

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ * FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAKLARI KULLANILARAK
BULANIK DOĞRUSAL PROGRAMLAMA YÖNTEMİYLE MARMARA
ADASI'NDA ENERJİ PLANLAMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Elif KÜTÜK

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih: 27 Mayıs 2005

Tezin Savunulduğu Tarih: 28 Haziran 2005

Tez Danışmanı

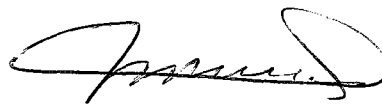
Prof. Dr. Zerrin Aladağ

Üye

Prof. Dr. Semra Birgün

Üye

Prof. Dr. Alpaslan Fırlalı



HAZİRAN 2005

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ * FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAKLARI KULLANILARAK
BULANIK DOĞRUSAL PROGRAMLAMA YÖNTEMİYLE MARMARA
ADASI'NDA ENERJİ PLANLAMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Elif KÜTÜK

**Anabilim Dalı: Endüstri Mühendisliği
Danışman: Prof. Dr. Zerrin ALADAĞ**

HAZİRAN 2005

YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAKLARI KULLANILARAK BULANIK DOĞRUSAL PROGRAMLAMA YÖNTEMİYLE MARMARA ADASI'NDA ENERJİ PLANLAMASI

Elif KÜTÜK

Anahtar Kelimeler: Enerji planlaması, Yenilenebilir Enerji Kaynakları, Bulanık Doğrusal Programlama

Özet: Enerji, ülkelerin ekonomik ve sosyal olarak gelişiminde, dolayısıyla toplumsal refahın artırılmasında vazgeçilmez bir etken olmaya devam etmektedir. Alternatif enerji kaynağı olarak adlandırılan kaynakların bazıları çok eski çağlardan beri bilinmektedir. Dünyadaki fosil yakıt rezervlerinin tükenmekte, su potansiyelinin de sınırlı olduğu düşünülürse, ilerde enerji sorununun çözümünde alternatif enerji kaynaklarının ne kadar önemli bir yer tutacağı açıkça görülür.

Ülkemizin gelişimi ve geleceği açısından yaşamsal bir öneme sahip olan enerji kaynaklarının kullanılmasının geliştirilmesi ve çeşitlendirilmesi için uzun süreli bir enerji planlamasına ve yönetimine ihtiyaç duyulmaktadır. Birçok ülke dışa bağımlılığı minimum seviyeye indirecek olan yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelirken ülkemizde de bu kaynakların en etkin ve yaygın şekilde kullanılması, böyle bir sürecin ilerlemesi için yeni teknoloji ve uygulamaları içeren bilgi birikiminin sağlanması gerekmektedir. Yenilenebilir enerji kaynağı olarak tanımlanan güneş enerjisi, jeotermal enerji, hidroelektrik enerji, biyo-enerji, hidrojen, dalga veya okyanus enerjisi ve rüzgar enerjisi, enerjilerini direkt veya endirekt olarak güneşten almakta ve dolayısıyla da sürekli olarak yenilendiklerinden tükenmemektedirler. Fosil enerjilerle karşılaştırıldıklarında çevreye daha dost oldukları ve çok daha düşük sera etkisine sahip oldukları görülür.

Bu tezde ülkemiz enerji sistemine rüzgar, biokütle, güneş enerjilerini dahil etmeyi araştıracağız. Bunun için pilot bölge olarak Marmara Adası seçildi. Marmara Adası coğrafi özellikleri ile bu konuda ön plana çıkmaktadır. Rüzgar gücü açısından ada olmanın ve açık bölgede denizin ortasında bulunmanın avantajına sahiptir. Ayrıca bulunduğu Marmara Denizi'nin en yüksek adasıdır. Güneş enerjisi bakımından da yine açık bir bölge olmasından dolayı güneşlenme süreleri Türkiye ortalamasından yüksektir. İzole bir bölge olduğundan atık toplanması ve toplanan atıkların atık tesisi ile değerlendirilmesi mantıklıdır. Böylece kapalı bir sistem olan adada hem atığın bertarafı sağlanmış olur hem de enerji ihtiyacının bir kısmı karşılanmış olur. Marmara Adası'nın elektrik talebi, yeni kurulan temiz enerji tesisleri ile karşılandığı gibi, Türkiye elektrik sistemine de elektrik satışı gerçekleştirilmektedir. Bu uygulama, bulanık doğrusal programlama yöntemi kullanılarak bilgisayar programı yardımıyla çözümlenmiştir.

ENERGY PLANNING IN MARMARA ISLAND BY USING RENEWABLE ENERGY SOURCES WITH FUZZY LINEAR PROGRAMMING METHOD

Elif KÜTÜK

Keywords: Energy planning, Renewable Energy Sources, Fuzzy Linear Programming

Abstract: The energy keeps on being important factor on economic and social improvements of countries and so growing up social comfort. Some sources named alternative energy source are known since very old ages. If we think fossil fuel reserves on the world come to an end, water potential is limited, we can clearly see how alternative energy resources are important on the solution of energy problem in the future.

Long term energy planning and management is needed for development and diversifying of using energy sources which has a vital important for our country's development and future. While lots of country tends to renewable energy sources which minimize foreign dependence, also in our country using these sources effectively and commonly is necessary, for improving the process like this, it is necessary to supply knowledge accumulation included new technology and applications. Solar energy named renewable energy source, geothermal energy, thermal energy, hydroelectric energy, bio-energy, hydrogen, wave, ocean energy and wind energy takes their energies from sun directly or non-directly so they always renew themselves and they don't come to an end. If they are compared with fossil energies, it is seen that they are more friendly to the environment and have less effect of poison.

In this thesis we search to include wind energy, bio-energy, solar energy to the energy system of our country. For this Marmara Island is selected as pilot area. Marmara Island is in the most important place with its geographical characteristics. It has the advantage of being an island in an open area in the centre of Marmara Sea with its wind power. Furthermore it is the highest island of Marmara Sea. Also because it is in an open area its sunbathe hours in a year are more than Turkish average. Because of it is an isolated area, it is logical collecting churn and evaluating collected churn in a churn foundation. So in island which is a closed system, it is supplied both getting rid of churn and meeting need of some energy demand of island. Both electric demand of Marmara Island is metted by clean energy thesis which is founded new and electric is sold to Turkish electrical system. This application is solved by using fuzzy linear programming method by the help of computer programming.

ÖNSÖZ

Bilim ve Teknolojinin akıl almaz bir hızla geliştiği ve adına bilgi çağı denilen bu yüzyılda en önemli konuların başında, geçen yüzyılda olduğu gibi yine Enerji gelmektedir. Enerji stratejik konumunu iki yüzyıldır korumaktadır. Günümüzde enerji üretim ve tüketim miktarları ülkelerin gelişmişliğinin en önemli göstergelerinden biri haline gelmiştir. Enerji; her ülke için, ekonomik büyüme vb açılardan stratejik öneme sahip bir sektördür. Dünya nüfusunun hızlı artışına ve gelişen teknolojiye paralel olarak enerjiye olan talep sürekli artmaktadır. Bunun yanında fosil kökenli enerji kaynak rezervlerinin sınırlı ve yakın bir gelecekte tükenecek olması araştırmacıları bu kaynaklara alternatif olan kaynaklara yöneltmiştir. Dünyada birçok ülke tükenbilir enerji kaynaklarının yerine yeni ve yenilenebilir enerji kaynaklarından (alternatif kaynaklar) daha fazla faydalanma yoluna gitmektedir. Yeni ve yenilenebilir enerji kaynakları başlıca çöp, güneş, rüzgar, jeotermal, biyokütle, hidrojen, gel-git ve dalga enerjisi şeklinde sınıflandırılmakta aynı zamanda Dünyada yaygın bir kullanım alanı bulmaktadır.

Ülkemiz tükenbilir konvansiyonel fosil yakıt rezervlerinin aksine tükenmez doğal kaynakların potansiyeli bakımından zengin bir ülkedir. Ülkemiz açısından yenilenebilir enerji kaynaklarının çok zengin olmasına ve ülkenin enerji ihtiyacının önemli bir kısmını karşılayabilecek bir potansiyele sahip olmasına karşın ya hiç kullanılmamakta ya da potansiyelin çok altında değerlendirilmektedir. Ülkemizde bulunan yerli ve yenilenebilir enerji kaynaklarının potansiyelinin açığa çıkarılması ve bu bağlamda genel enerji üretim-tüketimindeki mevcut kullanım oranlarının yukarı çıkartılması gerekmektedir.

Yenilenebilir enerji kaynakları, yenilenebilir kaynak oluşları, en az düzeyde çevresel etki yaratmaları işletme ve bakım masraflarının az olması ve ulusal nitelikleri ile güvenilir enerji sağlama özellikleri sebebiyle ülkemiz için oldukça önemli bir yere sahiptir.

Tezimde; yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımını maliyet boyutuyla birlikte örneklendirerek ülkemizde temiz enerji kullanımını yaygınlaştırmayı hedef edindim. Rüzgar, güneş, biokütle enerji kaynaklarını kullanarak kapalı bir sistem olan Marmara Adası'nın elektrik enerjisi talebini bulanık doğrusal programlama yöntemiyle karşılamaya çalıştım. Kurulan yeni tesislerle ayrıca Türkiye elektrik sistemine ilave elektrik satışı gerçekleştirildi.

Çalışmamın, Yöneylem Araştırması Yöntemlerinden faydalanarak enerji planlamasını gerçekleştirmek isteyen tüm kişilere bilgi ve esin kaynağı olmasını dileyerek; benim bugünlere gelmemi emekleri ile sağlayan tüm saygıdeğer hocalarıma ve özellikle de bu çalışmamda sınırsız hoşgörü ve yardımlarını, yol göstericiliğini esirgemeyen değerli hocam Prof.Dr.Zerrin ALADAĞ'a (KOÜ), Doç.Dr.Tanay Sıdkı UYAR'a (MÜ) ve Ümit TERZİ'ye (KOÜ) en yürekten teşekkürlerimi sunarım.

Haziran 2005, KOCAELİ

Elif KÜTÜK
025104005
Kocaeli Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü

İÇİNDEKİLER

| | |
|---|-----|
| ÖZET | ii |
| ABSTRACT..... | iii |
| ÖNSÖZ | iv |
| İÇİNDEKİLER | vi |
| ŞEKİLLER LİSTESİ | x |
| TABLolar LİSTESİ | xi |
| GİRİŞ..... | 1 |
| BÖLÜM 1. DÜNYA ENERJİ DURUMU | 5 |
| 1.1. Dünya Enerji Durumu Dünya Yenilenebilir Enerji Kaynakları..... | 5 |
| 1.2. Dünyadaki Durum..... | 6 |
| 1.3. Yenilenebilir Enerji Kaynakları..... | 7 |
| 1.3.1.Hidrolik Enerji..... | 8 |
| 1.3.2.Rüzgar Enerjisi..... | 8 |
| 1.3.3.Jeotermal Enerji..... | 9 |
| 1.3.4. Güneş Enerjisi..... | 12 |
| 1.3.5.Biyokütle-Biyogaz Enerjisi..... | 13 |
| 1.3.6. Dalga Enerjisi..... | 14 |
| 1.3.7. Hidrojen Enerjisi..... | 16 |
| BÖLÜM 2. TÜRKİYE ENERJİ DURUMU | 20 |
| 2.1. Türkiye Enerji Durumu..... | 20 |
| 2.2. Gerçekleşen Tüketim Ve Talep Gelişimi..... | 22 |
| 2.3. Kurulu Güç Ve Üretim Kapasitesi Gelişimi..... | 24 |
| 2.4.Üretim-Tüketim Dengesi..... | 25 |
| 2.5.Türkiye'de Enerji Sektörünün Durumu..... | 26 |
| 2.6. Enerji Kaynakları..... | 28 |
| 2.7. Ülkemizdeki Durum..... | 31 |
| 2.7.1. Hidrolik Enerji..... | 32 |

| | |
|---|-----------|
| 2.7.2. Rüzgar Enerjisi..... | 33 |
| 2.7.3. Jeotermal Enerji..... | 35 |
| 2.7.4. Güneş Enerjisi..... | 39 |
| 2.7.5. Biokütle Enerji..... | 40 |
| 2.7.6. Hidrojen Enerjisi..... | 41 |
| BÖLÜM 3. YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAKLARI..... | 44 |
| 3.1. Alternatif Kaynaklarla Elektrik Enerjisi Üretmek..... | 44 |
| 3.2. Çöplerden Elektrik Enerjisi Üretmek..... | 49 |
| 3.2.1. Çöp Termik Santralleri..... | 50 |
| 3.2.2. Çöp Gazından Elektrik Üretimi..... | 51 |
| 3.2.3. Çöp Santrallerinin Dünyadaki Uygulamaları..... | 56 |
| 3.3. Rüzgar Santralleri..... | 57 |
| 3.3.1. Rüzgar Enerjisinin Avantajları..... | 59 |
| 3.3.2. Rüzgar Enerjisinin Dezavantajları..... | 59 |
| 3.3.3. Rüzgar Santrallerinde Kullanılacak Rüzgar Türbinleri İle İlgili Teknik Bilgiler..... | 61 |
| 3.3.4. Türkiye'nin Rüzgar Enerji Potansiyeli Tespit Çalışmaları..... | 61 |
| 3.3.5. Türkiye'nin Rüzgardan Enerji Üretim Potansiyeli..... | 62 |
| 3.3.6. Rüzgar Enerji Santralleri Kuruluş Prosedürleri..... | 62 |
| 3.3.7. Rüzgar Türbinleri..... | 64 |
| 3.3.8. Mikro Türbinler..... | 66 |
| 3.3.9. Küçük Rüzgar Türbinleri..... | 66 |
| 3.3.10. Büyük Rüzgar Türbinleri..... | 66 |
| 3.3.11. Yatay Eksenli Rüzgar Türbinleri..... | 67 |
| 3.3.12. Düşey Eksenli Rüzgar Türbinleri..... | 67 |
| 3.3.13. Eğik Eksenli Rüzgar Türbinleri..... | 68 |
| 3.4. Güneş Enerjisi İle Elektrik Üretmek..... | 78 |
| 3.4.1. Güneş Enerjisinin Üstünlükleri..... | 79 |
| 3.4.2. Isıl (Termik) Güneş Santralleri..... | 80 |
| 3.4.3. Güneş Pilleri ile Elektrik Üretmek..... | 81 |
| 3.4.4. Güneş Işınları..... | 82 |
| 3.4.5. Güneş Pilleri İle Oluşan Panellerin Özellikleri..... | 84 |
| 3.5. Dalga Enerjisi..... | 84 |

| | |
|---|-----------|
| 3.6. Jeotermal Enerji..... | 85 |
| 3.7. Hidrojen Enerjisi..... | 85 |
| 3.7.1. Jeotermal Enerjinin Dünya' daki ve Türkiye' deki Mevcut Durumu Potansiyeli ve Değerlendirme Alanları..... | 86 |
| 3.8. Sobadan Kalorifere Geçiş..... | 86 |
| BÖLÜM 4. DÜNYADA YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAKLARI | 88 |
| 4.1. Avrupa' da Yenilenebilir Enerjilerin Bilançosu ve 2010 Hedefi..... | 88 |
| 4.1.1. Rüzgar Enerjisi..... | 89 |
| 4.1.2. Hidrolik Enerji..... | 89 |
| 4.1.3. Biyomas..... | 91 |
| 4.1.4. Jeotermal Enerji..... | 94 |
| 4.1.5. Fotovoltaik (Pv)..... | 95 |
| BÖLÜM 5. TÜRKİYEDE YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAKLARI | 99 |
| 5.1. Türkiye'nin Biyokütle Potansiyeli Ve Enerji Dönüşüm Sistemlerinde Kullanım İmkanları..... | 99 |
| 5.1.1. Biyokütle Enerjisi ile Elektrik Üretmek..... | 102 |
| 5.1.2. Biyokütle Enerjisinin Dezavantajları..... | 104 |
| 5.1.3. Türkiye' deki Biyogaz Tesisleri..... | 105 |
| 5.1.4. Türkiye' nin Biokütle Potansiyeli..... | 105 |
| 5.1.5. Endüstriyel Ürünler..... | 106 |
| 5.1.6. Biyokütle Çeşitleri ve Atık Potansiyelleri..... | 106 |
| 5.1.6.1. Tarımsal Atıklar..... | 106 |
| 5.1.6.2. Hayvansal Atıklar..... | 107 |
| 5.1.6.3. Kentsel Atıklar..... | 107 |
| 5.1.6.4. Gıda ve Diğer Endüstri..... | 108 |
| 5.1.6.5. Orman Atıkları..... | 109 |
| 5.1.7. Biyokütlenin Enerji Dönüşüm Sistemlerinde Kullanım İmkanları..... | 110 |
| 5.2. Jeotermal Enerji Ve Türkiye..... | 110 |
| 5.2.1. Dünya Rezervleri..... | 112 |
| 5.2.2 Jeotermal Enerjinin Kullanımı..... | 112 |
| 5.2.3 Türkiye' de Jeotermal Enerji Araştırmalarına Yönelik Jeofizik Çalışmalar..... | 113 |

| | |
|--|-----|
| 5.2.4 Jeotermal Enerjinin Üstünlükleri..... | 114 |
| BÖLÜM 6. NEDEN BİR ADA | 116 |
| BÖLÜM 7. MARMARA ADASININ YENİLENEBİLİR ENERJİLER AÇISINDAN DEĞERLENDİRİLMESİ | 117 |
| 7.1. Biokütle Potansiyeli..... | 117 |
| BÖLÜM 8. ADANIN YAŞAYIŞ TARZI İLE İLGİLİ BİLGİLER NÜFUS BİLGİSİ HANE SAYISI | 120 |
| 8.1. İlçenin Kısa Tarihçesi | 120 |
| 8.1.1.Marmara Takım Adaları..... | 120 |
| 8.1.2. Marmara Adası..... | 121 |
| BÖLÜM 9. ESKİ VE YENİ SİSTEMİN EKONOMİK DEĞERLERLE KARŞILAŞTIRILMASI | 124 |
| 9.1. Enerji Çevre Ve Sürdürülebilirlik Enerji Ve Çevre..... | 128 |
| 9.2. Enerji Ve İklim Değişikliği..... | 130 |
| BÖLÜM 10. DÜNYADA YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAKLARI İLE İLGİLİ YASAL DÜZENLEMELER..... | 137 |
| 10.1. Sürdürülebilir Kalkınma - Yenilenebilir Enerji Ve Yenilenebilir Enerji Kaynakları Kanun Tasarısı Taslağı..... | 137 |
| 10.2. Sürdürülebilir Kalkınma Ve Sürdürülebilir Enerji..... | 137 |
| 10.3. Sürdürülebilir Kalkınma Ve Yenilenebilir Enerjiler..... | 138 |
| 10.4. Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Dünyadaki Durumu..... | 139 |
| 10.5. Yenilenebilir Kaynaklarının Türkiye'deki Durumu..... | 143 |
| 10.6. Yenilenebilir Enerji Kaynakları Kanun Tasarısı Taslağı..... | 146 |
| BÖLÜM 11. TÜRKİYEDE YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAKLARI İLE İLGİLİ YASAL DÜZENLEMELER | 147 |
| 11.1. Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Teşviki..... | 147 |
| BÖLÜM 12. TÜRKİYE RÜZGAR GÜNEŞ HARİTASI | 150 |
| BÖLÜM 13. MARMARA ADASI HARİTASI | 151 |
| BÖLÜM 14. MARMARA AVŞA NARLI HEYBELİ ROTASI | 152 |
| BÖLÜM 15. MARMARADA YENİLENEBİLİR ENERJİ SİSTEMLERİ İLE ELEKTRİK KESİNTİLERİNİN ORTADAN KALKMASINDAN SAĞLANACAK KAZANÇ | 153 |
| BÖLÜM 16. BULANIK MANTIK | 154 |

| | |
|---|------------|
| 16.1. Birinci Bölüm Belirsizlik Kavramları..... | 154 |
| 16.1.1. Giriş..... | 154 |
| 16.1.2. Belirsizlik Yöntemleri..... | 160 |
| 16.2. Fuzzy Matematiği..... | 163 |
| 16.2.1. Bulanıklık Kavramı (Fuzziness)..... | 163 |
| 16.2.2. Bulanık Mantık (Fuzzy Logic)..... | 163 |
| 16.2.3. Fuzzy Matematiğinin Temel Elemanları ve Kavramları..... | 168 |
| 16.2.4. Fuzzy Küme Teorisi..... | 169 |
| 16.2.5. Fuzzy Üyelik Fonksiyonları..... | 171 |
| 16.2.5.1. Sınır Ağları..... | 171 |
| 16.2.5.2 Genetik Algoritmalar..... | 172 |
| 16.2.6. Fuzzy Değerlerden Normal Değerlere Dönüşümler..... | 173 |
| 16.2.7. Durulaştırma Yöntemleri..... | 173 |
| 16.2.8. Durulma Yöntemini Belirlemede Kullanılan Kriterler..... | 175 |
| 16.2.9. Genişleme İlkesi..... | 175 |
| 16.3. Bulanık Kümeler ve Üyelik Dereceleri..... | 177 |
| 16.3.1. Bulanık ve Klasik Kümelerin Karşılaştırılması..... | 180 |
| 16.3.2. Bulanık Mantıkta Küme İşlemleri..... | 182 |
| 16.3.2.1. Bulanık kümelerin birleşmesi..... | 184 |
| 16.3.2.2. Bulanık kümelerin kesişmesi..... | 184 |
| 16.3.2.3. Bulanık kümenin tersi..... | 184 |
| 16.3.3. Bulanık Sistem ne Demektir?..... | 185 |
| 16.4. Bulanık Denetim Sistemi..... | 188 |
| 16.5. Fuzzy Çok Amaçlı Programlama..... | 191 |
| 16.5.1. Çok Amaçlı Optimizasyon..... | 192 |
| 16.5.2. Fuzzy Çok Amaçlı Doğrusal Programlama..... | 193 |
| 16.6. Fuzzy Mantık Ne Zaman Kullanılabilir..... | 195 |
| 16.6.1. Fuzzy Matematiğinin Kullanıldığı Alanlar..... | 195 |
| 16.7. Fuzzy Mantığın Avantajları..... | 196 |
| 16.8. Lineer Programlama..... | 196 |
| 16.8.1. Klasik lineer Programlama..... | 196 |
| 16.8.2 Fuzzy Lineer Programlama..... | 199 |
| BÖLÜM 17. TÜKETİM VERİLERİ | 203 |

| | |
|-------------------------------------|------------|
| BÖLÜM 18. MODEL YAPISI | 204 |
| 18.1. Alt Sınırlarla Model..... | 206 |
| 18.2 Üst Sınırlarla Model..... | 207 |
| 18.3 Fuzzy Model..... | 208 |
| BÖLÜM 19. MODEL ÇÖZÜMÜ | 209 |
| 19.1 Alt Sınırlarla Çözüm..... | 209 |
| 19.2. Üst Sınırlarla Çözüm..... | 211 |
| 19.3 Fuzzy Çözüm..... | 213 |
| BÖLÜM 20. SONUÇ | 216 |
| KAYNAKLAR..... | 221 |
| ÖZGEÇMİŞ..... | 225 |



ŞEKİLLER DİZİNİ

| | |
|--|-----|
| Şekil 2.1. Türkiye 2002 Kurulu Gücün Kaynaklara Göre Dağılımı..... | 42 |
| Şekil 3.1. Çöp Gazından Elektrik Üretimi..... | 52 |
| Şekil 3.2. Rüzgar Türbinin Basit Yapısı..... | 65 |
| Şekil 3.3. Isıl Güneş Santrallerinin Prensipteki Bağlantı Şeması..... | 80 |
| Şekil 3.4. Güneş Pili İle Elektrik Üretimine Ait Prensipteki Şema..... | 83 |
| Şekil 9.1. 2000-2030 Arası Enerji Üretiminden Kaynaklı CO ₂ Salımları..... | 131 |
| Şekil 10.1. 2000 yılı itibariyle Dünyadaki Enerji Kaynaklarının Dağılımı..... | 141 |
| Şekil 10.2. Son 30 Yılda Dünyadaki Enerji Kaynaklarının Gelişimi..... | 141 |
| Şekil 10.3. 2000 Yılı İtibariyle Dünya Üretimini Kaynaklara Göre Dağılımı..... | 142 |
| Şekil 16.1. Kesin Kümeler..... | 164 |
| Şekil 16.2. Yaşın 3 Gruba Ayrıldığı Bir Fuzzy Kümelenendirme..... | 165 |
| Şekil 16.3. Fonksiyon Örnekleri..... | 168 |
| Şekil 16.4. Klasik Küme Teorisi..... | 169 |
| Şekil 16.5. Fuzzy Küme Teorisi..... | 169 |
| Şekil 16.6. Fuzzy Kümede Örtüşüm..... | 170 |
| Şekil 16.7. Fuzzy Giriş Değişkeninin Üyelik Derecesi..... | 171 |
| Şekil 16.8. (a) Geometrik Şekiller (b) Müphem Terimler..... | 179 |
| Şekil 16.9. Yaşları ifade eden "Çocuk", "Genç", "Orta" ve "Yaşlı" Bulanık Kümeleri.... | 182 |
| Şekil 16.10. Bulanık Matıkta Küme İşlemler..... | 184 |
| Şekil 16.11. Klasik Sistem..... | 187 |
| Şekil 16.12. Bulanık Denetleyicinin Genel Yapısı..... | 188 |
| Şekil 16.13. Hata ve Hata Değişiminin Grafikselsel Olarak Bulunması..... | 189 |
| Şekil 16.14. Bulunan Hata ve Hata Türevlerine Göre Etkin Olan Kurallar..... | 190 |
| Şekil 16.15. Klasik Lineer Programlamaya Bir Örnek..... | 199 |
| Şekil 16.16. Fuzzy ve Üçgen Fuzzy Sayı Grafiği..... | 201 |

