

**ZEKİ MODELLER KULLANILARAK ENERJİ PROJEKSİYONU VE
ÇEVRESEL (SERA) ETKİLERİNİN BELİRLENMESİ VE EKONOMİK
GÖSTERGELERLE İLİŞKİLENDİRİLMESİ**

H.Zafer GÜLSEVEN

**DOKTORA TEZİ
MAKİNA EĞİTİMİ**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**EYLÜL 2008
ANKARA**

H. Zafer GÜLSEVEN tarafından hazırlanan ZEKİ MODELLER KULLANILARAK ENERJİ PROJEKSİYONU VE ÇEVRESEL (SERA) ETKİLERİNİN BELİRLENMESİ VE EKONOMİK GÖSTERGELERLE İLİŞKİLENDİRİLMESİ adlı bu tezin Doktora tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Doç.Dr.Adnan SÖZEN
Tez Danışmanı, Makine Eğitimi Anabilim Dalı

Prof.Dr.Mehmet EROĞLU
Ortak Tez Danışmanı, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile Makine Eğitimi Anabilim Dalında Doktora tezi olarak kabul edilmiştir.

Prof.Dr.Mustafa İLBAŞ
(Makine Mühendisliği, Erciyes Üniversitesi)

Doç.Dr.Adnan SÖZEN
(Makine Eğitimi, Gazi Üniversitesi)

Prof.Dr. H.Güçlü YAVUZCAN
(Endüstriyel Teknoloji, Gazi Üniversitesi)

Doç.Dr.Ali KOÇ
(Makine Mühendisliği, Mustafa Kemal Üniversitesi)

Doç.Dr.Enver AYDOĞAN
(Makine Eğitimi, Gazi Üniversitesi)

Tarih: 06/10/2008

Bu tez ile G.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu Doktora derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Nermin ERTAN
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.

H.Zafer GÜLSEVEN

**ZEKİ MODELLER KULLANILARAK ENERJİ PROJEKSİYONU VE
ÇEVRESEL (SERA) ETKİLERİNİN BELİRLENMESİ VE EKONOMİK
GÖSTERGELERLE İLİŞKİLENDİRİLMESİ
(Doktora Tezi)**

H.Zafer GÜLSEVEN

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
Eylül 2008**

ÖZET

Bu çalışmada enerji ve ekonomik göstergelere bağlı olarak sera gazı salınımlarının belirlenmesi amacıyla amprik bağıntılar türetilmesi için zeki modeller kullanılmıştır. Son yıllarda lineer olmayan problemlerde yüksek güvenilirlikle yaklaşım sağlayan yapay sinir ağları (YSA) zeki model olarak kullanılmıştır. Elde edilen amprik bağıntılar kullanılarak sera gazı salınımlarının ileriye dönük projeksiyonlarının tahmin edilmesi sağlanmıştır. Ayrıca sera gazları salınımlarının azaltılmasına yönelik öneriler geliştirilmiştir. Bu çalışmanın çıktıları ile gelecekte yapılacak enerji planlarına yol gösterilecektir. Kyoto Protokolünün gereklerine yerine getirebilmek için Türkiye'nin enerji politikasında yapılması gereken revizyonlar ve enerji kaynaklarının kullanımının planlaması yapılabilecektir.

Bilim Kodu : 708.1.038
Anahtar Kelimeler : Enerji, ekonomi, sera gazı, projeksiyon
Sayfa adedi : 129
Tez Yöneticisi : Doç. Dr. Adnan SÖZEN
Prof. Dr. Mehmet EROĞLU

**DETERMINATION OF ENERGY PROJECTION AND ENVIRONMENTAL
EFFECT USING ARTIFICIAL MODELS AND IT'S RELATIONSHIP
ECONOMICAL INDICATORS
(Ph.D. Thesis)**

H. Zafer GÜLSEVEN

**GAZI UNIVERSITY
INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY
September 2008**

ABSTRACT

Recently, global warming and its effects have become one of the most important themes in the world. Under the Kyoto Protocol, the EU has agreed to an 8% reduction in its greenhouse gas emissions by 2008-2012. The greenhouse gas emissions (GHGs: total GHG, CO₂, CO, SO₂, NO₂, E (emissions of non-methane volatile organic compounds)) covered by the Protocol are weighted by their global warming potentials (GWPs) and aggregated to give total emissions in CO₂ equivalents. The main subject in this study is to obtain equations by artificial neural network (ANN) approach to predict the GHGs of Turkey using sectoral energy consumption. The equations obtained are used to determine the future level of the GHG and take measures to control the share of sectors in total emission.

Science Code : 708.1.038
Key Words : Energy indicator, Economic indicator, GHG
Page Number : 129
Adviser : Assoc. Prof. Adnan SÖZEN
Prof. Dr. Mehmet EROĞLU

TEŞEKKÜR

Bu tezin hazırlanmasında değerli yardımlarını esirgemeyen ve her türlü kolaylığı gösteren hocam sayın Doç.Dr. Adnan SÖZEN ve Prof.Dr.Mehmet EROĞLU'na teşekkürlerimi borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	x
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	xi
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xiv
1. GİRİŞ	1
2. ENERJİ_KULLANIMI VE SERA ETKİSİ.....	8
2.1 Giriş.....	8
2.2. Sera Etkisi.....	9
2.3. Küresel İklimde Gözlenen Değişimler.....	16
2.3.1. İklim değişikliğinin etkileri neler olabilir	18
2.3.2. İklim değişikliğinin Türkiye üzerindeki olası etkileri.....	19
2.4 Kyoto Protokolü	22
2.4.1. Anlaşmanın amaçları	25
2.4.2. Anlaşmanın şu anki durumu	25
2.4.3.Anlaşmanın detayları.....	26
2.4.4. Ortak ama özelleşmiş sorumluluklar.....	27
2.4.5. Salınım ticareti.....	27
2.4.6. Yaptırımlar.....	28
2.4.7. Kyoto Protokolü'nün sonuçları.....	28
2.5.Dünya Enerji Tüketimi	28

Sayfa

3. TÜRKİYE’NİN ENERJİ TÜKETİMİ, EKONOMİK GÖSTERGELERİ VE SERA GAZLARI SALINIMI.....	33
3.1. Enerji Tüketimi.....	33
3.2. Ekonomik Göstergeler.....	36
3.3. Sera Gazı Salınımları	42
3.3.1.Yakıt tüketimine dayalı sera gazı salınımları.....	42
3.3.2. CO ₂ salınımı.....	44
3.3.3. CO salınımı.....	50
3.3.4. SO ₂ salınımı.....	52
3.3.5. NO ₂ salınımı.....	53
3.3.6. E salınımı.....	54
4. YAPAY SİNİR AĞLARI (YSA)	55
4.1. Giriş	55
4.2. Yapay Sinir Ağlarının Tarihçesi.....	58
4.3. Biyolojik Sinir Ağları	60
4.4. YSA Ağ Parametreleri	62
4.4.1 Yapay nöron.....	64
4.4.2. Transfer fonksiyonları	66
4.4.3. YSA ağ yapıları	70
4.4.3. YSA öğrenme algoritmeleri.....	79
4.5. Yapay Sinir Ağlarının Öğrenmesinde İstatistiksel Hatalar	97
5. YAPAY SİNİR AĞLARININ PROJEKSİYON TAHMİNİNDE UYGULANMASI	99

	Sayfa
5.1 Sera Gazı Projeksiyonu.....	99
5.1.1. Sektörel enerji tüketimine bağlı sera gazı projeksiyonu (Model 1).....	100
5.1.2. GDP ve nüfusa bağlı sera gazı projeksiyonu (Model 2).....	103
5.1.3. GNP ve nüfusa bağlı sera gazı projeksiyonu (Model 3).....	104
5.2. Uygulamanın Genel Performansı.....	106
5.3. Uygulama Sonuçlarının Tahmininde Kullanılması.....	106
6. SONUÇLAR, TARTIŞMA ve ÖNERİLER	116
6.1. Sonuçlar ve Tartışma	116
6.2.Sera Gazı Salınımlarını Azaltmak İçin Öneriler.....	117
KAYNAKLAR.....	124
ÖZGEÇMİŞ.....	129

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 2.1. Ekosistemlere ve sektörlerle göre küresel karbon dengesi (milyar ton).....	8
Çizelge 2.2. Sera gazları parametreleri.....	12
Çizelge 2.3. Sera gazı emisyonunu etkileyen faktörler.....	14
Çizelge 2.4. AB ülkeleri Kyoto hedeflerine ulaşma hedefleri.....	29
Çizelge 2.5 1996-2020 arasında Dünya Enerji Tüketim Tahminleri.....	31
Çizelge 2.6. Dünya enerji tüketimine bağlı olarak CO ₂ salınım tahminleri...	31
Çizelge 2.7. Karbondioksit salınımlarının nedeni olarak fosil yakıt tüketimi.	32
Çizelge 3.1. Elektrik üretiminde kullanılan yakıt tüketim miktarları.....	35
Çizelge 3.2. AB ülkeleri ile Türkiye'nin kişi başına düşen sera gazları salınımı.....	45
Çizelge 3.3. Sektörlere göre CO ₂ salınımı.....	46
Çizelge 5.1.Eşitlik 5.8'de kullanılacak sabitler.....	102
Çizelge 5.2. Model 1 için normalizasyon değerleri.....	102
Çizelge 5.3. Eşitlik 5.15 için sabitler.....	104
Çizelge 5.4. Model 2 için normalizasyon değerleri.....	104
Çizelge 5.5. Eşitlik 5.22 için sabitler.....	105
Çizelge 5.6. Model 3 için normalizasyon değerleri.....	106
Çizelge 5.7. Bütün modeller için elde edilen istatistiksel hata değerleri.....	106
Çizelge 5.8. Literatürdeki CO ₂ salınım tahminlerinin karşılaştırılması	113
Çizelge 6.1.Kyoto Protokolüne göre sera gazı salınımları.....	122

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Sera etkisinin şematik gösterimi.....	10
Şekil 2.2. Sera etkisinin şematik gösterimi.....	11
Şekil 2.3. Sıcaklık değişimi.....	11
Şekil 2.4. İklim değişikliğinin bütünsel değerlendirilmesi.....	12
Şekil 3.1. GSMH'nın GSYİH'ya göre yıllar itibariyle değişimi.....	37
Şekil 3.2. Kişi başına düşen enerji tüketimi ile kişi başına düşen GSMH arasındaki ilişki.....	38
Şekil 3.3. Kişi başına düşen enerji tüketimi ile kişi başına düşen GSYİH arasındaki ilişki.....	39
Şekil 3.4. Temel enerji göstergeleri ile GSMH'nın değişimi	40
Şekil 3.5. Temel enerji göstergeleri ile GSYİH'nın değişimi	41
Şekil 3.6. Sektörel enerji tüketimi	43
Şekil 3.7. Yakıt tüketimine dayalı CO ₂ salınımının sektörel dağılımı (2000 yılı).....	44
Şekil 3.8. CO ₂ salınımları.....	47
Şekil 3.9. Kişi başına düşen CO ₂ salınımı.....	48
Şekil 3.10. CO ₂ /GSYİH oranı.....	49
Şekil 3.11. Karbondioksit salınımına etki eden faktörler.....	50
Şekil 3.12. CO salınımı.....	51
Şekil 3.13. SO ₂ salınımı.....	52
Şekil 3.14. NO ₂ salınımı.....	53
Şekil 3.15. E salınımı.....	54

Şekil	Sayfa
Şekil 4.1. Biyolojik nöronun bölümleri.....	62
Şekil 4.2. Biyolojik nöronların ürettiği sinyaller	62
Şekil 4.3 Yapay bir nöron.....	65
Şekil 4.4. Transfer fonksiyonu çeşitleri	69
Şekil 4.5 İleri beslemeli ağ	71
Şekil 4.6 Geri beslemeli ağ	72
Şekil 4.7. Çok katmanlı bir yapay sinir ağı	72
Şekil 4.8. Üç katlı vektör kuantalamalı öğrenme ağı	74
Şekil 4.9 Hopfield ağı.....	76
Şekil 4.10 Hamming ağı.....	78
Şekil 4.11 Elman ağı.....	79
Şekil 4.12 Jordan ağı	80
Şekil 4.13. Bir geri yayımlı öğrenme algoritmasında takip edilen metodoloji.....	83
Şekil 5.1. Sektörel enerji tüketimine bağlı tahmininde kullanılan ağ yapısı.....	99
Şekil 5.2. Ekonomik göstergelere bağlı tahmin ağ yapısı.....	100
Şekil 5.3. Toplam sera gazı salınımlarının bütün model sonuçları ile gerçek değerlerinin kıyaslanması.....	107
Şekil 5.4. CO ₂ sera gazı salınımlarının bütün model sonuçları ile gerçek değerlerinin kıyaslanması.....	107
Şekil 5.5. SO ₂ sera gazı salınımlarının bütün model sonuçları ile gerçek değerlerinin kıyaslanması.....	108
Şekil 5.6. NO ₂ sera gazı salınımlarının bütün model sonuçları ile gerçek değerlerinin kıyaslanması.....	108

Şekil	Sayfa
Şekil 5.7. CO sera gazı salınımlarının bütün model sonuçları ile gerçek değerlerinin kıyaslanması.....	109
Şekil 5.8. E sera gazı salınımlarının bütün model sonuçları ile gerçek değerlerinin kıyaslanması.....	109
Şekil 5.9. Toplam sera gazı salınımlarının bütün model sonuçları ile gerçek değerlerinin yıllara göre değişimi.....	110
Şekil 5.10. E sera gazı salınımlarının bütün model sonuçları ile gerçek değerlerinin yıllara göre değişimi.....	110
Şekil 5.11. SO ₂ sera gazı salınımlarının bütün model sonuçları ile gerçek değerlerinin yıllara göre değişimi.....	111
Şekil 5.12. NO ₂ sera gazı salınımlarının bütün model sonuçları ile gerçek değerlerinin yıllara göre değişimi.....	111
Şekil 5.13. CO sera gazı salınımlarının bütün model sonuçları ile gerçek değerlerinin yıllara göre değişimi.....	112
Şekil 5.14. CO ₂ sera gazı salınımlarının bütün model sonuçları ile gerçek değerlerinin yıllara göre değişimi.....	112
Şekil 5.15. Sera gazları salınımlarının gelecek tahmini.....	114
Şekil 5.16. Sera gazlarında sektörlerin paylarının gelecek tahmini.....	115
Şekil 6.1. Sera gazı salınımlarının azaltılması için yapılması gerekenler.....	123

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış bazı simgeler, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler	Açıklama
A	Ziraat
CO	CO salınımı
CO₂	CO ₂ salınımı
E	Metan olmayan organik bileşikler
GHG	Sera gazı
GSYİH (=GDP)	Gayri Safi Yurt İçi Hasıla
GSYİH (=GNP)	Gayri Safi Milli Hasıla
H	Konutlar
I	Sanayi
LM	Geriye yayılma algoritması (Levenberg Marquart)
NO₂	NO ₂ salınımı
S	Servis
SO₂	SO ₂ salınımı
TEC	Toplam enerji tüketimi
TEP	Ton eşdeğer petrol
O	Diğer
YSA	Yapay sinir ağları

1.GİRİŞ

Dünyamızı tehdit eden en büyük çevre sorunlarından birisi küresel ısınma ve bunun sebep olduğu iklim değişikliği olgusudur. İklim değişikliği olgusu; başta fosil yakıt kullanımı, sanayileşme, enerji üretimi, ormansızlaşma ve diğer insan etkinlikleri sonucunda ortaya çıkan, ekonomik büyüme ve nüfus artışı ile süreci hızlanan bir olgudur. İnsanlar bireysel ve toplu olarak daha hareketli ve gelişmiş yaşam tarzlarını sürekli artırmayı tercih ettiği için, atmosferde ısı radyasyonu tutan gazların (başta CO₂ olmak üzere) miktarının artışına neden olmuş ve bu gazların artışıyla birlikte, insanoğlu doğal sera etkisinin ısınma kapasitesini arttırmıştır. Bu durum, hızlı şehirleşmenin de katkısıyla, dünyanın yüzey sıcaklıklarının artmasına neden olmuştur. Küresel yüzey sıcaklıklarında 19. yüzyılın sonlarında başlayan ısınma, son yıllarda daha da belirginleşerek, hemen her yıl bir önceki yıla göre daha sıcak olmak üzere, küresel sıcaklık rekorları kırılmış ve ortalama hava sıcaklıkları geçen yüzyılda 0,4 ile 0,8 °C arasında ($0,6 \pm 0,2$ °C) artmıştır [1].

Artan hava sıcaklıklarıyla birlikte, toplumun ilgisini son 20 yıl içinde çekmeye başlayan artan sera etkisi ve küresel ısınma olgusu, bilim adamları tarafından yaklaşık yüz yıldır bilinmekte ve araştırılmaktadır. Atmosferdeki karbondioksit (CO₂) birikiminin değişmesine bağlı olarak iklimin değişebilme olasılığı, ilk kez 1896 yılında Nobel ödülü sahibi İsveçli S. Arrhenius (1896) tarafından belirlenmiştir. Ama aradan yıllar geçmesine rağmen, atmosferde artan CO₂ birikiminin yol açabileceği olumsuz etkiler konusundaki uluslar arası ilk ciddi adımın atılması 1979 yılında olabilmektedir. Dünya Meteoroloji Örgütü (WMO)'nün öncülüğünde 1979 yılında düzenlenen Birinci Dünya İklim Konferansı'nda konunun önemi dünya ülkelerinin dikkatine sunularak; toplumun, ana enerji kaynağı olarak fosil yakıtlara olan uzun süreli bağımlılığının ve ormansızlaşmanın gelecekte de sürmesi durumunda, atmosferdeki karbondioksit birikimi büyük ölçüde artabileceği deklare edilmiştir. İklim süreçlerini anlayabilmemizi sağlayan bugünkü bilgilerimiz, CO₂ birikimindeki bu artışın küresel iklimde önemli ve olasılıkla da uzun süreli

değişikliklere yol açabileceğini göstermektedir. İnsan aktiviteleri ile atmosfere eklenen CO₂'in, atmosferden insan etkinlikleriyle uzaklaştırılması yavaş gelişen bir süreçtir ve bu yüzden artan CO₂ birikiminin iklimsel sonuçları da uzun bir süre etkili olmaktadır. Düzenlenen bir çok uluslararası etkinlikler, artmakta olan CO₂ salınımının küresel iklim sistemi ve bölgesel iklimler ile atmosfer-okyanus-biyosfer ortak sistemi içerisindeki karbon döngüsü üzerindeki etkilerini ve bu etkilerin sosyo-ekonomik sonuçlarını araştırmanın zorunlu olduğunu ortaya koymuştur. Çok sayıda bilim adamının katıldığı çalışma toplantıları, seminerler ve sempozyumlar, yalnızca 1979'daki düşünceleri kuvvetlendirmekle kalmamış, küresel ısınmanın ortaya çıkardığı tehdit konusunda bilimsel bir uzlaşma ortamı oluşturmuştur.

1985 ve 1987 yıllarında Villaca'da (Avusturya) ve 1988'de Toronto'da düzenlenen toplantılar, dikkatleri ilk kez iklim değişikliği karşısında siyasal seçenekler geliştirilmesi konusu üzerinde toplamıştır [2]. Toronto konferansında, uluslararası bir hedef olarak, küresel CO₂ salınımlarının 2005 yılına kadar %20 azaltılması ve protokollerle geliştirilecek olan bir çerçeve iklim sözleşmesinin hazırlanması da önerilmiştir.

Aralık 1988'de Malta'nın girişimiyle, Birleşmiş Milletler Genel Kurulu "İnsanoğlunun Bugünkü ve Gelecek Kuşakları için Küresel İklimin Korunması" konulu 43/53 sayılı kararla; küresel iklim insanoğlunun ortak mirası, iklim değişikliği ortak sorun olarak tanımlanmıştır. Kasım 1989'da, Hollanda'nın Noordwijk şehrinde "Atmosferik ve Klimatik Değişiklik" konulu bir Bakanlar Konferansı düzenlenmiştir. Bu toplantıda, ABD, Japonya ve eski Sovyetler Birliği dışındaki ülkelerin çoğu, CO₂ emisyonlarının %20 oranında azaltılmasını destekledikleri halde, azaltmaya ilişkin özel bir hedef ya da takvim belirlenememiştir. Küresel ısınmadan kaynaklanan iklim değişikliğinin önlenmesi konusunda küresel bir anlaşmaya yönelik sondan bir önceki adım, 29 Ekim 1990 tarihinde Cenevre'de yapılan İkinci Dünya İklim Konferansıdır. Dünya Meteoroloji Örgütü'nün (WMO) öncülüğünde düzenlenen Dünya İklim Konferansında, iklim değişikliği ve sera gazları olan İkinci Dünya İklim

Konferansı Bakanlar Deklarasyonu, aralarında Türkiye'nin de bulunduğu 137 ülke tarafından onaylanmıştır. Hem Konferans sonuç bildirisi, hem de Bakanlar Deklarasyonu, BM Çevre ve Kalkınma Konferansında (UNCED) imzaya açılmak üzere, bir iklim değişikliği çerçeve sözleşmesi görüşmelerine ivedilikle başlanması açısından tarihsel bir önem taşımaktadır. Bu belgelerde, sera gazlarının atmosferdeki birikimlerinin azaltılmasını sağlayacak önlemler savunulmuş, konuyla ilgili belirsizliklerin, iklim değişikliğinin olumsuz etkilerini en aza indirmek için gerekli olan eylemlere bir an önce başlanılmasına vurgu yapılmıştır.

Küresel ısınmanın muhtemel sonuçlarının, giderek çevre alanındaki en temel sorunu oluşturmaya başlaması karşısında, 1992 yılında Rio çevre ve kalkınma konferansı'nda kabul edilen ve 50 ülkenin onaylamasını müteakip 21 mart 1994 tarihinde yürürlüğe giren "iklim değişikliği çerçeve sözleşmesi" teşkil edilmiştir. Sözleşmenin amacı, atmosferde tehlikeli bir boyuta varan insan kaynaklı sera gazı yoğunluğunun küresel ısınma üzerindeki olumsuz etkisini önlemek ve belli bir düzeyde tutulmasını sağlamaktır. Bu sözleşmenin amacına ulaşmak için öncelikle gelişmiş ülkeler 2000 yılındaki sera gazı emisyonlarını 1990 yılı seviyesine indirmek ve geliştirmekte olan ülkelere teknolojik ve mali kaynak sağlamakla yükümlüdürler.

Sözleşmenin temel ilkeleri ise;

- Küresel iklim sisteminin ortak fakat farklı sorumluluk alanına uygun olarak korunmasını sağlamak,
- İklim değişikliğinden etkilenecek olan gelişmekteki ülkelerin ihtiyaç ve özel koşullarının dikkate alınması,
- İklim değişikliğinin önlenmesi için alınacak tedbirlerin etkin ve en az maliyetle yapılması,

- Sürdürülebilir kalkınmanın desteklenmesi ve izlenecek politika ve önlemlerin ulusal kalkınma programlarına entegre edilmesi,

- Alınacak karşı önlemlerin keyfi, haksız, ayrımcı veya uluslararası ticarete gizli bir kısıtlama oluşturmayacak nitelikte olması.

Sözleşme iki ek liste içermektedir. Teknoloji transferi ve mali yükümlülükleri yerine getirecek ülkeleri içeren Ek-II listesi, 1992 yılında OECD'ye üye olan ülkeler ile AB'den oluşmaktadır. Bunlar; Almanya, Fransa, İsviçre, Norveç, Avustralya, Hollanda, İtalya, Portekiz, Avusturya, İngiltere, İzlanda, Türkiye, Belçika, İrlanda, Japonya, Yeni Zelanda, Danimarka, İspanya, Kanada ve Yunanistan. Ek-I listesi ise Ek-II listelerine ilave olarak Pazar Ekonomisine Geçiş Sürecindeki Ülkelerden (Rusya Federasyonu, Hırvatistan, Slovakya, Litvanya, Ukrayna, Macaristan, Letonya, Polonya, Slovenya, Romanya, Bulgaristan, Belarus, Çek Cumhuriyeti, Estonya) oluşmaktadır. Sözleşmede, ekonomileri geçiş sürecinde olan bu ülkelere sera gazı emisyonlarında farklı baz yıl seçme ayrıcalığı tanınmıştır. Türkiye, OECD üyesi olması sebebiyle başlangıçta sözleşmenin Ek-I ve Ek-II listesinde, gelişmiş ülkeler arasında değerlendirilirken; bu duruma kendi gelişmişlik düzeyini koşul olarak göstererek itiraz etmiştir. Çünkü, Türkiye gelişmekte olan bir ülkedir. Gelişmiş ülkeler ile karşılaştırıldığında Türkiye enerji üretimi ve tüketimi bakımından diğer OECD ülkelerinin gerisindedir; ayrıca sosyo-ekonomik kalkınma düzeyi diğer Ek-II ülkelerinden daha düşüktür. Bu nedenle sözleşmeden doğan yükümlülükleri yerine getirirken bu hususların da göz önünde bulundurulması gerekir. Bu gerekçelerle Türkiye, sözleşmede ifade edilen "ortak fakat farklı sorumluluk" yaklaşımına dayanarak, kendisine daha uygun bir konumun sağlanması çerçevesinde eklerden çıkma yönünde çalışmalarını 1995 yılında Berlin'de yapılan ilk Taraflar Konferansından itibaren aralıksız sürdürmüş ve 2001 yılında Marakeşte gerçekleştirilen 7.taraflar konferansında, Sözleşmenin Ek-II listesinde çıkarılmış ve taraflar Türkiye'nin Ek-I listesinde yer alan diğer taraflardan farklı bir konumda bulunmasını sağlayacak özgün koşullarını dikkate almaya davet edilmiştir.

Gelinen bu durumdan sonra, Türkiye, BM İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi kapsamında ve sürdürülebilir kalkınma ilkesi doğrultusunda, bir yandan kalkınma hedeflerini gerçekleştirirken, diğer yandan küresel ısınmanın olumsuz etkilerinin azaltılmasına yönelik olarak yürütülen bu küresel ortak eylemde yerini almak için sözleşmeye 24 Mayıs 2004 tarihi itibarıyla 189. taraf olarak katılmıştır. Bu katılımı, çevre yönetimi ve sürdürülebilir kalkınma politikalarının diğer sektörel kalkınma uygulamalarına entegrasyonunu güçlendirecek bir imkan sağlayacaktır. Ayrıca, hem küresel çevrenin korunması alanındaki uluslar arası çabalara etkin bir şekilde katılmasına imkan tanıyacak hem de Avrupa Birliği'ne üyelik sürecinde halen yürütülmekte olan çalışmalara çok ciddi bir katkı sağlayacaktır.

Küresel ısınmanın yanı sıra, en gelişmiş iklim modelleri, küresel ortalama yüzey sıcaklıklarında 1990-2100 dönemi için 1,4 C° ile 5,8 C° arasında bir artış olacağını öngörmektedir [1]. Küresel sıcaklıklardaki artışlara bağlı olarak da, hidrolojik döngünün değişmesi, enerji temin güvenliği ve su kaynaklarının hacminde ve kalitesinde azalma, kara ve deniz buzullarının erimesi, kar ve buz örtüsünün alansal daralması, deniz seviyesinin yükselmesi, kıyı ekosistemlerinin olumsuz etkilenmesi, kuraklık ve sele maruz kalan bölgelerde tarım ve mera bölgelerinde azalma, iklim kuşaklarının yer değiştirmesi ve yüksek sıcaklıklara bağlı salgın hastalıkların ve zararlıların artması gibi, dünya ölçeğinde sosyo-ekonomik sektörleri, ekolojik sistemleri ve insan yaşamını doğrudan etkileyecek önemli değişikliklerin olabileceği beklenmektedir [1].

Küresel ısınmaya bağlı iklim değişikliğinin etkileri bölgesel ve zamansal farklılıklar da oluşturabilmektedir: Örneğin, dünyanın bazı bölgelerinde kasırgalar, seller ve taşkınlar gibi şiddetli hava olaylarının şiddetlerinde ve sıklıklarında artışlar olurken, bazı bölgelerinde uzun süreli ve şiddetli kuraklıklar ve bunlarla ilişkili çölleşme olayları daha fazla etkili olarak görülmektedir. Bu tip bir iklim değişiklikleri tahmin edilmeyen tahriplerle beraberinde sosyal ve ekonomik zararlarda doğurmaktadır.

Gelişmekte olan ülkeler ve bu ülkelerde yaşayan en yoksul kesimler, iklim değişikliğinin olumsuz etkilerine en çok maruz kalacaklar arasında yer almaktadır. Bu ülkeler, aynı zamanda büyüme ve kalkınma ihtiyaçları için daha fazla enerji hizmetlerine ihtiyaç duymaktadır.

Türkiye’de küresel ısınmanın etkilerinden etkilenmemesi mümkün gözükmemektedir. Bu etkiler, özellikle yüksek yaz ayları sıcaklıkları ve çölleşme, orman yangınları, yağışların ve su kaynaklarının azalması ve sonucunda kuraklık, salgın hastalıklardır.

Sera gazı salınım miktarlarının gelecek projeksiyonlarının belirlenmesi sektörlere göre enerji planlarının yapılmasında önemli bir rol oynar. Son yıllarda enerji ve ekonomik göstergeler kullanılarak farklı yaklaşım ve metotlarla sera gazları salınımlarının tahminine yönelik birkaç çalışma yapılmıştır [3-6]. Bu çalışmalar küresel ısınma ve sera gazları salınımlarının genel perspektifini ve gelecek projeksiyonu üzerinedir. Conzelmann and Koritarov, Argonne National Laboratory (ANL) adına Türkiye’nin sektörel enerji modellemesi ve bunlara bağlı sera gazı salınımlarının genel perspektifini ve gelecek projeksiyonları ile bunların azaltılmasına yönelik detaylı bir çalışma yapmışlardır.

Bu çalışmanın en önemli teması sera gazları salınımlarının sektörel enerji tüketimi ve genel ekonomik göstergeler göre tahminine imkan veren amprik bağıntıların Yapay Sinir Ağları (YSA) kullanılarak türetilmesidir. Elde edilen sonuçlar literatürde farklı metotlarla yapılmış tahminlerle karşılaştırılmıştır. Geçmişte ve halen bazı çalışmalarda kullanılan varyans ve regrasyon metotları gelişen bilgisayar teknolojisi yardımıyla yerlerini zeki modellere bırakmışlardır. YSA bu zeki modellerden çok fazla kullanılan ve en iyi yaklaşım performansı gösterendir. YSA son yıllarda bir çok uygulama alanı bulmuş olup modelleme ve tahmin çalışmalarına yön [7-12]. Ayrıca YSA non-lineer problemlerde oldukça hassas çalışmalar çıkarabilmektedir.

Bu çalışmada üç farklı YSA modeli geliştirilmiş ve uygulanmıştır:

- Model 1’de sera gazları salınımının sektörel enerji tüketimine dayalı amprik bağıntısı elde edilmiştir.
- Model 2’de sera gazları salınımının GDP dayalı amprik bağıntısı elde edilmiştir.
- Model 3’de sera gazları salınımının GNP dayalı amprik bağıntısı elde edilmiştir.

2. ENERJİ KULLANIMI VE SERA ETKİSİ

2.1.Giriş

Küresel ısınmaya yol açan sera gazları; fosil yakıtların yakılması (enerji ve çevrim), sanayi (enerji ilişkili ve kimyasal süreçler, çimento üretimi, vb. gibi enerji dışı), ulaştırma (kara ve hava taşıtları, deniz taşımacılığı vb), arazi kullanımı değişikliği, katı atık yönetimi ve tarımsal (arazi yakma, çeltik ekimi, hayvancılık, gübreleme vb) etkinliklerden kaynaklanan CO₂, CO, SO₂, NO₂, Metan gibi gazlardır. Geçmiş bir buçuk asır içerisinde, enerji için fosil yakıt kullanımı ve çimento üretiminden 265 milyar ton, arazi kullanım değişikliğinden 124 milyar ton karbon atmosfere salınmıştır [1]. Bu miktarların 214 milyar tonu ekosistemler ve okyanuslar tarafından geri alınmış, 175 milyar tonu atmosfere karbon fazlalığı olarak ilave edilmiştir. Bunda en büyük pay, enerji üretimi için fosil yakıt kullanımı ve sanayi üretimine aittir (Çizelge 2.1) [1].

Çizelge 2.1. Ekosistemlere ve sektörlere göre küresel karbon dengesi (milyar ton)

Ekosistem ve sektör	Atmosfere/atmosferden (Yıllık)	
	Salın	Alın
Karasal ekosistemler (bitki örtüsü, toprak, çürüntü materyali, bataklıklar, sulak alanlar, meralar, tarım alanları)	60,0	61,4
Arazi kullanım değişikliği (ormansızlaşma, tarım, turizm, yerleşim vb.)	1,6	0,5
Okyanuslar	90,0	92,0
Fosil yakıt yakılması ve çimento üretimi (enerji, sanayi, ulaştırma, inşaat)	5,5	0,0
Toplam	157,1	153,9
Fark (atmosferde kalan net insan kaynaklı karbon tutarı)	3,2	

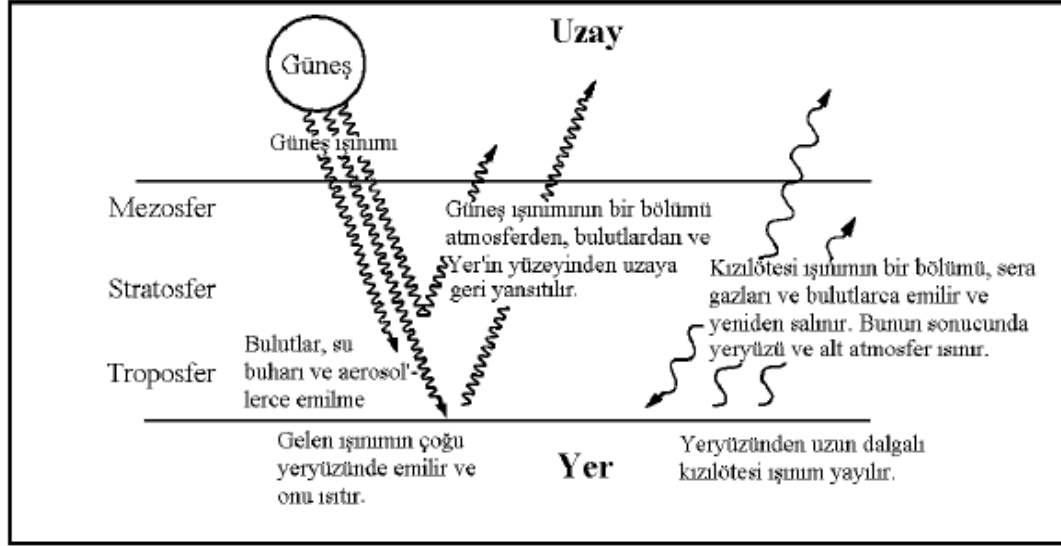
Fosil yakıtların kullanılması, ormanların yok olması ve sanayi süreçleri gibi temel başlıkların neden olduğu atmosferdeki sera gazlarının birikimi, gelişen ve sanayileşen toplumumuzun en büyük olumsuzluk etkisidir. Temel olumsuzluk Dünya ısısının artmasına neden olan sera etkisiyle 19.yy sonlarından başlayarak 1980'li yıllarda daha da belirginleşmiş olmasıdır.

2.2. Sera Etkisi

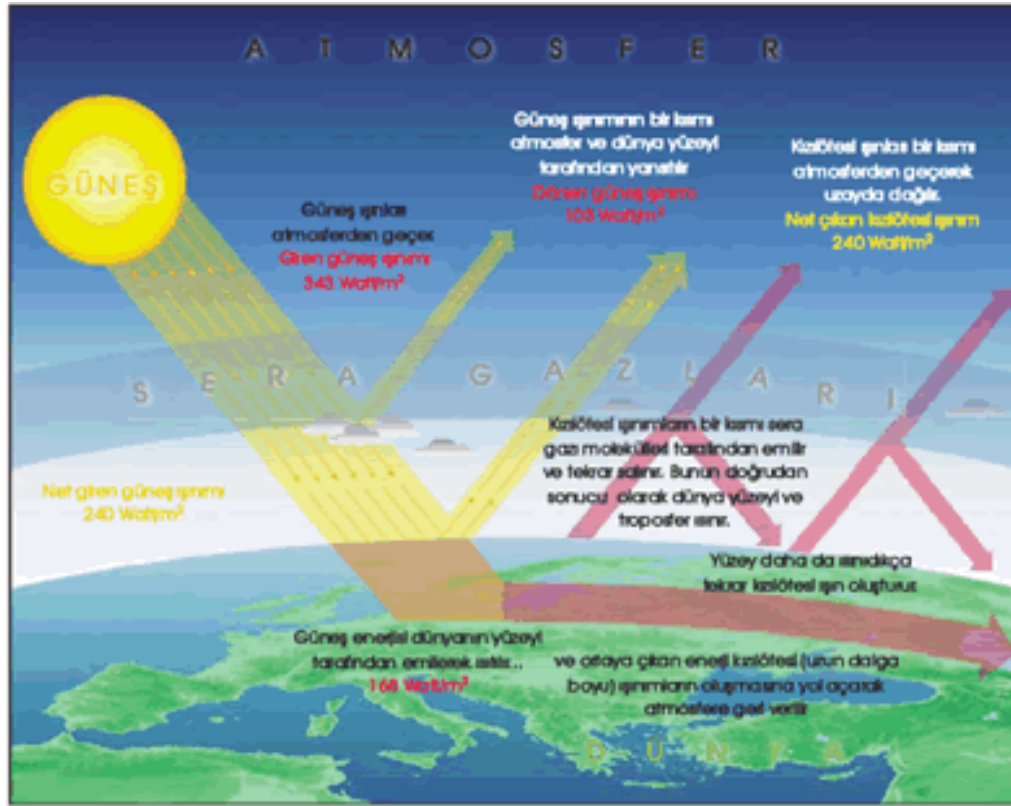
Yeryüzünün, güneşten aldığı enerji kadar enerjiyi uzaya vermesi gerekir. Ancak bu bir süreçtir. Güneş enerjisi yeryüzüne kısa dalga boyuna sahip radyasyon (ışınım) olarak ulaşır. Gelen radyasyonun bir bölümü, yeryüzünün yüzeyinde bir bölümü de troposferde emilir ve bir kısmı da atmosfer tarafından geri uzaya yansıtılır. Gezegenimizin yüzeyi tarafından yukarıya salınan (difüz) kızılötesi radyasyonun büyük bölümü atmosferdeki su buharı, karbondioksit ve doğal olarak oluşan diğer gazlar kısaca “sera gazları” tarafından emilir. Bu gazlar radyasyonun, yeryüzünden geldiği gibi doğrudan uzaya geçmesini engeller. Radyasyon, hava akımları, buharlaşma, bulut oluşumu ve yağmur gibi süreçler enerjiyi atmosferin daha üst tabakalarına taşır ve enerji oradan uzaya aktarılır. Bu süreç dünyamız için bir şanstır; çünkü yeryüzünün yüzeyi enerjiyi uzaya hiç engelsiz gönderebilseydi, o zaman yeryüzü soğuk ve yaşamsız bir yer, Mars gibi çıplak ve ıssız bir gezegen olurdu. Atmosferdeki gazların gelen güneş radyasyonuna karşı geçirgen, buna karşılık geri salınan uzun dalgalı yer radyasyonuna karşı daha az geçirgen olması sebebiyle yerkürenin beklenenden daha fazla ısınmasını sağlayan ve ısı dengesini düzenleyen bu doğal süreç “Sera Etkisi” olarak tanımlanmaktadır (Şekil 2.1 ve Şekil 2.2) [1,13-14].

Bugün çok iyi bilinmektedir ki, sera gazlarının temelinde karbondioksit, metan ve diazotmonoksit gazları vardır. Yerkürenin ışıınım dengesini bozan sera etkisinin en belirgin özelliği ise küresel ısınmadır (Şekil 2.3) [1]. Bu ısınma

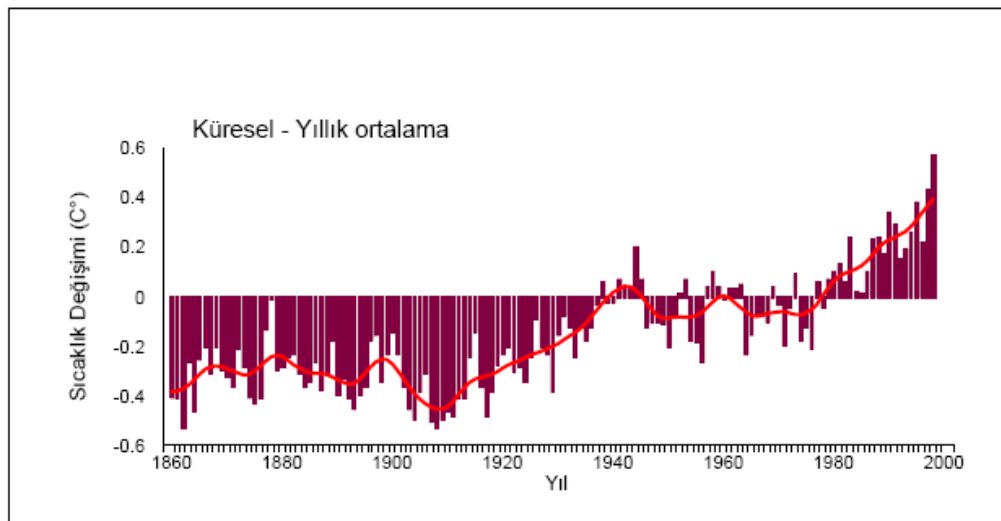
Şekil 2.3'de açıkça görülmektedir. Dünya ısı bu şekle göre 1980'lerden itibaren artmaya başlamıştır.



Şekil 2.1. Sera etkisinin şematik gösterimi[1,13-14].



Şekil 2.2. Sera etkisinin şematik gösterimi[1,13-14].



Şekil 2.3. Sıcaklık değişimi[1].

Doğal sera gazları (su buharı (H_2O), CO_2 , CH_4 , N_2O ve ozon (O_3)) ile endüstriyel üretim sonucunda ortaya çıkan florlu bileşikler, atmosferdeki sera etkisini düzenleyen temel maddelerdir.

Kyoto Protokolü aşağıda belirtilen gazlar sera gazları olarak tanımlanmıştır:

- Karbon dioksit (CO_2)
- Metan (CH_4)
- Nitrik oksit (N_2O)
- Hidroflorokarbon (HFC)
- Hidrokarbur perflor (PFC)
- Kükürt heksaflorit (SF_6)
- Su buharı (H_2O)

Temel sera gazlarının önemli parametreleri Çizelge 2.2'de verilmiştir.

Çizelge 2.2. Sera gazları parametreleri

Sera gazları	CO_2	CH_4	N_2O
(atmosferik birikim)	(ppmv)*	(ppbv)**	(ppbv)
Sanayi öncesi(1750-1800)	~280	~700	~275
Günümüzde (1998)	365	1745	314
Yıllık değişim (birikim)	1.5	10	0.8
Atmosferik ömrü (yıl)	5-200	12	120
Küresel Isınma Potansiyeli	1	21	310

* ppmv: Gazın atmosferde kapladığı alanın hacimsel gösterimi.

