiyacını 2050 yılında 1,173 milyar KW olarak tahmin etmişlerdir [16].

Hamzaçebi ve Kutay (2004), YSA ve Box-Jenkins modeli ile 5 yıllık bir süreç için Türkiye'de elektrik enerjisi tüketim tahmininde bulunmuşlardır. 2010 yılına kadar yapılan tahminlerde 1970–2002 yılları arası elektrik enerjisi tüketimi ve nüfus

verileri kullanılarak zaman serisi analizi, regresyon ve YSA ile yapılan tahminler karşılaştırılmıştır [17].

Sözen ve ark. (2005), Türkiye'nin net enerji tüketimi tahmini için yapay sinir ağını eğitmek için iki farklı model kullanmışlardır. İlk modelde nüfus, büyüme ve kurulu güç girdilerini, ikinci modelde ise diğer enerji kaynaklarını girdi verisi olarak kullanmıştır. 1975–2003 yılları arasındaki verileri eğitim seti olarak kullanmışlardır. Yapay sinir ağının net enerji tüketimi tahmininde başarılı sonuçlar verdiği sonucuna ulaşılmıştır. Yapay sinir ağı esnek yapısı sebebiyle enerji tüketiminde gelecekte eğilimin nasıl olacağını yakalayabildiği için tahmin modeli olarak kullanılması uygun bulunmuştur [2].

Ceylan ve Öztürk (2004), yaptıkları çalışmada, ekonomik göstergelere (Gayri Safi Milli Hâsıla, nüfus, ithalat, ihracat) dayalı enerji talep tahmini için Genetik Algoritmalarla bir model kurmuşlardır. Modelin lineer ve üstel olarak iki ayrı formu oluşturulmuş ve farklı senaryolar altında modeller çalıştırılmıştır. Oluşturulan model geçmişteki verileri kullanarak parametre değerlerini optimize edebilmektedir. 2025 yılına kadar yapılan tahmin değerleri, MAED ile karşılaştırıldığında daha düşük hata ortalaması verdiği görülmektedir [18].

Öztürk ve ark. (2005), Genetik Algoritmaları kullanarak Türkiye'nin toplam ve endüstriyel elektrik enerjisi tahmini için iki farklı non-lineer model (kuadratik ve üstel) oluşturmuşlardır. Geliştirilen modeller, 1996–2001 yılları arası gözlenen ve tahmini veriler ile model doğrulanmış ve 2002–2025 yılları arası projeksiyonda bulunulmuştur. Çalışmada yaptıkları 1996–2001 yıllarının tahminleri, MAED tahminleri ve gerçekleşen değerler ile karşılaştırıldığında, MAED, toplam elektrik tüketiminde %36, endüstriyel elektrik tüketiminde ise %81 oranında yüksek hata oranı ile tahminde bulunulmuştur. Geliştirilen modeldeki hata oranı MAED hatalarına oranla çok daha düşüktür [19].

Topallı ve ark. (2006) Türkiye'nin kısa dönemli (bir günlük) toplam elektrik yük tahmininde bulunmak amacıyla, off-line öğrenmeli ve gerçek zamanlı tahmini

birleştiren hibrid bir YSA modeli geliştirmişlerdir. Bu metot uygun verileri kullanarak ağırlıkları değişen koşullara göre adapte edebilmekte ve bağlantıları düzenleyebilmektedir. Mevsimsel farklar ve hafta içi - hafta sonu elektrik tüketimi arasındaki aşırı farklar dolayısıyla oluşan tahmin hatalarını önlemek için veriler, karakteristiklerindeki farklılıklara göre kümelenmiştir. Örneğin özel günler normal eğitim setinden çekilmiş ve ayrıca ele alınmıştır. Oluşturulan modeli karşılaştırmak amacıyla klasik bir ARMA modeli oluşturulmuş ve önerilen metodun özellikle tatil günleri için daha düşük hata verdiği sonucuna ulaşılmıştır. 2002 yılı için elde edilen ortalama hata %1.60 dır [20].

Tunç ve ark. (2006) Türkiye'nin elektrik tüketim oranını 2010 ve 2020 yılları için regresyon analizi ile tahmin etmişler ve gelecekteki elektrik enerjisi yatırımlarının dağılımını tahmin için lineer matematiksel bir model geliştirmişlerdir. 1980–2001 yılları arası elektrik tüketim verileri ve üretimde kullanılan yakıtların türlerine göre elektrik üretim maliyet katsayıları girdi olarak kullanılarak, 2010 ve 2020 yıllarına ait Türkiye'de elektriksel güç kaynağı yatırımı tahmininde bulunulmuştur [21].

Akay ve Atak (2007) Türkiye'nin enerji talep yapısının değişken ve karmaşık olmasından yola çıkarak Gri Tahmin Yöntemini kullanarak elektrik enerjisi talep tahmininde bulunmuşlardır. 1970 ila 2004 yılları arası elektrik tüketim verilerini, Devirsel mekanizmalı Gri tahmin Yöntemi (GPRM) ile modellemiş ve ayrıca ilgili yıllara ait ekonomik göstergeleri tahmin amacıyla kullanmalarına gerek kalmamıştır. Bunu da yöntemin bir avantajı olarak değerlendirmişlerdir. Bu model 1974–2004 yılları arasında toplam elektrik tüketimini %96.31 doğruluk oranıyla tahmin etmiştir. Tahmin sonuçları ETKB' nin tahmin sonuçları ile karşılaştırılmış ve önerilen modelin daha tatmin edici doğrulukta sonuçlar verdiği görülmüştür. Ayrıca 2006–2015 yılları için de tahminde bulunulmuştur ve bu sonuçlara göre 2015 yılında Türkiye'nin endüstriyel elektrik tüketiminin 140,37 TW ve toplam elektrik tüketiminin 265,5 TW olması beklenmektedir [22].

Ediger ve Akar (2007), ARIMA ve SARIMA(mevsimsel) metotlarını kullanarak Türkiye'nin birincil enerji talebini 2005–2020 yılları için tahmin etmişlerdir. Çalışma

sonuçlarına göre birincil enerji talebindeki yıllık artış oranı 1950 ile 2005 arasında %4,9 iken 2005 ile 2020 arası %3,3'e düşecektir. Bunun nedeni Türkiye'nin bu öngörülen süre zarfında endüstrileşmede tepe noktasına ulaşmış olma ihtimali olarak değerlendirilmiştir [23].

Erdoğan (2007), kısa ve uzun dönemde fiyat ve gelir esnekliklerine dair tahminde bulunmak ve aynı zamanda elektrik talep tahmini yapmak amacıyla bir model geliştirmiştir. "Kısmi düzeltme modeli" olarak adlandırdığı bu modelde, verilerin özelliklerini analiz etmek için bir eş bütünleşme analizi gerçekleştirmiştir. Ayrıca ARIMA ile 2005–2014 yılları arasında yıllık elektrik talep tahmininde bulunmuş ve bulduğu sonuçları geçerli resmi projeksiyonlar ile karşılaştırmış ve elde edilen tahminlere dayanarak bu projeksiyonlarda elektrik talebinin abartıldığı sonucuna ulaşmıştır. 2000–2004 yılları için yapılan tahminlerin gerçek değerler ile karşılaştırılması sonucu modelin ortalama %2,2 hatası olduğu görülmüştür [24].

Hamzaçebi (2007), YSA ile 2020 yılına kadar Türkiye'nin net elektrik tüketimini sektörel bazda tahmin etmiştir. YSA'yı tahmin aracı olarak kullanmasının nedenini; YSA'nın enerji verilerinin doğrusal olmayan yapısına uygunluğu ve aynı zamanda birden fazla değişkeni tahmin etmedeki yeterliliği olarak açıklamıştır. Ağın çalıştırılmasında 1970–1997 yılları arası verileri eğitim, 1998–2002 yılları arası veriler ise test verileri olarak kullanılmıştır. Çalışmanın sonucunda net elektrik tüketiminin 2020 yılına kadar yıllık ortalama artışını endüstriyel tüketim için %45,67, evsel tüketim için %49,9, tarımsal tüketim için %3,65 ve ulaşım için ise %0,75 olarak öngörmüştür [25] .

Sözen ve ark. (2007), net enerji tüketimi ile ekonomik göstergeler arasındaki nedensellik ilişkisini göstermek amacıyla Yapay Sinir Ağı kullanarak üç farklı model geliştirmişler ve sonuç olarak ekonomik göstergelerin (nüfus, GNP ve GSMH) net enerji tüketiminde enerji göstergelerinden (kurulu güç, brüt üretim, enerji ithalat ve ihracatı) daha etkin olduğu sonucuna varmışlardır [26].

Ünler (2008), Parça Sürü Optimizasyonu (PSO) tekniğini kullanarak Türkiye için enerji talep tahmin modeli oluşturmuş ve 2006–2025 yılları arasında enerji talep tahminini 3 ayrı senaryo üzerinden oluşturmuş ve sonuçları Toksarı' nın (2007) ACOEDE modelinin sonuçlarıyla karşılaştırmıştır [27].

Sözen (2009), bir başka çalışmada da Türkiye'nin gelecekteki enerji bağımlılığı oranını tahmin etmek amacıyla temel enerji göstergelerini ve sektörel enerji tüketim verilerini kullanarak YSA ile iki farklı model oluşturmuş ve enerji bağımlılığının gelecek 14 yıl içerisinde % 72'den %82 'ye yükseleceği sonucuna ulaşmıştır [28].

Toksarı (2007), karınca kolonisi optimizasyonunu kullanarak Türkiye için birincil enerji talep tahmin modelini (ACOEDE- Ant Colony Optimization Energy Demand Estimation), Toksarı(2009), yine karınca kolonisi optimizasyonunu kullanarak net elektrik enerjisi üretimini ve elektrik talebini tahmin eden iki farklı model kurmuş ve gelecekte ekonomik göstergelerde (GSMH, Nüfus, İthalat ve ihracat) meydana gelebilecek değişiklikleri öngören 3 farklı senaryo yardımı ile 2025 yılına kadar tahminde bulunmuştur. Modelleri, lineer ve kuadratik olmak üzere iki farklı matematiksel yapı üzerine oturtmuş ve oluşturduğu modellerin enerji tahmininde alternatif bir tahmin yöntemi olarak kullanılabilmesi sonucuna ulaşmıştır. Ayrıca kuadratik modellerin, ekonomik göstergelerin dalgalı yapısına daha uygun olduğu için daha doğru sonuçlar verdiği yargısına da varmıştır [29,30].

Kavaklıoğlu ve ark. (2009), elektrik tüketimini ekonomik göstergelerin bir fonksiyonu olarak modellemek amacıyla çok katmanlı geri yayımlı YSA kullanmıştır. Bu çok katmanlı pörseptron Türkiye'nin 2027'de net elektrik tüketimini 279 KW olarak tahmin edilmiştir. Ayrıca oluşturulan model yardımıyla aynı yıla ait GSMH, ithalat ve ihracat değerleri de tahmin edilmiştir [31].

Bu tez çalışmada ise diğer çalışmalardan farklı olarak Türkiye'de brüt elektrik enerjisi talep tahmini için YSA ve Bulanık Mantık yöntemlerinin birleşimlerinden oluşan uyarlamalı bir sistem kullanılmıştır. Ayrıca yapılan çalışmalar incelendiğinde genellikle kısa dönemli elektrik yük tahmini veya uzun dönemli yıllık talep tahmini

çalışmalarına rastlanmaktadır. Yine bu tez çalışmasında diğer çalışmalardan farklı olarak üçer aylık dönemlere ait orta dönemli talep tahmininde bulunulmuştur.

3.2. ANFIS ile Yapılmış Tahmin Çalışmaları

Uyarlanır (adaptif) sinirsel bulanık sistemlerin kullanılmasıyla gerçekleştirilen, modelleme ve tahmin uygulamaları da literatürde geniş bir biçimde yer almaktadır.

Hocaoğlu ve Kurban (2005), ANFIS ile Güneş enerjisinden yararlanma süreleri için il bazında tahminde bulunmuşlardır. 1995-2002 yılına ait toplam ortalama güneşlenme süreleri kullanılarak 2003 yılına ait toplam güneşlenme süresi, eğri uydurma, doğru uydurma yöntemleri ve oluşturulan ANFIS yapısı ile tahmin edilmiştir. ANFIS yapısı, problemdeki tüm yıllara ait verileri diğer iki yöntemle kıyasla daha iyi karakterize ettiğinden sonraki yıllar için gerçek değerlere daha yakın sonuçlar vereceği öngörülmüştür [32].

Yıldırım ve ark. (2006), ANFIS ile günlük hava kirliliği seviyesi tahmininde bulunmuşlar, %80-90'a varan doğrulukta sonuçlara ulaşmışlardır [33].

Potter ve Negnevitsky (2006), ANFIS ile rüzgâr tahmin sistemi geliştirmişlerdir. Avustralya, Tazmania'da yaptıkları örnek çalışmanın sonucunda ANFIS ile karşılaştırdıkları model %30 gibi bir hata ortalamasında tahminde bulunurken, geliştirdikleri ANFIS modeliyle, mutlak hata yüzdesi ortalaması % 4'ün altında bir sonuçla rüzgar hızı tahmininde bulunmuşlardır [34].

Ying ve Pan (2008), Tayvan'da bölgesel elektrik yük tahmini yapmak amacıyla Anfis'le bir model oluşturmuşlardır. Elde ettikleri sonuçları istatistiksel bazda değerlendirerek regresyon analizi, YSA, Genetik algoritmalar ve hibrid elipsoid bulanık sistemlerle elde edilmiş sonuçlarla yaptıkları karşılaştırma sonucunda en iyi tahmin performansının ANFIS' e ait olduğu sonucuna ulaşmışlardır [35].

Hocaoğlu ve ark. (2009), rüzgâr gözlem istasyonlarında oluşabilecek geçici arıza ya da bakım durumlarında oluşabilecek eksik verilerle aylık rüzgâr hızı tahmini için ANFIS ile bir tahmin modeli oluşturmuşlardır. Her aya ait 3 ya da 5 günlük verilerin olmadığını kabul ederek yaptıkları tahmin çalışmaları sonucunda, eksik verilerle çalışabilen tahmin modeli elde başarılı sonuçları elde etmişlerdir [36].

Azadeh ve ark. (2009), elektrik tüketim tahmininde bulunan bir model geliştirmek amacıyla ANFIS, Monte Carlo simülasyonu ve zaman serileri yöntemlerinden oluşan karma bir yöntem önermişlerdir. Bu çalışmada bilgisayar simülasyonu ile aylık elektrik tüketimine ait rassal veriler elde etmişler ve bu verileri kullanarak konvansiyonel zaman serileri yaklaşımı ARIMA ve ANFIS kullanılarak bir tahmin modeli oluşturmuşlardır. 1995–2005 yılları arasında İran ‘da elektrik tüketimine ait verilerle yaptıkları çalışmanın sonuçlarını GA ve YSA ile yapılan çalışmaların sonuçlarıyla karşılaştırmışlar ve önerdikleri algoritmanın daha üstün olduğu sonucuna ulaşmışlardır [37].

Wang ve ark. (2009), hidrolojik tahmin modellerini oluştururken kullanılan Yapay zeka tekniklerinin performanslarını kıyaslayan bir çalışma yapmışlardır. Çalışmanın sonucunda yapay sinir ağları, ANFIS ve genetik programlama metotları arasında yapılan karşılaştırma sonucunda en iyi tahmin performansını ANFIS ‘in gösterdiği sonucuna varılmıştır [38].

Yurdusev ve ark. (2009), ANFIS kullanarak farklı girdilerle İzmir için aylık su tüketimi tahminini yapmışlardır. Oluşturdukları 25 ayrı model neticesinde en iyi tahmin sonuçlarının nüfus, aylık sıcaklık ortalaması ve aylık su faturası verilerinin girdi olarak alındığında elde edildiği sonucuna ulaşılmıştır [39].

Samer ve ark. (2009), nehir üzerinde seyahat zamanını, akış hızını esas alarak tahmin eden iki ayrı model kurmuşlardır. Bu modellerden birini ANFIS ile diğerini de geri yayımlı yapay sinir ağı ile kurmuşlardır. Yaptıkları tahmin çalışması sonucunda nehir üzerinde seyahat süresinin tahmininde BPNN modelinin ANFIS’ den bir miktar daha iyi bir tahmin performansı gösterdiği sonucuna ulaşılmıştır [40].

Çizelge 3.1. Literatür araştırması tablosu 1 - Türkiye için yapılan enerji tahmin çalışmaları

<i>Çalışmanın tarihi</i>	<i>Çalışmayı yapanlar</i>	<i>Çalışmanın konusu</i>	<i>Kullanılan yöntem ve veri aralığı</i>	<i>Varılan sonuç</i>
2002	Ediger ve Tatlıdil	Enerji tüketiminin yıllık ilave miktarının yeni bir teknikle tahmin edilmesi	Zaman serileri yöntemi	2010 yılında Türkiye'nin enerji tüketiminin 130 milyon Tep olacağı tahmininde bulunmuşlardır.
2004	Yumurtacı ve Asmaz	Türkiye’de nüfus artışı ve kişi başına düşen enerji tüketim artışı esas alınarak 1980-2050 yılları arasında enerji kullanım projeksiyonu	Doğrusal regresyon modeli , 1980-2050	2050 yılında Türkiye nüfusunun 115 milyona ulaşacağı ve kişi başına düşen yıllık elektrik tüketiminin de 10.197 KW olacağı varsayımından Türkiye'nin enerji ihtiyacını 2050 yılında 1,173 milyar KW olarak tahmin etmişlerdir
2004	Hamzaçebi ve Kutay	Türkiye’de 2010 yılına kadar 5 yıllık elektrik enerjisi tüketim tahmininde bulunmuşlardır.	YSA, Box-Jenkins zaman serisi analizi modeli ve regresyon, 1970-2002	Üç ayrı yöntemin sonuçları karşılaştırılmış ve YSA ile diğer iki yöntemden daha başarılı tahmin sonuçları elde edilmiştir.
2004	Ceylan ve Öztürk	Sosyo - ekonomik göstergelere (GSMH, nüfus, ithalat, ihracat) dayalı enerji talep tahmini farklı senaryolar altında lineer ve üstel iki farklı modelle yapılmıştır.	Genetik algoritmalar	2025 yılına kadar yapılan tahmin sonuçları MAED ile karşılaştırılmış ve daha başarılı olduğu görülmüştür.
2005	Sözen ve ark.	Türkiye'nin net enerji tüketimi tahmini için farklı girdilerle iki farklı model oluşturmuşlardır.	YSA, 1975-2003	YSA’nın net enerji tüketimi tahmininde başarılı sonuçlar verdiği sonucuna ulaşılmıştır.

Çizelge 3.1. (Devam) Literatür araştırması tablosu 1 - Türkiye için yapılan enerji tahmin çalışmaları

2005	Öztürk ve ark.	Türkiye'nin toplam ve endüstriyel elektrik enerjisi tahmini için iki farklı non-lineer model (kuadratik ve üstel) oluşturmuş ve 2002–2025 yılları arası projeksiyonda bulunmuşlardır.	Genetik algoritmalar, 1996-2001	1996–2001 yıllarının tahminleri, MAED tahminleri ve gerçekleşen değerler ile karşılaştırıldığında, geliştirilen modeldeki hata oranı MAED' e oranla çok daha düşüktür.
2006	Topallı ve ark.	Türkiye'nin kısa dönemli (bir günlük) toplam elektrik yük tahmininde bulunmak amacıyla, off-line öğrenmeli ve gerçek zamanlı tahmini birleştiren hibrid bir YSA modeli geliştirmişlerdir.	YSA, ARMA	Önerilen metodun özellikle tatil günleri için daha düşük hata verdiği sonucuna ulaşılmış ve 2002 yılı için ortalama %1.60 hata ile tahminde bulunulmuştur.
2006	Tunç ve ark.	Türkiye'nin elektrik tüketim oranını, elektrik enerjisi yatırımlarının dağılımını tahmin için lineer matematiksel bir model geliştirmişlerdir.	Regresyon analizi, 1980–2001	2010 ve 2020 yıllarına ait Türkiye'de elektriksel güç kaynağı yatırımı tahmininde bulunulmuştur
2007	Akay ve Atak	Gri tahmin Yöntemi ile yalnızca bir önceki yılın tüketim verileri kullanılarak yıllık talep tahmininde bulunulmuş ve ilgili yıllara ait ekonomik göstergelerin tahmin amacıyla kullanılmalarına gerek kalmamıştır. Bu da yöntemin bir avantajı olarak değerlendirilmiştir.	Devirsel mekanizmalı gri tahmin yöntemi, 1970-2004	Bu model 1974–2004 yılları arasında toplam elektrik tüketimini %96.31 doğruluk oranıyla tahmin etmiştir. Ayrıca 2006-2015 yılları için tahminde bulunulmuş ve 2015 yılında Türkiye'toplam elektrik tüketiminin 265,5 TW olacağı sonucuna ulaşılmıştır.

Çizelge 3.1. (Devam) Literatür araştırması tablosu 1 - Türkiye için yapılan enerji tahmin çalışmaları

2007	Ediger ve Akar	Türkiye'nin birincil enerji talebini 2005–2020 yılları için tahmin etmişlerdir.	ARIMA ve SARIMA, 1950-2005	Çalışma sonuçlarına göre birincil enerji talebindeki yıllık artış oranı 1950 ile 2005 arasında %4,9 iken 2005 ile 2020 arası %3,3'e düşecektir.
2007	Erdoğan	Kısa ve uzun dönemde fiyat ve gelir esnekliklerine dair tahminde bulunmak ve aynı zamanda elektrik talep tahmini yapmak amacıyla bir model geliştirmiştir.	ARIMA, eş bütünleşme analizi (cointegration analysis)	2005–2014 yılları arasında yıllık elektrik talep tahmininde bulunmuştur. 2000–2004 yılları için yapılan tahminlerde modelin ortalama tahmin hatası %2,2 olarak belirtilmiştir.
2007	Hamzaçebi	2020 yılına kadar Türkiye'nin net elektrik tüketimi sektörel bazda tahmin edilmiştir.	YSA, 1970–2002	Net elektrik tüketiminin 2020 yılına kadar yıllık ortalama artışını endüstriyel tüketim için %45,67, evsel tüketim için %49,9, tarımsal tüketim için %3,65 ve ulaşım için ise %0,75 olarak öngörmüştür.
2007	Toksarı	Türkiye için birincil enerji talep tahmin modelini kurmuş ve gelecekte sosyo-ekonomik göstergelerde meydana gelebilecek değişiklikleri öngören 3 farklı senaryo yardımı ile 2025 yılına kadar tahminde bulunmuştur.	Karınca kolonisi optimizasyonu	Oluşturulan kuadratik modellerin, ekonomik göstergelerin dalgalı yapısına daha uygun olduğu için lineer modellere oranla daha doğru sonuçlar verdiği yargısına varılmıştır
2007	Sözen ve ark.	Net enerji tüketimi ile ekonomik göstergeler arasındaki nedensellik ilişkisini göstermek amacıyla üç farklı model geliştirmişlerdir.	YSA	Sosyo-ekonomik göstergelerin net enerji tüketiminde enerji göstergelerinden daha etkin olduğu sonucuna varmışlardır.