TABLolar DİZİNİ

| | |
|---|----|
| Tablo 1. 1. Dünya Fosil Yakıt Üretim ve Tüketimi (2001 yılı)..... | 7 |
| Tablo 1. 2. 2002 yılı itibariyle dünyadaki kurulu gücün dağılımı..... | 9 |
| Tablo 1. 3. Dünyada Jeotermal Elektrik Üretimi (1999) | 11 |
| Tablo 2.1. Gerçekleşen tüketim | 22 |
| Tablo 2. 2. Talep tahmini | 23 |
| Tablo 2.4. Kurulu gücün kaynaklara göre gelişimi..... | 24 |
| Tablo 2.5. Toplam kurulu güç ve güç yedeği..... | 25 |
| Tablo 2.6. Jeotermal Sahaların Yer Kapasite ve Kullanım Alanları..... | 36 |
| Tablo 2.7. Türkiye' nin Aylık ortalama Güneş Enerjisi Potansiyeli..... | 39 |
| Tablo 2.8. Ülkemizin bölgelere göre güneşlenme potansiyeli ve yıllık elektrik güneş potansiyeli..... | 40 |
| Tablo 2.9. Türkiye' de Yapımı Tamamlanan Biyokütle ve Atık Yakıt Kaynaklı Kojenerasyon Tesisleri..... | 41 |
| Tablo 3.1. 2020 Yılında yenilenebilir enerji kaynakları tahmini..... | 45 |
| Tablo 3.2. Bazı atıklar ve ısı değerleri..... | 51 |
| Tablo 3.3. Değişik arazilerde rüzgar hızları ve güç yoğunlukları..... | 68 |
| Tablo 3.4. Türkiye'nin rüzgar enerjisi potansiyeli..... | 71 |
| Tablo 3.5. Bazı istasyonlardaki ortalama rüzgar hızı..... | 72 |
| Tablo 3.6. Rüzgar potansiyelinin bazı illere göre dağılımı..... | 72 |
| Tablo 3.7. EİE Gözlem İstasyonları Ortalama Rüzgar Hızı (m/s)..... | 73 |
| Tablo 3.8 Proje aşamasındaki bazı rüzgar santralleri..... | 74 |
| Tablo 3.9 Bazı ülkelerin rüzgar enerjisi gücü..... | 77 |
| Tablo 4.1. Dünyada Rüzgar Enerjisinin Gelişimi..... | 88 |
| Tablo 4.2. Avrupa Birliği' de rüzgar kurulu gücü..... | 90 |
| Tablo 4.3. 1994' te kurulu hidro enerji kapasitesi ve kullanılabilir potansiyel (1000 MW)..... | 90 |
| Tablo 4.4. 1999' da AB ülkelerinde odun enerjisi bazlı enerji üretimi (GWh)..... | 91 |
| Tablo 4.5. AB' de Biyogaza dayanan enerji üretimi (GWh)..... | 92 |

| | |
|---|-----|
| Tablo 4.6. AB' de tesis edilmiş küçük hidrolik santral kapasitesi (MW)..... | 93 |
| Tablo 4.7. Avrupa' nın 2003 ve 2010' a yönelik biyomas gelişmesiyle ilgili hedefleri..... | 93 |
| Tablo 4.8. AB' de tesis edilmiş Jeotermik kapasite Elektrik üretimi (MW)..... | 95 |
| Tablo 4.9. AB' de tesis edilmiş termik güneş kollektörü alanları (m ²)..... | 97 |
| Tablo 5.1. Türkiye'de Yenilenebilir Enerji Potansiyeli | 101 |
| Tablo 5.2. Teorik ve Tahmini Biyokütle Üretimi (mTON)..... | 106 |
| Tablo 5.3. Hayvan Başına Ortalama Islak Atık Miktarı..... | 107 |
| Tablo 5.4. Türkiye' de Yapımı Tamamlanan Biyokütle ve Atık Yakıt Kaynaklı Kojenerasyon Tesisleri..... | 109 |
| Tablo 7.1. Marmara Adası' nda Zeytin ve Zeytin Atık Miktarı..... | 117 |
| Tablo 7.2. Marmara Adası' nda Meyve ve Sebze Miktarları..... | 117 |
| Tablo 7.3 Marmara Adası' nda Hayvancılık | 118 |
| Tablo 7.4. Marmara Adası'nda Tarla Ürünleri | 118 |
| Tablo 7.5. Marmara Adası' nda biokütle potansiyeli..... | 119 |
| Tablo 8.1. Marmara adası' nda Elektrik Abone sayıları..... | 123 |
| Tablo 9.1. Fosil Yakıtlardan Her birinin Yol açtığı Çevre Zararı | 124 |
| Tablo 9.2. Enerji sisteminin ürettiği kirleticiler..... | 126 |
| Tablo 9.3. Enerji sisteminin su buhar üretiminin karşılaştırması | 127 |
| Tablo 9.4. Çevre zararı ve çevreye uyum faktörleri..... | 127 |
| Tablo 9.5. Fosil yakıt sisteminin efektif maliyeti..... | 128 |
| Tablo 9.6. Mevcut enerji üretim sistemlerinin çevresel etkileri..... | 129 |
| Tablo 9.7. Enerji kaynaklarının karşılaştırılması..... | 129 |
| Tablo 9.8. Bazı önemli sera gazlarının konsantrasyonlarının değişimi..... | 131 |
| Tablo 9.9. 2000 yılı için seçilmiş enerji göstergeleri..... | 132 |
| Tablo 10.1. 2000 Yılı İçin Bölgesel Yenilenebilir Enerji Kullanım Miktarları..... | 140 |
| Tablo 10.2. 2002 Yılı için Türkiye Genel Enerji Dengesi (MTEP)..... | 144 |
| Tablo 10.3. 2002 Yılı İçin Türkiye Birincil Enerji Tüketimleri (MTEP)..... | 144 |
| Tablo 15.1. Marmara ve Avşa Ada' ları Şebeke Arıza ve Elektrik Kesintileri..... | 153 |
| Tablo 16.1. "Çocuk", "Genç", "Orta" ve "Yaşlı" bulanık kümelerinin atanmış üyelik dereceleri..... | 183 |
| Tablo 17.1 Marmara Adası'nın 2000, 2001, 2002, 2003 yılı elektrik enerjisi tüketim verileri..... | 203 |

| | |
|---|-----|
| Tablo 18.1 Üretim verilerine göre modelimizde hesaplanan ay bazında 1 yıllık tüketim..... | 204 |
| Tablo 18.2. Minimum değerler alınarak oluşturulmuş tüketim ve üretim değerleri | 206 |
| Tablo 18.3. Maksimum değerler alınarak oluşturulmuş tüketim ve üretim değerleri..... | 207 |
| Tablo 18.4. Üretim değerleri tamsayı, tüketim değerleri fuzzy değerler alınarak oluşturulmuş model..... | 208 |
| Tablo 19.1. Üretim ve tüketim verilerinin alt sınırları ile yapılan model çözümü..... | 209 |
| Tablo 19.2. Üretim ve tüketim verilerinin üst sınırları ile yapılan model çözümü..... | 211 |
| Tablo 19.3. Tüketim verilerinin fuzzy sınırları ile yapılan model çözümü..... | 213 |
| Tablo 19.4. Klasik Şebeke ile Üretim Maliyetleri..... | 214 |
| Tablo 19.5. Yeni Sistem Üretim Maliyeti Hesabı ve Klasik Sistem ile Yeni Sistem Arasındaki Maliyet Farkı..... | 215 |

GİRİŞ

Enerjiyi kısaca bir cismin veya bir sistemin iş yapabilme yeteneği olarak tarif etmek mümkündür. Başlıca enerji çeşitleri; kimyasal enerji, ısı enerjisi, elektrik enerjisi ve mekanik enerji olarak sıralanmaktadır. Bu enerjiler birbirlerine enerji dönüşüm sistemleri sayesinde dönüşebilir ve iş yapabilirler. Geleneksel olarak iki enerji türünden bahsedilmektedir. Bunlardan olduğu gibi tüketilen kömür, doğalgaz ve petrol birincil (primer) enerji kaynağı olarak tanımlanmaktadır. Birincil enerji kaynağının fiziksel dönüşümünden elde edilen elektrik, kok, havagazı vb, ise ikincil (seconder) enerji kaynağı olarak adlandırılmaktadır.

Bilinen enerji kaynaklarına alternatif olarak güneş enerjisi, rüzgar enerjisi, jeotermal enerji, dalga enerjisi, hidrojen enerjisi vb. ilave edilmektedir. Dünyada enerji kaynakları içerisindeki en büyük paya fosil yakıtlar {kömür, petrol, gaz) sahiptir. Alternatif enerji kaynakları konusunda yapılan çok ciddi çalışma ve araştırmalara rağmen fosil yakıtların toplam dünya enerji tüketimi içerisindeki oranı halen %85-90 oranında yer almaktadır. Günümüzde kullandığımız ikincil enerjinin büyük bir kısmı da halen petrol, kömür ve doğal gaz gibi fosil yakıtlardan elde edilmektedir. Ancak bu yakıtların rezervlerinin oldukça sınırlı ve tükenmek üzere olduğu artık bilimsel çalışmalar neticesinde somutlaştırılmıştır.

Özellikle gelişmiş ülkeler, enerji açısından doygunluğa erişmiş olmakla birlikte enerji temininin güvenliğini refah düzeylerinin sürdürülebilirliği için yaşamsal önemde görmekte ve programlarını buna göre yapmaktadırlar. Yakın geçmişte de görüldüğü gibi, zengin enerji kaynaklarının kontrolünü ele geçirmek için savaşlar ve işgaller gündeme gelebilmektedir. Diğer yandan enerjinin üretim, dönüşüm ve kullanımı yerel ve küresel düzeyde çevre sorunlarına neden olmakta, uluslar arası anlaşmalarla enerjiden kaynaklı emisyonlara sınırlar getirilmektedir. Enerji alanında diğer bir önemli konu, önümüzdeki yakın gelecekte bir teknolojik paradigma değişikliğinin söz

konusu olup olmadığıdır. Önümüzdeki yıllarda geçen yüzyılın başat enerji kaynağı olan hidrokarbonların egemenliğinin devam mı edeceği yoksa bu bağımlılığın yeni teknolojilerin kullanılabilir hale gelmesi ve/veya yaygınlaşmasıyla giderek azalacağı mı cevaplanması gereken önemli bir sorudur. Ancak cevap ne olursa olsun, enerjinin elde edilmesi, dönüşümü, kullanılabilir hale getirilmesi teknoloji ile yakından ilişkilidir. Yeni enerji kaynakları, yeni proseslerin geliştirilmesi, ekipman vb. konular enerji sektöründeki Ar-Ge faaliyetlerinin alanları arasındadır. Enerji alanına ilişkin bütünsel politika ve değerlendirmelerin, konu ile yakından ilişkili olan bu başlıkları kapsamaması kaçınılmazdır.

Diğer gelişmekte olan ülkeler gibi Türkiye de, enerji gereksinmesi hızla artan, petrol ve doğalgaz başta olmak üzere enerji kaynakları ile teknoloji ve finansman yönünden dışa bağımlı bir ülke durumundadır. Türkiye 'de uzun yıllar boyunca, uzun vadeli ve tutarlı bir enerji politikası geliştirilememiştir. Önce petrol sonra doğal gazın öne çıktığı ithal kaynak bağımlılığı, diğer yandan yapılan planlamaların çoğunlukla yetersiz olması ve/veya yapılan planların gerektiğinde uygulanamaması nedeniyle arz ya da talep fazlası sorunu ortaya çıkması, her iki durumun da ekonomide yarattığı olumsuzluklar, enerjinin verimsiz kullanılması, enerjiden kaynaklı çevre sorunları Türkiye 'de enerji alanının belirgin sorunlarıdır.

Türkiye'nin enerji gereksinimi nüfus artışına ve sanayileşmesine paralel olarak hızla artmaktadır. Buna karşın enerji üretimi tüketimi karşılayamamaktadır. Ülkemizde kullanılabilir ve ekonomik boyutlarıyla 124,5 TWh/yıl hidrolik, 1.8 Mtep/yıl jeotermal, 25 Mtep/yıl güneş, 50 TWh/yıl rüzgar ve 32 Mtep/yıl biyomas enerji potansiyeli bulunmaktadır. Bu yüzden ülkemiz yenilenebilir enerjiler üzerinde çalışmak zorundadır.

Bu amaçla çalışmamda ülkemizdeki yenilenebilir enerji potansiyeli vurgulanmakta ve Marmara Adası pilot bölge seçilerek burada bir uygulama yapılmaktadır. Çalışmamın bölümlerini gözden geçirirsek;

1.Bölümde Dünya enerji durumuna dair bilgiler verilmiştir. Fosil kökenli kaynakların ve yenilenebilir enerji kaynaklarının potansiyelleri ile ilgili bilgiler bulunmaktadır.

Üretim tüketim değerlerine ve maliyetlere de yer verilmiştir.

2. Bölümde Türkiye enerji durumu anlatılmıştır. Üretim tüketim değerleri, var olan kaynaklar, kaynakların kullanım durumları aktarılmıştır.

3. Bölümde Yenilenebilir enerji kaynaklarına dair bilgiler verilmiştir. Rüzgar, biokütle, güneş, jeotermal, dalga, hidrolik vb. olan yenilenebilir enerji kaynakları potansiyelleri ve özellikleri ile anlatılmıştır.

4. Bölümde Dünyada yenilenebilir enerji kaynaklarının durumu ile ilgili bilgiler verilmiştir. Ülkelerin yenilenebilir enerji kullanma oranları ve hedefleri anlatılmıştır.

5. Bölümde Türkiye’de yenilenebilir enerji kaynaklarının durumu ile ilgili bilgiler verilmiştir. Yenilenebilir kaynak miktarları, kaynakların bulunduğu bölgeler belirtilmiştir.

6. Bölümde pilot bölge olarak neden Marmara Adası’nın seçildiği anlatılmaktadır.

7. Bölümde Marmara Adası’nın yenilenebilir enerji kaynakları açısından değerlendirilmesi yapılmıştır. Kaynak çeşitleri ve miktarları tespit edilmiştir.

8. Bölümde Marmara Adası’nın yaşayış tarzı ile ilgili bilgiler, nüfus bilgisi, hane sayısı, yüzölçümü ve coğrafi özellikleri gibi bilgiler verilmiştir. Marmara Adası’nın daha yakından incelemesi yapılmıştır.

9. Bölümde fosil yakıtlarla elektrik üretimi eski sisteminin ile yenilenebilir enerjilerle elektrik üretim yeni sisteminin ekonomik değerlerle karşılaştırılması bulunabilir.

10. Bölümde dünyada yenilenebilir enerji kaynakları ile ilgili yasal düzenlemeler anlatılmaktadır.

11. Bölümde Türkiye’de yenilenebilir enerji kaynakları ile ilgili yasal düzenlemeler anlatılmaktadır.

12. Bölümde Türkiye rüzgar haritası verilmektedir. Pilot bölgesi Marmara Adası’nın rüzgar derecesi görülmektedir.

13. Bölümde Marmara Adası haritası ek olarak verilmektedir. Haritada Marmara Adası’ndaki yükseklik ve düzlükler, ikamet bölgeleri ve yüz ölçüm görülebilmektedir.

14. Bölümde Marmara Adası’na gelen ve adalar arasında dolaşan elektriğin rotası görülmektedir. Bu rotadan, iletim hattındaki bir arıza ile, birbirine bağlı kapalı bir sistem olan elektrik sisteminin büyük mali kayıplar yaşadığı görülebilmektedir.

15. Bölümde Marmara Adası’nda iletim hattını kullanmadan sadece dağıtım hattı üzerinden yenilenebilir enerji kullanımı sayesinde şebekede oluşabilecek arızalardan

etkilenmeme ile elde edilen kazanç görülmektedir.

16. Bölümde Yöneylem Araştırması yöntemlerinden biri olan Bulanık Mantık Yöntemi konu alınmıştır. Bulanık Mantığın temeli, yöntemleri ve kullanım alanları anlatılmıştır.

17. Bölümde Marmara Adası'nın 4 yıllık elektrik tüketim verileri görülebilmektedir.

18. Bölümde Marmara Adası verileri kullanılarak bulanık doğrusal programlama modeli yapısı oluşturulmuştur.

19. Bölümde kurulan modelin çözümleri incelenmektedir. Alt sınırlarla, üst sınırlarla ve fuzzy olarak üç çözüm mevcuttur.

20. Bölümde çalışmanın genel sonucu bulunmaktadır.



1. DÜNYA ENERJİ DURUMU

1.1 Dünya Enerji Durumu Dünya Yenilenebilir Enerji Kaynakları (Enerji Politikaları İle Yerli, Yeni Ve Yenilenebilir Enerji Kaynakları)

Bilim ve Teknolojinin akıl almaz bir hızla geliştiği ve adına bilgi çağı denilen bu yüzyılda en önemli konuların başında geçen yüzyılda olduğu gibi yine Enerji gelmektedir. Enerji stratejik konumunu iki yüzyıldır korumaktadır. Günümüzde enerji üretim ve tüketim miktarları ülkelerin gelişmişliğinin en önemli göstergelerinden biri haline gelmiştir. Bununla birlikte 20. yüzyılın ikinci yarısından itibaren sanayileşmiş ülkelerde enerji tüketimi kaynaklı çevre kirliliği (fosil yakıtların yanması sonucu kirletici gaz emisyonu) etkisini göstermiş ve enerji çevre ile birlikte anılmaya başlanmıştır. Ülkemizde bulunan yerli ve yenilenebilir enerji kaynaklarının potansiyelinin açığa çıkarılması ve bu bağlamda genel enerji üretim-tüketimindeki mevcut kullanım oranlarının yukarı çıkartılması gerekmektedir. Enerjiyi kısaca bir cismin veya bir sistemin iş yapabilme yeteneği olarak tarif etmek mümkündür. Başlıca enerji çeşitleri; kimyasal enerji, ısı enerjisi, elektrik enerjisi ve mekanik enerji olarak sıralanmaktadır. Bu enerjiler birbirlerine enerji dönüşüm sistemleri sayesinde dönüşebilir ve iş yapabilirler. Geleneksel olarak iki enerji türünden bahsedilmektedir. Bunlardan olduğu gibi tüketilen kömür, doğalgaz ve petrol birincil (primer) enerji kaynağı olarak tanımlanmaktadır. Birincil enerji kaynağının fiziksel dönüşümünden elde edilen elektrik, kok, havagazı vb, ise ikincil (secondar) enerji kaynağı olarak adlandırılmaktadır. Bilinen enerji kaynaklarına alternatif olarak güneş enerjisi, rüzgar enerjisi, jeotermal enerji, dalga enerjisi, hidrojen enerjisi vb. ilave edilmektedir. Dünyada enerji kaynakları içerisindeki en büyük paya fosil yakıtlar {kömür, petrol, gaz} sahiptir. Alternatif enerji kaynakları konusunda yapılan çok ciddi çalışma ve araştırmalara rağmen fosil yakıtların toplam dünya enerji tüketimi içerisindeki oranı halen %85-90 oranında yer almaktadır. Günümüzde kullandığımız ikincil enerjinin büyük bir kısmı da halen petrol, kömür ve doğal gaz gibi fosil yakıtlardan elde edilmektedir. Ancak bu yakıtların

rezervlerinin oldukça sınırlı ve tükenmek üzere olduğu artık bilimsel çalışmalar neticesinde somutlaştırılmıştır. İnsan yaşamının vazgeçilmez bir parçası olan enerji, geçmişte olduğu gibi bugünde dünya ve Türkiye gündeminde tartışılan konuların başında yer almaya devam etmektedir. Enerji, ülkelerin ekonomik ve sosyal olarak gelişiminde, dolayısıyla toplumsal refahın artırılmasında vazgeçilmez bir etken olmaya devam etmektedir.

1.2 Dünyadaki Durum

Dünya ölçeğinde kullanmakta olduğumuz enerjinin çoğu petrol, kömür ve doğal gaz gibi fosil yakıtlardan elde edilmekte olup bu kaynakların rezervlerinin de oldukça sınırlı olduğu yapılan araştırmalarla belirlenmektedir. Dünyamızdaki petrol rezervlerinin 35-40 yıl, doğal gaz rezervlerinin 65 yıl ve kömür rezervlerinin 220 yıl sonra tükeneceği bilim insanları tarafından ifade edilmektedir. Ayrıca fosil yakıtların sera gazı olarak bilinen CO₂ gazını yaydığı için küresel iklim değişikliklerine neden olduğu da bilinen bir gerçekliktir. Bu nedenle fosil yakıtlardan üretilen enerjinin gerçek fiyatını bulmak için uzun dönemde meydana gelebilecek çevre etkisi ve insan sağlığı üzerine olan etkilerini de göz önüne almak gerekmektedir. Küresel ölçekte özellikle fosil enerji kaynaklarının eninde sonunda tükeneceği bilinmektedir. Bu gerçekten hareketle insanoğlunun geleceği açısından yeni enerji kaynaklarının bulunması ve sürekliliğinin sağlanması ihtiyaç olmaktan çıkarak yaşamsal bir zorunluluk halini almaktadır. Gelişmiş ülkelerde bu nedenle yeni ve yenilenebilir enerji kaynakları olarak tanımlanan güneş enerjisi, jeotermal enerji, hidroelektrik enerji, bio-enerji, hidrojen, dalga/okyanus enerjisi ve rüzgar enerjisi gibi alanlarda çok ciddi AR-GE çalışmaları yapılmaktadır. Özellikle yenilenebilir enerji kaynaklarının büyük bir çoğunluğu enerjisini direkt veya endirekt olarak güneşten almakta, dolayısıyla bu kaynaklar sürekli olarak yenilendiklerinden tükenmemektedirler. Bu kaynakların çoğu çevre ve insan dostudur. Dünyada enerji tüketimi oranlarına bakıldığında ülkelerin sosyoekonomik gelişmişliklerine göre değişiklikler gösterdiği görülmektedir. Dünyada birincil enerji kaynaklarının üretim tüketim oranlarına bakıldığında Kuzey Amerika, Avrupa, Asya, Pasifik Bölgelerinin ürettikleri enerjinin üzerinde enerji tükettikleri Tablo 1.1.' de görülmektedir.

Tablo 1.1. Dünya Fosil Yakıt Üretim ve Tüketimi (2001 yılı)

| Bölge | Üretim | | Tüketim | |
|-----------------------|--------------|------|--------------|------|
| | (Milyon TEP) | % | (Milyon TEP) | % |
| Kuzey Amerika | 1977,4 | 24,6 | 2307,3 | 29,1 |
| Orta ve Güney Amerika | 480,2 | 6 | 328 | 4,1 |
| Avrupa | 817,2 | 10,2 | 1527,1 | 19,3 |
| Eski SSCB | 1239,8 | 15,4 | 843,3 | 10,6 |
| Ortadoğu | 1281,4 | 15,9 | 395,7 | 5 |
| Afrika | 613,4 | 7,6 | 259,7 | 3,3 |
| Asya ve Okyanusya | 1641,5 | 20,4 | 2268,1 | 28,6 |
| Toplam Dünya | 8050,9 | 100 | 7929,2 | 100 |

Kaynak.Bp. statistical review world Energy June 2002

Dünyada yaşanan gelişmeler incelendiğinde, dünyadaki enerji tüketiminin büyük bölümünü gerçekleştiren gelişmiş ülkelerde enerji talebi belirli bir doygunluğa erişmiş ve talep artış hızları süreç içerisinde yavaşlamaktadır. Dolayısıyla önümüzdeki yıllarda talep artışlarının özellikle elektrik enerjisi özelinde ağırlıkla gelişmekte olan ülkelere geleceği beklenmektedir¹.

1.3 Yenilenebilir Enerji Kaynakları

Kömür, petrol, doğal gaz gibi yakıtlar fosil enerji kaynakları olup dünyadaki rezervleri oldukça sınırlıdır. Dolayısıyla bu kaynakların gelecekte tükenmesi kaçınılmazdır. Ancak yenilenebilir enerji kaynağı olarak tanımlanan güneş enerjisi, jeotermal enerji, hidroelektrik enerji, bio-enerji, hidrojen, dalga veya okyanus

¹ Türkiye 4. Enerji Sempozyumu, 2003. Küresel Enerji Savaşları Ulusal Kamusal Enerji Politikaları. Milli Kütüphane, 57-84, 143-185, 295-355, Ankara.

enerjisi ve rüzgar enerjisi, enerjilerini direkt veya endirekt olarak güneşten almakta ve dolayısıyla da sürekli olarak yenilendiklerinden tükenmemektedirler. Yenilenebilir enerji kaynakları, yenilenebilir kaynak oluşları, en az düzeyde çevresel etki yaratmaları işletme ve bakım masraflarının az olması ve ulusal nitelikleri ile güvenilir enerji sağlama özellikleri sebebiyle ülkemiz için oldukça önemli bir yere sahiptir.

1.3.1 Hidrolik enerji

Hidrolik enerji elektrik üretiminde en önemli kaynaklardan biridir ve birçok ülkede enerji ihtiyacının %25' den fazlası bu kaynaklardan karşılanmaktadır. Hidrolik enerjinin en yaygın kullanım şekli nehirler üzerine barajlar inşa ederek büyük su rezervuarlarında suyu biriktirmek ve bu suyun potansiyel enerjisini elektrik enerjisine dönüştürmek esasına dayanmaktadır.

1.3.2 Rüzgar enerjisi

Rüzgar enerjisi, MÖ 4000 yıl kadar önce yelkenlileri hareket ettirmekte, mısır ve buğday öğütmekte ve sulamada kullanılmaktaydı. Günümüzde ise rüzgar enerjisinden elektrik enerjisi üretiminde yararlanılmaktadır. Rüzgarın elektrik enerjisinde ilk kullanımı 1882 yılında Amerika'nın New York şehrinde gerçekleştirilmiş olup bu konuda çalışmalar günümüzde yaygınlaşarak devam etmektedir. Özellikle 1970' li yıllarda yaşanan petrol krizi, modern rüzgar türbinlerinin gelişimine önemli katkıda bulunmuştur.

Günümüzde rüzgar enerjisi teknolojisi; küçük ölçekli mekanik su pompajı, tek başına sistemlerle küçük birimlerin elektrik enerjisi gereksiniminin karşılanması ve doğrudan şebeke bağlantılı rüzgar tarlası şeklindeki sistemler olarak gelişme göstermektedir. Rüzgar türbini kurulduğu arazinin %5' ini işgal ettiğinden ve türbin kanatları yerden epeyce yüksekte olduğundan kalan arazi tarım, otlatma ve diğer amaçlar için rahatlıkla kullanılabilir. Rüzgar türbinleri gece ve gündüz rüzgar olduğu sürece sürekli enerji üretmektedirler. Ayrıca rüzgar enerjisinin diğer elektrik üretim yöntemleriyle kıyaslandığında en önemli çevresel yararının hava kirleticileri ve sera gazları emisyonlarının olmamasıdır.

Dünyada kurulu bulunan rüzgar santrallerinin 2002 yılı sonu itibarıyla toplam nominal gücü 31.128 MW'tır. Amerika, Danimarka, Almanya ve İspanya dünyada kurulu bulunan toplam rüzgar gücünün %70' ini üretmektedir. Amerika'da yaklaşık olarak bir nükleer santrale eşdeğer 985 MW' lık rüzgar santrali 1998 ortasından 1999 yılı sonuna kadar kurulmuştur. Danimarka kendi enerji ihtiyacının %10' unu rüzgar enerjisinden temin etmektedir. İspanya'nın Navarra ili kendi ihtiyacının %20' sini rüzgar enerjisinden temin etmektedir.