**ppbv: Hacim olarak milyarda kısım

pptv: Hacim olarak trilyonda kısım

ppmv: Hacim olarak milyonda kısım

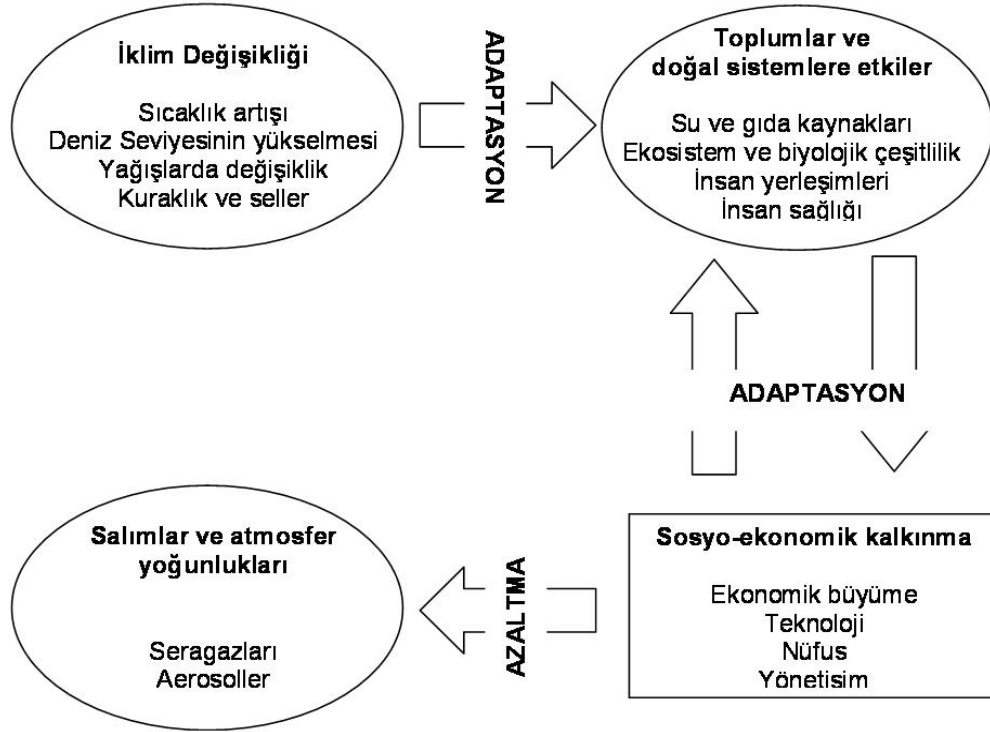
Sera gazlarının neden olduğu iklim değişikliğinin bütünsel değerlendirmesi Şekil 2.4’de verilmiştir.

Sera gazlarının bu günkü sevide sabit tutulması mümkün olsa dahi dünyamız ısınmaya devam edecektir. Zira okyanusların atmosfer değişikliklerini izlemesi daha uzun zaman almaktadır

Sera gazların çeşitli sektörlerle göre atmosfere yayılımıyla ilgili oranlar şöyledir:

- Sanayi %22
- Yapılaşma %20
- Tarım (özellikle çiftlik hayvanlarının sıvı atıkları ve metan yayılması) %19
- Soğutucu gazlar %0,5
- Enerji %11
- Atıklar ve diğerleri %2

Ayrıca bu sektörlerde kullanılan temel kaynak bakımından sera gazları nedenleri Çizelge 2.3.’te özetlenmiştir [1].



Şekil 2.4. İklim değişikliğinin bütünsel değerlendirilmesi

Çizelge 2.3. Sera gazı emisyonunu etkileyen faktörler

Fosil yakıtlar	-Karbon içeriği, kalori değeri gibi yakıt özellikleri -Madenin tipi ve yeri -Yakıtın çıkarılma yöntemi -Doğal gaz için boru hattı kayıpları -Dönüşüm verimliliği -Yakıt temini, tesisin kurulması ve sökülmesi için kullanılan elektriğin elde edildiği yakıt cinsi
----------------	--

Çizelge 2.3. (devam) Sera gazı emisyonunu etkileyen faktörler

Hidrolik	-Tipi (akarsu veya rezervuar) -Tesis yeri (tropik bölge, kuzey iklimi) -Baraj inşaatı için kullanılan enerji -İnşaat malzemelerinin (beton, çelik...) üretiminden kaynaklanan emisyonlar
Rüzgar	-Bileşenlerin üretimi ve inşaat sırasında kullanılan enerji -Tesisin yeri (iç bölge ya da kıyı bölge) -Verim ya da kapasite faktörü (bölgedeki rüzgar durumu)
Güneş	-Pil üretiminde kullanılan silikonun miktarı ve niteliği -Teknolojinin tipi (amorf, kristal malzeme) -Üretim için kullanılan elektriğin elde edildiği yakıt cinsi -Yıllık verim ya da tesis ömrü (düşük kapasite faktöründen dolayı rüzgar ve güneş enerjisinin kW başına emisyon miktarı düşüktür ancak kWsaat başına emisyon miktarı yüksektir)
Biyokütle	-Yakıt özelliği (nem içeriği, kalori değeri) -Yakıt hazırlamada kullanılan enerji (büyütme, hasat, taşıma) -Tesis teknolojisi
Nükleer	-Yakıtın çıkarılması, dönüştürülmesi, zenginleştirilmesi ve tesisin inşaatı ile sökülmesi sırasında kullanılan enerji -Yakıt zenginleştirme için gerekli olan enerji (gaz difüzyon teknolojisi yakıtın zenginleştirilmesi aşamasında enerji yoğun bir işlemdir ve santrifüj işlemine göre 10 kat daha fazla sera gazına sebep olur. Lazer teknolojisi ise santrifüj işlemine göre daha az emisyonu sebep olur.) -Yakıtın yeniden işlenmesi ve geri dönüştürülmesi seçeneği yakıtın tek sefer kullanılmasına göre enerji üretim zincirinde %10-15 daha az sera gazı emisyonuna sebep olur.

2.3. Küresel İklimde Gözlenen Değişimler

Atmosferdeki sera gazı salınımlarının artmaya devam etmesi nedeniyle artan küresel ısınma, özellikle 1980'li yıllardan sonra daha da belirginleşmiş ve 1990'lı yıllarda en yüksek değerlerine ulaşmıştır (Şekil 2.3). 1998 yılı, hem kuzey ve güney yarımküreler için hem de küresel olarak hesaplanan yıllık ortalama yüzey sıcaklıkları dikkate alındığında, güvenilir aletli gözlemlerin başladığı 1860 yılından beri yaşanan en sıcak yıl olmuştur. Diğer bir deyişle, küresel ısınma 1998 yılında, hem küresel hem de yarımküresel olarak yeni bir yüksek sıcaklık rekoruna ulaşmıştır. 1961-1990 ortalama sıcaklıkları ile karşılaştırıldığında, sıcak bir bölüme karşılık gelmektedir, 1998'de yerkürenin yıllık ortalama yüzey sıcaklığının normalden $0,57^{\circ}\text{C}$ daha sıcak olduğu hesaplanmıştır [15]. Bundan önceki en sıcak yıl ise, 1997'dir.

1990-1997 arasında bazı yıllarda kesintiye uğramakla birlikte, etkili olan ısrarlı El Niño (sıcak) olayı, tropikal orta ve doğu Pasifik Okyanusunda deniz yüzeyi sıcaklıklarının normalden $2-5^{\circ}\text{C}$ daha yüksek olmasına neden olmuştur [15]. 1998'de ise, küresel iklim sistemi Güneyli Sağınımın hem sıcak (El Niño) hem de soğuk (La Niña) uç olaylarından etkilenmiştir. Buna karşın, El Niño olayı, bundan önceki küresel rekor yılı olan 1997'de olduğu gibi, 1998'de de küresel rekor ısınmaya katkıda bulunan ana etmen olarak kabul edilmektedir [15].

Gerçekte, küresel ortalama yüzey sıcaklığında gözlenen ısınma eğilimi, dünya üzerinde eşit bir coğrafi dağılışı göstermemiş olup bölgesel farklılıklar belirgin olarak izlenebilmiştir. Uzun süreli ısınma eğilimi, 40°K ve 70°K enlemleri arasındaki bölümlerde daha belirgindir. Buna karşılık, Atlas Okyanusu'nun kuzeyinde ve içerisinde Türkiye'nin de yer aldığı Doğu Akdeniz ve Karadeniz havzalarında, özellikle son 25-30 yıllık dönemde, ortalama yüzey sıcaklıklarında bir soğuma eğilimi egemen olmuştur. Atlas Okyanusu'nun kuzeyi ile Doğu Akdeniz ve Karadeniz havzalarında gözlenen

bu bölgesel soğumanın, esas olarak bu bölgeler üzerindeki sınırlar ötesi kaynaklı sülfat aerosolü (uçucu küçük parçacık) birikimindeki artışla, kısmen de kentsel ve bölgesel hava kalitesinin bozulmasıyla ilişkili olabileceği düşünülebilir[15]. Bu bölgeler üzerindeki uçucu parçacık yoğunluğunun 21. yüzyılda da süreceği, ancak uzun vadede artan sera etkisinin sıcaklıklar üzerindeki pozitif katkısının uçucu parçacık negatif katkısını bastıracağı öngörülmektedir [16]. Bu yüzden, Türkiye ile bu bölgelerin de gelecek yüzyılda ısınacağı, ama bu ısınmanın öteki bölgelere göre daha az olacağı beklenmektedir.

Bunun dışında, son 35-40 yıllık dönemde çoğunlukla dünyanın büyük kentlerinde olduğu gibi, Türkiye’de de, özellikle hava kirliliğinin, hızlı nüfus artışının ve yoğun bir yapılaşmanın yaşandığı büyük kentlerde, genel olarak gece sıcaklıklarında bir ısınma, gündüz sıcaklıklarında bir soğuma ve günlük sıcaklık genişliğinde ise bir azalma eğilimi gözlenmektedir. Bu eğilimler, özellikle bulutluluğun az olduğu sıcak ve kurak yaz mevsiminde belirginleşecektir. Yağışlar, genel olarak Kuzey Yarımküre’nin yüksek enlemlerindeki kara alanlarında, özellikle de soğuk mevsimde bir artış gösterirken, 1960’lı yıllardan sonra Afrika’dan Endonezya’ya uzanan subtropikal ve tropikal kuşaklar üzerinde bir azalma eğilimi gösterdiği belirlenmiştir. Bu değişiklikler, akarsularda, göl seviyelerinde ve toprak neminde de gözlemlendi [1].

Subtropikal kuşak yağışlarındaki ani azalma, 1970’li yıllarla birlikte Doğu Akdeniz Havzası’nda ve Türkiye’de de etkili olmaya başlamıştır. Yağışlardaki önemli azalma eğilimleri ve kuraklık olayları, kış mevsiminde daha belirgin olarak ortaya çıkmıştır. Kuraklık olaylarının en şiddetli ve geniş yayımlı olanları, 1973, 1977, 1989 ve 1990 yıllarında oluşmuştur.

Gel-git ve su seviyesi ölçüm kayıtlarına göre, küresel ortalama deniz seviyesi 19.yüzyılın sonundan günümüze kadar geçen yüzyıl süresince yaklaşık 10-25 cm kadar yükselmiştir [17]. Deniz seviyesi yükselmesinin belirlenmesinde

karşılaşılan ana belirsizlik, düşey yönlü yerkabuğu hareketlerinin gel-git ölçerleriyle yapılan deniz seviyesi ölçümlerinin üzerindeki etkisidir. Uzun süreli düşey arazi hareketlerinin etkileri giderildiğinde, okyanus sularının hacminin artmakta olduğu ve deniz seviyesinde yukarıda verilen oranlar arasında bir artışa yol açacağı tahmin edilmektedir. Küresel deniz seviyesindeki bu yükselmenin önemli bir bölümünün, küresel ortalama sıcaklıkta aynı dönemde gözlenen artışla ilişkili olduğu öngörülmektedir.

Hükümetler arası İklim Değişikliği Paneli (IPCC) [17], hazırladığı Üçüncü Değerlendirme Raporu'nda "son 50 yıl içinde gözlenen ısınmanın büyük ölçüde insan etkinliklerine bağlanabileceğini gösteren yeni ve daha güçlü kanıtlar elde edildiğini" doğrulamıştır. Gelecekteki eğilimlerin tahmini sürecindeki belirsizlikler hata paylarını artırsa bile, IPCC önümüzdeki 100 yıl içinde yüzey sıcaklıklarında küresel ortalama olarak 1.4 ile 5.8°C arasında artış olacağını öngörmektedir.

2.3.1. İklim değişikliğinin etkileri

- Bölgesel yağış dağılımları değişebilir.
Buharlaştırma-su döngüsünün küresel ölçekte hızlanarak artması beklenmektedir. Başka bir deyişle, daha çok yağmur yağsa bile düşen yağışın buharlaşması da hızlı olacak, böylece topraklar tarım mevsiminin kritik dönemlerinde daha kuru kalacaktır.
- İklim ve tarım kuşakları kutuplara doğru kayabilir.
Orta enlem bölgelerinde bu kaymanın 1-3.5°C'lik bir ısınma için 150 ila 550 kilometre arasında gerçekleşmesi beklenmektedir.
- Eriyen buzullar ve deniz suyunun ısıyla genişlemesi deniz seviyelerinde yükselmeye yol açabilir

Denizlerin su seviyesi geçtiğimiz yüzyıl içinde zaten 10 ila 15 cm yükseldiği belirlenmişti. Küresel ısınmanın ise 2100 yılına kadar 15 ila 95 cm arasında ek bir yükselmeye daha yol açması beklenmektedir.

2.3.2. İklim değışikliğinin Türkiye üzerindeki olası etkileri

Küresel ısınmaya bağılı iklim değışikliğinin etkileri küresel olmakla beraber bölgesel ve zamansal dağılımlarda daha belirgindir. Örneğın, gelecekte dünyanın bazı bölgelerinde kasırgalar, kuvvetli yağışlar ile onlara bağılı seller ve taşkınlar gibi meteorolojik afetlerin şiddetlerinde ve sıklıklarında artışlar olurken, bazı bölgelerinde uzun süreli ve şiddetli kuraklıklar ve bunlarla ilişkili yaygın çölleşme olayları daha fazla etkili olabileceğı tahmin edilmektedir.

Türkiye, subtropikal kuşakta kıtaların batı bölümünde oluşan ve Akdeniz iklimi olarak adlandırılan bir büyük iklim bölgesinde yer almaktadır. Üç yanı denizlerle çevrili ve ortalama rakım yaklaşık 1100 m olan Türkiye’de, birçok alt iklim grupları da belirmiştir. İklim tiplerindeki bu çeşitlilik, Türkiye’nin yıl boyunca, polar ve tropikal kuşaklardan kaynaklanan çeşitli basınç sistemleri ve hava tiplerinin etki alanına giren bir geçiş bölgesi üzerinde yer almasıyla bağlantılıdır. Buna, topoğrafik özelliklerinin karmaşıklığı ve kısa mesafelerde değışme eğiliminde olması gibi fiziki coğrafya etmenleri de eklenebilir.

Türkiye, küresel ısınmanın özellikle su kaynaklarının zayıflaması, orman yangınları, kuraklık ve çölleşme ile bunlara bağılı ekolojik bozulmalar gibi öngörülen olumsuz yönlerinden etkilenmektedir ve küresel ısınmanın potansiyel etkileri açısından risk grubu ülkeler arasındadır. Atmosferdeki sera gazı birikimlerinin artışına bağılı olarak önümüzdeki yıllarda gerçekleşebilecek iklim değışikliğinin, Türkiye’de neden olabileceğı çevresel ve sosyo-ekonomik beklentiler aşağıdaki gibi tahmin edilmektedir [18]:

- * Sıcak ve kurak devrenin uzunluğundaki ve şiddetindeki artışa bağılı olarak, orman yangınlarının sıklığı, etki alanı ve süresi artabilir;
- * Tarımsal üretim potansiyeli değışebilir
- * İklim kuşakları, yerkürenin jeolojik geçmişinde olduğu gibi, ekvator dan kutuplara doğru yüzlerce kilometre kayabilecek ve bunun sonucunda da

Türkiye, bugün Orta Doğu'da ve Kuzey Afrika'da egemen olan daha sıcak ve kurak bir iklim kuşağının etkisinde kalabilecektir.

- * Zararlıların ve hastalıkların artışıyla ekosistemler ve tarımsal üretim sistemleri zarar görebileceklerdir;
- * Dağ ve vadi-kanyon ekosistemleri üzerindeki insan baskısı artacaktır;
- * Türkiye'nin kurak alanlarındaki, özellikle kentlerdeki su kaynakları sorunlarına yenileri eklenecek; tarımsal ve içme amaçlı su gereksinimi daha da artabilecektir;
- * Türkiye'de su kaynakları üzerindeki en büyük değişikliği, Akdeniz ikliminin olağan bir özelliği olan yaz kuraklığı ile öteki mevsimlerde hava anomalilerinin yağışlarda neden olduğu yüksek rasgele değişkenlik ve kurak devreler oluşturmaktadır. Bu yüzden, kuraklık riskindeki bir olumsuz değişiklik, iklim değişikliğinin tarım üzerindeki etkisini arttıracaktır.
- * Kurak ve yarı kurak alanların genişlemesine ek olarak, yaz kuraklığının süresinde ve şiddetindeki artışlar, çölleşme süreçlerini, tuzlanma ve erozyon destekleyecektir;
- * Yüksek sıcaklık değerlerinin yoğun olduğu gün sayılarının artması sıklığı artacaktır. Buda insan sağlığını ve biyolojik üretkenliği etkileyebilecektir.
- * Özellikle büyük kentlerde, sıcak devredeki gece sıcaklıkları belirgin bir biçimde artacak; bu da, havalandırma ve soğutma amaçlı enerji tüketiminin artmasına neden olabilecektir;
- * Özellikle büyük kentlerdeki sağlık sorunları, su varlığındaki değişiklikten ve ısı stresinden kaynaklanan enfeksiyonlar, özellikle büyük kentlerdeki sağlık sorunlarını artırabilir;

- * Rüzgar ve güneş gibi yenilenebilir enerji kaynakları üzerindeki etkiler bölgelere göre farklılık gösterecek olmakla birlikte, rüzgar esme sayısı ve kuvveti ile güneşlenme süresi ve şiddeti değişebilir.
- * Deniz akıntılarında, denizel ekosistemlerde ve balıkçılık alanlarında, sonuçları açısından aynı zamanda önemli sosyoekonomik sorunlar doğurabilecek bazı değişiklikler olabilir;
- * Deniz seviyesi yükselmesine bağlı olarak, Türkiye'nin yoğun yerleşme, turizm ve tarım alanları durumundaki, alçak taşkın-delta ve kıyı ovaları ile haliç ve Ria tipi kıyıları sular altında kalabilir;
- * Ormanların ve denizlerin CO₂ tutma ve salma kapasitelerindeki değişiklikler, doğal hazne ve sink'lerin (yutakların) zayıflamasına neden olabilir;
- * Mevsimlik kar ve kalıcı kar-buz örtüsünün kapladığı alan ve karla örtülü devrenin uzunluğu azalabilir; ani kar erimeleri ve kar çığları artabilir;
- * Kar erimesinden kaynaklanan akışın zamanlamasında ve hacmindeki değişiklik, su kaynaklarını, tarım, ulaştırma ve rekreasyon sektörlerini etkileyebilir.

Ayrıca iklim değişikliği, Türkiye'nin özellikle çölleşme tehdidi altındaki yarı kurak ve yarı nemli bölgelerinde (İç Anadolu, Güneydoğu Anadolu, Ege ve Akdeniz bölgelerinde), ormancılık ve su kaynakları açısından olumsuz etkilere yol açabilir. Son yıllarda Türkiye ormanlarında artış kaydeden toplu ağaç kurumaları ve zararlı böcek salgınları vb. afetlerin birincil nedeninin, kuraklık, hava kirliliği ve asit yağmurları olduğuna dair kuvvetli bulgulara rastlanmıştır.

2.4. Kyoto Protokolü

Kyoto Protokolü, küresel ısınma ve iklim değişikliği konusunda mücadeleyi sağlamaya yönelik sera etkisi yaratan gazların salınımlarını kısmak üzere sanayileşmiş ülkelere çeşitli hedefler belirleyen uluslararası bir anlaşmadır. Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi (BMİDÇS) bu protokolü kapsamaktadır. Bu protokolü imzalayan ülkeler, sera etkisine neden olan başta CO₂ olmak üzere diğer beş gazın salınımını azaltmaya veya bunu yapamıyorlarsa salınım ticareti yoluyla haklarını arttırmaya bu protokol vasıtasıyla söz vermişlerdir. Protokol, ülkelerin atmosfere saldıkları karbon miktarını 1990 yılındaki düzeylere düşürmelerini gerekli kılmaktadır. 1997'de imzalanmasına rağmen protokol, 2005'te yürürlüğe girebilmiştir. Çünkü, protokolün yürürlüğe girebilmesi için, onaylayan ülkelerin 1990'daki atmosfere saldıkları karbon miktarının, dünyadaki toplam emisyonun %55'ini bulması gerekmektedir ve bu orana ancak 8 yılın sonunda Rusya'nın katılımıyla ulaşılabildiği için 2005'te yürürlüğe girebilmiştir.

Kyoto Protokolü şu anda tüm dünyadaki 160 ülkeyi ve sera gazı salınımlarının %55'inden fazlasını kapsamaktadır. Kyoto Protokolü ile devreye girecek önlemler, pahalı yatırımlar gerektirmektedir. Sözleşmeye göre [19];

- Sanayileşmiş ülkeler, 1990'daki salınım oranlarını 2008-2012 yılları arasında %5'e oranında azaltmayı taahhüt etmişlerdir,
- Sanayiden, motorlu taşıtlardan, ısıtmadan kaynaklanan sera gazı miktarını azaltmaya yönelik mevzuat yeniden düzenlenecek,
- Daha ekonomik enerji ile ısınma, daha az enerji tüketen araçlarla uzun yol alma, daha az enerji tüketen teknoloji sistemlerini endüstriye yerleştirme sağlanacak, ulaşımda, çöp depolamada çevrecilik temel ilke olacak,
- Atmosfere bırakılan metan ve karbon dioksit oranının düşürülmesi için alternatif enerji kaynaklarına yönelinecek,
- Fosil yakıtlar yerine örneğin bio dizel yakıt kullanılacak,

- Çimento, demir-çelik ve kireç fabrikaları gibi yüksek enerji tüketen işletmelerde atık işlemleri yeniden düzenlenecek,
- Termik santrallerde daha az karbon çıkartan sistemler, teknolojiler devreye sokulacak,
- Güneş enerjisinin önü açılacak, nükleer enerjide karbon sıfır olduğu için dünyada bu enerji ön plana çıkarılacak,
- Fazla yakıt tüketen ve fazla karbon üreten daha fazla vergi alınacaktır.

Kyoto Protokolü şu prensipleri temel alır [19]:

- Kyoto Protokolü devletler tarafından desteklenir ve BM şemsiyesi altında küresel kurallarca işletilir,
- Devletler iki genel sınıfa ayrılmıştır: gelişmiş ülkeler, bu ülkeler Ek 1 ülkeleri olarak anılacaktır; ve gelişmekte olan ülkeler, bu ülkeler Ek 1'de yer almayan ülkeler olarak anılacaklardır. Ek 1 ülkeleri sera gazı salınımlarını azaltmayı kabul etmişlerdir. Ek 1'de yer almayan ülkelerin ise sera gazı sorumlulukları yoktur ve her yıl sera gazı envanteri raporu vermelidirler.
- Kyoto Protokolündeki hedeflerine uymayan herhangi bir Ek 1 ülkesi bir sonraki dönem azaltma hedeflerinin %30 daha azaltılması ile cezalandırılacaktır.
- 2008 ile 2012 arasında, Ek 1 ülkeleri sera gazı salınımlarını 1990 yılı seviyesinden ortalama %5 aşağıya çekmek zorundadırlar (birçok AB üyesi ülke için bu 2008 için beklenen sera gazı salınımlarının %15 aşağısına denk gelmektedir). Ortalama salınım azalmasının %5 olarak belirlenmesine rağmen AB üyesi ülkelerin salınım hedefleri %8 azaltma ile İzlanda tarafından hedeflenen %10 artırıma kadar değişmektedir. Bu azaltma hedefleri 2013 yılına kadar belirlenmiştir.
- Kyoto Protokolü, Ek 1 ülkelerinin sera gazı salınımı hedeflerine ulaşmak için başka ülkelere salınım azalması satın alabilmeleri esnekliğine imkan tanımıştır. Bu, çeşitli borsalardan (AB Salınım Ticaret Borsası gibi) veya Ek 1'de yer almayan ülkelerin salınımlarını azaltan Temiz Gelişim Tekniği (TGT) projeleri ile veya diğer Ek 1 ülkelerinden satın alınabilir.

- Sadece TGT Yönetim Kurulu tarafından onaylanmış Onaylı Salınım Azaltımları alınıp satılabilir. BM çatısı altında, Kyoto Protokolü Bonn merkezli Temiz Gelişme Tekniği Yönetim Kurulu'nu Ek 1'de yer almayan ülkelerde gerçekleştirilen TGT projelerini değerlendirip onaylaması için kurmuştur. Bu projeler onaylandıktan sonra OSA verilir.

Pratikte bu kurallar Ek 1'de yer almayan ülkelerin sera gazı sınırlamalarına tabi olmadıklarını ama sera gazını azaltan bir projenin bu ülkelerde uygulanması durumunda elde edilen Karbon Kredisinin Ek 1 ülkelerine satılabileceğini anlatır.

Bu mekanizma şu iki ana nedenden dolayı kurulmuştur:

Kyoto Protokolüne uymak bazı Ek 1 ülkeleri için oldukça sınırlayıcıdır (özellikle Japonya ve Hollanda gibi zaten az salınım yapan ve çevre standartlarına saygılı ülkeler için). Protokol böylece bu ülkelerin kendi sera gazı salınımlarını azaltmak yerine Karbon Kredisi almalarını sağlar; ve bu şekilde Ek 1'de yer almayan ülkeler sera gazı salınımlarını azaltmak için teşvik edilmiş olurlar çünkü Karbon Kredisi satarak bu projeler için kaynak edinmiş olurlar.

Tüm Ek 1 ülkeleri Kyoto Protokolü içinde sera gazı salınım değerlerini gözetim altında tutmak için ulusal daireler kurmuşlardır. Japonya, Kanada, İtalya, Hollanda, Almanya ve daha birçok ülke devletleri karbon kredisi için bütçeden pay ayırmışlardır. Bu ülkeler kendi büyük enerji, petrol, doğalgaz holdingleri ile birlikte çalışarak mümkün olan en fazla sayıda Karbon Kredisini en ucuza almaya çalışmaktadırlar.

Hemen hemen tüm Ek 1'de yer almayan ülkeler de kendi Kyoto Protokolü süreçlerini izlemek amacıyla ve özellikle TGT Yönetim Kuruluna destek için sunacakları projeleri belirlemek amacıyla yönetim birimleri kurmuşlardır.

Bu iki ülke grubunun çıkarları birbirine terstir, Ek 1 ülkeleri mümkün olan en ucuza Karbon Kredisi almak isterlerken Ek 1'de yer almayan ülkeler ise kendi TGT projelerinden elde ettikleri Karbon Kredisinden en fazla değeri elde etmek istemektedirler.

2.4.1. Anlaşmanın amaçları

Kyoto Protokolündeki amaç, “atmosferdeki sera gazı yoğunluğunun, iklime tehlikeli etki yapmayacak seviyelerde dengede kalmasını sağlamaktır.

Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli, 1990 ile 2100 yılları arasında 1.4 °C ile 5.8 °C arası sıcaklık artışı tahmin etmektedir. Tahminlere göre, başarılı bir şekilde uygulanması durumunda Kyoto Protokolü bu artışı 0.02 ile 0.28 C arasında düşürebilecektir [20].

Kyoto Protokolü savunucuları bu protokolün amaca ulaşmak için ilk adım olduğunu ve amaca ulaşıncaya kadar hedeflerin değiştirileceğini belirtmektedirler.

2.4.2. Anlaşmanın şu anki durumu

Anlaşma Aralık 1997'de Japonya'nın Kyoto şehrinde görüşülmüş, 16 Mart 1998'de imzaya açılmış ve 15 Mart 1999'da son halini almıştır. Rusya'nın 18 Kasım 2004'te katılmasıyla 90 gün sonra 16 Şubat 2005 tarihinde yürürlüğe girmiştir. Aralık 2006 tarihinde toplam 169 ülke ve devlete bağlı örgütler anlaşmaya imza atmışlardır (Ek 1 ülkelerinin salınımlarının %61.6'sından fazlasına karşılık gelmektedir). İmza atmayan önemli ülkeler arasında ABD ve Avustralya gibi gelişmiş ülkeler haricinde, gelişmekte olan Türkiye gibi ülkeler de yer almaktadır.Çin ve Hindistan gibi bazı ülkeler ise anlaşmaya imza atsalar bile karbon salınımlarını azaltmak zorunda değillerdir.

Anlaşmanın 25. maddesine göre anlaşma “Ek 1'de yer alan en az 55 ülkenin imzalaması ve bunun Ek 1 ülke salınımlarının en az %55'ine karşılık gelmesi

durumunda, buna uyulduğu tarihten sonraki doksanıncı gün yürürlüğe girer.” demektedir. 55 ülke şartı 23 Mayıs 2002'de İzlanda'nın anlaşmayı kabul etmesi ile, %55 şartı da Rusya'nın 18 Kasım 2004'te anlaşmayı imzalaması ile sağlanmış, anlaşma 16 Şubat 2005 tarihinde yürürlüğe girmiştir.

Tüm eksikliklerine ve zayıflıklarına rağmen Kyoto Protokolü, bilim çevrelerinde soruna sadece yüzeysel yaklaştığı için eleştirilmektedir. %5 oranı oldukça düşük tutulduğundan bilim adamları bu oranın en az %60 seviyelerinde olması gerektiğinde hem fikirdirler. Ayrıca ABD 'nin protokolü imzalamaması sebebiyle zayıf kaldığı kanısı da oldukça yaygındır. Bunların yanı sıra salınım değiş tokuşu sebebiyle bir ticaret sahasıda ortaya konulmuştur. Ülkeler artık çevrenin karbon emme özelliğini artıran etkinlikleri karşılığında da kredi kazanabilmektedirler. Ağaç dikme ve toprağın korunması gibi etkinlikler, ülkenin kendi topraklarında ya da aynı ülke tarafından bir gelişmekte olan ülkenin toprakları üzerinde uygulanabilmektedir.

2.4.3. Anlaşmanın detayları

Birleşmiş Milletler Çevre Programı basın bildirisine göre: “Kyoto Protokolü gelişmiş ülkelerin sera gazı salınımlarını 1990 yılına göre %5.2 azaltmalarını öngören bir anlaşmadır (protokolün uygulanmaması durumunda 2010 yılı salınım tahminleri dikkate alınırsa bu, %29'luk bir azalmaya karşılık gelmektedir). Amaç altı sera gazının – karbon dioksit, metan, nitrous oksit, sülfür heksaflorid, HFC'ler ve PFC'ler – 2008-2012 arası beş yıllık ortalama salınım değerlerini azaltmaktır. Ulusal hedefler AB ve başka bazı ülkeler için %8'lik, ABD için %7'lik, Japonya için %6'lık azaltma, Rusya için %0 değişiklik ve Avustralya için %8 ile İzlanda için %10'luk bir artış şeklinde çeşitlilik göstermektedir.

Anlaşma 1992'de Rio De Janeiro'da yapılan Dünya Zirvesi'nde kabul edilen Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi'ne (BMİDÇS) ek

olarak kabul edilmiştir. BMİDÇS üyesi tüm ülkeler Kyoto Protokolüne imza atabilir, üye olmayanlar atamazlar.

Kyoto Protokolünün birçok maddesi BMİDÇS Ek 1'de belirtilen gelişmiş ülkeler için geçerlidir.

2.4.4. Ortak ama özelleşmiş sorumluluklar

BMİDÇS “ortak ama özelleşmiş” sorumluluklar tanımlamaktadır. Ortak ülkeler

1. Tarihsel ve güncel küresel sera gazı salınımının gelişmiş ülkeler tarafından gerçekleştirildiğini
2. Gelişmekte olan ülkelerin kişi başı gaz salınımlarının halen düşük olduğunu
3. Gelişmekte olan ülkelerin küresel salınımlarının sosyal ve gelişimsel ihtiyaçlarına göre artacağını kabul ederler.

Diğer bir deyişle Çin, Hindistan ve diğer gelişmekte olan ülkeler anlaşma gereklerinden muafırlar çünkü şu andaki iklim değişikliklerine neden olan salınımların ana sorumlusu değildirlir.

Kyoto Protokolünü eleştirenler gelişmekte olan ülkelerin ve özellikle Çin, Hindistan gibi ülkelerin yakın bir zamanda en fazla sera gazı salınımı yapan ülkeler olacağını söylemektedirler. Aynı zamanda, protokol sınırlamaları yüzünden gelişmiş ülkelere gelişmekte olan ülkelere çıkış olacağını ve dolayısıyla net sera gazı salınımlarının değişmeyeceğini söylemektedirler.

2.4.5.Salınım ticareti

Kyoto Protokolüne göre ülkeler 2008 ile 2012 yılları arasında salınımlarını 1990 yılına göre %5.2 düşürmekle yükümlüdürler. Buna rağmen, pratikte birçok ülke belirli sanayi kuruluşlarına sınırlamalar koymuştur (kağıt

endüstrisi, enerji santralleri gibi). AB'de bu uygulama vardır ve birçok ülke de buna doğru kaymaktadır. Buna göre, belirlenen seviyeden fazla salınım yapacağını anlayan bir şirket bir şekilde başka yerlerden Karbon Kredisi bulmak zorundadır. Bu da Karbon Kredisi ticaretini ve borsasını ortaya çıkarmıştır.

2.4.6.Yaptırımlar

BMİDÇS Uygulama Biriminin bir Ek 1 ülkesinin salınım hedeflerine uymadığına karar vermesi durumunda o ülke salınım hedefi farkı ile birlikte fazladan %30 daha salınımını azaltması gerekmektedir. Aynı zamanda ülke salınım ticareti programın %50 'sini kapsamaktadır.

2.4.7. Kyoto Protokolü'nün sonuçları

Avrupa Çevre Ajansı'nın (EEA) raporuna göre AB ülkelerinden 15 tanesi 2012 yılına kadar 1990 yılındaki sera gazı salınım seviyelerinden %8 azalma sağlamasına karşın 10 AB ülkesi hedeflere ulaşamayacaktır. Çizelge 2.4 bu hedefleri göstermektedir.

2.5.Dünya Enerji Tüketimi

Sanayileşme, şehirleşme ve ilerleyen teknolojiyle birlikte artan enerji ihtiyacı yakın gelecekte fosil yakıt tüketiminin daha da artacağını göstermektedir. Fosil yakıt bağımlılığının ise Kyoto hedeflerinin tutturulması bir yana bu hedeflerin aşılabileceğini göstereceği aşikardır. İleriye dönük tahmin çalışmaları oldukça çok yapılmaktadır. Çizelge 2.5'e göre Dünya toplam birincil enerji tüketim değeri ortalama olarak yılda %2.1 oranda artacağını ve 15.5 milyar ton eşdeğer petrol (TEP) değerine ulaşacağını göstermektedir. Çizelge 2.6 ise aynı dönem için tahmin edilen CO₂ salınımlarını göstermektedir.

Çizelge 2.4. AB ülkeleri Kyoto hedeflerine ulaşma hedefleri.

ÜLKE	CO ₂ Salınımı (Mt=1 milyon kg)			KYOTO Hedefi 2012	Kyoto hedef üzerindeki %'ler
	2003	2004	2005		
LUXEMBOURG	11.3	12.8	12.7	9.14	 38.95%
AUSTRIA	92.5	91.2	93.3	68.68	 35.85%
SPAIN	407.4	425.2	440.6	332.79	 32.40%
ITALY	577.3	580.5	582.2	485.83	 19.84%
DENMARK	73.6	68.2	63.9	54.77	 16.67%
PORTUGAL	83.7	84.6	85.5	76.15	 12.28%
IRELAND	68.4	68.6	69.9	63.03	 10.90%
SLOVENIA	19.7	19.9	20.3	18.6	 9.14%
EU-15	4214.7	4227.2	4192	3925.11	 6.80%
BELGIUM	147.6	147.6	143.8	135.87	 5.84%
NETHERLANDS	215.4	218.4	212.1	201.45	 5.29%
GERMANY	1024.4	1025	1001.5	971.67	 3.07%
GREECE	137.2	137.6	139.2	138.82	 0.27%

Çizelge 2.4. (Devam) AB ülkeleri Kyoto hedeflerine ulaşma hedefleri.

ÜLKE	CO ₂ Salınımı (Mt=1 milyon kg)		KYOTO Hedefi 2012		Kyoto hedefinin altındaki %'ler
LATVIA	10.7	10.7	10.9	23.82	54.24%
LITHUANIA	16.7	21.1	22.6	46.86	51.77%
ESTONIA	21.2	21.2	20.7	39.23	47.23%
BULGARIA	NO DATA	68.9	69.8	121.5	42.55%
ROMANIA	NO DATA	160.1	153.7	259.9	40.86%
HUNGARY	83.3	79.5	80.5	114.89	29.93%
SLOVAKIA	51.1	49.5	48.7	67.36	27.70%
POLAND	382.5	396.7	399	531.34	24.91%
CZECH REPUBLIC	147.5	147.1	145.6	180.58	19.37%
SWEDEN	70.9	69.7	67	75.35	11.08%
FINLAND	85.4	81.2	69.3	71.1	2.53%
FRANCE	560.9	556.1	553.4	567.09	2.41%
UNITED KINGDOM	658	660.4	657.4	671.9	2.16%
MALTA	3.1	3.2	3.4	NO TARGET	NO TARGET
CYPRUS	9.2	9.9	9.9	NO TARGET	NO TARGET

Çizelge 2.6 gösteriyor ki enerji tüketimi ile CO₂ salınımı büyüme oranları hemen hemen birbirine eşittir. Bunun gerçek sebebi 2020 yılına kadar fosil yakıtı dayalı enerji tüketiminin değişmeyeceği bir anlam da fosil yakıtı alternatif bulunamayacağı üzerine yapılan tahminlerdir. Bu fosil yakıtların tahmini tüketim değerleri de Çizelge 2.7’de verilmiştir. Bu çizelgeye göre CO₂ salınımına temelde gelişmiş ülkelerde petrol, gelişmekte olan ülkelerde kömür, Rusya ve Doğu Avrupa ülkelerinde ise doğal gaz sebep olmaktadır. Çizelgeye göre ABD’nin 2020 yılında karbondioksit salınımlarının %76 gibi büyük bir bölümünden sorumlu olacağı tahmin edilmektedir. Avrupa

ülkelerinin doğal gaz tüketimini arttırması sebebiyle Kyoto yükümlülüklerini gerçekleştirebilme olasılığının artacağı gözlenecektir.

Çizelge 2.5 1996-2020 arasında Dünya Enerji Tüketim Tahminleri

	1990	1996	2000	2010	2020	1996-2020 (%) ⁱⁱ
GÜ'ler	4 604 (53)*	5 103 (54)	5 371 (53)	6 058 (48)	6 623 (43)	1,1
ABD	2 115 (25)	2 352 (25)	2 500 (25)	2 793 (22)	3 021 (20)	1,0
Batı Avrupa	1 511 (18)	1 613 (17)	1 704 (17)	1 880 (15)	2 053 (13)	1,0
Japonya	456 (5)	539 (6)	514 (5)	614 (5)	674 (4)	0,9
GYÜ'ler	2 203 (25)	3 039 (32)	3 468 (34)	5 110 (40)	7 035 (46)	3,6
ÇHC	680 (8)	935 (10)	1 098 (11)	1 703 (14)	2 478 (16)	4,1
Hindistan	195 (2)	291 (3)	355 (4)	523 (4)	710 (5)	3,8
Kore Cumhuriyeti	93 (1)	180 (2)	190 (2)	285 (2)	387 (3)	3,2
Türkiye	50 (<1)	67 (<1)	80 (<1)	106 (<1)	138 (<1)	3,0
Öteki Ülkeler**	1 855 (22)	1 319 (14)	1 309 (13)	1 538 (12)	1 758 (11)	1,2
DÜNYA	8 663 (100)	9 461 (100)	10 149 (100)	12 705 (100)	15 417 (100)	2,1

* Parantez içindeki rakamlar, bölgeler ve ülkelerin dünya toplamındaki paylarını (%) göstermektedir.

** Eski SSCB ve Doğu Avrupa Ülkeleri.

Çizelge 2.6. Dünya enerji tüketimine bağlı olarak CO₂ salınım tahminleri

Çizelge 3. 1990-2020 döneminde dünya toplam enerji kaynaklı CO₂ salımları (milyon ton karbon)
(EIA, 1999: Table A.10, Reference Case'e göre).

	1990	1996	2000	2010	2020	Ort. Artış Oranı 1996-2020 (%)
GÜ'ler	2 850 (49)*	2 980 (50)	3 157 (49)	3 535 (44)	3 907 (40)	1,1
ABD	1 346 (23)	1 463 (24)	1 585 (25)	1 790 (22)	1 975 (20)	1,3
Batı Avrupa	936 (16)	904 (15)	947 (15)	1 021 (13)	1 114 (11)	0,9
Japonya	274 (5)	291 (5)	273 (4)	322 (4)	358 (4)	0,9
GYÜ'ler	1 646 (29)	2 161 (36)	2 447 (38)	3 547 (44)	4 886 (50)	3,5
ÇHC	620 (11)	805 (13)	930 (14)	1 391 (17)	2 031 (21)	3,9
Hindistan	153 (3)	230 (4)	273 (4)	386 (5)	494 (5)	3,2
Kore Cumhuriyeti	61 (1)	113 (2)	112 (2)	168 (2)	230 (3)	3,0
Türkiye	35 (<1)	43 (<1)	46 (<1)	65 (<1)	81 (<1)	2,7
Öteki Ülkeler**	1 290 (22)	842 (14)	827 (13)	935 (12)	1 024 (10)	0,8
DÜNYA	5 786 (100)	5 983 (100)	6 430 (100)	8 018 (100)	9 817 (100)	2,1

NOT: 1 ton karbondioksit gazı, 0,27 ton karbon içermektedir. Dolayısıyla 1 Ton Karbon = 3.667 Ton CO₂ eşitliği kullanılarak birbirine çevrilebilir.

* Parantez içindeki rakamlar, bölgeler ve ülkelerin dünya toplamındaki paylarını (%) göstermektedir.

** Eski SSCB ve Doğu Avrupa Ülkeleri.

Çizelge 2.7. Karbondioksit salınımlarının nedeni olarak fosil yakıt tüketimi

	1990			2010			2020		
	Petrol	Kömür	Gaz	Petrol	Kömür	Gaz	Petrol	Kömür	Gaz
GÜ'ler	50	33	17	48	28	24	47	26	27
ABD	44	36	20	42	35	23	42	34	24
Batı Avrupa	51	34	15	53	18	29	51	15	34
Japonya	65	24	11	57	27	16	56	25	19
GYÜ'ler	41	50	9	37	48	15	35	46	19
ÇHC	16	83	1	15	81	4	14	79	7
Hindistan	29	66	5	28	60	12	29	54	17
Kore Cumhuriyeti	62	35	3	65	27	8	67	23	10
Türkiye	48	46	6	55	32	13	58	27	15
Öteki Ülkeler*	31	41	28	25	30	45	25	22	53
DÜNYA	43	40	17	40	37	23	39	36	25

* Eski SSCB ve Doğu Avrupa Ülkeleri.