Çizelge 3.1. (Devam) Literatür araştırması tablosu 1 - Türkiye için yapılan enerji tahmin çalışmaları

2008	Ünler	Türkiye için enerji talep tahmin modeli oluşturmuştur.	Parça Sürü Optimizasyonu	2006–2025 yılları arasında enerji talep tahminini 3 ayrı senaryo üzerinden oluşturmuş ve sonuçları Toksarı' nın (2007) ACOEDE modelinin sonuçlarıyla karşılaştırmıştır.
2009	Sözen	Türkiye'nin gelecekteki enerji bağımlılığı oranını tahmin etmek amacıyla temel enerji göstergelerini ve sektörel enerji tüketim verilerini kullanarak iki farklı model oluşturmuştur.	YSA	Enerji bağımlılığının gelecek 14 yıl içerisinde % 72'den %82 'ye yükseleceği sonucuna ulaşmıştır
2009	Toksarı	Net elektrik enerjisi üretim ve talebini tahmin eden iki farklı model kurmuştur. Yine 3 farklı senaryo yardımı ile 2025 yılına kadar tahminde bulunmuştur.	Karınca kolonisi optimizasyonu	Oluşturulan modellerin elektrik enerjisi tahmininde alternatif birer tahmin yöntemi olarak kullanılabileceği sonucuna ulaşılmıştır
2009	Kavaklıoğlu ve ark.	Elektrik tüketimini ekonomik göstergelerin bir fonksiyonu olarak modellemişlerdir.	Çok katmanlı geri yayımlı YSA ANFIS ile yapılan tahmin sonuçları	Türkiye'nin 2027'de net elektrik tüketimi 279 KW olarak tahmin edilmiştir. Ayrıca oluşturulan model yardımıyla aynı yıla ait GSMH, ithalat ve ihracat değerleri de tahmin edilmiştir

Çizelge 3.2. Literatür araştırması tablosu 2 – ANFIS ile yapılan enerji tahmin çalışmaları

<i>Çalışmanın tarihi</i>	<i>Çalışmayı yapanlar</i>	<i>Çalışmanın konusu</i>	<i>Kullanılan yöntem</i>	<i>Varılan sonuç</i>
2005	Hocaoğlu, Kurban	Güneş enerjisinden yararlanma sürelerinin il bazında tahmini	ANFIS,eğri uydurma, doğru uydurma	1995-2002 yılına ait toplam ortalama güneşlenme sürelerini kullanarak 2003 yılına ait toplam güneşlenme süresini üç yöntemle tahmin etmişler ve ANFIS yıllar için gerçek değerlere daha yakın sonuçlar verdiği sonucuna ulaşmışlardır.
2006	Yıldırım ve ark.	Günlük hava kirliliği seviyesi tahmini	ANFIS	%80-90'a varan doğrulukta sonuçlara ulaşmışlardır
2006	Potter, Negnevitsky	Rüzgâr tahmin sistemi geliştirmişlerdir. (Avustralya)	ANFIS	Oluşturdıkları model %4'ün altında bir hata ortalaması ile tahminde bulunmuştur.
2008	Ying ve Pan	Tayvan'da bölgesel elektrik yük tahmini yapmak amacıyla bir model oluşturmuşlardır.	ANFIS	Regresyon analizi, YSA, Genetik algoritmalar ve hibrid elipsoid bulanık sistemlerle elde edilmiş sonuçlarla yaptıkları karşılaştırma sonucunda en iyi tahmin performansının ANFIS'e ait olduğu sonucuna ulaşmışlardır
2009	Hocaoğlu ve ark.	Rüzgâr gözlem istasyonlarında oluşabilecek geçici arıza ya da bakım durumlarında oluşabilecek eksik verilerle aylık rüzgâr hızı tahmini için bir tahmin modeli oluşturmuşlardır.	ANFIS	Her aya ait 3 ya da 5 günlük verilerin olmadığını kabul ederek yaptıkları tahmin çalışmaları sonucunda, eksik verilerle çalışabilen tahmin modeli ile başarılı sonuçlar elde etmişlerdir
2009	Azadeh ve ark.	İran'da 1995–2005 yılları arasında elektrik tüketim tahmininde bulunan bir model geliştirmek amacıyla karma bir yöntem önermişlerdir.	ANFIS, Monte Carlo simülasyonu ve ARIMA	Çalışmanın sonuçlarını GA ve YSA ile yapılan çalışmaların sonuçlarıyla karşılaştırmışlar ve önerdikleri algoritmanın daha üstün olduğu sonucuna ulaşmışlardır.

Çizelge 3.2. (Devam) Literatür araştırması tablosu 2 – ANFIS ile yapılan enerji tahmin çalışmaları

2009	Wang ve ark.	Hidrolojik tahmin modellerini oluştururken kullanılan Yapay zeka tekniklerinin performanslarını kıyaslayan bir çalışma yapmışlardır.	ANFIS	Çalışmanın sonucunda yapay sinir ağları, Anfis, ve genetik programlama metotları arasında en iyi tahmin performansını Anfis'in gösterdiği sonucuna varılmıştır
2009	Yurdusev ve ark.	İzmir için aylık su tüketimi tahmini	ANFIS	Farklı girdilerle oluşturdukları 25 ayrı model neticesinde en iyi tahmin sonuçlarının nüfus, aylık sıcaklık ortalaması ve aylık su faturası verileri girdi olarak alındığında elde edildiği sonucuna ulaşılmıştır
2009	Samer ve ark.	Akış hızını esas alarak nehir üzerinde seyahat zamanını, tahmin eden iki ayrı yöntemle iki ayrı model kurmuşlardır.	ANFIS, Geri Yayımlı YSA	BPNN modeliyle elde edilen sonuçların çok belirgin bir fark olmasa da ANFIS' den daha iyi bir tahmin performansı gösterdiği sonucuna ulaşılmıştır

4. TEORİK ALTYAPI

4.1.Yapay Sinir Ağları

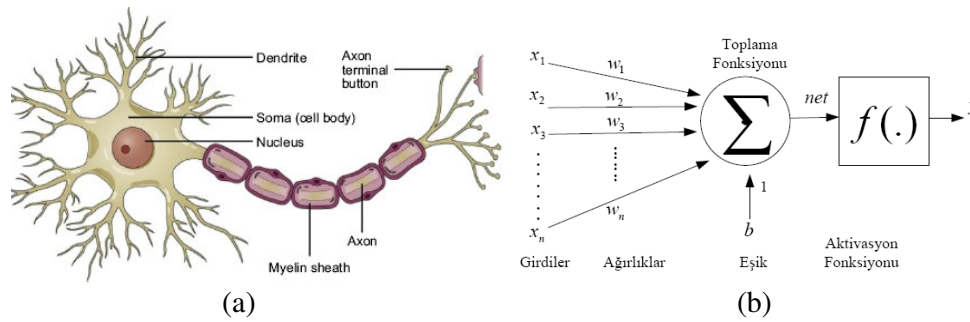
Yapay sinir ağları (YSA), insan beyninin özelliklerinden olan öğrenme yolu ile yeni bilgi türetebilme, yeni bilgi oluşturabilme ve keşfedebilme gibi yetenekleri herhangi bir yardım almadan doğrudan gerçekleştirmek amacı ile geliştirilen algoritmalarıdır.

İnsan beyni, çok hızlı çalışabilen mükemmel bir bilgisayar gibi düşünülebilir. Yapay sinir ağları biyolojik sinir sisteminden esinlenerek geliştirilmiştir. Biyolojik sinir ağlarının performansları küçümsenemeyecek kadar yüksek ve karmaşık olayları işleyebilecek yetenektedir. Yapay sinir ağları ile bu yeteneğin bilgisayarlara kazandırılması amaçlanmaktadır. O nedenle öncelikle biyolojik sinir sistemine kısaca değinmekte yarar vardır [41].

4.1.1. Biyolojik sinir hücreleri

Biyolojik sinir ağları insan beyninin çalışmasını sağlayan en temel taşlardan birisidir. İnsanın bütün davranışlarını ve çevresini anlamasını sağlar.

Biyolojik sinir ağları beynimizde bulunan birçok sayıda sinir hücresinin bir koleksiyonudur. Sinir hücreleri birbirleri ile bağlanarak fonksiyonlarını yerine getirirler.



Şekil 4.1. (a) Biyolojik sinir hücresi ve (b) yapay sinir hücresi

Şekil 4.1.(a)'da temel bir biyolojik sinir hücresi *sinapsler*, *soma*, *axon* ve *dentrite*'lerden oluşmaktadır. *Sinapsler* sinir hücreleri arasındaki bağlantılar olarak görülebilir. Bunlar fiziksel bağlantılar olmayıp bir hücreden diğerine elektrik sinyallerinin geçmesini sağlayan boşluklardır. Bu sinyaller *somaya* giderler. *Soma* bu sinyalleri işler ve kendi elektrik sinyalini oluşturur ve *axon* aracılığıyla *dendritelere* gönderir. *Dendriteler* ise bu sinyalleri *sinapslere* aktarır ve böylece sinyal akışı bir hücreden diğer hücreye doğru devam eder [41].

4.1.2. Yapay sinir hücresi

İnsan beyninin çalışma şeklini taklit eden YSA'ları veriden öğrenebilme, genelleme yapabilme, sınırsız sayıda değişkenle çalışabilme vb. birçok önemli özelliğe sahiptir. Biyolojik sinir ağlarının sinir hücreleri olduğu gibi yapay sinir ağlarının da yapay sinir hücreleri vardır.

YSA' nın çalışmasına esas teşkil eden en küçük birimler yapay sinir hücresi ya da *proses elemanı* olarak adlandırılmaktadırlar. (Bkz. Şekil 4.1(b), [42])

Yapay bir sinir hücresi girdiler, ağırlıklar, birleştirme fonksiyonu, aktivasyon fonksiyonu ve çıktı olmak üzere 5 ana bileşenden oluşmaktadır [41].

1. Girdiler: Bir yapay sinir hücresine dış dünyadan veya diğer hücrelerden gelen bilgilerdir.
2. Ağırlıklar: Ağırlıklar bir yapay hücreye gelen bilginin önemini ve hücre üzerindeki etkisini gösterir. Ağırlığın eksi değer olması etkisinin negatif olduğunu gösterir. Ağırlığın sıfır olması ise herhangi bir etkinin olmadığını gösterir. Ağırlıklar sabit veya değişken değerler olabilirler.
3. Toplama fonksiyonu: Bu fonksiyon bir hücreye gelen net girdiyi hesaplar. Bunun için değişik fonksiyonlar kullanılmaktadır. En yaygın olanı ağırlıklı toplamı

bulmaktır. Burada her gelen girdi değeri kendi ağırlığı ile çarpılarak toplanır. Böylece ağa gelen net girdi bulunmuş olur.

$$NET = \sum_{i=1}^n G_i A_i \quad (4.1)$$

Burada G girdileri, A ağırlıkları, n ise bir hücreye gelen toplam girdi sayısını göstermektedir. Yalnız YSA'da daima bu formülün kullanılması şart değildir. Tasarımcının vereceği karara bağlı olarak değişik formüller kullanılabilir.

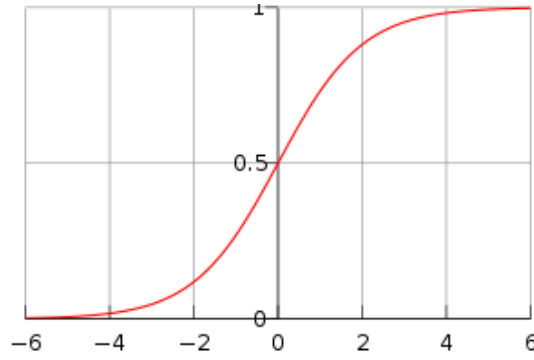
4. Aktivasyon Fonksiyonu: Bu fonksiyon hücreye gelen net girdiyi işleyerek hücrenin bu girdiye karşılık üreteceği çıktıyı belirler. Toplama fonksiyonunda olduğu gibi aktivasyon fonksiyonu olarak da değişik formüller kullanılabilmektedir. Bazı modeller (çok katmanlı algılayıcı) bu fonksiyonun türevinin alınabilir bir fonksiyon olmasını gerektirmektedir. Toplama fonksiyonunda olduğu gibi aktivasyon fonksiyonunda da ağırlık proses elemanlarının hepsinin aynı fonksiyonu kullanması gerekmez.

Genel olarak aktivasyon fonksiyonu olarak *sigmoid fonksiyonu* kullanılmaktadır (Bkz. Şekil 4.2). Bu fonksiyonun formülü aşağıdaki gibidir:

$$F(NET) = \frac{1}{1 + e^{-NET}} \quad (4.2)$$

Burada NET proses elemanına gelen net girdi değerini göstermektedir. Bu değer toplama fonksiyonu ile elde edilir.

5. Hücrenin Çıktısı: Aktivasyon fonksiyonu tarafından belirlenen çıktı değeridir. Üretilen çıktı dış dünyaya veya başka bir hücreye gönderilebilir. Hücre kendi çıktısını kendisine girdi olarak da gönderebilir. Bir proses elemanının birden fazla girdisi olmasına rağmen sadece bir çıktısı olmaktadır.



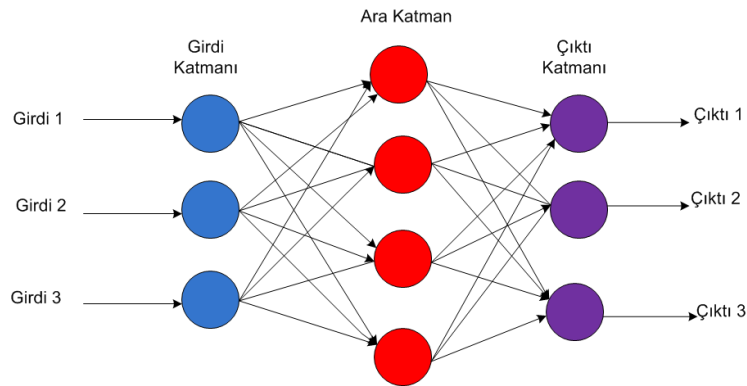
Şekil 4.2. Sigmoid fonksiyonu

Ağ şeklinde gösterildiğinde bir proses elemanının birden fazla çıkışı varmış gibi görülmektedir. Bu sadece gösterim amacıyladır. Aslında bir proses elemanından çıkan tek bir çıktı değeri, birden fazla proses elemanına girdi olarak gitmektedir.

4.1.3. Yapay sinir ağının yapısı

Yapay sinir hücreleri bir araya gelerek yapay sinir ağını oluştururlar. Genel olarak hücreler 3 katman halinde bir araya gelirler. Bu katmanlar:

- ✓ Girdi katmanı
- ✓ Ara katman(lar)
- ✓ Çıktı katmanı (Şekil 4.3)



Şekil 4.3. Çok katmanlı bir yapay sinir ağı örneği

4.1.4. Yapay sinir ağlarında öğrenme

Yapay sinir ağlarında proses elemanlarının bağlantılarının ağırlık değerlerinin belirlenmesi işmine “*ağın eğitilmesi*” denir. Başlangıçta bu ağırlık değerleri rasgele atanır, YSA kendine örnekler gösterildikçe bu ağırlık değerlerini değiştirir. Ağırlıkların değerlerinin değişmesi belirli kurallara göre yürütülmektedir. Bu kurallara “*öğrenme kuralları*” denir.

Öğrenme olayı iki aşamalıdır. Birinci aşamada ağa gösterilen örnek için ağın üreteceği çıktı belirlenir. İkinci aşamada ise bu çıktı değerinin doğruluk derecesine göre bağlantıların sahip olduğu ağırlıklar değiştirilir.

Ağın doğru ağırlık değerlerine ulaşması örneklerin temsil ettiği olay hakkında genellemeler yapabilme yeteneğine kavuşması demektir. Bu genelleştirme özelliğine kavuşması işlemine *ağın öğrenmesi* denir.

Ağın eğitimi tamamlandıktan sonra öğrenip öğrenmediğini (performansını) ölçmek için yapılan denemelere ise *ağın test edilmesi* denmektedir. Ağın daha önce görmediği örnekler kullanılarak test edilir. Test etme sırasında ağın ağırlık değerleri değişmez. Test aşamasında elde edilen çıktıların doğruluk dereceleri ağın öğrenmesi hakkında bilgi verir.

Yapay sinir ağlarının bilinen örneklerden belirli bilgileri çıkartarak bilinmeyen örnekler hakkında yorum yapabilme (genelleme yapabilme) yeteneğine “*Adaptif öğrenme*” denir [41].

4.1.5. Yapay sinir ağlarının genel özellikleri

- ✓ Yapay sinir ağları, örneklerden elde ettikleri bilgi ile kendi deneyimlerini oluşturur ve daha sonra benzer durumlarda benzer kararları verirler.
- ✓ Yapay sinir ağlarında bilgi ağdaki bağlantıların değerleri ile ölçülmektedir yani bilgi ağın üzerinde saklıdır.
- ✓ Bilginin ağa dağıtılmış olması, dağıtık bir belleğe sahip olduklarını gösterir.
- ✓ Sadece nümerik bilgi ile çalışabilirler.

- ✓ YSA eğitildikten sonra eksik bilgi ile çalışabilir ve gelen yeni örneklerde eksik bilgi olmasına rağmen sonuç üretebilirler.
- ✓ Belirsiz, tam olmayan bilgileri işleyebilmektedirler. Olayları öğrendikten sonra olaylar ile ilgili ilişkiler kurarak karar verebilirler.

Yapay sinir ağları günümüzde geliştirilmiş en güncel ve en mükemmel örüntü tanıyıcı ve sınıflandırıcılardan sayılabilirler. Eksik bilgiler ile çalışabilme ve normal olmayan verileri işleyebilme yetenekleri ile geleneksel bilgisayar yazılım teknolojileri ile çözülemeyen birçok problemin yapay sinir ağları ile çözülebilmektedir. Özellikle çok sayıda veriyi işleme gerektiren (radar verileri gibi) işlerde çok avantajlı sonuçlar elde edilebilmektedir [41].

4.1.6. Yapay sinir ağlarının avantajları

- ✓ Yapay sinir ağları matematik olarak modellenmesi mümkün olmayan veya zor olan karmaşık problemleri çok rahat modelleyerek çözebilmektedir.
- ✓ Yapay sinir ağlarını kullanarak problemleri başarılı bir şekilde çözebilmek için problemin çok iyi modellenmesi gerekmektedir.
- ✓ Bu modelleme problemi çözebilmek için sadece söz konusu olay ile ilgili örneklerin belirlenip toplanmasına yardımcı olacaktır. Örneklerin dışında herhangi bir ön bilgiye ihtiyaç yoktur.
- ✓ Gerçek dünyada olaylar ve olayların arkasındaki değişik faktörlerin birbiri üzerindeki etkilerini bilmek zordur. Yapay sinir ağları, bu ilişkileri otomatik olarak örneklerden öğrenir. Kullanıcıların bu ilişkileri bilmesi ve ağa söylemesi beklenmemektedir.
- ✓ Yapay sinir ağları için olaylar arasındaki ilişkilerin doğrusal olup olmaması önemli değildir. Geleneksel sistemlerin aksine yapay sinir ağları ile doğrusal olmayan ilişkilerin modellenmesi zor değildir. Örneklerle öğrenen ağ tarafından verilen kararlar varsayımlar içermediğinden daha gerçekçidirler.
- ✓ Yapay sinir ağları uygulamaları hem pratik hem de maliyet bakımından daha ucuzdurlar.
- ✓ Yapay sinir ağları zaman bakımından çok verimli çalışırlar.

- ✓ Yapay sinir ağıları yeni bilgilerin ortaya çıkması ve ortamda bazı değişikliklerin olması durumunda yeniden eğitilebilirler, yani uyarlanabilirlerdir.
- ✓ Yapay sinir ağlarının paralel çalışabilmeleri onların gerçek zamanlı kullanımlarını kolaylaştırmaktadır [41].

4.1.7. Yapay sinir ağlarının dezavantajları

Yapay sinir ağlarının belirtilen birçok avantajlı özelliklerinin yanı sıra bazı dezavantajları da vardır. Bunlar:

- ✓ Yapay sinir ağlarının oluşturulmasında, model seçilmesinde, ağın topolojisinin belirlenmesinde bir kural seti yoktur. Probleme uygun ağ yapısının belirlenmesi genellikle deneme yanılma yolu ile yapılmaktadır. Eğer problem için uygun bir ağ oluşturulmaz ise problem çözülemeyeceği gibi, performansı düşük çözümler de elde edilebilir.
- ✓ Yapay sinir ağları, kabul edilebilir çözümler üretebilirler, optimum çözümü garanti etmezler.
- ✓ Yapay sinir ağları, sadece nümerik bilgiler ile çalıştıklarından problemin nümerik gösterime dönüştürülmesi gerekmektedir.
- ✓ Ağın davranışları açıklanabilir değildir. Bir probleme çözüm üretildiği zaman bunun nasıl ve neden üretildiği konusunda bir bilgi bulmak mümkün değildir. Bu ise ağın verdiği sonuca olan güveni azaltmaktadır. Özellikle insan hayatı ile ilgili olan problemlerde kullanım alanlarını sınırlandırmaktadır.
- ✓ Eğitimin gerçekleştirilmesi uzun zaman alabilmektedir.
- ✓ Yapay sinir ağlarının donanım bağımlı çalışmaları önemli bir sorun olarak görülebilir. Gerçek zamanlı bilgi işleyebilmeleri paralel işlemciler üzerinde çalışabilmelerine bağlıdır. Günümüzde bilgisayarların çoğu seri şekilde çalışabilmektedir. Paralel işlemleri seri makinelerde yapmak ise zaman kaybına yol açmaktadır.

Yapay sinir ağları genel olarak aşağıdaki fonksiyonları gerçekleştirmek için uygulandıkları görülmektedir:

- ✓Tahmin
- ✓Sınıflandırma
- ✓Veri ilişkilendirme
- ✓Veri filtreleme
- ✓Tanıma ve eşleştirme
- ✓Teşhis
- ✓Yorumlama

4.2. Bulanık Mantık

4.2.1. Bulanık mantık kavramı

Klasik mantık, “her önerme ya doğrudur ya da yanlıştır” varsayımına dayanarak hareket etmektedir. Oysa bazı önermelerin doğruluk değeri ölçümlerin temel sınırlamalarından dolayı belirsiz olabilmektedir. Bulanık mantık, klasik mantıkta iki önerme arasında belirsizlik adı verilen üçüncü bir önerme ortaya konmuştur. Böylece klasik iki değerli mantığın doğru ve yanlış olan doğruluk değerleri daha esnek hale getirilmiştir. Bulanık mantık konusu ilk defa 1965’de Zadeh tarafından ortaya atılmıştır [43].

Zadeh bu çalışmasında insanların bazı sistemleri makinelerden daha iyi denetleyebilmelerinin nedenini insanların kesinlik ile ifade edilemeyen (belirsiz) bazı bilgileri kullanarak karar verebilme özelliğine sahip olmalarına dayandırmıştır.

L. Zadeh’ e göre dar anlamda bulanık mantık, çok değerli mantığın genişletilmesi ve bir genelleştirilmesi sayılabilecek yaklaşık/kestirimsel akıl yürütme mantığıdır. Geniş anlamda ise bulanık mantık, bulanık kümeler kuramının genişletilmesidir. [44].

Zadeh’e göre bulanık mantık ve bulanık kümeler kuramı özetle şöyle der:

“Kesinlik diye bir şey yoktur. Mutlak kesin olan hiçbir şey yoktur. Her şey, matematiksel olarak ifade edersek, 0 ile 1 arasındaki sınırdadır değişmektedir “ [45].