Tablo 1. 2. 2002 yılı itibarıyla dünyadaki kurulu gücün dağılımı

| Yer | Toplam MW |
|---------|-----------|
| Amerika | 5148 |
| Avrupa | 23291 |
| Asya | 2585 |
| Afrika | 137 |
| Diğer | 33 |

Kaynak: www.ewea.org.tr

Türkiye'nin de içinde bulunduğu Avrupa kıtasını ele aldığımızda Almanya, 2002 yılında tesis ettiği 3.247 MW yeni kapasite ile toplamda 12.001 MW kurulu güce ulaşarak, tüm dünyadaki kurulu rüzgar gücünün %38' ine ulaşmış durumdadır.

1.3.3 Jeotermal enerji

Jeotermal enerji yer kürenin daha sıcak olan merkezinden yüzeye doğru sürekli olarak akan yerkürenin iç ısısıdır. Dünya genelinde yeryüzüne ısı akışı ortalama 82 miliwatt/m² olarak varsayılır. Yerkürenin yaklaşık 10 km derinliği içindeki kayaçların içerdiği ısının dünya enerji gereksinimini 6 milyon yıl karşılayacak büyüklükte olduğu tahmin edilmektedir. Yerkürenin içindeki bu enerji derinlerde iletim yoluyla kayaçlara, yer yüzeyine yaklaştıkça akışkanlar aracılığı ile taşınım yoluyla gerçekleşmektedir. Jeotermal enerji iklimden bağımsızdır. Yer yüzeyine yakın olağan dışı sıcak bölgeler jeotermal alanları oluşturmaktadır. Jeotermal alanlardaki sıcak kayaç ve yüksek sıcaklıklı yeraltı suyu diğer alanlara göre daha sığ derinliklerde bulunmaktadır.

Jeotermal sistemlerde ısı taşıyıcı akışkanlar meteorik kökenlidirler. Düşen yağışların bir kısmı geçirimli bölgelerden ısıtıcı kayaçların bulunduğu derinliğe kadar inerler, ısınarak tekrar yüzeye çıkar veya çıkarılırlar. Bu hiçbir zaman jeotermalin sürekliliği ve sonsuzluğu anlamına gelmemektedir. Jeotermalin sürdürülebilir olması doğru işletimi ile yakından ilgilidir. Ancak ülkemizde bu konuda yasal bir boşluk olup topluma ait bu kaynakların belli bir kısmı yanlış kullanım nedeni ile devre dışı kalmaktadır.

Jeotermal Enerjinin Tarihi; eski Romalılar doğal sıcak su olarak termal banyolarda ısıtma ve sağlıkta kullanılmaya başlamasıyla başlar. ABD'de ilk olarak 1891 yılında Idaho'da daha sonra 1900 yılında Oregon'da konut ısıtılmasında kullanılmıştır. 1904 yılında İtalya'nın Larderello şehrinde ilk defa jeotermal kuru buhardan enerjiyle elektrik üretilmiştir. 1960 yılında ilk ticari jeotermal enerjiden (kuru buhar) elektrik enerjisi üretimi Amerika'da Kaliforniya'da üretilmiştir. 1969 yılında Fransa'da büyük şehirlerin jeotermal enerji ile ısıtılmasına başlanılmıştır. Jeotermal Enerji Kaynaklarını; Kuru buhar kaynakları, Sıcak su kaynakları (atmosfere açık veya kapalı), Derin yer kabuğu ısısı (sıcak kayalar) ve Magma (mutlaka geliştirilmesi gerekli) olarak tanımlayabiliriz.

Jeotermal enerji buhar veya sıcak su boruları ile güç santraline taşınarak elektrik üretiminde, buhar ya da sıcak su pompalanarak borular vasıtasıyla aynı zamanda evlerin ısıtılmasında da kullanılmaktadır. Ayrıca jeotermal enerji; konutların ısıtılmasında, üretimde proses ısısı olarak, absorpsiyonlu soğutma sistemlerinde, tarımda, seracılıkta, kültür balıkçılığında, kaldırımlarda ve karların eritilmesinde de direkt olarak kullanılmaktadır. Jeotermal enerji ile sürekli güç üretilebilmektedir. Jeotermal enerji; 5-10 MW güçte küçük santraller halinde kurulmaya ve geliştirilmeye uygun olması, uzun dönemde hava değişikliklerinden ve kullanıcılardan etkilenmemesi, fosil yakıtların fiyat dalgalanmalarından bağımsızlığı, fiyatının kömürlü termik santrallerle ve doğal gazla rekabet edebilecek kadar düşük olması, kapalı sistemlerde yaydığı emisyon değerinin sıfır olması nedeniyle çevreciler için vazgeçilmez bir enerji kaynağıdır.

Dünyada 35 ülkede Jeotermal Doğrudan Kullanım kapasitesi 10.000 MWt' dir. Bunlara termal kullanımı da ilave ettiğimizde bu sayı 40' a ulaşmaktadır. Sadece ABD de 18 adet Jeotermal Bölgesel Isıtma Sistemi, 38 sera kompleksi, 28 balık üretme çiftliği,

12 Endüstriyel kullanım ve 218 adet balneolojik kullanım bulunmaktadır. Batı ABD’de jeotermal kurulu güç yaklaşık 2850 MW’ tır. Utah Eyaletinin elektrik toplam ihtiyacının %2’si, Kaliforniya Eyaletinin %6’ sı ve Nevada Eyaletinin ise %10’u jeotermalden karşılanmaktadır.

Tablo 1. 3. Dünyada Jeotermal Elektrik Üretimi (1999)

| Ülkeler | MW |
|-------------------------|----------|
| ABD | 2,85 |
| Filipinler | 1,848 |
| İtalya | 768,5 |
| Meksika | 743 |
| Endonezya | 589,5 |
| Japonya | 530 |
| Yeni Zelenda | 345 |
| Kosta Rika | 120 |
| İzlanda | 140 |
| El salvador | 105 |
| Nikaragua | 70 |
| Kenya | 45 |
| Çin H.C. | 32 |
| Türkiye | 21 |
| Rusya | 11 |
| Portekiz (Azor Adaları) | 11 |
| Guatemala | 5 |
| Fransa (Gadeloupe) | 4 |
| Tayvan | 3 |
| Tayland | 0,3 |
| Zambia | 0,2 |
| Toplam | 8,217 MW |

Kaynak: Geothermal Education Office

1.3.4 Güneş enerjisi

Güneş enerjisi, güneşten gelen ve yeryüzünde 0-1100 W/m² değerlerinde bir ısı etkisi yaratan yenilenebilir bir enerjidir. Bu enerji ile ısıtmadan soğutmaya çok farklı ısı etkisinin kullanıldığı uygulamalar gerçekleştirilmektedir. Ayrıca değişik teknolojiler ile elektrik enerjisi üretimi de gerçekleştirilebilmektedir. Güneş Enerjisi gibi yenilenebilir enerji kullanımlarına ülke enerji politikalarında yer verilmesi enerji dış alımlarını azaltabileceği gibi, fosil yakıtlardan kaynaklanan çevre kirliliğinin de azaltılmasını sağlayacaktır.

Fotovoltaik Hücreler PV hücreler gürültüsüz çevreyi kirletmeden herhangi bir hareket eden mekanizmaya ihtiyaç duymadan güneş enerjisini direkt olarak elektrik enerjisine çeviren sistemlerdir. PV hücreler hesap makinalarında, saatlerde, uydularda, aydınlatmada ve küçük aletlerin çalıştırılmasında yaygın olarak kullanılırlar. PV hücreler elektrik enerjisi iletim hattı bulunmayan ya da uzak olan yerlerde evlerin hatta köylerin, çiftlik evlerinin, su pompalarının, çeşitli aletlerin uzaktan kumandasında da kullanılmaktadır.

Güneş enerjisi ile çalışan ilk motorun patenti 1861 yılında alınmış olmasına karşın güneş enerjisi daha sonraki yıllarda (1970' li yıllardaki enerji krizine kadar) unutulmuştur. Fotovoltaik Endüstri Birliği (EPIA) ve Greenpeace tarafından yayınlanan raporda (17 Ekim 2001 İstanbul / Berlin) dünyada 2040 yılına kadar küresel enerji gereksiniminin %26' sının güneş enerjisinden sağlanacağı ve 2 milyondan fazla kişiye istihdam imkanı sağlanacağı ifade edilmektedir.

Günümüzde modern güneş pillerindeki ileri teknolojiler ile %20-30 ve daha yüksek verimlere ulaşılabilmektedir. Bugün fotovoltaik yolla elde edilen elektrik enerjisinin maliyeti 0,1 \$/kwh düzeyindedir. Şu an için güneş enerjisi, üretim maliyeti bazında diğer kaynaklara göre daha pahalı görünmekle birlikte, güneş pillerinin verimlerinin artırılması konusunda sürdürülen çalışmalarla maliyetlerin daha aşağılara çekilmesi beklenmektedir

1.3.5 Biyokütle - biyogaz enerjisi

Biyokütle yeni-yenilenebilir enerji kaynakları içinde ciddi bir teknik potansiyele sahiptir. Ana bileşenleri karbo-hidrat bileşikleri olan bitkisel ve hayvansal kökenli tüm maddeler "Biyokütle Enerji Kaynağı", bu kaynaklardan üretilen enerji ise "Biyokütle Enerjisi" olarak tanımlanmaktadır. Bitkisel biyokütle, yeşil bitkilerin güneş enerjisini fotosentez yoluyla doğrudan kimyasal enerjiye dönüştürerek depolaması sonucu oluşmaktadır. Fotosentez ile enerji içeriği yaklaşık olarak 3.10^{21} J/yıl olan organik madde oluşmaktadır. Bu değer dünya enerji tüketiminin 10 katı enerjiye karşılık gelmektedir. Biyokütle ısı sağlamak, yakıt üretmek ve elektrik üretmek için kullanılmaktadır. Amerika'da hidroelektrik enerjiden sonra ikinci sıradaki yenilenebilir enerji kaynağıdır. Hesaplamalar Amerika'nın enerji ihtiyacının %3' ünü biyokütleden sağladığı şeklindedir. Örneğin etanol üretmek için mısır gibi çabuk büyüyen ot ve ağaçlar, odun talaşları ve evsel atıklar kullanılmaktadır. Üretilen etanol ile de taşıtları çalıştırmak mümkündür. Etanol ayrıca benzine göre daha temiz emisyon veren bir yakıttır. Odun {enerji ormanları, çeşitli ağaçlar}, yağlı tohum bitkileri (kolza, ayçiçek, soya v.b), karbo-hidrat bitkileri (patates, buğday, mısır, pancar, enginar, vb.), elyaf bitkileri (keten, kenaf, kenevir, sorgum, miskantus, v.b.), protein bitkileri (bezelye, fasulye, buğday v.b.), bitkisel artıklar (dal, sap, saman, kök, kabuk, v.b.), hayvansal atıklar ile şehirselle ve endüstriyel atıklar biyokütle enerji teknolojileri kapsamında değerlendirilmekte ve mevcut yakıtlara alternatif çok sayıda katı, sıvı ve gaz yakıtlarına ulaşılmaktadır. Biyokütle kökenli, en önemli Diesel motoru alternatif yakıtı biyomotorindir. Biyomotorin (Biodiesel), biyodizel, Dizel-Bi, Yeşil Dizel adları ile de bilinmektedir. Biyomotorin üretiminde bitkisel yağ olarak kolza, ayçiçek, soya ve kullanılmış kızartma yağları, alkol olarak metanol, katalizör olarak alkali katalizörler (sodyum veya potasyum hidroksit) tercih edilmektedir. Çok yakın bir zamanda Avrupa Birliği biyomotorin standartlarının kullanıma açılması beklenmektedir. Biyokütle ve Biyogaz enerjisinin dünyada ilk kullanımına örnek 19. Yüzyılda İngiltere'de fosseptiklerde oluşan gazın sokak aydınlatmasında kullanılmasıdır. Dünya enerji konseyinin 1990 yılı verilerine göre dünya enerjisinin %15' i biyokütleden sağlanmaktadır. Ancak bazı teorik çalışmalara göre biyokütle 2050 yılına kadar dünyanın katı ve sıvı yakıt gereksinmesinin %38' ini ve elektriğin %18' ini sağlayabilecektir.

Bugün için biyogaz üretim potansiyeli olan atık maddeler; kırsal atıklar, yüksek kirlilik içeren endüstriyel atıklar, atık su arıtma tesislerinden biyolojik arıtma süreci sonunda elde edilen çamurlar, katı atıkların organik özellik taşıyan bileşenleri ve bu atıklara benzer özellikteki diğer atıklar şeklinde sıralanabilir. Bu atıkların biyogaz üretimi için kullanılmasıyla bir yönüyle atık bertarafı gerçekleştirilirken, diğer yönüyle de enerji elde edilmiş olur. Ayrıca, organik bir kaynak niteliğindeki atıklardan gübrenin tezekk olarak yakılması ulusal ekonomi için büyük zarardır. Bu bağlamda biyogaz tesislerinin yaygınlaştırılması önemlidir. Biyogaz tesislerinin yanı sıra, şebeke ile bağlantılı çalışan "çöp termik santralleri" ile elektrik üretimi sağlanabilmektedir. Kuzey Avrupa Ülkelerinde biyogaz materyalle ve biyogazla çalışan otoprodüktör kojenerasyon tesisleri bulunmaktadır. Dünya ölçeğinde biyokütleden elde edilen enerjinin toplam enerji üretimindeki oranı % 12 civarındadır. Gelişmekte olan bazı ülkelerde bu oranın %40' lara varmakta olduğu ifade edilmektedir.

Bir tür biyogaz materyali olan çöpün, çöp termik santralleriyle enerji üretiminde kullanılması, özellikle kentsel çöpün ortadan kaldırılmasıyla birlikte iki tür işlevi içermektedir. Böylelikle çöp yığınlarında açılan özel sondaj kuyuları ile metan gazı elde edilmektedir. Doğal biçimde, çöplerin fermentasyona uğraması sonucunda oluşan metan gazı, çöp yığınlarından sızmana durumunda patlamalara neden olduğu gibi; atmosfere dağılması durumunda da sera etkisine yol açmaktadır. Metan sondaj kuyuları ile alınan gaz çevre sorunu oluşturmadan, gaz türbinli bir santralde yakıt olarak değerlendirilebilmektedir.

1.3.6 Dalga enerjisi

Dünyanın enerji ihtiyacı gün geçtikçe artmakta ve bu ihtiyacı karşılamak amacıyla yapılan çalışmalar da en önemli yeri en fazla potansiyele sahip enerji kaynağı olarak dünyanın 3/4' ünden fazlasını kaplayan okyanuslar oluşturmaktadır. Okyanus enerjisi çevreyi kirletmeden, sürekli kendini yenileyerek tükenmeyecek bir kaynaktır. Bu konuda Avrupa Birliği tarafından yapılan araştırmalara göre, 2010' da okyanuslardan elde edilecek enerji ile 1 milyon evin enerji ihtiyacını karşılayacak kadar elektrik üretilebileceği tasarlanmaktadır. Okyanustan enerji üretmenin yolu gelgitler, okyanus ısısı, dalgalar, akıntılar, tuzluluk oranı ve metan gazı olarak sayılabilir. Bu yöntemlerden üçünü kısaca açıklarsak; gelgit enerjisi ayın çekim kuvveti ile denizlerin yükselip

alçalan seviye farklarını, termal enerji değişimi ise deniz suyunda oluşan sıcaklık farklarını, dalga enerjisi de deniz üstünde esen rüzgarların meydana getirdiği dalgalar arası farkları ifade etmektedir.

Okyanus dalgalarında trilyonlarca watt elektrik üretebilecek kadar potansiyel bulunduğu bilinmektedir. Dalga Enerjisi üreten sistemler, enerjiyi ya okyanusun yüzeyindeki dalgalardan, ya da suyun altındaki dalgalanmalardan elde etmektedirler. Gelgit hareketlerinden elektrik üretmek için, alçalan ve yükselen gelgit arasındaki farkın en az beş metre olması gerekmektedir. Yeryüzünde bu büyüklükte gelgitlerin bulunduğu yaklaşık kırk bölge bulunmaktadır. Gelgit enerjisi üretmek için körfezler en ideal bölgeleri oluşturmaktadır. Gelgitlerden enerji elde etmek için körfeze boydan boya baraj veya barikat kurularak gelgitler sıkıştırılarak, barajın diğer tarafındaki su yeterli seviye farkına ulaştığında geçitler açılarak, su türbinlere doğru akıtılmakta ve türbinler elektrik jeneratörleri vasıtasıyla elektrik üretimini sağlamaktadırlar. Bir diğer gelgit teknolojisi olarak da gelgit çitleri tasarlanıyor. Gelgit çitleri, dev turnikeleri andırmaktadır. Bu turnikeler gelgitler olduğunda dönerek enerji üretecekler. Gelgit enerjisinden yararlanmak için tasarlanan bir diğer yöntem ise suyun altına yerleştirilecek olan gelgit türbinleridir.²

Avrupa Birliği yetkilileri tarafından Avrupa'da bu iş için uygun 106 bölge tespit edilmiştir. Ayrıca Filipinler, Endonezya, Çin ve Japonya' da gelecekte geliştirilebilecek sualtı türbin alanları da bulunmaktadır. Bugün dünyada iki ticari gelgit barajı bulunmaktadır. Biri Fransa' da bulunan 240 MW gücünde La Rance santrali, diğeri de Kanada' da bulunan 16 MW Annoapolis santralidir. Ayrıca gelgit olaylarının yaşandığı İngiltere'de gelgit barajı yapma yönünde çalışmalar yapılmaktadır. Gelgit enerjisinden gelgit çitleri ile elektrik üretmek üzere yapılan en büyük çalışma ise daha hayata geçmemiş bir proje olan Dalupiri Geçidi projesidir. Filipinlere bağlı Dalupiri ve Şamara adaları arasındaki geçite gelgit çitleri konularak gerçekleştirilmesi düşünülen proje kapsamında 2200 MW elektrik üretilmesi planlanmaktadır.

² Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu, 2001. 3E, Sayı 81, 126-128, İstanbul.

Hesaplamalara göre yeryüzündeki okyanuslardaki gelgit hareketleri her gün devamlı olarak 3 bin milyar kW enerji kapasitesi taşımaktadır. Bu enerjinin yüzde 2'sinin (toplam 60 milyar watt) elektrik enerjisine dönüştürülebileceği sanılmaktadır. Gelgit enerjisinden, Rusya ve Fransa gibi ülkelerde 400 kW' tan 240 milyon kW'a varan kapasitelerde yararlanılmaktadır.

Okyanus Isısı Enerjisi (OTEC) Okyanuslar yeryüzünün yüzde yetmişinden fazla kısmını kaplayan alanlarıyla, çok büyük miktarda güneş enerjisi topluyorlar. Okyanus ısısı enerji üretiminde, okyanusların güneşten topladığı ısıdaki enerji elektriğe dönüştürülüyor. Bu yöntemle elektrik elde etmek için yüzeydeki su sıcaklığı ile derindeki su sıcaklığı arasındaki farkın 20 derece olduğu yerler kullanılmaktadır. Bu konuda dünyada OTEC çalışmalarının en önemlisi Hawai' de yapılmıştır.

Okyanus ısısı enerji üretim tesisleri kurulduğunda diğer canlılar için de faydalı etkileri olacak. Bu tesislerde derinlerdeki mineral bakımından zengin okyanus suyu kullanıldığı için, kıyadaki bitkiler de bundan yararlanacak. Bunun yanı sıra makineler vasıtasıyla deniz suyu tuzundan arındığı için sanayi ve tarımda kullanılabilir bol miktarda su üretilecek. Araştırmacılar çok yakın zamanda bu enerji üretim yönteminin yavaş yavaş tükenmekte olan fosil kaynaklarının yerini alacağına inanmaktadırlar.

Bugün üretim maliyetinin yüksek olduğu gerekçesiyle ihmal edilmek istenen dalga enerjisinden elektrik üretiminin maliyeti teknolojinin gelişmesiyle daha da aşağıya düşecektir. Nitekim dalga enerjisini geliştirmek için çalışan ve bu alanda yatırım yapanlar dalga enerjisinin bugünkü noktada rüzgarın 10 sene önceki konumunda olduğunu iddia etmekte ve umutlarını kaybetmemektedirler. Bu konuda itiraz edenlere maliyet sorununun daha önce rüzgarda da yaşandığı, ancak rüzgar enerjisi maliyetlerinin son 17 senede 10 kat azaldığı ve rüzgarın bugün 2 milyar dolara yaklaşan bir endüstri haline geldiği hatırlatılmaktadır.

1.3.7 Hidrojen enerjisi

Yenilenebilir enerji kaynakları içinde hidrojenin önemi her geçen gün hızlı bir şekilde artmaktadır. Yıldız ve gezegenlerde serbest halde en çok bulunan element olan

hidrojen, dünyada da fazla miktarda bulunmasına rağmen, serbest halde bulunmamaktadır. Bununla birlikte hidrojen birincil enerji kaynakları ile değişik hammaddelerden üretilmekte ve üretiminde dönüştürme işlemleri kullanılmaktadır. Sınırsız kaynağa sahip olan ve havayı kirletmesi açısından içten yanmalı motorlarda kullanılan diğer alternatif yakıtlara göre pek çok avantaja sahip hidrojenin, içten yanmalı motorlarda kullanım çalışmalarına 1900' lü yıllarda başlanmış ve günümüzde de çok yoğun bir şekilde çalışmalara devam edilmektedir. Gaz haldeki hidrojen renksiz, kokusuz ve tatsız bir gazdır. Hafif olan kütlesi nedeniyle çok yüksek yayılma özelliğine sahiptir. Gaz haldeki hidrojen aynı hacimdeki havadan 15 kat daha hafiftir. Hidrojen enerjisi tüm enerji çeşitleri içinde neredeyse en ucuzu durumundadır. Birim kütle başına diğer bilinen tüm yakıtlardan daha fazla kimyasal enerjiye sahiptir. 1 metreküp sudan 108.7 birim hidrojen üretilmekte, bu ise yaklaşık olarak 422 lt benzine eşdeğerdir. Bu enerjinin bir özelliği de istenilen biçimde (katı, sıvı, gaz, metal-hidrit vs) kolayca depolanabiliyor olmasıdır.

Kullanım alanları incelendiğinde hidrojenin, fosil yakıtlara göre oldukça fazla alanda kullanılabileceği ortaya çıkmaktadır; hidrojen alevli yanma, doğrudan buhar üretimi, katalitik yanma, kimyasal dönüştürme, elektro-kimyasal dönüştürme uygulamalarında yakıt olarak kullanılabilirken, fosil yakıtlar sadece alevli yanma uygulamalarında kullanılabilmektedirler. Hidrojenli yakıtlarda hidrojen sıvı ve yüksek basınç altında gaz halde depolanmaktadır. Yakıt özellikleri incelendiğinde, hidrojenin motorlarda yakıt olarak kullanılması durumunda petrol kökenli motor yakıtlara oranla birçok avantaja sahip olduğu görülmektedir. Hidrojenin yakıt olarak kullanılmasında, yanma ürünü olarak su buharı açığa çıkarması ile çevreye hiçbir zararı yoktur. Hidrojen boru hatları ile taşınabilmesinin yanında depolanabilmesi de hidrojeni elektrik enerjisine göre daha avantajlı kılmaktadır. Hidrojenin boru hatları ile iletiminin maliyeti elektrik dağıtım hatlarının maliyetinin sadece ¼' ü kadardır. Geleceğin yakıtı hidrojen için en uygun sistem hidrojenli yakıt pili teknolojisidir.

Yakıt pilleri sisteme dışarıdan sağlanan yakıt ve elektrokimyasal reaksiyonun gerçekleşmesi için gerekli olan oksitleyicinin kimyasal enerjisini doğrudan elektrik ve ısı formunda kullanabilir enerjiye çeviren güç üretim elemanıdır. Bir yakıt pili "Yakıt İşleme Ünitesi", "Güç Üretim Sistemi" ve "Güç Dönüştürücü" olmak üzere 3 ana bölümden

oluşmaktadır. Komple bir yakıt pili güç üretim sistemi bir yakıt kaynağı bir hava kaynağı, bir soğutma ünitesi ve bir de kontrol ünitesi içeren bir otomobil motoruna benzetilebilir. Güç Dönüştürücü ünitesinde hücrede üretilen doğru akım ticari kullanım için alternatif akıma çevrilmektedir. Yakıt pili uygulama alanları; Uzay Çalışmaları, Askeri Uygulamalar, Evsel Uygulamalar, Sabit Güç Üretim Sistemi, Yüksek Güç Üretim Sistemi Uygulamaları, Taşınabilir Güç Kaynağı Uygulamaları, Atık Su Uygulamaları, Taşıt Uygulamaları şeklindedir.

Ayrıca yakıt pilleri otobüs, kamyon, otomobil ve her türlü taşıt için yakıt görevi yapabilecek özelliklere sahiptir. Yakıt pilli araçlar, benzin ve motorin ile çalışan araçlara göre daha temiz ve enerji bakımından daha verimli bir uygulamadır. Günümüzde taşıt emisyonlarının çevre kirliliği üzerindeki etkileri düşünüldüğünde, yakıt pili ile çalışan araçlar çevre dostu ve karlı bir seçimdir. Yakıt pilleri kullanımında taşıt gürültü kirliliği de görülür düzeyde azalmaktadır. Bir diğer avantaj da yakıt olarak hidrojen kullanıldığında araçlarda emisyon olarak sadece su oluşmasıdır. Hidrojen gazının depolanması üzerinde çalışmalar da son hızıyla devam etmektedir. Çeşitli depolama sistemleri içerisinde yüksek basınçlı hidrojen en iyi sistem olmakla birlikte hafif araçlarda gerekli olan hacim ve ağırlık kriterlerini karşılayamamaktadır. Ancak bu konudaki çalışmalar devam etmektedir.

Bu avantajlarından dolayı dünyada yakıt pili ve hidrojen enerjisi konusunda birçok çalışma yapılmaktadır. Avrupa'nın Amerika ve Japonya'dan önce hidrojen enerjisine geçmesinin Avrupa'ya büyük teknolojik ve ekonomik avantajlar sağlayacağı öngörülerek hidrojene geçişin hazırlıkları için gerekli AR-GE çalışmaları için AB tarafından kullanılmak üzere ilk beş yıl için 5 milyar Euro ayrılmıştır. Amerikan hükümeti hidrojenli otomobillerin geliştirilmesi için 1,7 milyar dolarlık bir proje başlattı ve ardından da kömür ve hidrokarbon tipi yakıtlardan daha ucuz olan hidrojen üretimi için de 1,2 milyar dolar fon ayırdı. Japonya'daki gelişmeler de ABD'den ve AB'den farksız bir durumda değildir. Japonya'nın 1997'de başlattığı WE-NET projesinin ilerlediği ve Japonya'nın bu programla 2020 yılına kadar 4 Milyar Amerikan doları harcama planlayarak, gerekli hidrojen enerjisi teknolojilerine sahip olmayı hedeflediği bilinmektedir. İzlanda'nın 3 yıl evvel kurmuş olduğu Milletlerarası Konsorsiyumla bu ada ülkesini, 2030 yılına kadar tamamen hidrojen enerjisi

kullanımına geçirmeyi planlamıştır. Yakıt pilleri ile gerek taşıt gerekse güç istasyonları uygulamalarında gelecekte çok önemli kullanım alanına ve sektörde büyük bir paya sahip olacağı açıktır. Dünyada önde gelen otomotiv şirketleri ve devletler, yakıt pillerinin geliştirilmesi ve araştırılması için çok yüksek miktarlarda para ve zaman harcamaktadır. Çevre faktörünün önem kazandığı bu zamanda çevre dostu olmasının yanında yüksek verime de sahip olan yakıt pilleri gelecekte uygun fiyat uygulamalarıyla öne çıkacak ve alternatif yakıtlar içinde önemli bir yer alacaktır.