3. TÜRKİYE'NİN ENERJİ TÜKETİMİ, EKONOMİK GÖSTERGELERİ VE SERA GAZLARI SALINIMI

3.1. Enerji Tüketimi

Türkiye'de birincil enerji kaynaklarının üretimi konusundaki tarihi gelişmelere baktığımızda; 1970'ler öncesinde bol ve ucuz olmasından dolayı, enerjinin ekonomilere büyük oranda girdiğini söylemek gerekir. 70'li yıllarda başlayan enerji darboğazları (Örneğin, 1974 petrol krizi) ekonomilerin enerjiye mutlak şekilde bağlı olduğunu göstermiştir. Bu durumdan da en çok, gerek mevcut sanayilerini çalıştırmak, gerek yeni sermaye yatırımlarını gerçekleştirmek için bol ve ucuz enerjiye gereksinim duyan sanayileşme yolundaki gelişmekte olan ülkeler ile birlikte Türkiye de etkilenmiştir. Söz konusu enerji darboğazı, gelişmiş ülkelerde de yaşanan ekonomik durgunluk dönemi ile birlikte, 1984 yılına kadar sürmüştür. 1980'li yılların sonuna doğru ise özellikle gelişmiş ülkelerdeki sanayileşme hamleleri ile birlikte enerji talebi tüm dünyada hızla artarken Türkiye'de de artmıştır. Buna paralel olarak sanayi üretimimiz de artış eğilimi içine girerken yeni enerji kaynaklarına ihtiyaç duyulmaya başlanmıştır.

Ülkemiz birincil enerji kaynakları, dünya rezervleri ile kıyaslandığında miktar ve kalite itibarıyla çok düşük seviyelerdedir. Buna karşın, hidrolik enerji ve linyit kömürleri, ülkemizde mevcut kaynaklar içinde büyük bir potansiyele sahiptir. Ülkemiz birincil enerji kaynakları potansiyelinin yarısından oldukça az bir miktarını kullanmaktadır. Çünkü linyit kömürü kaynakları coğrafi olarak dağınık, düşük kaliteli ve yüksek maliyetli iken, hidroelektrik kaynaklar ise doğrudan yağışlara bağımlı olması nedeniyle güvenilirliği düşüktür. Bütün bunlara karşın geçtiğimiz yıllarda yatırımlar büyük çapta anılan bu iki kaynağa yönelmiştir. Halen günümüzde ticari alanda kullanılmakta olan enerji üretiminin dörtte üçü bu iki kaynaktan karşılanmaktadır.

Türkiye'de birincil enerji kaynaklarının üretimi 1960-1990 döneminde yılda ortalama %3,8 oranında artmıştır. Uzun yıllar sürekli artış kaydeden birincil enerji üretimi en yüksek değeri olan 27 milyon ton petrol eşdeğere 1992 yılında ulaştıktan sonra düşmeye başlamıştır. 1995 yılında bu değer daha da azalarak 26,3 milyon ton petrol eşdeğerine geriledikten sonra 1996 yılında birincil enerji kaynaklarının üretimi tekrar artarak 27,5 milyon ton petrol eşdeğere ulaşmıştır.

Türkiye'de elektrik enerjisi üretimine bakıldığında; toplam elektrik enerjisi üretiminin 1980 yılında 23 milyar kWh'dan 13 yıl içerisinde yaklaşık 3,5 kat artarak 1993 yılında 73,8 milyar kWh'a yükseldiği görülmektedir. 1993-1995 yılları arasında ise üretim artışı %17 olmuş ve Türkiye 1995 yılında 86,3 milyar kWh elektrik enerjisi üretmiştir [21].

Ülkemizde enerji verimliliği düşüktür. Türkiye'de nihai net enerji tüketiminin GSYİH içindeki payı diğer ülkelere göre oldukça yüksektir. Birincil enerji tüketiminin GSMH'ya oranına baktığımızda -1985 yılı dolar fiyatı baz alındığında- 1970 yılında %0,725 olan oranın, yılda ortalama %1'lik bir düşüş gösterdiği ve 1993 yılında %0,717 olduğu gözlenmektedir. Benzer şekilde net enerji tüketimi/GSMH oranının da 1970 yılında %0,647 iken, yılda ortalama %0,5'lik bir düşüş gösterdiği ve 1995 yılında %0,26 olduğu görülmektedir. Söz konusu oranın AB ülkelerinde ortalama %0,14, Yunanistan'da %0,23 ve Portekiz'de %0,21 olduğu görülmektedir. Bu oranın Türkiye'de daha yüksek olmasının anlamı ise, Türkiye'de bir birim katma değer yaratabilmek için diğer ülkelere göre çok daha yüksek miktarda enerji tüketilmesidir.

Geçtiğimiz kırk yıllık dönemde yılda ortalama %5,3 oranında artan birincil enerji kaynaklarının tüketimi, 1990-1995 yılları arasında her yıl ortalama %3,8 oranında artış göstermiş ve 1995 yılında bir önceki yıla göre %5,9 oranında artarak 63 milyon ton petrol eşdeğerine, 1996 yılında ise bir önceki yıla göre %7,3 oranında artarak 67,6 milyon ton petrol eşdeğerine ulaşmıştır.

Öte yandan,Türkiye’de elektrik enerjisi tüketimi, 1950-1990 yılları arasında 72 kat artmıştır. Bu kırk yıllık dönemde tüketimin yılda ortalama artışı %11 civarındadır. Tüketimde artış hızı, 1950-1970 yılları arasında %12,7’lik düzeyde seyrederken, bu değer 1970-1990 arasında %9,9’a düşmüştür. 1995 yılında bir önceki yıla göre %10’luk bir artışla 85,7 milyar kWh olan elektrik tüketimi, 1996 yılında bir önceki yıla göre %9,9’luk bir artışla 85,7 milyar kWh olarak gerçekleşmiştir.

1970 yılında 207 kWh olan kişi başına elektrik enerjisi tüketimi 1980 yılında 2,5 katına yakın bir artış ile 459 kWh düzeyine ulaşmıştır. 1990 yılından önceki geçen on yıl içinde 2 kat artış gösteren kişi başına elektrik tüketimi bu yılda 835 kWh düzeyinde gerçekleşmiştir. 1994 yılında kişi başına elektrik tüketimi 1004 kWh olmuştur.

Enerji üretiminde kullanılan yakıt tüketim miktarlarının yıllar itibariyle değişimi ile 2010 yılı tahminleri Türkiye için Çizelge 3.1’de verilmiştir [1].

Çizelge 3.1. Elektrik üretiminde kullanılan yakıt tüketim miktarları

Yakıt Cinsleri	MTEP									
	1970	1975	1980	1985	1990	1995	1998	2000	2005	2010
Toplam birincil enerji arzı	19,38	26,79	31,30	38,22	52,07	61,62	69,28	91,25	128,74	176,93
Katı yakıtlar										
Taşkömürü	2,88	3,03	2,82	3,78	6,15	5,91	7,39	11,67	15,60	33,28
Linyit	1,73	2,69	3,97	7,93	9,77	10,57	12,28	13,01	15,66	23,16
Asfaltit	0,02	0,20	0,24	0,23	0,12	0,03	0,01	0,04	0,04	0,04
Petrokok	0,90	-	-	-	0,27	0,74	0,83	-	-	-
Petrol										
Petrol ¹	7,61	13,57	15,47	17,24	22,69	27,89	28,71	36,41	40,87	48,23
Doğalgaz	-	-	0,02	0,06	3,12	6,22	9,17	18,59	41,88	48,92
Diğer										
Nükleer	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3,66
Yenilenebilir ²	6,23	7,29	8,66	8,80	10,01	10,32	10,70	11,53	14,69	19,64
Ticaret	-	0,01	0,12	0,18	-0,06	-0,06	0,19	-	-	-

Kaynak: ETKB

¹ Enerji dışı kullanım (parafin, beyaz ispiro, yağ, bitüm gibi petrol ürünleri) hariç;

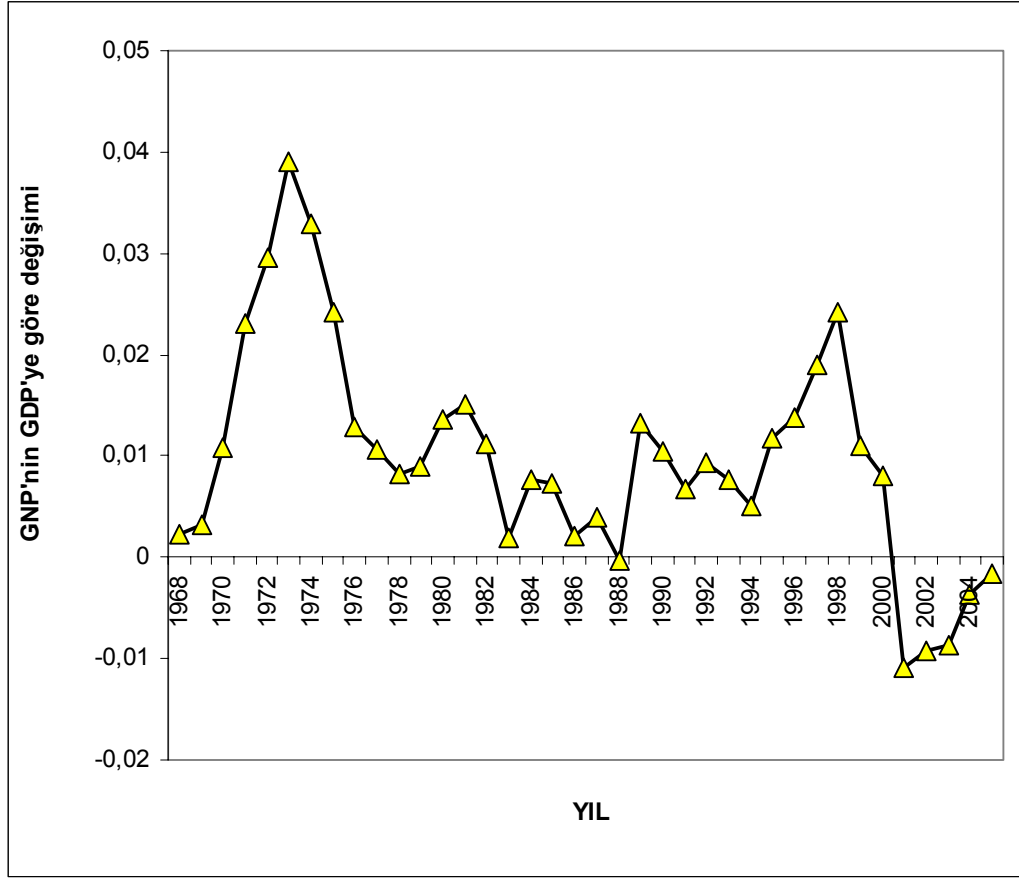
² Odun, canlıkütle, hidrolik, jeotermal, güneş ve rüzgarı içerir.

3.2. Ekonomik Göstergeler

Bir ülkenin gayri safi yurtiçi hasılası (GSYİH=GDP(ingilizcede)), ekonomik büyüklüğünün birkaç ölçütünden biridir. GSYİH, Gayri safi milli halsıla (GSMH=GNP(ingilizcede))'dan farklı olarak, bir ülke sınırları içerisinde belli bir zaman içinde, üretilen tüm nihai mal ve hizmetlerin para birimi cinsinden değeridir. Bu tanımda belli bir zaman, bir ay, üç ay ya da bir yıl olabilir. GSYİH genellikle bir yıl için ele alınır. Nihai mal ve hizmetler ise, üretilen toplam mal ve hizmetlerden üretim için kullanılan ara mallar düşüldükten sonra geriye kalan değerdir.

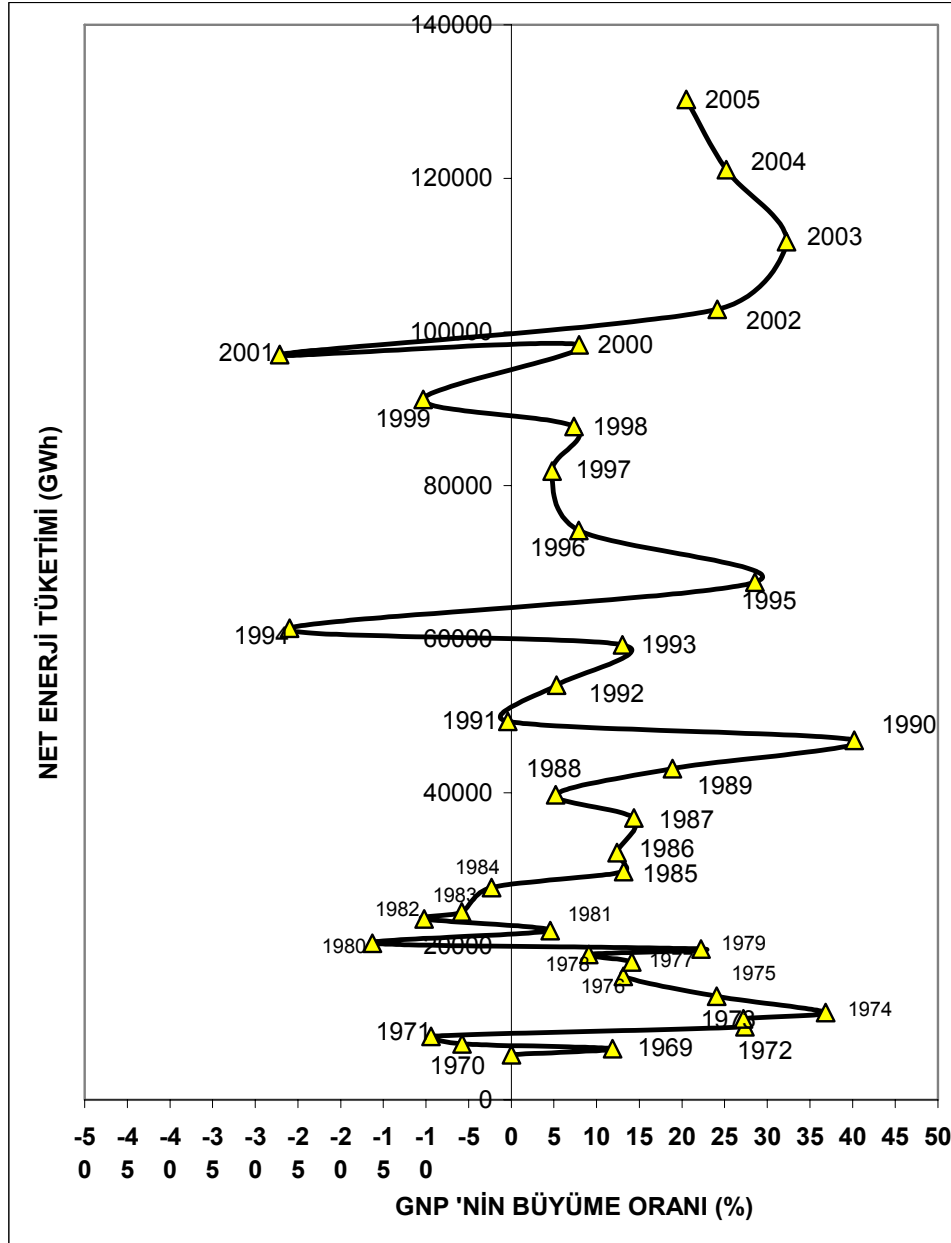
$$\text{GSYİH} = \text{tüketim} + \text{yatırım} + \text{devlet harcamaları} + (\text{ihracat} - \text{ithalat})$$

GSMH'nın kapsamı GSYİH'dan daha geniştir. GSMH ve GSYİH değerleri ülkeden ülkeye değişiklik gösterir. Türkiye'deki değişim ise Şekil 3.1'de verilmiştir [23]. 2001 yılındaki ekonomik kriz bu değişimi negative yönde etkilemiştir.



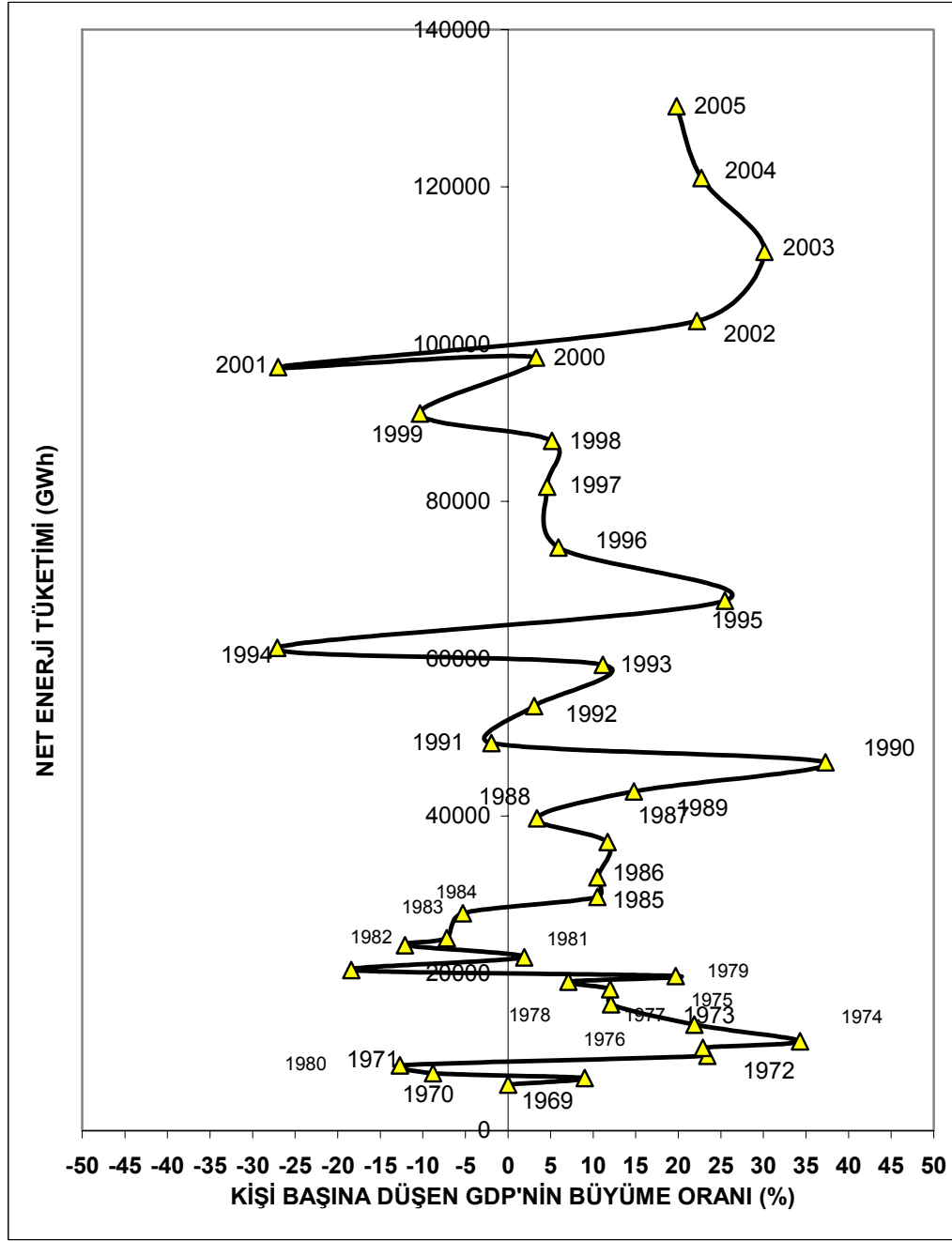
Şekil 3.1. GSMH'nın GSYİH'ya göre yıllar itibariyle değişimi[23]

GSMH'daki artma oranı ile enerji tüketimi arasındaki ilişki yıllar itibariyle Şekil 3.2'de verilmiştir [23]. Görüleceği üzere 2001 yılından itibaren oranda lineer bir artış meydana gelmiştir.



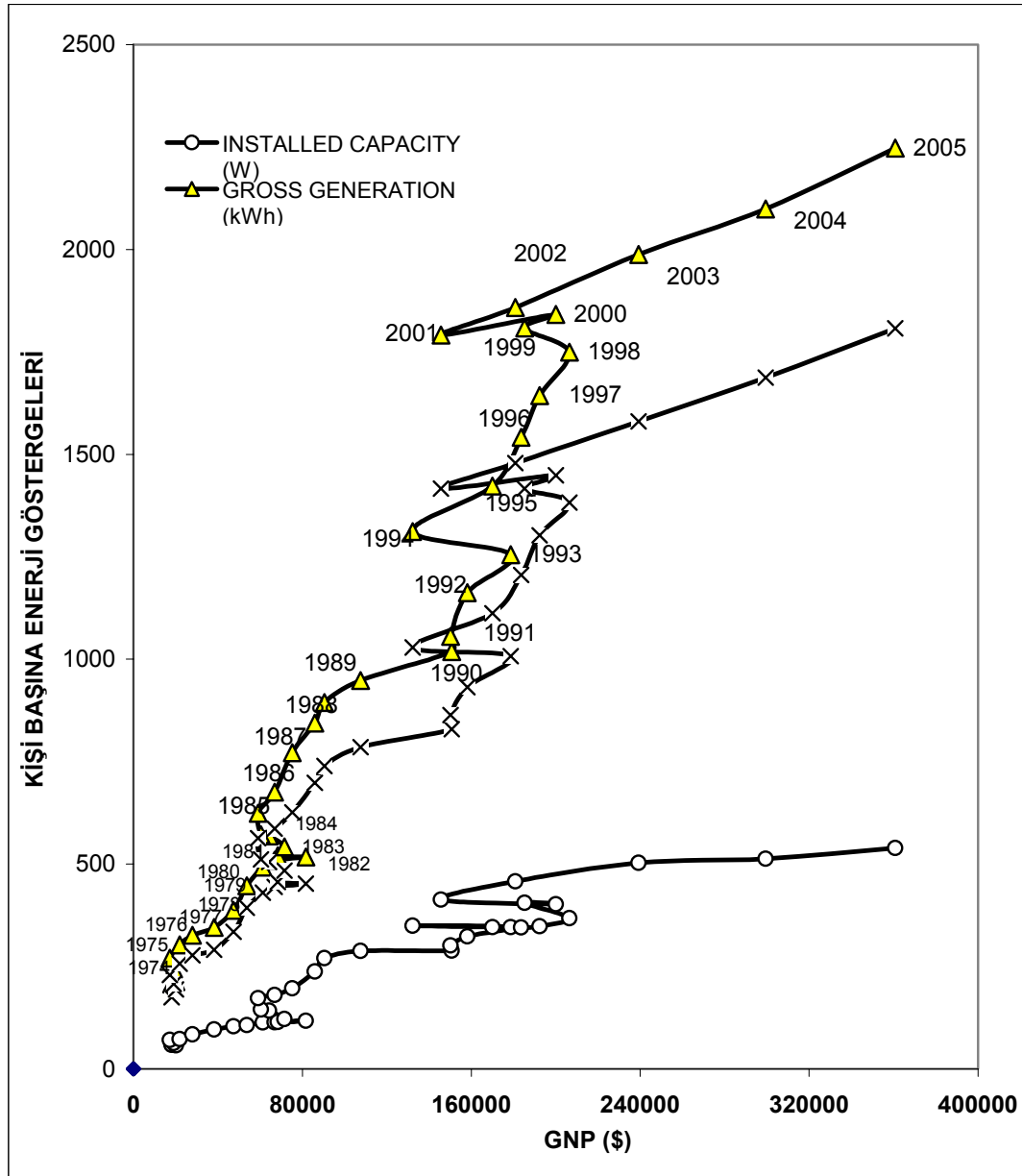
Şekil 3.2. Kişi başına düşen enerji tüketimi ile kişi başına düşen GSMH arasındaki ilişki

Benzer olarak, GSYİH'daki artma oranı ile enerji tüketimi arasındaki ilişki yıllar itibariyle Şekil 3.3'de verilmiştir [23]. Görüleceği üzere 2001 yılından itibaren oranda lineer bir artış meydana gelmiştir.

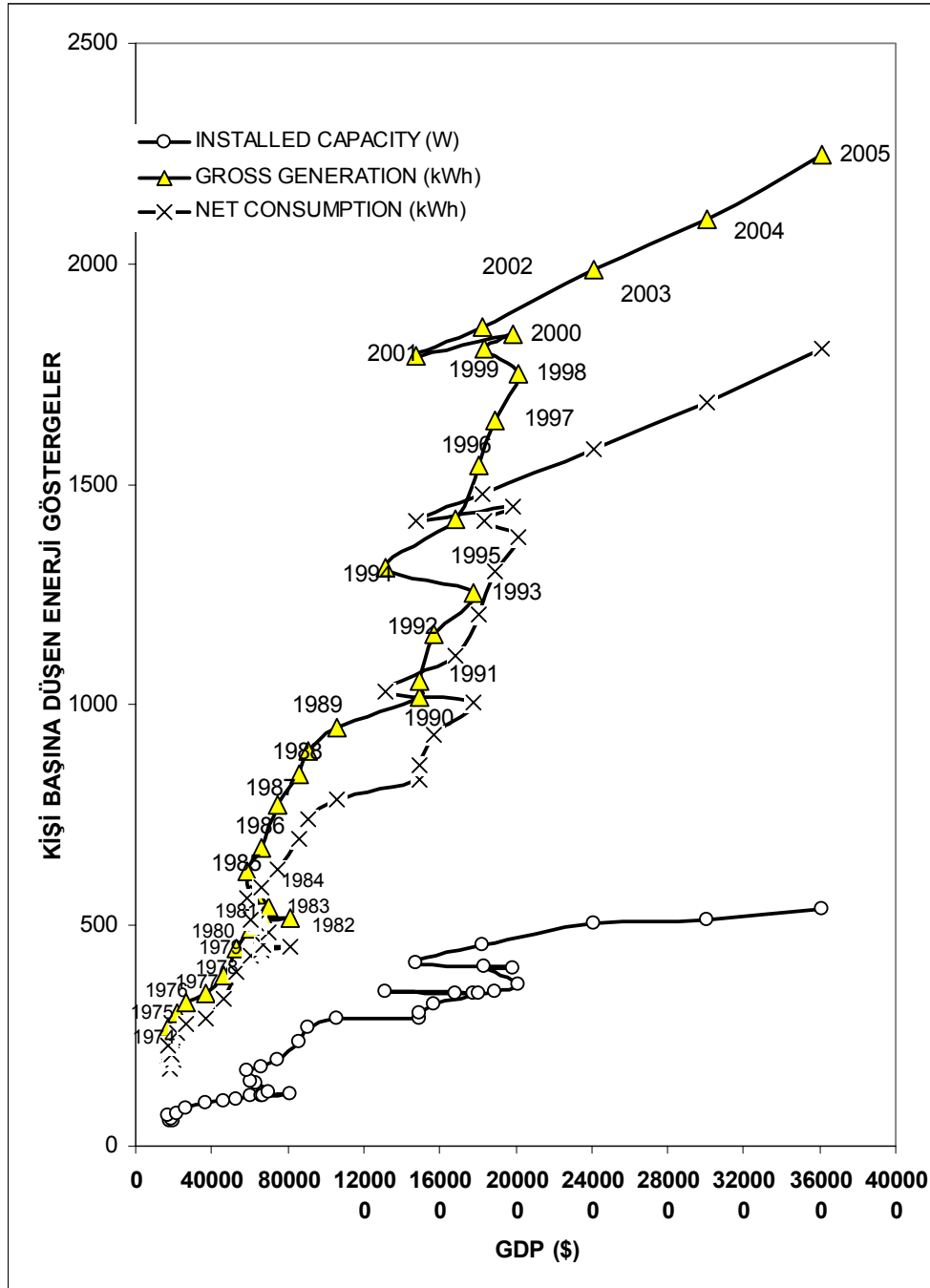


Şekil 3.3. Kişi başına düşen enerji tüketimi ile kişi başına düşen GSYİH arasındaki ilişki

Temel enerji göstergeleri ile GSMH ve GSYİH'nın değişimleri ise Şekil 3.4 ve Şekil 3.5'de verilmiştir.



Şekil 3.4. Temel enerji göstergeleri ile GSMH'nın değişimi



Şekil 3.5. Temel enerji göstergeleri ile GSYİH'nın değişimi

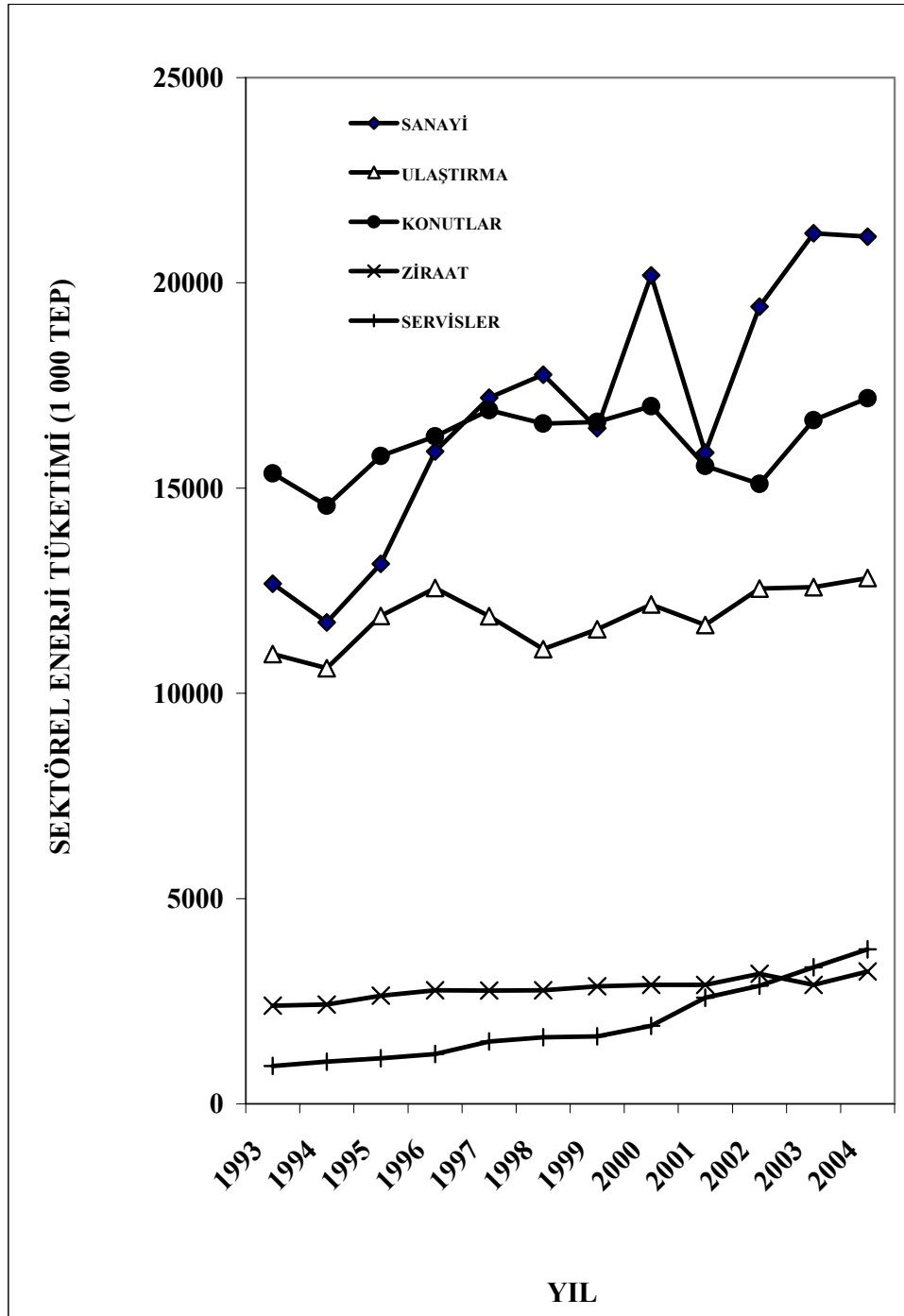
3.3. Sera Gazı Salınımları

3.3.1. Yakıt tüketimine dayalı sera gazı salınımları

Türkiye, yakıt tüketiminden kaynaklanan sera gazları salınımları bakımından gelişmekte olan ülkelerin aksine farklı bir konuma sahiptir. Diğer ülkelerde salınımın kaynağı kömür olmasına rağmen, Türkiye'nin en büyük salınımlarının kaynağı petroldür. Bu durum gelecek on yıllarda kullanılan doğalgazdaki artışı sebebiyle sera gazlarının sebebi petrole dayalı yakıtlar olarak kalacaktır. Şu anda %48 olan bu pay gelecek 10 yıl içerisinde %58'e çıkması beklenirken kömür kaynaklı sera gazı salınımlarında ise %46 dan %27'ye düşmesi beklenmektedir [1].

Enerji tüketimini sektörlere göre dağılımı Şekil 3.6'da verilmiştir [21]. Sektörel enerji tüketimi; sanayi, ulaştırma, ziraat, ev, servis ve diğerleri başlıklarında 5 kategoride ele alınmıştır. 1990 yıllara kadar en yüksek enerji tüketimi ev kategorisinde olmasına rağmen daha sonraki yıllarda bu kategori düşüşe geçmiştir. 1993 de bu sektörün payı %36,29'dan 2004'de %29,56 değerlerine gerilemiştir. Benzer olarak sanayi sektöründe %29,9 dan %36,3 'e artarken ulaştırma sektörü %25,88 den %22 değerlerine ulaşmıştır. Ziraat ve servis sektörlerinde ise bu oranlar %5.65 ve %2.18den %5.54 ile %6.47 değerlerine ulaşmıştır [22].

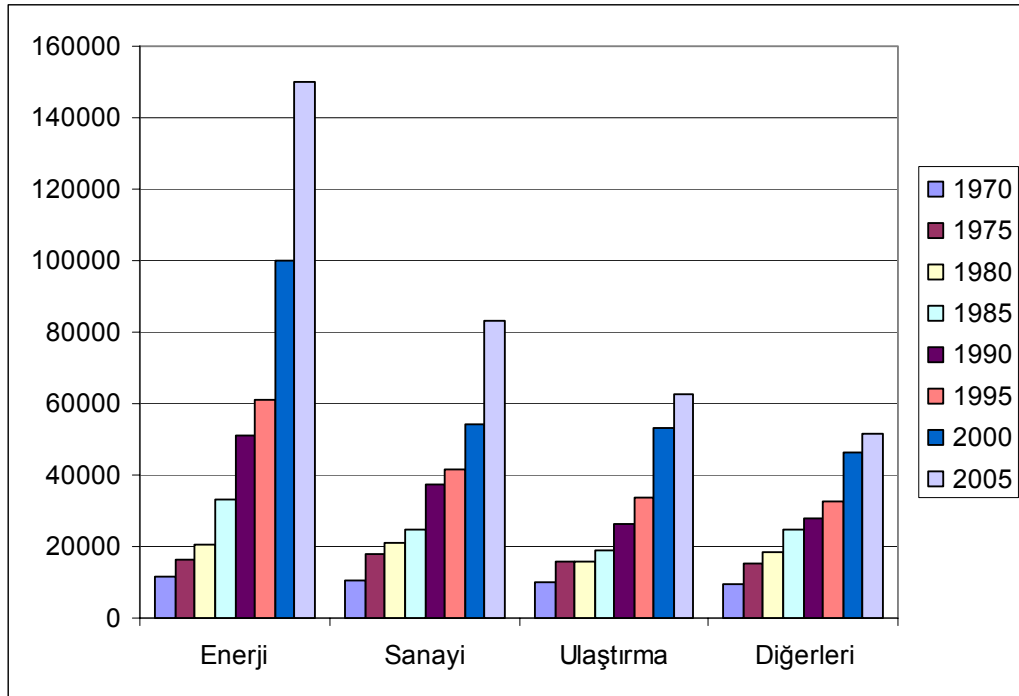
Enerji tüketiminin hızla artması hem yerel, hem bölgesel hem de global seviyelerde çevre sorununu da beraberinde getirmektedir. Bu bilinçle ve Kyoto protokolünün etkisi olarak, ülkeler 1990'lı yıllarla karşılaştırıldığında %5'lik bir seviyede sera gazı salınımlarını azaltmışlardır (Çizelge 2.4). Türkiye'nin sera gazı salınımlarının temel kaynağı yakıtlardır. Bu salınımlar 2000 yılında 211 mmt (million metric tons)'dur [5]. Türkiye'nin kişi başına düşen sera gazları salınımlarının AB ülkeler içerisindeki değerlerle karşılaştırılması Çizelge 3.2'de verilmiştir [24].



Şekil 3.6. Sektörel enerji tüketimi

3.3.2. CO₂ salınımı

Yakıt tüketimine dayalı CO₂ salınımlarının enerji kullanım sektörlerine bağlı olarak dağılımı Şekil 3.7 ve Çizelge 3.3'de verilmiştir. Yıllar itibariyle ekonomik ve tüketim göstergelerine bağlı olarak Gg (Gigagram) olarak CO₂ salınımlarının değişimi ise Şekil 3.8'de verilmiştir [25]. 1990 yılına göre 2000 yılındaki artış %78 oranında olmuştur. 2000 yılından itibaren CO₂ oranında ve kişi başına düşen CO₂ salınım değerlerinde lineer bir artış olurken, CO₂/GNP oranında lineer bir azalma olmuştur. CO₂/TEC oranında ise beklenildiği gibi çok az değişimler meydana gelmiştir. Yıllara göre sektörlerin yakıt tüketimine bağlı toplam CO₂ salınımının %36'ı enerji, %26'sı sanayi, %19'u ulaştırma,%19'uda diğer (konut, hizmet vb) sektörlerden kaynaklanmıştır. 2000'li yıllarda ise bu oranlardan enerji sektörünün artış gösterdiği diğer sektörlerin stabilitesini koruduğu görülmüştür.