Uluslararası Bulanık Sistemler Derneği, 1987 yılında, Tokyo’da bir konferans düzenledi. Bu konferans ile bulanık mantığa duyulan ilgide ani bir artış gözlenmiştir. Bu konferansta, bulanık mantıkla programlanan bir robot, bir çiçeği ince bir çubuğun üzerinde düşmeyecek şekilde bırakmayı başarmıştır.

Bundan daha fazla ilgi çeken gerçek ise, robotun bunu yaptığını gören bir seyircinin mühendise, sistemden bir devreyi çıkarmasını teklif etmesinden sonra görülmüştür. Mühendis önce, devreyi çıkardığında çiçeğin düşeceği endişesi ile bunu kabul etmemiş, fakat seyircinin çiçeğin ne tarafa doğru düşeceğini görmek istediğini söylemesi üzerine devreyi çıkarmıştır. Robot yine aynı hassaslıkla çiçeği düşürmeden çubuğun üzerine bırakınca hiç kimse şaşkınlığını gizleyememiştir. Bulanık mantık dizgeleri, yetersiz bilgi temin edilse bile tıpkı insanların yaptığı gibi bir tür "sağduyu" kullanarak, yani mevcut bilgiler yardımıyla sonuca götürücü mantıksal işlemleri gerçekleştirebilmektedir. Benzer şekilde kameralarda kullanılan bulanık mantık dizgeleri ise sarsıntılardan doğan görüntü bozukluklarını asgariye indirmektedirler [46].

Bulanık mantık işlemleri, bir problemin analizi ve tanımlanması, değişken kümelerin ve mantık ilişkilerinin geliştirilmeden bulunan bilgilerin bulanık kümelere dönüştürülmesi ve modelin yorumlanması işlemlerinden oluşmaktadır. Bulanık mantık algoritması her türlü problem için uygun olmayabilir. Başka bir modelin uygun olduğu durumda bulanık mantık kullanmak istenen sonucu vermeyebilir. Bir veya birden fazla denetim değişkeninin olduğu durumlarda ve sisteme ait matematiksel bir modelin bulunmadığı veya bulunsu da bunu kodlamanın zor olduğu durumlar ile gerçek zaman işlemleri için ayrıntılı hesaplamanın çok karmaşık olduğu durumlarda bulanık mantık uygulanabilir [47].

4.2.2. Bulanık mantığın avantaj ve dezavantajları

Bulanık mantığın belirli bir formal tasarım metodunun olmayışı ve halen iyi metriklerle sahip bulunmayışı, bulanık mantığın ne zaman kullanılması gerektiğinin ve geleneksel yöntemlerden ne kadar iyi sonuç vereceğinin kestirilmesini

zorlaştırmaktadır. Ayrıca bulanık mantık uygulamalarında kullanılan kuralların, mutlaka uzman deneyimlerine bağlı olarak konulması gereksinimi ve üyelik fonksiyonları deneme ile bulunduğu için zaman kaybının olabileceği, bulanık mantığın dezavantajları arasında sayılabilir.

Çok karmaşık, doğrusal olmayan, belirsizlik içeren ve geleneksel yöntemlerle oluşturulamayan sistemlerin oluşturulmasına olanak tanınması da bulanık mantığın avantajları arasındadır. Ayrıca, bulanık mantığın insan düşünüş tarzına yakın olması, matematiksel modellere uyum sağlaması, uygulamalarının hızlı ve ucuz olması, insan davranışlarını formüle etmesi, karar aşamalarını açık bırakmayacak şekilde tanımlaması, sistemlerde insan müdahalesine yer vermemesi ile birlikte sistemin kısa sürede gerçekleştirilmesi ve yeni olanaklara açık olması bulanık mantığın avantajlarından [48].

4.2.3. Bulanık modelleme ve aşamaları

Formüller ve denklemler sistemleri tanımlamada, yaygın olarak kullanılan araçlardır. Sistemlerin matematiksel formüller yardımıyla ifadesi matematik modellemeyi gerekli kılar. Ancak bazı sistemlerin yapısı matematik modellemeye elverişli değildir. Karmaşık yapı, doğrusal olmama ve belirsizlik gibi özellikler yaklaşık sonuç almayı gerekli kılmaktadır. Üyelik fonksiyonları ve kural sistemi kullanılarak karmaşık sistemlerin yaklaşık olarak tanımlanmasında “bulanık sistem modelleme” en etkin araçlardan biridir [49].

Kurallar, değişkenler arasındaki ilişkileri belirlemede önemli araçlardır. Bulanık modellerin kapalı kutu modellerden (ör; sinir ağları, genetik algoritmalar) en önemli farkı; sistem tanımlamayı basitleştirmesi ve saydam analizler yapılmasına olanak tanınmasıdır [50].

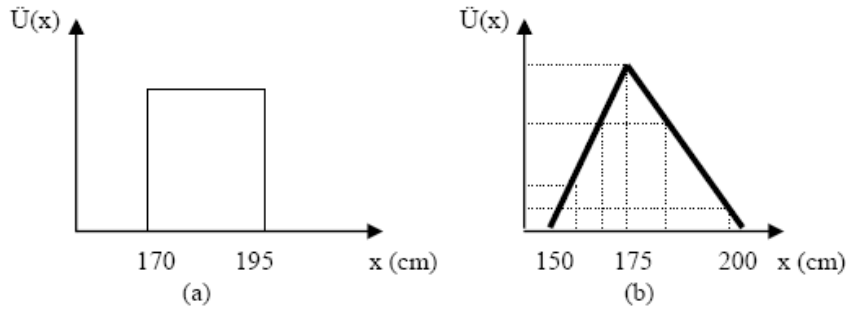
En genel bulanık modelleme teknikleri şunlardır: [51]

✓ Mamdani (linguistik) modeli [52]

✓ Takagi-Sugeno Modeli [53]

4.2.4. Üyelik fonksiyonları

Bulanık mantıkta belirsizlik durumları, bu durumu temsil eden küme elemanlarına üyelik fonksiyonlarının verilmesi ile tanımlanır. En büyük önem derecesine sahip olan öğelere 1 değeri atanırsa, diğerleri 0 ile 1 arasında değişim gösterir. İşte bu şekilde 0 ile 1 arasındaki değişimin her bir öğe için değerine, üyelik derecesi ve bunun bir alt küme içindeki değişimine de üyelik fonksiyonu denilmektedir [54].



Şekil 4.4. Uzun boylu insanlar kümesinin (a) klasik ve (b) bulanık gösterimi

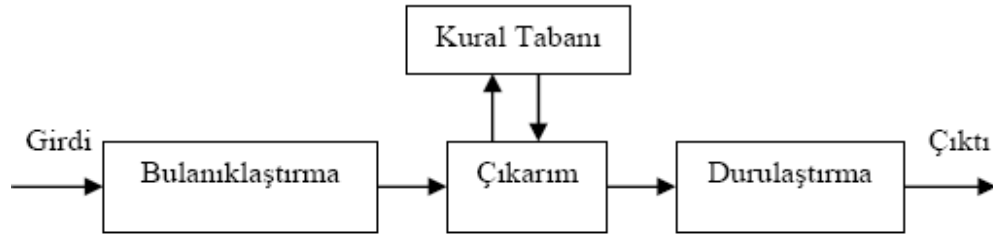
Şekil 4.4.(a)' da gösterildiği gibi klasik A kümesi (uzun boylu insanlar kümesi), bulanık küme kapsamında değerlendirildiğinde, kümenin elemanı olma veya olmama hali belirli üyelik dereceleri ile ifade edilmektedir (Şekil 4.4.(b)). Buna göre A bulanık kümesinin elemanları ve üyelik dereceleri liste olarak aşağıdaki biçimde verilmektedir [61].

$$A = \{ 0.2/160 + 0.9/170 + 1/175 + 0.8/180 + 0.1/196 \}$$

4.2.5. Bulanık çıkarım sistemi

Bulanık mantık modellemenin ilk aşaması, problemin tanımlanması ve buna göre uygun parametrelerin seçilerek üyelik fonksiyonlarının oluşturulmasıdır. Daha sonra ilgili parametreler ve oluşturulan bulanık alt kümelerle göre problemin çözümünü

içeren kurallar dizisi veya kural tabanı oluşturulur. Üçüncü aşamada ise, bu kurallardan ve tümevarım ya da tümdengelim yolu ile geliştirilen birtakım çıkarım yöntemleri (En büyük- en küçük, en büyük çarpım v.b. gibi) seçilir [60]. Son aşamada ise, bulanık olan değerın tekrar durulaştırılması veya klasik sayılara dönüştürme yöntemi (ağırlık merkezi, ağırlıklı ortalama v.b.) belirlenir.



Şekil 4.5. Bulanık mantık sisteminin genel yapısı

Bulanık mantık sisteminin çalışma yapısı Şekil 4.5’de gösterilmiştir. Öncelikle girdiler üyelik fonksiyonları ile değerlendirilerek bulanıklaştırılır. Daha sonra, seçilen çıkarım yöntemine göre ve kural tabanından faydalanarak çıkarım yapılır ve elde edilen bulanık sonuç durulaştırılarak klasik sayı haline dönüştürülür. Yukarıdaki ifadelerden anlaşıldığı üzere, bulanık mantık yardımı ile, özellikle belirsizlikler içeren, doğrusal olmayan ve eksik verilerin bulunduğu problemler kolayca modellenebilmektedir. Bu yapısı nedeni ile öncelikle kontrol, karar verme ve tahmin problemleri olmak üzere pek çok alanda bulanık mantık yaygın bir şekilde kullanılmaktadır.

5. SİNİRSEL - BULANIK SİSTEMLER

5.1. Sinirsel Bulanık Sistemlerin Tanımı

Sinir ağları bölümünde verilen bilgilerde dikkat edilmesi gereken; sinir ağlarının iki önemli özelliğinin olmasıdır. Bunların ilki, nümerik verilerden doğrusal olmayan haritalama yapabilme özelliği, ikincisi ise, paralel çalışma özelliğidir. Tüm bunların yanı sıra, sinir ağları pek çok zayıflığa sahiptir. Örneğin; çok katmanlı ağ yapısında, sistem bilgisinin tüm ağa ağırlıklarla dağıtılmış olması nedeniyle ağırlıkların anlamsal özelliklerini açıklamak oldukça zordur ve ağda bulunan daha önceki bilgileri birleştirmek neredeyse imkânsızdır.

Bulanık mantık, sistem bilgisini açıklamak için insanın anlayabileceği yapıdaki sözel ifadeleri kullanır. Bu özellik, sistem ve insan arasındaki kapalı bir etkileşimi mümkün kılar. Bu da arzu edilen bir durumdur [55]. Bulanık mantığın en önemli eksikliği ise öğrenme yeteneği olmamasıdır.

Yapay sinir ağları ile bulanık mantığa öğrenme yeteneği kazandırılabilir. Sinir ağları ile sunulan bilgidaki anlaşılma zorluğu da bulanık mantığın sözel terimleri ve eğer – o halde kuralları ile ortadan kaldırılarak anlaşır çıktılar elde edilebilir. Sinirsel - bulanık sistemlerin amacı her iki yaklaşımın da faydalarını toplayıp, bir araya getirmektir.

Bulanık mantık ile YSA' nın birleşmesi iki şekilde olmaktadır:

- ✓Bulanık Sinir Ağları
- ✓Sinirsel Bulanık Sistemler

Bulanık sinir ağı ile bulanık bilgi işleme yeteneğine sahip bir yapay sinir ağı ifade edilmek istenirken; sinirsel bulanık sistemler ile de bulanık çıkarım sistemleri sinir ağı yetenekleri ile zenginleştirilmektedir [56].

Daha açık bir ifade ile bulanık sinir ağlarında bulanık mantık ile klasik sinir ağlarının bilgi sunum yetenekleri zenginleştirilmektedir. Bulanık-sinir ağlarında ağın eğitim sürecinin bulanıklaştırılması, sinir ağı çıktılarının bulanık küme ile ifade edilmesi ve sinir hücrelerinin standart çarpım ve toplam işlemleri yerine bulanık küme teorisinde kullanılan birleşim, kesişim gibi çeşitli işlemlerin kullanılması adımları mevcuttur.

Sinirsel bulanık sistemlerde ise esneklik, hız ve uyarlanabilirlik gibi özelliklerin sinir ağları ile bulanık sisteme eklenme durumu söz konusudur [56].

5.2. Sinirsel-Bulanık Sistemlerin Avantajları

- ✓Öğrenme yeteneği
- ✓Kesin olmayan girdi ve sistem çıktılarının dilsel ifade edilebilirliği
- ✓Uyarlanabilirlik
- ✓Bilgiyi eş zamanlı işleme yeteneği

ANFIS [57], FALCON (Fuzzy Adaptive Learning COntrol Network) [62], FUN (FUZZY Net) [63], GARIC (Generalized Approximate Reasoning based Intelligent Control) [64], NEFCLASS (NEuro Fuzzy CLASSification) [65], NEFCON (NEuro Fuzzy COntrol) [66], ve NEFPROX (NEuro Fuzzy function apPROXimation) [67], FINEST (Fuzzy Inference and Neural Network in Fuzzy Inference Software) [68], son yıllarda geliştirilen sinirsel bulanık sistemler arasında en çok bilinenleridir. ANFIS modeli Sugeno benzeri bulanık sistem içerir ve geri yayımlı öğrenme kullanır. GARIC, NEFCON (sinirsel-bulanık kontrolcü), NEFCLASS (sinirsel-bulanık sınıflandırıcı) ve NEFPROX (sinirsel-bulanık kestirim modeli) modelleri de Mamdani tip bulanık sistemleri kullanmaktadır.

RMSE hata kriteri göz önünde bulundurulduğunda Sugeno tip bulanık çıkarım sistemlerinin, Mamdani tip bulanık sistemlerden daha iyi sonuçlar verdiği görülmüştür. Ancak Sugeno tip bulanık sistemler daha fazla hesaplama gerektirmektedir [69].

Bu yöntemlerin her birinin diğerlerine göre avantajlarının yanı sıra dezavantajları bulunmaktadır. Hesaplama zamanı, performans seviyesi veya kural tabanını anlamlılığı kriterlerine göre yöntemler birbirlerine göre üstünlük sağlayabilmektedir [69].

ANFIS en iyi bilinen sinirsel bulanık sistemlerden biridir Jang tarafından (1993) Takagi - Sugeno bulanık modeli esas alarak geliştirilmiştir [57].

Takagi-Sugeno bulanık çıkarım sisteminin öğrenme algoritması, en küçük kareler yöntemi ile geri yayılım algoritmasından oluşan melez bir öğrenme algoritmasıdır. Bu algoritmada üyelik fonksiyonu parametreleri geri yayılım algoritması ile belirlenirken en küçük kareler yöntemi tarafından uygun sonuç parametreleri kabul edilir. İkinci adımda parametreler yeniden üretilir ve sonuç parametreleri sabit kalırken önceki parametreler ile yer değiştirir.

5.3. Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System - ANFIS

Bulanık sistemlerin etkinliğinin artırılmasında, uyarlama tekniğinin katkısını sağlamaya yönelik çeşitli yöntemler geliştirilmiştir. Bunlardan biri de kimliklendirme işleminin, işleyişi adaptif ağ yapısı içerisinde gerçekleşen, bulanık bir modelle gerçekleştirildiği ANFIS tekniğidir. Sinirsel adaptif öğrenme teknikleri, bulanık modelleme prosedürü için veri setini kullanarak ilgili sistemi “öğrenen” bir model geliştirmeyi sağlar.

Sistemin kimliklendirilmesinde kullanılacak olan bulanık model, adaptif ağ yapısı tarzındaki işleyişi sayesinde, hem sistem hakkındaki çevresel bilgiyi kullanarak, hem de sisteme ilişkin giriş çıkış verisinden faydalanarak kendi kendini güncelleme yeteneği edinmiştir. Esasen ANFIS yapısı, Sugeno tipi bulanık sistemlerin, sinirsel öğrenme kabiliyetine sahip bir ağ yapısı olarak temsilinden ibarettir. Bu ağ, her biri belli bir fonksiyonu gerçekleştirmek üzere, katmanlar halinde yerleştirilmiş düğümlerin birleşiminden oluşmuştur [58].

Bulanık Çıkarım Sisteminde üyelik fonksiyonları seçimi keyfidir, kullanıcıya bağlıdır. Üyelik fonksiyonlarının şekli de parametrelere bağlıdır. Ancak bazı modellerde verilere bakılarak üyelik fonksiyonunun şeklinin nasıl olması gerektiği kolayca fark edilemez.

5.3.1.Genel mimarisi ve işleyişi

Basit olması açısından, bulanık çıkarım sistemini, x ve y gibi iki girişi ve z gibi bir çıkışı olduğunu farz ederek ele alalım. İki tane bulanık “Eğer – ise - o halde” kuralı bulunan, birinci dereceden Sugeno bulanık modeli için tipik kural kümesi;

Kural-1: Eğer x A_1 ise ve y B_1 ise o halde $f_1 = p_1 x + q_1 y + r_1$

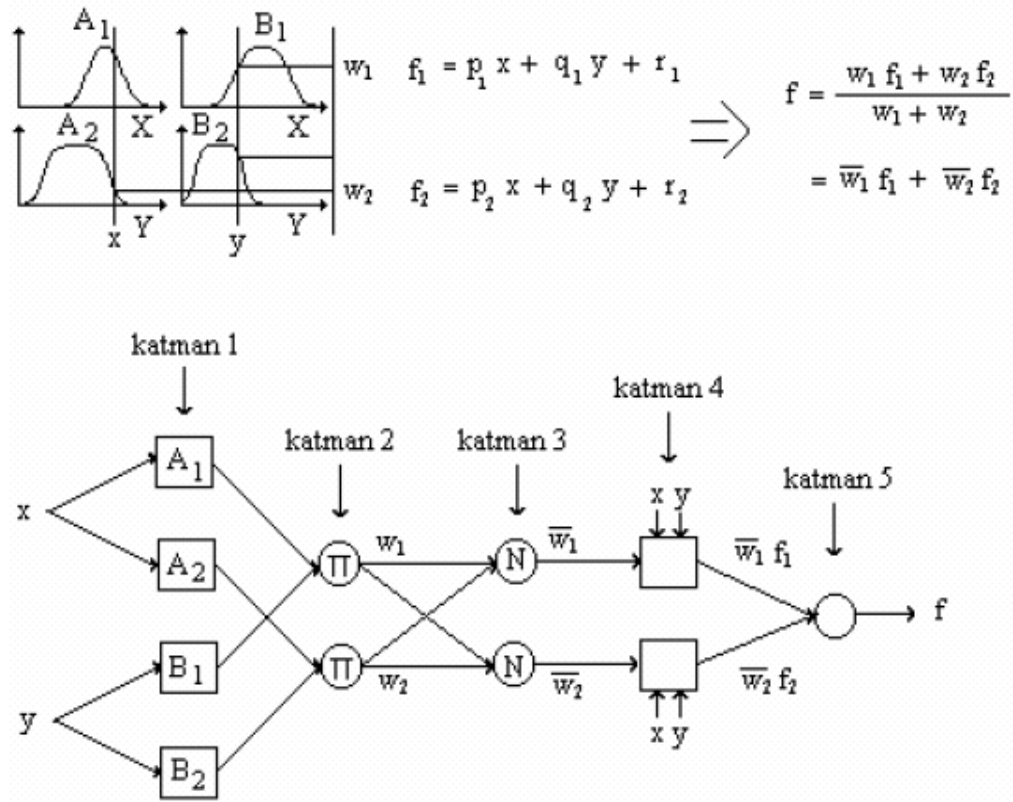
Kural-2: Eğer x A_2 ise ve y B_2 ise o halde $f_2 = p_2 x + q_2 y + r_2$

şeklinde ifade edilir.

Şekil 5.1’de Sugeno bulanık modeli için bulanık çıkarım mekanizması ve bu yapıya karşılık gelen, eşdeğer ANFIS mimarisi yer almaktadır [57].

Sinirsel uyarlanır öğrenme teknikleri, bulanık modelleme prosedürü için veri setini kullanarak ilgili sistemi “öğrenen” bir model geliştirmeyi sağlar. Yani ANFIS girdi/çıkış veri setini YSA ‘ndaki geri yayımlı algoritmayı tek başına ya da en küçük kareler yöntemi ile birlikte kullanarak üyelik fonksiyonu parametrelerini düzenleyerek bir bulanık çıkarım sistemi (fuzzy inference system - FIS) oluşturur. Bu düzenleme bulanık sistemimizin modellediği veriler yardımıyla ilgili sistemi öğrenmesini sağlar. Yani kendini modelleyeceği veriye göre uyarlar/adapte eder. Bu nedenle uyarlanabilirdir [59].

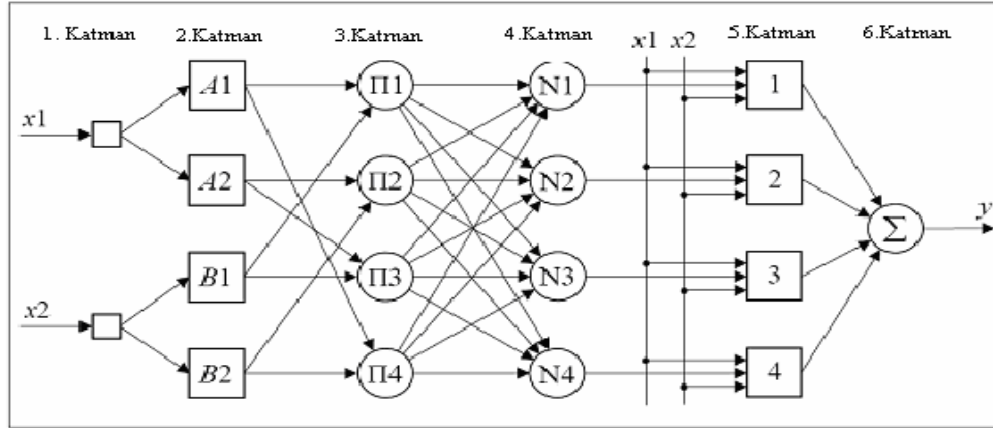
Uyarlanır ağ yapısı işleyişi sayesinde, hem sistem hakkındaki çevresel bilgiyi kullanarak, hem de sisteme ilişkin giriş çıkış verisinden faydalanarak kendi kendini güncelleme yeteneği edinmiştir. Ayrıca ANFIS, sayısal gruplandırma ve kural koyma gibi gelişmiş veri analiz teknikleri içermektedir.



Şekil 5.1. Sugeno bulanık modeli ve eşdeğer ANFIS mimarisi

ANFIS, ele alınan problem için oluşturulan yapıya göre olası tüm kuralları atayabilmekte veya kuralların veriler yardımıyla uzman tarafından atanmasına olanak vermektedir. ANFIS'in kural oluşturabilmesi veya kural oluşturulmasına olanak sağlaması uzman görüşlerinden faydalanması anlamına gelmektedir. Bu nedenle birçok tahmin probleminde yapay sinir ağlarına uzman görüşlerinden faydalanma imkânı tanıdığı için ortalama hata kareler kriterine göre daha iyi sonuçlar elde edilmesini mümkün kılmaktadır.