2. TÜRKİYE ENERJİ DURUMU

2.1. Türkiye Enerji Durumu

Enerji hizmetleri, temel beşeri ihtiyaçların karşılanması ile ekonomik ve sosyal refahın sağlanması açısından vazgeçilmez unsurlardan biridir. Günümüzde tüketilen enerjinin çok büyük bölümü kömür, petrol, doğal gaz gibi fosil kaynaklara dayalıdır. Bir yandan enerjinin vazgeçilmezliği diğer yandan fosil kaynakların rezervlerinin sınırlı olması ve ülkeler arasında eşitsiz dağılması, enerjiyi arz güvenliği ve arz güvenliğinin sürdürülebilirliği açısından stratejik öneme sahip bir sektör haline getirmektedir. Özellikle gelişmiş ülkeler, enerji açısından doygunluğa erişmiş olmakla birlikte enerji temininin güvenliğini refah düzeylerinin sürdürülebilirliği için yaşamsal önemde görmekte ve programlarını buna göre yapmaktadırlar. Yakın geçmişte de görüldüğü gibi, zengin enerji kaynaklarının kontrolünü ele geçirmek için savaşlar ve işgaller gündeme gelebilmektedir. Diğer yandan enerjinin üretim, dönüşüm ve kullanımı yerel ve küresel düzeyde çevre sorunlarına neden olmakta, uluslar arası anlaşmalarla enerjiden kaynaklı emisyonlara sınırlar getirilmektedir. Enerji alanında diğer bir önemli konu, önümüzdeki yakın gelecekte bir teknolojik paradigma değişikliğinin söz konusu olup olmadığıdır. Önümüzdeki yıllarda geçen yüzyılın başat enerji kaynağı olan hidrokarbonların egemenliğinin devam mı edeceği yoksa bu bağımlılığın yeni teknolojilerin kullanılabilir hale gelmesi ve/veya yaygınlaşmasıyla giderek azalacağı mı cevaplanması gereken önemli bir sorudur. Ancak cevap ne olursa olsun, enerjinin elde edilmesi, dönüşümü, kullanılabilir hale getirilmesi teknoloji ile yakından ilişkilidir. Yeni enerji kaynakları, yeni proseslerin geliştirilmesi, ekipman vb. konular enerji sektöründeki Ar-Ge faaliyetlerinin alanları arasındadır. Enerji alanına ilişkin bütünsel politika ve değerlendirmelerin, konu ile yakından ilişkili olan bu başlıkları kapsamaması kaçınılmazdır.

Diğer gelişmekte olan ülkeler gibi Türkiye de, enerji gereksinmesi hızla artan, petrol ve doğalgaz başta olmak üzere enerji kaynakları ile teknoloji ve finansman yönünden

dışa bağımlı bir ülke durumundadır. Türkiye 'de uzun yıllar boyunca, uzun vadeli ve tutarlı bir enerji politikası geliştirilememiştir. Önce petrol sonra doğal gazın öne çıktığı ithal kaynak bağımlılığı, diğer yandan yapılan planlamaların çoğunlukla yetersiz olması ve/veya yapılan planların gerektiğince uygulanamaması nedeniyle arz ya da talep fazlası sorunu ortaya çıkması, her iki durumun da ekonomide yarattığı olumsuzluklar, enerjinin verimsiz kullanılması, enerjiden kaynaklı çevre sorunları Türkiye' de enerji alanının belirgin sorunlarıdır. Gelişmekte olan ülkelere özgü tipik özellikleri taşımasının yanında, ülkemiz, yeni liberal politikalar doğrultusunda 1980'li yıllardan itibaren gündeme gelen uygulamalar sonucunda, enerji alanında ciddi bir tahribat ile karşı karşıyadır³.

Bu çalışma ülkemiz enerji sektörünün bugünkü durumu ile sektördeki gereksinimleri ve alana ilişkin önerileri ele almaktadır. 4628 sayılı Elektrik Piyasası Kanunu ve sektörün yeniden yapılanmasından önce TEAŞ tarafından Türkiye Elektrik Sistemi için üretim planlaması yapılmakta iken, Kanun, Elektrik Piyasası faaliyetleri ve yönetmelikler çerçevesinde dağıtım şirketleri tarafından hazırlanan talep tahminlerini esas alan üretim kapasite projeksiyonunun hazırlanması ve Kurul onayına sunulması görevini TEAŞ' ın üçe bölünmesi ile oluşan Türkiye Elektrik İletim A.Ş.' ne vermiştir. Üretim tesislerinin üretim kapasitelerinin belirlenmesinde elektrik sistemine bağlı olan mevcut santraller, inşa halindeki Kamu ve özel sektöre ait santraller ile Enerji Piyasası Düzenleme Kurumundan Haziran 2003 tarihi itibarıyla lisans almış santraller dikkate alınmıştır. Özellikle kamu santrallerinin üretim kapasiteleri hesaplanırken proje ve güvenilir üretim kapasiteleri ayrı ayrı dikkate alınmıştır.

Mevcut sisteme ilave olarak inşaatı devam eden ve yeni lisans almış üretim tesisleri dikkate alınarak 2003-2012 yılları arasında Türkiye elektrik üretiminin gelişimi, proje ve güvenilir üretim kapasitelerine göre yakıt tüketimleri ile üretim-tüketim dengesi incelenmiştir. Elektrik enerjisi talebinde yüksek oranda artış beklenmektedir. Bu gelişen talebin ileri ki yıllarda güvenilir bir şekilde karşılanması için oluşması gereken sistem komisyonu çalışma kapsamı dışındadır. Çalışma döneminin ikinci yarısından itibaren görünen açığın, ileride gerçekleştirilecek yeni üretim tesisleri yatırımları ile kapatılması gerekecektir.

³ YÜCEL, F. B., 2000. Kaynak Elektrik Dergisi, Sayı 141, 31-45, İstanbul

2.2 Gerçekleşen Tüketim Ve Talep Gelişimi

Son yıllardaki gerçekleşen tüketim değerlerine bakıldığında iki ekonomik kriz ve Marmara depreminin görüldüğü yıllarda artış hızı yavaşlamış olmakla beraber genellikle tüketimde büyük oranda bir artış gerçekleşmiştir.

En düşük yük değerinden daha düşük olan seviye Baz Yük Seviyesi olarak adlandırılmakta olup bu seviyedeki elektrik tüketimi kesintisiz ve sabit olacaktır. Dolayısıyla baz yük seviyesinde, üretim seviyesi çok çabuk değiştirilemeyen termik santraller ile kanal tipi hidroelektrik santraller çalıştırılmalıdır. Yük eğrisinde, minimum yük seviyesinin üstünde kalan kısımda tüketim sürekli olarak ve kısa zaman aralıkları ile değişmektedir. Bu nedenle bu kısımda, ani yük değişimlerine çok çabuk uyum sağlama özelliği olan barajlı hidroelektrik santraller ile sıvı yakıtlı santraller çalıştırılabilir.

Tablo 2.1. Gerçekleşen tüketim

| Yıllar | Puant Talep | | Enerji Talep | |
|--------|-------------|---------|--------------|---------|
| | MW | Artış % | GWh | Artış % |
| 1990 | 9180 | 7,3 | 56812 | 8,0 |
| 1991 | 9965 | 8,5 | 60499 | 6,5 |
| 1992 | 11113 | 11,5 | 67217 | 11,1 |
| 1993 | 11921 | 7,3 | 73432 | 9,2 |
| 1994 | 12760 | 7,0 | 77783 | 5,9 |
| 1995 | 14165 | 11,0 | 85552 | 10,0 |
| 1996 | 15231 | 7,5 | 94789 | 10,8 |
| 1997 | 16926 | 11,1 | 105517 | 11,3 |
| 1998 | 17799 | 5,2 | 114023 | 8,1 |
| 1999 | 18938 | 6,4 | 118485 | 3,9 |
| 2000 | 19390 | 2,4 | 128275 | 8,3 |
| 2001 | 19612 | 1,1 | 126871 | 1,1 |
| 2002 | 21006 | 7,1 | 132500 | 4,4 |

2002 yılında puant talep 21006 MW, minimum yük 9127 MW olarak gerçekleşmiştir. 2003 yılında ise puant talep 22800 MW, en düşük tüketim seviyesi (Minimum Yük) 10000 MW olarak gerçekleşmiştir. 2002 yılında minimum puant talebin % 44' üne karşılık gelmektedir. Bu durumun sonraki yıllarda benzer şekilde devam edeceği, yük eğrisi karakteristiğinin bu çalışma dönemindeki yılda bir değişiklik göstererek aradaki yıllarda değişmeyeceği kabul edilmiştir. 2002 yılında en yüksek tüketimin olduğu günde puant talep 21000 MW, minimum yük ise 14000 MW dolayında gerçekleşmiştir. 2002 yılında toplam termik kapasite 19568.5 MW olmasına karşın termik kapasite 12000 MW dolayında kullanılmıştır

Temel parametreler olarak nüfus, sanayi ve ekonomik gelişmelerin dikkate alınarak yapılan talep tahmini çalışmaları sonuçlarına göre önümüzdeki dönemde de talebin yüksek oranda artarak devam edeceği beklenmektedir.

Bu çalışmada 2003 yılı için TEİAŞ Yük Tevzi Dairesi Başkanlığı'nca yapılan talep tahmini, uzun dönem için ise ETKB' nca hazırlanan talep tahminleri kullanılmış olup talebin yüksek oranda artması beklenmektedir.

Tablo 2.2. Talep tahmini

| Yıllar | Puant Talep | | Enerji Talep | |
|--------|-------------|---------|--------------|---------|
| | MW | Artış % | GWh | Artış % |
| 2003 | 22800 | | 142500 | |
| 2004 | 25600 | 12,3 | 158200 | 11,0 |
| 2005 | 28122 | 9,9 | 175651 | 11,0 |
| 2006 | 30514 | 8,5 | 190719 | 8,6 |
| 2007 | 33131 | 8,6 | 207079 | 8,6 |
| 2008 | 35973 | 8,6 | 224843 | 8,6 |
| 2009 | 39059 | 8,6 | 244131 | 8,6 |
| 2010 | 42410 | 8,6 | 265073 | 8,6 |
| 2011 | 44389 | 4,7 | 283975 | 7,1 |
| 2012 | 47554 | 7,1 | 304225 | 7,1 |

Gerçekleşen ve ileriye yönelik beklenen Talep değerleri brüt olup iletim ve dağıtım hatlarındaki kayıplar, santrallerin iç ihtiyaçları bu miktarlara dahildir.

2.3 Kurulu Güç Ve Üretim Kapasitesi Gelişimi

2003-2012 yılları arasında mevcut sisteme ilave olarak halen inşaatı devam eden ve yeni lisans almış bulunan kapasite ilavesi ile kurulu gücün gelişimi ve kaynaklara dağılımı Tablo 2.4' de gösterilmektedir. Bu dönemde sisteme yeni ilave edilecek kapasitenin Tablo 2.3 ve Tablo 2.4' ten de görüleceği üzere ağırlıklı olarak linyit ve hidrolik kaynaklardan geldiği görülmektedir ki bunlar da halen inşaatı devam eden üretim tesisleridir. İnşaatı devam eden projelerin tamamının 2008 yılı sonuna kadar işletmeye alınmaları beklenmektedir. Tablo 2.4 incelendiğinde 2010 yılından itibaren toplam kurulu güç değerinin puant talepten daha düşük olduğu görülecektir.

Tablo 2.4. Kurulu gücün kaynaklara göre gelişimi

| Yıllar | 2003 | 2004 | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 |
|-------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Linyit | 6623 | 7563 | 8283 | 8283 | 8283 | 8283 | 8283 | 8283 | 8283 | 8283 |
| Taş Kömürü | 555 | 555 | 555 | 555 | 555 | 555 | 555 | 555 | 555 | 555 |
| İthal Kömür | 135 | 1355 | 1355 | 1355 | 1355 | 1355 | 1355 | 1355 | 1355 | 1355 |
| Doğalgaz | 11914 | 12099 | 12199 | 12199 | 12199 | 12199 | 12199 | 12199 | 12199 | 12199 |
| Jeotermal | 15 | 15 | 23 | 23 | 23 | 23 | 23 | 23 | 23 | 23 |
| Fuel Oil | 2440 | 2440 | 2440 | 2440 | 2440 | 2440 | 2440 | 2440 | 2440 | 2440 |
| Motorin | 218 | 218 | 218 | 218 | 218 | 218 | 218 | 218 | 218 | 218 |
| Diğer | 494 | 494 | 494 | 494 | 494 | 494 | 494 | 494 | 494 | 494 |
| Hidrolik | 12573 | 12623 | 13371 | 14297 | 16002 | 15343 | 15403 | 15403 | 15403 | 15403 |
| Rüzgar | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 |
| Toplam | 31106 | 37381 | 38957 | 39833 | 40538 | 40929 | 40939 | 40939 | 40939 | 40939 |
| Puant Talep | 22800 | 24519 | 26939 | 29710 | 32663 | 35887 | 39382 | 43173 | 46237 | 50520 |

Aynı dönem için proje ve güvenilir üretim kapasitelerinin kaynaklara göre gelişimi Tablo 2.5' te gösterilmektedir. Proje üretim kapasitelerine göre 2008 yılından ve güvenilir üretim kapasitelerine göre de 2007 yılından itibaren talebin toplam üretim kapasitesinden daha fazla olduğu görülmektedir. Mevcut sisteme yeni kapasite ilavesi yapılmadığı takdirde belirtilen yıllardan itibaren tüketim karşılanamayacaktır.

2.4 Üretim-Tüketim Dengesi

Çalışma döneminde puant talep ile toplam kurulu güç gelişimine bakıldığında ilk yıllarda yüksek olan güç yedeğinin ileride hızlı bir şekilde azaldığı Tablo 2.5' te görülmektedir. Kabullerde de belirtildiği üzere bu çalışmada mevcut sisteme ilave olarak inşaatı devam eden ve yeni lisans almış bulunan başvurular dikkate alınmıştır. Diğer taraftan puant talebin yüksek bir oranda artması beklenmektedir. Türkiye elektrik sisteminde hidrolik oranın büyük bir orana sahip olduğu göz önüne alındığında ilk yıllarda % 50' ler düzeyinde olan güç yedeğinin 2007 yılında % 24, 2009 yılında % 4 seviyesine düşmesi puant talebin karşılanmasında sıkıntılar ortaya çıkaracaktır. 2010 yılı ve sonrasında ise puant talebin toplam kurulu güçten daha yüksek olduğu görülmektedir.

Tablo 2.5. Toplam kurulu güç ve güç yedeği

| Yıllar | 2003 | 2004 | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 |
|-----------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Termik | 23513 | 24738 | 25566 | 25596 | 25566 | 25565 | 25556 | 25566 | 25566 | 25566 |
| Hidrolik | 12573 | 12623 | 13371 | 14297 | 15002 | 15343 | 15403 | 15403 | 15403 | 19403 |
| Rüzgar | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 |
| Türkiye Toplamı | 36106 | 37381 | 38957 | 39883 | 40568 | 40923 | 40988 | 40989 | 43989 | 40989 |
| Puant Güç Talebi (MW) | 22800 | 24519 | 26939 | 29710 | 32663 | 35887 | 43173 | 46237 | 50520 | 50520 |
| Güç Yedeği MW | 13306 | 12862 | 12018 | 10174 | 7925 | 5043 | 1807 | -2183 | -5248 | -9531 |
| Güç Yedeği % | 58 | 52 | 45 | 34 | 24 | 14 | 4 | -5 | -11 | -19 |

Aynı kabullerle sistemin ileriye yönelik olarak toplam üretim kapasitesine ve enerji talebine bakıldığında, görüleceği gibi üretim yedeğinde de hızlı bir düşüş olmaktadır. Türkiye elektrik sisteminde hidrolik kapasite payının yüksek olmasına bağlı olarak güvenilir üretim yedeğinin proje üretim yedeğine göre belirgin bir şekilde düşük olduğu da yine tablodan görülmektedir. Proje üretim kapasitesine göre 2008 yılından, güvenilir üretim kapasitesine göre de 2007 yılından itibaren enerji talebinin toplam üretim kapasitesinden daha yüksek olduğu, dolayısıyla bu yıllardan itibaren talebin öngörülen seviyede artması durumunda enerji açığı olacağı beklenmektedir⁴.

2.5 Türkiye'de Enerji Sektörünün Durumu

Diğer gelişmekte olan ülkeler gibi Türkiye de, enerji gereksinmesi hızla artan, petrol ve doğalgaz başta olmak üzere enerji kaynakları ile teknoloji ve finansman yönünden dışa bağımlı bir ülke durumundadır. Enerji alanındaki dışa bağımlılığın yanında, yapılan planlamaların çoğunlukla yetersiz olması ve/veya yapılan planların gerektiğince uygulanamaması nedeniyle yaşanan arz-talep dengesizliği, bu durumun ekonomik açıdan olumsuz sonuçlar yaratması enerji sektörünün belirgin özellikleri arasındadır. Türkiye enerji alanında gelişmekte olan ülkelerin, hızla artan enerji ihtiyacı, yetersiz enerji altyapısı, kaynak ve teknoloji açısından dışa bağımlılık gibi tipik özelliklerini taşımasının yanında, enerji sektöründe yeni liberal politikalar doğrultusunda yaratılan yaklaşık yirmi yıllık bir tahribatın etkisini de yaşamaktadır. Enerji üretim ve tüketim politikalarında uluslararası gelişmelerin önemini göz ardı etmeyen, ancak ulusal gereksinimleri öne çıkaran seçeneklerin oluşturulması gerekmektedir. Birincil enerji kaynakları arzı, ülke temelinde ve dünya genelinde GSMH' ların yaklaşık %6-7' sini oluşturmaktadır. Kurulu dünya enerji arz sisteminin yatırım değeri 10 trilyon doların üzerinde, yenilenme süresi yaklaşık otuz yıldır.

Sonuç olarak enerji ticareti ve yatırımlarının yıllık değeri 1 trilyon doları aşmaktadır. Bir yandan da, tüm diğerlerine vazgeçilmez bir girdi sağlayan bu sektör, ekonomiyle birlikte büyüyor ve giderek pahalılaşıyor. Dolayısı ile enerji; her ülke için, ekonomik büyüme vb açılardan stratejik öneme sahip bir sektördür. Türkiye' nin enerji alanında,

⁴ YÜCEL, F. B., 2001. Kaynak Elektrik Dergisi, Sayı 143, 66-73, İstanbul

tüm diğer gelişmekte olan ülkelerinkine benzer, kısır döngüyü andıran bir durumu var. Az enerji tüketiyor, fakat tükettiği enerjiyi, verimli ve temiz bir şekilde kullanamıyor. Dışa bağımlı ve bu bağımlılık giderek artıyor (TÜBİTAK, Vizyon 2023 Teknoloji Öngörü Projesi, Enerji ve Doğal Kaynaklar Paneli RAPORU. 24 Temmuz 2003) Anadolu Ajansının 23 Haziran 2003 tarihinde servise koyduğu bir haber. “Türkiye enerji potansiyelini iyi kullanamıyor...” (A.A./ANKARA, 23 Haziran 2003)

Toplam 1,1 milyar ton taşkömürü, 8,4 milyar ton linyit, 380 bin ton toryum rezervi, 200'ü rüzgar, 125'i hidrolik, 31,2' si güneş, 23,8' i jeotermal olmak üzere toplam 380 milyar kwh temiz elektrik enerjisi potansiyeli olan Türkiye kaynaklarını iyi kullanamıyor. Türkiye, 2001 yılında hidrolik potansiyelinin yüzde 19,2 sini, güneş potansiyelinin binde 8,2'sini, jeotermal enerjisinin binde 3,8' ini, tahmini rüzgar potansiyelinin binde 0,3' ünü kullanabildi. Türkiye, petrol ve doğalgaz dışındaki birincil enerji kaynakları kendi tüketimini fazlasıyla karşılayabilecek düzeyde bulunuyor. Geçen yıl yüksek fiyatla satın aldığı 17 milyar metreküp doğalgazın 1 milyar metreküpünü elektrik üretiminde kullanan (Bunun da %20'sini kayıp/kaçak olarak kaybeden) Türkiye sadece 125 milyar kwh hidroelektrik potansiyelini kullanabilse, 2001 yılındaki elektrik tüketiminin yüzde 98,5' ini karşılayabilecekti. Oysa Türkiye 2001 yılında ortalama 42,5 milyar kwh elektrik üretimi yapılabilen hidrolik kurulu gücünün bile yüzde 42,8' ini (18 milyar kwh' lik elektrik) kullanmadı. Ham petrol tüketimi 2001 yılında 29,7 milyon ton olan Türkiye'nin güneş enerjisi potansiyeli bundan fazla, Türkiye'nin 8,8 milyon ton petrol eşdeğeri (TEP) elektrik (31,2 milyar kWh elektrik üretiliyor), 26,4 milyon TEP ısı üretecek güneş enerjisi potansiyeli var.

Türkiye, 2001 yılında tükettiği 11 milyon 39 bin ton taşkömürünün beşte birini (2 milyon 357 bin ton) kendisi üretti ama rezervlerine bakıldığında üretimi 5 katına (100 yıllık rezerv hesabıyla) çıkarabilecek, tüketimini tamamen yerli kaynağından karşılayabilecek durumda.

Linyitte tüketiminin yüzde 97,8' ini karşılayabilen Türkiye'nin, yine üretimini üçte bir oranında arttırma (100 yıllık rezerv hesabıyla) imkanı bulunuyor.

Toplam 140 jeotermal sahasıyla, büyük bir jeotermal potansiyeline sahip olan Türkiye, konutların yaklaşık üçte biri olan 5 milyon konutu ısıtabilecek (31 bin 100

megavat) ısı, 23,8 milyar kwh (300 MW) elektrik üretebilecek elektrik potansiyele sahip durumda. Fakat Türkiye, 2001 yılında, termal potansiyelinin yüzde 2, jeotermal elektrik enerjisi potansiyelinin ise sadece binde 3,8' ini (90 milyon kwh) kullanabildi.

2.6 Enerji Kaynakları

Türkiye'nin birincil enerji üretimi içinde en fazla paya sahip kaynaklar, 2002 yılında sırasıyla linyit, odun, hidrolik, petrol, hayvan ve bitki artıkları ile taşkömürüdür. Tüketim içindeki payları yönünden ise bu sıralama petrol, doğal gaz, linyit, taşkömürü, odun ve hidrolik enerji biçiminde olmaktadır. Talebin yerli üretimle karşılanma oranı 2002 yılında % 31.3 olmuştur. Toplam ihracat gelirlerinin % 25' i enerji ithalatına ödenmiştir. (DEK Türk Milli Komitesi Türkiye Enerji Raporu 2002) Enerji kaynakları ithalatı içindeki en büyük payı petrol almaktadır. Bu oran 2002 yılında % 56 olmuş, petrol ithalatını % "27 oranıyla doğal gaz ithalatı takip etmiştir. Türkiye'de tüketilen petrolün, 2002 yılında ancak %8'lik bir bölümü yurt içinde yapılan üretimle karşılanmıştır. Öte yandan, son yıllarda tüketim içindeki payı en hızla artan kaynaklardan biri doğal gaz olmuştur. Doğal gaz dünyada da tüketimi en hızlı artan kaynaktır. Bu eğilimin arkasında önemli bir etken olarak elektrik sektöründeki liberalizasyon uygulamaları bulunmaktadır. Türkiye' deki YİD, Yİ ve otoprodüktör uygulamaları ağırlıklı olarak doğal gaza dayalıdır. Ayrıca enerji sektöründe özelleştirme, şebeke "grid" halinde işlediği için daha önce kamu tekeli olarak yönetilen elektrik ve doğal gaz sektörlerinin parçalanmasıyla uygulamaya sokulmuştur. Gerek doğal gaz alım anlaşmalarında gerekse çoğunlukla doğal gaza dayalı özel sektör santral anlaşmalarında "al ya da öde" koşulu bulunduğundan doğal gazın uzun yıllar enerji politikalarına damgasını vuracağı ve bağımlılık ile pahalılığı getireceği görülmektedir.

Yurt içinde üretilen kaynaklar arasında ise linyit, odun ve hidrolik öne çıkmaktadır. Son yıllarda, ağırlıklı olarak doğal gaza dayalı özel sektör santrallerinin alım garantili olması ve ekonomik kriz sonucunda enerji talebinin azalmasıyla birlikte, kamu santrallerinin üretimleri düşürülmüş, bu nedenle linyit üretimi 1999 yılından sonra düşmeye başlamıştır.

Görünür potansiyeli 126 milyar kWh olan hidrolik kaynaklarımız, yağış ve kuraklık

durumuna bağılı olarak yaklaşık % 30 mertebesinde kullanılmaktadır.

Türkiye' de jeotermal, güneş, rüzgar gibi yeni ve yenilenebilir enerji kaynaklarına ilişkin potansiyelin henüz net olarak saptanabildiğı ve bu kaynaklardan yeterli düzeyde yararlanabildiğı söylenememektedir.

Dünyada enerji üretiminin geleceğı ile ilgili senaryolar giderek artan ölçüde yeni ve yenilenebilir enerji kaynakları, özellikle de rüzgar ve güneş enerjisi üzerine kurulmaktadır. Avrupa, karbondioksit emisyonlarını azaltmak için yapılan alternatif senaryoda 2030 yılında elektrik enerjisi üretiminde, hidrolik dışındaki yeni ve yenilenebilir enerji kaynaklarının payını % 22' lere çıkarmayı programlamaktadır.⁵

Ülkemizde Enerji Piyasası Düzenleme Kurulu, 4628 sayılı Elektrik Piyasası Kanunu ile elektrik enerjisi üretiminde çevresel etkiler nedeniyle yenilenebilir enerji kaynaklarının ve yerli enerji kaynaklarının kullanımını özendirmek amacıyla gerekli tedbirleri almak ve bu konuda teşvik uygulamaları için ilgili kurum ve kuruluşlar nezdinde girişimde bulunmakla görevlendirilmiştir.