Şekil 3.7. Yakıt tüketimine dayalı CO₂ salınımının sektörel dağılımı

Çizelge 3.2. AB ülkeleri ile Türkiye'nin kişi başına düşen toplam sera gazları salınımı

ÜLKE	YIL										
	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
Belgium	0,010236	0,0105	0,009901	0,010204	0,009791	0,009806	0,009743	0,009583	0,009695	0,009686	0,00885 5
Bulgaria	0,007452	0,007287	0,007002	0,006278	0,005905	0,005933	0,00618	0,005955	0,006526	0,006537	0,01185 4
Czech Republic	0,007616	0,007683	0,007896	0,007428	0,007036	0,007394	0,007422	0,007192	0,00737	0,007335	0,00900 1
Denmark	0,021109	0,024624	0,021857	0,02068	0,019761	0,018443	0,018788	0,018516	0,019838	0,018193	0,01459 9
Germany	0,001092	0,001109	0,001071	0,001044	0,001014	0,001013	0,001022	0,001004	0,001009	0,001	0,00095 8
Estonia	0,035633	0,037679	0,038193	0,03503	0,032483	0,032942	0,033065	0,033353	0,036652	0,037008	0,06827 4
Ireland	0,029353	0,03011	0,031163	0,031947	0,032367	0,032612	0,033003	0,031719	0,030931	0,030464	0,02749 9
Greece	0,009618	0,009847	0,0102	0,010566	0,010505	0,010877	0,010978	0,010922	0,01123	0,011222	0,01127 9
Spain	0,002793	0,002721	0,002897	0,002977	0,003211	0,003316	0,003283	0,003391	0,003384	0,003493	0,00267 2
France	0,001671	0,001712	0,001684	0,00172	0,001666	0,001637	0,001627	0,001602	0,001605	0,0016	0,0016 0,00159
Italy	0,001803	0,001778	0,001799	0,001836	0,001857	0,001874	0,001896	0,001897	0,001938	0,001936	9
Cyprus	0,185156	0,190614	0,189854	0,200089	0,198272	0,205069	0,20172	0,20567	0,213676	0,202912	0,20022 0,03988
Latvia	0,018835	0,019478	0,018733	0,018135	0,017006	0,016081	0,017426	0,017435	0,017714	0,017894	8
Lithuania	0,01765	0,015794	0,013935	0,012043	0,011848	0,011645	0,011471	0,011077	0,009761	0,011579	0,02685 9
Luxembourg	0,193739	0,193878	0,177501	0,156835	0,168694	0,176199	0,178815	0,194551	0,200981	0,222099	0,15824 2
Hungary	0,006608	0,006811	0,006669	0,006693	0,006681	0,006486	0,006715	0,006496	0,006714	0,006722	0,00930 9
Malta	0,331258	0,332705	0,320856	0,323772	0,332629	0,339295	0,302504	0,354283	0,35263	0,364871	0,36258 2
Netherlands	0,006814	0,007029	0,00679	0,006778	0,006383	0,00631	0,006311	0,006228	0,006207	0,006249	0,00576 5
Austria	0,01279	0,013303	0,01322	0,013122	0,012816	0,012859	0,01344	0,013639	0,014465	0,014214	0,01060 1
Poland	0,001913	0,002005	0,001957	0,001847	0,001836	0,001764	0,00177	0,001713	0,001771	0,001791	0,00246 2
Portugal	0,011859	0,011381	0,011973	0,01276	0,013903	0,013448	0,013611	0,014241	0,013413	0,013461	0,01206 2
Romania	0,002968	0,003054	0,002732	0,002455	0,002192	0,00224	0,002323	0,002492	0,002604	0,002717	0,00424 8
Slovenia	0,046092	0,047731	0,048566	0,047861	0,046555	0,046836	0,049093	0,049448	0,048772	0,049689	0,04605 5
Slovakia	0,01361	0,01373	0,013702	0,01329	0,01296	0,012484	0,01333	0,012828	0,012976	0,012955	0,01708 5
Finland	0,019711	0,021224	0,020809	0,019739	0,019556	0,019028	0,020459	0,020982	0,023145	0,021936	0,01909 6
Sweden	0,011569	0,012107	0,011374	0,011427	0,010899	0,010653	0,010729	0,010854	0,01095	0,01074	0,01154 1
United Kingdom	0,001583	0,00163	0,001575	0,001557	0,001473	0,00147	0,001481	0,001434	0,001442	0,001439	0,00145 7
Croatia	0,014739	0,015771	0,0169	0,017045	0,017751	0,017778	0,019132	0,019959	0,021116	0,021298	0,02137 8
Turkey	0,002106	0,002611	0,002948	0,002976	0,002808	0,002684	0,002469	0,002651	0,002725	0,002971	0,00300 2
Iceland	0,355056	0,363806	0,380882	0,378488	0,393906	0,36129	0,340861	0,333217	0,325477	0,333138	0,37468 9
Norway	0,023043	0,024256	0,024108	0,024063	0,02434	0,023981	0,024404	0,02374	0,023966	0,024096	0,02192 6

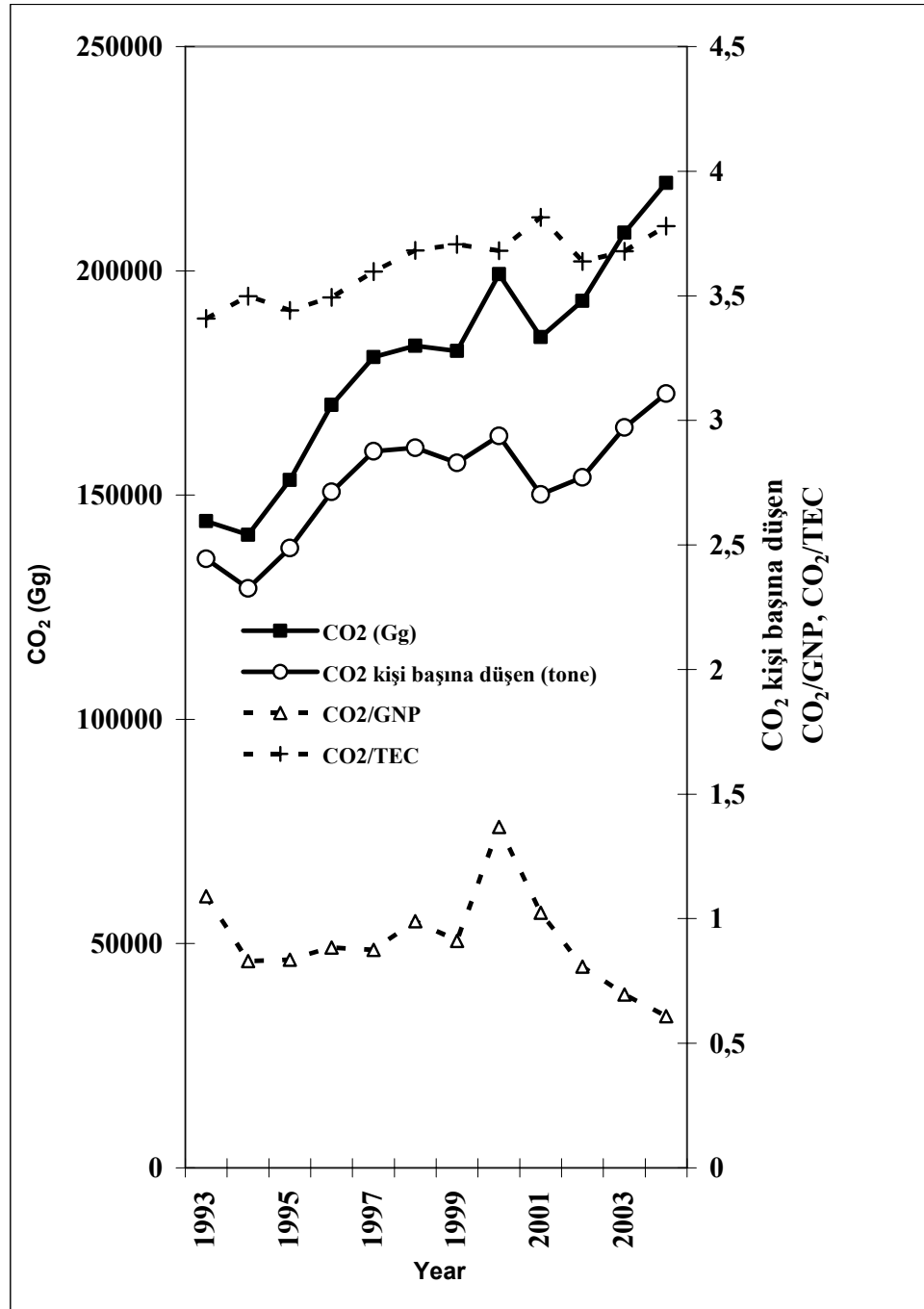
Çizelge 3.3. Sektörlere göre CO₂ salınımı

Sektörler	1970	1975	1980	1985	1990	1995	2000	2005
Enerji	11560	16496	20437	33279	51094	61271	100119	150180
Sanayi	10628	17673	20864	24573	37385	41560	54170	83276
Ulaştırma	10116	15967	16025	18885	26443	33665	53211	62800
Diğerleri	9277	15072	18361	24530	27805	32686	46078	51593

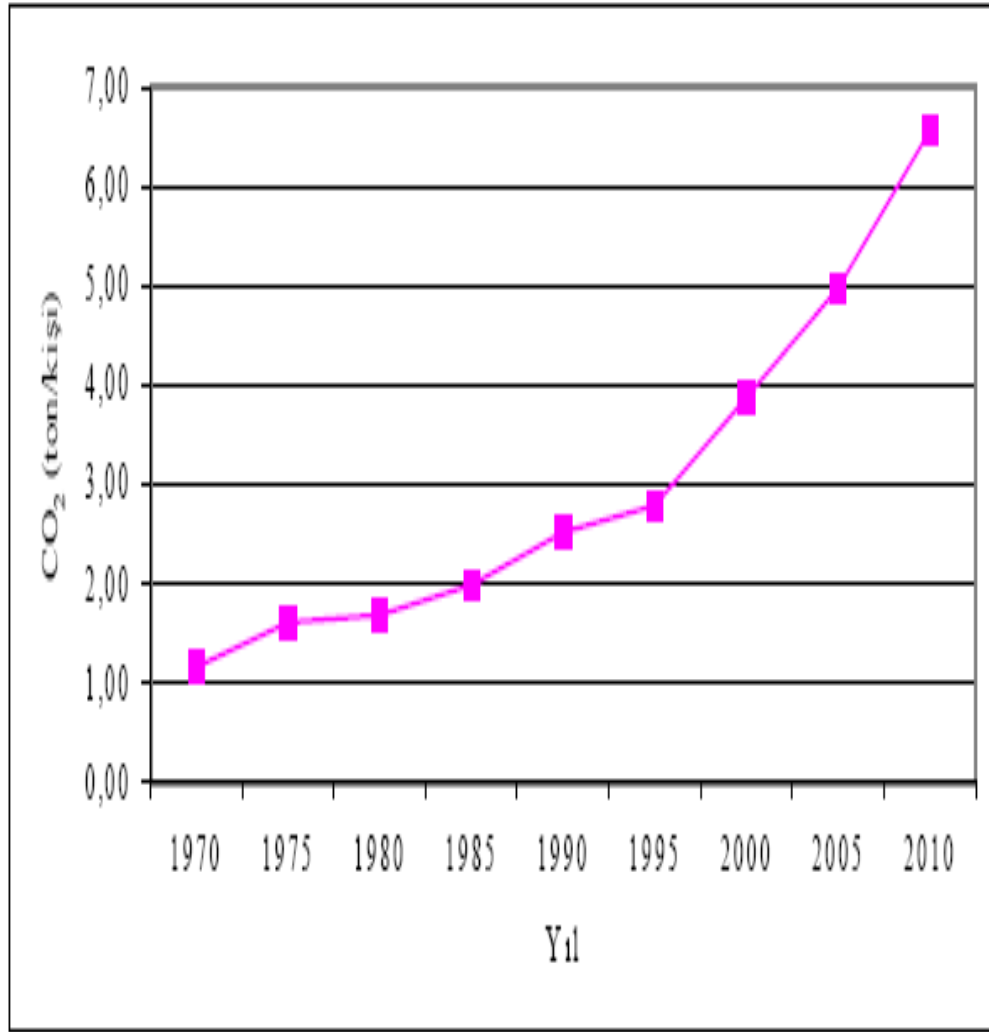
Türkiye'nin kişi başına düşen CO₂ salınım değerleri 1970'den 2000 yılına kadar 1 ton CO₂/kişi 'den 3,88 ton çıkmıştır. Aynı orantı dikkate alındığında 2010'lu yıllarda 6.56'ya ulaşması beklenmektedir [22]. Bu orantıya baktığımızda (Şekil 3.9) 2000 yıllardan itibaren gelişen teknoloji ve sanayileşme devrimi neticesinde hızlı bir artış gösterecektir.

Ekonomik kalkınmaya paralel olarak Türkiye'de gayri safi yurtiçi hasıla (GSYİH) sürekli bir artış eğilimindedir. 1990'da 149,2 milyar \$ olan GSYİH 1997'de 188,7 milyar \$'na ulaşmış olup ileriki yıllarda çok daha fazla artış göstereceği tahmin edilmektedir.

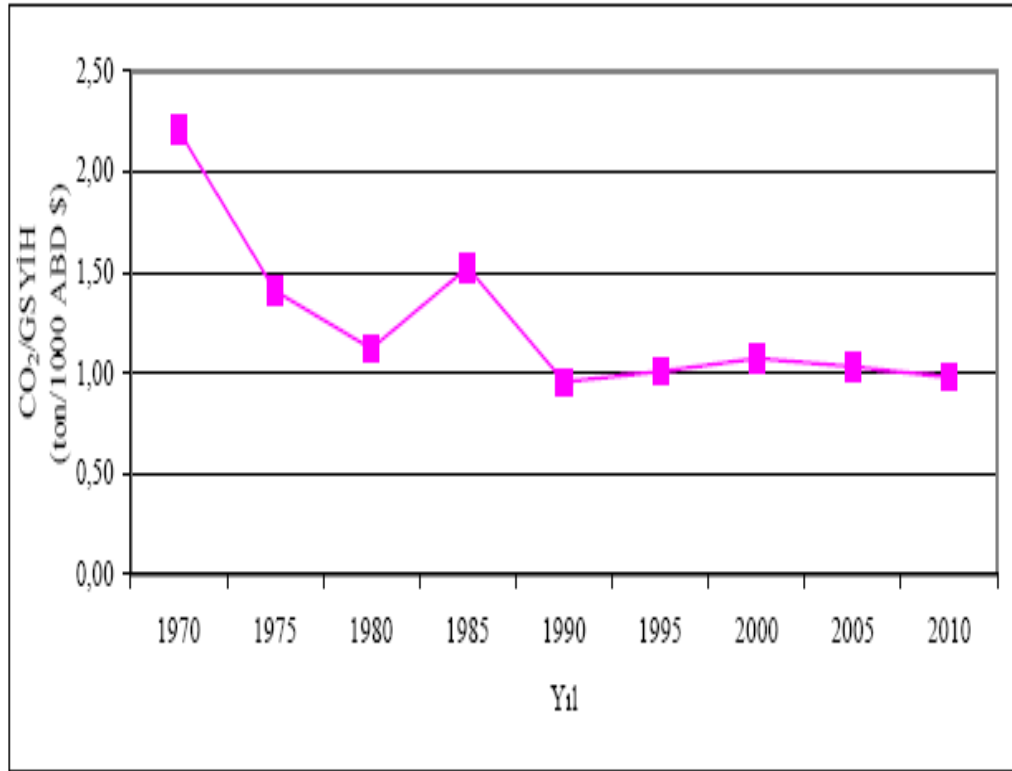
Şekil 3.10'a bakıldığında CO₂/GSYİH oranının 1 civarında olduğu görülmektedir. Bu da GSYİH ve CO₂ salınım değerlerindeki artış hızının çok yakın ilişkili olduğunu göstermektedir



Şekil 3.8. CO₂ salınımları

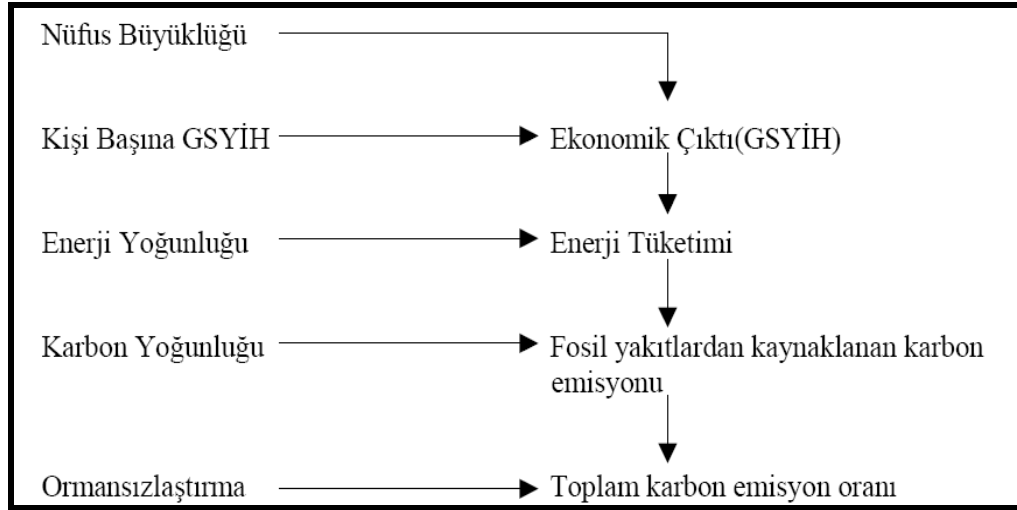


Şekil 3.9. Kışı başına düşen CO₂ salınımı



Şekil 3.10. CO₂/GSYİH oranı

Literatürde incelediğimiz çalışmalarda genelde CO₂ salınımının temel belirleyicileri, beş ana gruba ayrılmaktadır. Şekil 3.11'de yıllık CO₂ salınımı ve salınımın belirleyicileri arasındaki ilişki gösterilmiştir. Yıllık CO₂ salınımı etkileyen bu faktörler, enerji yoğunluğu, karbon yoğunluğu, kişi başına milli gelir, nüfus artışı ve ormansızlaştırma olarak belirtilebilir.



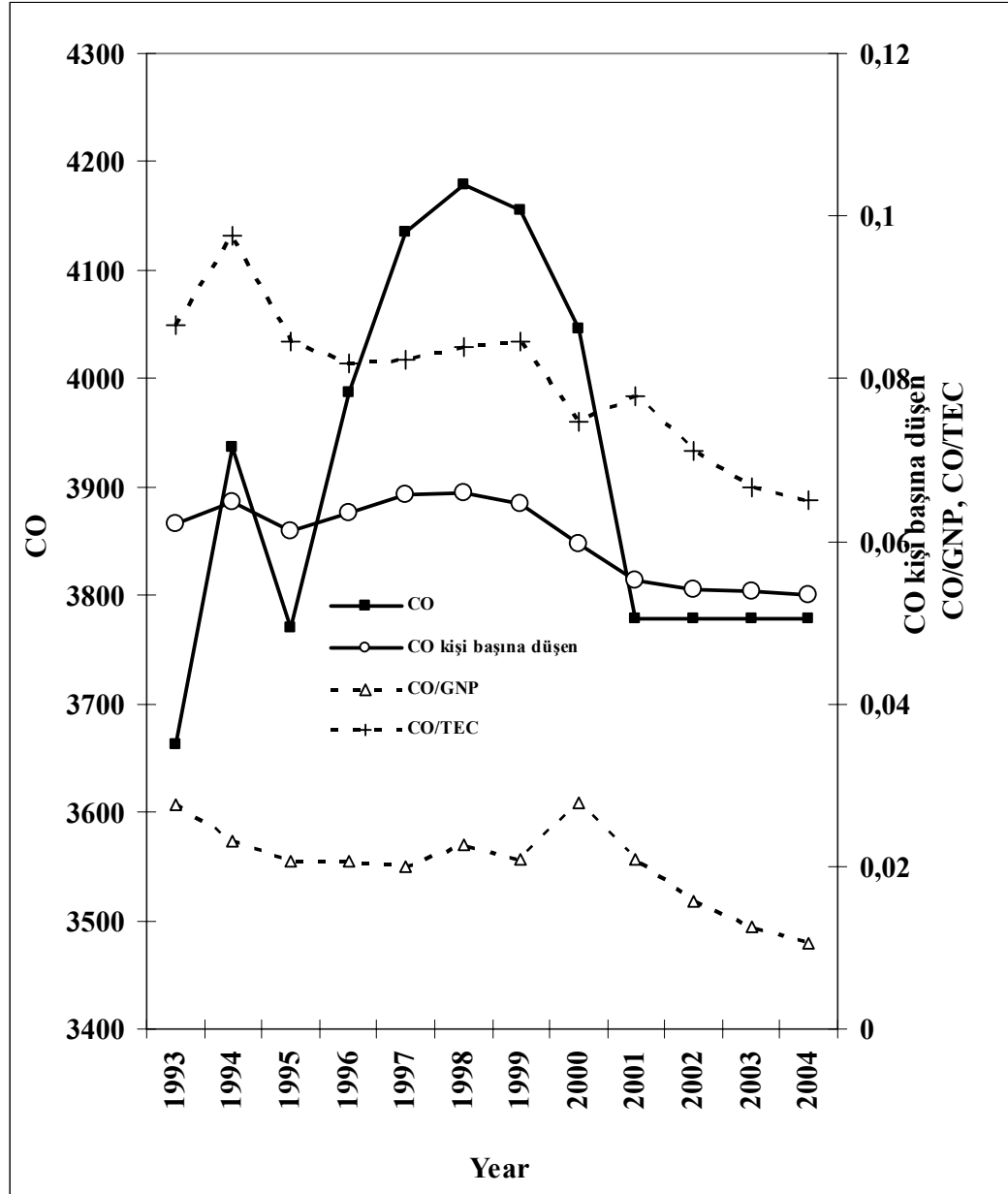
Şekil 3.11. Karbondioksit salınımına etki eden faktörlerin akış şeması

Yukarıda belirttiğimiz gibi, bir ülkede CO₂ salınımının oluşmasında beş önemli faktör vardır. İklim değişikliği bağlamında, CO₂ oranlarının azaltılması hedeflendiğinden, bu beş faktörden birinin, birkaçının ya da hepsinin birden azaltılması gerekmektedir. Hiçbir ülkenin GSYİH'sını (ekonomik büyüme) azaltması beklenemeyeceğine göre, diğer dört faktör üzerinde yoğunlaşmak gerekir. Bunların arasında en önemlisi ve en etkilisi enerji yoğunluğu ve salınım yoğunluğunu azaltmak olacaktır. Çünkü bu iki faktörü önemli oranda azaltacak politikalar uygulanırsa, büyük miktarlarda karbon salınımı azalımı gerçekleştirilebilir. Buna göre ekonomik büyüme sonucu ortaya çıkacak CO₂ artışı ancak enerji ve emisyon yoğunluklarını azaltmaya yönelik uygulanacak kapsamlı politikaların belirlenmesiyle gerçekleşebilir.

3.3.3. CO salınımı

Yakıt tüketimine dayalı CO salınımlarının yıllar itibariyle ekonomik ve tüketim göstergelerine bağlı olarak Gg (Gigagram) olarak değişimi Şekil 3.12'de verilmiştir. 2000 yılından itibaren CO oranında ve kişi başına düşen CO salınım değerlerinde kayda değer bir değişme olmazken, CO/GNP ve CO/TEC oranlarında lineer bir azalma olmuştur. CO salınımlarında 1998

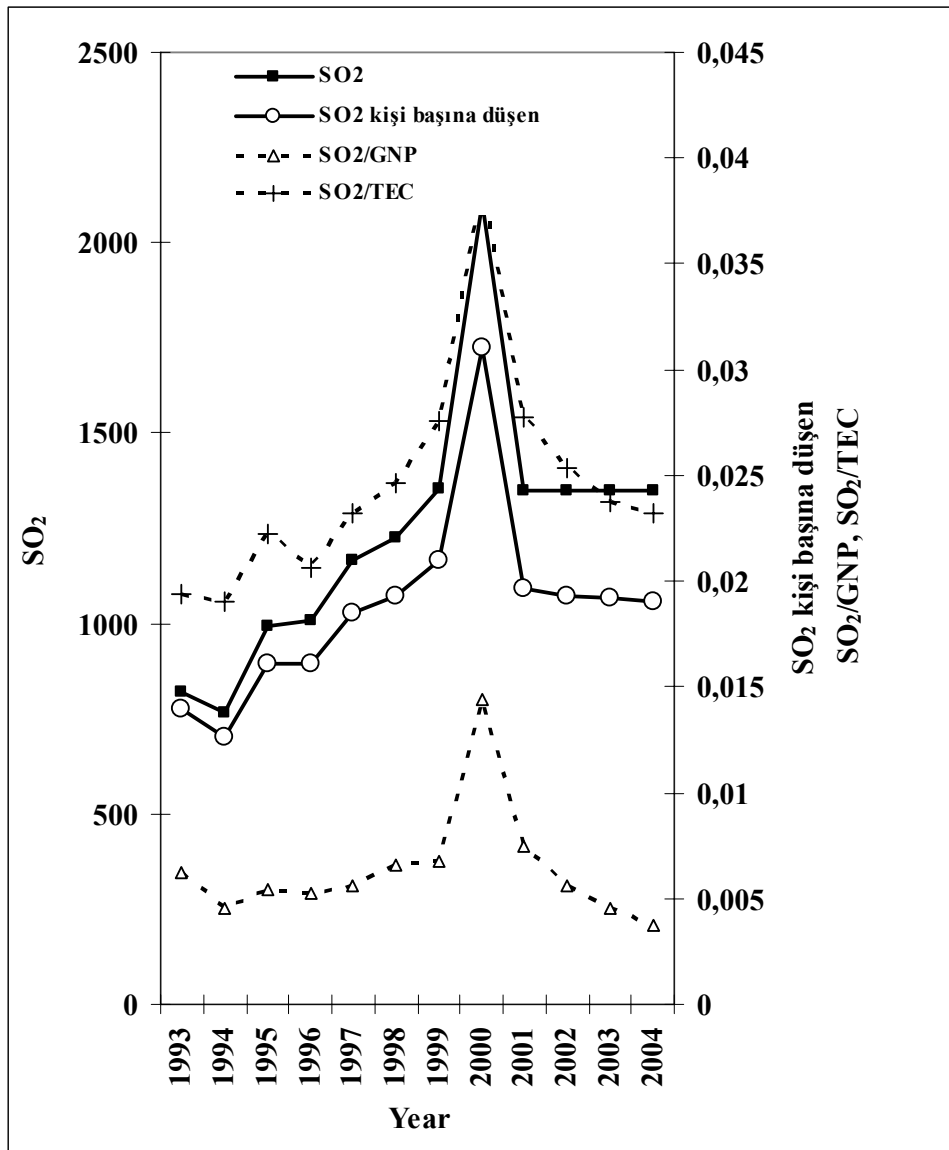
yılından itibaren ani bir azalma başlamış ve 2000 yılında stabil hale gelmiştir. Bu da ülkemizde gelişen teknolojik yakma sistemleri ve arıtma sistemlerinin devreye girmesi ile ortaya çıkmıştır. Özellikle doğalgazın yaygınlaşması da bu durumun önemli etmenlerinden birisidir.



Şekil 3.12. CO salınımı

3.3.4. SO₂ salınımı

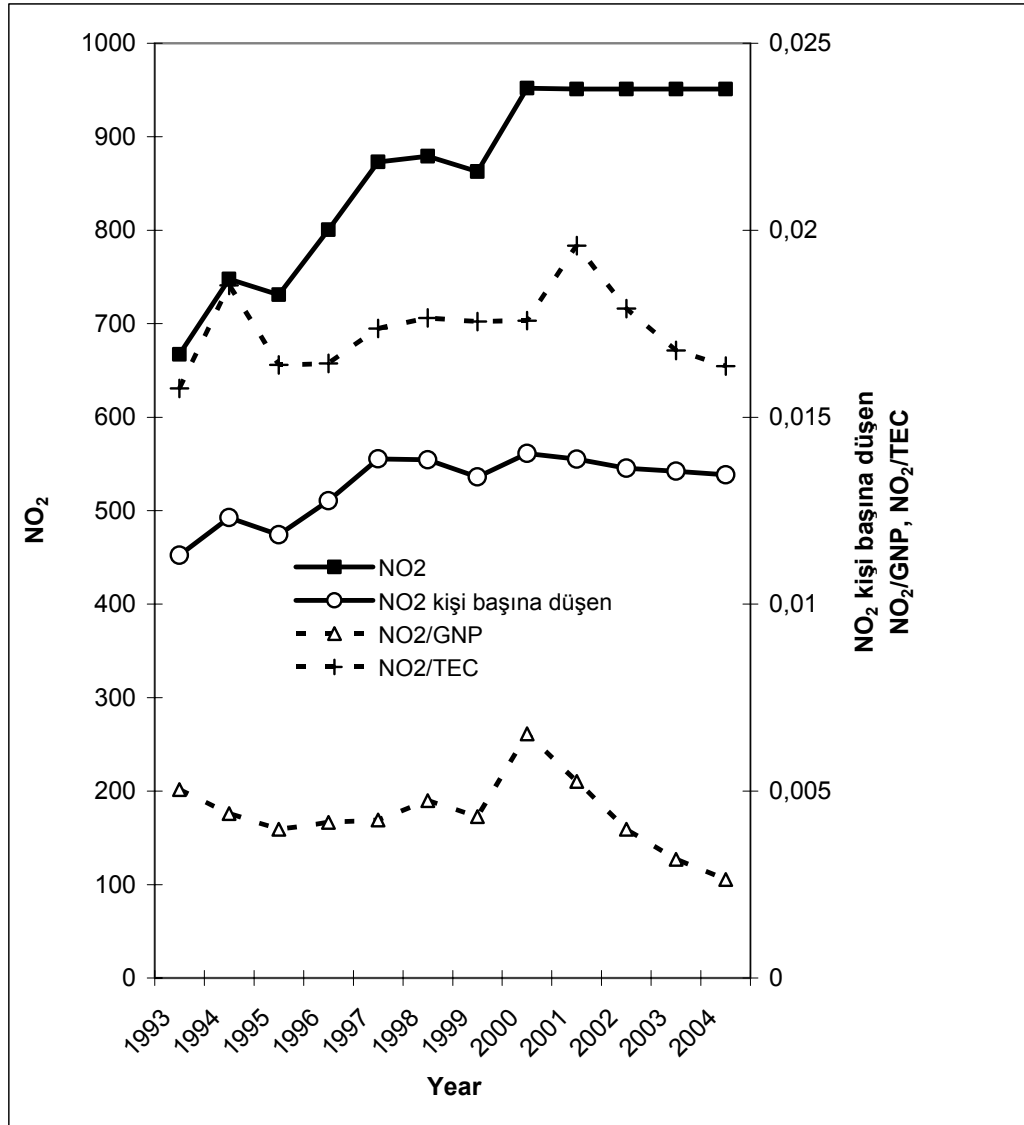
Yakıt tüketimine dayalı SO₂ salınımlarının yıllar itibariyle ekonomik ve tüketim göstergelerine bağlı olarak Gg (Gigagram) olarak değişimi Şekil 3.13'de verilmiştir. 2000 yılından itibaren SO₂ oranlarının hepsinde önemli bir azalma kaydedilmiştir. Bunun sebebi de CO'de olduğu gibi elektrik üretiminde doğalgaz santrallerinin yaygınlaşmasıdır.



Şekil 3.13. SO₂ salınımı

3.3.5. NO₂ salınımı

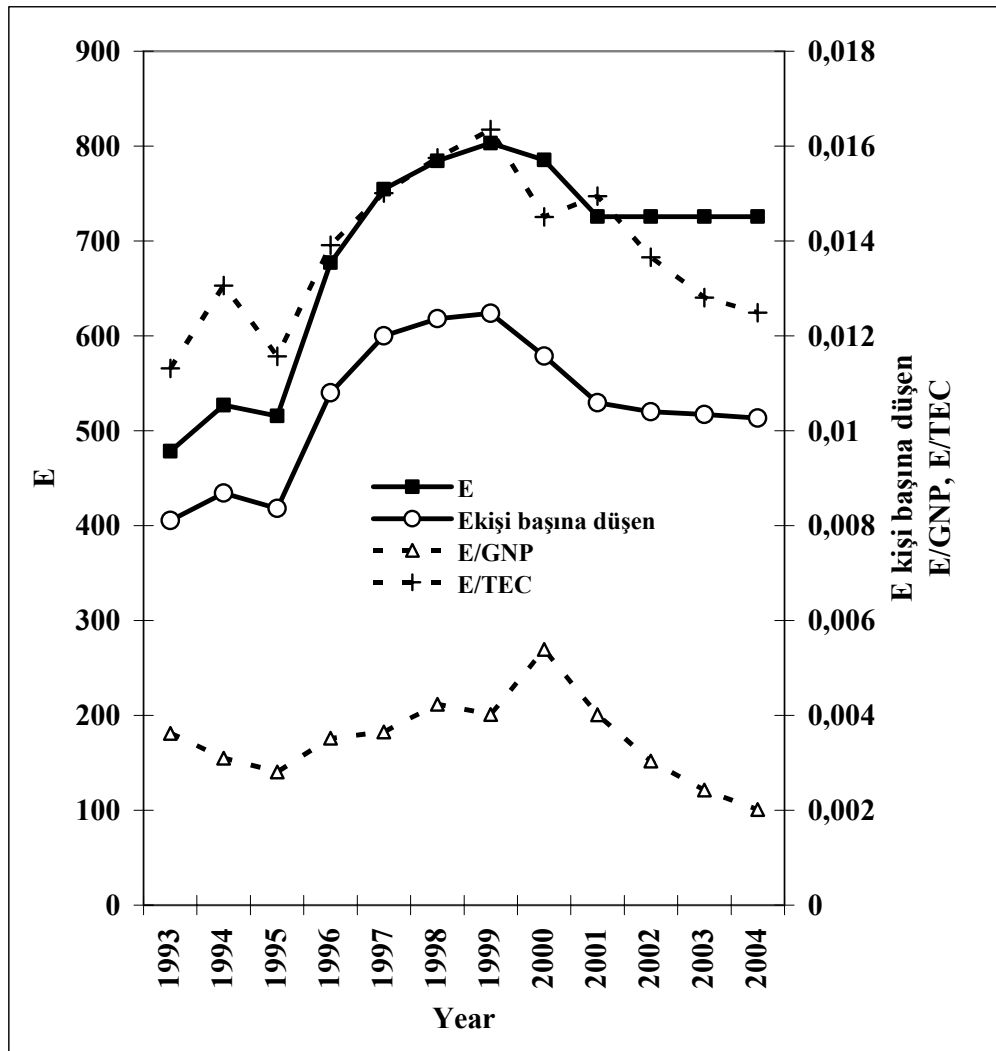
Yakıt tüketimine dayalı NO₂ salınımlarının yıllar itibarıyla ekonomik ve tüketim göstergelerine bağlı olarak Gg (Gigagram) olarak değişimi Şekil 3.14'de verilmiştir. 2000 yılından itibaren NO₂ oranlarının hepsinde önemli bir azalma kaydedilmiştir.



Şekil 3.14. NO₂ salınımı

3.3.6. E salınımı

Yakıt tüketimine dayalı E (Methan olmayan uçucu gaza dönüşebilen organik bileşikler) salınımlarının yıllar itibariyle ekonomik ve tüketim göstergelerine bağlı olarak Gg (Gigagram) olarak değişimi Şekil 3.15’de verilmiştir. 2000 yılından itibaren E oranında ve kişi başına düşen E salınım değerlerinde kayda değer bir değişme olmazken, E/GNP ve E/TEC oranlarında lineer bir azalma olmuştur.



Şekil 3.15. E salınımı

4. ZEKİ TEKNİKLER

4.1. Giriş

Regresyon analizi gibi istatistiksel yöntemlerle veya klasik algoritmalarla çözülemeyen ya da iyi sonuçlar alınamayan karmaşık veya non-lineer olarak adlandırılan problemlere çözümler üretmek için son yıllarda gelişen bilgi işlem teknolojileri vasıtasıyla ortaya çıkan yapay zeka tekniklerinden Yapay Sinir Ağları (YSA) doğmuştur.

Yapay zeka metotları, klasik regresyon gibi uygulamalardan farklı olarak kesin kurallar doğrultusunda işleyen bir algoritmaya sahip değildir. Bu anlamda *Non-algoritmik* veya *Heuristic* (sezgisel) metotlar olarak adlandırılırlar. Sezgisel metotlar, deterministik olmayan (direkt tanımlanamayan), mutlak çözüme ulaşmayı hedeflemeyen, kötü veya yanlış da olsa bir karara varmayı, kararsızlık ya da mutlak kararlılığa tercih eden yöntemler olarak tanımlanabilirler. Bu yöntemlerin en önemli avantajı, işlem süresinin kısalması ve hata oranı düşük bir yaklaşımla problemi çözmeleridir. Yapay zeka yöntemlerinin hedefi, insan beyninin, karar verme, akıl yürütme ve düşünme sistemine benzer bir yapıya ulaşmakta gelişen bilgi işlem teknolojilerinden yararlanmaktır.

Yapay zeka tekniklerinin temel amaçları:

- ◆ Temel amaç, insanların zor yaptığı işleri yapabilecek sistemler üretmek.
- ◆ İnsan beyninin fonksiyonlarını, bilgisayar modelleri yardımıyla anlamaya çalışmak.
- ◆ İnsanın bilgi kazanma, öğrenme ve buluş yapma gibi zihinsel yeteneklerini araştırmak.
- ◆ Öğrenme metotlarını bilgisayar sistemlerine aktarmak.
- ◆ İnsan bilgisayar iletişimini kolaylaştıran kullanıcı arabirimleri geliştirmek.

- ◆ Yapay uzman sistemler oluşturmak.
- ◆ Yapay zekaya sahip robotlar geliştirmek (İşbirliği)
- ◆ Bilgisayarları, bilimsel araştırma ve buluşlarda kullanmak.

Yapay zeka teknikleri dört grupta irdelenir:

- ◆ Uzman Sistemler (US)
- ◆ Yapay Sinir Ağları (YSA)
- ◆ Genetik Algoritmalar (GA)
- ◆ Bulanık Mantık (FL)

Bu tekniklerden enerji alanında popüler olan YSA ve GE'dir. YSA, 20. yüzyılda elektronik, mekanik ve bilgisayar teknolojilerinde yaşanan evrimin kaçınılmaz sonucu olarak ortaya çıkan yapay zeka yöntemlerinden biridir. YSA, insanın biyolojik sinir sisteminin bazı fonksiyonlarını modelleyen (yani matematiksel bağ kuran) ve onun bazı yeteneklerini yakalamak isteyen basit işlem elemanlarının yoğun bir paralel dizisidir. Diğer bir deyişle YSA, birbirlerine paralel olarak bağlanan basit işlem elemanlarından oluşmuş ve gerçek dünyadaki nesnelerle insanın biyolojik sinir sistemine benzer şekilde etkileşmek üzere hiyerarşik olarak düzenlenmiş ağlardır.

Yapay sinir ağlarına olan ilgi son yıllarda büyük bir artış göstererek; mühendislik, felsefe, psikoloji gibi alanlarda çalışanlar yapay sinir ağlarını kendi uzmanlık alanlarına taşıyarak, bu gibi tekniklerin kullanılabilirliğini arttırmışlardır [26-38]. Bu ilgi teorik ve uygulama alanlarındaki başarılarla daha da pekişmiştir. İnsan zekasına sahip gibi görünen bazı alanların sayısal olarak ifade edilebileceği ve böylece makinelerin insan zekasına şaşırtıcı derecede benzer yollarla öğrenme ve hatırlama işlerini yapabileceği bu tekniklerin uygulamalarında açık bir şekilde görülmüştür.

Yapay sinir ağlarında biyolojik sinir sistemi ve beynin fiziksel yapısı taklit edilmeye çalışılmıştır. Biyolojik sistemde olduğu gibi bağımsız sinir hücreleri

birbirlerini aktif hale getirirler. Yapay sinir ağıları, “biyolojik sinir sisteminde olduğu gibi, sistem dışındaki nesnelerle etkileşebilen, birbirinden bağımsız ve paralel olarak çalışabilen işlem elemanları (yapay sinir hücreleri) ve onların seri bir şekilde organizasyonu (paralel, iç içe bağlantılı ağlar)” olarak tanımlanabilir. YSA, işlem süresini kısaltmanın yanı sıra daha güvenilir, daha fazla güvenilir ve kendi karar mekanizmasına sahip, bağımsız sistemler tasarlamak amacıyla geliştirilmiştir. YSA bugün matematik, fizik, elektrik ve bilgisayar mühendisliği gibi birçok bilim dalının araştırma konusu haline gelmiştir. Pratikteki kullanımı, farklı yapılarda ve formlarda bulunabilen örnek verileri tanımlama, denklemlerle üretme ve tahmin gibi algılama üzerinedir. Benzer amaçla geliştirilen diğer yapay zeka yöntemleri gibi, havacılık ve uzay, otomotiv, bankacılık, savunma sanayi, ses ve sinyal algılama, tıp, robotik, coğrafik bilgi sistemleri, imalat, meteoroloji optimizasyon, kontrol mühendisliği, sibernetik, tıp, ekonomi ve daha bir çok alanda farklı şekillerde uygulama alanı bulmaktadır [26-29]. Mühendislik uygulamalarında ise geniş bir şekilde kullanılmasının en önemli nedenlerinden biri, regresyon gibi klasik yöntemlerle çözülemeyen non-lineer problemlere etkin bir alternatif oluşturmasıdır.

Yapay sinir ağı modelleri, algoritmik olmayan, paralel ve yayılı bilgi işleme yetenekleri ile klasik modellerden farklıdır ve farklı olan bu özellikleri sayesinde, karmaşık ve lineer olmayan (non-lineer) hesapları kolaylıkla ve hızlı bir şekilde çözebilir. Algoritmik olmayan ve çok yoğun paralel işlem yapabilen YSA, ayrıca öğrenebilme kabiliyeti ve paralel dağıtılmış hafıza ile de hesaplamada yeni bakış açılarına sebep olmuştur.

YSA, 20. yüzyılda elektronik, mekanik ve bilgisayar teknolojilerinde yaşanan evrimin kaçınılmaz sonucu olarak ortaya çıkan yapay zeka yöntemlerinden biridir. Önce doğadaki ilkel biçimler, ardından daha karmaşık türler ve son olarak halen en üstün canlı özelliğine sahip olan insanın düşüncesi ve davranış biçimlerinin taklit edilmesi, yapay zeka kavramını günümüzdeki görünümüne kavuşturmuştur.

Klasik sistemlerden farklı olarak kendi başına eleme, karar verme ve öğrenme yetisine sahip sistemler geliştirmeyi hedefleyen yapay zeka yöntemleri, YSA haricinde genetik algoritmalar ve bulanık mantık yöntemlerini de kapsamaktadır.

a) *Yapay Sinir Ağları*: Biyolojik sinir ağları ile insan beynindeki nöronların çalışma prensiplerine dayanılarak matematiksel olarak modellenen bilgi işlem odaklı sistemlerdir. Olaya giren değişkenlerin önemlilik derecesine müdahale edilebilmesi mantığına dayanır. Basit ve sınırsız imkanları nedeniyle yapay zeka uygulamalarında en geniş kullanım alanına sahiptir. Yalnızca eleme ve karar verme değil öğrenme işlevini de gerçekleştiren sistemler oluşturma imkanı sunmaktadır [26-38] . Öğrenme (matematiksel ifade çıkarma) ile yorumlama kabiliyeti sağlanmıştır.

b) *Genetik Algoritmalar*: Evrim teorisinin temelini oluşturan doğal seleksiyon ilkesine dayanan ve genelde optimizasyon problemlerinde kullanılan bir tekniktir. İşleyişi süresince kendi mantıksal tabanına müdahalede bulunarak daha iyi çözüm kümelerine doğru adım adım yönelen sistemlerdir [30].

c) *Bulanık Mantık*: Değişkenleri, belli sayısal aralıklar yerine 'az, çok' veya 'çok sıcak, sıcak, normal, soğuk, çok soğuk' gibi insana özgü göreceli tanımlara göre sınıflamaya dayanan bir yöntemdir. Karar verme ve eleme işlemlerinde sınırların mantıksal olarak ifade edilmesi yoluyla çözümde çeşitlilik ve kararsızlık riskinin azalmasını sağlamaktadır [26].

4.2. Yapay Sinir Ağları (YSA)

Geçmişte Nörobiyologlar ve Nöroanatomistler yapay zeka alanında çalışmışlar ve önemli ilerlemelerin olacağını öngörmüşlerdir. İnsan sinir sisteminin yapı fonksiyonlarının özenli bir haritasının çıkarılmasıyla, beynin bağlantısı olan sinir sistemi bir anlamda kabloları ve yapısı hakkında oldukça

önemli bilgiler elde edilmiştir. Fakat, aynı ilerleme beynin işleyişi konusunda gösterilememiştir. Bu alandaki bilgi arttıkça, karmaşıklığın ağır ağır çözüldüğü görülmüştür. Sayıları milyarları bulan ve birbiriyle bağlantılı nöronlar, en gelişmiş bilgisayarları dahi aciz bırakan bir sistemi oluşturmaktadırlar. Nöronların fonksiyonları ve birbirleriyle olan bağlantılarının daha iyi anlaşılması, araştırmacıların teorilerini test etmek amacıyla matematiksel modeller geliştirmelerine imkan sağlamıştır. Artık deneyler dijital bilgisayarlar üzerinde insan veya hayvan deneklere ihtiyaç duymadan gerçekleştirilebilmektedir. İlk çalışmalar, bu modellerin beyin fonksiyonlarını taklit etmelerinin yanı sıra; kendi başlarına bazı yararlı fonksiyonları da yapabildiklerini göstermiştir. Böylece YSA modelleme'nin günümüzde de gerçekliliğini koruyan, karşılıklı olarak birbirini destekleyen iki ana hedefi belirlenmiştir. Birincisi, insan sinir sisteminin fizyolojik ve psikolojik işleyişini anlamak, ikincisi ise, beyine benzer fonksiyonlar gerçekleştiren YSA üretmek.

YSA'nın gelişimi 1943 yılında Mc Culloch ve Pitts'in [33] ilk hücre modelini geliştirmesi ile başlamış ve birkaç hücrenin ara bağdaşımını incelemesinin ardından, 1949'da Hebb [34], hücre bağlantılarını ayarlamak için ilk öğrenme kuralını önermiştir. Hebb, 1949'da YSA 'öğretme algoritmaları' için başlangıç noktası sayılan bir öğrenme kanunu ileri sürdü. Bugün üzerine bazı eklemeler yapılmış olan bu model, o dönemin bilim adamlarına, bir nöron ağının öğrenme işini nasıl gerçekleştireceği konusunda fikir vermiştir.

1950'li yıllarda, bir grup araştırmacı biyolojik ve psikolojik gelişmeleri birleştirerek ilk yapay sinir ağını üretmişlerdir. İlk olarak elektrik devreleri şeklinde üretilen ağ, daha sonra bilgisayar simülasyonu haline dönüştürülmüştür. Bu ilk başarılar bir aktivite ve iyimserlik patlamasını da beraberinde getirmiştir. Marvin Minsky, Frank Rosenblatt [35, 36], Bernard Widrow, ve daha birçok bilim adamları tek yapay nöron katmanından oluşan ağlar geliştirdiler. "Perceptron" adı verilen bu ağlar, hava tahmini,

elektrokardiogram analizleri ve yapay görme gibi çeşitli kullanım alanları bulmaktaydı.

1969'da Minsky, ve Papert algılayıcının kesin analizini yaptı ve algılayıcının karmaşık mantıksal fonksiyonlar için kullanılamayacağını ispatladılar [36]. Marvin Minsky, matematiksel teknikleri kullanarak, ağ işlemleriyle ilgili sağlam teoriler geliştirdi.

Algılamanın (tek katmanlı ağ), bazı sınırlamaları olsa bile üzerinde çalışılmaya değer bir konu olduğu gösterilmiştir. Algılamanın doğrusallık ve öğretme algoritmasının kolaylığı gibi bazı özellikleri mevcuttur.

Çok katmanlı yapıların temel özelliği, giriş ve çıkış katmanları dışında gizli katmanlar içermesidir. Gizli katman, çıkıştan alınan bilgilerin arzu edilen çıkış ile karşılaştırılması sonucu oluşan hata sinyalinin, öğrenme veya karar verme amaçlı kullanımını sağlamaktadır.

1974 yılında Werbos tarafından bulunan çok katmanlı algılayıcı tip ağlar için geriye yayılma algoritması denen bir eğitim algoritması geliştirilmiştir [26]. Bu çalışmayla, YSA alanında bir çığır açılmıştır. Bugün en çok kullanılan algoritma da bu geriye yayılma algoritmasıdır.