ANFIS, 6 katmandan oluşmaktadır. Bu sistem şekil 5.2'de gösterilmiştir. ANFIS yapısındaki her katmana ait düğüm işlevleri ve katmanların isleyişi sırasıyla şöyledir:



Şekil 5.2. Uyarlamalı (adaptif) ağ tabanlı bulanık mantık çıkarım sistemi

1. Katman

Girdi katmanı olarak adlandırılmaktadır. Bu katmandaki her düğümden alınan giriş sinyalleri diğer katmanlara aktarılır. Her bir i düğümü için çıkış aşağıdaki gibi tanımlanır:

$$O_{1,i} = \mu_{A_i}(x), \quad i = 1, 2 \quad (5.1)$$

$$O_{1,i} = \mu_{B_{i-2}}(x), \quad i = 1, 2 \quad (5.2)$$

2. Katman

Bulanıklaştırma katmanı olarak adlandırılır. Giriş değerlerini bulanık kümeler ayırmada Jang' ın ANFIS modeli, üyelik fonksiyonu sekli olarak genelleştirilmiş Bell aktivasyon fonksiyonunu kullanmaktadır. Burada, her bir düğümün çıkışı, giriş değerlerine ve kullanılan üyelik fonksiyonuna bağlı olan üyelik derecelerinden oluşmaktadır. 2. katmandan elde edilen üyelik dereceleri $\mu_{A_i}(x)$ ve $\mu_{B_i}(y)$ şeklinde gösterilir.

3. Katman

Kural katmanıdır. Bu katmandaki her bir düğüm, Sugeno bulanık mantık çıkarım sistemine göre oluşturulan kuralları ve sayısını ifade etmektedir. Her bir kural düğümünün çıkışı μ_i , 2. katmandan gelen üyelik derecelerinin çarpımı olmaktadır. μ_i değerlerinin elde edilişi ise, ($j=1,2$) ve ($i=1 \dots n$) olmak üzere,

$$y_i^3 = \prod_i \mu_{A_i}(x) \times \mu_{B_i}(y) = \mu_i \quad (5.3)$$

şeklinde. Burada, y_i^3 , 3. katmanın çıkış değerlerini; n ise, bu katmandaki düğüm sayısını ifade etmektedir.

4. Katman

Normalizasyon katmanıdır. Bu katmandaki her bir düğüm, kural katmanından gelen tüm düğümleri giriş değeri olarak kabul etmekte ve her bir kuralın normalleştirilmiş ateşleme seviyesini hesaplamaktadır. Normalleştirilmiş ateşleme seviyesi μ_i 'nin hesaplanması ise,

$$y_i^4 = N_i = \frac{\mu_i}{\sum_{i=1}^n \mu_i} = \bar{\mu}_i, \quad (i = 1, n) \quad (5.4)$$

5. Katman

Arındırma katmanıdır. Arındırma katmanındaki her bir düğümde verilen bir kuralın ağırlıklandırılmış sonuç değerleri hesaplanmaktadır. 5. katmandaki i . düğümün çıkış değeri ise,

$$y_i^5 = \bar{\mu}_i[p_i x_1 + q_i x_2 + r_i], \quad (i = 1, n) \quad (5.5)$$

şeklinde olmaktadır. Buradaki (p_i, q_i, r_i) değişkenleri, i. kuralın sonuç parametreleri kümesidir.

6. Katman

Toplam katmanıdır. Bu katmanda sadece bir düğüm vardır ve $\sum$ ile etiketlenmiştir. Burada, 5. katmandaki her bir düğümün çıkış değeri toplanarak sonuçta, ANFIS sisteminin gerçek çıktı değeri elde edilir. Sistemin çıkış değeri olan y 'nin hesaplanması ise eşitlik 5.6'ya göre olmaktadır [32].

$$y = \sum_{i=1}^n \bar{\mu}_i[p_i x_1 + q_i x_2 + r_i] \quad (5.6)$$

5.3.2.Öğrenme algoritması

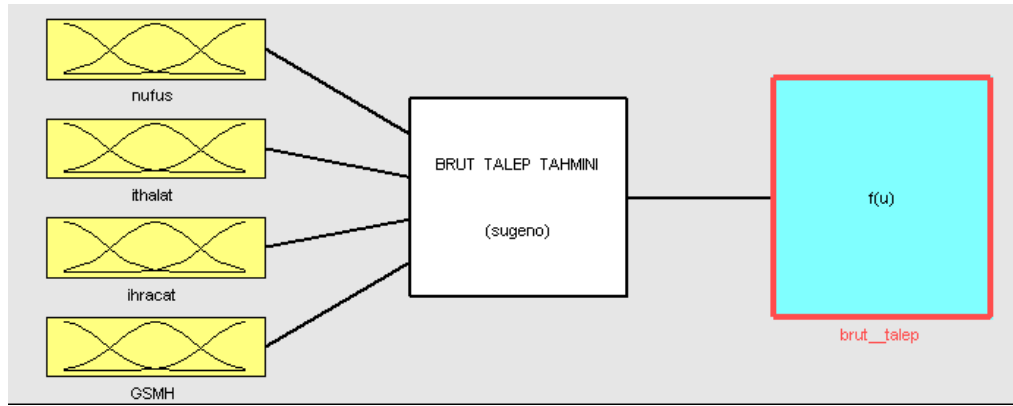
ANFIS'in öğrenme algoritması, en küçük kareler yöntemi ile geri yayımlı öğrenme algoritmasının bir arada kullanılmasından oluşan *melez öğrenme algoritması*dır. Bu öğrenme algoritması hata geri yayılımına dayalıdır.

Öğrenme işlemindeki bir adımın iki kısmı vardır; Birinci kısımda giriş örnekleri üretilir ve öncül parametreler sabit kabul edilerek, en küçük ortalama kare (least mean square) metoduyla en iyi soncul parametreler tespit edilir. İkinci kısımda, giriş örnekleri yeniden üretilir ve soncul parametreler sabit kabul edilerek öncül parametreler eğim alçalması (gradient descent) metoduyla değiştirilir. Bu süreç daha sonra tekrar edilir [59] .

6. UYGULAMA

6.1. Modelin Genel Yapısı

Bu çalışmada, Uyarlanır Sinirsel Bulanık Çıkarım Sistemi, ANFIS kullanılarak, sosyo-ekonomik parametrelere dayalı elektrik enerjisi brüt talep tahmini yapılmıştır. Talep tahmini için oluşturulacak sinirsel bulanık çıkarım sisteminin genel yapısı Şekil 6.1'deki gibidir.



Şekil 6.1. Brüt talep tahmin modeline ilişkin BÇS' nin temel yapısı

6.2. Modelde Kullanılan Sosyo – Ekonomik Parametrelerin Derlenmesi

Bu tez çalışmasında nüfus, ithalat, ihracat ve Gayri Safi Milli Hâsıla (GSMH) göstergelerinin yıllık değil üçer aylık değerleri kullanılarak üçer aylık dönemlere ait talep tahmininde bulunulmuştur.

Çalışmada elektrik enerjisi tahmininde *net talep* yerine *brüt talep* tahmininde bulunulmasının nedeni iç tüketim ve kayıp/kaçak değerlerine ait üçer aylık verilere ulaşılmasının güçlüğüdür. Bu nedenle aylık *brüt üretim* değerleriyle *net elektrik ithalatı* değerleri toplanarak *brüt talep* değerlerine ulaşılmıştır.

$$\text{Net Talep} = \text{Brüt Talep} - [\text{İç Tüketim} + \text{İletim Kaybı} + \text{Dağıtım Kaybı}]$$

$$\text{Brüt Talep} = \text{Brüt Üretim} + \text{Net İthalat}$$

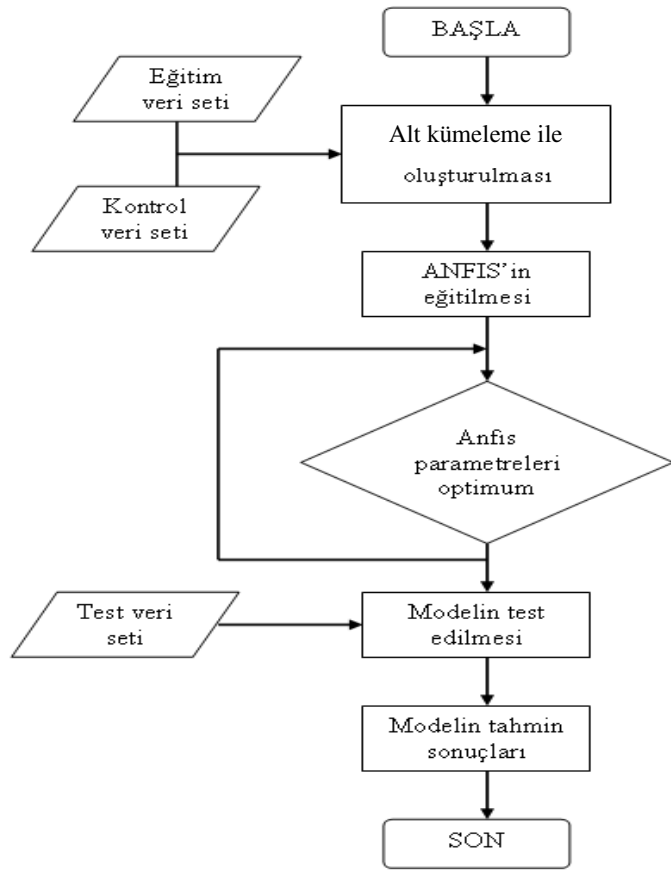
Üçer aylık nüfus değerleri de, 5 yıllık değerlerin interpolasyon yöntemi yardımıyla yıllık değerlere, yıllık değerlerin de yıl içinde artışın lineer olduğu varsayımıyla dörde bölünmesi sonucu elde edilmiştir.

1987'den önceki GSMH değerlerine Türkiye İstatistik Kurumunun ilgili web sayfasından ulaşılamamaktadır. 1987 'den sonrası için cari fiyatlarla dönemlik değerlere ulaşılmıştır. 1987–2008 yılları arasındaki İthalat - İhracat değerlerine de yine TUIK' den aylık olarak erişilmiş ve üçer aylık dönemlere dönüştürülmüştür.

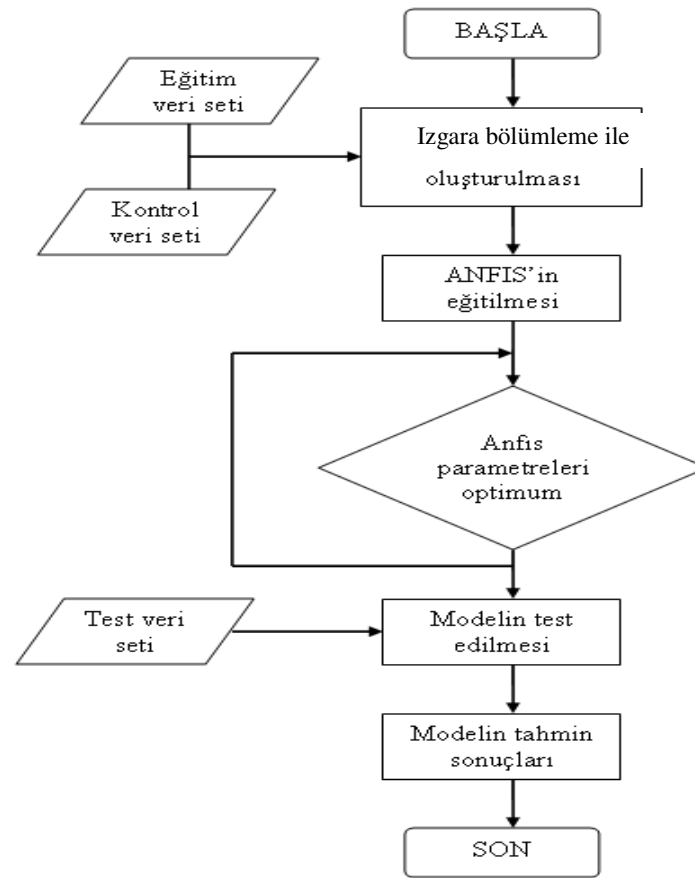
Veri toplama çalışmaları sonucunda 1987–2008 yılları arasında her bir parametreye ait 22 yıllık, toplam 88 veriye ulaşılmıştır. Derlenen bu veriler, dört girdi sütunu, bir çıktı sütunu olarak, çıktı sütunu en sonda olmak koşuluyla düzenlenmiş ve verilerin sırası rastsal olarak karıştırılmıştır. MATLAB programına yüklenebilmesi için de “dat” uzantılı dosyalara kaydedilmişlerdir.

6.3. Modelin Oluşturulma Süreci

Bu tahmin çalışmasında Uyarlanı (Adaptif) Sinirsel Bulanık Çıkarım Sisteminin (ANFIS) oluşturulmasında kullanılan iki farklı yöntem (alt kümeleme (sub-clustering) ve ızgara bölümlendirme (grid partition)) ayrı ayrı kullanılmış ve sonuçları da karşılaştırılmıştır. Şekil 6.2'de modelin akış şeması görülmektedir.



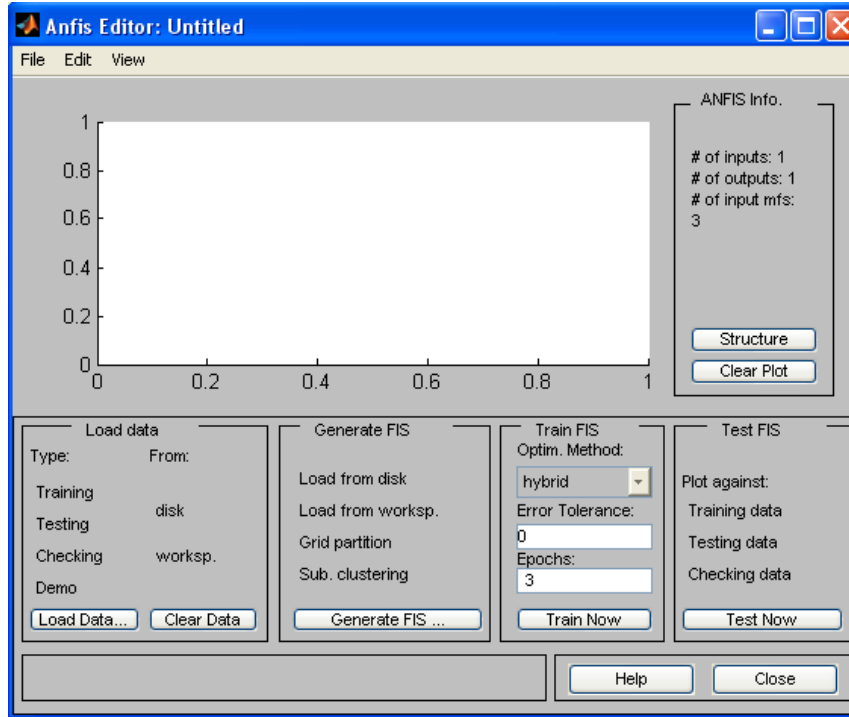
(a)



(b)

Şekil 6.2. Modelin akış şeması: (a) alt kümeleme (sub-clustering) yöntemi ile, (b) ızgara bölümlene (grid partition) yöntemi ile

Bu modeli geliştirmek için MATLAB 7.0 programı içerisinde yer alan Fuzzy Logic Toolbox'ın bir fonksiyonu olarak ANFIS GUI (Graphical user interface - Grafiksel kullanıcı ara yüzü) kullanılmıştır. (Şekil 6.3)



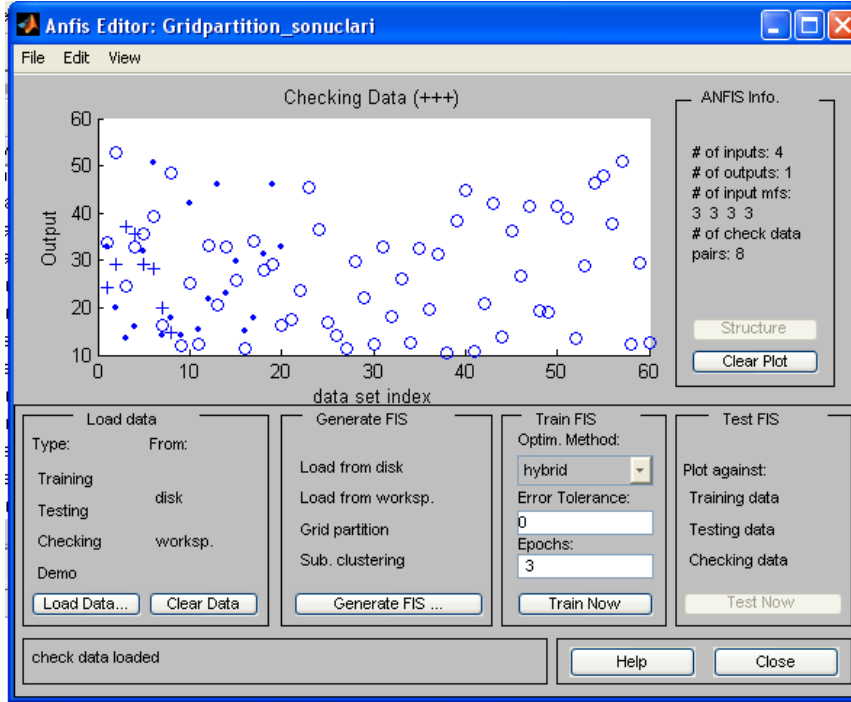
Şekil 6.3. ANFIS açılış ekranı

Talep tahmin modeli oluşturulurken, bir önceki bölümde de değinildiği gibi veriler 3 ayrı veri kümesine ayrılmıştır:

- ✓Eğitim (train) veri seti
- ✓Kontrol (check) veri seti
- ✓Test (test) veri seti

Ağı eğitmek amacıyla kullanılan eğitim veri seti için Azadeh'in de önerdiği gibi [37] tüm verilerin yaklaşık %70'i olan 60 veri satırı, test için tüm setin yaklaşık %23'ü olarak 20 veri satırı ve kontrol seti için de 8 veri satırı ayrılmış ve üç ayrı dat dosyasında kaydedilmiştir.

ANFIS ekranında görülen “Veri Yükle (Load Data)” butonu kullanılarak veri kümeleri kategorilerine göre modele yüklenmiştir. (Bkz. Şekil 6.4) Bu ekranda görülen yuvarlak şekiller eğitim veri setini, artı işaretleri kontrol, nokta işaretleri ise test veri setlerini göstermektedir.



Şekil 6.4. Eğitim, kontrol ve test verilerinin ANFIS’ e yüklenmesi

Eğitim verileri ile ağ girdi/çıkı verileri arasındaki ilişkiyi öğrenmekte ve üyelik fonksiyonu parametrelerini, belirlenen devir sayısına ya da istenen hata düzeyine erişinceye kadar düzenlemektedir.

Modelin eğitim aşamasında eğitim veri setiyle beraber kontrol setinin de modele yüklenmesinin sebebi, eğitim aşamasında eğitim hatası azalırken belli bir noktada kontrol setinin hatası aniden yükselebilmektedir. İşte bu noktaya “aşırı uyum noktası (*overfitting point*)” denir. Bu noktada eğitime son verilir ve test aşamasına geçilir.

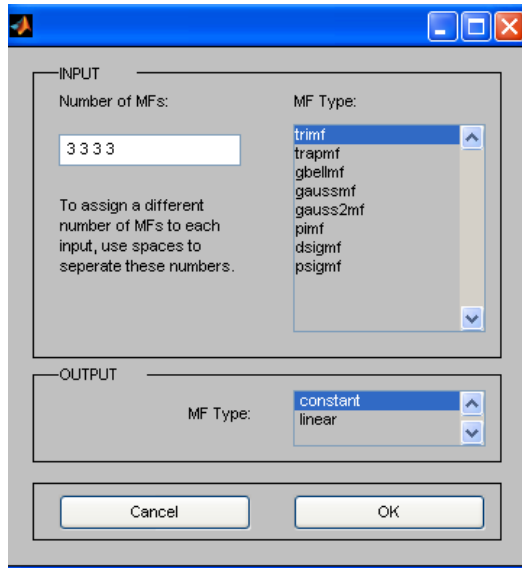
Test veri seti ile de eğitilen ve parametreleri düzenlenen modelin daha önce hiç karşılaşmadığı veriler karşısında genelleme kabiliyeti ölçülmektedir.

Veri setleri yüklendikten sonra “BÇS oluştur (generate FIS)” başlığı altında bulanık çıkarım sistemini (BÇS) oluşturmak için alternatif iki yöntemden biri seçilir. Bu yöntemler;

- ✓Izgara bölümleme (Grid Partition)
- ✓Alt Kümeleme (Sub-clustering)

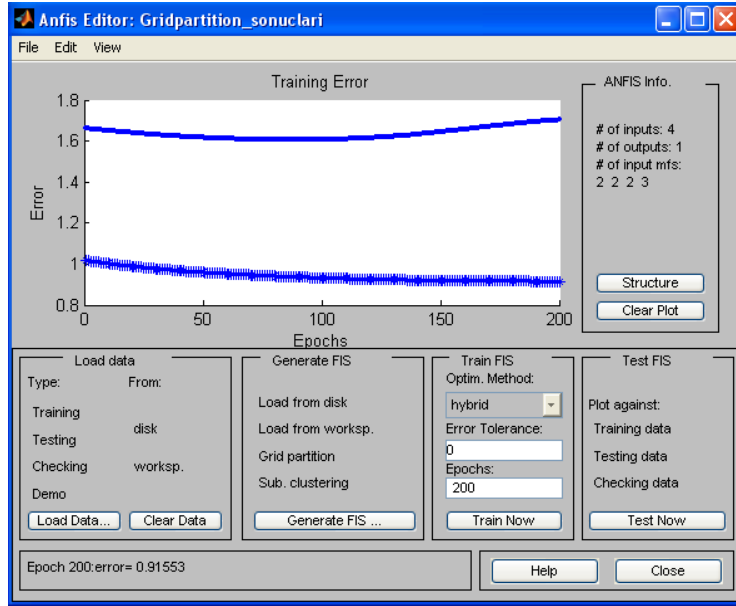
Bu çalışmada her iki yöntem için de ayrı ayrı model oluşturulmuştur.

6.4. Izgara Bölümleme (Grid Partition) Yöntemi ile Oluşturulan Model



Şekil 6.5. Alternatif girdi /çıktı üyelik fonksiyonu tipleri

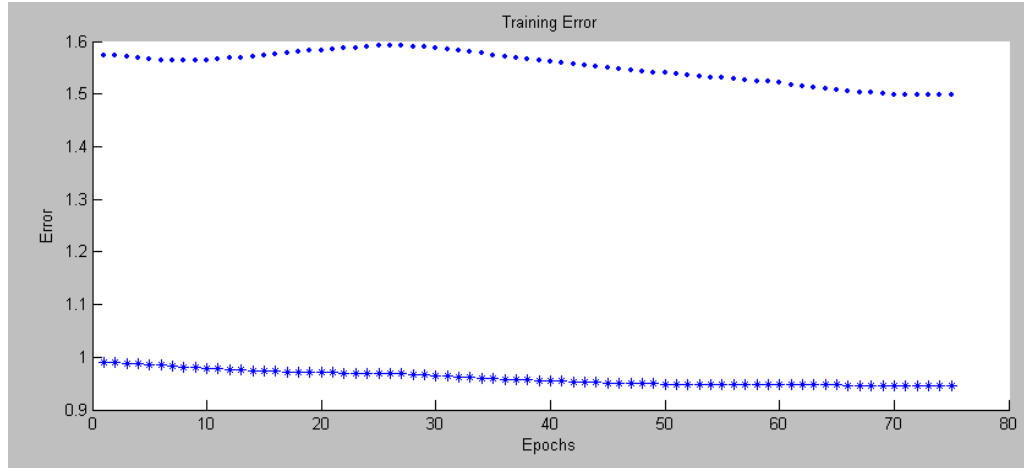
İlk aşamada “ızgara bölümleme (*grid partition*)” yöntemi seçildiğinde bulanık çıkarım sisteminin oluşturulması için Şekil 6.5’de görülen küçük ekran açılır. Bu ekran aracılığıyla BÇS ‘nin girdi üyelik fonksiyonu tipi, sayısı ve çıktı tipi belirlendikten sonra arayüz ana ekranına geri dönlür. Burada optimizasyon metodu olarak da “*karma (hybrid)*” seçeneği seçilir ve “*devir (epochs)*” satırına istenen iterasyon sayısı da girilmesinin ardından “*ağı şimdi eğit (train now)*” butonuna basılır.