Bu görev çerçevesinde EPDK; "Rüzgar, güneş, jeotermal, dalga, gel-git, biyokütle, biyogaz ve hidrojen enerjisine dayalı üretim tesisleri ve kurulu gücü 50 megavat (MW) ve altında olan kanal veya nehir tipi hidroelektrik üretim tesisleri ile rezervuar hacmi yüz milyon metre küpün veya rezervuar alanı onbeş kilometrekarenin altında olan hidroelektrik üretim tesisleri yenilenebilir enerji kaynaklarına dayalı üretim tesisleri" olarak tanımlamış ve bu üretim tesislerinin kurulmasının Elektrik Piyasası Kanununda öngörülen piyasa kuralları dahilinde desteklenebilmesini sağlamaya dönük bazı düzenlemeler için adım atmıştır.

Bu amaçla Temmuz 2003 içinde bir duyuru yayınlanmıştır. Bu duyurunun ardından Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, bağılı kuruluşu Elektrik İşleri Etüd İdaresine yeni ve yenilenebilir enerji kaynakları kanun tasarısı taslağı hazırlatmış ve Temmuz ayı sonunda tartışmaya açmıştır.

Yasa taslağının 3. maddesi bazı tanımlar yapmakta ve bu tanımlardan hareketle önerilerde bulunmaktadır.

⁵ KAVRAKOĞLU, İ., 2000. A Dynamic Optimization Model for Energy Policy Analysis. Bogazici University Library, 132-139, İstanbul.

Madde 3. Bu kanun kapsamında;

Yenilenebilir Enerji: Yenilenebilir enerji; sürekli olarak doğal süreçlerle yenilenen enerjidir. Güneş, rüzgar, biyokütle, hidrolik, jeotermal, okyanus (dalga ve gel-git) kaynaklarından elde edilen enerji ve yenilenebilir kaynaklardan elde edilen biyoyakıtlar ve hidrojen tanım kapsamında yer alır⁶.

Türkiye' de enerji talebinin karşılanmasında önemli bir yer tutan odunun yakacak olarak tüketilmesi hem dünyada hem de Türkiye' de yaygın bir eğilimdir Enerji kaynağı olarak yaygın odun tüketimi bir az gelişmişlik ölçütü olarak görülmekle birlikte, kısa dönemde önlenmesi mümkün olmayan bu durumun "enerji ormancılığı" uygulamalarının yaygınlaştırılması yoluyla aşılmasına yönelik çalışmalar henüz yeterince yaygınlaştırılmamıştır.

Bu nedenlerle;

İthal kaynaklara olan bağımlılığın azaltılması amacıyla yerli kaynaklarla ilgili arama, rezerv tespiti ve sondaj faaliyetlerine önem verilmeli; MTA, TKİ, TPAO gibi kuruluşların bu yöndeki faaliyetleri artmalı, verili koşullarda ekonomik olarak görünmeyen rezervlerin kullanımı için teknik ve teknolojik gelişmelerin yakından izlenmesi sağlanmalıdır.

Yeni ve yenilenebilir enerji kaynakları gündeme alınmalı ve teşvik edilmelidir.

Enerji ormancılığı çalışmaları yaygınlaştırılmalıdır.

Enerji üretimi arttıkça puant (pik) saatlerde devreye girecek, yedek hidroelektrik kapasiteyi artıracak, ulusal iletim ve dağıtım şebekesi geliştirilmeli; yatırım planlarında pompalı, depolamalı hidroelektrik santrallerin de enerji üretim sistemimize eklenmesi sağlanmalıdır.

Nükleer güç santrallerinin atık sorunları gelişmiş ülkelerde bile henüz çözümlenememiştir. Bu atıkların radyoaktif etkilerinin yok olacağı binlerce yıl boyunca güvenilir biçimde saklanması ise, teknolojik gelişme ve büyük parasal harcamalar bekleyen önemli bir sorun olarak insanlığın önünde durmaktadır.

Bilindiği gibi nükleer güç santrallerinin ilk yatırım maliyetleri diğer seçeneklere göre yüksektir ve güvenilirliği artırmak için durmaksızın geliştirilen önlemler de bu maliyetleri sürekli olarak artırmaktadır. Öyle ki, başlanan hiçbir nükleer güç santrali

⁶ KAVRAK, İ., 1997. Türkiye Enerji Modeli. BÜTEM, Bogazici University Library, İstanbul

planlandığı sürede ve ilk hesaplanan maliyetle bitirilememiştir. Ayrıca, öne sürüldüğünün tersine nükleer güç santrallerinin elektrik üretim maliyetleri de yüksektir. Sonuç olarak, Türkiye'de birkaç nükleer güç santralının kurulması nükleer teknoloji aktarılmasını sağlamak bir yana denetim, lisanslama, işletme, bakım ve onarım, yakıt ve yedek malzeme açısından tek bir ülke ve hatta belki de tek bir firmaya bağımlılık sonucunu doğuracaktır. Nükleer santraller ekonomik, teknik ve güvenlik açısından riski yüksek projelerdir. Türkiye'nin sınırlı mali kaynaklarını riski yüksek projelere kaydırmasının makul hiçbir gerekçesi bulunmamaktadır.

2.7 Ülkemizdeki Durum

Günümüzde enerji üretim ve tüketiminin ulaşılmış olduğu seviye bir ülkenin gelişmişlik düzeyini göstermektedir. 2000 yılı itibarıyla Türkiye'de kişi başına düşen elektrik enerjisi tüketiminin 1817 kWh' a ulaşılmış olmasına rağmen, bu rakamın Avrupa'da 6457 kWh / kişi, dünya ortalamasının ise 2343 kWh olduğu dikkate alındığında ülkemizde kişi başına düşen elektrik enerjisi tüketiminin ne kadar düşük seviyede olduğu görülmektedir. Ülkemiz açısından yenilenebilir enerji kaynaklarının çok zengin olmasına ve ülkenin enerji ihtiyacının önemli bir kısmını karşılayabilecek bir potansiyele sahip olmasına karşın ya hiç kullanılmamakta ya da potansiyelin çok altında değerlendirilmektedir.

Ülkemiz birincil enerji kaynakları (petrol, kömür, doğal gaz) başta olmak üzere büyük oranda dışa bağımlı hale gelmiştir. Türkiye enerji ihtiyacının büyük bir çoğunluğunu ağırlıklı olarak fosil yakıt kaynaklarından sağlamaktadır. Türkiye, enerji kaynakları açısından net ithalatçı bir ülke konumundadır. 2000 yılı itibarıyla yılda tükettiği yaklaşık 76 milyon ton kömürün % 90' ını kendi üretirken, 30 milyon ton ham petrolün % 91' ini, 12.6 milyar metreküp doğal gazın ise % 93' ünü ithal etmektedir. Ülkemiz açısından 8. Beş Yıllık Kalkınma Planında da dışa bağımlılığın, tüketim gelişirken zaman içinde artacağı vurgulanmaktadır. Özellikle fosil yakıtların yanmasıyla açığa çıkan gazların oluşturduğu sera etkisi sonucu küresel ısınmaya bağlı iklim değişiklikleri insanlığın ve doğal yaşamın geleceğini tehdit etmektedir. Yerli enerji kaynaklarının göz ardı edilerek bütünüyle ithalat yoluyla temin edilen doğal gazın toplam enerji üretimi içindeki payının artmasının yanı sıra, toplam elektrik enerjisi üretimi içinde doğal gazın payının % 40' ları aşmasına yönelik karar ve uygulamalar, olası uluslar arası politik gelişmelere bağlı olarak

ithalatın kesilmesi riskini de taşıdığından oldukça sakıncalıdır. Ülkemizde var olan yerli enerji kaynaklarının kullanım oranı 1998 yılında % 3 8, 2000 yılında ise % 33' tür.

Ülkemiz enerji rezervleri açısından gerek fosil yakıtlar gerekse yenilenebilir enerji kaynaklarının varlığı ile zenginliği bilinen bir ülkedir. Özellikle fosil kaynaklar açısından henüz aranmamış çok büyük alanlar olmasına karşın ülkemizin önemli büyüklüklerdeki taşkömürü, linyit ve asfaltit kaynaklarına (10 Milyar ton civarında) sahip olduğu bilinmektedir⁷.

Yeni ve yenilenebilir enerji kaynakları açısından oldukça zengin olan ülkemizde, yüzey sıcaklığı 40° C' nin üzerinde olmak üzere 140 adet jeotermal saha vardır. Türkiye'nin brüt teorik ısı potansiyeli 31.500 MWT' dir. Elektrik üretimi açısından ise 4.500 MW lık bir potansiyel olduğu varsayılmaktadır. Bu haliyle Türkiye jeotermal kaynak zenginliği açısından dünya sıralamasında 5. sırada yer almaktadır.

Güneş enerjisi bakımından da ülkemiz geniş avantajlara sahip olmasına rağmen bu alanda gerekli yatırım ve politikalar geliştirilmemiştir. Yine dünyada rüzgar teknolojisi son derece gelişmiş olup özellikle Amerika' da yapılan araştırmalar sonucunda rüzgar maliyetlerinin kömür ve gaz ile rekabet edebilir noktaya geldiği görülmektedir. Ülkemizde yapılan araştırmalar sonucunda rüzgar potansiyelinin oldukça yüksek olduğu görülmektedir. Ancak Türkiye rüzgar enerjisi bakımından İngiltere'den sonra dünyanın en büyük potansiyeline sahip olmasına karşın bu alanda yapılan yatırım yok denecek kadar azdır. Özellikle ABD ve AB ülkelerinde hidrolik enerji kaynakların neredeyse tamamının değerlendirilmiş olmasına rağmen ülkemizde bu oran % 35 dolaylarındadır. Tüm bu yatırımsızlık ve politikasızlık ülkemiz enerji maliyetlerini artırmakta ve Türkiye'yi enerji ithalatçısı konumuna getirmektedir.

2.7.1 Hidrolik enerji

Ülkemizin teknik yönden değerlendirilebilir hidroelektrik enerji potansiyeli 216 Milyar kWh civarındadır. Yine ülkemizin 2001 yılı başı itibarıyla tespit edilen teknik ve

⁷ YÜCEL, F. B., 2001. Kaynak Elektrik Dergisi, Sayı 144, 42-44, İstanbul.

ekonomik hidroelektrik enerji potansiyeli 1262 milyar kWh' dir. Bu potansiyel, ön inceleme seviyesinde etüt edilmiş hidroelektrik projelerle, master plan, fizibilite (planlama yapabilirlik), kesin proje, inşa ve işletme aşamalarından oluşan toplam 566 adet hidroelektrik projenin enerji üretim kapasitesini ifade etmektedir. 126 milyar kWh' lık yıllık ortalama enerji üretim değerini oluşturan 566 adet hidroelektrik santralin 130' u işletmede, 31' i inşa halinde ve 405 adedi ise proje seviyesindedir

Ülkemizde su kaynaklarının geliştirilmesinde görev üstlenen EİEİ ve DSİ gibi kuruluşlarının yeni enerji imkanlarının yaratılmasına yönelik yapmış oldukları ön inceleme çalışmalarıyla hidrolik enerji potansiyeline her yıl yeni ilaveler kazandırılmaktadır. Bu çalışmalar sonucunda Türkiye'nin ekonomik hidroelektrik potansiyeli yıldan yıla ufak da olsa farklılıklar göstermektedir. Türkiye'nin ekonomik hidroelektrik potansiyelinin 126 milyar kWh civarında olduğu bilinmektedir.

433 milyar kWh brüt teorik hidroelektrik potansiyeli ile dünya hidroelektrik potansiyeli içinde % 1 paya sahip olan Türkiye 126 milyar kWh ekonomik olarak yapılabilir potansiyeli ile de Avrupa ekonomik potansiyelinin yaklaşık % 15' i düzeyinde hidroelektrik potansiyele sahip bulunmaktadır. Hidroelektrik santrallerin üretimi, yağış koşullarına bağımlı olduğundan her yıl toplam üretim içindeki payı değişim göstermekle birlikte, Türkiye'de elektrik enerjisinin yaklaşık % 30-40' ı sudan üretilmektedir. Ancak bugün için 126 milyar kWh olan ekonomik hidroelektrik potansiyelimizin ise yalnızca % 34' i (44.460 GWh) kullanılabilir, % 9' u (10.773 GWh) inşa halinde ve % 57' si (70.876 GWh) ise çeşitli aşamalardan oluşan proje (ilk etüt ön inceleme, master plan, planlama ve kesin proje) düzeyindedir.

2.7.2 Rüzgar enerjisi

Türkiye, Avrupa'da rüzgar enerjisi potansiyeli bakımından en iyi olan ülkelerden birisidir. Türkiye'deki rüzgâr enerjisi kaynakları, teorik olarak Türkiye'nin elektrik ihtiyacının tamamını karşılayabilecek düzeydedir. Türkiye'nin rüzgar enerjisi teknik potansiyeli 83.000 MW düzeyindedir. Bu nedenle ülkemiz bir an önce kullanması gereken önemli bir rüzgâr enerjisi potansiyeline sahiptir. Üç tarafı denizlerle çevrili olan ve yaklaşık 3500 km kıyı şeridi olan Türkiye, özellikle Marmara kıyı şeridi ve Ege kıyı şeridi ile sürekli ve düzenli olarak rüzgar alan bölgedir. Bu sebeple bu

bölgelerden başlamak üzere hızla rüzgar enerjisi yatırımlarına başlanmalıdır. Bugüne kadar ETKB tarafından değerlendirilen 39 adet Rüzgâr Çiftliği projesi bulunmaktadır. Bu projelerin toplam kapasitesi 1.370 ila 1.440 MW' dır. Bu 39 projenin, 210 MW' lık kapasiteye sahip 8 tanesinin yatırımcılarla yapılan görüşmeleri sonuçlandırılmıştır. ETKB' nin 9 Eylül 1999' da açtığı YİD Modeli ile Rüzgâr Güç Santralleri Yaptırılması konusundaki resmi ihale, gündemdeki toplam proje sayısını 55' e çıkartmıştır.⁸

Böylece Türkiye'de gerçekleşme aşamasına girmiş rüzgâr güç santrallerinin toplam kurulu gücü 1.800 MW' a ulaşmıştır. Ülkemizde genel kullanıma dönük ilk rüzgar elektriği 1986 yılında Çeşme Altinyunus tesislerinde kurulan 55 kW nominal güçlü (Vesta marka) rüzgar türbininden elde edilmiştir. Nominal gücüne 12m/s' lik rüzgar hızıyla erişebilen bu türbinde, Çeşme koşullarında yılda ortalama 100.000 kWh elektrik enerjisi üretilmektedir. Yine İzmir Çeşme' de, Germiyan mevkiinde kurulan Türkiye'nin ilk rüzgar santrali her biri 500 kW nominal güce sahip Alman firmasından (Enercon) satın alınan 3 adet rüzgar türbininden oluşan ve 21 Şubat 1998' de işletmeye alınan DELTA plastik oto prodüktör santralidir. Bu santralde türbinlerde nominal gücün elde edilmesi için rüzgar hızının 14 m/s olması gerekmektedir. Türkiye' deki Yap-İşlet- Devret modeli ile 28 Kasım 1998 tarihinde işletmeye açılan ilk rüzgar enerjisi tesisi ise Çeşme- Alaçatı' daki ARES adlı 12 türbinden oluşan rüzgar çiftliğidir. Burada kullanılan rüzgar türbinleri 600 kW gücündedir (Danimarka üretimi- Vestaş). İkinci Yap- İşlet- Devret modelindeki rüzgar santrali 17 adet 600 kW gücünde (Enercon marka) türbinden oluşan 10,2 MW kurulu güçlü Bozcaada'da kurulmuş ve 25 Haziran 2000' de devreye alınmıştır. Sonuçta şu anda işletmede bulunan rüzgar santrali kurulu gücü 18,9 MW olmuştur. Türkiye' nin ekonomik rüzgar gücü potansiyeli hakkında farklı değerler belirtilmekle birlikte bu potansiyel 10000 MW' tan 20000 MW' a kadar değişim göstermektedir. Böylesine büyük farklılık, Türkiye' de bu konuda geniş ve yeterli ölçüde bir araştırmanın henüz yapılmadığını göstermektedir. 20000 MW' ı Türkiye'nin ekonomik rüzgar gücü potansiyeli olarak kabul ettiğimizde ve bir rüzgar santralının yıllık işleyiş süresini 2500 saat aldığımızda 50 milyar Kwh' lik bir üretim kapasitesine ulaşılmaktadır. Elektrik İşleri Etüt İdaresi (EİEİ) ile Devlet

⁸ KOCAMAN, B., 2003. Elektrik Enerjisi Üretim Santralleri. Birsan Yayınevi, 157-203, 227-232, İstanbul.

Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü (DMİ) tarafından rüzgar enerji sektörünün alt yapısını oluşturmak ve sektörün kısa, orta, uzun erimlerde etkili ve verimli yönde gelişimini sağlamak amacıyla Türkiye'nin rüzgar potansiyelinin belirlenmesi ve buna göre yatırım çalışmalarında yol gösterici olması nedeniyle "Rüzgar Atlası" çalışması bitirilerek Haziran 2002'de yayınlanmıştır. Rüzgar enerjisi açısından Bandırma, Antakya, Kumköy, Mardin, Sinop, Gökçeada, Çorlu ve Çanakkale zengin bölgeler olarak tespit edilmiştir. Ayrıca Bandırma, Bozcaada, Çeşme, Gökçeada, Çanakkale, Karadeniz Ereğlisi, Florya ve Siverek gibi bölgelerde yöresel potansiyel belirleme çalışmaları da yapılmıştır. Rüzgar enerjisi için saptanan hedefler, Avrupa Birliği dahil olmak üzere, tüm dünyada dinamik değişim göstermektedir. Başlangıçta Avrupa Birliğinin rüzgardan 2005 yılı elektrik üretimi için hedeflediği % 2' lik pay, ülkemizde Enerji Tabii Kaynaklar Bakanlığınca benimsenmiş, ancak ETKB APK Kurulu ve TEAŞ APK Dairesi tarafından rüzgar enerjisinin bir kaynak olarak değerlendirilmesi, 8. Beş Yıllık Kalkınma Planı (BYKP) ile olmuştur. 8. Beş Yıllık Kalkınma Planı kabul edildikten sonra, TEAŞ APK Dairesi tarafından 2000 yılında hazırlanan 2001–2005 Dönemi Elektrik Enerjisi Sektörü Planlama çalışmasında çeşitli alternatiflere göre, rüzgara verilen pay 1600 MW' da kalmıştır.

2.7.3 Jeotermal enerji

Ülkemiz jeolojik konumu ve buna bağlı tektonik yapısı nedeniyle jeotermal enerji açısından büyük öneme sahip olup, kaynak zenginliği yönünden dünyada 5. sırada gelmektedir. 1962 yılında MTA tarafından bir sıcak su envanter çalışması olarak başlatılan Türkiye'nin jeotermal enerji araştırılması ile bugün toplam 600'den fazla termal kaynak (sıcak ve mineralli su kaynağı) bilgisine ulaşılmıştır. Bu çalışmalar sonucunda Türkiye'nin brüt teorik ısı potansiyeli 31500 MWt olarak belirlenmiştir. Türkiye'nin teknik ısı potansiyeli 7500 MWt kullanılabilir potansiyeli ise 2843 MWt' dir. Ülkemizdeki Jeotermal kaynakların % 95' i ısıtmaya uygun sıcaklıkta olup (40°C' nin üzerinde toplam 140 adet jeotermal alan) çoğunlukla batı, kuzeybatı ve orta Anadolu'da bulunmaktadır⁹. Türkiye' de Jeotermal Enerji kullanımına ilk olarak ısıtma amacıyla 1964 yılında Gönende bir otelde başlanmıştır. Yine 1987 yılında ilk olarak Gönende konut ısıtmasında kullanılmaya başlanmış olup, kapasite 16.2 MW' tır.

⁹ TMMOB, EMO, 2001. Elektrik Mühendisliği Dergisi, Sayı 407, 19-30, Ankara.

Jeotermal enerji ile ısıtılan ilk sera 1985 yılında 4500 m² alanda olup Denizli Kızıldere' de kurulmuş ve halen bu bölgede birçok ev jeotermal ile ısıtılmaktadır. İzmir Balçova' da 7500 konut jeotermal enerji ile ısıtılmaktadır. Balıkesir' in Gönen sahasında 1600 konut, 54 işletme ve 109 ticarethane jeotermal enerji ile ısıtılmaktadır. Denizli ve Aydın illerinin de jeotermal enerji ile ısıtılması planlanmaktadır.

Türkiye'deki tüm konutların % 30' unun ısıtılması için gerekli enerjinin jeotermalden karşılanması mümkündür (yaklaşık 5 milyon konut). Ülkemizde 31500 MWt' luk enerjinin şu anda sadece % 2' si kullanılmaktadır. 1990 yılından itibaren yapılan çalışmalarla jeotermal enerjinin kullanım hızı 1990-95 arası % 185, 1995-98 arası % 173,4 ve 1998-2002 arası % 131.2' ye ulaşmıştır.

Geleceğe ilişkin projeksiyonlarda 2010 yılına kadar 500.000 konutun ve 2020 yılına kadar 1.250.000 konutun ısıtılması planlanmaktadır. Ülkemizde jeotermal elektrik santralleri kurulmasına elverişli yüksek entalpili sahalar fazla sayıda bulunmamaktadır. Özellikle Aydın Germencik Söke Jeotermal Alanı, Denizli Kızıldere Jeotermal Alanı ve Nevşehir Acıgöl Jeotermal Alanı yüksek entalpili olup, elektrik üretimi ve entegre ısıtma için kullanılmaya uygundur.

Tablo 2.6. Jeotermal Sahaların Yer Kapasite ve Kullanım Alanları

| Jeotermal Alan Adı ve Yeri | Sıcaklık (0C) | Kapasite (MWt)(Mwe) | Kullanım Alanı | Açıklamalar |
|----------------------------|---------------|---------------------|------------------------|---|
| Germencik-AYDIN | 232 | 0,1 | Sera | Elektrik Üretimine uygun |
| Kızıldere-DENİZLİ | 212 | 22,8 | Elektrik üretimi, Sera | 1984' te 20.4Mwe, şuan net 15 MWe üretimi var |
| Tuzla-ÇANAKKALE | 174 | 9 | Sera | Elektrik Üretimine uygun |

Tablo 2.6.(devam) Jeotermal Sahaların Yer Kapasite ve Kullanım Alanları

| | | | | |
|-------------------------|-----|-------|-----------------------------|---|
| Simav- KÜTAHYA | 163 | 61,6 | Isıtma, Balneoloji, Sera | 3200 konut ısıtması |
| Seferihisar- İZMİR | 153 | 1,06 | Sera | 80.000m ² sera ısıtılması |
| Dikili- İZMİR | 130 | 2 | Sera | |
| Balçova- İZMİR | 124 | 143,3 | Isılma.Balneoloji, Sera | 10.000 konut ısıtılması |
| Ilıcabaşı- AYDIN | 103 | - | - | |
| Hisaralan- BALIKESİR | 100 | 0,49 | Sera | |
| Tekkehamamı- DENİZLİ | 100 | 0,1 | Sera | |
| Ömer Geçek- AFYON | 98 | 2,6 | Isıtma.Balneoloji | 35 apart otel binası ve 5000 m ² sera ısıtılması |
| Salihli- MANİSA | 98 | 0,37 | Isıtma, Balneoloji | 1989'dan beri otel binasının jeotermal ısıtılması |
| Çıtgöl- KÜTAHYA | 97 | - | - | |
| Kozaklı- NEVŞEHİR | 93 | 14,9 | Isıtma, Sera | 1.000 konut ısıtılması |
| Çamköy – AYDIN | 90 | 0,7 | Isıtma, Balneoloji, | |
| Zilan- VAN | 90 | - | - | |

Türkiye'nin teorik jeotermal elektrik kapasitesi 4500 MWe olarak belirlenmiştir, teknik potansiyel ise 500 MWe civarında tahmin edilmektedir. Ancak yapılan sondajlara dayalı olarak ortaya konulan kesinleşmiş potansiyel ise 200 MWe düzeyindedir. Geleceğe ilişkin projeksiyonlarda bu değer 2010 yılında 500 MWe, 2020 yılında ise 1000 MWe olarak sunulmaktadır. Denizli- Sarayköy' de kurulu bulunan, Türkiye' nin 1984 yılında tesis edilen ilk ve şimdilik tek jeotermal santrali 20,4 MW kurulu güce sahiptir. Santralin 2000 yılında 75,5 milyon kWh enerji ürettiği ve Türkiye genelinde tüketime sunulan enerji içindeki jeotermal payın % 0.1 olduğu bilinmektedir. Aydın- Germencik jeotermal sahasında 25 MW kurulu güçte kurulması planlanmaktadır. Türkiye Jeotermal enerjiden elde edilen elektrik üretimi yönünden, dünyada ABD, Filipinler, İtalya, Meksika ve Endonezya'dan sonra 14. sırada yer almaktadır. Ülkemiz jeotermal enerjinin doğrudan kullanımında ise 41 ülke arasında 7. sırada bulunmaktadır. Türkiye' nin jeotermal potansiyelinin tümü değerlendirildiğinde, ulusal ekonomiye yılda 20 milyar dolarlık net katma değer sağlayacağı Ekim/2001' de Uluslararası Jeotermal Kurumu Avrupa masasınca açıklanmıştır. Jeotermal enerjide elektrik üretiminde tamamen olmasa bile doğrudan kullanım alanında teknolojik açıdan ülkemiz yatırımının % 90' ları mertebesindeki bölümü yerli makina ve teçhizat tarafından karşılanabilecek bir seviyeye gelmiştir. Elektrik dışı uygulamalarda ulusal teknoloji kolaylıkla geliştirilebilir. Özellikle elektrik açığının fazla olduğu Batı ve Kuzeybatı Anadolu' da yüksek entalpili elektrik üretimine elverişli kaynaklar, Orta ve Doğu Anadolu'da ise ısıtma amacıyla düşük entalpili kaynaklar bulunmaktadır. Bu düzeyde değerlendirme yapılabilir.

Türkiye' deki jeotermal enerji kaynaklarının tümüne yakınının düşük entalpili olması, kaynakların değerlendirilmesinde endüstri proses ısısı ve konut ısıtmasına yönelmesi gereğini ortaya çıkarmaktadır. Türkiye'nin gelecek yıllardaki enerji gereksinimleri dikkate alındığında jeotermal enerjinin tek başına çözüm olmayacağı, ama enerji sorununda tamamlayıcı bir rol oynayacağı açıktır. Devletin ve özel yatırımcıların, jeotermal kaynakların son derece çekici olduğu konut ısıtması ve proses ısısı gibi kullanımlara yatırım yapması ülke ekonomisine yeni bir dinamizm kazandıracak, hava kirliliğini azaltma yanında petrol için harcanan döviz giderlerini azaltacaktır¹⁰.