4.3. Biyolojik Sinir Ağları

YSA'ların çalışma prensiplerinin daha iyi anlaşılması için, biyolojik sinir ağlarının çalışma mantığının incelenmesi gereklidir. Şekil 4.1'de [43] görüldüğü gibi, biyolojik sinir ağlarının temel elemanı olan nöron, başlıca üç kısımdan oluşur:

i. Soma: Soma, nöronun gövdesidir ve Dendritlerden gelen sinyalleri toplar. Ana işlevi, diğer nöronlardan gelen verilerin belli bir değere ulaşana kadar

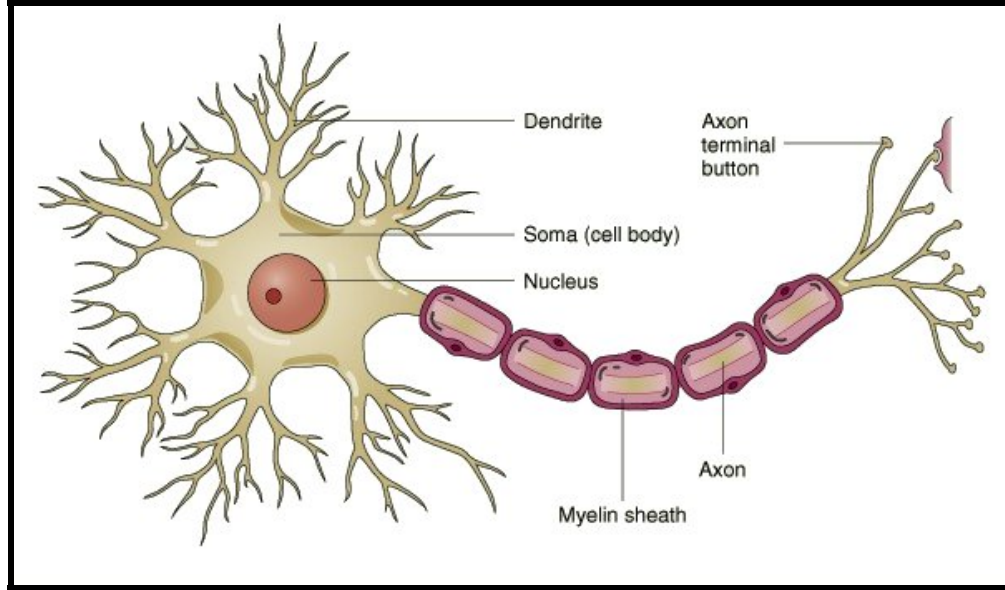
toplanması, belli bir değeri aştığı takdirde diğer nöronlara sinyal aktarılmasını sağlamaktır. Bu işlev yapay nöron modellemesinin de esasıdır.

ii .Axon: Nöronlar arasındaki iletimi sağlayan kablolardır (hattıdır). Omurilikte bulunan nöronlarda axonun uzunluğu onlarca santimetreyi bulabilir. Yapısı tıpkı bir elektrik iletim hattına benzer. Hattı koruyan miyelin kılıf ile hat boyunca belli aralıklara yerleşen ranvier boğumu, sinyal yitimini önlemektedir.

iii .Dendrit: Sinapslar aracılığı ile algılanan değişkenleri somaya iletir. Sinapslar ise bir nöronun çıkışından aldıkları sinyalleri nöral iletilere aktarırlar. Kimyasal bir süreç olan bu işlem sonucunda, diğer nöronlara ait olan dendritler algıladıkları sinyalleri, bağlı oldukları nöronun somasına iletirler.

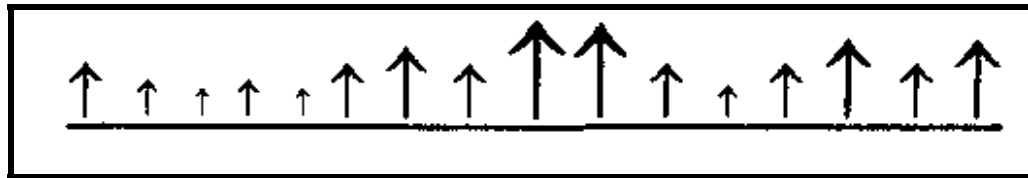
Yapay ve biyolojik sinir ağı yapılarının karşılıkları :

<i>Biyolojik Sinir Sistemi</i>	<i>YSA Sistemi</i>
Nöron	İşlem elemanı
Dendrit (mesaj algılayıcı)	Birleşim fonksiyonu
Hücre bedeni	Transfer fonksiyonu
Akson (mesaj nakledici)	Eleman çıkışı
Sinapsis	Ağırlıklar



Şekil 4.1. Biyolojik nöronun bölümleri [43]

Uyarımlar, nöron içinde Sodyum iyonları (Na^+), nöronlar arasında ise *synaptic gap* denilen bir kimyasal tarafından iletilirler. Değişkenler, dendritin algısı sırasında ilgili nöronun sinapsının geçirgenliğine göre bir çeşit ağırlık değeri ile işlenmiş olurlar. Farklı dendritlerden gelen uyarımların somada yığılması (işlemin kimyasal bir birikim olduğu düşünülürse), toplama işlemine karşılık gelir. Yeterli birikme sağlandığında hücre aktive olur. Buna hücrenin yanması da denilmektedir. Bu aynı zamanda nöronun aksonunu kullanarak uyarımı diğer nöronlara iletmesi anlamına gelir. Genelde hücrenin, aktive olsun veya olmasın, bir sinyal ürettiği gözlenir. Bu durumda da nöronun ürettiği sinyaller belli bir frekanstaki kesikli zaman sinyallerine dönüştürür (Şekil 4.2).



Şekil 4.2. Biyolojik nöronların ürettiği sinyaller

Yukarıdaki açıklamalar doğrultusunda biyolojik sinir ağlarında gerçekleşen işlemler şöyle sıralanabilir;

- Bir nöron, sinapsı aracılığıyla diğer nöronlardan gelen sinyalleri alır
- Alınan sinyaller ağırlık değeriyle işlenir
- Sinyaller somada birikir
- Belli bir değer aşıldığında hücre aktive olur (yanar) ve diğer nöronlara sinyal iletebilir
- Deneyimle sinapsın geçirgenliği değişebilir. (Yapay sinir ağlarında geçirgenlik w ağırlık değeri ile simgelenmektedir, öğrenme kavramı da bu değer değişimine karşılık gelmektedir.)

Biyolojik sinir ağlarının bir özelliği de hataları tolere edilebilme yeteneğidir. Ağın herhangi bir kısmındaki bozukluk diğer kısımlar tarafından kapatılabilir. Beyin hücrelerinin ergenlikten itibaren ölere eksilmelerine karşın hafızada veya beynin işlevlerinde kayıp yaşanmamasının nedeni de budur. Hatta hastalık, ilaç alımları, oksijensizlik gibi sıkça yaşanmasına karşın önemsiz görünen, ancak toplu hücre ölümlerine neden olan orta şiddette travmalarda bile beyinde işlev ve hafıza kaybı ortaya çıkmamaktadır. Biyolojik ağların bu özelliği, yapay sinir ağlarında da korunarak bir çok ağ yapısında (örneğin İnternet) görülen esnek ve veri kayıplarından doğacak hataları tolere edebilen yapılar elde edilmesi sağlanmaktadır.

4.4. YSA Ağ Parametreleri

YSA, nöron, hücre, düğüm gibi isimler verilen çok sayıda elemanlardan oluşur. Bu birimler birbirlerine iletişim hatları ile bağlanır ve her bir iletim hattı

ağırlık değeri ile ifade edilir; ağırlık aynı zamanda YSA'nın uygulandığı problemin çözüm yöntemine ilişkin bilgiyi de içerir.

Biyolojik sinir ağları ile benzer karakteristiğe ve yapıya sahip YSA'lar, ilk olarak nöron adı verilen ve bilgiyi işleyen bir çok birim içermesi ve sonra nöronlar arasında yer alan bağlantı yolları aracılığıyla sinyallerin bir nörondan diğerine taşınması ilkelerine dayandırılır. YSA 'nın karakterini ;

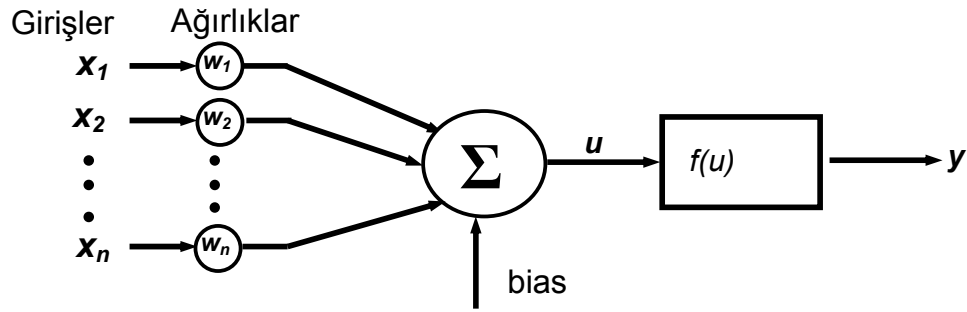
- a) Nöronların bağlantı yolları (mimari yapı)
 - b) Bağlantı yapısına göre ağırlık değerlerinin (weight) hesaplanma yöntemi (ağın öğrenme algoritması)
 - c) Transfer fonksiyonunun türü
- belirler.

4.4.1 Yapay nöron

Yapay nöron, yapay sinir ağlarının (YSA) temel elemanıdır. Nöronlar, YSA'yı oluşturan, tek başlarına ele alındıklarında çok basit işleve sahip temel işlemcilerdir [32-33]. Çalışma mantığını canlıların sinir sisteminden alan YSA'ların temel yapıtaşı, canlılarda olduğu gibi nöronlardır. İnsan beyninin korteksinde, sinir sisteminde algının ve tepkilerin şekillenmesi ile görevli yaklaşık on milyar nöron vardır ve bu nöronlar yaklaşık 60 trilyon bağlantıya sahiptir. Buna karşılık her bir nöronun iletim süresi ve tepki hızı oldukça yavaş kabul edilmektedir (0.1 m/s iletim hızı).

Nöronların her birinin kendi iç durumu aynı zamanda aktivasyon durumunu (seviyesini) belirler, bu da nöronun almış olduğu giriş sinyallerine göre bir çıkış fonksiyonu üretmesini sağlar.

Bir yapay nöronu oluşturan temel elemanlar, girişler, ağırlıklar, toplama fonksiyonu, transfer fonksiyonu ve çıkışlardır (**Hata! Yer işareti tanımlanmamış.**). Şekil 4.3'de yapay bir nöron görülmektedir.



Şekil 4.3 Yapay bir nöron

Şekil 4.3'de:

- x : Girişler,
- y : Çıkışlar,
- F : Transfer fonksiyonu,
- w : Ağırlıklar,
- b : Bias,
- Σ : Toplama fonksiyonu,
- u : Toplama fonksiyonunun çıkışını göstermektedir.

Biyolojik bir sinir ağıyla ilişki kurulursa, ağırlıklar sinapslara benzer şekilde girişlerin nöron üzerindeki etkilerini belirleyen uygun katsayılardır. Bir ağırlığın değerinin büyük olması, o girişin yapay sinire güçlü bağlanması veya bir başka deyişle önemli olması, küçük olması ise zayıf bağlanması veya önemli olmaması anlamına gelmektedir [26]. Öğrenme sırasında sürekli değişerek girdi ve çıktı arasındaki ilişkiyi yakalamaya çalışırlar.

Girişler, biyolojik bir sinirdeki dentritlere benzer şekilde, çevreden aldığı bilgileri sinire ulaştırırlar [26].

Biyolojik sinirdeki soma adı verilen hücre gövdesine benzer şekilde toplama fonksiyonu, giriş ve ağırlıkları değerlendirir. Diğer bir deyişle toplama fonksiyonu, her bir ağırlığın ait olduğu girişlerle çarpımlarının toplamını bias değeriyle toplayarak transfer fonksiyonuna gönderir (27, 32).

İlgili probleme göre değişik bağıntılara sahip olan transfer fonksiyonu, toplama fonksiyonu tarafından hesaplanan girdiyi alarak çıkışları belirler.

Bir nörondan elde edilen çıkışlar, biyolojik sinir ağlarındaki aksonlara benzer şekilde, transfer fonksiyonundan elde edilen değerin nöron dışına veya diğer nöronlara gönderildiği yerdir. Bir nöron, bir anda bir tek çıkış fonksiyonu üretilmesine karşın, çok sayıda giriş olabilir.

Bir nörona n sayıda giriş olduğu kabul edildiğinde, girişler;

$$x = \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \vdots \\ x_n \end{bmatrix}$$

olarak ifade edilebilir. Ağırlıklar ise:

$$w = [w_1 \dots w_n]$$

şeklinde yazılabilir. Aktivasyon potansiyeli, giriş işaretlerinin ve ağırlıkların lineer toplamıdır. Yani ağırlık ile giriş vektörlerinin çarpımıdır (**Hata! Yer işareti tanımlanmamış.**):

$$X = [w_1 \dots w_n] \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \vdots \\ x_n \end{bmatrix} \quad (4.1)$$

b, bias olarak alındığında toplama fonksiyonu:

$$u = \sum_{i=1}^n w_i x_i - b \quad (4.2)$$

olarak ifade edilir. Eş.4.2'de ifade edilen bu değer, bir transfer fonksiyonuna tabi tutularak çıkışlar bulunur. Bu çalışmada kullanılan logaritmik sigmoid transfer fonksiyonuna Eş.4.2 uygulanırsa bir nöronun çıkışında elde edilen değer:

$$y = F(u) = \frac{1}{1 + e^{-u}}$$

eşitliğiyle bulunur.

4.4.2. Transfer fonksiyonları

Öğrenme eğrisi olarak da adlandırılan transfer fonksiyonları, YSA'da bir nöronun elde edilen çıkış değerlerini belli bir aralıkta sınırlar. YSA' da kullanılan başlıca transfer fonksiyonları aşağıda verilmiştir. Şekil 4.4'de bu transfer fonksiyonlarının grafikleri görülmektedir. Bu çalışmada logaritmik sigmoid transfer fonksiyonu kullanılmıştır.

(a) Pozitif lineer transfer fonksiyonu

$$f(u) = \begin{cases} u & u \geq 0 \\ 0 & u < 0 \end{cases} \quad (4.3)$$

(b) Kesin sınır transfer fonksiyonu

$$f(u) = \begin{cases} 1 & u \geq 0 \\ 0 & u < 0 \end{cases} \quad (4.4)$$

(c) Simetrik kesin sınır transfer fonksiyonu

$$f(u) = \begin{cases} 1 & u \geq 0 \\ -1 & u < 0 \end{cases} \quad (4.5)$$

(d) Logaritmik sigmoid sınır transfer fonksiyonu

$$f(u) = \frac{1}{1 + e^{-u}} \quad (4.6)$$

(e) Lineer sınır transfer fonksiyonu

$$f(u) = u \quad (4.7)$$

(f) Radyal transfer fonksiyonu

$$f(u) = e^{-u^2} \quad (4.8)$$

(g) İndirgenmiş lineer transfer fonksiyonu

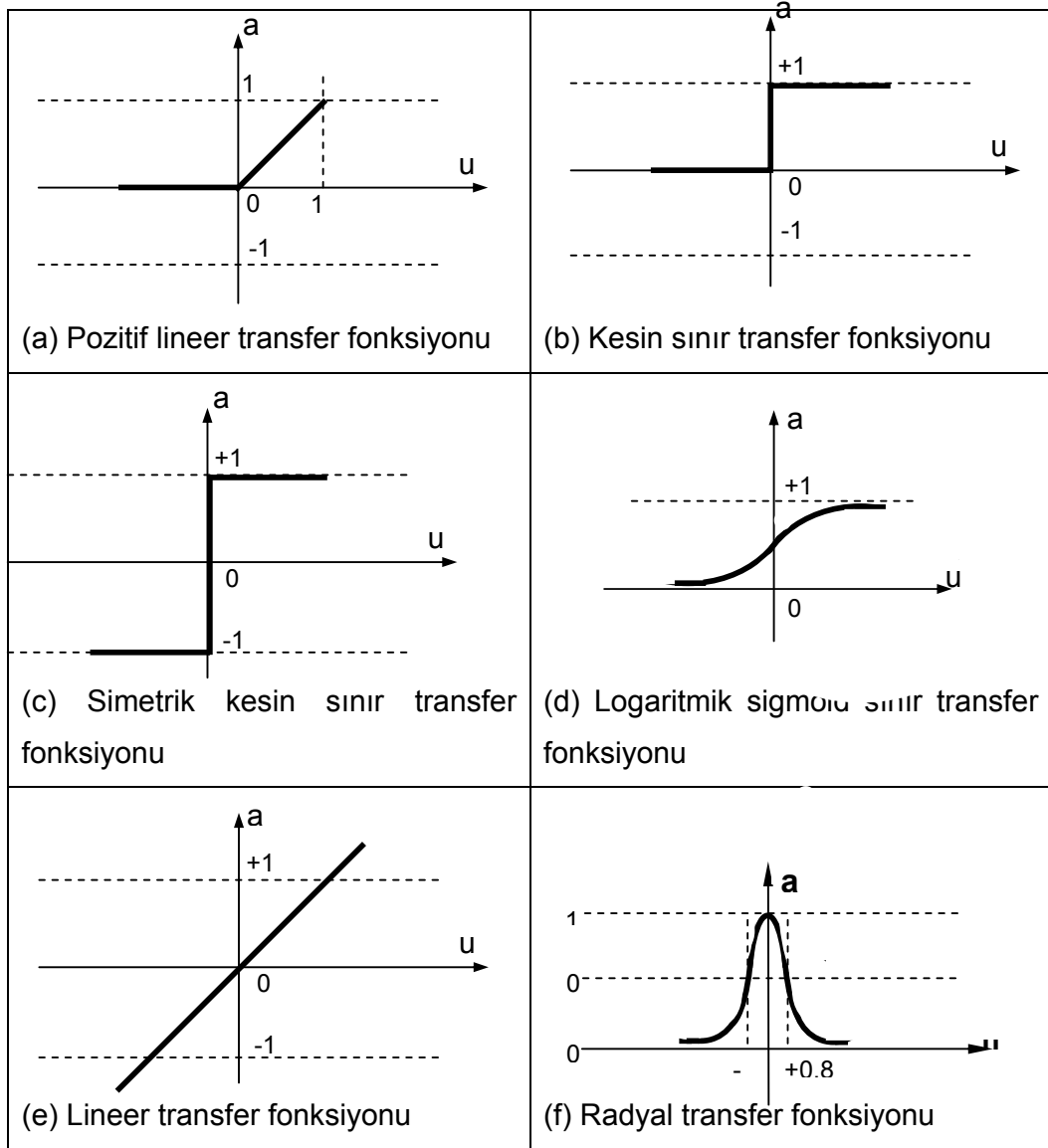
$$f(u) = \begin{cases} 0 & u \leq 0 \\ n & 0 < u < 1 \\ 1 & u \geq 1 \end{cases} \quad (4.9)$$

(h) Hiperbolik tanjant sigmoid transfer fonksiyonu

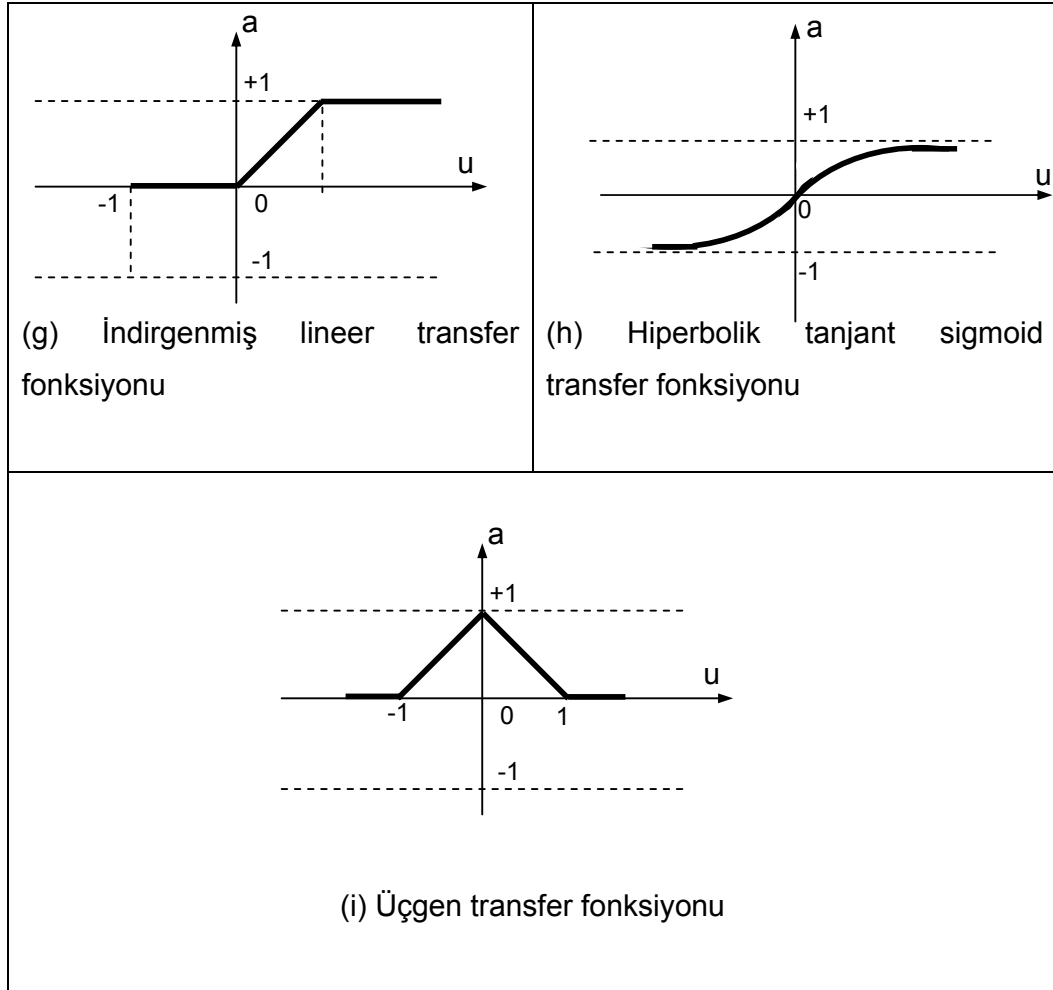
$$f(u) = \frac{1 - e^{-2n}}{1 + e^{-2n}} \quad (4.10)$$

(i) Üçgen transfer fonksiyonu

$$f(u) = \begin{cases} 1-|u| & -1 \leq u \leq 1 \\ 0 & u > 1 \\ 0 & u < -1 \end{cases} \quad (4.11)$$



Şekil 4.4. Transfer fonksiyonu çeşitleri



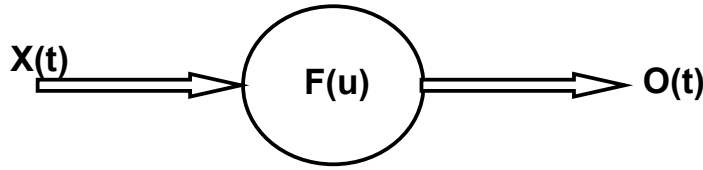
Şekil 4.4. (Devam) Transfer fonksiyonu çeşitleri

4.4.3. YSA ağ yapıları

Literatürde bir çok ağ yapısından söz edilmektedir. Ağ yapıları çeşitli şekillerde sınıflandırılabilir. Bazı kaynaklarda ileri beslemeli ağlar ve geri beslemeli ağlar şeklinde bir sınıflandırma yapılırken, bazılarında ise danışmanlı veya danışmansız şeklinde bir sınıflandırma yapılmaktadır [26-27].

İleri beslemeli ağlar:

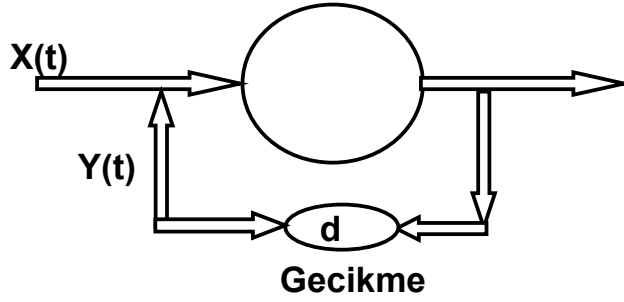
Bu ağ yapısında işlemci elemanlar genellikle katmanlara ayrılmışlardır. Sinyal iletimi, giriş katmanından çıkış katmanına doğru tek yönlü bağlantılarla yapılır. İşlemci elemanlar bir katmanla diğer katman arasında bağlantı kurarlarken, aynı katmanın kendi içinde bağlantıları yoktur. Çok katmanlı perseptronlar (multilayered perceptions) ve Learning Vector Quantization, ileri beslemeli ağlara örnek olarak verilebilir. Şekil 4.5’de ileri beslemeli bir ağın şematik görüntüsü yer almaktadır. Burada x , girişleri; $F(u)$, toplama fonksiyonunu ve o , çıkışları temsil etmektedir.



Şekil 4.5 İleri beslemeli ağ

Geri beslemeli ağlar:

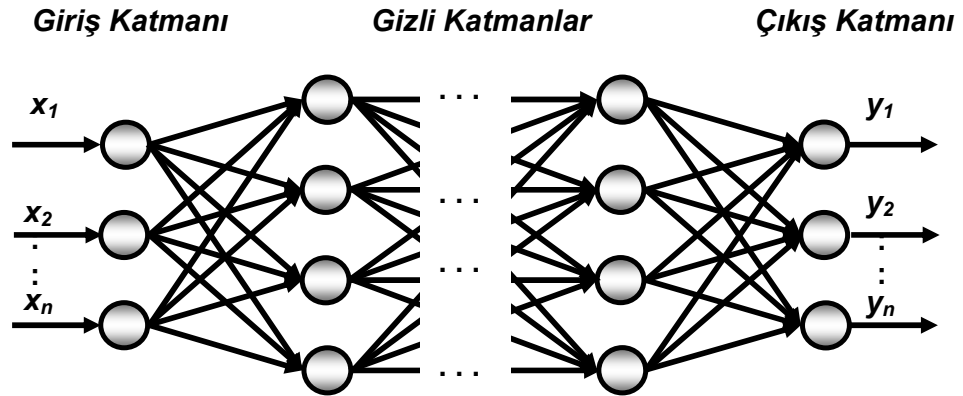
Böyle bir ağ yapısında, çıkış katmanındaki veya ara katmanlardaki çıkış değerlerinin giriş değerleriyle bağlantılı olması yada kendisinden önceki ara katmanlara geri beslenmesi söz konusudur. Böylece beslenme hem ileriye hem de geriye doğru olur. Şekil 4.6’da görüldüğü gibi, bu ağ sınıfında bir andaki çıkış hem o andaki hem de önceki girişlerin karakteristiğini yansıtır. Hopfield, Elman ve Jordan ağları geri beslemeli ağlara örnek olarak verilebilir.



Şekil 4.6 Geri beslemeli ağ

Çok katmanlı perseptronlar

Şekil 4.7'den görüldüğü gibi çok katmanlı bir perseptron sinir ağı, bir giriş katmanı, bir veya daha fazla ara katman ve bir çıkış katmanından meydana gelir.



Şekil 4.7. Çok katmanlı bir yapay sinir ağı

Çok katmanlı bir sinir ağı, bütün katmanlarda bir veya daha fazla nöron içerebilir. Bir nöronun çıkış değeri, n sayıda giriş olduğu kabulüyle, w ağırlıkları temsil etmek üzere:

$$y = f\left(\sum_n w_n x\right)$$

eşitliğiyle hesaplanır. Bir katmandaki işlem elemanlarının tamamı bir üst katmandaki işlem elemanlarına bağlıdır. Bilgi akışı ileri beslemeli olup geri yönde besleme yapılmaz. Bu özelliğinden dolayı çok katmanlı perseptronlar ileri beslemeli sinir ağı olarak bilinmektedir. Giriş katmanında, toplama veya transfer fonksiyonu uygulanması gibi bilgi işleme yapılmamaktadır. İşlem elemanlarının sayısı, tümüyle ele alınan problemin giriş sayısına göre değişir. Ara katman ve nöron sayısı ise denem yanılma yapılarak belirlenir. Çıkış katmanındaki eleman sayısı yine uygulanan probleme bağlıdır.

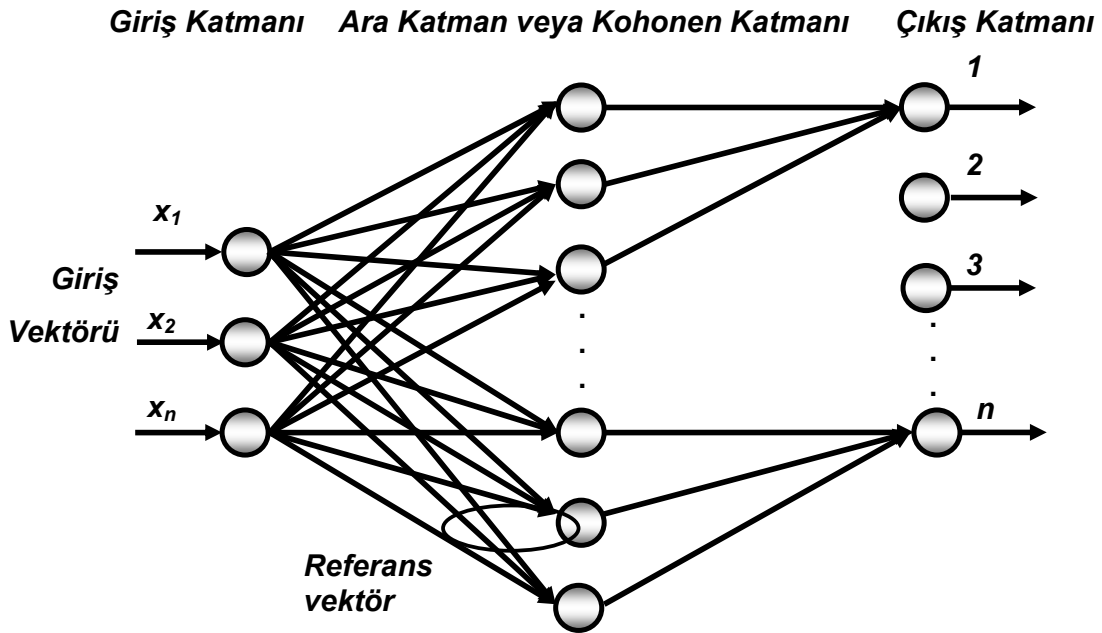
Bu ağı eğitilmesinde çok sayıda öğrenme algoritması uygulanabilir. Bu özellik bu ağı yaygın şekilde kullanılmasını sağlamıştır. Çok katmanlı perseptron ağına uygulanan bir örnek ve sonuçta bu örnek için elde edilmesi gereken çıktı ağıya tanıtılır. Bir çok örneğin bu şekilde tanıtılmasıyla, elde edilen değerler istenilen değerlerle karşılaştırılır. İstenen ve elde edilen değerler arasındaki hata hesap edilir ve uygun bir öğrenme algoritmasıyla bu hata geriye doğru yayılır.

Vektör kuantamalı öğrenme

Kohonen tarafından geliştirilen ve aynı zamanda Kohonen ağı olarak bilinen bu ağı Şekil 4.8’de verilmiştir.

Bu ağı yapısında giriş katmanı ile ara katmanlar arasındaki bütün nöronların birbirleriyle bağlantısı vardır. Ara katman ile çıkış katmanı arasında ise her bir çıkış nöronuna farklı sayıda nöron grupları bağlantılıdır. Ara katman ile çıkış katmanındaki nöronlar arasındaki ağırlıklar ‘1’ değerine sabitlenmiştir. Giriş katmanı ile ara katman arasındaki nöron bağlantı ağırlıkları referans vektör olarak adlandırılır. Her bir nöron için bir referans vektörü tanımlanır. Bu ağırlıklar ağı öğrenmesi sırasında değiştirilir. Çıkış katmanı ve ara katman nöronları ikili çıkışlara sahiptir. Bir giriş vektörü ağıya uygulandığında, giriş vektörüne en yakın ara katman nöronu referans vektörün aktive edilme

yarışını kazanır ve '1' çıkışını verir. Diğer bütün nöronların '0' olması yönünde baskı uygulanır. Çıkış nöronuna bağlı olarak, kazanan nöron grubuna '1' ve diğer bütün çıkış nöronlarına '0' değerleri atanır. '1' değerleri üreten çıkış nöronu, her farklı sınıfı ifade eden her bir giriş nöronu giriş vektörünün sınıfını verir. Temel vektör quantalamalı öğrenme ağı eğitme işlemi aşağıda belirtilen sırada gerçekleşir:



Şekil 4.8. Üç katlı vektör kuantalamalı öğrenme ağı

- i) Referans vektörün ağırlıklarına W_i başlangıç değeri atanır.
- ii) Eğitim için giriş vektör X ağıya tanıtılır.
- iii) X ve W_i arasındaki mesafe hesaplanır (Bu mesafe $||W_i - X||$ 'dir).
- iv) Giriş vektörüne en yakın yarışmayı kazanan ara katmandaki nöronun vektör ağırlığı ($\hat{W}$) güncelleştirilir. Diğer nöronlar giriş vektörünün belirtilen sınıfa ait olduğu çıkış nöronuna ait grupta iseler, Eş.4.12'deki gibi referans vektör giriş vektörüne daha da yakınlaştırılır. Aksi takdirde referans vektörü giriş vektöründen Eş.4.13'deki gibi uzaklaştırılır.

$$\text{Yeni } \hat{W} = \hat{W} + \lambda(X - \hat{W}) \quad (4.12)$$

$$\text{Yeni } \hat{W} = \hat{W} - \lambda(X - \hat{W}) \quad (4.13)$$

Eş 4.12 ve Eş.4.13'deki λ , öğrenme katsayısıdır.

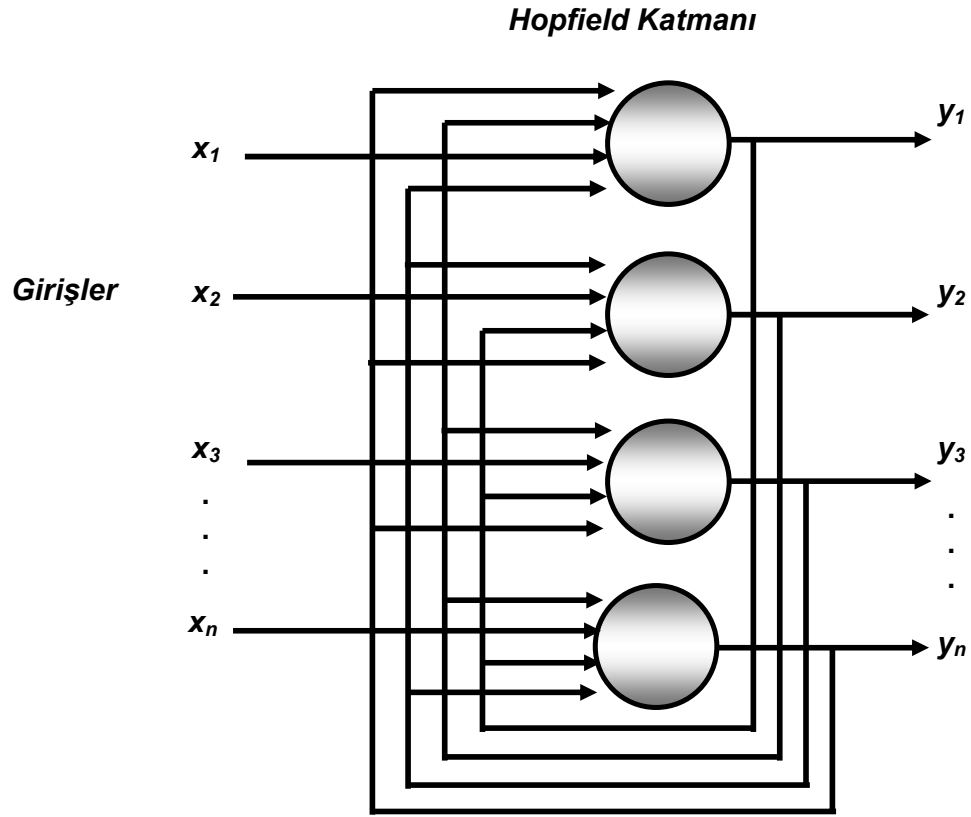
Hopfield ağı

Bu ağ genellikle ikili (0 veya 1) ve bipolar (+1 veya -1) girişler kabul eder (Şekil 4.9). İşlemci elemanları tek katmanda toplanmıştır ve her işlem elemanı bir diğeri ile bağlantılıdır. İşlemci elemanın kendisiyle bağlantısı yoktur. Bu durum Eş 4.14 ve Eş.4.15'de matematiksel olarak verilmiştir.

$$w_{ij} = w_{ji} \quad (4.14)$$

$$w_{ii} = 0 \quad (4.15)$$

Giriş birimlerinin eşzamanlı olarak güncellenmesi, enerji fonksiyonunun minimize edilmesini sağlar. Öğrenme sırasında, ağırlıklar bir öğrenme algoritması uygulanarak değiştirilir. Karar verme aşamasında, bilinmeyen değerler $t = t_0$ anında ağa tanıtılır. Ağ bundan sonra iteratif olarak diğer aşamaları uygular. Çıkış değerleri değişmediği anda iterasyon durdurulur ve öğrenme başarılı olmuştur denir. Hopfield ağının öğrenme aşamaları şunlardır:



Şekil 4.9 Hopfield ağı

a) Bağlantı ağırlıklarının tanıtılması:

$$i \neq j \text{ olmak üzere } w_{ij} = \sum_{k=0}^{M-1} x_{ik} x_{jk} \quad (4.16)$$

Burada $i=0, j=M-1, w_{ij}$, i düğüm noktasından j düğüm noktasına kadar bağlantı ağırlıkları ve x_{ij} , k grubundaki j 'ninci elemandır.

b) Bilinmeyen girişlerin ağa verilmesi

$$1 \leq i \leq N \text{ olmak üzere } y_i(t) = x_i \quad (4.17)$$

Burada $y_i(t)$, t anında i düğüm noktasının çıkışı ve x_i , i'ninci giriş elemanıdır.

c) Aşağıdaki eşitlik kullanılarak, iterasyon yapılması:

$$net_i(t) = x_i + \sum_{j=1}^N y_j(t)w_{ij} \quad (4.18)$$

$$y_i(t+1) = \begin{cases} +1 & net_i \geq 0 \\ -1 & net_i < 0 \end{cases} \quad (4.19)$$

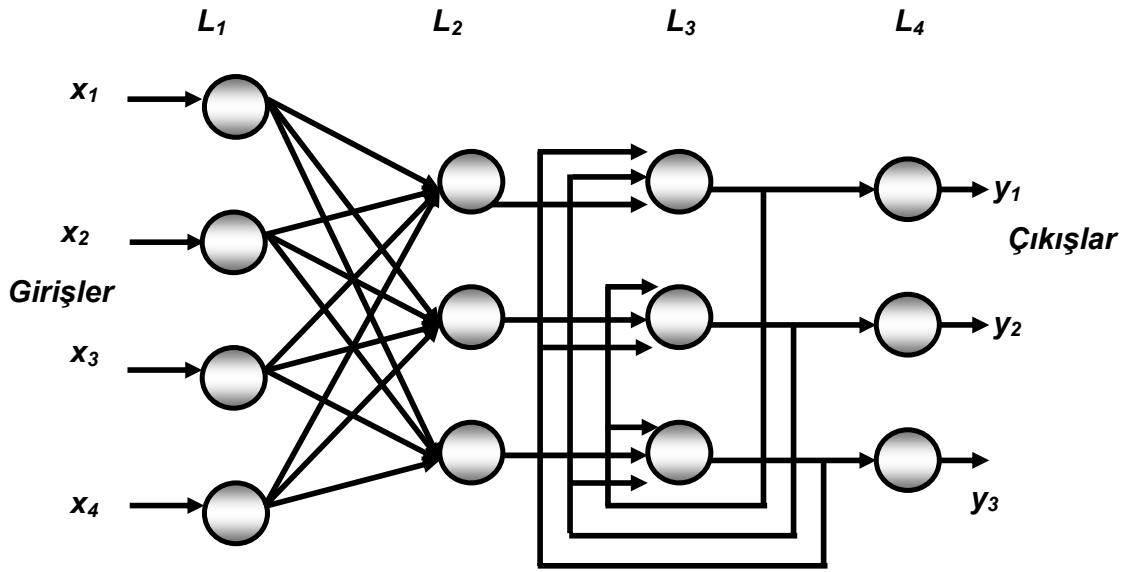
Sonuçta elde edilen çıktı değeri, gerçek değerle karşılaştırılarak iterasyonun bitirilmesine veya devam ettirilmesine karar verilir.

Hamming ağı

Bu ağlar Hopfield ağına benzer yapıdadırlar. Hamming ağı, her bir grup için gerçek değerle arasındaki mesafeyi hesaplar ve bu gruplar arasından en küçük mesafeyi seçer. Şekil 4.10'da bir Hamming ağı verilmiştir. Bu ağ dört katmandan meydana gelir. L_1 katmanı, giriş katmanını gösterir. L_2 katmanı, eşleştirme sonuçlarını hesaplar. L_1 ve L_2 katmanları arasındaki ağırlıklar, gerçek giriş elemanlarına karşılık gelen değerlerle benzerlik gösterir. Giriş değerlerinin sayısı, giriş vektöründeki elemanların sayısını temsil eder. L_1 , L_2 ve L_3 katmanlarındaki nöron sayıları eşittir. L_3 katmanındaki nöronlar, Hopfield ağına benzer şekilde geri besleme bağlantılarına sahiptir. L_1 ve L_2 katmanları arasındaki bağlantı ağırlıkları, W matrisinin w_{ij} nöronlarını temsil eder ve L_3 katmanındaki geri besleme bağlantıları T matrisinin t_{ij} nöronlarını gösterir. Her bir katmandaki bir sonraki vektörler, ağırlık matrislerini de gösterirler. Verilen herhangi bir giriş için L_2 katmanının değerleri hesaplanır. L_2 katmanından elde edilen sonuçlar L_3 katmanına giriş olarak verilir. Daha sonra giriş katmanındaki değerler silinir. L_3 katmanı, sadece bir nöron pozitif

oluncaya kadar iterasyon yapar. L_4 katmanı çıkışların elde edildiği katmandır. L_4 katmanındaki her bir nöron bir kategoriye temsil eder. Giriş vektörleri, en iyi çıkış değerini veren kategori için ayrılır. Hamming ağı üç yönden Hopfield ağından avantajlıdır:

- a) Hamming ağı, tanıtılan problemde daha iyi performans sağlar,
- b) Hamming ağı, aynı sayıda giriş vektörleri için oldukça az bağlantı içerir,
- c) Hamming ağı, istenilen değerlere ulaşılmadı şeklinde bir sonuç vermez.