Şekil 6.6. Aşırı uyum (overfitting) noktasına bir örnek

Belirlenen devir sayısı boyunca eğitim ve kontrol kümeleri hata değerleri GUI ekranında gözlemlenebilir. Eğitim veri setine ait hata değeri, hızlı ya da yavaş bir şekilde azalırken belirli bir noktada kontrol hatasının artmaya başladığı gözlemlenebilir (Şekil 6.6). İşte bu noktaya “aşırı uyum (*overfitting*) noktası” denilmektedir. Şekil 6.6’da görüldüğü gibi yaklaşık 100 devirden sonra kontrol hatası artış göstermeye başlamıştır.

Eğitim süreci, eğitim hata değeri sabitlenene ya da kontrol veri seti için “aşırı uyum” oluşana kadar devam eder. Eğitim süreci sonlandırılır. Eğitim bitirildikten sonra ağ daha önce hiç görmediği test veri kümesi ile test edilir. Test hatası en düşük çıkan uyarlanır BÇS yapısı, en iyi model olarak kabul edilir.



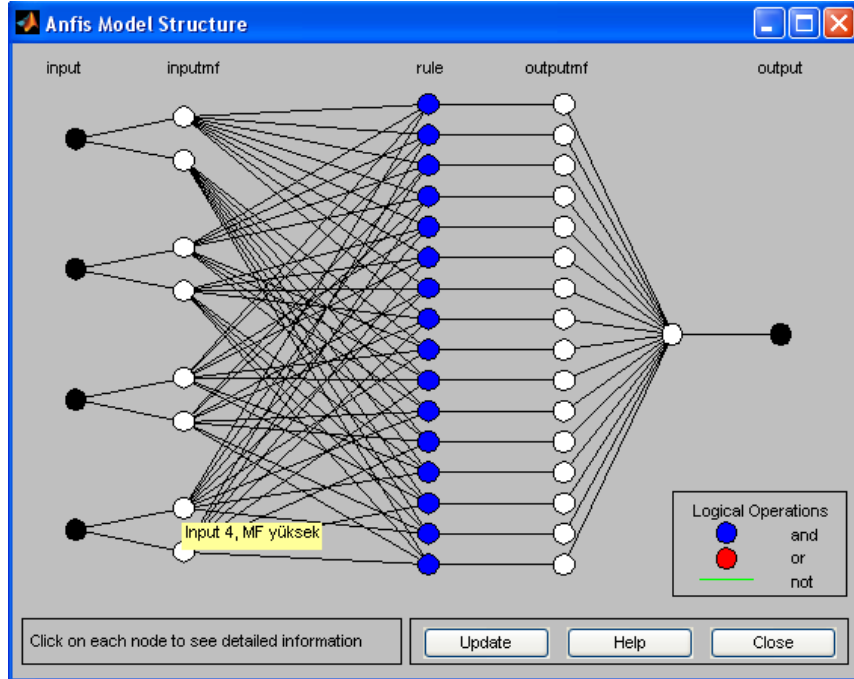
Şekil 6.7. Sinirsel bulanık ağ modelinin eğitim süreci ve bu süreç boyunca hatanın seyri

Şekil 6.7’de sinirsel bulanık ağın eğitim sürecine yer verilmiştir. Grafiğin alt kısmında görülen eğri, eğitim hatasının, üstteki eğri ise kontrol hatasının seyrini göstermektedir. Eğitim hatası devamlı bir düşüş içindeyken kontrol önce düşüş eğilimine girse de 11. devirden sonra yükseliş göstermiş, 28. devirden sonra ise tekrar düşüş eğilimine girmiş ve 75. devirde en düşük değerine ulaşmış ve sabitlenmiştir. Bu nedenle ağın eğitimi 80. devirde sonlandırılmıştır.

Ağ eğitildikten sonra test etme aşamasına geçilir. Ağın ne kadar hata ile test verilerini tahmin ettiği ekranın sol alt köşesinde görülür. Şayet bu hata oranı kabul edilebilir sınırlarda ise, istenilen ağ yapısına ulaşılmış demektir. Şayet hata oranı büyükse, ağın eğitim aşamasına geri dönülerek parametreler değiştirilir. İstenilen hata oranına ulaşıldığında oluşturulan modelin tahmin başarısı değerlendirilir.

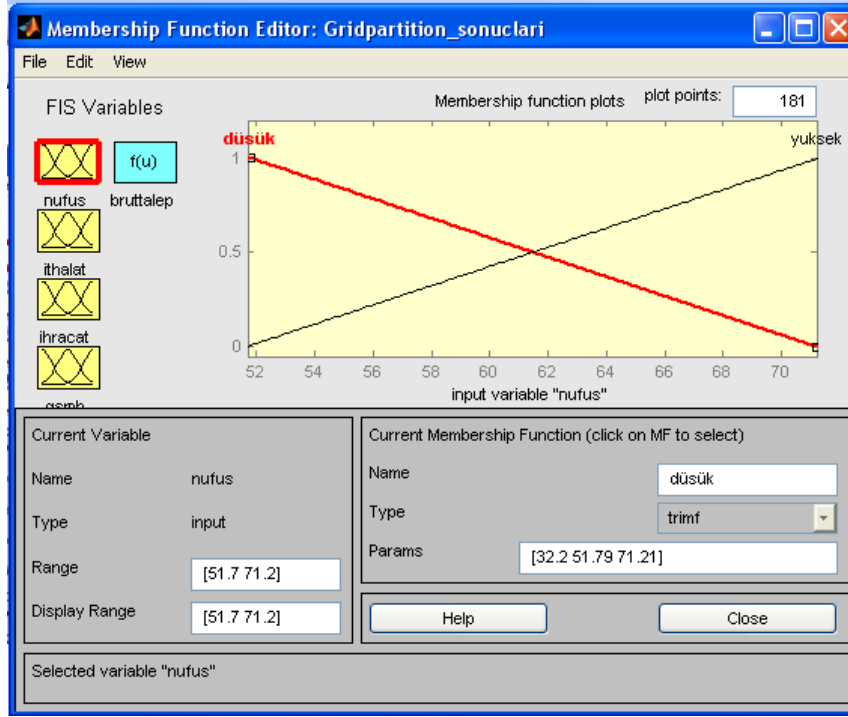
Şekil 6.8’de ANFIS modelinin yapısı görülmektedir. İlk adımda dört bağımsız değişken girdi olarak sisteme girilmektedir. İkinci aşamada bu girdi değerleri *düşük* ve *yüksek* olmak üzere 2 üyelik fonksiyonuna belli bir üyelik derecesinde sistem tarafından atanmışlardır. Sonraki sütunda üyelik fonksiyonları kullanılarak oluşturulan 16 kural yer almaktadır. Bulanık ağ modeli en iyi öğrenmeyi gerçekleştireceği 16 kural belirlemiş ve her bir kuraldan bir değer üretilmiştir. Elde

edilen çıktı üyelik fonksiyonu değerleri tek bir çıktı değerine dönüştürülmüştür. Bu süreç her bir yıla ait girdi değerleri için aynı şekilde işlemiştir.



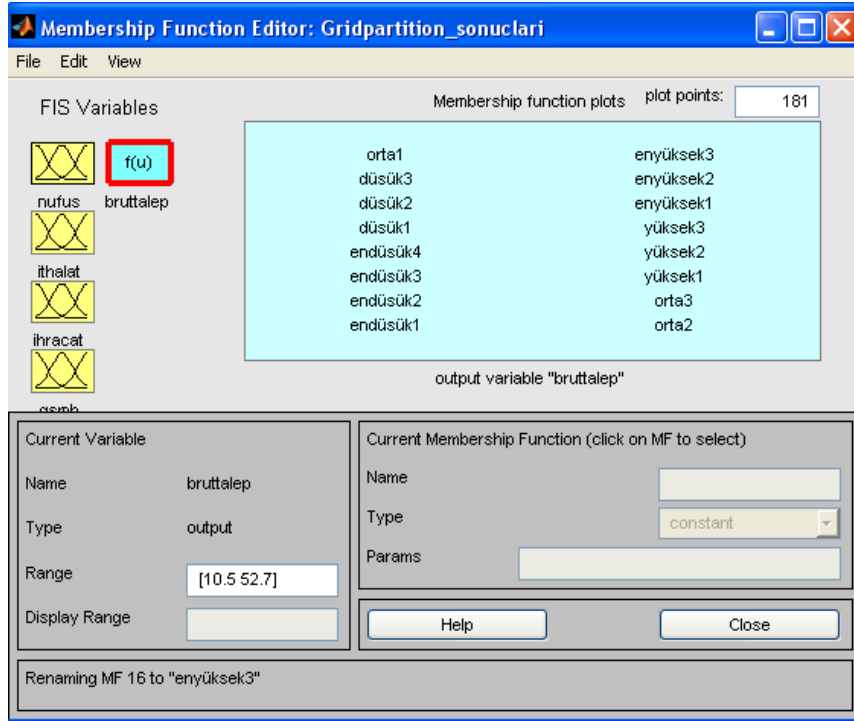
Şekil 6.8. Izgara bölümlleme (grid partition) yöntemi ile oluşturulan modelin ağ yapısı

Şekil 6.9’da modelin ilk girdisi olan nüfus verisine ilişkin üyelik fonksiyonları yer almaktadır. Düşük ve yüksek olarak tanımlanan üyelik fonksiyonları, herhangi bir değerin hangi fonksiyona hangi oranlarda ait olduğunu göstermektedir.



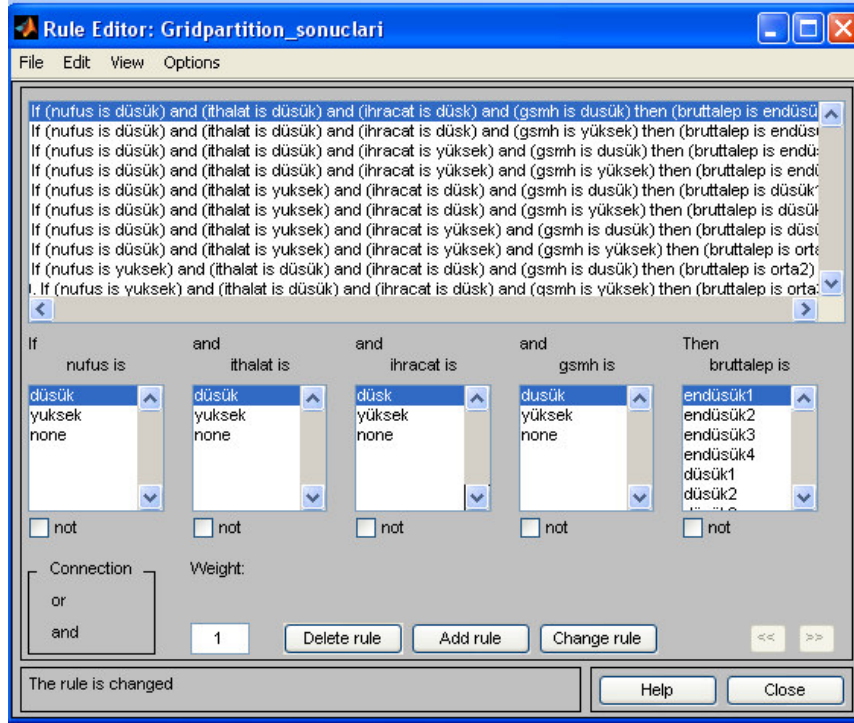
Şekil 6.9. Nüfus verisine ait üyelik fonksiyonları

Örneğin nüfusun 52(milyon) olması durumunda söz konusu değer, düşük olarak tanımlanan üyelik fonksiyonuna yaklaşık 1 oranında üye olmakta, 62 (milyon) olması durumunda ise hem düşük hem de yüksek olarak tanımlanan üyelik fonksiyonuna yaklaşık 0,5 oranında üye olmaktadır. Modelin diğer üç girdisi (ithalat, ihracat, GSMH) için de aynı tip ve sayıda üyelik fonksiyonları oluşturulmuştur. Yalnızca veri aralıkları farklıdır.



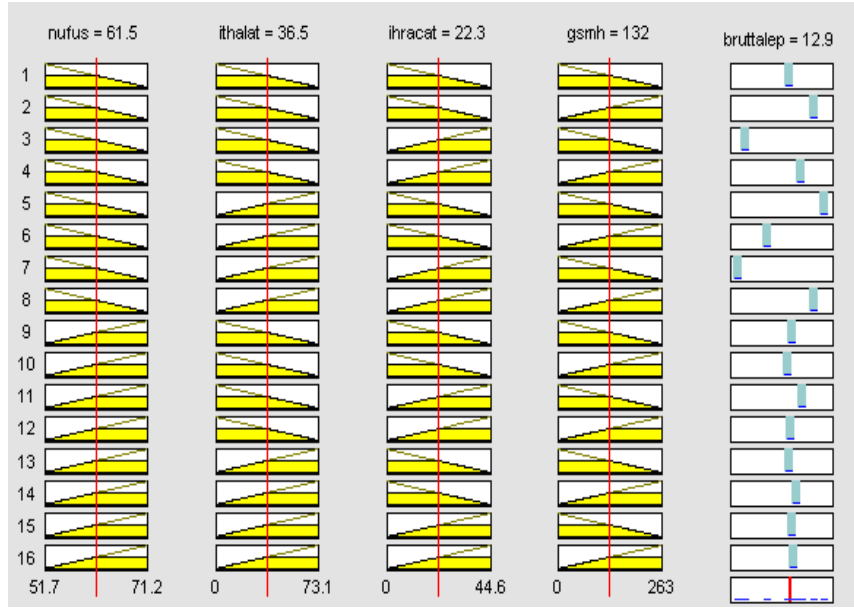
Şekil 6.10. Izgara bölümlleme yöntemi ile oluşturulan modelin çıktı üyelik fonksiyonları

Bu çalışmada her girdiye ilişkin olarak iki üyelik fonksiyonu geliştirilmiştir. Sonrasında ise bu üyelik fonksiyonları kullanılarak sistem tarafından 16 kural oluşturulmuştur. Sinirsel bulanık ağ modeli her kural için bir değer üretmiştir. Sonuçta 16 çıktı üyelik fonksiyonu oluşmuştur. Şekil 6.10'da bu çıktı üyelik fonksiyonu kümeleri görülmektedir.



Şekil 6.11. ANFIS modelinin oluşturduğu kurallar

Şekil 6.11’de bulanık sinir ağı tarafından oluşturulan kurallar, şekil 6.12’de ise girdi ve çıktı değerleri arasındaki ilişkinin grafiksel gösterimi sunulmuştur. Oluşturulan 16 kural doğrultusunda girdilerin hangi değerleri almasıyla çıktının nasıl oluşacağı görülmektedir.



Şekil 6.12. ANFIS' in belirlediği kuralların grafiksel gösterimi

6.4.1. Izgara bölümlendirme yöntemi ile oluşturulan modelin tahmin sonuçları

Çizelge 6.10'da ızgara bölümlendirme (grid partition) metodunun alternatif girdi /çıkış üyelik fonksiyonlarına karşılık gelen hata değerleri görülmektedir. Tablodaki sonuçlar incelendiğinde en düşük test hatasının, üçgensel üyelik fonksiyonu (triangular MF) tipi ve her bir girdi değeri için 2 adet üyelik fonksiyonu belirlenmesi halinde gerçekleştiği görülmektedir. Ayrıca tablodaki tüm sonuçlardan anlaşılacağı üzere çıkış üyelik fonksiyonu tipi de sabit (constant) olmalıdır.

Çizelge 6.1. Alternatif üyelik fonksiyonlarına karşılık gelen hata değerleri

Girdi Fonksiyonu		Çıktı Fonksiyonu							
Fonksiyon Tipi		Sabit				Doğrusal			
		Devir sayısı	Eğitim hatası	Kontrol hatası	Test hatası	Devir sayısı	Eğitim hatası	Kontrol hatası	Test hatası
Üyelik Fonk. Sayısı : 2 2 2 2 Kural sayısı:16	triMF	80	0,946	1,498	1,274	30	0,336	7,057	13,87
	trapMF	200	1,24	1,693	1,53	100	0,742	2,909	3,336
	gbellMF	450	0,901	1,675	1,312	50	0,363	16,64	7,903
	gaussMF	25	0,938	1,546	1,32	5	0,354	12,87	13,81
Üyelik Fonk. Sayısı : 2 3 2 3 Kural sayısı:36	triMF	3	0,734	1,66	1,778	25	0,266	38,95	24,25
	trapMF	350	1,087	2,22	1,722	100	0,548	9,239	13,78
	gbellMF	300	0,686	1,124	3,622	1	0,344	24,22	18,89
	gaussMF	1000	0,708	1,6	2,011	5	0,343	13,99	24,8
Üyelik Fonk. Sayısı : 3 3 3 3 Kural sayısı:81	triMF	30	0,606	3,223	2,535	15	0,173	17,11	22,98
	trapMF	280	1,343	2,403	21,13	30	0,38	8,74	10,87
	gbellMF	300	0,621	2,27	5,56	10	0,294	63,12	129,1
	gaussMF	150	0,597	2,8	3,38	5	0,285	30,64	60,56
Üyelik Fonk. Sayısı : 4 4 4 4 Kural sayısı:256	triMF	25	0,344	8,21	4,88	5	0,17	50,76	29,6
	trapMF	200	1,1	0,96	2,18	4	0,54	1,87	2,65
	gbellMF	30	0,586	7,87	5,06	3	0,209	13,74	32,16
	gaussMF	100	0,465	5,83	5,04	3	0,193	46,21	58,77

Çizelge 6.1. (Devam) Alternatif üyelik fonksiyonlarına karşılık gelen hata değerleri

Üyelik Fonk. Sayısı : 3 2 2 3 Kural sayısı:36	triMF	20	0,79	1,87	1,65	20	0,223	12,06	12,45
	trapMF	65	2,12	3,74	2,56	50	0,364	23,75	13,5
	gbellMF	450	0,89	1,47	1,57	10	0,30	36,03	45,04
	gaussMF	450	0,88	1,71	1,44	8	0,30	25,4	54,84
Üyelik Fonk. Sayısı : 2 2 2 3 Kural sayısı:24	triMF	20	0,85	1,69	1,40	30	0,308	7,79	31,67
	trapMF	200	1,25	2,21	1,45	100	0,56	29,04	22,46
	gbellMF	150	0,92	1,64	1,35	20	0,36	20,15	18,86
	gaussMF	50	0,92	1,60	1,34	40	0,35	10,82	9,62

En iyi sonucun elde edildiği BÇS aşağıdaki özelliklere sahiptir:

İterasyon sayısı: 80

Girdi fonksiyon tipi: üçgensel - triangular

Çıktı fonksiyon tipi: sabit - constant

Üyelik Fonksiyon sayısı: 2 2 2 2

Bulanık Kural sayısı: 16

Optimizasyon metodu: karma (geri yayılım algoritması + en az hata kareleri yöntemi)

Ağdaki düğüm sayısı: 55

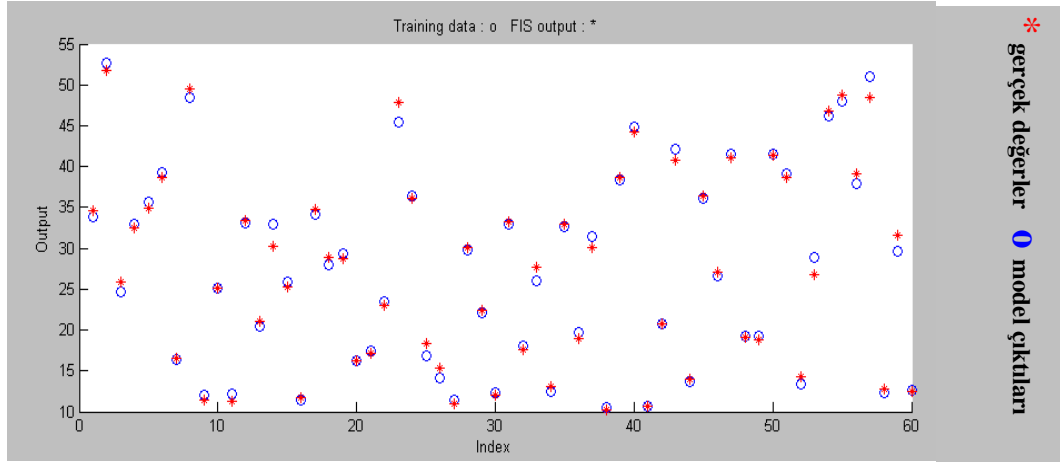
Doğrusal parametre sayısı: 16

Doğrusal olmayan parametre sayısı: 24

Toplam parametre sayısı: 40

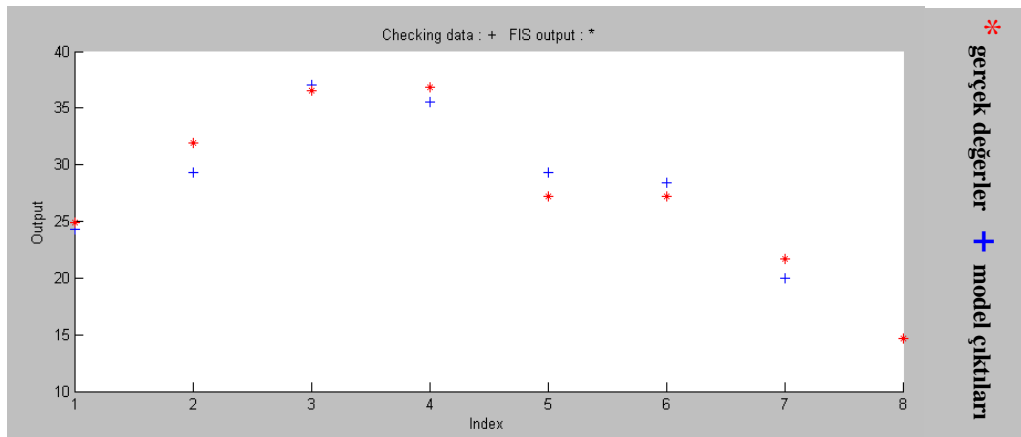
Çizelge 6.1'den çıkarılacak başka bir sonuç da çıktı fonksiyonu tipi doğrusal alındığında her ne kadar eğitim hatasında dikkate değer bir düşüş olsa da kontrol ve özellikle de test hatası göstergelerinde anormal bir yükselme görülmesidir. Bu durumun sebebini, çıktı tipinin lineer olması durumunda; lineer parametre

sayısındaki aşırı artışa bağlayabiliriz. Zaten ana ekranda parametre sayısının veri sayısından yüksek olduğuna dair bir uyarı da görünmektedir.