¹⁰ TMMOB, EMO, 2001. Elektrik Mühendisliği Dergisi, Sayı 408, 6-16, Ankara

2.7.4 Güneş enerjisi

Ülkemizde Güneş enerjisi yaygın olarak evlerin sıcak su gereksiniminin karşılanmasında kullanılmaktadır. Ülkemizin özellikle Güney ve Ege kıyıları başta olmak üzere tüm bölgelerinde güneş enerjisi kolektörleri halen yoğun olarak su ısıtmak amacıyla kullanılmaktadır. Ayrıca bazı endüstriyel uygulamalar, hacim ısıtma uygulamaları (güneş mimarisi) ile elektrik üretiminde fotovoltaik pillerin kullanımı da yaygınlaşmaktadır. Türkiye güneş enerjisi yönünden oldukça zengin bir ülkedir. EİEİ tarafından yapılan çalışmaya göre Türkiye'nin ortalama yıllık toplam güneşlenme süresi 2640 saat (günlük toplam 7,2 saat), ortalama toplam ışınım şiddeti 1311 kWh/M²-Yıl (Günlük Toplam 3.6 kWh/M²) olduğu tespit edilmiştir. Aylara göre Türkiye güneş enerji potansiyeli ve güneşlenme süresi değerleri aşağıda verilmektedir.

Tablo 2.7. Türkiye' nin Aylık ortalama Güneş Enerjisi Potansiyeli

| Aylar | (Kcal/cm ² -ay) | (kWh/m ² -ay) | Güneşlenme Süresi Saat/ay |
|----------|--------------------------------|-----------------------------|------------------------------|
| Ocak | 4,45 | 51,75 | 103 |
| Şubat | 5,44 | 63,27 | 115 |
| Mart | 8,31 | 96,65 | 165 |
| Nisan | 10,51 | 122,23 | 197 |
| Mayıs | 13,23 | 153,86 | 273 |
| Haziran | 14,51 | 168,75 | 325 |
| Temmuz | 15,08 | 175,38 | 365 |
| Ağustos | 13,62 | 158,4 | 343 |
| Eylül | 10,6 | 123,28 | 280 |
| Ekim | 7,73 | 89,9 | 214 |
| Kasım | 5,23 | 60,82 | 157 |
| Aralık | 4,03 | 46,87 | 103 |
| Toplam | 112,74 | 1311 | 2640 |
| Ortalama | 308.0 cal/cm ² -gün | 3,6 kWh/m ² -gün | 7.2 saat/gün |

Tablo 2.8. Ülkemizin bölgelere göre güneşlenme potansiyeli ve yıllık elektrik güneş potansiyeli.

| Bölge İsmi | Toplam Güneşlenme Enerjisi | Güneş Enerjisi |
|--------------------|----------------------------|----------------|
| Güney Doğu Anadolu | 1,460 | 2,993 |
| Akdeniz | 1,390 | 2,956 |
| Doğu Anadolu | 1,365 | 2,664 |
| İç Anadolu | 1,314 | 2,628 |
| Ege | 1,304 | 2,738 |
| Marmara | 1,168 | 2,409 |

Güneş pili sistemlerinin işletme özelliklerini incelemek üzere EİEİ Genel Müdürlüğünce başlatılan proje kapsamında 300 Watt gücünde bir sistem Aydın Yenihisar' da kurulmuştur. Dünyada giderek yaygınlaşan şebekeye bağlı güneş pili sistemleri konusunda bilgi birikimi arttırmak amacıyla 4,70 kWh gücünde şebekeye bağlı bir fotovoltaik sistem EİEİ Genel Müdürlüğünce 1998 yılında Didim' de kurularak ölçümlere başlamıştır. Bu sistemin 18-19 kwh/gün enerji ürettiği belirlenmiştir. Yine 1,2 kW gücünde benzeri bir sistem EİEİ Genel Müdürlüğü parkında kurulmuştur. Enerji üretimi amacıyla yönelik olarak yürütülen fizibilite çalışmaları sırasında, ülkemizin enerji konusunda mevcut meteorolojik verilerinin yeterli olmadığı saptandığından, bu amaca dönük olarak EİEİ ve DMİGM ile ortak bir proje çalışması başlatılmıştır. Bu proje kapsamında; Antalya, İzmir, Ankara, Aydın-Yenihisar, Adana-yumurtalık' da birer adet bilgisayar destekli güneş enerjisi gözlem istasyonu tesis edilmiş ve 5 yıl boyunca veri toplanması programlanmıştır. Ölçüm süresini doldurması nedeniyle İzmir' deki istasyon Kayseri' ye, Didim' deki istasyon da Balıkesir' e taşınmıştır. Güneş enerjisinin genel enerji tüketimimizdeki payı 2000 yılı itibarıyla % 0,16' dır. Projeksiyonlar bu payın 2005' de % 0,17 ve 2010' a % 0,25 olacağını göstermektedir.

2.7.5 Biokütle enerji

Biyomotorin üretmek ve kullanmak için Türkiye yeterli ve uygun alt yapıya sahiptir. Türkiye'de kolza (kanola), ayçiçek, soya, aspir gibi yağlı tohum bitkilerinin enerji amaçlı tarımı mümkündür. Türkiye' de biyomotorin sadece bir firmada

üretilmekte ve Ar-Ge çalışmalarına TTGV Projesi olarak destek verilmektedir. 13 Nisan 2002'den beri Trakya'da 4 köyde B50 (%50 Biyomotorin, %50 Motorin), 850.000 TL' ye satılmaktadır. Türkiye' de 1970' de Toprak Su Araştırma Enstitüsü, 1977' de Türkiye Bilimsel ve Teknik Araştırma Kurumu konuya ilgi göstermişler, daha sonraları Maden Tetkik Arama Enstitüsü, Üniversiteler bu konuda çeşitli araştırma çalışmaları başlatmışlardır. Ülkemizde, hayvansal dışkı kaynaklı biyokütleden 2,8-3,9 milyar metreküp biyogaz üretilebileceği anlaşılmıştır. Bu potansiyelin yıllık enerji cinsinden değeri 24,5kWs'dir. Bununla da toplam ülke enerji tüketiminin yaklaşık % 5' i karşılanabilecektir. Türkiye' de son zamanlarda organik atık, biyokütle ve biyogazdan enerji eldesine yönelik kamu ve özel sektör yatırımları artmaya başlamıştır. Öncelikle Büyükşehir belediyeleri çöp atıklarının çözümüne yönelik olarak atık yakma ve enerji üretim tesisleri kurmaya başlamışlardır. Yakın geçmişte kent ortasında yığılan çöplüklerin patlamasıyla otuz küsur insanımızın ölümü acı bir olaydır.

Tablo 2.9. Türkiye' de Yapımı Tamamlanan Biyokütle ve Atık Yakıt Kaynaklı Kojenerasyon Tesisleri.

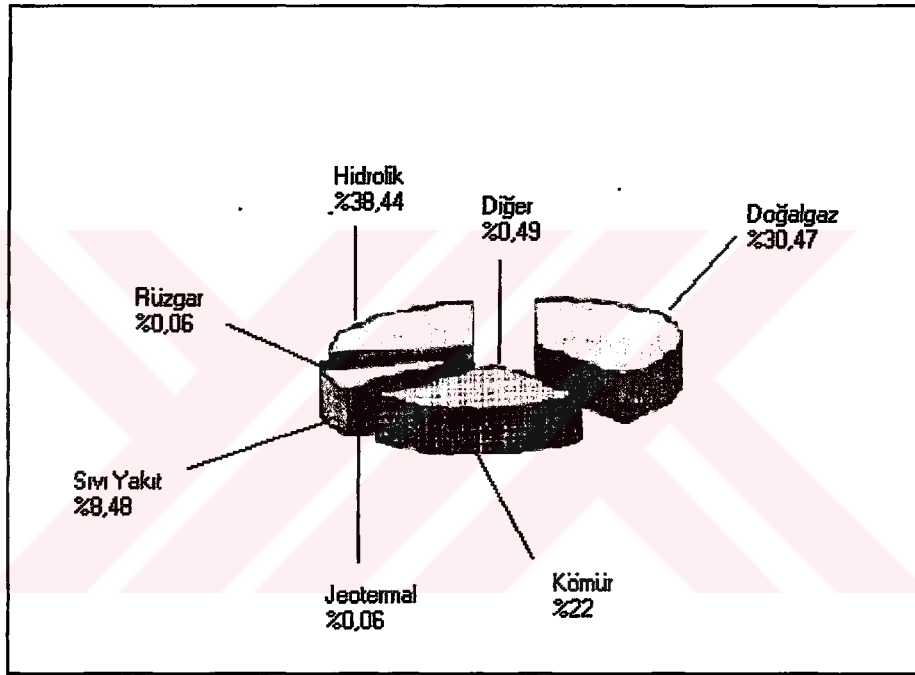
| Kurum Adı | Bölgesi | Yeri | Kapasite (MW) | Yakıt Tipi |
|-------------|----------|--------------|---------------|------------|
| AKSA Enerji | Bursa | Bursa | 1.2 | Çöp |
| Belka | Ankara | Ankara | 3.2 | Biogaz |
| İstaç | İstanbul | Kemer-Burgaz | 6 | Çöp |
| İzaydaş | İzmit | Köseköy | 5.2 | Çöp |

2.7.6 Hidrojen enerjisi

Ülkemizde yakıt pillerine verilen önem diğer alternatif yakıtlara olduğu gibi düşük düzeyde olup, enerji politikamızda geleceğe dair yatırımlar içinde yakıt pillerinin de yer alması ve dünya ile aynı seviyede araştırma ve geliştirme çalışmalarının yapılması gerekmektedir. Ülkemizde yakıt pili konusunda İTÜ, ODTÜ ve YTÜ' nde çalışmalar yapılmakta ve dünya çapında başarılarla imza atılmaktadır. Konutlarda yakıt pilinin kullanımı ve Türkiye' de yakıt pili üretimi amacıyla, TÜBİTAK-TİDEB tarafından desteklenen bir proje başlatılmıştır. Proje kapsamında, doğrudan hidrojenle çalışan veya bir yakıt işlemci (reformer) ilavesi ile, doğal gaz veya LPG ile de çalışabilecek,

bir prototip üretilmesi hedeflenmektedir. Sonuç olarak çevre kirliliğine yol açmadan çeşitli alanlarda kullanılabilen esnek bir yakıt olan hidrojen, 21. yüzyılın yakıtı olarak düşünülmekte; üretimi, taşınma ve depolanması ve kullanılmasına ilişkin teknolojilerin geliştirilmesi için kapsamlı çalışmalar yürütülmektedir. Dünyadaki bu gelişmeler dikkate alınarak, hidrojen enerjisi ile ilgili çalışmalar ülkemizde de öncelikli Ar-Ge alanları arasında yer almalıdır.

Şekil 2.1. Türkiye 2002 Kurulu Gücün Kaynaklara Göre Dağılımı



Kaynak: www.teias.gov.tr

TEİAŞ' nin 2002 yılı sonu itibarıyla ülkemiz elektrik üretiminde kullanılan enerji kaynaklarının dağılımına bakıldığında yenilenebilir enerji kaynaklarına ne kadar önem verildiği açıkça görülmektedir¹¹.

Ülkemiz açısından yenilenebilir enerji kaynaklarının ulaşılmış olduğu potansiyel yurdumuzun içinde bulunduğu enerji darboğazının aşılması, petrole olan bağımlılığın azaltılması ve döviz kaybının önlenmesi için önemli bir kaynaktır. Eğer ülkemizde; AR-GE çalışmalarına gerekli kaynak ayrılır, uygulamaya yönelik Üniversite-İlgili Meslek Odaları-Sanayi işbirliği sağlanır ve bu konuda özellikle ulusal bir enerji politikası

¹¹ Ölçü Mühendislik Dergisi, 2003, Sayı Nisan, 39-49, İstanbul

çerçevesinde bir program üretilebilirse; ülkemiz gerek ulusal kaynakları gerek insan gücü gerekse yetişmiş ve deneyimli mühendis yapısıyla gerekli teknolojik hamleyi yapabilecek alt yapıya sahiptir.

Özellikle güneş, jeotermal ve rüzgar kaynaklarından enerji elde etmek için gerekli üretim ve ekipmanlarının büyük bir çoğunluğunun ülkemizde üretimi vardır. Bu konuda gerekli mühendis ve teknik elemana sahip olan ülkemizde gerekli yatırım ve işletme maliyetleri de göz önüne alındığında, "Yeni ve Yenilenebilir Ulusal Bir Enerji Politikasına" ne kadar çok ihtiyaç olduğu açıktır.



3.YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAKLARI

3.1 Alternatif Kaynaklarla Elektrik Enerjisi Üretmek

Dünya nüfusunun hızlı artışına ve gelişen teknolojiye paralel olarak enerjiye olan talep sürekli artmaktadır. Bunun yanında fosil kökenli enerji kaynak rezervlerinin sınırlı ve yakın bir gelecekte tükenecek olması araştırmacıları bu kaynaklara alternatif olan kaynaklara yöneltmiştir. Bunların yanında yapılan araştırmalara göre Dünya fosil yakıtlarından petrol rezervlerinin 2040 yılında, doğal gazın 2060 yılında, kömürün ise 2150 yılında tükeneceğidir. Ülkemiz tükenbilir konvansiyonel fosil yakıt rezervlerinin aksine tükenmez doğal kaynakların potansiyeli bakımından zengin bir ülkedir. Ülkemizde kullanılabilir ve ekonomik boyutlarıyla 124,5 TWh/yıl hidrolik, 1.8 Mtep/yıl jeotermal, 25 Mtep/yıl güneş, 50 TWh/yıl rüzgar ve 32 Mtep/yıl biyomas enerji potansiyeli bulunmaktadır. Bu yüzden ülkemiz yenilenebilir enerjiler üzerinde çalışmak zorundadır. Ayrıca fosil yakıtlarının oluşturduğu asit yağmuru, sera etkisi, hava ve ısırlı kirlilik gibi çevreyi bozucu etkileri gelecek adına büyük tehdit oluşturması, ilgili mercileri yenilenebilir enerji kaynaklarını uygulamasına yöneltmiştir. Yapılan araştırmalarda 2020 yılında Yenilenebilir Enerji kaynaklarının tahmini MTEP(Milyon Ton Petrol Eşdeğeri) değeri ve toplam kaynaklar içindeki yüzdelerinin maksimum ve minimum değerleri Tablo 3.1' de verilmiştir. Tablodan da görüleceği gibi en fazla kaynak modern biyokütleden beklenmektedir. Tablo 3.1' den de görüldüğü gibi 2020 yılında yenilenebilir enerji kaynaklarından maksimum faydalanma oranı toplam enerjinin % 8-11 olacaktır. Ancak bu oranın 2025 yılına kadar toplam enerjinin % 10-15 olması da beklenmektedir.¹² Bununla birlikte yenilenebilir enerji kaynaklarının toplam enerji tüketimine getireceği katkılar ne yazık ki ihtiyacımız olan enerjiyi karşılamamaktadır. İnsanoğlunun bugün sahip olduğu teknik seviyeler 2025 yılında toplam enerji ihtiyacımızın maksimum % 15'

¹² FINON, D., 2000. About the Use of An Energy Optimization Model. 158-163, France

sinin alternatif enerji kaynaklarından karşılanabileceğini göstermektedir.

Tablo 3.1. 2020 Yılında yenilenebilir enerji kaynakları tahmini

| Yenilenebilir Enerji | 2020 Yılında Minimum | | 2020 Yılında Maksimum | |
|----------------------|----------------------|---------------|-----------------------|---------------|
| | MTEP | Toplamın % si | MTEP | Toplamın % si |
| Modern Biyokütle | 243 | 45 | 561 | 42 |
| Güneş | 109 | 20 | 355 | 26 |
| Rüzgar | 85 | 15 | 215 | 16 |
| Jeotermal | 40 | 7 | 91 | 7 |
| Küçük Hidrolik | 48 | 9 | 69 | 5 |
| Deniz Enerjileri | 14 | 4 | 54 | 4 |
| Toplam | 539 | 100 | 1345 | 100 |
| Genel Enerji | | 3-4 | | 8-12 |
| Talebinin %' si | | | | |

Elektrik enerjisi, üretmek amacıyla yaygın biçimde kullanılan fosil yakıtlar (kömür, petrol, doğalgaz), su potansiyel enerjisi ve nükleer enerjinin dışındaki kaynaklara genel olarak alternatif enerji kaynakları denir.

Alternatif kaynakların özellikleri; doğal çevrimle kısa zamanda kendilerini yenileyebilmeleri çevreye fosil yakıtlar kadar çok zarar vermemeleri, nükleer enerjiye daha az risk taşımaları ve buldukları ülkelerde enerji üretiminin dışa bağımlılığını azaltmalarıdır.

Alternatif enerji kaynağı olarak adlandırılan kaynakların bazıları çok eski çağlardan beri bilinmektedir. Bu kaynakların elektrik üretmek amacıyla ekonomik biçimde değerlendirilmesi ve fosil yakıtlarla nükleer enerjiye alternatif oluşturmaları bakımından önemlidirler. Henüz bu tür kaynaklar ülkelerin enerji üretiminde belirli bir orana ulaşmamıştır. Bununla beraber dünyadaki fosil yakıt rezervlerinin tükenmekte, su potansiyelinin de sınırlı olduğu düşünülürse, ileride enerji sorununun çözümünde alternatif enerji kaynaklarının ne kadar önemli bir yer tutacağı açıkça görülür. Dünya’ da birçok ülke tükenbilir enerji kaynaklarının yerine yeni ve yenilenebilir enerji kaynaklarından (alternatif kaynaklar) daha fazla faydalanma yoluna gitmektedir. Yeni ve yenilenebilir enerji kaynakları başlıca çöp, güneş,

rüzgar, jeotermal, biyokütle, hidrojen, gel-git ve dalga enerjisi şeklinde sınıflandırılmakta aynı zamanda dünyada yaygın bir kullanım alanı bulmaktadır. İşte bu bölümde alternatif kaynaklardan elektrik üretme yöntemlerini açıklamaya çalışacağız.

Günümüzde yenilenebilir enerji kaynakları tüm dünyada enerji gereksiniminin karşılanmasında önemli bir kaynak olarak görülmektedir. Ülkemizin gelişimi ve geleceği açısından yaşamsal bir öneme sahip olan enerji kaynaklarının kullanılmasının geliştirilmesi ve çeşitlendirilmesi için uzun süreli bir enerji planlamasına ve yönetimine ihtiyaç duyulmaktadır. Birçok ülke dışa bağımlılığı minimum seviyeye indirecek olan yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelirken (güneş enerjisi, jeotermal enerji, rüzgar enerjisi vb.) ülkemizde de bu kaynakların etkin ve yaygın şekilde kullanılması, böyle bir sürecin ilerlemesi için yeni teknoloji ve uygulamaları içeren bilgi birikiminin sağlanması gerekmektedir. Şimdiye kadar bilinen fosil bazlı enerji kaynaklarının yakın zamanda tükeneyecek olması, bu yakıtların yoğun olarak bulunduğu bölgelerin kontrol altına alınması isteğini artırmakta ve çeşitli bahanelerle, Irak örneğinde olduğu gibi, yeni savaş senaryoları üretmektedir. Bu ise hızlı nüfus artışı ve toplumların yaşam kalitesini yükseltmesi isteğinin en önemli aktörü olan enerji kaynaklarına sahip olmak ile mümkün olmaktadır. 21.yüzyıl tartışmalarında enerji kaynakları ve milli güvenlik, öncelikli konular arasında yer almaktadır. ABD eski Başkan Yrd. Al Gore; The New York Times' a verdiği demeçte "Gerçek liderliğin anlamı milli güvenliği garanti altına almak ve dünya lideri olmak için en iyi yol ise, tehlikeli boyutlara ulaşan dışa bağımlılığı en aza indirmektir " demiştir. Yine düzenlenen son G-8 toplantısında İngiltere Enerji Bakanı Brian Wilson; dünyayı felakete sürükleyen savaşların başında enerji kaynaklarının nasıl büyük rol oynadığını; bunun için temiz, güvenilir enerji kaynaklarına öncelik verilmesi gerektiğini belirtmiştir.

Uzun dönemde yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımının arz çeşitlendirilmesine, emisyonların azaltılmasına ve enerjinin sürdürülebilirliğine önemli katkıda bulunabileceği düşünülmektedir. Emisyonların azaltılması, enerjinin ulaşılabilirliği ve arz güvenilirliği veya arz çeşitlendirilmesi gibi amaçlardan hangisi olursa olsun, çeşitli seçeneklerin temel unsurlarının uygun ekonomik ve teknik değerlendirmeleri

yapılmalıdır. Çeşitli yakıt ve teknolojilere ilişkin çevresel etkiler farklı olacağından yaşam boyu analizlerinin de göz önüne alınması gerekmektedir. Yenilenebilir enerji kaynakları önemli bir potansiyele sahip bulunan, teorik anlamda göreceli olarak temiz ve sınırsız arz sağlayan ve daha çok yöresel özellikte enerji kaynakları olup, kullanım oranları kuvvetli bir şekilde artmaktadır. Örneğin çok düşük değerlerden başlayan rüzgar enerjisi son zamanlarda yılda % 30 dolayında artış göstermiştir. Ancak, büyük hidroelektrik santralleri de dahil olmak üzere yeni yenilenebilir enerji kaynakları toplam birincil enerji arzında göreceli olarak % 4 dolayında kalmıştır. Her ne kadar bu oran kısa ve orta vadede değişimin az olacağını gösterse de, özellikle OECD ülkelerindeki büyüme ile yenilenebilir enerji kaynaklarının referans senaryolarındakinden % 40 daha fazla olacağı düşünülmektedir.

Yetersiz elektrik arzı bulunan gelişmekte olan ülkelerde yenilenebilir enerji (özellikle dağıtılmış üretim şeklinde) dağınık nüfuslu veya kırsal alanlarda şebeke pahalı genişletilmesine seçenek olabilecek veya kentsel alanlardaki hızla genişleyen elektrik talebinin karşılanmasında şebekeden alınan karma enerjiye katkıda bulunacaktır. Yenilenebilir enerji kaynaklarının çeşitliliğinin fazla olmasına rağmen, ticari amaç güdülerek büyük güçlü santral yapımı zor olduğundan bu alanda en büyük gelişmeyi Rüzgar Enerji Santralleri göstermiştir. Diğer sistemler daha çok temel ihtiyaçlar için kullanılmakta olup, Kenya' da olduğu gibi enterkonnekte sisteme bağlı değildir. Türkiye de ise elektrik şebekesi ile tüm kırsal kesime ulaşmak için tesis edilecek bir kaynağın enterkonnekte sisteme bağlı olması gerekmektedir Bunun içinde enerji kaynağının belirli bir büyüklükte olması, istikrarlı bir güç çıkışı olması ve deneme aşamasını tamamlayarak dünyada da yaygın olarak kullanımı gerekmektedir.

Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Faydaları;

Çevreyi korur.

Yeni iş alanları yaratarak ekonominin gelişmesini sağlar.

Ekonomik gelişmeye paralel olarak sosyal gelişmeyi sağlar.

Yukarıda da bahsedildiği gibi enerji kaynaklarını çeşitlendirir. Böylece sadece bir enerji kaynağına bağlı kalınmadığı gibi, öz kaynakların korunmasını da sağlar. (Termik santraller düşük kapasitede çalıştırılarak kömür rezervinin uzun süreli korunması sağlanır). Yenilenebilir enerji kaynakları sayesinde yeni teknoloji transferleri sağlanabilir ve yeni buluşlara kapı açar. CO₂ emisyon oranının düşmesini

sağlar. Avrupa' da enerji üretiminin, yenilenebilir enerji kaynaklarından karşılama oranı % 10 olarak hedeflenmektedir. Bu gün ise Danimarka, Almanya, İspanya, A.B.D gibi gelişmiş ülkeler ile Çin ve Hindistan gibi geleceğin büyük güçlü ülkelerinde de bu enerji türü yaygın olarak kullanılmaktadır.

Her ne kadar bu enerji kaynakları yeni gibi gözükse de bunların geçmişleri eskiye dayanır. Örneğin Danimarka'da rüzgar gücünden elektrik üretimine 1891 yılından itibaren başlanmış ve ilk rüzgar santralının şebeke bağlantısı 1986 yılında yapılmıştır. Gelişmekte olan ülkelerde ise şehirden uzak olan geniş kırsal alanlar bulunmakta ve bunların şebeke bağlantısı çok zor olmaktadır. Bu nedenle yeni enerji kaynaklarına yönelim olmuştur. Bataryalar, rüzgar jeneratörleri, güneş enerjisi, LPG ve küçük güçlü jeneratörler v.b. tamamen mesken elektrik ihtiyacını karşılamak için kullanılan enerji kaynaklarıdır. Kenya' da kırsal kesimin sadece % 2' si elektrik şebekesine bağlı olarak enerjisini karşılamaktadır. Yaklaşık 20 Milyon insan ise kendi enerjisini kendisi sağlamak zorundadır. Buralarda ise güneş enerjisi kullanılmaktadır. Solar Home Systems (SHSs) olarak bilinen bu enerji ile aydınlatma ve düşük güçlü ev aletlerinin (TV, Radyo gibi) kullanılması hedeflenmiştir. Bu sistemin kullanılışı ise Kenya nüfusunun yaklaşık % 55' ini oluşturmaktadır. Bunlar sadece kendi işlerini kendileri yapmakla kalmıyor, milli şebekeye yapılacak baskıyı da azaltıyorlar. Mr. Wilson 2001 yılında Johannesburg' da "Sürdürülebilir Gelişmeler" başlıklı dünya zirvesinde bir milyar insanın gelecek on yılın sonunda ihtiyaç duyduğu enerjiyi yenilenebilir enerji kaynaklarından sağlayacağını belirtmiştir. Aynı zirvede küresel yenilenebilir enerji hedefinin ortaya konulması düşünülmüş, bu kavram Brezilya Enerji Girişimi ile oluşmuş olup, yenilenebilir enerji kullanımının toplam birincil enerji arzı içindeki payının 2010 yılına kadar % 10' a çıkartılmasını teklif etmiştir. Zirvenin sonuç bildirgesinde ise; Fosil yakıt ve yenilenebilir enerji (hidrolik enerji de dahil) kullanımında ileri, temiz, daha verimli, satın alınabilir ve maliyet-etkili yeni enerji teknolojilerinin geliştirilmesi ve bu teknolojilerin gelişmekte olan ülkelere, karşılıklı anlaşmaya dayalı bir ayrıcalık olarak transferi ile enerji arzının çeşitlendirilmesi; ivedilik doğrultusunda, toplam enerji arzındaki oranının yükseltilmesi amacıyla yenilenebilir enerji kaynaklarının küresel payının belirgin bir şekilde artırılması; mevcut olan ulusal ve bölgesel hedeflerin ve girişimlerin rolünün tanınarak gelişmekte olan ülkelere yoksullukla

mücadele edilme ve bu amaca yönelik gelişmenin gözden geçirilmesi amacıyla kullanılabilir dahanın düzenli olarak değerlendirilmesi benimsenmiştir.