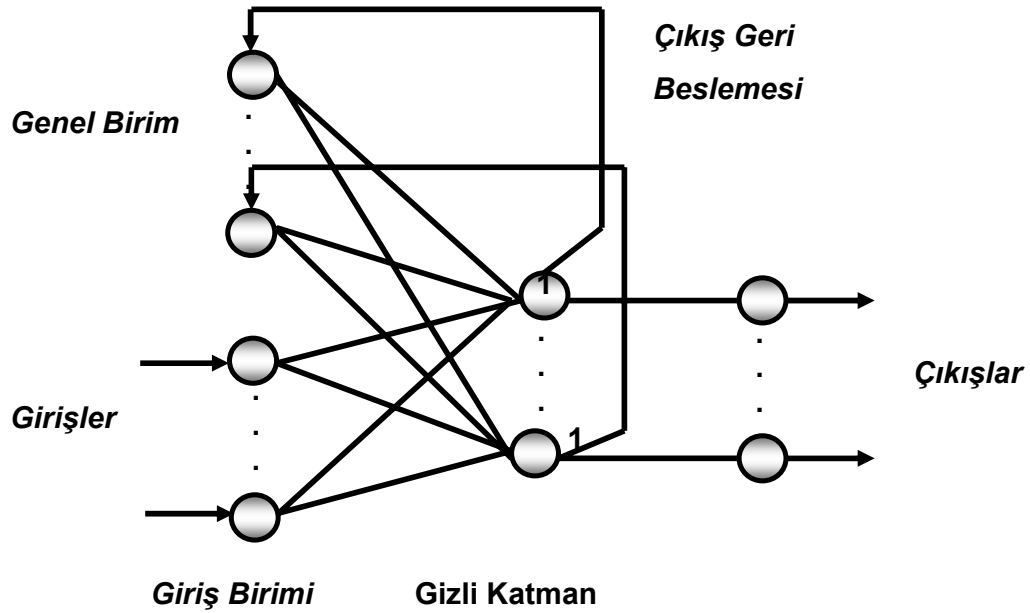


Şekil 4.10 Hamming ağı

Elman ve Jordan ağları

Bu ağlar çok katmanlı perseptronlara benzer yapıdadırlar ve çok katmanlıdırlar. Bu ağlarda gizli katmanın yanında durum katmanı denilen özel bir gizli katman yer alır. Bu katman gizli katman ve çıkış katmanı ile geri besleme şeklinde bağlantılara sahiptir. Jordan ağı aynı zamanda durum

katmanındaki her nörondan kendisine bir bağlantı mevcuttur. Her iki ağda da durum katmanındaki nöronların çıkışları ileriye doğru gizli katmana verilmektedir. Şekil 4.11'de Elman ağı ve Şekil 4.12'de Jordan ağı görülmektedir.

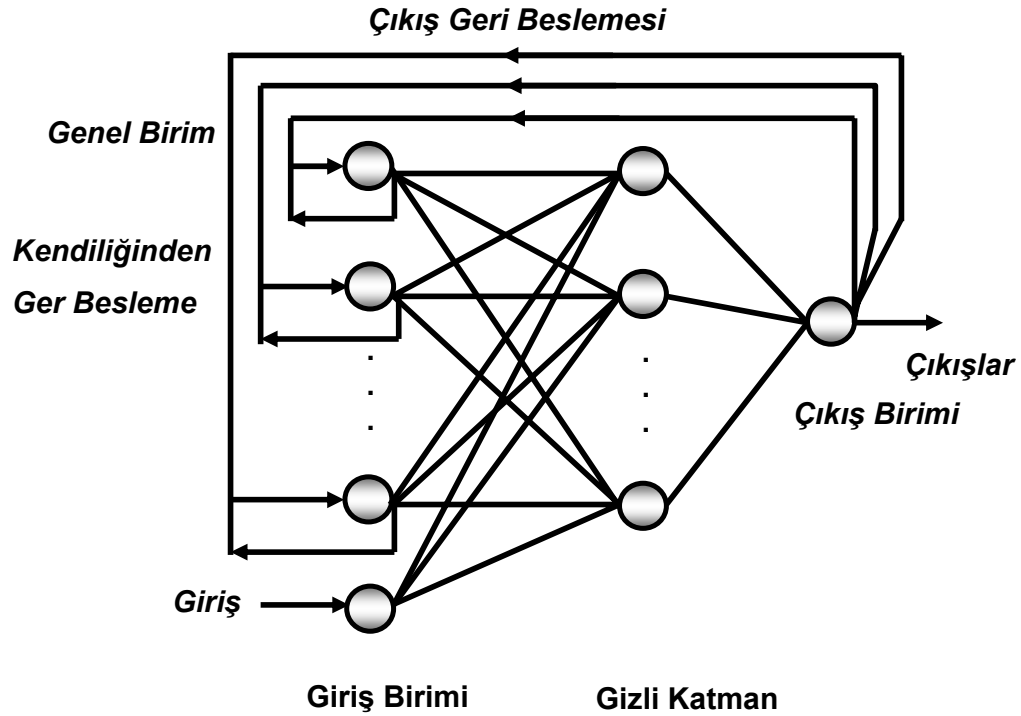


Şekil 4.11 Elman ağı

4.4.4. YSA öğrenme algoritmaları

YSA' yı diğer yapay zeka yöntemlerine göre üstün ve çekici kılan, hiç kuşkusuz öğrenme yeteneğidir. Yapay sinir ağları, birbiri ile eş zamanlı olmaları gerekmeden, kendi başlarına ve diğerlerinden bağımsız çalışabilen nöronlardan oluşmaktadır. YSA, verilerini gerçek dünyadan, hemen hemen doğrudan almaktadır. Girişler, gerçek dünyadan gerek kaynakları gerekse iletim organları nedeniyle birebir eşleştirme yapılmasına imkan tanımayacak şekilde elde edilirler. Bu nedenle girişlerin incelenmesinde temel ölçüt,

çoğunlukla benzerlik olmaktadır. Ağın öğrenme yeteneği aslında, anımsama veya benzerlikten yararlanarak hatayı ayırt etme yeteneğidir [40-42].



Şekil 4.12 Jordan ağı

Öğrenmenin temel koşulu öğrenilecek modelin ağı tanıtilmesini sağlamaktır. Öğrenme işlemi, ağın karakterini ve mimarisini belirlemede önemli rol oynayan ağırlık değerlerinin değişimi ile gerçekleşir. Ağırlık değerlerinin değişimi ile ağ istenen değeri çıkışta doğru şekilde verecektir. Eğer ağ çıkışta istenen değerlere ulaşamıyorsa, ağırlık değerlerinin değiştirilmesi gerekir. Öğrenme sürecine denk gelen bu değişim iteratif bir süreçtir ve istenen değerlere ulaşıldığında sona erer. Öğrenme tamamlandığında elde edilen ağırlık değerleri, problemin çözümünde optimum çözümün elde edilmesini sağlayacak olan değerlerdir. Ağırlık değerleri ulaşılan değerlerde sabitlenerek, bilinmeyen durumlar (girişler) karşısında ağın kendi kendine karar vermesi sağlanır.

Öğrenme yöntemleri genel olarak iki grupta incelenir;

i. Danışmanlı öğrenme : Çıkış değerinin bir dış kriter ile karşılaştırıldığı öğrenme şeklidir. Bu yöntemde, gerçek çıktı değeri YSA'ya tanıtılır ve böylece YSA'nın çıktı değeri ile birlikte ağırlık değerlerinin değişimi sağlanarak öğrenme gerçekleştirilir.

ii. Danışmansız öğrenme : Çıkış değeri herhangi bir dış kriter ile karşılaştırılmaz. Bu yöntemde, çıktı değeri YSA'ya verilmez. Bunun yerine çıkışta elde edilen değer "iyiliği" derecelendirilir. Daha iyi bir değere ulaşıncaya kadar iterasyon sürdürülür.

Geri beslemeden yararlanmak da yapay sinir ağlarının öğrenmesini kolaylaştıran veya iyileştiren bir yöntemdir. Tanımlanan modelin veya kimi argümanlara ait verilerin, ağ tarafından öğrenilmesi için, çıkış katmanından bazı katmanlara geri besleme yapılması gerekebilir. Geri besleme hem danışmanlı hem de danışmansız öğrenmede uygulanabilir. Genellikle çıkışta elde edilen değerden yararlanarak hesaplanan hata fonksiyonunun, ara katmanlardan birine uygulanması yolu ile gerçekleştirilir. En önemli özelliği işlem sürecini hızlandırmasıdır.

Öğrenme başlamadan önce uygun bir ağ topolojisi seçilerek öğrenme oranı ve momentum katsayısı gibi parametrelerin değerleri belirlenmelidir:

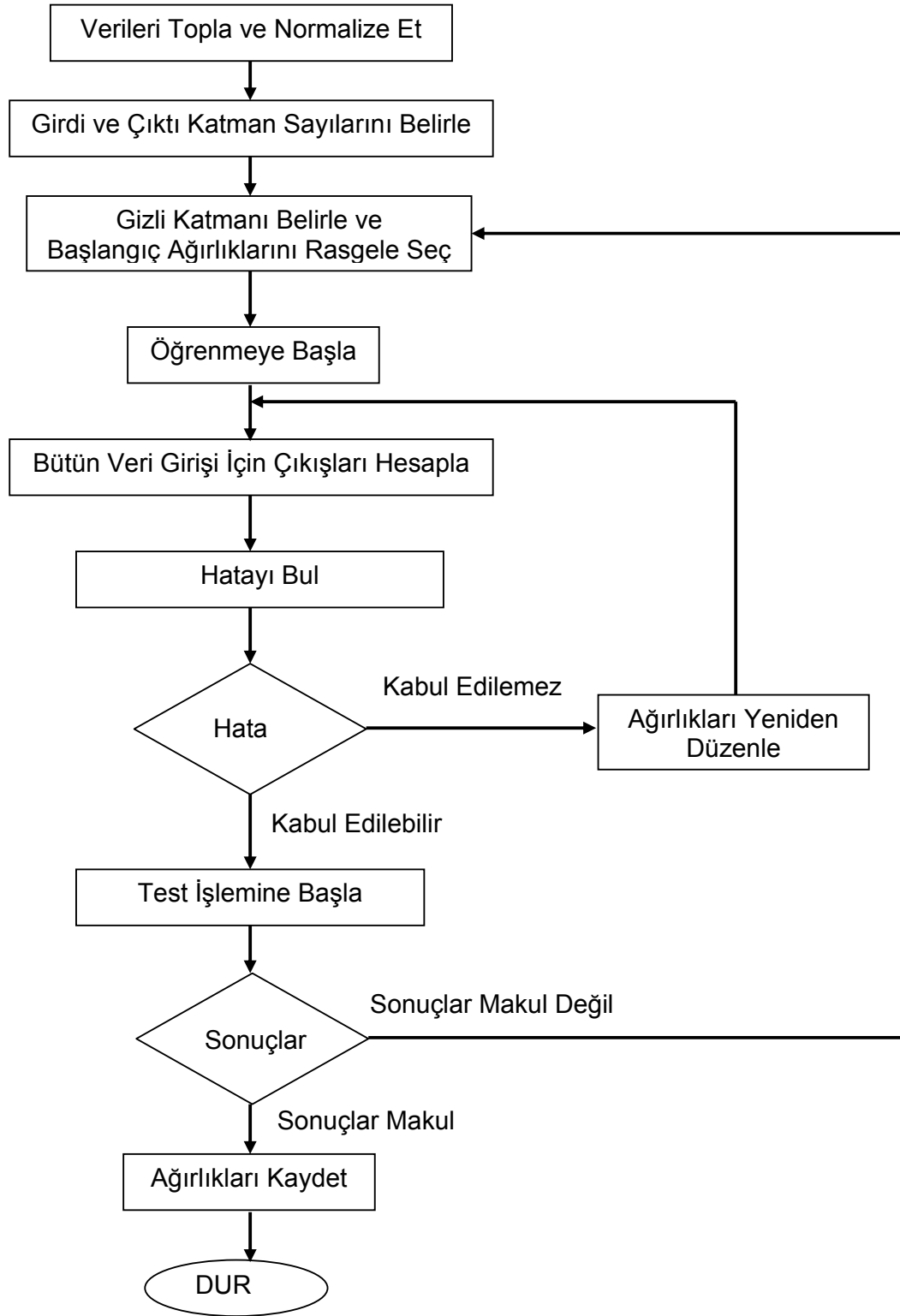
i) Öğrenme oranı (λ), bağlantıların ağırlık değerlerindeki değişim miktarını belirler. Sıfır ile bir arasında değer alan bu oran büyüdükçe, değişim miktarını arttıracaktır veya tersi de doğrudur. Öğrenme oranının çok büyük değerli istikrarsızlık ve kararsızlığa, çok küçük değerleri ise öğrenme prosesinin kabul edilemeyecek şekilde yavaşlamasına sebep olur. Bazı durumlarda λ değerinin yüksek alınarak global minimuma ulaşmak için kademeli olarak azaltılabilir .

ii) *Momentum katsayısı* (α), ağıın daha hızlı toparlanmasına yardım eden bir faktördür. Daha önceki değişim bir kısmını hali hazırdaki değişime eklemek şeklinde ifade edilebilir. 0 ile 1 arasında değerler alabilen α katsayısının yüksek değerleri genellikle öğrenme işleminin hızlanmasına sebep olacaktır.

iii) *Bias*, sabit aktivasyon değeri ile (1'e eşit) özel işlem elemanıdır. Bir geriye yayılma ağıında bias girdileri kullanılarak aktivasyon fonksiyonunun orijini dengeye getirilmeye çalışılır. Bu ise, daha iyi öğrenmeye sebep olur

YSA' lar çalıştırıldığı zaman takip edilen metodoloji Şekil 4.13' de görülmektedir. Önce YSA' yi test etmek için veya çalıştırmak için kullanılan veriler oluşturulmalı ve seçilmelidir. Bu veriler toplandığı zaman, eğitim ve test datalarına ayrılmalıdır. Eğitim datasının, bütün çalışma aralığını kapsamaması gerekir. Eğer belirli şartlar için veri yoksa, bu girişler için ağıın çıkışı doğru sonuç vermez. Eğitim ve test datalarının içine verinin bölünmesi, bu öğrenme işleminin önemli bir bölümüdür. Eğitim datası belirlendiği zaman, YSA' nın yapısını seçmek gerekir. Eldeki örnek sayısı ve girdi/çıkış katmanındaki değişkenler dikkate alınarak gizli katmandaki nöron sayısı belirlenir. Ağı yapısı seçildikten sonra ağırlıklar ve biaslar rasgele atanır ve ağı çalıştırılır. Ağı, aşağıdaki nedenlerden bir veya bir kaçı yüzünden hedef hataya ulaşamayabilir.

- 1) Eğitim belirli bir hatada takılmış olabilir. Bir başka ifadeyle, rasgele atanan ağırlıklar iyi seçilmemiştir.
- 2) Ağı istenilen giriş-çıkış modeline uyum sağlamak için yeterli gizli katman nöronuna sahip değildir .
- 3) İstenilen dönüşümü sağlamak için çalışma verisinde yeterli bilgi yoktur. Yani, alınan örnekler yeterli değildir.



Şekil 4.13. Bir geri yayımlı öğrenme algoritmasında takip edilen metodoloji

Bir durumunda, ağırlıklar ve biaslar değiştirilir ve çalışma tekrar başlar. İkinci durumda, fazladan nöronlar veya katmanlar eklenir ve ağ çalışmasına tekrar başlanır. Üçüncü durum için daha fazla veri toplanır ve eğitim tekrar başlatılır.

İstenilen hataya ulaşıldığında elde edilen ağırlıklar kullanılarak test datası kontrol edilir. Test verileri, eğitim verilerini temsil etmesi gerekir. Test etme ağı, hata hesaplama ve ağa ait test verisini içerir. Eğer hedef hataya ulaşırsa çalışma tamamlanır. Eğitim ve test etme için ayrılan veri yeterli değilse, verinin tekrar oluşturulması gerekir. Eğer ağ birkaç test datasına iyi cevap vermezse o veri eğitim datasına eklenir ve ağ tekrar çalıştırılır. Bu işlem ağın performansı kabul edilebilir oluncaya kadar devam eder. Eğitim datasının çalışılan bölgeyi kapsamaması gerekir, çünkü YSA'nın performansı eğitime datasının dışına taşamaz. Bu yetenek ağın tahmin etme yeteneği olarak adlandırılır ve buna göre ağın çalıştırıldığı bölgenin dışında doğru olarak çalışması asla beklenemez.

Geriye Yayılım (BP) algoritması

Öğretme algoritmaları arasında, belirgin bazı avantajlarının olması bu algoritmanın uygulamalarda çok yaygın olarak kullanılmasını sağlamıştır. Kolay anlaşılması ve matematiksel olarak kolayca ispatlanabilir olması en çok tercih edilen öğretme algoritması olmasını beraberinde getirmiştir. Bu algorithmada hatalar çıkış katmanından giriş katmanına doğru geriye yönelik olarak azaltılmaya çalışılmasından dolayı bu algoritma geriye yayılım ismini almıştır.

Geriye yayılım algoritması, eğitimde eğitim azalan ve çok katmanlı perseptronları en çok kullanılan temel bir öğrenme algoritmasıdır. Bu algoritmanın uygulanması, başlangıç ağırlıklarının rasgele seçilmesiyle başlar. Öğrenmeye başladıktan sonra problemin niteliğine göre önceden hazırlanmış giriş verileri giriş katmanına tanıtılır. Daha sonra işlemci

elemanları üzerinden çıkış değerleri hesaplanır. Bu çıkışlar kullanılarak yapılan hata bulunur. Hatanın kabul edilemez olduğu durumda, eğim azaltma ile ağırlıklar yeniden düzenlenir ve giriş katmanına yeniden tanıtılır. Eğer hatalar kabul edilebilir sınırlar içinde ise test işlemine başlanır. Öğretme veya test giriş setindeki veriler, yapay sinir ağının giriş katmanına uygulanır. Daha sonra işlemci eleman üzerinden çıkış verileri hesaplanır. İstenilen değerler ile ağın gerçek çıkışı karşılaştırılır. Yapılan hata kabul edilebilir sınırlar içinde ise giriş setinin uygun olduğuna karar verilir ve test işlemi durdurulur. Aksi takdirde giriş seti değiştirilerek ağın giriş katmanına yeniden tanıtılır. Bu algoritma ile i ve j 'nci katmandaki işlem elemanları arasında ağırlıkların $\Delta w_{ji}(t)$ değişikliği Eş. 4.20'den hesaplanır.

$$\Delta w_{ji}(t) = \lambda \delta_j x_j + \alpha \Delta w_{ji}(t-1) \quad (4.20)$$

Eşitlik 4.20'de λ öğretim katsayısı, α momentum katsayısı ve δ_j ara veya çıkış katmanındaki herhangi bir i nöronuna ait bir faktördür. Çıkış katmanında bu faktör Eş.4.21'den hesaplanır.

$$\delta_j = \frac{\partial f}{\partial net_j} (y_j^{(t)} - y_j) \quad (4.21)$$

Eş.4.21'deki net_j ifadesi Eş. 4.22'den bulunur.

$$net_j = \sum x_j w_{ji} \quad (4.22)$$

Ara katmanlardaki nöronlar için herhangi bir hedef çıkış olmadığından, Eş.4.21 yerine Eş.4.23 kullanılır.

$$\delta_j = \left(\frac{\partial f}{\partial net_j} \right) \sum w_{qi} \delta_q \quad (4.23)$$

Çıkış veya ara katman göz önünde bulundurularak, δ_j faktörü çıkış katmanından başlayarak bütün katmanlardaki nöronlar için hesaplanır. Daha sonra Eş.4.20'den bütün bağlantılar için ağırlıkların güncelleştirilmesi gerçekleştirilir.

Bu bir dereceli azalma algoritması olup, çok katmanlı perseptron ağ yapılarını eğitmede kullanılan bir algoritmadır. Temelde istenilen çıkış ile ağ çıkışı arasındaki hatanın ağırlıklara bağlı olarak düşürülmesi prensibine dayanır. λ ve α değerlerinin seçimi başarılı ve hızlı bir eğitim süreci için önemlidir. Geri yayılım öğrenme işlemi, bu iki katsayıdan fazlaca etkilenmektedir. Bu katsayılar için uygun değerlerin seçilmesi deneysel olarak belirlense de bu değerler, uygulama ve problemin niteliğine bağlıdır. Öğrenme katsayısı için tipik değerler, 0.01 ile 0.9 arasında değişir. Karmaşık ve zor çalışmalar için küçük değerler seçilir.

Esnek Yayılım (Resilient Propagation-RP) algoritması

Bu öğrenme algoritması, çok katmanlı perseptron ağ yapılarında, genellikle ara katmanlarda sigmoid transfer fonksiyonu kullanır. Sonsuz genişlikteki bir aralıkta yer alan giriş değerlerini sınırlı bir aralığa sıkıştırıldığı için bu fonksiyonlar sıkıştırıcı fonksiyonlar olarak adlandırılmaktadır. Sigmoid fonksiyonlar, eğimleri çok büyük giriş değerleri için sıfıra yakınsayacak şekilde karakterize edilirler. Bu ise ağırlık ve bias değerleri henüz optimum değerlere erişmemişken çok katmanlı YSA'da sigmoid transfer fonksiyonlarının kullanılmasından dolayı eğitim değerinin çok yavaş değişebilme olasılığı karşısında, yüksek eğitim azaltma ile öğrenmede problemlere neden olur. Bu öğrenme algoritmasının amacı, kısmi türevlerin olumsuz etkilerini öğrenme sürecinden uzaklaştırmaktır. Ağırlıkların güncelleştirilme yönü için sadece türevlerin işaretleri kullanılır. Ağırlıkların güncelleştirilmesinde türev değerinin öneminin olmaması bu algoritmayı

diğerlerinden ayıran en önemli özelliğidir. Bu özelliği esnek yayılım algoritmasına hızlı çözüme ulaşma yeteneği kazandırmıştır.

Ağırlıkların değişimi, her adımda hata fonksiyonu $E(k)$ 'nin ağırlık değişim değeri $A_{ji}(k)$ 'nin bulunmasıyla başlar. Ağırlıklardaki değişim ise Eş.4.24'den hesaplanır.

$$\Delta w_{ji}(k) = \begin{cases} -A_{ji}(k), & \text{eğer } B(k) > 0 \\ +A_{ji}(k), & \text{eğer } B(k) < 0 \\ 0, & \text{eğer } B(k) = 0 \end{cases} \quad (4.24)$$

Burada $B(k)$, Eş.4.25'den, $A_{ji}(k)$ ise Eş.4.26'den hesaplanır.

$$B(k) = \frac{\partial E}{\partial w_{ji}}(k) \quad (4.25)$$

$$A_{ji}(k) = \begin{cases} \eta A_{ji}(k-1), & \text{eğer } B(k-1)B(k) > 0 \\ \mu A_{ji}(k-1), & \text{eğer } B(k-1)B(k) < 0 \\ A_{ji}(k-1), & \text{eğer } B(k) = 0 \end{cases} \quad (4.26)$$

Burada $B(k-1)$, Eş.4.27'den hesaplanır ve η ve μ sırasıyla $0 < \mu < 1 < \eta$ arasında artma ve azalma faktörleridir.

$$B(k-1) = \frac{\partial E}{\partial w_{ji}}(k-1) \quad (4.27)$$

Ardışık iki iterasyonda, performans fonksiyonu ile türev işaretleri aynı ise her bir ağırlık ve bias değeri için güncelleme faktörü değeri, 1'den büyük bir katsayı ile çarpılır. Eğer farklı işaretler söz konusu ise güncelleme faktörü değeri 1'den küçük bir katsayı faktörü kadar azaltılır. Türev değeri sıfır ise güncelleme değeri sabit kalır. Ağırlıklar salınım yaptığında, ağırlık değişimi

azalacaktır. Eğer ağırlıklar bir kaç iterasyon boyunca aynı yönde değişim gösterirse ağırlık değişimi artar. Bu öğrenme algoritması genel olarak standart yüksek eğim azaltma algoritmalarından çok hızlıdır. Hafızada eski değerlerin saklanması gerektirmez.

Delta-Bar-Delta (DBD) öğrenme algoritması

Bu algoritma, çok katmanlı perseptronlarda bağlantı ağırlıklarının yakınsama hızını artırmak için kullanılan sezgisel bir yaklaşımdır. Deneysel çalışmalar, ağırlık uzayının her boyutunun tüm hata yüzeyi açısından tamamen farklı olabileceğini göstermiştir. Hata yüzeyindeki değişimleri açıklamak için, özellikle, ağırlık her bağlantısı kendi öğrenme katsayısına sahip olmalıdır. Bu düşünce, tek ağırlık boyutu için uygun adım büyüklüğü, tüm ağırlık boyutları için uygun olmayabilir. Her bir bağlantıya bir öğrenme katsayısı atanırsa ve bu katsayı zamanla değişirse, yakınsama zamanı azaltılır ve daha çok serbestlik derecesi sağlanmış olur.

İleri beslemeli YSA yapıları çoğu zaman karmaşıktırlar. Ağdaki her bağlantı için en uygun öğrenme katsayısı kümesini belirlemek oldukça zaman alıcı olabilir. Eğimin geçmişteki değerlerini kullanarak, yerel hata yüzeyinin eğimini çıkarmak için sezgisellik uygulanabilir. Bir bağlantı için ağırlık değişimlerinin işareti, birkaç ardışık zaman adımları sırayla değiştiğinde, bağlantı için öğrenme katsayısı azalmalıdır. Bağlantı ağırlık boyutu, hata yüzeyi ile ilgili büyük bir eğriliğe sahiptir. Bağlantı ağırlık değişimleri bir kaç ardışık zaman adımları için aynı işarete sahip olduğundan bağlantı için öğrenme oranı arttırılmalıdır. Ağırlık boyutu hata yüzeyi ile ilgili küçük bir eğime sahiptir ve yüzey önemli bir mesafe için aynı doğrultudaki eğime göre devam eder.

Standart geri yayılım algoritmasında eğim bileşeni Eş.4.28'deki gibi verilir.

$$\delta(k) = \frac{\partial E(k)}{\partial w(k)} \quad (4.28)$$

Burada $E(k)$, k anındaki hata değerini, $w(k)$ bağlantı ağırlığını ve $\delta(k)$ ise ağırlık değişiminin eğim bileşenini göstermektedir. Standart geri yayılım algoritmasında bağlantı ağırlığı Eş.4.29 kullanılarak güncelleştirilir:

$$w(k+1) = w(k) + \alpha \delta(k) \quad (4.29)$$

Burada α , sabit öğrenme katsayısıdır. Delta-Bar-Delta öğrenme algoritmasında, her bağlantı için $\alpha(k)$ değişken öğrenme oranı atanır ve bağlantı ağırlığının güncelleşmesi Eş.4.30 kullanılarak yapılır:

$$w(k+1) = w(k) + \alpha(k) \delta(k) \quad (4.30)$$

Her bağlantıda öğrenme hızının azalması ve artması için sezgiselliğin gerçekleştirilmesinde, $\delta(k)$ eğim bileşeninin ağırlıklı ortalaması kullanılır. Bu ağırlıklı ortalama $\delta(k)$ ise, Eş.4.31'den hesaplanır:

$$\delta(k) = (1-\theta)\delta(k) + \theta\delta(k-1) \quad (4.31)$$

Burada θ , konveks ağırlık faktörüdür. Sezgisel açıdan, önceki eğim bileşeninin üstel artışı ile şu anki eğim bileşeni aynı işaretli ise, öğrenme katsayısı κ sabiti, artan ağırlıkla birleştirilir. Mevcut eğim bileşeni üstel ortalamadan farklı işaretli ise, öğrenme katsayısı mevcut değeri ile orantılı olarak azalır. Bu öğrenme katsayısının güncelleştirilmesi Eş.4.32 kullanılarak tanımlanır:

$$\Delta\alpha(k) = \begin{cases} \kappa, & \bar{\delta}B(k-1)\delta(k) > 0 \\ -\varphi\alpha(k), & \bar{\delta}B(k-1)\delta(k) < 0 \\ 0 & B(k-1)\delta(k) = 0 \end{cases} \quad (4.32)$$

Burada, κ öğrenme katsayısı artma faktörünü, φ öğrenme katsayısı azaltma faktörünü, $\alpha(k)$ k anındaki öğrenme katsayısını göstermektedir. Eşitlik 4.32'den görülebileceği gibi algoritma, öğrenme katsayılarını doğrusal olarak arttırmakta, fakat geometrik olarak azaltmaktadır.

Hızlı yayılım öğrenme algoritması

Hızlı yayılım algoritması, Newton metoduna dayanan, çok katmanlı perseptronların eğitilmesi için kullanılan sezgisel bir öğrenme algoritmasıdır.

Sezgisel algoritmalar, tecrübeye ve eğitilmiş tahmine dayalı kurallar içermektedir. Bu algoritmalar optimum çözümü garanti edemeyip sadece ona yakın çözümü bulmayı garanti etmektedir. Karar verici mekanizma için sadeleştirici olmaları, herhangi bir tam yöntemin parçası olarak öğrenme amacıyla kullanılabilmeleri, gerçek dünya problemleri için her zaman matematiksel formülasyon oluşturma'nın kolay olmaması ve basitleştirme sonucu oluşan hatanın bir sezgisel metodun sağladığı optimum çözümün sahip olduğu hatadan daha büyük olabileceği sezgisel metodların bazı üstünlükleridir. Ele alınan bir problemde, mümkün olan en kısa sürede bir çözüm bulmak için ağırlık uzayında eğimi son derece küçük tutmak gerekebilir. Bunun yerine çözümden fazla uzaklaşmaksızın mümkün olan en büyük adımlarla kısa sürede çözüme ulaşmak arzu edilir. Hata fonksiyonunun eğim derecesi biliniyorsa, güvenli bir şekilde ağırlık uzayında daha büyük adımla çözüme ulaşılabilir. Bu algoritmada, hesaplamanın geçmişteki durumu hakkında bazı sezgilere dayanan (genel veya her bir ağırlık için ayrı) ağırlıkların dinamik olarak ayarlanması ve her bir ağırlığa göre hatanın ikinci türevinin belirgin kullanımını kapsayan iki geleneksel yaklaşım birlikte çözülmüştür.

Hızlı yayılım algoritması ikinci dereceli bir metoddan daha sezgiseldir ve Newton metoduna biraz benzeyen bu metodda iki kabul kullanılır:

- Her bir ağırlık için, ağırlık hata eğrisi kolları yukarı doğru açık olan bir parabol ile yakınlştırılabilir,
- Hata eğrisindeki değişim, diğer tüm ağırlıkların aynı andaki değişiminden etkilenmez.

Bu sözü edilen parabol, birbirinden bağımsız her bir ağırlık için o andaki ve önceki hata eğimleri ve bu eğimlerin ölçüldüğü noktalar arasındaki değişim kullanılarak belirlenir. Daha sonra, algoritma doğrudan bu parabolün minimum noktasına atlar.

Genellikle hızlı yayılım algoritmasının performans testleri diğer tekniklerle karşılaştırıldığında oldukça iyidir.

Bu algoritmada, ağırlık hızlandırma ve ağırlık kırılması ihmal edilmek suretiyle, ağırlıklardaki değişim Eş.4.33'den hesaplanır:

$$\Delta w(t) = \varepsilon L(t) + \alpha Q(t) \quad (4.33)$$

Burada ε öğrenme katsayısı ve α ise momentum katsayısıdır. $L(t)$ ve $Q(t)$, sırasıyla Eş.4.34 ve Eş.4.35'den hesaplanır:

$$L(t) = \begin{cases} h(t) & \text{eğer } h(t)h(t-1) \geq 0 \\ 0 & \text{diğer durumlarda} \end{cases} \quad (4.34)$$

$$Q(t) = \begin{cases} \mu \Delta w(t-1) & \text{eğer } h(t) \left(h(t) - \left(\frac{\mu}{\mu+1} \right) h(t-1) \right) \geq 0 \\ \Delta q(t) & \text{diğer durumlarda} \end{cases} \quad (4.35)$$

Eş.4.34 ve Eş.4.35'de μ , momentum büyüme faktörü, $h(t)$, Eş.4.36'dan hesaplanan eğim ve $\Delta q(t)$, Eş.4.37'dan hesaplandığı üzere minimum adım miktarını göstermektedir.

$$h(t) = \frac{\partial E}{\partial w(t)} \quad (4.36)$$

$$\Delta q(t) = \frac{\Delta w(t)h(t)}{h(t-1) - h(t)} \quad (4.37)$$

Bu eşitliklerde ağırlık fonksiyonunu güncelleştirmek için, Δ ağırlık fonksiyonu ve δ ağırlık hızlandırma katsayısı işleme katılır (Eş 4.38).

$$w(t) = (1-\delta)w(t-1) + \Delta w(t) \quad (4.38)$$

Sonunda ağırlık çok küçükse sıfır alınarak kırpılır ve $|w(t)| < \kappa$ ise $w(t)=0$ alınır. Burada, κ ağırlık kırpılma faktörüdür.

Levenberg-Marquardt (LM) metodu

Bu öğrenme algoritması temelde maksimum komşuluk fikri üzerine kurulmuş bir en az kareler hesaplama metodudur. Bu algoritma, Gauss-Newton ve Steepest-Descent algoritmalarının en iyi özelliklerinden oluşur ve bu iki metodun kısıtlamalarını ortadan kaldırır. Genel olarak bu metot yavaş yakınsama probleminden etkilenmez.

$E(\tilde{w})$ 'nin (Eş.4.39) bir amaç hata fonksiyonu olduğu düşünülürse m tane hata terimi için $e_i^2(\tilde{w})$, Eş.4.40'da verilmiştir.

$$E(\tilde{w}) = \sum_{i=1}^m e_i^2(\tilde{w}) = \|f(\tilde{w})\|^2 \quad (4.39)$$

$$e_i^2(\tilde{w}) = (\tilde{y}_i - \tilde{y}d_i)^2 \quad (4.40)$$

Burada, amaç fonksiyonu $f(\cdot)$ ve onun Jakobiyesi J 'nin bir noktada w bilindiği farzedilir. LM'de hedef, parametre vektörü $\tilde{w}$ 'nin, $E(\tilde{w})$ minimum olduğunda bulunmasıdır. LM'nin kullanılmasıyla yeni vektör $\tilde{w}_{k+1}$, farzedilen vektör $\tilde{w}_k$ 'den hesaplanır (Eş.4.41).

$$\tilde{w}_{k+1} = \tilde{w}_k + \delta \tilde{w}_k \quad (4.41)$$

Burada $\delta \tilde{w}_k$ Eş.4.42'de görüldüğü gibi verilir.

$$(J_k^T J_k + \lambda I) \delta \tilde{w}_k = -J_k^T f(\tilde{w}_k) \quad (4.42)$$

Eş.4.42'de; J_k , f 'nin $\tilde{w}$ değerlendirilmiş Jakobiyesi; λ , Marquardt parametresi ve I , birim veya tanımlama matrisidir.

Levenberg-Marquart algoritması aşağıdaki biçimde özetlenebilir:

- $E(\tilde{w}_k)$ 'yi hesapla,
- Küçük bir λ değeri ile başla (mesela $\lambda=0.01$),
- $\delta \tilde{w}_k$ için Eş.4.42'yi çöz ve $E(\tilde{w}_k + \delta \tilde{w}_k)$ değerini hesapla,
- Eğer $E(\tilde{w}_k + \delta \tilde{w}_k) \geq E(\tilde{w}_k)$ ise λ 'yı 10 kat artır ve a)'ya geri dön,
- Eğer $E(\tilde{w}_k + \delta \tilde{w}_k) < E(\tilde{w}_k)$ ise λ 'yı 10 kat azalt, $\tilde{w}_k$: $\tilde{w}_k \leftarrow \tilde{w}_k + \delta \tilde{w}_k$ 'yı güncelleştir ve a)'ya geri dön.

Hedef çıkışı hesaplamak için çok katmanlı bir perseptronun LM kullanılarak öğretilmesi, ağırlık dizisi $\tilde{w}_0$ 'a bir başlangıç değerinin atanması ile başlar ve hataların karelerinin toplamı e_i^2 'nin hesaplanmasıyla devam eder. Her e_i^2 terimi, hedef çıkış (y) ile gerçek çıkış (yd) arasındaki farkın karesini ifade eder. Bütün veri seti için e_i^2 hata terimlerinin tamamının elde edilmesiyle, ağırlık dizileri a)'dan e)'ye kadar olan LM adımların uygulanmasıyla adapte edilir.

Eşleştirmeli Eğitim (Conjugate Gradient) algoritmaları

Geri yayılım algoritması ağırlık değerlerini eğimin negatifi yönünde dengeler. Bu doğrultu eğimin hızla düştüğü doğrultu olarak bilinir. Performans fonksiyonu da bu doğrultuda hızla düşer. Performans fonksiyonundaki hızlı düşüş, ağırlık hızla yakınsamasını sağlamayabilir. Eşleştirmeli eğitim algoritmalarında, eğitim azaltma yöntemindeki doğrultulardan genellikle daha hızlı yakınsayan eşleştirme doğrultularında bir arama işlemi yapılır.

Eğitim azaltmalı öğrenme algoritmalarında global minimuma doğru olan ağırlık güncellemesindeki adım oranını (adım büyüklüğü) belirleyen bir öğrenme oranı parametresi kullanılmaktadır. Eşleştirmeli eğitim algoritmasında adım boyutu, her bir iterasyonda yeniden güncellenir. Performans fonksiyonunun o doğrultu boyunca minimize edileceği adım boyutunu belirlemek için, eşleştirmeli eğitim doğrultusu boyunca bir arama gerçekleştirilir.

Eşleştirmeli eğitim algoritmalarının farklı versiyonları arasında aşağıdakiler sayılabilir:

- Fletcher-Reeves Conjugate Gradient,
- Polak-Ribiere Conjugate Gradient,
- Powell-Beale Conjugate Gradient
- Ölçeklendirilmiş Conjugate Gradient

Eşleştirmeli eğitim algoritmaları genel olarak değişken değerli öğrenme oranına sahip geri yayılma algoritmalarından daha hızlıdır. Genellikle sonucun problemden probleme farklı olabilmesine karşın esnek öğrenmeden de hızlı olduğu söylenebilir. Bu algoritmalar basit algoritmalara nazaran çok daha az hafızaya ihtiyaç duyarlar. Çok sayıda ağırlığın söz konusu olduğu yapay sinir ağ yapılarında kullanılması son derece uygundur.

Fletcher-Reeves

Eşleştirmeli eğim algoritmalarında ilk iterasyon, negatif eğim değerleriyle belirlenen doğrultuda arama işlemiyle başlar (Eş.4.43).

$$p_0 = -g_0 \quad (4.43)$$

Mevcut arama doğrultusu boyunca gidilecek optimum mesafenin belirlenmesi için bir doğrultu araması gerçekleştirilir (Eş.4.44).

$$X_{k+1} = X_k + \alpha_k p_k \quad (4.44)$$

Daha sonra bir önceki arama doğrultusuyla eşleştirilmek üzere yeni arama doğrultusu belirlenir. Yeni arama doğrultusunun belirlenmesinde uygulanan genel yöntem bir önceki arama doğrultusu ile yeni eğim arama doğrultusunu (eğimin eksi işareti) doğrusal olark birleştirmektir (Eş.4.45).

$$p_k = g_k + \beta_k p_{k-1} \quad (4.45)$$

Burada β_k skaler değeri, p_k ve p_{k-1} doğrultularının Hessian matrisine (performans sayılarının ikinci dereceden türevleri) göre birbirine eşleştirmeli olacak şekilde seçilmesiyle elde edilir (Eş.4.46).

$$P_k A p_{k-1}^T = 0 \quad (4.46)$$

Uygulamada Hessian matrisi hesaplanmaz ve eşleştirmeli eğim yöntemleri, β_k 'nin hesaplanmasındaki değişik yöntemlere göre çeşitlenir. Fletcher-Reeves'in β_k için önerdiği güncelleştirme yaklaşımı Eş.4.47'deki gibidir.

$$\beta_k = \frac{\mathbf{g}_k^T \mathbf{g}_k}{\mathbf{g}_{k-1}^T \mathbf{g}_{k-1}} \quad (4.47)$$

Eş.4.47, mevcut eğimin norm karesinin bir önceki eğimin norm karesine oranıdır.

Polak-Ribiere

Her bir iterasyondaki arama doğrultusu Fletcher-Reeves yöntemindeki Eş.4.45 ile aynıdır. Eş.4.45'deki β_k ifadesi Eş.4.48'deki gibi değiştirilerek, bir önceki iterasyondaki eğim değişiminin mevcut iterasyondaki yeni eğim değeriyle olan iç çarpımının önceki eğimin norm karesiyle bölümü ile elde edilir.

$$\beta_k = \frac{\Delta \mathbf{g}_{k-1}^T \mathbf{g}_k}{\mathbf{g}_{k-1}^T \mathbf{g}_{k-1}} \quad (4.48)$$

Fletcher-Reeves yönteminden daha fazla hesaplama ihtiyacı olmasına rağmen performans olarak hangisinin daha iyi olduğunu söylemek zordur. Bu yöntemin hafıza ihtiyacı Fletcher-Reeves yönteminden oldukça fazladır.

Kuasi-Newton öğrenme algoritmaları

Newton yöntemi, eşleştirmeli eğim yöntemine alternatif olarak hızlı optimizasyon için geliştirilmiştir. Genelde Newton yöntemi eşleştirmeli eğim yöntemlerinden daha hızlı yakınsamasına rağmen ileri beslemeli ağlar için Hessian matrisinin hesaplanması oldukça zor ve zaman alıcıdır. Bunun için Hessian matrisinin (ikinci mertebe türevler) hesaplanmasına gerek olmayan yöntemler geliştirilmiş ve bunlara Kuasi-Newton adı verilmiştir. Bu yöntemlerde güncelleme işlemi Eş.4.49'daki formülle hesaplanır:

$$X_{k+1} = X_k + \alpha p_k \quad (4.49)$$

Burada p_k , arama doğrultusu ve α , arama doğrultusu boyunca performansı yeterince azaltacak şekilde seçilen faktörlerdir. Broyden-Fletcher-Goldfarb-Shanno (BFGS) arama doğrultusunu Eş.4.50'deki gibi seçmişlerdir.

$$p_k = -A_k^{-1} g_k \quad (4.50)$$

Tek adım sekant yönteminde ise arama doğrultusu Eş.4.51'de verilmiştir.

$$p_k = -g_k + \Delta X_k \left(1 + \frac{\Delta g_k^T \Delta g_k}{\Delta X_k^T \Delta g_k} \right) \frac{\Delta X_k^T g_k}{\Delta X_k^T \Delta g_k} + \Delta g_k^T \frac{g_k}{\Delta X_k^T \Delta g_k} \quad (4.51)$$

4.5. Yapay Sinir Ağlarının Öğrenmesinde İstatistiksel Hatalar

Öğrenme sırasındaki hata, RMS (root-mean-squared) olarak adlandırılır ve aşağıdaki şekilde tarif edilir:

$$RMS = \left((1/p) \sum_j |t_j - o_j|^2 \right)^{1/2} \quad (4.52)$$

SSE (Sum Squar Error), gerçek değer ile YSA'nın bulduğu değerlerin farklarının karesidir:

$$SSE = \sum_j (t_j - o_j)^2 \quad (4.53)$$

R^2 (mutlak değişim kesri);

$$R^2 = 1 - \left(\frac{\sum_j (t_j - o_j)^2}{\sum_j (o_j)^2} \right) \quad (4.54)$$

olarak ifade edilir ve cov (yüzde değişim katsayısı);

$$\text{cov} = \frac{RMS}{o_{ort}} * 100 \quad (4.55)$$

olarak tarif edilir. Burada t hedef değer, o çıkış değeri, p örnek numarası ve o_{ort} tüm çıkış verisinin ortalamasıdır (1). Giriş ve çıkış katmanları, (-1, 1) veya (0,1) aralığına normalize edilir.