Şekil 6.13. Eğitim veri seti için gerçek değerlerle tahmin değerlerinin örtüşmesi

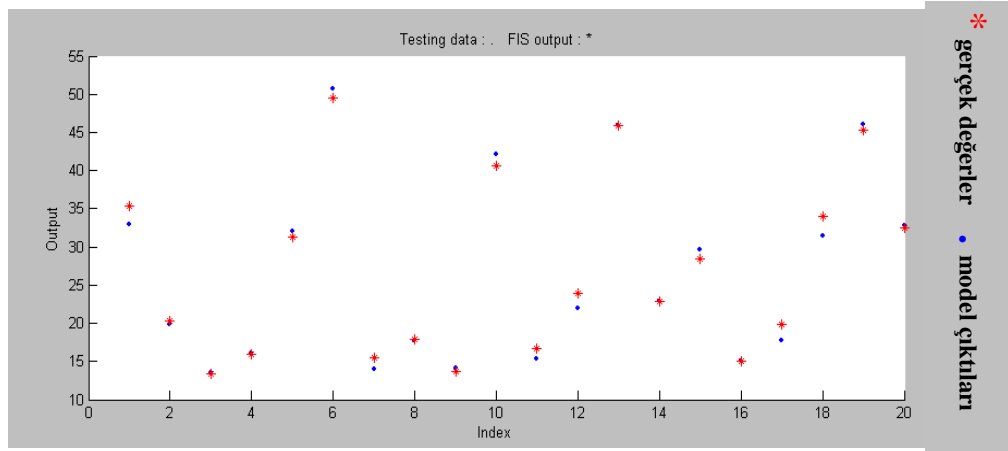
Çizelge 6.1'deki sonuçlar esas alınıp en iyi sonucu veren girdi/çıktı üyelik fonksiyonu tipi kullanılarak ağ eğitildiğinde ağın eğitim hatası RMSE (Root Mean Square Error – Ortalama hatanın karekökü) cinsinden 0.946'dır. Eğitim veri setinde gerçek değerlerle tahmin değerlerinin ne oranda çakıştığı Şekil 6.13 'de görülmektedir.



Şekil 6.14. Kontrol veri seti için gerçek değerlerle tahmin değerlerinin örtüşmesi

Şekil 6.14’de kontrol veri setinde gerçek değerlerle tahmin değerlerinin ne oranda çakıştığı görülmektedir. Modelin kontrol hatası RMSE cinsinden 1,498’dir.

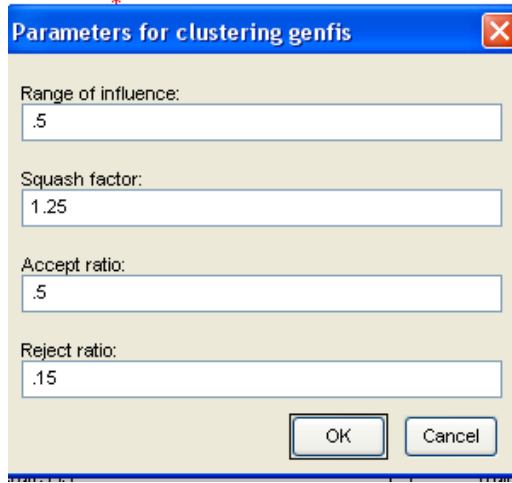
Şekil 6.15’de ise test veri setinde gerçek değerlerle tahmin değerlerinin ne oranda çakıştığı görülmektedir. Modelin test hatası RMSE cinsinden 1,274’dür.



Şekil 6.15. Test veri seti için gerçek değerlerle tahmin değerlerinin örtüşmesi

Izgara bölümlleme (grid partition) yöntemi ile oluşturulan ANFIS modelinin 20 test verisi üzerindeki ortalama tahmin hatası % 3,95’dir. (Bkz. Çizelge 6.2.) Bu sonuçtan da anlaşılacağı üzere oluşturulan uyarlamalı (adaptif) model ile başarılı bir tahmin sonucuna ulaşılmıştır.

6.5. Alt Kümeleme (Sub - clustering) Yöntemi ile Oluşturulan Model ve Tahmin Sonuçları



Parameters for clustering genfis

Range of influence:
.5

Squash factor:
1.25

Accept ratio:
.5

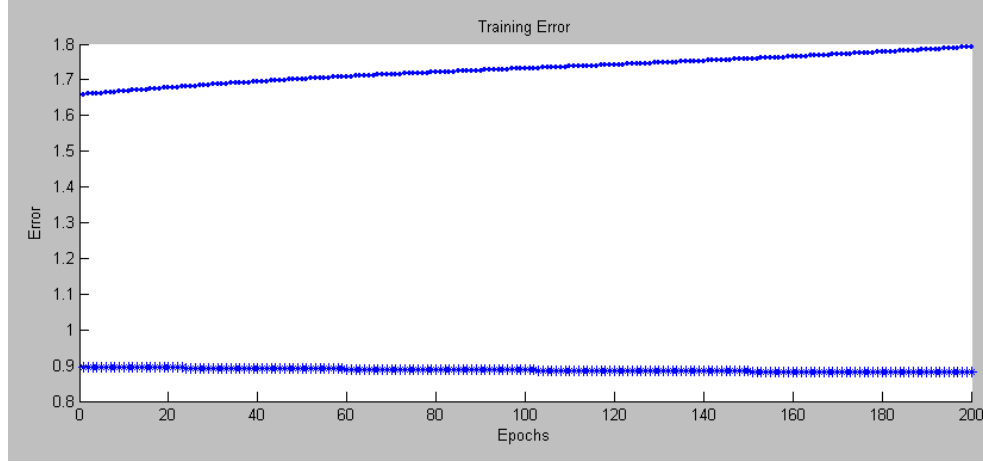
Reject ratio:
.15

OK Cancel

Şekil 6.16. Alt kümeleme yönteminin başlangıç parametreleri

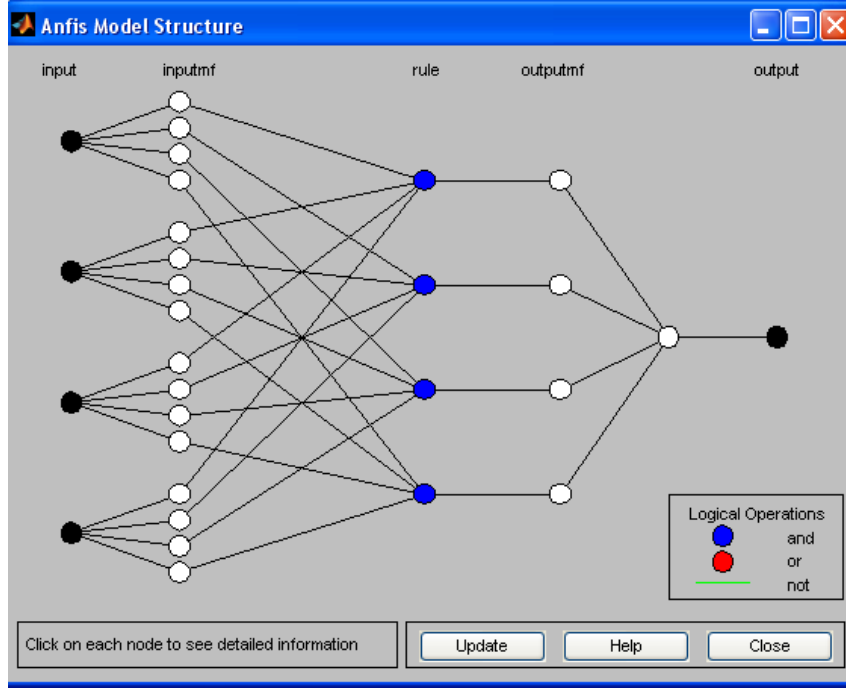
Bulanık çıkarım sistemi oluşturulurken ANFIS grafiksel arayüz ekranında, *alt kümeleme (sub-clustering)* seçeneği seçildiğinde Şekil 6.16'daki pencere açılır. Bu pencerede istenen etki aralığı, sıkıştırma faktörü, kabul ve ret oranları üzerlerindeki varsayılan değerler yapılan denemeler sonucunda en iyi sonucu verdikleri için uygun parametre değerleri olarak kabul edilir ve devir sayısı girilerek eğitime başlanır.

Devir sayısının büyük bir değer mi yoksa küçük bir değer mi alacağına karar vermek amacıyla önce yüksek bir devir sayısı atanır. Örneğin devir (epoch):200 olarak belirlendiğinde eğitim sürecinde hatanın seyri Şekil 6.17 'deki gibi olmaktadır. Eğitimin başından itibaren eğitim hatası belli bir oranda azalırken kontrol hatasının sürekli bir artış eğiliminde olmasından ötürü devir sayısının mesela 2 gibi küçük bir değer alınması daha uygun olacaktır.



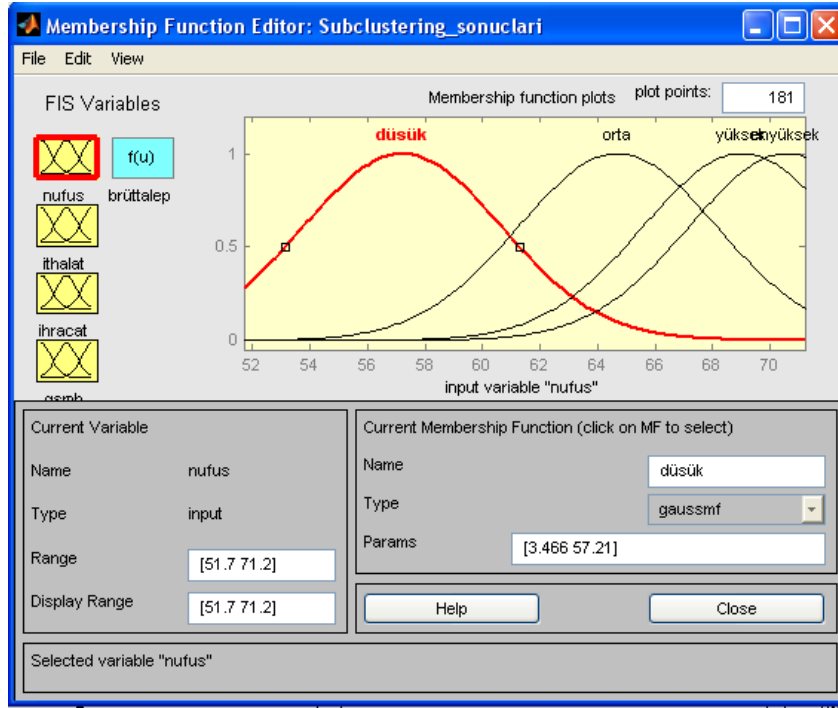
Şekil 6.17. Devir sayısını belirlemek için bir deneme

Bu yöntemde sisteme girilen eğitim seti içindeki verilerin değerleri dikkate alınarak veriler alt kümelere ayrılır ve elde edilen alt küme sayısınca üyelik fonksiyonu oluşturulur. Bizim modelimizde de üyelik fonksiyonu tipini ve sayısını kümeleme yöntemi kendisi atamıştır. Üyelik fonksiyonu tipi gauss, üyelik fonksiyonu sayısı ise kümeleme yöntemi ile oluşturulan alt küme sayısı esas alınarak 4 olarak belirlenmiştir.



Şekil 6.18. Alt kümeleme yöntemi ile oluşturulan modelin yapısı

Alt kümeleme (sub-clustering) yöntemi ile oluşturulmuş modelin yapısı Şekil 6.18'deki gibidir. Sistem ilk aşamada dört bağımsız değişkeni girdi olarak kabul ettikten sonra her biri için 4 üyelik fonksiyonu atamıştır. Üyelik fonksiyonu sayısının atamasını verilerin oluşturduğu küme sayısına göre model kendisi belirlemiştir. Sonraki aşamada oluşturulan her bir üyelik fonksiyonu için 4 kural oluşturulmuş ve her bir kuraldan bir değer üretilmiş ardından elde edilen çıktılar tek bir çıktı değerine dönüştürülmüştür. Bu süreç her bir yıla ait girdi değerleri için aynı şekilde işlemiştir.

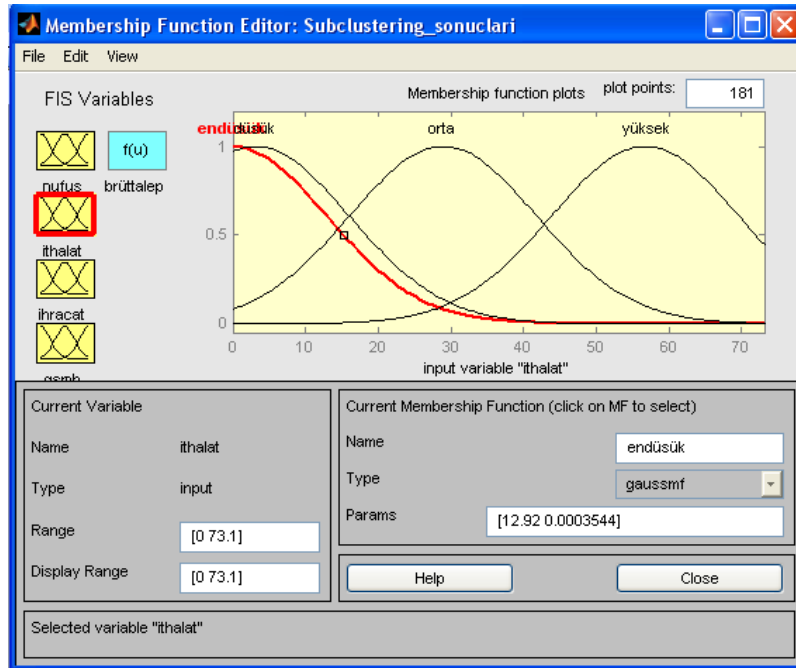


Şekil 6.19. Alt kümeleme yöntemi ile oluşturulan modelde nüfus girdisine ait üyelik fonksiyonları

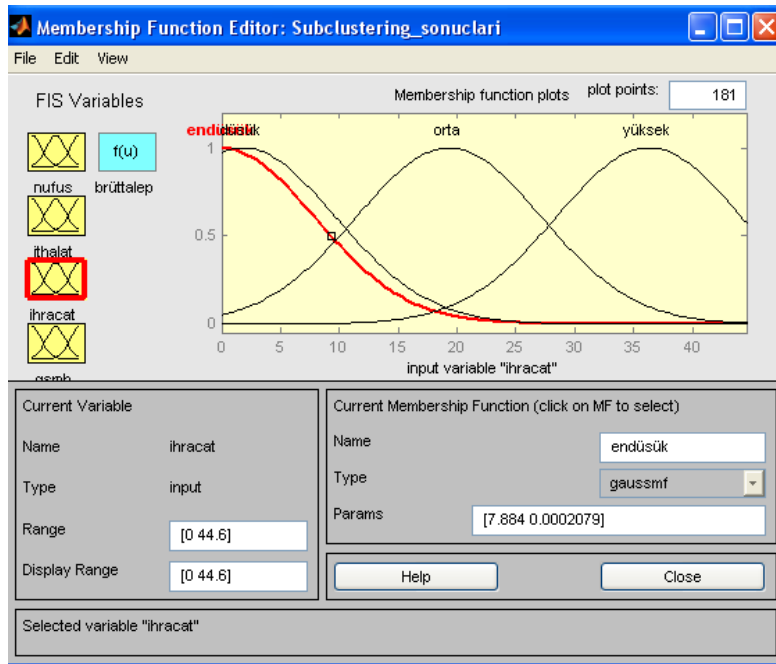
Şekil 6.19’da ise modelde bağımsız değişken olarak kullanılan ilk girdi, nüfus verisine ilişkin üyelik fonksiyonları yer almaktadır. *Düşük*, *orta*, *yüksek* ve *en yüksek* olarak tanımlanan üyelik fonksiyonları, herhangi bir değerin hangi fonksiyona hangi oranlarda ait olduğunu göstermektedir.

Örneğin nüfusun 53 veya 61(milyon) olması durumunda bu değerler, “düşük” olarak tanımlanan üyelik fonksiyonuna yaklaşık 0.5 oranında üye olmakta, 64 olması durumunda ise “orta” olarak tanımlanan üyelik fonksiyonuna yaklaşık 0,5 oranında üye olmaktadır. Aynı şekilde 71 olduğu takdirde de ”en yüksek” üyelik fonksiyonuna 1 oranında üyedir.

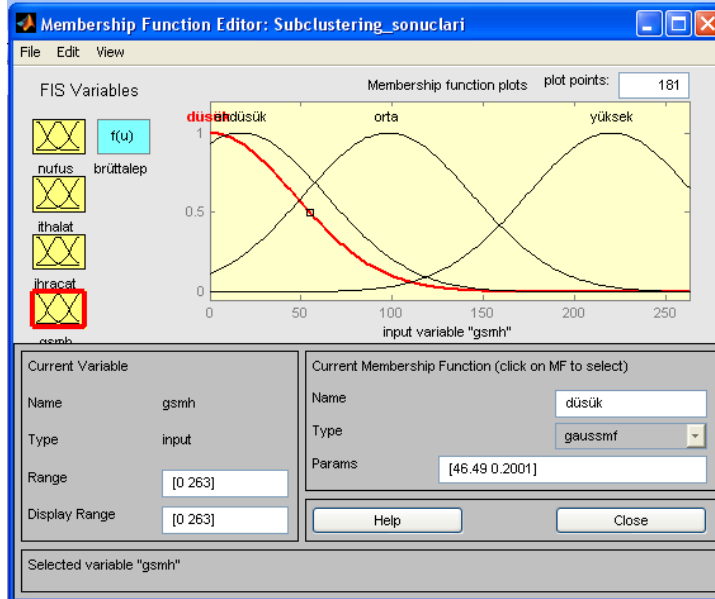
Modelin diğer üç girdisi (ithalat, ihracat, GSMH) için de aynı tip ve sayıda üyelik fonksiyonları oluşturulmuştur. Ancak bu girdilerin model tarafından belirlenen alt kümelerle ait üyelik fonksiyonları için “en düşük, düşük, orta ve yüksek” tanımlaması daha uygun olacaktır. (Bkz. Şekil 6.20–22)



Şekil 6.20. Alt kümeleme yöntemi ile oluşturulan modelde ithalat girdisine ait üyelik fonksiyonları

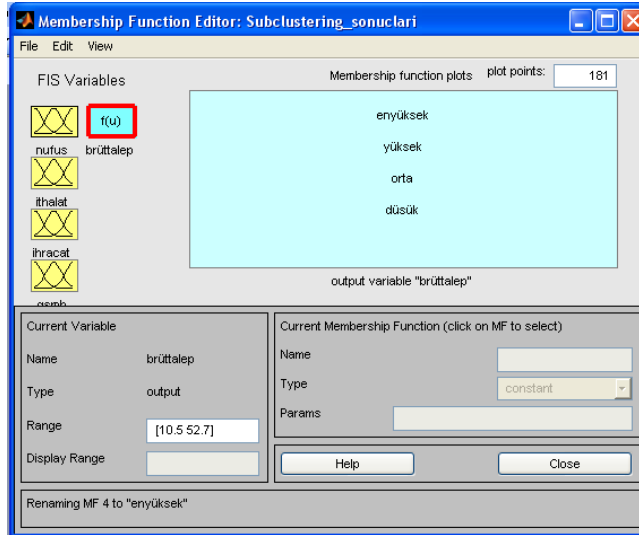


Şekil 6.21. Alt kümeleme yöntemi ile oluşturulan modelde ihracat girdisine ait üyelik fonksiyonları



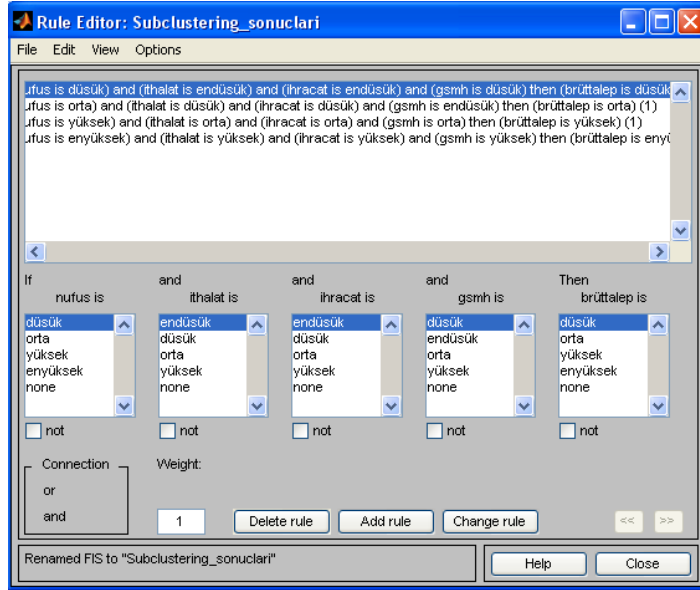
Şekil 6.22. Alt kümeleme yöntemi ile oluşturulan sistemde GSMH girdisine ait üyelik fonksiyonları

Sinirsel bulanık ağ modeli, alt kümeleme (sub-clustering) yöntemi ile oluşturulan BÇS' nin atadığı dört kural için bir değer üretmiştir. Sonuçta dört çıktı üyelik fonksiyonu oluşmuştur. (Bkz. Şekil 6.23)

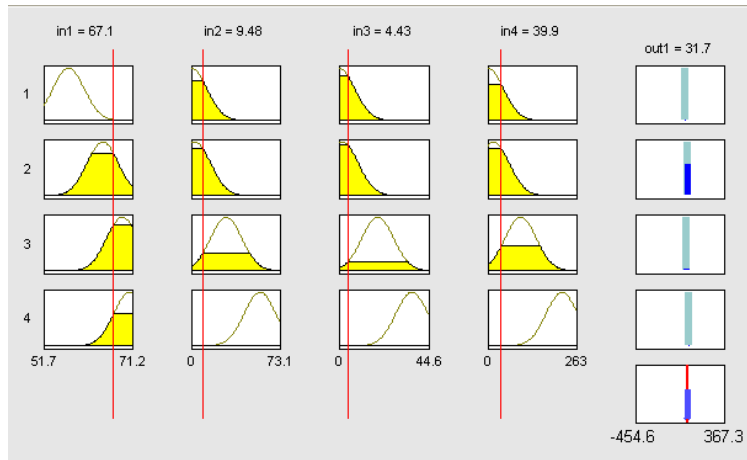


Şekil 6.23. Alt kümeleme yöntemi ile oluşturulan modelin çıktı fonksiyonları

Model tarafından oluşturulan kurallar ve girdi/çıkı değerleri arasındaki ilişkinin grafiksel gösterimi de şekil 6.24 ve şekil 6.25 'deki gibidir.



Şekil 6.24. ANFIS' in belirlediği kuralların gösterimi



Şekil 6.25. ANFIS' in belirlediği dört kuralın grafiksel gösterimi

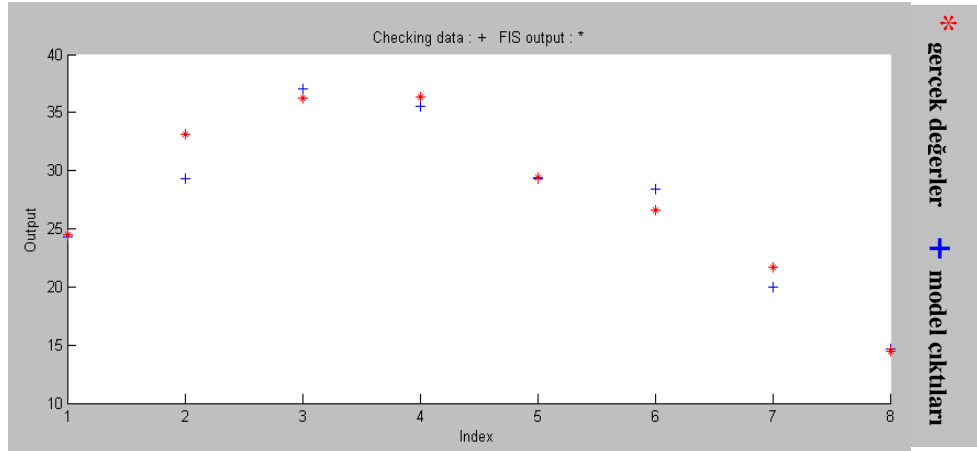
6.5.1. Alt kümeleme (sub-clustering) yöntemi ile oluşturulan modelin tahmin sonuçları

Alt kümeleme yöntemi ile oluşturduğumuz ağı eğitilmesi sonucu elde edilen ağı eğitim hatası RMSE (Root Mean Square Error – Ortalama hatanın karekökü) cinsinden 0,896’dır. Eğitim veri setinde gerçek değerlerle tahmin değerlerinin ne oranda çakıştığı Şekil 6.26 ‘da görülmektedir.