Beş temel unsurlu birincil enerji kaynaklarının (Petrol, Doğalgaz, Nükleer, Kömür-Linyit, Odun-Hayvansal atık) alternatifi yenilenebilir enerji kaynaklarıdır (Dalga, güneş, jeotermal, rüzgar, hidrojen, katı atık)¹³.

3.2 Çöplerden Elektrik Enerjisi Üretmek

Elektrik enerjisi üretimine katkı sağlamak için yerli ve yenilenebilir bir kaynak olarak atık madde'lerden faydalanılabilir. Türkiye' de ve özellikle İstanbul gibi büyük şehirlerimizde atık maddelerin döküleceği alanların yerleşim bölgeleri ile iç içe gelmesi gibi durumlarda çöplerin seçilen daha uzak bölgelere dökülmesi gibi kısa süreli çözümler yapılmaktadır. Ancak hızlı nüfus artışı ve özellikle İstanbul gibi çok hızlı bir göç oranına sahip olan şehirlerimizde çöplerin döküldüğü bu yerleşim bölgelerinden uzak bölgelere yerleşimin kısa zamanda yayılacağı bir gerçektir. Katı atıktan enerji kazanımında en yaygın olarak kullanılan yakma ve depo gazından enerji elde etme yöntemidir. Yakma, kentsel katı atıkların kontrollü olarak yakıldığı ve üretilen ısının önce buhar haline, buharın ise daha sonra buhar türbinlerinde enerjiye dönüştürüldüğü bir enerji üretme teknolojisidir. Ancak, katı atıkların yüksek düzeyde nem ve kül içermesi yakmanın katı atık enerji için fizibl olmadığını göstermektedir. Ayrıca katı atık içinde bulunan farklı maddelerin (cam, yaprak v.b.) farklı ısı değerlerine sahip olması da bir dezavantaj olarak görülebilir. Diğer yöntem olan depo gazı ise; yaklaşık % 50 CH₄ ve % 50 CO₂, içermekte olup, katı atıkların depolama sahasına boşaltılması ile oluşmaya başlar ilk birkaç yılda gaz oluşumu en yüksek değerine ulaşır. 1 m³ depo gazından yaklaşık 1 kW elektrik enerjisi elde edilebilir. Bu miktar ülkelerin gelişmişlik oranına göre değişir, katı atıkta organik atık yüzdesi yükseldikçe, gaz üretim değeri dolayısıyla elde edilen elektrik enerjisi - de artmaktadır. Günümüzde depo gazı enerji kaynağı olarak başarıyla kullanılmaktadır. Türkiye' de İstanbul Büyükşehir Belediyesi' ne ait 6 MW ve Akso Enerji A.Ş. işletmesindeki Bursa Büyükşehir Belediyesi' ne ait 1.39 MW' lık katı atık

¹³ JEBARAJ, S., 2004. Renewable and Sustainable Energy Reviews, Anna Univ. India.

santralleri örnek olarak verilebilir. Çöpler iki şekilde yok edilebilir. Bunlardan biri, biyolojik reafest oluşturarak, çöplüğü kapatmak suretiyle çöp gazı üretilir ve 20 yıl sonra oluşan gaz çürür ve toprağa karışır ve gaz biter. Diğeri ise çöplerin yakılması ile yok edilir. Ancak bu yakma işleminde bazı çevresel sorunlar ortaya çıkmaktadır. Kurulan tesis, ortalığa bol miktarda dioksin yaymaktadır. Yanmanın yüksek sıcaklıklarda gerçekleşmesi durumunda kanserojen dioksin gazları ortaya çıkmakta ve atmosfere yayılabilmektedir. Çöpleri bir yerde biriktirmek sağlık sorunlarını da beraberinde getirmektedir. Bu da çöplerin oluşturduğu zehirli sıvıların içme suyuna karışabilmesidir. Bu nedenle çöplerin döküldüğü zeminin iyi bir şekilde seçilmesi ve bir takım maddelerle kapatılması gerekir. Bu yüzden daha kesin ve faydalı bir çözüm olarak, toplumun üretmiş olduğu büyük miktardaki çöpler (atıklar) yakılarak ısı elde edilmesi ve dolayısıyla elektrik üretimi yapılabilir. Sistemin prensip bağlantı şeması aynen termik santrallerinde olduğu gibidir. Tek fark yakıt olarak çöplerin kullanılmasıdır.

Çöplerden iki şekilde elektrik üretilebilir;

Çöplerin yakılmasıyla elektrik üretimi (Çöp Termik Santralleri).

Çöplerin atılmış olduğu alanlarda oluşan metan gazlarından elektrik üretimi. (Çöp Gazından Elektrik Üretimi).

3.2.1 Çöp termik santralleri

Çöp atıklar şehir atıklarından sağlanmaktadır. Bu santraller enerji üretmenin yanında, çöp yok etme işlevi de görmektedir. Bu santrallerden sadece elektrik üretilebileceği gibi, ısı ve elektriğin birlikte üretildiği kombine çevrimli olanları da vardır. Santrallerde yakılan çöp yakıtların ısıl değerleri farklıdır. Tablo 3.2' de değişik atıkların ısıl değerleri verilmiştir. Bu değerlerin ortalaması bazı linyit santrallerinde kullanılan kömürün ısıl değerinden yüksektir.

Tablo 3.2. Bazı atıklar ve ısıl değerleri

| Çöp yakıtlar | Isı Değerler (MJ/kg) |
|--|----------------------|
| Konutsal Atıklar | 6,2 - 8,4 |
| Büyük yığın atıklar | 8-16,7 |
| Ticarethane, Sanayi ve Belediye Atıkları | 7,5-12,5 |
| Kağıtsal atıklar | 14,2-15 |
| Mutfak atıklar | 5,8-6,7 |
| Plastik atıklar | 18-27,2 |
| Tekstil atıklar | 17,1-20,5 |
| Kanalizasyon atıkları | 14,6-20,9 |

Bir çöp termik santralına gelen katı yakıtlar özel ızgaralı ocakta yakılırken, sıvı atıklar aynı ocağa püskürtülmektedir. Baca gazları filtre edildiği için çevrede herhangi bir hava kirliliğine neden olmamaktadır. Çöp yanmadan önce çeşitli sektörlerden geçirilerek içerisindeki metalik malzeme ve cam gibi parçalar ayrılmaktadır. Dolayısıyla santralden enerjinin yanı sıra, hurda metal ve inşaat malzemeleri atılıp, kül de inşaat malzemesi olarak değerlendirilmektedir.

3.2.2 Çöp gazından elektrik üretimi

Türkiye, çöplüklerin doğal yoldan ürettiği enerjiyi (metan gazı) ilk olarak 1993 yılında yaşanan Ümraniye Çöplüğü patlaması ile tanıdı. Yaşanan faciada 39 kişi ölürken çok büyük bir maddi kayıp oluşmuştu. Bu olaydan sonra bu tür bir patlama daha olmaması için çeşitli önlemler alınırken, bir çok çöplük alanı yeşillendirilerek doğaya geri kazandırıldı. Günümüzde ise çöplerden elde edilen metan gazı ile elektrik üretilmektedir.

Aşağıdaki sebeplerden dolayı batı ülkelerinde 1980' den itibaren çöp gazı borularla toplanmaya başlandı. Önceleri toplanan çöplük gazı yakılarak yok ediliyordu. Ancak 1990 yılının başından itibaren elektrik üretiminde kullanılmasına başlandı. Çöplük gazı içerisinde bulunan metan gazının toprak içindeki konsantrasyonu

patlama limiti olan % 5' in altına indirmek.

Pis kokuların civarda yaşayanları rahatsız etmesini önlemek.

Çöplük gazının kontrolsüz yayılmasının küresel ısınmaya olumsuz etkisini azaltmak.

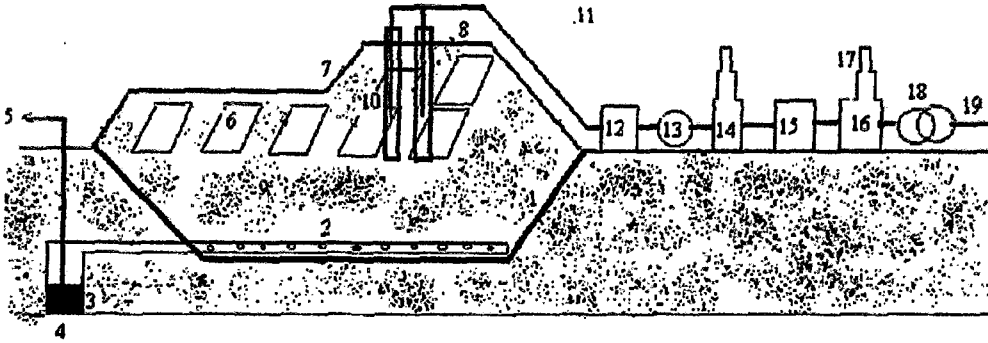
Çöplük gazından elektrik üretilmesinin diğer teknolojilere göre üstünlükleri şöyle sıralanabilir.

Çöplükten üretilen gaz miktarı mevsimden mevsime değişmez ve kapasite faktörü % 90 civarındadır.

Çöplükten toplanan gazdan dolayı çevreye yayılan gaz miktarı azalır, bu da çevreyi olumlu yönde etkiler. Çöplükte oluşan gaz kullanıldığında yakıt maliyeti yoktur. Dolayısıyla doğal gaz gibi döviz giderine gerek olmaz.

Yakıt masraflarının olmaması enerji maliyeti diğer yenilenebilir teknolojilerin çoğundan daha ekonomiktir.

Çöplük gazı santralleri şehirlere yakın olduğundan (şehrin birkaç kilometre dışında) dolayı şebeke bağlantıları kısadır. Çöplüğe atılan çürüyebilir maddeler oksijen yokluğunda bakteriler tarafından ayrıştırılır. Bu esnada metan gazı karbondioksit ve diğer gazlar ortaya çıkar, Ortalama 1 tonluk atık malzemeden yılda 10 m³ çöplük gazı toplanabilir. Metan gazının(Organik ve inorganik malzeme karışık) bir kısmı havaya karışır. Bu gaz patlayıcı olmasının yanında küresel ısınmaya olumsuz katkısı vardır. Bu olumsuz etkiye sera gazı da denir. Bu gaz aynı hacimdeki karbondioksit etkisinin 21 katıdır. Bir çöplük yaklaşık 30 - 40 yıl gaz üretiliyor. İlk 5-10 yıl en verimli devredir. Çöplüklerin ortalama ömrü 30 yıl civarındadır. Ancak elektrik üretimine başlamak için belli bir süre beklemek gerekir.



Şekil 3.1. Çöp Gazından Elektrik Üretimi

Çöplükte üretilen gazların yeraltına sızabilecek kirli akıntıların toplanması gerekir. Şekil 3.1. de çöp gazından elektrik üretimine ilişkin prensip şeması görülmektedir.

1. Geçirgensiz plastik tabaka
2. Kirli akıntı toplayıcı boru
3. Akıntı toplama kuyusu
4. Pompa
5. Sıhhi atık su sistemi (Kanalizasyon sistemi)
6. Günlük çöp hücresi
7. Toprak tabaka
8. Kil orta tabakası
9. Çöplük
10. Gaz toplama borusu
11. Ana gaz toplama borusu
12. Kaba filtre ve nem alıcı sistem
13. Gaz pompası
14. Gaz fırını
15. Gaz işleme sistemi
16. Motor ve Jeneratör
17. Jeneratör bacası
18. Trafo
19. Dağıtım şebekesi (Salt Tesisleri)

Çöp (atık) depolama sahası önce kirli akıntıların yeraltında sızmasını önleyecek bir geçirgensiz tabaka (1) ile kaplanır, kil tabakasının hemen üzerine kirli akıntıları toplayacak bir boru (2) döşenir. Akıntılar bir kuyuda (3) toplanır. Ve buradan bir pompa (4) ile kanalizasyon sistemine pompalanır (5) günlük atıklar ise birer hücre (6) halinde depolanır. Günlük bitiminde hücrenin üzerine 50-60 cm kalınlığında toprak tabakası (7) ile kapatılır. Ayrıca çöplerin döküm esnasında rüzgar ile kağıt ve plastik malzemelerin civara yayılmaması için çevre tel örgü çit ile döşenir. Çöplüğün kapasitesi dolduğunda üzeri kalın bir toprak tabakası ile kapatılır. (8) Bu şekli ile yağmur sularının çöplüğe sızması ve çöplükten metan gazının havaya karışması önlenir. Çöplük (9) gazı bir boru ağı ile toplanır. Çöplüğe delinen 30-50

cm çapındaki düşey kuyulara 15-25 cm çapında delikli plastik borular yerleştirilir. Bu borular pompalar vasıtasıyla bir veya iki ana boru (10) bağlanır. Buradan ilk önce kaba filtre ve nem alıcısı sistemden (12) geçer. Böylece çöplükteki kirli sıvıdan dolayı ortaya çıkan nem süzülür ve gazdaki kaba toz taneleri filtrelendirir. Daha sonra gaz özel pompalara gelir(13). Herhangi bir sebeple (bakım, onarım) santral devre dışında kalırsa, gaz fırınlarında(14) yakılarak etkisiz hale gelir. Santral çalışıyorsa, gaz işlem sistemine girer (15). Temizlenmiş bir şekilde elde edilen gaz birkaç gaz motorunda yakılarak mekanik enerji olur. Bu mekanik enerji motora akuple edilmiş jeneratörde elektrik enerjisine dönüşür.(16) Her motor-Jeneratör ünitesinin gücü 1-3 MW civarındadır. Egzoz gazı bir baca (17) ile havaya verilir. Jeneratör çıkışı 415V-416V arasında değişebilir. Bir transformatör (10) vasıtasıyla gerilim, dağıtım şebekesi gerilimine yükseltilerek şebekeye (19) bağlanır. Motor çıkışında egzoz gazının sıcaklığı 500° C' den fazladır. Bu egzoz enerjisi ile buhar üretilerek (yani kojenerasyon yoluyla) sistemin verimi % 31' den % 80' e çıkartılabilir.

Çöplerin değerlendirilmesi ile kurulacak güç santrallerinin öncelikli amacı, çöplerin insan sağlığına zarar vermeden, büyük toprak parçalarını işgal etmesini önlemektir. İkinci amaç elektrik üretmektir. Çöplerin bir santralde yakıt olarak kullanılmasıyla elde edilecek elektrik ve ısı enerjisiyle metal, cam, kağıt gibi yan ürünlerin yanı sıra kent sakinlerinin ruh ve beden sağlığına büyük katkılar getirecektir. Böylece kentlerimize her anlamda çağdaş bir yaşam biçimi sağlanmış olacaktır.

Türkiye' de ilk defa çöp gazından elektrik enerjisi üretimi; Bursa'ya bağlı Demirtaş semtinde 30 yıldan beri kent çöplüğü olarak kullanılan alandaki metan gazından elde edildi. Bu santralin kurulu gücü 1,4 MW ve yılda 11.5 milyon kWh elektrik enerjisi üretecek şekilde. Kurulan bu tesisle birlikte hem metan gazı tehlikesi hem de koku ortadan kalkacaktır. Tesisin ömrü 10 yıldır. Santral 1 milyon 880 bin dolara mal oldu. 51 düşey gaz kuyusuna biriken metanı toplayan santral da 10 bin konutun kullanımına yetecek miktarda elektrik üretilmektedir Elektrik üretimi için metan gazının minimum yüzde 40 oranında olması gerekiyor. Bu tesis 28 Kasım 1998 tarihinde hizmete girdi.

1996 yılında yap işlet devret modeliyle gerçekleştirilen Adana çor santrali 180 milyon dolarlık dış kredi ile finanse edilmiştir. 1996 yılında İstanbul'da günlük 8 bin ton çöp üretiliyor. Bunun 4 bin 500 tonu Kemerburgaz-Odayeri mevkiinde kurulan modern çöp depolama sahasına 3 bin 500 tonu Ümraniye Kömürçüoda modern çöp depolama sahasına atılıyor. Hastane atıkları ise Odayeri'ndeki yakma tesislerinde 900 °C sıcaklıkta yakılarak imha ediliyor.

İstanbul Büyük Şehir Belediyesi tarafından Kemerburgaz'a kurulan tesislerde çöpten elde edilen metan gazı elektriğe dönüştürülüyor. 58 hektarlık bir alana kurulan ve 180 gaz kuyusundan oluşan bu tesis saate 6 MW elektrik enerjisi üretiliyor. Kemerburgaz çöplüğünden enerji üretilmesi yaklaşık 9,5 milyon dolara mal oldu. Bu tesiste üretilen enerjisinin, 15 yıl boyunca 10 bin konutun elektrik ihtiyacının karşılanması ve belediye ihtiyaçlarının giderilmesi için kullanılması planlanıyor. Ancak Avrupa ülkelerinde üretilen elektrik enerjisinin üretilme süresi 20-30 yıla kadar ulaşabilmektedir Kemerburgaz çöplüğündeki üretim yılının kısa olmasının sebebi ise biriken çöp dağlarının oldukça yaşlı olmasıdır. Bu tesis sadece elektrik üretmekle kalmıyor ayrıca kurulan tesislerde günde 1 ton çöp ayrıştırıldıktan sonra kalan organik maddeler kompos haline getirilecektir. Üretilen 500 ton kompos gübre park ve bahçelere gönderilerek çiçek ve fidan yetiştirmede kullanılacaktır. Böylece belediye humuslu toprak alımı için milyonlarca lira kaynak aktarılmadan kurtulacaktır. Santralde üretilen elektrik enerjisi ise, çöp sahalarının ve bazı bölgelerin aydınlatılmasında ve sıcak su elde etmede kullanılacaktır. Tüm bunlara ek olarak belki de tesisin en önemli yararı çöp dağlarını ortadan kaldırarak tekrar doğaya kazandırıyor olmasıdır. Kemerburgaz çöplüğüne kurulan santral 10 yıl sonra başka çöp depolama alanına aktarılabilir şekilde yapılmıştır. Türkiye'de bu gün çöp depolarından enerji üretilmemesinin nedeni çöplüklerdeki bileşenlerin büyük bir çoğunluğunun küllerden oluşması, yani çöplerde inorganik maddelerin çok olmasıdır. Bunun yanında İstanbul çöpleri, İstanbul'un doğalgaz'a geçişi ile değerlendirilebilir. Yani çöpün içindeki kullanılabilir atıkların oranı bir hayli yüksek kalori 1500'den 2500'lere çıkmıştır. İstanbul' da Kemerburgaz çöplüğünde oluşan gazların kaçmasını önlemek için bacalar kurulmuş, koruma altına alınmış ve göletlerin oluşması engellenmiştir. Bacalar sayesinde, gazlar nemden ve diğer atıklardan arındırılıp yakılacak ve elektrik enerjisi üretilmesi sağlanmaktadır.

3.2.3 Çöp santrallerinin dünyadaki uygulamaları

Özellikle 1978' den sonra çöp gazından elektrik enerjisi üretme fikri yaygınlaştı. Almanya'da aşağı yukarı, 10 bin haneyi aşan belediyeler çöp gazından elektrik üretmektedir. Çöplerde oluşan gazlardan % 45' in üzerinde metan oranına sahip olan gaz ancak gaz motorunda yakılabilir. İsviçre'de başkent Bern'de bulunan parlamento binasının ısıtılması 3 km uzaklıktaki çöp gazından üretilen metan gazı ile olmaktadır.

Kuzey Londra'da 20 yıldan beri Edmonton Santrali'nde tüm zorluklara rağmen çöplerden enerji üretimi devam etmektedir. Bu enerjiler Sanayi ve birçok yerleşim bölgelerinde ise ısı ve elektrik olarak kullanılmaktadır. Elektrik enerjisi üretiminde atıkların yakılmasıyla elde edilecek ısının kullanılması için kurulacak enerji santrallerinin devreye alınması elektrik için ödenecek fiyata bağlıdır. 1990 yılında tamamlanan Fransa'nın Paris şehrindeki St. Quen bölgesindeki çöp santrali her yıl 600.000 ton Parislinin çöpünü yakmaktadır. Bu yanma sonucunda 11 MW elektrik ve ısıtmada kullanılmak üzere 1,5 milyon ton buhar üretilmektedir. Bu santral 155 milyon dolara mal olmuştur. 1994 yılında İngiltere'nin Londra yakınlarında Deptford Santrali kurulmuştur. Bu santral 132 milyon dolara mal olmuş ve yılda 400.000 ton çöp yakmaktadır. Aynı zamanda 32 MW gücünde elektrik ve 50 MW'lık ısı üretilmektedir. Çöp santrallerinin büyük şehirlerde kurulması, bacalardan çıkacak olan görünen ve görünmeyen parçacıkların insan sağlığına zarar vereceği kesindir. Bu nedenle bu tip santraller kurulduğunda insan sağlığını koruyacak düzenlemeler gerekir. Evlerde üretilen çöplerin yakın güç santralleri yanında özel tipte çöp yakan santraller bulunmaktadır. Bu da İngiltere'nin Wolverhampton şehrinde, bütün ülkenin % 25' lik lastiğinin yakılarak her yıl 25 MW'lık güç elde eden özel bir santraldir.

Çöplerin döktüğü alanda oluşan metan gazından elektrik enerjisi üretimi İngiltere'de işletmede olan Nottingham, Beddingham ve güney ockenden bölgelerinde metan gazı ile çalışan kıvılcım ateşlemeli motorlar 2,4 ve 6 MW'lık elektrik enerjisi üretimi yapılmaktadır.

3.3 Rüzgar Santralleri

Rüzgar; sıcak hava ile soğuk hava yer değiştirmesiyle veya kısaca yeryüzünün coğrafi düzensizliklerinden ve güneşin atmosferi farklı ısıtmasından oluşur. Başka bir deyişle rüzgar enerjisi, güneş enerjisinin dolaylı bir şeklidir ve meteorolojik olarak atmosferde basınç farkları sonucu oluşur. Rüzgar enerjisi yüzyıllardan beri kullanılan bir enerjidir. Örneğin yel değirmenlerinin milini döndürmede (Dünyada 300 binden fazla yel değirmeni olduğu bilinmektedir), yelkenli gemilerin yözdürülmesinde ve su pompalama sistemlerinde bu enerji kullanılmaktadır. Günümüzde ise klasik enerji kaynaklarının bir alternatifi olarak elektrik enerjisi üretiminde aşağıdaki amaçlarla kullanılmaya başlanmıştır¹⁴.

Düşük güç gerektiren yerlerde yani aydınlatmalarda

Açık denizde giden yat, gemi vb, için elektrik üretimi

Yüksek kurulu güçlü santraller ile yüksek güç gerektiren yerlerde

Küçük iş yerleri ve işletmelerde çiftlikler, evler ve büyük ölçekli sulamalarda

Tahıl öğütme amacına yönelik kullanma

Günümüzde dünyada ve ülkemizin özellikle Ege bölgesinde birçok çiftçi tarafından sulama amaçlı yel değirmenleri kullanılmaktadır. Özellikle Manisa, İzmir, Balıkesir ve Çanakkale illerimizdeki birçok çiftçi bu doğal enerjiden faydalanmaktadır.

Rüzgar santral türbinleri için; soğuk iklimden sıcak iklime, az, orta ve yüksek rüzgar rejimine, küçük-yüksek yoğunluktan, şebeke kalitesine, çevre endişesinden, hükümet ve yerel yönetimlere, rüzgar santralleri dizayn ve teknoloji seçimi önem arz etmektedir. Rüzgar' da bir türbin gücü 600 kW ile 2 MW arasındadır. (2001 verilerine göre) burada türbin ağırlığı artmaktadır. Yeni gelişmeler ışığında, 1957' den beri kullanılan ve rüzgar santrallerinin belli rüzgar hızlarında enerji üretme potansiyeline sahip olma modasının geçtiği, yeni teknoloji ve bilgisayar desteği ile sadece türbin kontrolü yapılamayacağı, 3 boyutlu çizim, hesap, yeni dizaynlar yapılacağı ve fiyatın düşeceğinden bahsedilmekte, farklı rüzgar hızlarında türbinin çalışmasının sağlanması ve böylece rüzgarın tamamından faydalanılması her ne kadar mantıklı gözükse de, bu yeni güç elektroniği elemanları kullanılması ile fiyatın artmasını, yüksek bakım maliyetini ve şebekenin güçlendirilmesini gerektirecektir.

¹⁴ TMMOB, EMO, 2001. Elektrik Mühendisliği Dergisi, Sayı 407, 19-30, Ankara

10-20 türbinlik bir rüzgar çiftliği düşünüldüğünde bu yüksek teknoloji türbinlerde kullanılan güç elektroniği elemanları şebekeye harmonik distorsiyonları verecektir.

Rüzgar santralında türbini, asenkron motorun jeneratör olarak kullanılmasıyla elde edilir. Ancak, Rüzgar Santrallerinin asıl problemi güç çıkışının kontrol edilmesi, yüksek rüzgarda yeterli güvenliğin sağlanması ve sistemin frenlenmesi ile aşırı üretimin önüne geçilmesi olarak görülebilir. Değişken rotor hızını kontrol etmek için çok karmaşık güç elektroniği gerekmektedir. (Şimdilik bu değişiklik türbin üretimi durdurma ile halledilmektedir. (2 m/s-12 m/s) arasındaki rüzgar hızında türbin çalışmaktadır.)

Türkiye' de rüzgar santralı tüm yenilenebilir enerji kaynaklarının önüne geçmiş ve hemen hemen yenilenebilir enerji kaynağı ismi ile özdeşleşmiştir. Türkiye' de bilinen YİD modelindeki Rüzgar santralleri ise 1998' de Güçbirliği Holding tarafından kurulan 600 kW' lık türbinler içeren 7.2 MW' lık Alaçatı RES ile Demirer Holding tarafından kurulan ve Enercon GmbH işletmesindeki 600kW türbinli 10 MW' lık Bozcaada RES' tir. Hazine garantisinin kalkması ile firmalar otoprodüktör statüsünde EPDK' dan lisans almaya başlamıştır. Ancak, herhangi bir enerji kaynağından bahsederken güvenilir ve devamlı olmasının yanı sıra kalitesinden de söz etmek gerekir. Elektrik enerjisinin kalitesi söz konusu olduğunda ise, mümkün merteye sabit genlik, sabit frekans ve bozulmamış, temiz bir sünisoidal gerilim formu olması gerekir. Bu durumda gerilim ile akım lineerdir ve dalga şeklinde bir bozulmaya neden olmazlar. Diğer durumda ise şebeke geriliminden farklı olarak dalgalı akım oluşur ve akım-gerilim şeklinde bozulmalar başlar. Sistem performansı olumsuz etkilenir ve bu etkiler aynı noktadaki diğer enerji kullanıcılarını rahatsız eder. Bu rahatsızlıkları önlemek için ise sisteme bağlanacak rüzgar santrallerinin kapasitelerinde kısıtlamaya gidilmektedir. Bu nedenle yeni rüzgar santrallerinin kurulması için santralın direkt ya da dağıtım sistemi üzerinden bağlı olduğu İndirici Merkez kısa devre gücünün yüzde beşi kadar rüzgar santralı bağlanabileceğinin belirtildiği TEİAŞ kararına uyulması gerekmektedir. Rüzgar santrallerinin kurulmasının uygun olduğu yerlerde ise sadece bu santrallerin bağlanabileceği indirici Merkezlerin kurularak bunların iletim sistemine aktarılması TEİAŞ Genel Müdürlüğü tarafından planlanmaktadır. (İzmir Aliağa ve Foça Bölgesinde kurulması düşünülen rüzgar santrallerinin sisteme

bağlantısı için 154/OG Aliğa RES TM tesisi planlanmış olup, bu merkeze EPDK' ya başvurusu yapılan yaklaşık 120 MW' lık rüzgar bağlantısı düşünülmektedir.)