Yüzde hata ise aşağıdaki gibi ifade edilir:

$$\% Hata = \frac{|t - o|}{t} \times 100 \quad (4.56)$$

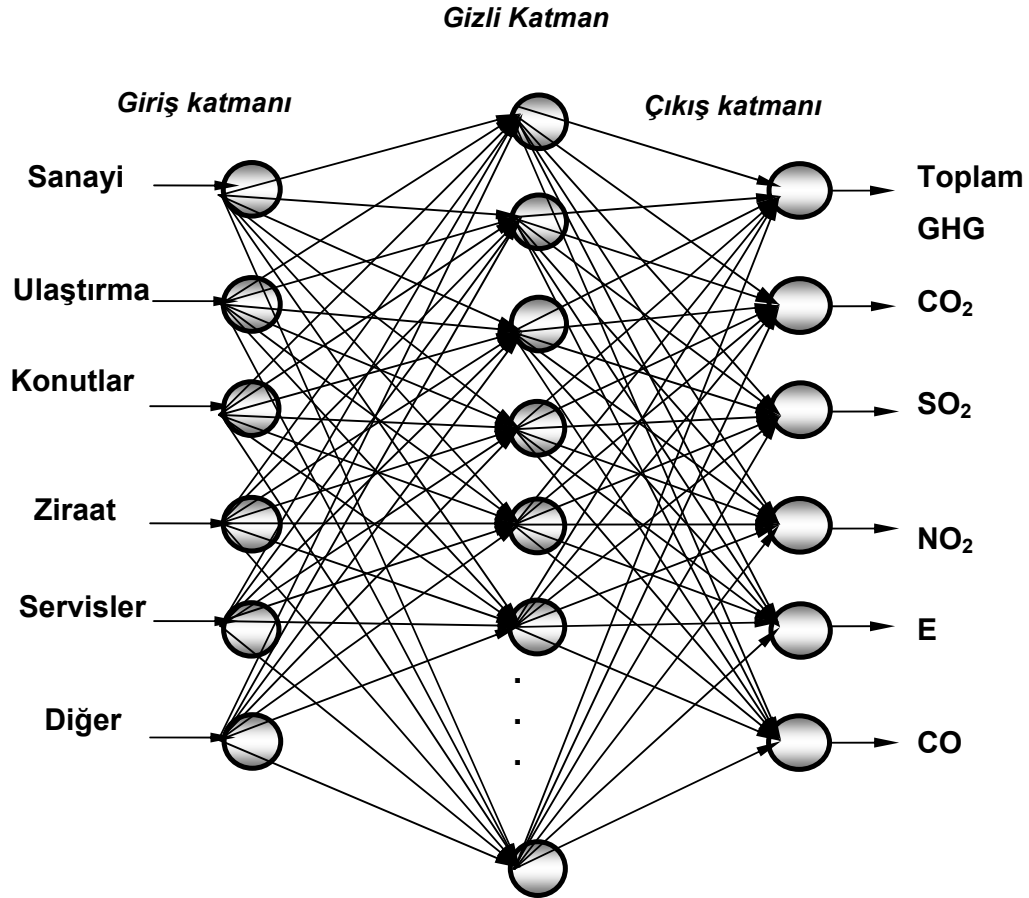
Yüzde hata, bütün örnekler için bulunur. Bunlar içinden en yüksek olanı maksimum yüzde hatayı verir. Yüzde hataların toplamının örnek sayısına bölünmesi ile ortalama yüzde hata bulunur:

$$\text{ortalama \% hata} = \frac{1}{p} \sum_j |t_j - o_j| * 100 / t_j \quad (4.57)$$

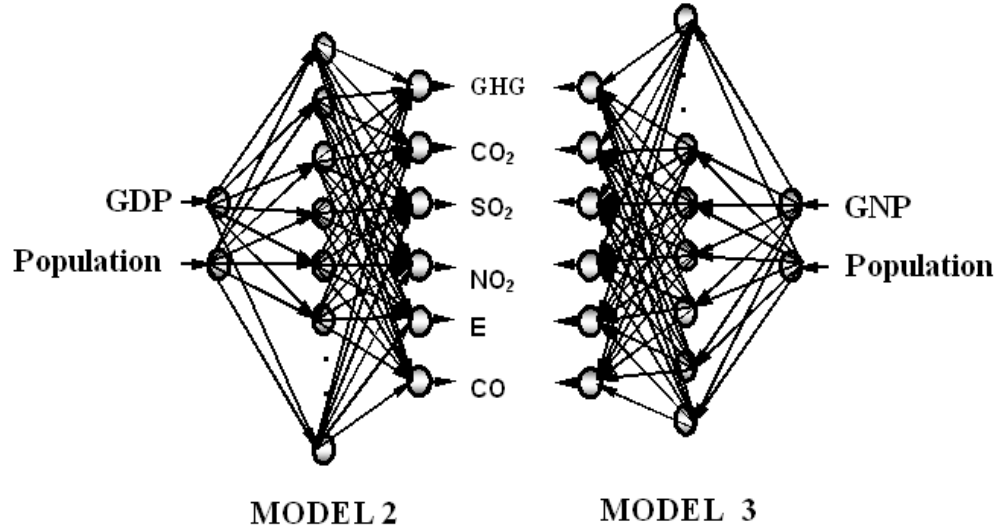
5.YAPAY SİNİR AĞLARININ SERA SALINIMLARININ TAHMİNİNDE UYGULANMASI

5.1. Sera Gazı Projeksiyonu

Sera gazlarının sektörel enerji kullanımına bağlı tahmin edilmesinde kullanılacak YSA ağ yapısı Şekil 5.1’de gösterilmiştir(Model 1). Şekil 5.2 de ise ekonomik göstergelere bağlı projeksiyonların belirlenmesinde kullanılan ağ yapısı verilmiştir(Model 2 ve Model 3).



Şekil 5.1. Sektörel enerji tüketimine bağlı tahmininde kullanılan ağ Yapısı (Model 1)



Şekil 5.2. Ekonomik göstergelere bağlı tahmin ağ yapısı

Sera gazlarının tahmininde bu çalışmada olduğu gibi üç farklı ağ yapısı kullanılarak ekonomik büyüme ile sera gazları salınımları arasındaki ilişki ile sektörel enerji tüketiminin sera gazları salınımlarına etkisi analitik formüllerle ifade edilmeye çalışılmıştır. Karşılaştırma çalışması yapabilmek için Sözen ve arkadaşlarının yapmış olduğu Model 1 çalışması [50] bu çalışmada bir referans çalışma olarak tekrarlanmıştır.

5.1.1. Sektörel enerji tüketimine bağlı sera gazı projeksiyonu (Model 1)

Şekil 5.1'deki ağ yapısı ile LM öğrenme algoritması ve 8 gizli nöron kullanılarak elde edilen sera gazları salınımlarına ait amprik bağıntılar eşitlik 5.1- Eşitlik 5.6'da verilmiştir. LM öğrenme algoritması ve 8 gizli nöron değerlerinin alınması istatistiksel hata değerlerinin en az olması ve R² değerinin en yüksek olmasından dolayı seçilmişlerdir.

$$GHG = \frac{1}{1 + e^{-(1.9495 F_1 - 3.3054 F_2 - 2.1248 F_3 - 0.3029 F_4 + 3.7607 F_5 - 4.16 F_6 - 4.9847 F_7 - 8.1703 F_8 + 6.8931)}} \quad (5.1)$$

$$CO_2 = \frac{1}{1 + e^{-(0.8585 F_1 + 3.5537 F_2 + 3.7976 F_3 - 2.2132 F_4 - 0.2257 F_5 + 1.154 F_6 - 0.6379 F_7 - 3.7614 F_8 - 0.884)}} \quad (5.2)$$

$$SO_2 = \frac{1}{1 + e^{-(1.8724 F_1 - 1.6628 F_2 + 2.2837 F_3 - 3.3763 F_4 - 7.8749 F_5 + 12.6757 F_6 + 5.579 F_7 - 0.1096 F_8 - 0.669)}} \quad (5.3)$$

$$NO_2 = \frac{1}{1 + e^{-(3.1248 F_1 + 3.6212 F_2 + 0.1119 F_3 - 2.378 F_4 - 1.293 F_5 + 2.8223 F_6 - 0.7438 F_7 + 0.2463 F_8 - 1.0741)}} \quad (5.4)$$

$$CO = \frac{1}{1 + e^{-(1.1262 F_1 + 1.9526 F_2 + 0.1005 F_3 + 0.4408 F_4 - 0.2069 F_5 - 1.1877 F_6 - 2.3613 F_7 - 0.2767 F_8 + 0.1142)}} \quad (5.5)$$

$$E = \frac{1}{1 + e^{-(1.2875 F_1 + 3.6058 F_2 + 3.2441 F_3 + 4.3003 F_4 - 1.0511 F_5 - 0.1462 F_6 - 4.2469 F_7 + 2.2754 F_8 - 6.4159)}} \quad (5.6)$$

Bu ifadelerde kullanılan F_i ($i=1,2,\dots,8$) değerleri Eşitlik 5.7'de verilen ifade kullanılarak hesaplanacaktır.

$$F_i = \frac{1}{1 + e^{-E_i}} \quad (5.7)$$

Bu ifade kullanılan E_i ise Eş. 5.8 kullanılarak hesaplanacaktır. Eş. 5.8 ise sektörel enerji tüketimlerine bağlı bir ifadedir ve bağıntıdaki sabit katsayılar Çizelge 5.1'de verilmiştir.

$$E_i = C_{1i} \cdot I + C_{2i} \cdot T + C_{3i} \cdot H + C_{4i} \cdot A + C_{5i} \cdot S + C_{6i} \cdot O + C_{7i} \quad (5.8)$$

YSA modelinin kullanılmasında değişkenlerin $(-1,1)$ aralığına normalize edilmesi gerekir. Bu bağıntılarda kullanılan YSA giriş ve çıkış değişkenlerinin normalize edilmesi gerekir. Bu normalizasyon ise Çizelge 5.2'deki gibi yapılması gerekir.

Çizelge 5.1.Eş. 5.8'de kullanılacak sabitler

i	C _{1i}	C _{2i}	C _{3i}	C _{4i}	C _{5i}	C _{6i}	C _{7i}
1	2.4281	1.7733	2.5283	-4.5980	-1.4819	2.8233	-10.4189
2	-0.2592	-5.7661	1.6461	-1.6836	7.9695	-1.5040	6.4563
3	3.8851	0.6926	-2.9626	-5.2433	0.3997	3.4768	-2.0377
4	1.2739	3.3547	5.3905	1.6390	-0.3526	2.9301	-5.06
5	-4.3032	5.2610	-3.7533	0.3291	8.4522	1.7946	-3.1585
6	0.5627	7.1679	-7.5427	-4.6784	10.9228	0.7586	-0.3196
7	-3.9810	0.1076	0.3519	-3.9812	-9.1057	0.4462	5.0888
8	-2.7088	-2.1773	-5.5119	2.9109	1.3231	0.7224	2.6009

Çizelge 5.2. Model 1 için normalizasyon değerleri

Giriş/Çıkış	Girişler bölünmeli Çıkışlar çarpılmalı
Sanayi (I)	25000
Ulaştırma (T)	15000
Konutlar (H)	20000
Ziraat (A)	4000
Servisler (S)	4500
Diğer (O)	-
GHG	250
CO ₂	250000
CO	5000
SO ₂	2500
NO ₂	1100
E	1000

5.1.2. GDP ve nüfusa bağlı sera gazı projeksiyonu (Model 2)

GDP ekonomik göstergesi ve nüfusa bağlı sera gazları projeksiyon tahmin eşitlikleri ise Eş. 5.9-Eş. 5.14'de verilmiştir.

$$GHG = \frac{1}{1 + e^{-(0.0832 F_1 - 51.3522 F_2 + 23.1986 F_3 - 4.266 F_4 + 46.7379 F_5 + 73.7952 F_6 + 32.3958 F_7 - 1.0640 F_8 - 55.9968)}} \quad (5.9)$$

$$CO_2 = \frac{1}{1 + e^{-(0.227 F_1 - 29.6698 F_2 + 12.7984 F_3 - 2.8782 F_4 + 17.197 F_5 + 44.3825 F_6 + 9.572 F_7 + 0.5735 F_8 - 23.9902)}} \quad (5.10)$$

$$SO_2 = \frac{1}{1 + e^{-(2.2666 F_1 + 32.2471 F_2 - 19.1189 F_3 + 3.7454 F_4 - 13.8369 F_5 - 68.0138 F_6 - 8.1781 F_7 - 7.3471 F_8 + 39.4791)}} \quad (5.11)$$

$$NO_2 = \frac{1}{1 + e^{-(0.3474 F_1 - 44.8561 F_2 + 20.5066 F_3 - 3.2263 F_4 + 23.3514 F_5 + 67.1199 F_6 + 13.3394 F_7 + 4.6154 F_8 - 35.0652)}} \quad (5.12)$$

$$CO = \frac{1}{1 + e^{-(0.861 F_1 - 78.4279 F_2 + 41.0228 F_3 - 7.3403 F_4 + 40.5151 F_5 + 138.011 F_6 + 22.2621 F_7 + 10.1899 F_8 - 78.577)}} \quad (5.13)$$

$$E = \frac{1}{1 + e^{-(2.2818 F_1 - 166.3452 F_2 + 88.2243 F_3 - 14.6395 F_4 + 84.0242 F_5 + 296.9591 F_6 + 44.6899 F_7 + 14.7855 F_8 - 169.9628)}} \quad (5.14)$$

Bu ifadelerde kullanılan F_i ($i=1,2,\dots,8$) değerleri Eşitlik 5.7'de verilen ifade kullanılarak hesaplanacaktır. Ancak Eş. 5.7 deki E_i ($i=1,2,\dots,8$) değerleri Eş. 5.15 kullanılarak hesaplanacaktır.

$$E_i = C_{1i} * GDP + C_{2i} * P + C_{3i} \quad (5.15)$$

Bu eşitlikteki sabitler ise Çizelge 5.3'de verilmiştir. Bu ağ yapısının giriş ve çıkış değişkenleri Çizelge 5.4'e göre normalize edilecektir.

Çizelge 5.3. Eş. 5.15 için sabitler

i	C _{1i}	C _{2i}	C _{3i}
1	41.3542	-480.1938	314.8547
2	-7.4164	-3.1205	24.1053
3	-9.7769	34.6841	-20.1556
4	60.7139	-7.0971	-39.5677
5	1.1578	33.0710	-21.9572
6	3.9435	-20.6148	13.8067
7	-2.3634	-45.0325	30.0731
8	-113.8040	-27.8242	43.7571

Çizelge 5.4. Model 2 için normalizasyon değerleri

Giriş/Çıkış	Girişler bölünmeli Çıkışlar çarpılmalı	
Population (Nüfus)	100000	100000
GDP	500000	-

5.1.3. GNP ve nüfusa bağlı sera gazı projeksiyonu (Model 3)

GNP ekonomik göstergesi ve nüfusa bağlı sera gazları projeksiyon tahmin eşitlikleri ise Eş. 5.16-Eş. 5.21’de verilmiştir.

$$GHG = \frac{1}{1 + e^{-(231.3876F_1 - 38.6829F_2 + 230.7739F_3 + 142.5585F_4 - 0.8244F_5 + 61.7413F_6 - 0.5544F_7 + 7.9658F_8 - 110.3202)}} \quad (5.16)$$

$$CO_2 = \frac{1}{1 + e^{-(134.0377F_1 - 42.7362F_2 + 133.6306F_3 + 162.3961F_4 - 0.1583F_5 + 72.0887F_6 + 0.0104F_7 + 8.9137F_8 - 127.6844)}} \quad (5.17)$$

$$SO_2 = \frac{1}{1 + e^{-(-105.1801 F_1 - 0.394 F_2 + 105.1083 F_3 + 16.7623 F_4 + 1.5816 F_5 + 10.8601 F_6 + 1.4419 F_7 + 2.7641 F_8 - 20.8813)}} \quad (5.18)$$

$$NO_2 = \frac{1}{1 + e^{-(-71.5235 F_1 - 1.388 F_2 + 71.5168 F_3 + 5.2704 F_4 + 0.1902 F_5 + 1.9974 F_6 + 0.3221 F_7 - 17.2908 F_8 + 13.5254)}} \quad (5.19)$$

$$CO = \frac{1}{1 + e^{-(109.6156 F_1 + 37.7625 F_2 - 109.1124 F_3 - 148.0985 F_4 + 0.1778 F_5 - 68.1018 F_6 + 0.0373 F_7 + 23.6588 F_8 + 87.9017)}} \quad (5.20)$$

$$E = \frac{1}{1 + e^{-(136.9686 F_1 + 13.4611 F_2 - 135.9272 F_3 - 58.6898 F_4 + 0.1412 F_5 - 30.1641 F_6 - 0.1536 F_7 + 33.3686 F_8 + 13.1499)}} \quad (5.21)$$

Bu ifadelerde kullanılan F_i ($i=1,2,\dots,8$) değerleri Eş. 5.7'de verilen ifade kullanılarak hesaplanacaktır. Ancak Eş. 5.7 deki E_i ($i=1,2,\dots,8$) değerleri Eş. 5.22 kullanılarak hesaplanacaktır.

$$E_i = C_{1i} * GNP + C_{2i} * P + C_{3i} \quad (5.22)$$

Bu eşitlikteki sabitler ise Çizelge 5.5'de verilmiştir. Bu ağ yapısının giriş ve çıkış değişkenleri Çizelge 5.6'ya göre normalize edilecektir.

Çizelge 5.5. Eş. 5.22 için sabitler

i	C_{1i}	C_{2i}	C_{3i}
1	70.8797	-109.4006	33.2068
2	43.6817	157.9948	-108.2751
3	106.0666	-20.8619	-51.4085
4	15.3218	69.1412	-45.8177
5	- 216.1758	306.6703	-115.9004
6	-16.9470	-76.4942	51.8002
7	157.1116	-59.3865	-21.6414
8	17.6494	-106.9537	72.3593

Çizelge 5.6. Model 3 için normalizasyon değerleri

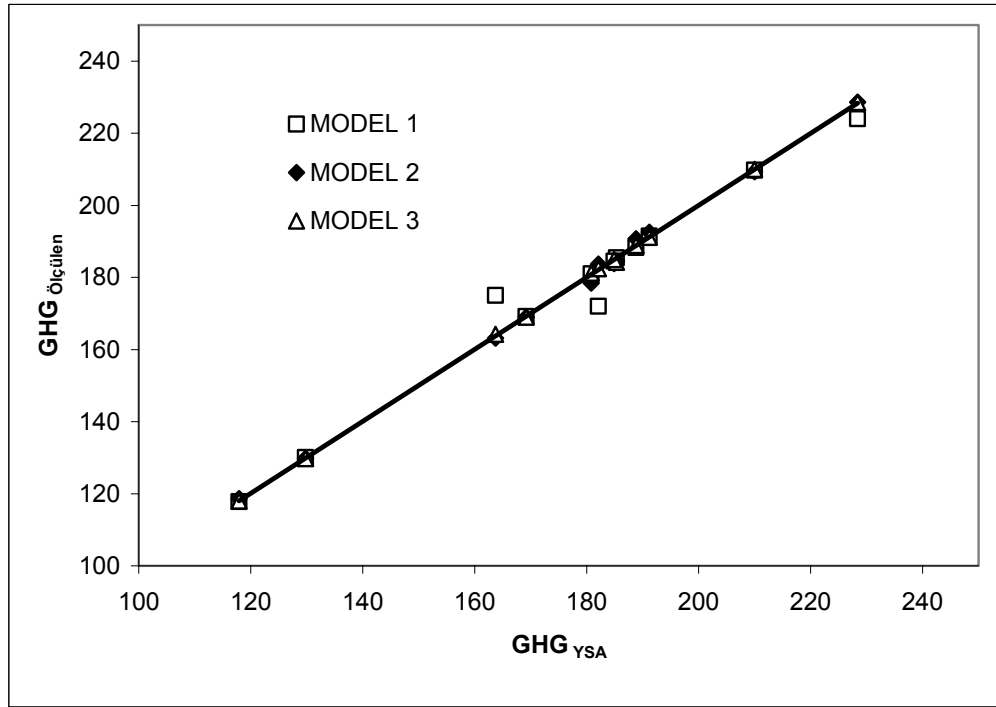
Giriş/Çıkış	Girişler bölünmeli Çıkışlar çarpılmalı	
Population (Nüfus)	100000	100000
GNP	-	500000

5.2. Uygulamanın Genel Performansı

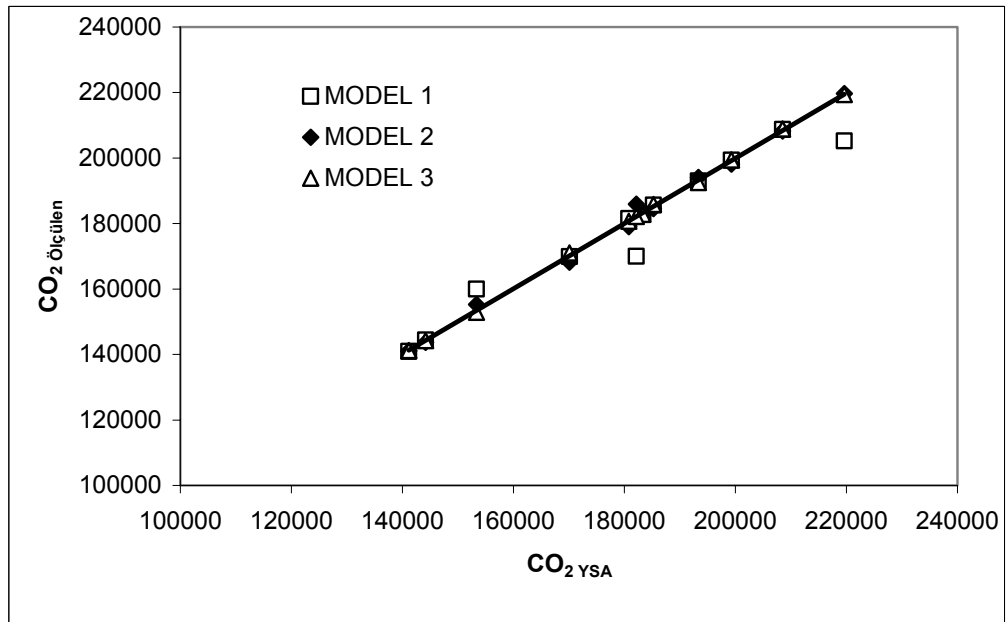
Şekil 5.3, Şekil 5.8 ve Çizelge 5.7 seçilen YSA ağ yapısı ile LM öğrenme algoritmasının bütün sera gazları salınımları için yaklaşım performansını göstermektedir. Şekil 5.3-5.9, YSA modelinin yüksek performansla tahmin kabiliyetini göstermektedir. Şekil 5.9 toplam sera gazı salınımının her model ve gerçek ölçülen değerlere karşılaştırması göstermektedir. Benzer karşılaştırmalar diğer salınımlar için Şekil 5.10, Şekil 5.14'de verilmiştir. Modeller arasında yaklaşım açısından ihmal edilebilir düzeyde sapma meydana gelmiştir.

Çizelge 5.7. Bütün modeller için elde edilen istatistiksel hata değerleri

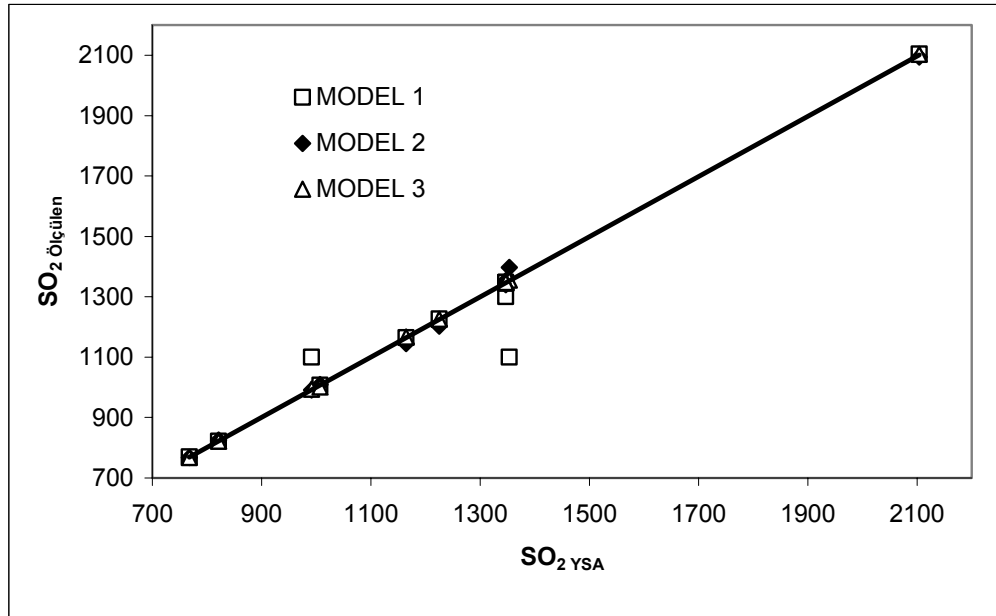
Model	İstatistiksel hata	Sera gazı salınımı					
		GHG	SO ₂	NO ₂	CO	E	CO ₂
Model 1	RMS for training	0,001162	0,000408	0,001849	0,001075	0,001143	0,001326
	R ² for training	0,999997	0,999999	0,999995	0,999998	0,999997	0,999997
	MAPE for training	0,147151	0,066716	0,181901	0,105146	0,124684	0,158157
Model 2	RMS for training	0,003766	0,005091	0,007377	0,002196	0,002711	0,004843
	R ² for training	0,999963	0,999862	0,999841	0,999992	0,999985	0,999938
	MAPE for training	0,487212	0,701938	0,718754	0,232667	0,272346	0,575421
Model 3	RMS for training	0,00127	0,000671	0,00063	0,002378	0,000814	0,001464
	R ² for training	0,999996	0,999998	0,999999	0,999991	0,999999	0,999994
	MAPE for training	0,126728	0,115135	0,06926	0,214888	0,080358	0,179481



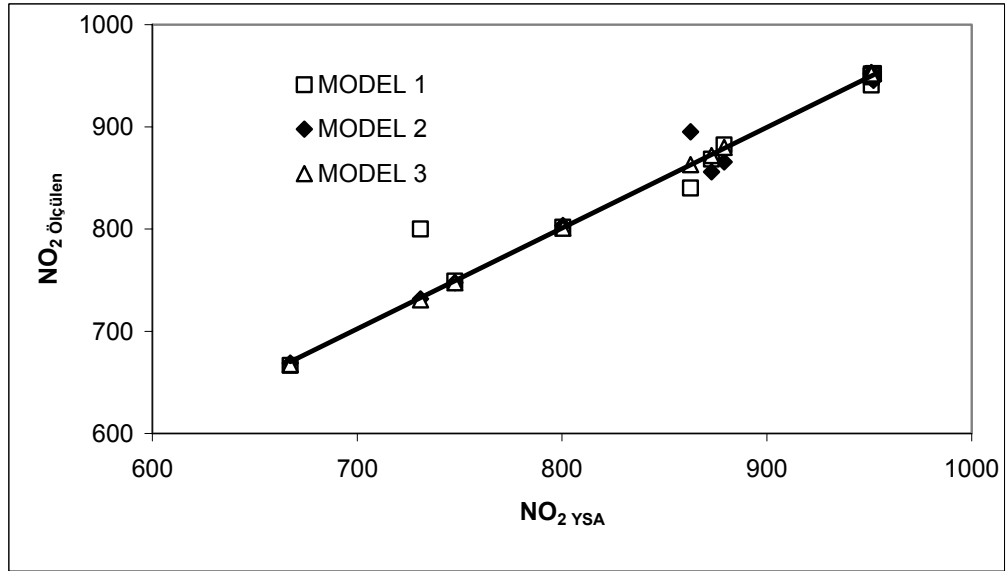
Şekil 5.3. Toplam sera gazı salınımlarının bütün model sonuçları ile gerçek değerlerinin kıyaslanması



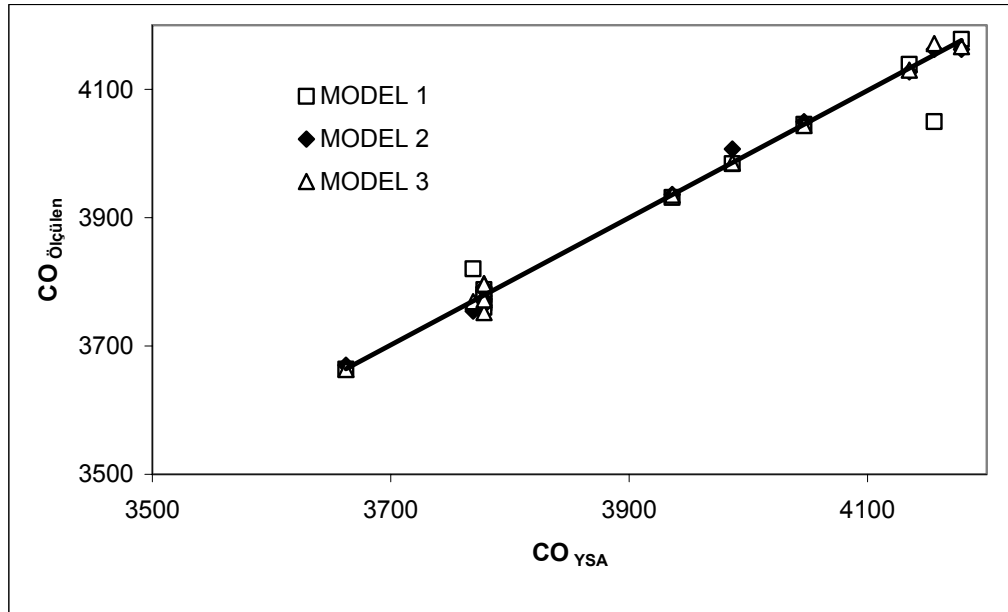
Şekil 5.4. CO₂ sera gazı salınımlarının bütün model sonuçları ile gerçek değerlerinin kıyaslanması



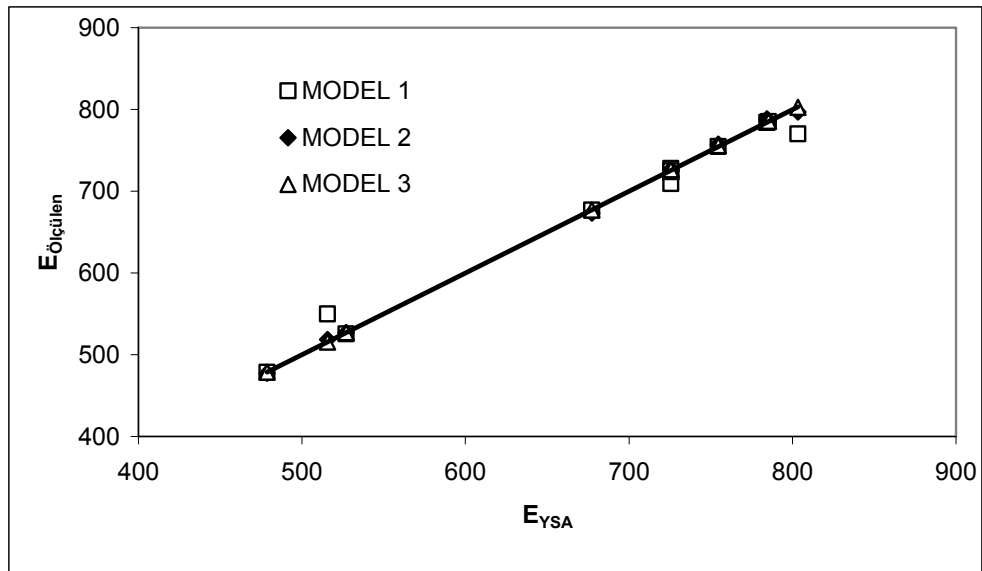
Şekil 5.5. SO_2 sera gazı salınımlarının bütün model sonuçları ile gerçek değerlerinin kıyaslanması



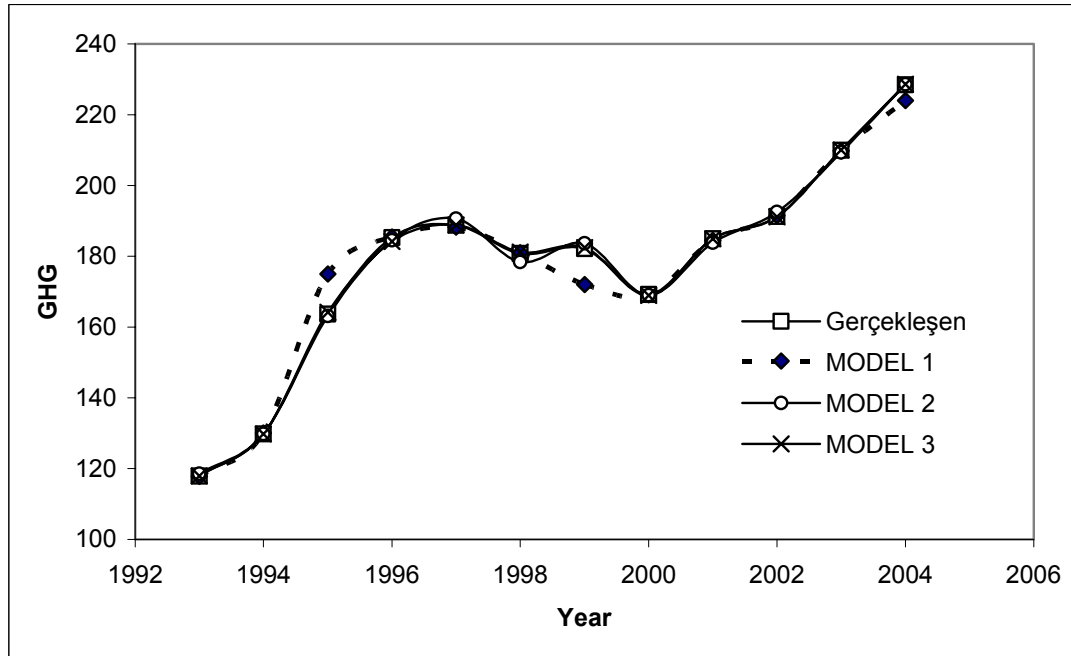
Şekil 5.6. NO_2 sera gazı salınımlarının bütün model sonuçları ile gerçek değerlerinin kıyaslanması



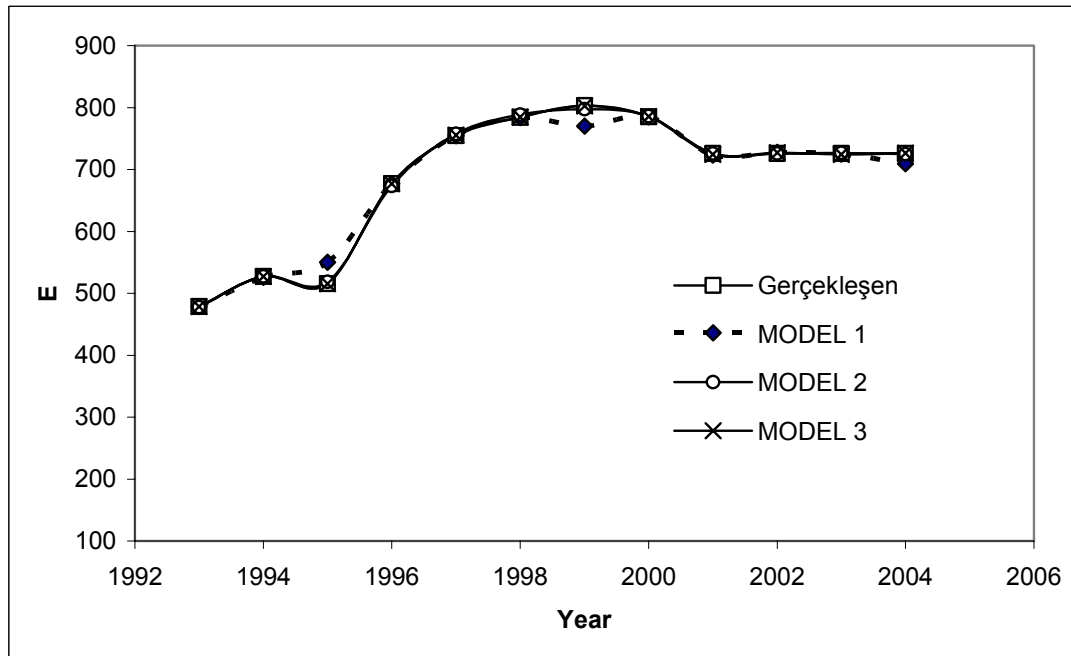
Şekil 5.7. CO sera gazı salınımlarının bütün model sonuçları ile gerçek değerlerinin kıyaslanması



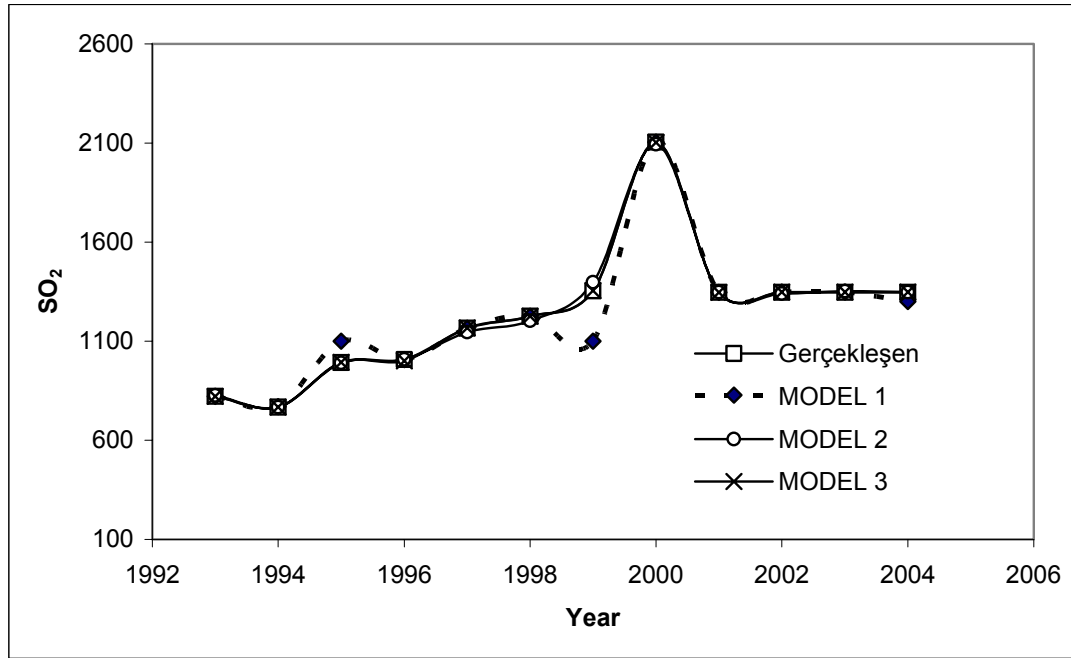
Şekil 5.8. E sera gazı salınımlarının bütün model sonuçları ile gerçek değerlerinin kıyaslanması



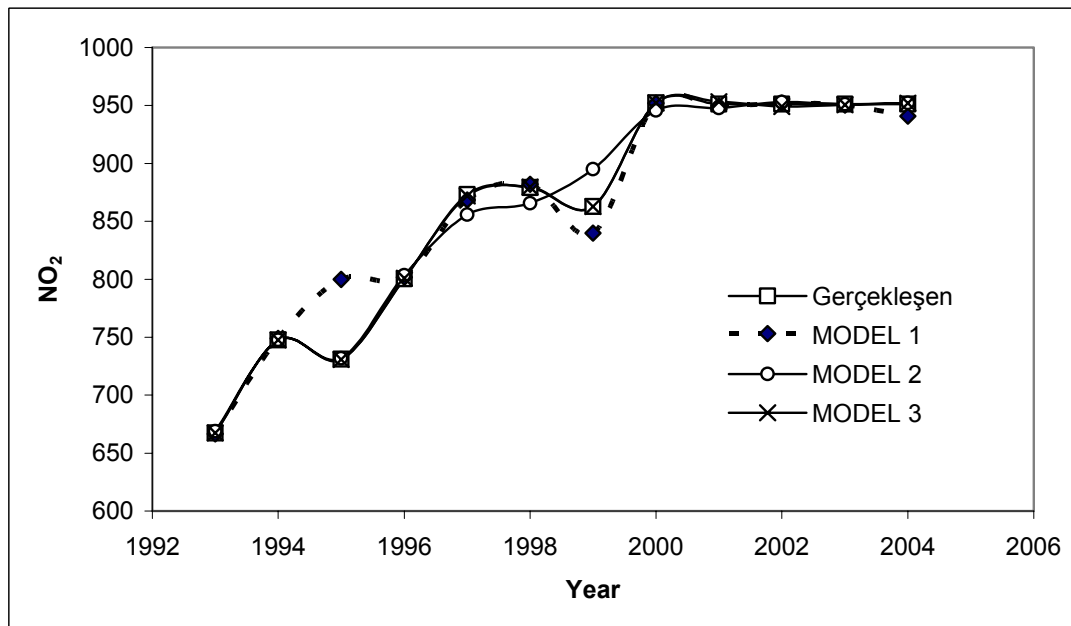
Şekil 5.9. Toplam sera gazı salınımlarının bütün model sonuçları ile gerçek değerlerinin yıllara göre değişimi



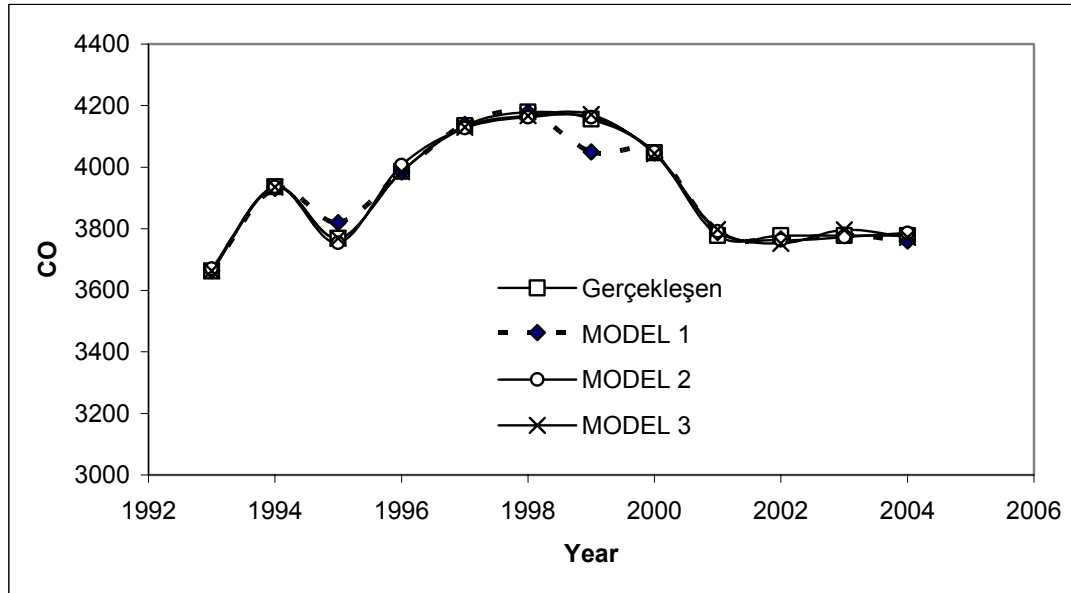
Şekil 5.10. E sera gazı salınımlarının bütün model sonuçları ile gerçek değerlerinin yıllara göre değişimi