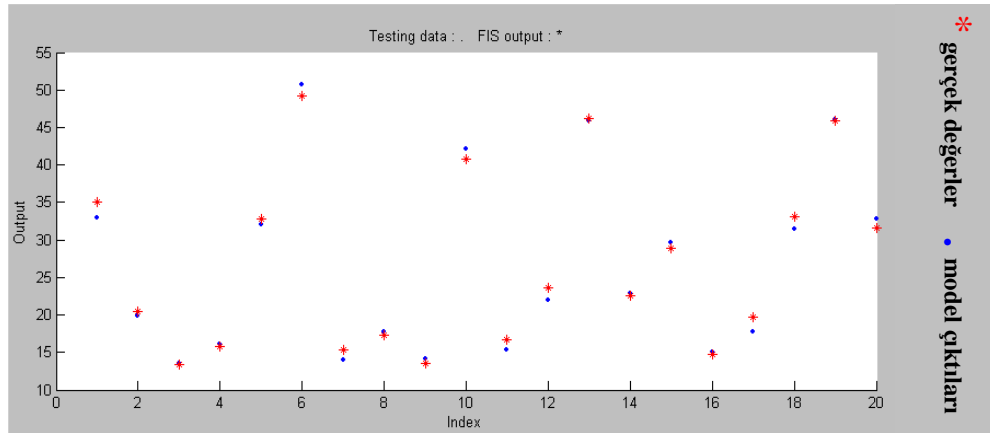
Şekil 6.26. Eğitim aşaması için gerçek sonuçlar ile model sonuçlarının karşılaştırılması

Şekil 6.27’de kontrol veri setinde gerçek değerlerle tahmin değerlerinin ne oranda çakıştığı görülmektedir. Modelin kontrol hatası RMSE cinsinden 1,659’dur.



Şekil 6.27. Kontrol aşaması için gerçek sonuçlar ile model sonuçlarının karşılaştırılması

Şekil 6.28’de ise test veri setinde gerçek değerlerle tahmin değerlerinin ne oranda çakıştığı görülmektedir. Modelin test hatası RMSE cinsinden 1,117’dir.



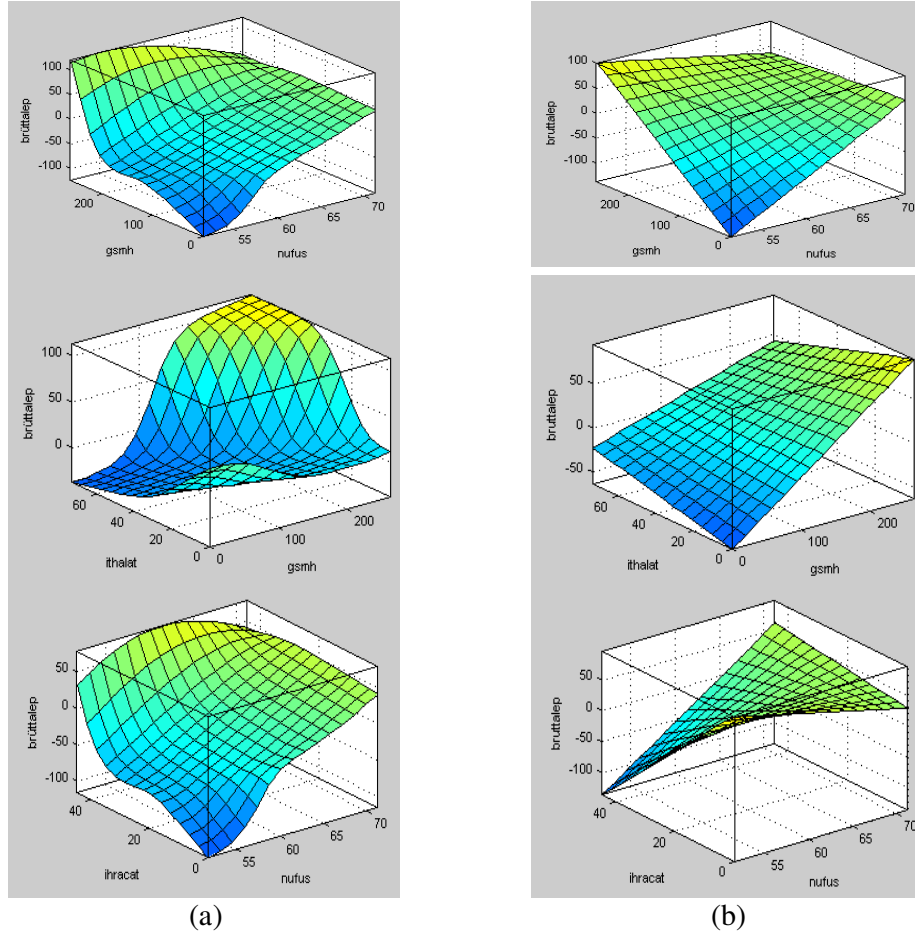
Şekil 6.28. Test aşaması için gerçek sonuçlar ile model sonuçlarının karşılaştırılması

Alt kümeleme yöntemi ile oluşturulan ANFIS modelinin 20 test verisi üzerindeki ortalama tahmin hatası % 3,26’dır. (Bkz. Çizelge 6.3) Bu yöntem ile oluşturulan model diğer modelden % 0,69 daha iyi tahmin sonucuna ulaşmıştır. Sonuç olarak oluşturulan her iki ANFIS modelinin de gerçeğe oldukça yakın değerlerde tahmin edebilme yeteneği olduğu görülmektedir.

Çizelge 6.3. Alt kümeleme yöntemi ile oluşturulan modelde test veri seti için ortalama hata hesaplaması

Sıra No	Yıllar	Nüfus Girdi 1	İthalat Girdi 2	İhracat Girdi 3	GSMH Girdi 4	Tahmin Edilen Brüt Talep Çıktı	Gerçekleşen Brüt Talep	Mutlak Fark	Hata Oranı (%)
1	2003-II	68.8	25.2	17.2	78.9	35.2	33	2.2	0.07
2	1994-III	60.1	0.27	0.16	0.97	20	19.9	0.1	0.01
3	1989-III	54.6	0	0	0	13.3	13.6	0.3	0.02
4	1991-III	56.9	0	0	0	15.7	16.1	0.4	0.02
5	2001-I	67.5	8.39	6.07	24.4	32.8	32	0.8	0.02
6	2007-III	70.4	56	33.9	23.3	49.9	50.7	0.8	0.02
7	1991-II	56.6	0	0	0	15.3	14	1.3	0.09
8	1993-I	58.5	0	0	0	17.7	17.7	0	0.00
9	1989-IV	54.9	0	0	0	13.6	14.1	0.5	0.04
10	2006-I	70	38.7	24.4	108	41.5	42.2	0.7	0.02
11	1992-II	57.7	0	0	0	16.5	15.3	1.2	0.08
12	1996-II	62.1	0.8	0.4	2.9	23.7	21.9	1.8	0.08
13	2007-I	70.3	49.5	32.3	188	46.3	45.9	0.4	0.01
14	1995-IV	61.5	0.8	0.4	2.9	22.5	22.9	0.4	0.02
15	1988-IV	65.2	3.5	2.13	14.6	29.2	29.7	0.5	0.02
16	1990-IV	56.2	0	0	0	14.9	15.1	0.2	0.01
17	1994-II	59.9	0.27	0.16	0.9	18.9	17.8	1.1	0.06
18	2002-II	68.3	17.6	12	57.5	32.3	31.4	0.9	0.03
19	2006-III	70.1	53.3	32	178	45.8	46.1	0.3	0.01
20	2000-III	67.1	9.2	4.3	40.1	31.7	32.8	1.1	0.03
Ortalama Hata Oranı						0,0326			

Oluşturulan modellerle bağımlı ve bağımsız değişkenler arasında kurulan ilişkiler kullanılan üyelik fonksiyonlarının tiplerine göre farklılık göstermektedir. Bazı değişkenler arasındaki ilişkilerin üç boyutlu gösterimi Şekil 4.29 a ve b 'de görüldüğü gibidir.



Şekil 6.29. (a) Alt kümeleme yöntemi ile (b) ızgara bölümlendirme yöntemi ile oluşturulan modelde değişkenler arası üç boyutlu ilişki

6.6. Çoklu Regresyon Analiziyle Brüt Elektrik Talep Tahmini

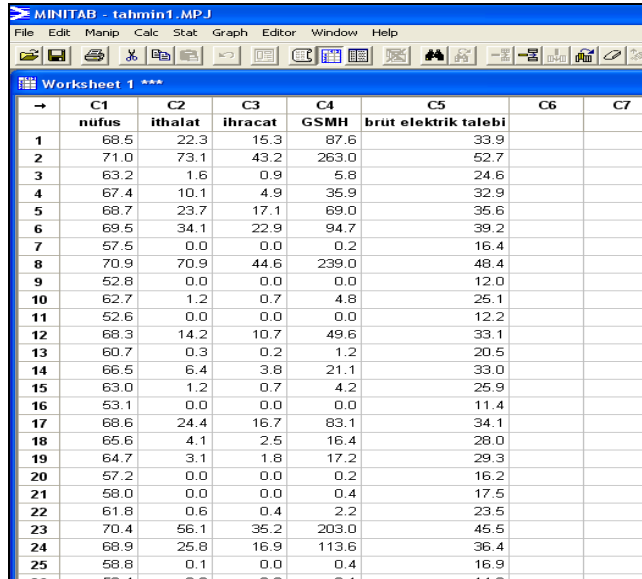
Regresyon en sık kullanılan ekonometrik yöntemlerden birisidir. Çoklu regresyonun amacı bağımlı değişkenler ile bağımsız değişkenler arasındaki ilişkiyi tanımlamaktır. Çoklu regresyon, gözlenen ve tahmin edilen değerlerin farklarına ait değerlerin

karelerinin toplamının en az olmasını temel alan en az kareler metoduna dayanmaktadır.

Çalışmanın bu bölümünde, ANFIS modelinden elde edilen sonuçları karşılaştırmak amacıyla klasik istatistikî yöntemlerden, çoklu regresyon analizi ile brüt elektrik talebi tahmini yapılmıştır.

İlk aşamada MİNİTAB 13.8 istatistikî paket programı ile ANFIS modelinde kullanılan eğitim veri seti esas alınarak çeşitli regresyon denklemleri kurulmuştur. Korelasyon ve belirleyicilik katsayıları dikkate alınarak bu denklemlerden uygun olanları seçilmiş ve yine ANFIS modelinde kullanılan kontrol ve test veri setleri ile bu denklemlerin tahminlerindeki hata oranları hesaplanmış ve ANFIS modeli ile elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmıştır.

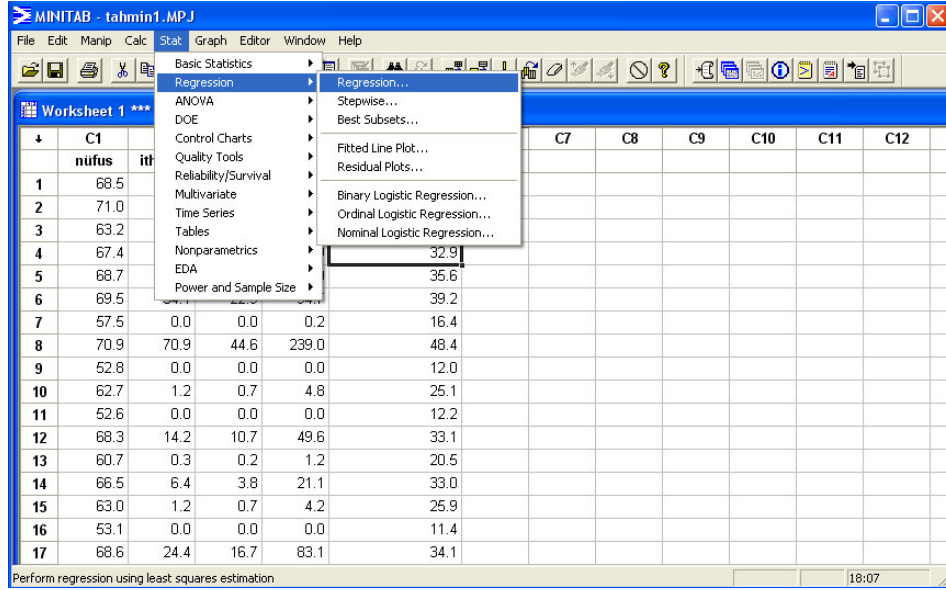
N=60'lık eğitim veri seti, regresyon denklemini oluşturmak amacıyla beş sütun halinde MİNİTAB' ın veri giriş sayfasına Şekil 6.30'da görüldüğü gibi girilmiştir.



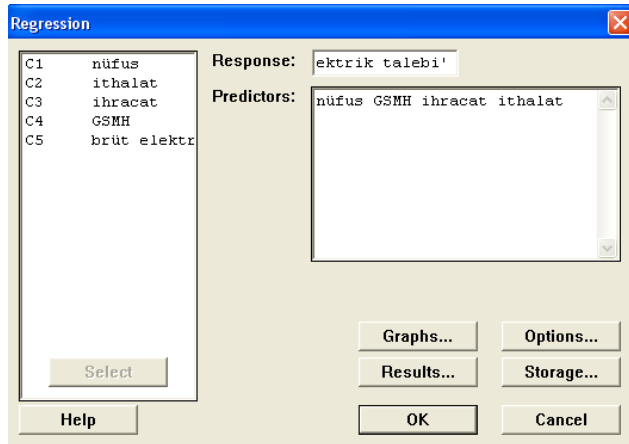
	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7
	nufus	ithalat	ihracat	GSMH	brüt elektrik talebi		
1	68.5	22.3	15.3	87.6	33.9		
2	71.0	73.1	43.2	263.0	52.7		
3	63.2	1.6	0.9	5.8	24.6		
4	67.4	10.1	4.9	35.9	32.9		
5	68.7	23.7	17.1	69.0	35.6		
6	69.5	34.1	22.9	94.7	39.2		
7	57.5	0.0	0.0	0.2	16.4		
8	70.9	70.9	44.6	239.0	48.4		
9	52.8	0.0	0.0	0.0	12.0		
10	62.7	1.2	0.7	4.8	25.1		
11	52.6	0.0	0.0	0.0	12.2		
12	68.3	14.2	10.7	49.6	33.1		
13	60.7	0.3	0.2	1.2	20.5		
14	66.5	6.4	3.8	21.1	33.0		
15	63.0	1.2	0.7	4.2	25.9		
16	53.1	0.0	0.0	0.0	11.4		
17	68.6	24.4	16.7	83.1	34.1		
18	65.6	4.1	2.5	16.4	28.0		
19	64.7	3.1	1.8	17.2	29.3		
20	57.2	0.0	0.0	0.2	16.2		
21	58.0	0.0	0.0	0.4	17.5		
22	61.8	0.6	0.4	2.2	23.5		
23	70.4	56.1	35.2	203.0	45.5		
24	68.9	25.8	16.9	113.6	36.4		
25	58.8	0.1	0.0	0.4	16.9		

Şekil 6.30. MİNİTAB veri giriş sayfası

Veri girişinden sonra Stat>Regression>Regression seçeneği 6.31'deki gibi seçildikten sonra çıkan ekrana C1, C2, C3 ve C4 bağımsız değişkenleri “tahmin ediciler (predictors)” satırına, C5 bağımlı değişken ise “sonuç (response)” eklenir ve OK tuşuna basılır (Bkz. Şekil 6.32).



Şekil 6.31. Regresyon analizi



Şekil 6.32. Çoklu regresyon analizi işlem penceresi

Çoklu regresyon analizi sonuç ekranı

Regression Analysis: brüt elektrik talebi versus nüfus, ithalat, ihracat, GSMH

The regression equation is

$$\text{brüt elektrik talebi} = -57.3 + 1.30 \text{ nüfus} + 0.257 \text{ ithalat} - 0.426 \text{ ihracat} + 0.0627 \text{ GSMH}$$

Predictor	Coef	SE Coef	T	P
Constant	-57.322	3.743	-15.31	0.000
nüfus	1.29883	0.06273	20.71	0.000
ithalat	0.2566	0.1575	1.63	0.109
ihracat	-0.4260	0.2533	-1.68	0.098
GSMH	0.06269	0.02246	2.79	0.007
S = 1.949 R-Sq = 97.6% R-Sq(adj) = 97.4%				

Analysis of Variance

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	4	8402.5	2100.6	552.80	0.000
Residual Error	55	209.0	3.8		
Total	59	8611.5			
Source	DF	Seq SS			
nüfus	1	7898.1			
ithalat	1	471.2			
ihracat	1	3.6			
GSMH	1	29.6			

Regresyon analizinin sonuçları incelendiğinde, bu model brüt elektrik talebi ile nüfus, ithalat, ihracat ve GSMH arasındaki bağlantıyı açıklamada önemli bir modeldir. ($F(4,55) = 552,8$, $P < 0,001$). Bu modelde nüfus ve GSMH değişkenlerinin katsayıları önemli ($p < 0,01$), ithalat ve ihracat değişkenlerinin katsayıları ise önemsiz ($p > 0,05$) bulunmuştur.

Ayrıca bu model brüt elektrik talebinin değişimini açıklamakta önemli bir belirleyicilik katsayısına sahiptir. Modelin belirleyicilik gücünü ifade eden R^2 değeri bu model için $R-Sq(R^2) = 97,6\%$, $R-Sq(adj) (R^2_{düzeltilmiş}) = 97,4\%$ 'tür.

Çoklu korelasyon (ilgileşim) katsayısı, $R = (R^2_{düzeltilmiş})^{1/2} = (0.974)^{1/2} = 0.987$ 'dir. Regresyon modelinin önemli olması korelasyonun da önemli olduğunu gösterir. Bu nedenle modele alınan bağımsız değişkenler ile bağımlı değişkenler arasında önemli bir ilişki bulunmaktadır.

Kurulan modelde brüt elektrik talebinin değişiminin %97,4'ü modele alınan bu dört değişken tarafından belirlenirken, geriye kalan % 2,6 gibi küçük bir oranda değişim ise modele alınmayan değişkenlerce belirlenmektedir.

Çoklu regresyon analizi yapılırken modele doğru değişkenlerin konulması ve modelin mantıksal olarak irdelenmesi gerekmektedir.

6.6.1. Aşamalı regresyon analizi ve en iyi regresyon modeli

Aşamalı regresyon, bağımlı değişkenin değişimini en iyi biçimde açıklayan “açıklayıcı değişken alt setini” seçmeyi sağlayan bir yöntemdir. Aşamalı regresyonda değişkenlerin, bağımlı değişkeni açıklamadaki güçlerine göre modele alınması söz konusudur.

En iyi regresyon yaklaşımında ise veri setinde yer alan bağımsız değişkenler ile bağımlı değişkenler arasında kurulabilecek tüm kombinasyonlara ilişkin regresyon denklemleri belirlenir ve bu denklemler arasından en yüksek belirleyicilik katsayısına sahip olan model, uygun regresyon modeli olarak seçilir.

Aşamalı regresyon analizi sonuç ekranı

Stepwise Regression: brüt elektrik versus nüfus; ithalat; ihracat; GSMH

Step	1	2
Constant	-86.64	-56.47

nüfus	1.813	1.28
T-Value	25.34	20.82
P-Value	0.000	0.00
GSMH		0.0592
T-Value		11.30
P-Value		0.000
S	3.51	1.97
R-Sq	91.72	97.44
R-Sq(adj)	91.57	97.35
C-p	131.7	3.9

Yukarıda görülen aynı N=60 veri kümesi ile yapılan aşamalı regresyon analizi (stepwise regression) sonuçları incelendiğinde *Brüt elektrik talebi*= $-86,64 + 1,813*nüfus$ modeli kullanılırsa belirtme katsayısı $R^2 = \%91,57$ olduğu görülmektedir.

“*Bu model Brüt elektrik talebinin tahmini için uygun bir regresyon modelidir*” sonucuna ulaşılır. Ancak GSMH değişkeni için de $p < 0,01$ olduğundan bu değişkenin de modele alınması uygun olacaktır.

Bu durumda *Brüt elektrik talebi* = $-56,47 + 1,284*nüfus + 0,0592*GSMH$ modeli için belirtme katsayısı $R^2 = \%97,35$ olmaktadır.

Aşağıdaki en iyi alt kümeler regresyonu (Best Subsets Regression) sonuçlarına bakıldığında ise hangi değişkenlerin birlikte kombinasyonları sonucu oluşturulacak regresyon denkleminin brüt elektrik talebi için belirleyiciliği açıkça görülmektedir. Örneğin en iyi belirleyicilik sonuçları nüfus ve GSMH değişkenlerinin bir arada kullanılmasıyla oluşturulan model ile tüm değişkenlerin bir arada kullanılmasıyla oluşturulan modellerin belirleyicilik değerleri $\% 97,4$ 'dür.

En iyi regresyon modeli

Best Subsets Regression: brüt elektrik talebi versus nüfus; ithalat; ...

Response is brüt elek

					i i				
					t h				
					n h r				
					ü a a G				
					f l c S				
					u a a M				
Vars	R-Sq	R-Sq(adj)	C-p	S	s	t	t	H	
1	91.7	91.6	131.7	3.5070	X				
1	78.3	78.0	434.8	5.6706		X			
2	97.4	97.4	3.9	1.9652	X	X			
2	97.2	97.1	9.7	2.0612	X	X			
3	97.5	97.3	5.7	1.9780	X	X	X		
3	97.4	97.3	5.8	1.9809	X	X	X		
4	97.6	97.4	5.0	1.9494	X	X	X	X	

Aşamalı regresyon analizi ve en iyi regresyon modeli dikkate alınarak hem tüm değişkenlerin kullanıldığı bir model, hem de sadece nüfus ve GSMH değişkenlerinin dikkate alındığı bir başka model olmak üzere iki farklı model kurulmuştur. ANFIS modelindeki test ve kontrol veri setleri kullanılarak brüt elektrik talebinin tahminine ilişkin sonuçlar ve hata oranları çizelge 6.4 ve 6.5'deki gibidir.