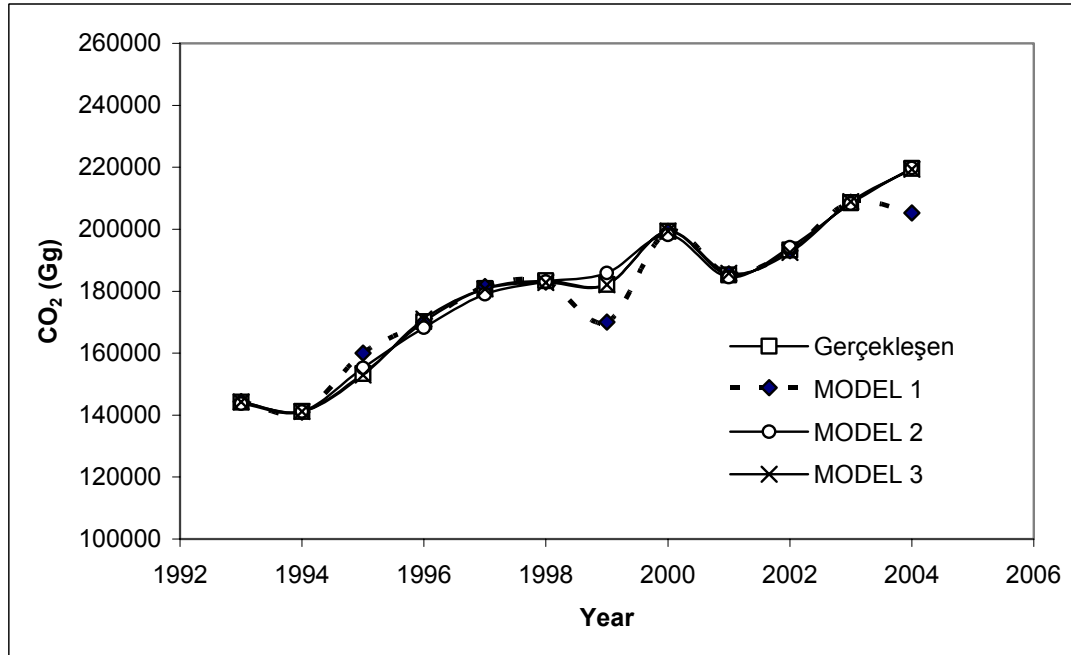
Şekil 5.11. SO₂ sera gazı salınımlarının bütün model sonuçları ile gerçek değerlerinin yıllara göre değişimi



Şekil 5.12. NO₂ sera gazı salınımlarının bütün model sonuçları ile gerçek değerlerinin yıllara göre değişimi



Şekil 5.13. CO sera gazı salınımlarının bütün model sonuçları ile gerçek değerlerinin yıllara göre değişimi



Şekil 5.14. CO₂ sera gazı salınımlarının bütün model sonuçları ile gerçek değerlerinin yıllara göre değişimi

5.3. Uygulama Sonuçlarının Tahminde Kullanılması

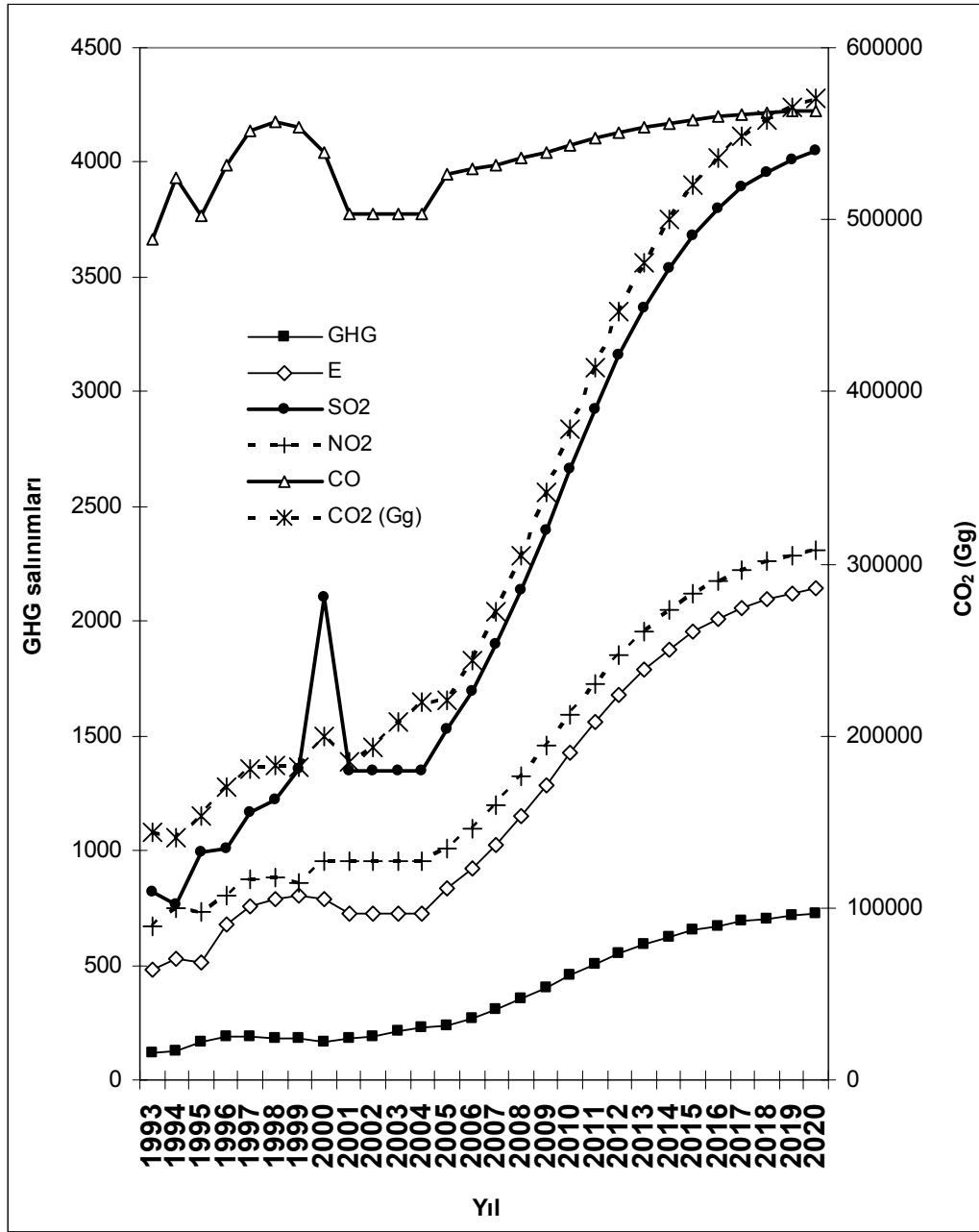
Şekil 5.15, seçilen Model 1 ile elde edilen amprik eşitliklerin ileriye dönük 2020 yılına kadar sera gazı salınım değerlerinin tahmin edilen değerlerini göstermektedir. Çizelge 5.8’de ise literatürde tahmin edilen CO₂ salınımları ile bu çalışmanın karşılaştırmasını vermektedir. Elde edilen sonuçlar literatürdeki tahmin değerlerine göre daha yüksek R² değerlerine sahip olduğundan daha güvenilir olarak yorumlanabilir.

Çizelge 5.8. Literatürdeki CO₂ salınım tahminlerinin karşılaştırılması (Gg)

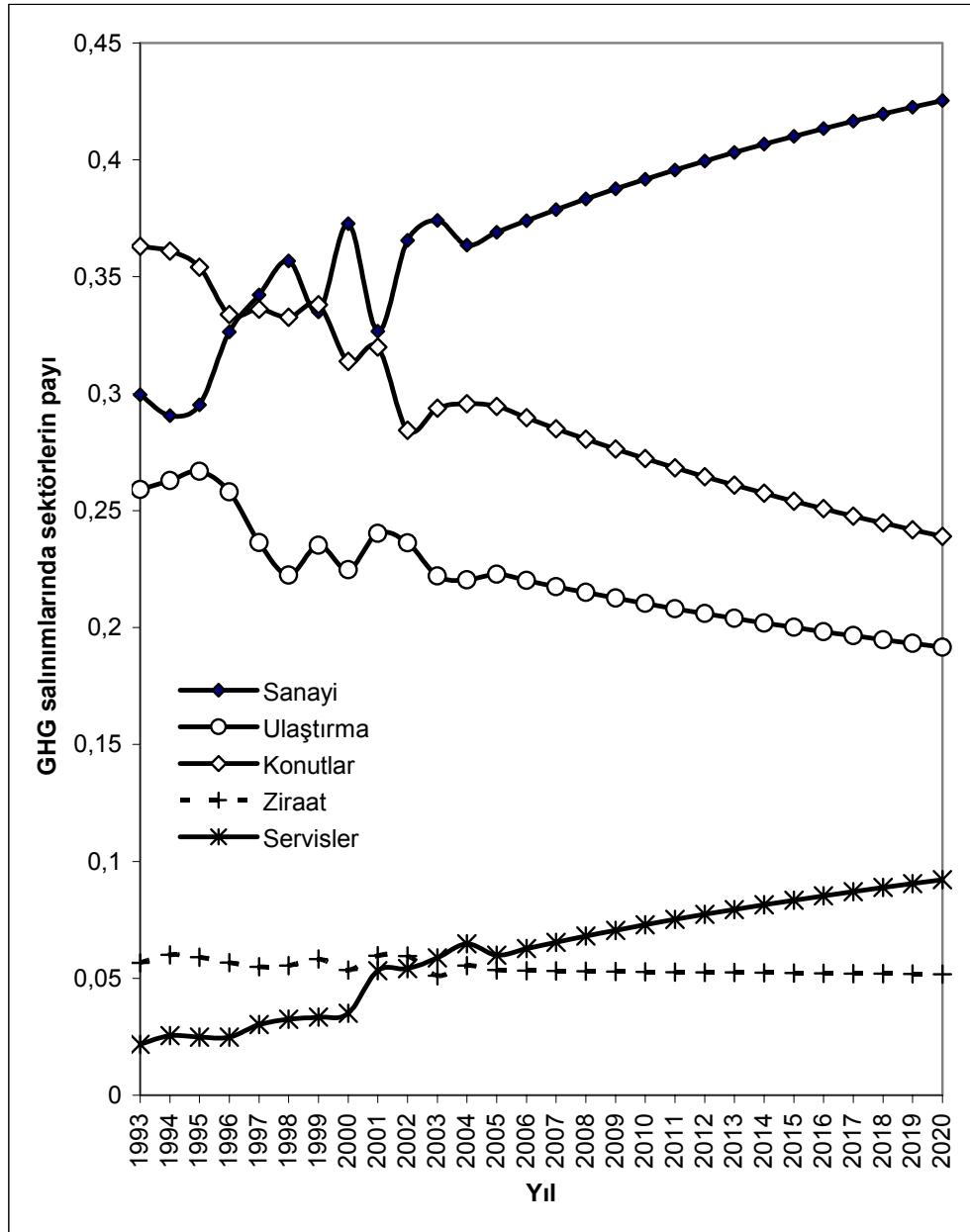
Çalışma	Tahmin edilen CO ₂ (Gg)salınımı	
	2010	2015
(Say and Yucel, 2006) (Regression model)	363769	522427
(Say and Yucel, 2006) (IPCC model)	480244	631781
(Akcasoy, et al, 2000)	535985	-
(Demirbas, 2003) (Projections based on the case of energy pattern in 1992)	~500000	-
(Demirbas, 2003) (Projections based on the case of energy pattern in 1996)	~410000	-
(Bilgen et al., 2007)	535985	-
(SPO, 2000)	403653	768942
(Turkes, 2002)	347850	486465
(Conzelmann and Koritarov, 2002)	~380000	~650000
(Sozen, Gulseven and Arcaklioglu, in press) (Model 1) (ANN model)	378182	570653

Şekil 5.16 ise sera gazı salınımlarına neden olan sektörel enerji dağılımının gelecek projeksiyonlarını göstermektedir. Şekilden görüleceği üzere sanayi ve servis sektörlerinin sera gazlarının artmasındaki payı artarken diğer sektörlerin payı 2020 ye kadar azalmaktadır. 21.yy endüstriyelleşme

devriminin gerçekleştiği yüzyıl olmasının etkileri sera gazları salınımlarını tetikleyeceği açıkça görülmektedir. Bu pay sanayi sektöründe %37'lerden %42,5'lara taşıyacaktır.



Şekil 5.15. Sera gazları salınımlarının gelecek tahmini



Şekil 5.16. Sera gazlarında sektörlerin paylarının gelecek tahmini

6.SONUÇLAR, TARTIŞMA ve ÖNERİLER

6.1. Sonuçlar ve Tartışma

Bu çalışmanın en önemli teması enerji ve ekonomik göstergelere bağlı olarak sera gazı salınımlarının belirlenmesi ve bu amprik bağıntıların kullanılmasıyla ileriye dönük projeksiyonların tahmin edilmesinde yüksek güvenilirlik sağlayan zeki modellerin kullanılmasıdır. Ayrıca sera gazları salınımlarının azaltılmasına yönelik öneriler geliştirilmiştir. Bu çalışmanın çıktıları ile gelecekte yapılacak enerji planlarına yol gösterilecektir. Kyoto Protokolünün gereklerine yerine getirebilmek için enerji politikamızda yapılması gereken revizyonlar ve enerji kaynaklarının kullanımının planlaması yapılabilecektir.

Enerji yoğunluğuna yönelik olarak, Türkiye’de halâ yüksek olan üretim başına kullanılan enerji girdisinin azaltılmasının, belirlenecek olan uygun politikalarla öncelikli olarak ülke gündemine sokulması gerekmektedir. Sektörler arası enerji yoğunluğunun da hesaplandığı bu çalışmada, özellikle sanayi sektöründe birim üretim başına kullanılan enerjinin her dönemde artış gösterdiği ortaya çıkmıştır. Bu nedenle, özellikle sanayi sektörüne yönelik, enerji piyasasında büyümeyi aksatmadan uygun düzenlemeler acilen uygulamaya konmalıdır. Bu bağlamda, enerji sektöründe özelleştirme ve sübvansiyonlar büyük önem arz etmektedir.

Enerji tasarrufu konusunda seminerler ve medya aracılığıyla ilgililerin bilinçlendirilmesi sağlanabilir. CO₂ salınımını azaltmaya yönelik Türkiye’nin uygulayacağı diğer politikalar aşağıda sunulmuştur:

- Türkiye’de özellikle rüzgar enerjisi konusunda önemli bir potansiyelin olduğu göz önünde bulundurulduğunda, yenilenebilir enerji kaynakları (rüzgar, güneş enerjisi, biokütle vs...) kullanımının teşvik edilmesi,
- Avrupa Birliği’nde uygulanmakta olan Karbon Vergisi’nin, Türkiye’de de uygulanabilirliği konusunda araştırma yapılması,

- Enerji santralleri ve fabrikalarda, üretim faaliyeti sonucu oluşan zararlı gazların çevresel etkilerinin ortadan kaldırılmasına yönelik olarak, baca arıtma tesislerin kullanımının zorunlu hale getirilmesi ve bunların denetiminin devlet tarafından düzenli olarak yapılması,
- Enerji kullanımında verimlilik artışı ve tasarruf sağlanmasına yönelik çalışmalar yapılması,
- Özellikle konutlarda, ısınma probleminin giderilmesinde doğalgaz kullanımının ülke çapında yaygınlaştırılması,
- Yük ve yolcu taşımacılığında, toplu taşımacılığın yaygınlaştırılması için gerekli çalışmaların yapılması ve uygulamaya geçirilmesi,

Sonuç olarak, Avrupa Birliği'ne tam üyelik süreci ve uluslararası sorumluluk bağlamında, önemli bir ön koşul olan Kyoto Protokolü'nün, bir an önce imzalanması ve Kyoto'da uygun bir hedef alınması sonucu, Türkiye için belirlenen hedeflerin yerine getirilmesi gerekmektedir.

6.2. Sera Gazı Salınımlarını Azaltmak İçin Öneriler

İklim değişikliğine neden olan sera gazlarından CO₂ salınımlarının başlıca kaynağı enerji alanındaki etkinliklerdir. Enerji üretim ve tüketiminden kaynaklanan sera gazı salınımlarının azaltılması için bir çok önlem alınması gerekir bunlar Şekil 6.1'de bir akış şeması olarak verilmiştir. Buradan da görüleceği üzere bu önlemler dört temel başlık altında toplanmıştır:

- Öncelikle yenilenebilir enerji kaynağı kullanımının artırılması
 - o Hidrolik santrallerin artırılması
 - o Rüzgar enerjisinden yararlanılması
 - o Güneş enerjisinden yararlanılması
 - o Biokütle enerjisinden faydalanılması
 - o Nükleer enerjiden faydalanılması

Türkiye'deki enerji sektörü fosil yakıtlara dayalıdır. Toplam elektrik tüketiminin %85'i fosil kaynaklardan karşılanmaktadır. Fosil kaynakların başında da petrol ve kömür gelmektedir. Son yıllarda bunlara ilaveten doğal gaz temel kaynak görülmektedir. Türkiye'nin önemli bir kaynağı olan kömür düşük kalorilidir. Bu da CO₂ emisyonunu tetikleyicidir ve ileri yakıt teknolojileri ile de tam yanma gerçekleştirilememektedir. Dolayısıyla Türkiye'nin mevcut hidrolik potansiyelini kullanabilmesi, güneş enerjisinden yeterince yararlanabilmesi ve bir an önce nükleer enerji kaynağını kullanması gerekir.

Sera gazı emisyonları yaratmayan yenilenebilir enerji kaynaklarından daha fazla yararlanılması, iklim değişikliği sorununa karşı alınabilecek etkin önlemler arasında yer almaktadır. Bu kapsamda ülkemiz açısından önemli görülen hidrolik enerji dışındaki yenilenebilir enerji kaynakları güneş, rüzgar, jeotermal, biyokütledir. Bu amaçla hükümetlerin yenilenebilir enerji kullanımını teşvik etmesi için politikalar üretmesi gerekir. Sera gazı salınımlarından başta CO₂ olmak üzere azaltıcı vergiler geliştirmesi gerekir. Bunların başında da karbon vergisi gelir.

Güneş Enerjisi: Bugün ülkemizde güneş enerjisinden sadece su ısıtma amacıyla yararlanılmaktadır. Halbuki, güneş enerjisi aktif yöntemle yapı ısıtılmasından, seraların ısıtılmasına, tarımsal ve endüstriyel kurutmaya, endüstriyel ısı uygulamalarına, soğutmaya, metalurjik fırınlara, fotokimyasal ve fotobiyolojik işlemlere dek çeşitli kullanım alanlarına sahiptir; bu alanlara yönelik araştırmaların desteklenmesinin yanı sıra uygulamaların yaygınlaştırılmasına da çalışılmalıdır. Bu çerçevede güneşli soğutma konusu, ülkemiz koşullarında tarımsal ürünlerin ve gıda sanayi ürünlerinin saklanması açısından üzerinde önemle durulması gereken bir seçenektir. Ülkemiz açısından önemli görülen bir konu da, konutların güneş enerjisinden pasif olarak yararlanmaları için ileri malzemeleri de kullanan yeni çözümler geliştirmek, bu bilgileri yaymak ve uygulamalarını teşvik etmektir. Yapıların güneş enerjisi ile pasif ısıtılması ve serinletilmesi güneş mimarisi ile bütünleşik bir mühendislik konusu olarak ele alınmalı ve yerleşim alanları

ölçeğinde geliştirilmelidir. Bölgelerimiz için verimli ve maliyet etkin çözümler geliştirmek amacıyla bu konudaki araştırmalara kaynak ayrılması, ilgili firmaların ve kullanıcıların teşviklerle desteklenmesi gerekmektedir.

Güneş termik elektrik santrallerinin büyük güçlerde olanları fosil yakıtlarla (özellikle doğal gazla) entegre çevrimler kapsamında hibrid santral olarak geliştirilmektedir. Teknik ve ekonomik açıdan başarılı ilk uygulaması Amerika Birleşik Devletleri'nde (Luz Santrali, 354 MW) yapılmıştır. Türkiye'nin bu teknolojiyi yakından izlemesi gerekmektedir. Ülkemizde de Güneş-Doğal Gaz Hibrid Termik Santrali kurulması konusunun gündeme alınmasında ve konuyla ilgili AR-GE çalışmalarına başlanmasında yarar görülmektedir. Güneş fotovoltaik sistemleri trafik sinyalizasyonu, otoyollarda aydınlatma ve telefon iletişimi, orman kuleleri, deniz fenerleri, park ve bahçe aydınlatması, şebekeden uzak kırsal unitelerdeki elektrik gereksiniminin karşılanması gibi öncelikli uygulama alanları bulabilirler. Bu sistemler uzun dönemde birkaç yüz kW'ın üzerindeki üretim birimleri ile ulusal elektrik ağına bağlantılı biçimde de çalışabilirler. Dünyada örnekleri olan bu tür kullanımlar pilot uygulamalarla Türkiye'de de başlatılmalı ve fotovoltaik (PV) panellerin ekonomikliğine bağlı biçimde geliştirilmelidir. Fotovoltaik çevrimle güneşten elektrik enerjisi üretiminde kullanılan PV panellerin yerli üretimine imkan sağlayacak araştırmalar desteklenmelidir.

Türkiye'de güneş enerjisi uygulamalarının yaygınlaştırılıp geliştirilmesine yönelik politikaların belirlenmesi, gerekli kurumsal altyapının oluşturulması, güneş enerjisi ile ilgili sanayiye ve tüketicilere teşvikler uygulanması için bir yasal düzenleme yapılması zorunludur.

Rüzgar Enerjisi: Türkiye'de son yıllarda atılım gösteren rüzgar enerjisinin kullanımını doğru olarak yönlendirilebilmesi açısından, bir Ulusal Rüzgar Enerjisi Programı. Hazırlanarak uygulamaya konulmalıdır. Bu programda 10 yıllık bir dönem için politikalar, hedefler, yatırımlar, teşvikler ve AR-GE konuları yer almalıdır. Rüzgar potansiyeli saptanması, yer seçimi ile ilgili

kriterler konularındaki çalışmalar ve rüzgar çiftliği dizaynı, rüzgar enerjisi çevrim sistemleri üzerine yapılacak AR-GE çalışmaları devletçe desteklenmelidir. Konu ile ilgili uzmanların yetiştirilmesi, yurt içi ve yurt dışı master ve doktora programları ile desteklenmelidir.

Jeotermal Enerji: Diğer bir temiz enerji kaynağı olan jeotermal enerjiden daha fazla yararlanılabilmesi için, mevcut jeotermal kuyuların yetersiz kaldığı bilinci ile daha fazla araştırma yapılarak jeotermal kuyuların açılmasına hız verilmelidir. Potansiyel geliştirme ve yeni kuyular açma konularının yanı sıra, jeotermal kaynakların yüksek verimli ve entegre kullanılmalarına yönelik AR-GE çalışmaları artırılmalıdır. Özellikle jeotermal enerjinin elektrik enerjisine dönüşüm verimini artıran (çift buharlaştırmalı sistemler) ve düşük sıcaklıktaki jeotermal akışkandan elektrik üretimine imkan sağlayan yeni teknolojiler (İkili Çevrim Teknolojileri) üzerinde araştırmalar yoğunlaştırılmalıdır. Ayrıca sıcak kuru kaya (hot dry rock) jeotermal olanaklarının değerlendirilmesi konusu da araştırılmalıdır.

Türkiye'de yüzey sıcaklığı 40°C nin üzerinde olan 140 adet jeotermal saha vardır. Bunlardan 4 tanesi elektrik üretimine uygundur. Bu dört sahada elektrik üretiminin yanı sıra entegre ısıtma uygulamaları da yapılabilir. Geri kalan sahalar ısıtma amaçlı kullanımlarda ve düşük sıcaklıkta ısı enerjisi gerektiren uygulamalarda değerlendirilebilir. Muhtemel jeotermal potansiyelin kullanımının getirebileceği ekonomik kazanım 9 milyar ABD Doları/yıl'dır. Bu potansiyelin değerlendirilebilmesi için, ülkemizdeki jeotermal alanların kullanım imkanlarının belirlenerek entegre tesisler halinde planlanması gereklidir. Ülkemizdeki tek jeotermal elektrik santrali olan Denizli-Sarayköy Jeotermal Santrali, 1984 yılında kurulmuş olup, 20,4 MWelektrik kurulu güçtedir. Aydın-Germencik'de 100MWelektrik güçte bir jeotermal santrali besleyecek potansiyel vardır. Ayrıca, Aydın-Salavatlı ve Çanakkale-Tuzla'da elektrik santralında kullanıma uygun jeotermal rezervuar bulunmaktadır. Bunların değerlendirilmesi için çalışmalar başlatılmalıdır.

Biyokütle Enerjisi: Ülkemizde klasik biyokütle kaynaklarından olan odun ile bitki ve hayvan artıkları, uzun yıllardan beri, özellikle ısınma ve pişirme alanlarında kullanıla gelmektedir. Ancak bu kullanımın ilkel ve ekonomik olmayan bir biçimde gerçekleştiği söylenebilir. Modern biyokütle kaynakları ise, enerji ormancılığı ürünleri ile orman ve ağaç endüstrisi atıkları, enerji bitkileri tarımı (bir yetiştirme sezonunda ürün alınan enerji bitkileri), tarım kesimindeki bitkisel ve hayvansal atıklar, kentsel atıklar, tarıma dayalı endüstri atıkları olarak sıralanır. Türkiye.de atıklara dayalı biyokütle enerjisi (biyogaz ve çöp santralleri) için bazı çalışmalar yapılmıştır. Ormancılık potansiyeli konusu raporun ilgili bölümünde ele alınmaktadır. Enerji plantasyonları biçimindeki tarımsal üretim olanakları üzerinde hiç durulmamış ve konu tarımsal üretim planlarında ele alınmamıştır. Kısacası, Türkiye'nin biyokütle enerji potansiyeli tam olarak bilinmemektedir.

- Enerji kayıplarının azaltılması
 - Taşıma kayıplarının azaltılması
 - Kojenerasyon sistemlerinin kullanımının artırılması
- Yakıt kalitesinin artırılması
 - Düşük sülfürlü kömür kullanılması
 - Düşük NO_x yakıcıların kullanılması
- Sera gazı salınımlarını azaltıcı ileri teknolojilerin kullanılması
 - Akışkan yatak teknolojisinin kullanımının yaygınlaştırılması
 - Yüksek verimli filtrelerin kullanılması
 - Yeni teknoloji yakma sistemlerinin kullanılması

Daha fazla başlıklar sera gazı salınımları için düşünülebilir. Ancak temelde enerji kullanımında alınması gereken önlemler şöyledir:

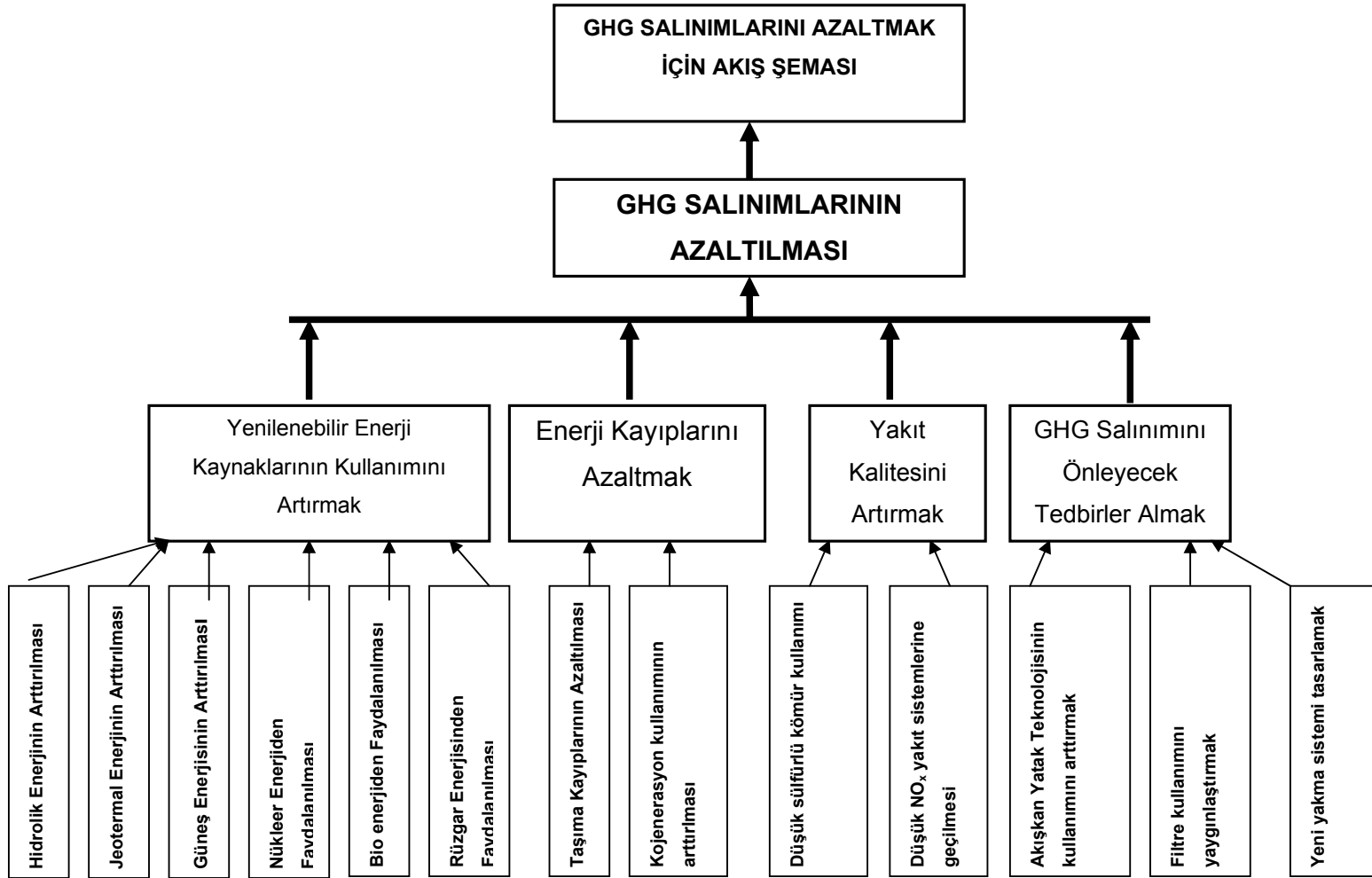
- o Enerji tasarrufunun artırılması ve enerji tüketiminin (ısıtma, aydınlatma, ulaştırma, endüstriyel süreçler, vb.) azaltılması

- o Enerji verimliliği daha yüksek (birim enerji üretimi için harcanan yakıt tutarını düşüren ya da birim hizmet için tüketilen enerjiyi azaltan) teknolojilerin kullanılması
- o Fosil yakıtların yerine yenilenebilir enerji kaynaklarının ve yüksek karbonlu fosil yakıtlar yerine düşük karbonlu fosil yakıtların kullanılması
- o Atmosferdeki karbonun, ormanlar, bitkiler, toprak ve ürünler tarafından biyokimyasal süreçlerle emilimi ya da tutulması (carbon sequestration), sera gazlarının kimyasal ve endüstriyel süreçlerde kullanılması, petrolün geri kazanılmasının artırılması

Türkiye'nin Kyoto protokolünü imzalaması durumunda, 2006 yılı salınım değerlerine göre, 1990 yılındaki salınım değerlerinin %5'ine tekabül eden miktarı ile %200 CO₂'de %205 toplam sera gazlarında fazlalığı bulunmaktadır. Bu miktarlara uyabilmesi için sera gazı ticareti yoluyla emisyon satın alması gerekecektir (Çizelge 6.1).

Çizelge 6.1. Kyoto Protokolüne göre Sera gazı salınımları [22]

Sera gazı (Mt eşdeğer karbon)	1990	1990'nın%95	2006	Fazlası
CO ₂	139,59	132,61	273,70	%200
Toplam GHG	170,06	161,56	331,80	%205



Şekil 6.1. Sera gazı salınımlarının azaltılması için yapılması gerekenler

KAYNAKLAR

1. Devlet Planlama Teşkilatı (DPT), İklim Değişikliği Özel İhtisas Komisyonu Raporu, Ankara, 20- 55, (2000).
2. Villaca 1985 Toplantısı, Karbondioksit ve Öteki Sera Gazlarının İklim Değişimleri Üzerindeki Rolünü ve Etkilerini Değerlendirme Uluslararası Konferansı, Toronto, 27-45, (1988).
3. Demirbaş, A., "Energy and environmental issues relating to greenhouse gas emissions in Turkey", **Energy Conversion and Management**, 44, 203-213, (2003).
4. Tunç, G.İ., Aşık, S.T., Akbostancı, E., "CO₂ emssions vs. CO₂ responsibility: An input-output approach for the Turkish economy", **Energy Policy**, 35: 855-868, (2007).
5. Conzelmann, G., Koritarov, V., "Turkey Energy and Environmental Review: Task 7: Energy Sector Modeling, prepared for The World Bank", **Argonne National Laboratory**, 1-10, (2002).
6. Bilgen, S., Keleş, S., Kaygusuz, A., Sarı, A., Kaygusuz, K., "Global warming and renewable energy sources for sustainable development: A case study in Turkey", **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, In Press, (2007).
7. Sözen, A., Arcaklıoğlu, E., Özkaymak, M., "Forecasting Net Energy Consumption Using Artificial Neural Network", **Energy Sources, Part B**, 1: 147-155, (2006).
8. Sözen, A., Arcaklıoğlu, E., "Prospects of Future Projections of the Basic Energy Sources in Turkey", **Energy Sources, Part B**, (in press), (2008).
9. Reddy, K.S., Ranjan, M., "Solar Resource estimation using artificial neural Networks and comparison with other correlation models", **Energy Conversion and Management**, 37 (2): 183-198, (2003).
10. Mellit, A. Benghaneb. M.. Kalogirou. S.A.. "Modeling and simulation of a stand-alone photovoltaic system using an adaptive artificial neural network: Proposition for a new sizing procedure", **Renewable Energy**, 32(2): 285-313, (2007).
11. Yücesu, S., Sozen, A, Topgöl, T., Arcaklıoğlu, E., "Comparative Study of Mathematical and Experimental Analysis of Spark Ignition Engine Performance Used Ethanol-Gasoline Blend Fuel", **Applied Thermal Engineering**, 27(2-3): 358-368, (2007).

12. Mohandes. M.. Rehman. S.. Halawani. T.O., "Estimation of global solar radiation using artificial neural networks", **Renewable Energy**, 14(1-4): 179-184, (1998).
13. WHO, Climate Change and Human Health, McMichael, A.J., et al., "An Assessment Prepared by a Task Group on behalf of the World Health Organization (WHO)", the World Meteorological Organization (WMO) and the United Nations Environment Programme (UNEP), Geneva, 14-46, (1998).
14. Türkeş, M., Sümer, U.M. ve Çetiner, G., İklim Değişikliğinin Bilimsel Değerlendirilmesi, Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi Seminer Notları, **Çevre Bakanlığı**, Ankara, 52-66, (1999).
15. WMO Statement on the Status of the Global Climate in 1998, WMO-no:896, World Meteorological Organization, Geneva, 10-32, (1998).
16. UKMO, Modelling Climate Change 1860-2050, Report Published coincide with the COP-I to the UN/FCCC, Berlin, UK Meteorological Office, The Hadley Centre for Climate Prediction and Research, 56-89, (1995).
17. IPCC, Climate Change 1995, The Science of Climate Change, Contribution of Working Group I to the Second Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Houghto, J., T., et al., WMO/UNEP, Cambridge University Press, New York, 67-98, (1996).
18. Aktan, C.C., İstiklal, V. Y., Globalleşme: Fırsat mı? Tehdit mi?, İstanbul: Zaman Kitap, 5-23, (2004).
19. İnternet: "Seo yarışması", <http://www.r10net-seo-yarismasi.com/www.r10.net/kyoto-protokolu.php>, (10.09.2007).
20. Nature Dergisi, Ekim Sayısı: 13-32, (1999)
21. Sözen, A., Arcaklıoğlu, E., Tekiner, Z., Comparative Study For Estimation Of Net Energy Consumption In Turkey Using Different Indicators, Energy Sources, Part B, in press
22. İnternet: "Türkiye İstatistik Kurumu", <http://www.tuik.gov.tr>, (1.9.2008).
23. Sözen, A., Gülseven, Z., Arcaklıoğlu, E., Estimation of GHG Emissions in using Energy and Economic Indicators, **Energy Sources, Part A** (in press), (2008).
24. İnternet: "Avrupa İstatistik Kurumu", <http://www.ec.europa.eu/eurostat>, (15.09.2008).

25. Bishop, C.M., "Neural networks and their applications", **Review of scientific instruments**, 65(6): 1803-1832 (1994).
26. Sağıroğlu, Ş., Beşdok E., Erler M., "Mühendislikte yapay zeka uygulamaları – 1 : Yapay sinir ağları", **Ufuk Yayıncılık**, Kayseri, 120-150 (2003).
27. Fausett, L., "Fundamentals of Neural Networks", **Prentice Hall**, New Jersey, 190-210 (1994).
28. Harvey, L. R., "Neural Network Principles", **Prentice Hall**, New Jersey, 110-130 (1994).
29. Haykin, S., "Neural Networks", **MacMillan College**, New York, 67-100 (1994).
30. Davis, L., "The handbook of genetic algorithms", **Van Nostrand Reinhold**, New York, 90-120, (1991).
31. Goldberg, D. E., "Genetic algorithms in search, optimization and learning", **Addison-Wesley**, Massachussets, 1-150 (1989).
32. Kosko, B., "Neural networks and fuzzy systems", **Prentice Hall**, New Jersey, 1-90 (1992).
33. McCulloch, W. S., and Pitts, W. H., "A logical calculus of ideas immanent in nervous activity," **Bulletin of Mathematical Biophysics**, 5: 115-133 (1943).
34. Hebb, D. O., "The organization of behavior", **Wiley**, New York, 1-40 (1949).
35. Rosenblatt, F., "Principles of neurodynamics", **Spartan Press**, Washington D.C., 230-250 (1961).
36. Minsky, M. and Papert, S., "Perceptrons", **MIT Press**, Cambridge, 1-60 (1969).
37. Rumelhart, D. E., McClelland J. L., and the PDP Research Group, eds., "Parallel Distributed Processing", **MA: The M.I.T. Press**, Cambridge, 1-2: 356-450 (1986).
38. Efe, M.Ö., Kaynak, O., "Yapay sinir ağları ve uygulamaları" **Boğaziçi Üniversitesi Yayınları**, İstanbul, 6-10 (2000).

39. Balcı, M.T., "Yapay sinir ağlarının modellenmesi ve uygulama alanları", Yüksek Lisans Tezi, **İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, 1-60 (1995).
40. Elmas, Ç., 'Yapay sinir ağları', **Seçkin yayınları**, Ankara, 21-187 (2003).
41. Kulkarni, A.D., "Neural fuzzy models for multispectral image analysis", **Applied Intelligence**, 8: 173-187 (1998).
42. Kalogirou, S.A., "Applications of artificial neural-networks for energy systems.", **Applied Energy**, 67: 17-35(2000).
43. İnternet:"Taylor and Francis Yayınevi",
["http://www.doc.ic.ac.uk/~nd/surprise_96/journal/vol4/cs11/report.html"](http://www.doc.ic.ac.uk/~nd/surprise_96/journal/vol4/cs11/report.html),
 (1.8.2007)
44. Ediger, V.S., Tatlıdil, H., "Forecasting the primary energy demand in Turkey and analysis of cyclic patterns", **Energy Conversion and Management**, 43: 473-487, (2002).
45. Kiliç, F.C., Kaya, D., "Energy production, consumption, policies, and recent developments in Turkey", **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, 11 (6): 1312-1320, (2007).
46. Dinçer, I., Dost, S., "Energy intensities for Canada", **Applied energy**, 76: 211-217, (1996).
47. WEC-TNC, World Energy Council-Turkish National Committee, Energy Report and Statistics for 1999, Ankara, Turkey, 1-13, (2000)
48. Ediger, V.Ş., Akar, S., "ARIMA forecasting of Primary Energy Demand by Fuel in Turkey", **Energy Policy**, 35(3): 1701-1708, (2007).
49. Sözen, A., Arcaklioğlu, E., "Prediction of Net Energy Consumption Based On Economic Indicators (GNP and GDP) In Turkey", **Energy Policy**, 35 (10): 4981-4992, (2007).
50. Sözen, A., Gülseven, H.Z., Arcaklioğlu, E., "Comparative Study For Estimation Of Net Energy Consumption In Turkey Using Different Indicators", **Energy Policy**, 35(12): 6491-6505, (2007)
51. Akcasoy, K., Onder, F., Güven, S., "Statistical evaluation of greenhouse gas emissions of Turkey between the years of 1970 and 2010", **DİE**, Turkey, Ankara, 1-12, (2000).
52. Anderson, D., McNeill, G, "Artificial Neural Networks Technology", A DACS State-of-the-Art Report, Contract Number F30602-89-C-0082,

- Rome Laboratory, Kaman Sciences Corporation, New York 13502-4627, 1-76, (1980).
53. İnternet: "Taylor and Francis Yayınevi",
["http://www.doc.ic.ac.uk/~nd/surprise_96/journal/vol4/cs11/report.html"](http://www.doc.ic.ac.uk/~nd/surprise_96/journal/vol4/cs11/report.html),
 (1.8.2007).
54. Haykin. S., "Neural networks: a comprehensive foundation", New York, Macmillan, 23-42, (1994).
55. Kalogirou. S.A., "Artificial intelligence for the modeling and control of combustion processes: a review", **Progress in Energy and Combustion Science**, 29: 515-566, (2003).
56. Zhang, J.J, Introduction to Artificial Neural Network, Bellingham AI Robotics Society, Bellingham WA, 24-46, (1988).
57. Marquardt D, "An algorithm for least squares estimation of non-linear parameters", J. Soc. Ind. Appl. Math., 431-441,1 (1963).
58. Attiti R. First and second order methods for learning: between steepest descent and Newton's method. Neural Computing, 4(2): 141-166, (1992).
59. Hagan MT. Menhaj MB. "Training feed-forward networks with the Marquardt algorithm", **IEEE Trans. Neural Network**. 5(6): 989-93, (1994).
60. SPO, Long Term Strategy and 8th Five-Year Development Plan, State Planning Organization, T.R. Prime Ministry State Planning Organization, Ankara, Turkey, 34-56, (2000).
61. Türkeş, M., İklim değişikliği ve sürdürülebilir kalkınma ulusal değerlendirme raporu, Türkiye Teknoloji Geliştirme Vakfı, Ankara, 13-35, (2002)
62. Say, N.P., Yücel, M., Energy consumption and CO2 emissions in Turkey: Empirical analysis and future projection based on an economic growth, **Energy Policy**, 34: 3870-3876, (2006).
63. Georgopoulou, E., Sarafidis, Y., Mirasgedis, S., Zaimi, S., Lalas, D.P., "A multiple criteria decision-aid approach in defining national priorities for greenhouse gases emissions reduction in the energy sector", **European Journal of Operational Research**, 146: 199-215, (2003).

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : Gülseven H. Zafer
 Uyuğu : T.C
 Doğum tarihi ve yeri: : 22.08.1959 / Malatya
 Medeni hali : Evli
 e-mail :zgulseven@tse.org.tr

Eğitim Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet Tarihi
Yüksek Lisans	Erciyes Ün,versitesi/Makine Mühendisliği	1996
Lisans	Erciyes Üniversitesi/Makine Müh	1992
Lise	Malatya Endüstri Meslek Lisesi	1976

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
1992	Türk Standartları Enstitüsü	Müşavir

Yabancı Dil

İngilizce

Hobiler

Boks, futbol, seyahat.