Çizelge 6.4. Dört değişkenli regresyon modeli ile elde edilen tahmin sonuçları

- 57,3 + 1,30*nüfus + 0,257*ithalat - 0,426*ihracat + 0,0627*GSMH								
	Nüfus	İthalat	İhracat	GSMH	Tahmin edilen	Gerçekleşen	Mutlak hata	(%) Hata oranı
1	68,8	25,1	17,1	79,5	81,2	33	48,2	1,459
2	60,1	0,2	0,2	1,3	21,6	19,9	1,7	0,086
3	54,6	0	0	0,1	13,7	13,6	0,1	0,010
4	56,9	0	0	0,2	16,8	16,1	0,7	0,043
5	67,6	8,4	5,9	25,2	46,0	32	14	0,438
6	70,5	56,1	34	232	179,7	50,7	129	2,545
7	56,6	0	0	0,1	16,3	14	2,3	0,167
8	58,5	0,1	0	0,3	19,0	17,7	1,3	0,071
9	54,9	0	0	0,1	14,1	14,1	0	0,002
10	69,9	39	24,5	107,8	100,7	42,2	58,5	1,387
11	57,7	0	0	0,2	17,8	15,3	2,5	0,166
12	62,1	0,8	0,4	3	25,3	21,9	3,4	0,157
13	70,3	49,3	32,4	188,5	151,1	45,9	105,2	2,293
14	61,5	0,6	0,3	2,3	24,1	22,9	1,2	0,053
15	65	3,2	2	15,5	36,9	29,7	7,2	0,242
16	56,1	0	0	0,1	15,7	15,1	0,6	0,039
17	59,9	0,2	0,1	0,8	21,1	17,8	3,3	0,184
18	68,4	17,5	12	57,3	66,9	31,4	35,5	1,132
19	70,1	53,6	31,9	177,9	145,6	46,1	99,5	2,157
20	67,1	9,2	4,3	40,1	55,6	32,8	22,8	0,695
21	62,4	0,9	0,5	4,9	26,9	24,3	2,6	0,107
22	67,8	11,8	9,5	38,8	54,2	29,3	24,9	0,848
23	69,1	27,9	18	81,2	82,9	37	45,9	1,242
24	69,2	35,4	22,5	95,8	92,2	35,5	56,7	1,598
25	65,3	2,7	2,2	12	34,9	29,3	5,6	0,190

Çizelge 6.4. (Devam) Dört değişkenli regresyon modeli ile elde edilen tahmin sonuçları

26	63,8	2,6	1,4	9,3	31,5	28,4	3,1	0,111
27	61	0,4	0,2	1,6	23,0	20	3,0	0,151
28	55,8	0	0	0,1	15,3	14,7	0,6	0,041
<i>Ortalama Hata Oranı: 0,6</i>								

Çizelge 6.5 incelendiğinde brüt elektrik talebi tahmininde ANFIS modelinde kullanılan tüm bağımsız değişkenler çoklu regresyon modelinde de kullanıldığında 28 veri için tahmin hata oranı %60 gibi büyük bir rakam çıkmaktadır. Bu da bu haliyle regresyon modelinin brüt elektrik talebi tahmininde yetersiz olduğu anlamına gelmektedir.

Yapılan aşamalı regresyon analizi ve en iyi regresyon modeli analizleri sonuçları dikkate alınarak yalnız GSMH ve nüfus verilerinin kullanıldığı çoklu regresyon modelinin hata sonuçları incelendiğinde ise tahmin hata oranının %10'a düştüğü görülmektedir. Buradan çıkarılacak sonuç; brüt elektrik talep tahmini için nüfus ve GSMH verileri doğrusal olarak daha belirleyicidirler (Bkz. Çizelge 6.6).

7. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

Elektrik enerjisinin depolanamaması ve üretiminin yüksek maliyetler gerektirmesi nedeniyle, talebin her an kaliteli bir biçimde karşılanabildiği bir sistemin tasarlanması büyük önem taşımaktadır. Elektrik talebi, bölgesel olarak mevsimlik, günlük ve saatlik farklılıklar göstermektedir. Talebin kendine özgü bu yapısı ve elektrik enerjisinin depolanamaması nedeniyle, yük-talep eğrisine en iyi şekilde cevap verecek optimal bir üretim sistemini gerektirmektedir. Bu bağlamda *elektrik enerjisi talep tahminlerinin en doğru ve tutarlı bir şekilde yapılması optimal* bir sisteme ulaşılmasında en önemli basamaklardandır. Bu amaca ulaşmak için hem Devlet tarafından yürütülen hem de akademik anlamda yapılan pek çok çalışmalar mevcuttur.

Literatürde üzerinde çok çalışılan enerji talep tahmini problemi için çok çeşitli yöntemler kullanılmıştır. Bunlar arasında geleneksel istatistikî yöntemlerin (regresyon analizi, zaman serileri, Box-Jenkins modeli, ARMA, ARIMA, SARIMA, vb.) yanı sıra yapay sinir ağları, genetik algoritmalar gibi yapay zeka teknolojileri, karınca kolonisi ve kuş sürüsü optimizasyonu gibi sezgisel yöntemler, bulanık mantık ve gri tahmin yöntemlerine kadar birçok yöntem sayılabilir. Bu tez çalışmasında ise diğer çalışmalardan farklı olarak Türkiye’de brüt elektrik enerjisi talep tahmini için YSA ve Bulanık Mantık yöntemlerinin kombinasyonlarından oluşan uyarlanır (adaptif) bir sistem kullanılmıştır.

Elektrik enerjisi tüketimi tahminine yönelik çalışmalar üç sınıfta değerlendirilebilir; kısa dönemli tahmin (saatlik, günlük veya haftalık), orta dönemli tahmin (aylık, üç aylık) ve uzun dönemli tahmin (yıllık). Yapılan çalışmalar incelendiğinde genellikle kısa dönemli elektrik yük tahmini veya uzun dönemli yıllık talep tahmini çalışmalarına rastlanmaktadır. Yine bu tez çalışmasında diğer çalışmalardan farklı olarak üçer aylık periyotlara ait orta dönemli talep tahmininde bulunulmuştur.

Geçmiş yıllara ait 1987–2008 yılları için üçer aylık nüfus, dış ticaret göstergeleri (ithalat, ihracat) ve GSMH verileri uzun bir çalışmadan sonra toplanmış ve elde edilen 22 yıllık 88 adet veri kümesi kullanılacak modele uygun bir şekilde derlenmiş ve tasnif edilmiştir.

Sinirsel Adaptif Öğrenme teknikleri, bulanık modelleme prosedürü için veri setini kullanarak ilgili sistemi “öğrenen” bir model geliştirmeyi sağlar. Yani ANFIS (Adaptive Neuro Fuzzy Inference System) girdi/ çıktı veri setini kullanarak üyelik fonksiyonu parametrelerini düzenler. Bu düzenleme bulanık sistemin modellediği veriler yardımıyla ilgili sistemi öğrenmesini sağlar. Yani kendini modelleyeceği veriye göre uyarlar/adapte eder. Bu nedenle adaptiftir.

Bu çalışmada sinirsel bulanık sistem olarak Jang tarafından (1993) geliştirilen ANFIS tahmin amaçlı olarak kullanılmıştır. ANFIS esasında, Sugeno tipi bulanık sistemlerin, sinirsel öğrenme kabiliyetine sahip bir ağ yapısı olarak temsilinden ibarettir.

Matlab 7.0 Fuzzy Logic Toolboxın içerisindeki ANFIS grafiksel kullanıcı arayüzü kullanılmıştır. Eğitim, kontrol ve test olmak üzere üç veri setine ayrılan 22 yıllık 88 veri öbeğinden 60'ı adaptif ağın eğitimi için kullanılmıştır. Bu eğitim sürecinde kullanılacak bulanık çıkarım sisteminin oluşturulması için ANFIS içinde ızgara bölümlleme (grid-partition) ve alt kümeleme (sub-clustering) olmak üzere iki alternatif yöntem bulunmaktadır. Bunların her ikisi içinde ayrı ayrı tahmin modelleri oluşturulmuş ve elde edilen tahmin başarısı kıyaslanmıştır.

Bu sonuca göre 20 öbek test verisi üzerinde hesaplanan ortalama mutlak hata kriterine göre (Mean Absolute Error) ızgara bölümlleme yöntemiyle oluşturulan tahmin modeli % 3,95 hata ile brüt elektrik talep tahmininde bulunurken; alt kümeleme yöntemiyle oluşturulan tahmin modeli % 3,26 tahmin hatası vermiştir. Her iki yöntemle de başarılı tahmin sonuçları alınmakla beraber alt kümeleme yöntemi ile oluşturulan modelle % 0,69 daha başarılı bir sonuç elde edilmiştir.

Yine bu çalışmada ANFIS ile elde edilen tahmin sonuçlarını karşılaştırmak amacıyla aynı veriler kullanılarak, geleneksel istatistik yöntemlerinden çoklu regresyon analizi ile de talep tahminin de bulunulmuştur. Bunun için MINITAB 13.8 kullanılmış ve yapılan bu regresyon analizleri sonucunda iki farklı regresyon formülü elde edilmiştir. Bunlardan ilkinde brüt elektrik talep tahmini için dört bağımsız değişken (nüfus, ithalat, ihracat, GSMH) kullanılırken yapılan aşamalı regresyon ve en iyi regresyon analizleri sonucunda ikinci regresyon modelinde yalnız iki bağımsız değişken (nüfus ve GSMH) kullanılmıştır. Her iki modelden elde edilen sonuçlar karşılaştırıldığında birinci regresyon modelinin % 60 gibi çok büyük bir hata oranıyla tahminde bulunurken, indirgenmiş ikinci modelin % 10 ortalama mutlak hata ile tahminde bulunduğu görülmüştür. Sonuç olarak ANFIS' in brüt elektrik talep tahmininde oldukça başarılı sonuçlar elde ettiği kanısına varılmıştır.

İleride yapılacak çalışmalarda farklı senaryolar ile girdi değişkenlerinin elde edilmesi ardından oluşturulan ANFIS modeli ile geleceğe yönelik orta dönemli elektrik enerjisi brüt talep tahmininde bulunulması planlanmaktadır. Ayrıca ANFIS' in sahip olduğu ağ yapısı gereği kendisine gösterilen örnek sayısı arttıkça ağın tahmindeki doğruluk derecesi de artmaktadır. Bu nedenle ANFIS 'in veri sayısının çok olduğu kısa dönemli elektrik yük tahmini amacıyla kullanılması neticesinde de başarılı tahmin sonuçları elde edilebilir.

KAYNAKLAR

1. Pamir, N., “Enerji politikaları ve küresel gelişmeler”, *Stratejik Analiz*, 68–74 (2005).
2. Sözen, A, Arcaklioglu E, Özkaymak M. “Turkey’s net energy consumption.” *Applied Energy*,81(2):209–221 (2005).
3. Ediger V.Ş., Kentel, E., “Renewable energy potential as an alternative to fossil fuels in Turkey”, *Energy Conversion and Management*, 40(7): 743-755 (1999).
4. Altın, V., “2007 enerji dosyamız”, *Tübitak Bilim ve Teknik*, Ocak: 23-27, (2007).
5. İnternet: 2005-2006 Türkiye Enerji Raporu, *Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi*, http://www.eie.gov.tr/duyurular/EV_etkinlik/2008_bildiriler/0302.pdf (2007).
6. Yoldaş, U.,C., “Elektrik enerjisinde yük tahmini yöntemleri ve türkiye’nin 2005–2020 yılları arasındaki elektrik enerjisi talep gelişimi ve arz planlaması”, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 37-59 (2006).
7. Keleş, M.S., “Elektrik enerjisi talep tahminleri ve türkiye ekonomisine olan etkileri”, Hazine Uzmanlık Tezi, *Hazine Müsteşarlığı Kamu İktisadi Teşebbüsleri Genel Müdürlüğü*, Ankara, 7-45 (2005).
8. Çınar, D.,“Hidroelektrik enerji üretiminin hibrid bir model ile tahmini”, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 3-9 (2007).
9. “MAED (Model for Analysis of Energy Demand) Version II - User’s Manual”, *Uluslararası Atom Enerjisi Ajansı (IAEA)* (2004).
10. İnternet: “2008 Yılı Faaliyet Raporu”, http://enerji.gov.tr/yayinlar_raporlar/2008_faaliyet_raporu.pdf, *Enerji ve Tabi Kaynaklar Bakanlığı* (2009).
11. Şahin, V., “Türkiye bölgesel elektrik talebi (1990–2010)”, *Türkiye Elektrik Kurumu*, Ankara (1993).
12. “Türkiye uzun dönem elektrik enerjisi talep çalışması raporu”, *Enerji ve Tabi Kaynaklar Bakanlığı*, Ankara (2004).
13. “Türkiye elektrik enerjisi 10 yıllık üretim kapasite projeksiyonu (2005–2014) raporu”, *TEİAŞ APK Daire Başkanlığı*, Ankara (2005).

14. İnternet: Kumbaroğlu, G., “Türkiye’nin Rekabet Gücü Açısından Enerji Ekonomisinde Öne Çıkan Başlıklar Üzerine Bir Değerlendirme”, <http://ref.sabanciuniv.edu.tr/newsletters/2006Aralik/enerji%20ekonomisi.html> *Sabancı Üniversitesi Referans Dergisi*, 32-35 (2006).
15. Ediger, V.Ş., Tatlıdil H., “ Forecasting the primary energy demand in Turkey and analysis of cyclic patterns ”, *Energy Conversion and Management*, 43: 473-487 (2002).
16. Yumurtacı, Z., Asmaz, E., “Electric energy demand of Turkey for the year 2050”, *Energy Sources*, 26: 1157–1164 (2004).
17. Hamzaçebi, C., Kutay F., “Yapay sinir ağları ile Türkiye elektrik enerjisi tüketiminin 2010 yılına kadar tahmini” *J. Fac. Eng. Arch. Gazi Univ.* 19 (3): 227-233 (2004).
18. Ceylan, H., Öztürk H. “Estimating energy demand of Turkey based on economic indicators using genetic algorithm approach”, *Energy Conversion and Management*, 45: 2525–2537 (2004).
19. Öztürk, H.K., Ceylan H., Canyurt O, Hepbaşlı A, “Electricity estimation using genetic algorithm approach: a case study of Turkey”, *Energy*, 30: 1003–1012, (2005).
20. Topallı, A., Erkmen İ., Topallı İ., “Intelligent short-term load forecasting in Turkey”, *Electrical Power and Energy Systems*, 28: 437–447 (2006).
21. Tunç, M, Çamdalı, U, Parmaksizoglu, C., “Comparison of Turkey’s electrical energy consumption and production with some European countries and optimization of future electrical power supply investments in Turkey.” *Energy Policy*, 34: 50–59 (2006).
22. Akay, D., Atak M., “Grey prediction with rolling mechanism for electricity demand forecasting of Turkey”, *Energy*, 32: 1670–1675 (2007).
23. Ediger, V., Akar S., ” ARIMA forecasting of primary energy demand by fuel in Turkey ” *Energy Policy*, 35: 1701–1708 (2007).
24. Erdoğan, E., “Electricity Demand Analysis using cointegration and ARIMA modelling: a case study of Turkey”, *Energy Policy*, 35: 1129-1146 (2007).
25. Hamzaçebi, C., ”Forecasting of Turkey’s net electricity energy consumption on sectoral bases”, *Energy Policy*, 35: 2009-2016 (2007).

26. Sözen, A., Arcaklioglu E., “Prediction of net energy consumption based on economic indicators (GNP and GDP) in Turkey” *Energy Policy*, 35: 4981–4992 (2007).
27. Ünler, A., “Improvement of energy demand forecasts using swarm intelligence: The case of Turkey with projections to 2025”, *Energy Policy* 36: 1937–1944 (2008)
28. Sözen, A., “Future projection of the energy dependency of Turkey using artificial neural network”, *Energy Policy*, in press, doi:10.1016/j.enpol.2009.06.040 (2009)
29. Toksarı, M.D.,” Ant colony optimization approach to estimate energy demand of Turkey”, *Energy Policy* 35: 3984–3990 (2007).
30. Toksarı, M.D., “Estimating the net electricity energy generation and demand using the ant colony optimization approach: Case of Turkey”, *Energy Policy*, 37: 1181-1187 (2009).
31. Kavaklioğlu, K., “Modeling and prediction of Turkey’s electricity consumption using Artificial Neural Networks”, *Energy Conversion Management*, in press, doi:10.1016/j.enconman.2009.06.016 (2009).
32. İnternet: Hocaoglu, F., Kurban, M., “Adaptif ağ tabanlı bulanık mantık çıkarım sistemi ile Eskişehir bölgesi için güneşlenme süreleri tahmini”, www.emo.org.tr/ekler/aea265a9054b3b8_ek.pdf, *EEBM 11. Ulusal Kongresi*, Eskişehir (2005).
33. Yıldırım, Y., Bayramoğlu, M. “Adaptive neuro-fuzzy based modelling for prediction of air pollution daily levels in city of Zonguldak” *Chemosphere*, 63: 1575–1582 (2006).
34. Cameron, W. Negnevitsky, P., “Very short-term wind forecasting for Tasmanian power generation ”, *IEEE Transactions On Power Systems*, 21: 965-972 (2006).
35. Ying, L.-C., Pan, M.-C., “Using adaptive network based fuzzy inference system to forecast regional electricity loads”, *Energy Conversion and Management*, 49: 205-211 (2008)
36. Hocaoglu, F., Oysal, Y., Kurban, M., “Missing wind data forecasting with adaptive neuro fuzzy inference system”, *Neural Computation & Application* 18: 207-212 (2009).
37. Azadeh, A., Saberi, M., Gitiforouz, A., Saberi, Z., “A hybrid simulation-adaptive network based fuzzy inference system for improvement of electricity

- consumption estimation”, *Expert Systems with Applications*, 36: 11108-11117 (2009).
38. Wang, W.- C., Chau, K., Cheng, C., Qiu, L., “A comparison of performance of several artificial intelligence methods for forecasting monthly discharge time series”, *Journal of Hydrology*, in press, doi:10.1016/j.hydrol.2009.06.019 (2009)
 39. Yurdusev, M.A., Fırat, M., “Adaptive neuro fuzzy inference system approach for municipal water consumption modelling”, *Journal of Hydrology*, 365: 225-234 (2009).
 40. Samer, E.Schlenkoff, A.,”ANFIS and BP neural network for travel time prediction”, *World Academy of Science, Engineering and Technology*, 57: 116-121 (2009).
 41. Öztemel, E , “Yapay sinir ağları”, *Papatya Yayıncılık*, 2.Baskı, İstanbul, 29-57 (2006).
 42. Kaynar, O., Taştan S., Demirkoparan F., “Yapay sinir ağları ile doğalgaz tüketim tahmini”, *10. Ekonometri ve İstatistik Sempozyumu*, Atatürk Üniversitesi, Erzurum (2009).
 43. Zadeh, L.A., “Information and control”, *Fuzzy Sets*, 8: 338-353 (1965).
 44. Zadeh, L.A., “Outline of a new approach to the analysis of complex systems and decision processes”, *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics* SMC-3: 28-44 (1973).
 45. Semed, Möhbeddin “Dünya dahilsiz yaşabilmir”, *Azerbaycan Bilimler Akademisi Yay.*, Bakü (2000)
 46. Işıklı Ş., “Bulanık mantık ve bulanık teknolojiler”, *Ankara Üniversitesi DTCF Felsefe Bölümü Dergisi*, 19: 105-126 (2008).
 47. Anderson, J. A., “An introduction to neural networks”, *MA: MIT Press. Cambridge* (1995).
 48. Tekin, N., Karanfil, S. “Fuzzy logic”, Öneri, *Marmara Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 14 (1995).
 49. Babuska, R., “Fuzzy modeling for control”, *Kluwer Academic*. 260 (1998).
 50. Setnes, M., Babuska, R., Verbruggen, H.B., “Transparent fuzzy modelling”, *Int. J. Human-Computer Studies*, 49: 159–179 (1998).
 51. Piegat, A., “Fuzzy modeling and control”, *Physica-Verlag*, 728 (2001).

52. Mamdani, E.H., “Application of fuzzy logic to approximate reasoning using linguistic synthesis”, *IEEE Trans. on Computers*, 26(12): 1182-1191 (1977).
53. Takagi, T., Sugeno, M., “Fuzzy identification of systems and its applications to modelling and control”, *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, 15: 116–132 (1985).
54. Şen, Z., "Mühendislikte bulanık (fuzzy) mantık ile modelleme prensipleri" *Su Vakfı Yayınları, Bilge Yayıncılık*, İstanbul (2004).
55. Barnard, E., “Optimization for training neural nets”, *IEEE Transactions on Neural Networks*, 3 (2): 232–240 (1992).
56. Baykal, N., Beyan T., “Bulanık mantık uzman sistemler ve denetleyiciler”, *Bıçaklar Kitabevi*, Ankara (2004).
57. Jang, J. S. R., “ANFIS: Adaptive-network based fuzzy inference systems”, *IEEE Trans. On Systems, Man, and Cybernetics*, 23 (03): 665-685 (1993).
58. Tsoukalas, L., Uhrig, R., “Neuro fuzzy approach for anticipatory control of complex systems”, *IEEE International Conference in Fuzzy Systems*, (1): 587-593 (1996).
59. Demuth, H., Beale, M., “Fuzzy logic toolbox for use with MATLAB” User’s Guide Version 4”, *MA* (2000).
60. Ross, T., “Fuzzy logic with engineering applications”, *McGraw-Hill Inc.*, ISBN 0-07-053917-0 (1995).
61. Murat Y. Ş.,, “Sinyalize kavşaklardaki taşıt gecikmelerinin bulanık mantık ile modellenmesi”, *İMO Teknik Dergi*, 258: 3903–3916 (2006).
62. Lin, C. T. and Lee, C. S. G., “Neural network based fuzzy logic control and decision system”, *IEEE Transactions on Computation*, 40(12): 1320-1336 (1991).
63. Sulzberger, S. M., Tschicholg-Gurman, N. N., Vestli, S. J., “FUN:optimization of fuzzy rule based systems using neural networks”, *Proceedings of IEEE Conference on Neural Networks*, San Francisco, 312-316 (1993).
64. Bherenji, H. R. and Khedkar, P., “Learning and tuning fuzzy logic controllers through reinforcements”, *IEEE Transactions on Neural Networks*, 3: 724-740 (1992).

65. Nauck, D. D., “Fuzzy data analysis with NEFCLASS”, *International Journal of Approximate Reasoning*, 32(2/3): 103-130 (2003).
66. Nürnberger, A., Nauck D., Kruse, R., “Neuro-fuzzy control based on the NEFCON-model: recent developments”, *Soft Computing*, 2(4): 168-182 (1999).
67. Nauck, D., Kruse, R., “Neuro-fuzzy systems for function approximation”, *Fuzzy Sets and Systems*, 101: 261-271 (1999).
68. Tano, S., Oyama, T., Arnould, T., “Deep combination of fuzzy inference and neural network in fuzzy inference”, *Fuzzy Sets and Systems*, 82(2) : 151-160 (1996).
69. Abraham, A., “Neuro-fuzzy systems: state-of-the-art modeling techniques, connectionist models of neurons, learning processes and artificial intelligence”, *Lecture Notes in Computer Science*, 2084: 269-276 (2001).

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, Adı : OK, Yeşim
 Uyruğu : T.C.
 Doğum Tarihi ve Yeri : 21.03.1981 Erzurum
 Medeni Hali : Evli
 Telefon : 0 (312) 5823813
 e-posta : yesimok@gazi.edu.tr

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet Tarihi
Lisans	Sakarya Üniversitesi / Endüstri Müh. Bölümü	2003
Lise	Erzurum Anadolu Lisesi	1999

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2003 – 2004	MEB	İngilizce Dil Öğreticisi
2005 – 2007	Atatürk Üniversitesi	Araştırma Görevlisi
2007 – D.E.	Gazi Üniversitesi	Araştırma Görevlisi

Yabancı Dil

İngilizce

İlgi Alanları

Yapay Zekâ Teknolojileri