3.3.1 Rüzgar enerjisinin avantajları

Bedava bir enerjidir. Hammaddeye gerek duyulmaz.

Diğer enerji kaynaklarının sürekli fiyatı artarken, rüzgar enerjisi ile elektrik üretmenin 20 yıl sonra için bile ne kadar olacağı şimdiden hesaplanabilir.

Enerjide dışa bağımlılığı azaltıyor.

Temiz bir enerji kaynağı olduğundan çevreye zarar vermez.

Yerli sanayi teşvik edilir.

Tükenmeyen yenilenebilir bir enerji kaynağıdır ve fosil yakıt tüketimini azaltır.

Diğer Santrallere göre daha kısa süre de kurulabiliyor. Örneğin; Nükleer santraller ortalama 7 yılda, Hidroelektrik santraller 4 ile 10 yılda, Doğal gaz santrali 1.5 yılda kurulabiliyor.

Güvenirliği ve ucuzluğu sürekli artmaktadır.

Sera gazı etkisi yapmaması

Santral arazisinin ikili kullanıma açık olması, yani rüzgar santrali çalışırken aynı zamanda ağaçlandırma ve tarımsal faaliyetler yapılabilir. Böylece ormanlık alanların azalmasını engeller. Bu da Resim 3.1' de görüldüğü gibi iki rüzgar türbini arasındaki uzaklığın yaklaşık olarak 150-300m arasında değişebilmesinden kaynaklanmaktadır.

Ömrü dolan türbinleri söküp kaldırmak kolaydır. Arazi yeniden kullanılabilir.

Rüzgar santrali projeleri basit ve türbinlerin bakımı kolaydır.

3.3.2 Rüzgar enerjisinin dezavantajları

Büyük güçlü tesislerin büyüklükleri çok fazladır.

Rüzgarın enerjisinin hızının çok değişken olması,

Rüzgarın oluşturduğu zamanların sistematik olmaması,

Rüzgarlı bölgelerin yerleri dağınıktır.

Rüzgar türbinlerinin en önemli çevre etkisi gürültü olarak gösterilmektedir. Ancak 1991 yılında yapılan çalışmalar o günkü teknoloji ile (bugün daha gelişmiştir) türbin

kurulu noktadan 150 m yatay uzaklıktaki gürültü miktarının 45.3 dB(A) olduğunu göstermektedir ki bu değer bir ofis gürültüsünden daha azdır. Dolayısıyla teknolojinin gelişimiyle bu dezavantaj ortadan kalkacaktır.

Rüzgar santrali havayı kirletmese bile büyük kulesi ve pervaneleri ile doğal manzarayı bozması, kuşların ölümüne sebep olması ve telsiz iletişimini bozması gibi dezavantajları vardır.

Sayılan sakıncalardan dolayı, rüzgar santrallerinin olabildiğince düzenli ve sürekli rüzgar alan bölgelerde kurulması gerekir. Rüzgar santrallerinin kurulacağı yerler için ortalama rüzgar ve saatlik rüzgar hızları genellikle meteoroloji istasyonlarında bulunmaktadır. Rüzgar santrali planlama aşamasında, rüzgar atlasları ilk başvuru kaynakları olmalıdır. Rüzgar atlası, yer yüzeyinden 10 m yükseklikte, yer yüzeyinde ölçülmüş olan rüzgar hızı ve yönüne yeterli süre ve sayıdaki meteoroloji istatistiklerinin, özel bilgisayar programları yardımıyla değerlendirilmesi sonucunda elde edilen, enerji plancılarına ve yatırımcılara, rüzgar gücü ve kapsadığı alanlar hakkında bilgi veren rüzgar istatistikleridir. Öte yandan, rüzgar atlası yer seçiminde tek başına yeterli olmayacaktır. Yer seçiminde özel çalışmalara ve özel ölçümlere gerek duyulmaktadır.

Yapılacak ölçümler, teknik açıdan en az bir yıl sürmelidir. Bunun yanında, rüzgar santrali kurmaya aday olabilecek yerlerde göz önüne alınması gerekli aşağıdaki etkenler, rüzgar enerjisi santralının uygulanabilirliği açısından çok önemlidir. Bunlar;

Santrale ulaşım kolaylığı,

Arazinin eğimi, büyüklüğü, kullanılış şekli ve bitki örtüsü,

Arazinin yol ve diğer çalışmalar için işlenme kolaylığı,

Ulusal şebekeye bağlanma kolaylığı gibi etkenlerdir.

Anlatılan etkenlerden de anlaşılacağı gibi rüzgardan ne kadar elektrik enerjisi üretileceği, tümüyle santralin kurulacağı yere bağlıdır. Ortalama kapasite faktörü Türkiye' de de olduğu gibi % 30 civarındadır. Yani, yılın yaklaşık % 60' ında türbinin belli hız dağılımında çalışacağı anlaşılmaktadır.

3.3.3 Rüzgar santrallerinde kullanılacak rüzgar türbinleri ile ilgili teknik bilgiler

DeWind rüzgar türbinlerinin 600-1000-1250 kW güçteki tipleri ülkemiz ihtiyacına cevap verebilecek Türbin tipleridir. Partnerimiz DeWind 3500 ve 5000 kW'lık modellerin üretimine başlamıştır. Aldığı 500 MW'lık kuzey denizi off-shore projesinde bu türbin tipleri kullanılacak ve 2002 yılında işletmeye alınacaktır

DeWind rüzgar türbinleri Pitch kontrollü ve değişken devir gibi özellikleriyle en son teknolojiye göre üretilmekte olup bu üstünlüğü sayesinde rakip türbinlerden % 25'e kadar fazla enerji üretebilmektedir. 11-12 m/sn rüzgar hızında maksimum güce ulaşabilen başka rüzgar türbini yoktur. DeWind' i üstün kılan teknolojik yapısı buradan kaynaklanmaktadır Ayrıca DeWind bu fazla enerji üretimini garanti etmektedir. Böylece daha az kurulu güçle daha fazla enerji üretilmektedir. Yani daha az kuruluş maliyeti ile daha fazla kWh üretimi. Rüzgar türbinleri 1 MW ı yaklaşık 1 milyon dolara kuruluş maliyeti olan ağır sanayi mallarıdır. Üretim verimliliği yönünden seçimi bu yüzden önem arz etmektedir. Türkiye rüzgar enerjisine 10-15 yıllık gecikme ile girmiştir. Bu yüzden en gelişmiş teknolojiyi seçme şansına sahiptir ve bunu iyi değerlendirmelidir. Rüzgar türbinlerinde pitch kontrolü, verimlilik dışında ayrıca sessiz çalışma ve makine aksamının zorlanmadan çalışarak uzun ömür gibi avantajları da sağlamaktadır ve kanat parçalanmalarının önüne geçmektedir.

3.3.4 Türkiye' nin rüzgar enerji potansiyeli tespit çalışmaları

Rüzgar enerjisi potansiyelinin tespiti ile ilgili alt yapı çalışmaları geçtiğimiz 3-4 yılda özel teşebbüs ve Bakanlığın ilgili kurumlarının çalışması sonucunda tamamlanmış sayılabilir.

Türkiye' de bir rüzgar atlası olmamasına rağmen, son 3-5 yılda rüzgar enerjisine gönül vermiş yatırımcılar gayreti ve daha sonra Enerji Bakanlığının açtığı ihaleler sonucunda Türkiye' nin bir çok yerine Rüzgar ölçüm istasyonları kurulmuştur. Bunun sonucunda Türkiye'nin rüzgar potansiyeli daha bir elle tutulur donelere dayandırılabilme imkanlarına kavuşmuştur.

Geçtiğimiz yıllarda takriben 500'e yakın kurulan rüzgar okum istasyonu Türkiye'

nin muhtelif bölgeleri hakkında belirli bir rüzgar enerji potansiyeli tespitinde bir hayli yararlı olmuştur. Bu kapsamda sadece firmamız 90 bölgede ölçüm çalışmaları yapmıştır.

3.3.5 Türkiye'nin rüzgardan enerji üretim potansiyeli

Türkiye'de bugüne kadar yapılan etütler sonucunda 40 bin MW'lık rüzgar potansiyeli olduğu söylenebilir. Dünyadaki kurulu rüzgar gücü ise 15 bin MW seviyesine ulaşmıştır. Türkiye'de her yıl 1500 MW gücünde rüzgar santrali kurulabilir ve her yıl 3-4 milyar kWh elektrik enerjisi üretilebilir ve toplam enerji ihtiyacımızın % 10-15'lik bölümü 15-20 yılda rüzgardan karşılanabilir. Türkiye'de bu rüzgar potansiyeli mevcuttur. Bunu sağlayabildiğimiz takdirde Avrupa'daki rüzgar enerji kullanım hızına asgariden yaklaşabiliriz. Türkiye dışı bağımlı olmayan kendi rüzgar potansiyelini göz ardı edecek kadar zengin bir ülke değildir.

3.3.6 Rüzgar enerji santralleri kuruluş prosedürleri

Türkiye'de rüzgar enerji santralleri Yap-İşlet-Devret modeli ve ya kendi elektrik ihtiyacını karşılamak için otoprodüktör olarak kurulabilmektedir. Y.İ.D. modeli ile rüzgar santrali kurmak için Enerji Bakanlığının açmış olduğu ihalelere müracaat edilerek tespit edilen rüzgarlı bir yörede en az bir yıl ölçüm yaparak fizibiliteye esas rüzgar potansiyeli tespit edilmektedir. Daha sonra fizibilite ile beraber Enerji Bakanlığına müracaat edilmekte ve gerekli izinler alındıktan sonra da sözleşmeler yapılarak rüzgar santralinin kuruluş çalışmasına başlanmaktadır.

Otoprodüktör modelde ise öncelikle rüzgar potansiyeli uygun bölgelerin seçilmesi ve bu bölgede en az bir yıllık ölçüm yapılarak veya yapılmış ölçümlerden istifade ederek otoprodüktör şirket veya şirketler grubunun enerji ihtiyacı ve ölçüm sonuçları dikkate alınarak gerekli kurulu güç tespit edilmektedir. Kurulacak santralın türbin maliyeti, trafo ve nakil hatlarının maliyeti ulaşım yolu ve montaj için gerekli inşaat işlerinin maliyeti hesaplanarak fizibilite raporu hazırlanmaktadır. Bu rapora göre tesisin finansmanı için gerekli yurtdışı finans teklifleri tarafımızca alınıp, buna göre finans ve fon akış tabloları hazırlanarak yatırımcı

bilgilendirilmektedir. 6 aylık ölçümden sonra Enerji Bakanlığı' na ön başvuru yapılmaktadır. Yapılan müracaat sonucunda otoprodüktör proje alanındaki kısa devre güçleri ve başka rüzgar projelen dikkate alınarak başvuru kabul edilmektedir. Ön izin alınmasını müteakip bir yıllık ölçümler alındıktan sonra enerji üretim hesapları yapılarak fizibilite hazırlanmakta ve Enerji Bakanlığı'nın izninden sonra daha kolay bir prosedürle Rüzgar santrali kurulabilmektedir. Kurulacak rüzgar santrali gerekli güce, arazinin yapısına ve Türbin kapasitelerine göre bir veya birden çok rüzgar türbininden oluşmaktadır. Santral gücü 0,6-200 MW gücünde olabilir. Kuruluş maliyeti ise anahtar teslimi olarak yaklaşık MW başına 1 Milyon USD' dir. Sözleşmeyi müteakip 4-5 ay gibi kısa bir sürede rüzgar santrali kurulabilmektedir. Bu model için yurtdışından 10 yıl vadeli kredi veya leasing gibi finans imkanları mevcuttur. Burada elde edilen enerji en yakın şebeke ve ya trafo merkezine verilmektedir¹⁵.

Otoprodüktör şirket veya şirketler grubunun bulunduğu yerden elektrik alınarak enerji ihtiyaçları karşılanmaktadır. İhtiyaç fazlası üretilen enerji \$ veya cent fiyatla şebekeye satılabildiği gibi, rüzgarın az olduğu dönemlerdeki eksik üretimden kaynaklanan enerji açığını da şebekeden, karşılanmaktadır. Rüzgar santrali ile elektrik tüketim yeri arasındaki mesafeye göre TEAŞ ve ya TEDAŞ' ın hatlarının kullanılmasına göre üretilen enerjiden iletim hatları kullanılıyorsa mesafeye göre % 3 - % 10,3 eğer dağıtım hatları kullanılıyorsa mesafeye bakılmaksızın % 6,5 oranında bir hat nakil bedeli alınmaktadır. Otoprodüktör rüzgar santralleri için bu nakil bedelleri yeni bir yönetmelikle ilk 5 yıl için % 50 indirim tabi tutulmuştur. Ayrıca 5 Ekim 2000 tarihli Resmi Gazetede yayımlanan yönetmelik değişikliği ile fazla üretilen enerji satışı ve nakli söz konusu olmamak kaydı ile 1500 kW ve daha düşük güçteki otoprodüktör tesisler sadece olumlu görüş almak ve kabulü yapılmak kaydı ile herhangi bir prosedüre gerek kalmadan kolayca kurulabilmektedir. Bu tür sistemlerde rüzgarsız dönemlerde yine şebekeden elektrik almak mümkündür. Ancak şebekede elektrik kesildiği zaman, rüzgarda yetersiz, ise bu taktirde bir Diesel sistemle müşterek çalıştırma imkanı mümkündür. Sistem karşılıklı kendisini regüle edebilmektedir.

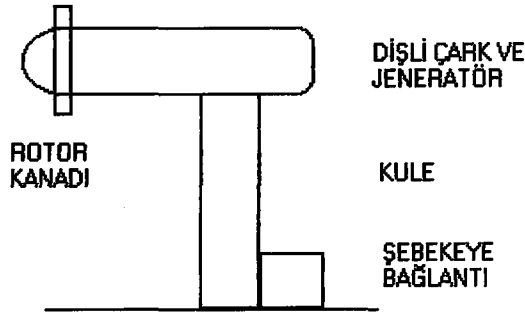
¹⁵ DEMIRBAS, A., 2001. Turkey's energy overview beginning in the 21th ct. Turkey.

Son aylarda Bakanlık otoprodüktör rüzgar santrallerine büyük kolaylıklar getirerek teşvik etmektedir. Temiz enerji kaynağı olduğu için de ayrıca yurtdışı kredi şartları iyileştirilmektedir. Bu yüzden rüzgar enerjisi otoprodüktör müracaatlarında çok büyük artışlar gözlenmektedir. Rüzgar santrallerinin kurulmasından önce rüzgar ölçümlerinde uluslararası standartlara uyulması ve ciddi bir çalışma ve sertifikasyon; kredi temini ve yatırımcının yanılmaması yönünden ve çok önemlidir. Otoprodüktör statüsünde rüzgar santralı kurulmasında dikkat edilecek diğer önemli hususları özet olarak şöyle sıralayabiliriz. Santral arazisinin mülkiyetini satın almanız gerekmez. Cüzi kiralar ödeyerek bu arazileri kullanabilirsiniz. Zira rüzgar türbinlerinin etrafında kalan boş araziler tarım, hayvancılık ve ya başka bir amaçla her şekilde kullanılabilir.

Rüzgar enerjisi özel teknolojik bilgi birikimi gerektirdiği için bu konuda uzman kuruluşlarla müşterek bir çalışma gerektirmektedir. Rüzgar enerjisinden elektrik üreten türbinler teknolojik gelişiminde büyük merhaleler kaydetmiştir. Bu yüzden ileri teknoloji ile üretilmiş yüksek verimli türbinlerin kullanılması kapasite faktör ve ömür açısından önem arz etmektedir. Son bir yılda Almanya' da Rüzgar kurulu gücü 2500 MW iken 4400 MW' a çıkmıştır. Türkiye de coğrafik yapısı icabı sahip olduğu bu enerji potansiyelini fazla vaka kaybetmeden kullanmak zorundadır. Zira fosil yakıt, rezervleri kullanılmadığı zaman yerinde kalır, ancak kullanılmayan rüzgar boşa gelen bir kaynak israfıdır. Ayrıca güneş var olduğu sürece rüzgarın kesilmesi mümkün değildir. Sadece, yıllar arası % 10-12 artı veya eksi değişim gösterir.

3.3.6 Rüzgar türbinleri

Rüzgar santrallerinde en önemli olan rüzgar türbinidir. Modern rüzgar türbinlerinin ömrü en az 20 yıldır. Türbin güçleri ise birkaç kW' tan birkaç MW' a değişmektedir. Bir rüzgar türbininin iç yapısı görülmektedir. Rüzgar türbini; rüzgar enerjisini elektrik enerjisine dönüştürür. Türbinin yapısı Şekil 3.2' de görülmektedir.



Şekil 3.2. Rüzgar türbinin basit yapısı

Basit bir şekilde gösterilen rüzgar türbini başlıca aşağıdaki parçalardan

1. Rotor: Kanatlar ve dişli kutusunun yuvalandığı kapalı yer.
2. Rotor Kanatları (Pervane): Göbeğe takılı ve rüzgarın kinetik enerjisini mekanik enerjiye çevirir. Fiber-glass polyester malzemeden ve nadiren de tahtadan yapılmaktadır.
3. Dişli Kutusu: Rotorun dönme hızını artıran bir mekanizmadır. Dişli kutusu sayesinde rüzgar türbininin rotorundan elde edilen güç, jeneratör için gerekli olan hızı sağlar. Bu yüzden hız kontrolü bir bakıma dişli kutusunun kontrolü olup, türbin tasarımında pervanelerden sonra ikinci önemli adımdır.
4. Anemometre: Rüzgar hızını ölçüp elektronik kontrol sistemlerine ileten bir ölçüm cihazıdır.
5. Rüzgar vanası: Rüzgar yönünü ölçerek, değişmelere göre sapma motoru ile haberleşmeyi sağlayan ve türbini rüzgar yönüne taşıyan mekanizmadır.
6. Jeneratör: Mekanik enerjiyi elektrik enerjisine çevirir. Rüzgar türbinlerinde; senkron(alternatör), indüksiyon(asenkron) ve doğru akım(DC) şönt tipli olmak üzere üç değişik jeneratör kullanılmaktadır. Küçük güç sistemlerinde eskiden doğru akım jeneratörleri kullanılmaktaydı. Ancak şimdi genellikle senkron veya indüksiyon jeneratörleri ile değiştirilmektedir. Burada elde edilen alternatif akım inverter yardımıyla doğru akıma dönüştürülmektedir. Senkron ve asenkron jeneratörleri ise orta ve büyük güçlü sistemlerde yaygın olarak kullanılırlar.
7. Fren: Acil durumlarda, mekanik elektriksel veya hidrolik olarak uygulanan bir disk ile rotoru yavaşlatır ve durdurur.
8. Yönlendirici: Rüzgar doğrultusuna göre türbini yönlendirir.

9. Transformator: Jeneratörde üretilen gerilimi şebeke gerilimine yükseltir.
10. Kule: Türbini taşır, silindirik tüp biçiminde veya çelik kafes biçiminde imal edilirler. Tüp kuleler türbinin bakımını yapacak personel için daha güvenlidir. Çünkü türbinin tepesine çıkmak için kule içinde bir merdiven monte edilebilmektedir. Silindirik çelik kuleler büyük rüzgar türbinlerinde kullanılır ve boyları 20-30 metredir. Kafes kulelerde kaynatılmış çelik profiller kullanılır ve temel özelliği ucuz olmalarıdır. Modern büyük rüzgar türbinlerinde kafes kulelere hemen hemen hiç rastlanmaz.
11. Şebekeye bağlantı sistemleri: Rüzgar santrallerindeki üretilen elektrik enerjisini şebekeye aktaran elemanlar. Rüzgar türbinleri; dönme eksenli, jeneratör düzeni ve kontrol sistemlerine ve güç esaslarına göre farklı şekilde sınıflandırılırlar.

3.3.8 Mikro türbinler

Mikro türbinler genellikle sabit mıknatıslı jeneratörlerle birlikte batarya şarj etmek üzere kullanılmakta ve güçleri 0 ile 3 kW arasında değişen türbinlerdir. Bu türbinler uzak iletişim sistemlerinde, ev içi sistemlerde ve gezi teknelerinde kullanılabilir.

3.3.9 Küçük rüzgar türbinleri

Bu türbinlerin hemen hemen hepsinde sabit mıknatıslı jeneratör kullanılmaktadır. Güçleri 30 kW' a kadar olan türbinler bu gruba girmektedirler.

3.3.10 Büyük rüzgar türbinleri

Büyük rüzgar türbinlerinde doğrudan sürücülü sistemler kullanılmaktadır. Dolayısıyla doğrudan sürücülü makinelerde her zaman AC/DC/AC dönüştürücü olduğundan değişken hızlı işleme imkan vermektedir. Bu sistemin avantajları; dişli sistemden daha düşük maliyetli, kule-baş ağırlığında ve kabin uzunluğunda azalma ve verimlilikte belirli bir yüzde artışı olarak verilebilir. Doğrudan sürücülü türbinlerde nominal güç 200 kW' tan 1.5 MW' a kadar değişir.

3.3.11 Yatay eksenli rüzgar türbinleri

Yer konumuna göre rotoru yatay ekseninde çalışan türbinlerdir. Yatay eksenli rüzgar türbinleri (Horizontal Axis Wind Turbine=HAWT)' nin maksimum enerji tutabilmeleri için rotorları sürekli rüzgar akış yönünde olmalıdır. Bu da rotorun kule üzerinde dönmesi ile sağlanır. Rüzgarın yönüne dönme hareketi iki ayrı konsütrüksiyonla sağlanır. Bunlar "öne-rüzgar" ve "arkaya-rüzgar" olarak adlandırılır. Eğer kanat, rüzgarı ön yüzünden alıyorsa rotorun arkasına bir kılavuz kanat takılır. Diğer durumda ise kanat rüzgarı arka kısımdan alır veya kanatlar biraz konik yapılıdır. Böylece sistem rüzgarı takip ederek maksimum fayda sağlanır. Teknolojik ve ticari olarak en yaygın kullanılan türbinler yatay eksenli rüzgar türbinleridir. Modern rüzgar türbinleri 2 veya 3 kanatlı ve kanat çapları yaklaşık 30 m'dir.. Bunların eksenlerini rüzgarın doğrultusuna koşut olacak biçimde sürekli olarak yönlendirmek gerekir ki kanatlar sürekli rüzgar etkisinde kalsın. Yatay eksenli türbinlerde, rotor, dişli çark, jeneratör ve fren bir kulenin üzerinde yatay şafta bağlanmışlardır. Ticari amaçlı kullanılan türbinlerin hemen hepsi bu gruba girmektedir.

3.3.12 Düşey eksenli rüzgar türbinleri

Bu tip türbinlerde dönme eksenini rüzgar yönüne dik ve kanatları düşeydir. Düşey eksenli rüzgar türbinlerinde ise kanatlar düşey şafta bağlanmıştır. Bu türbinlerin yatay eksenli türbinlere göre üstünlükleri şunlardır; Rüzgar doğrultusundan etkilenmez, dolayısıyla yönlendiriciye ihtiyaç yoktur. Bütün elektro mekanik aksam yerde olduğu için yatırım ve bakım masrafları daha azdır. Bunun yanında düşey eksenli türbinlerinin başlıca iki eksiği vardır. Türbin kanatları dizaynı nedeniyle verimleri düşüktür. Kanatları yere yakınlığı sonucu düşük rüzgar hızına maruz kalırlar, bu ise enerji üretimini azaltır. Verim düşüklüğü nedeniyle düşey eksenli rüzgar türbinleri fazla uygulama alanı bulamamışlardır.

3.3.13 Eğik eksenli rüzgar türbinleri

Dönme eksenleri düşey ile rüzgar yönünde bir açı yapan rüzgar türbinleridir. Bu tip türbinlerin kanatları ile dönme eksenini arasında belirli bir açı bulunmaktadır. Eğik eksenli rüzgar türbinlerinin geniş bir uygulama alanı yoktur. Rüzgar jeneratörünün üreteceği elektrik gücü, rüzgar hızıyla orantılıdır. Rüzgar türbininin bağlı olduğu jeneratör Doğru Akım (DC) üretir. Ancak sistem çıkışında Alternatif Akım (AC) alınmak isteniyorsa, sisteme doğru akımı, alternatif akıma dönüştüren İnverter(Evirici) devre eklemek gerekir. Rüzgar olmadığı zamanlarda elektrik alınabilmesi için sistem aynı zamanda akülerle desteklenir veya rüzgar jeneratörleri güneş pilleriyle birlikte dizayn edilip, sürekli enerji elde edilebilir. Rüzgar enerjisini elektrik enerjisine çevirmede; havanın yoğunluğu, rüzgarın hızı, rüzgar türbininin etkilendiği alanı, rüzgar türbininin ideal güç kat sayısı ve rüzgar türbininin mekanik verimliliği büyük önem taşımaktadır. Ancak güç üretmede en etkili olan rüzgar hızıdır. Rüzgar hızı arttıkça, üretilen elektrik miktarı da artar. Örnek olarak, 8m/s de elde edilecek güç 314 W/m² iken 16m/s de bu güç 2509 W/m² değerine ulaşır. Görüldüğü gibi, rüzgar hızı iki kat artarken elde edilecek güçte yaklaşık sekiz kat artma olmaktadır. Çeşitli rüzgar hızlarında ve değişik arazi koşullarında güç yoğunlukları genel olarak Tablo 3.3' de verilmiştir.

Tablo 3.3. Değişik arazilerde rüzgar hızları ve güç yoğunlukları

| Engelli Arazi | | Açık Arazi | | Sahil Boyları | | Açık Deniz | | Dağ ve Tepeler | |
|---------------|------------------|------------|------------------|---------------|------------------|------------|------------------|----------------|------------------|
| m/s | W/m ² | m/s | W/m ² | m/s | W/m ² | m/s | W/m ² | m/s | W/m ² |
| >6 | >250 | >7,5 | >500 | >8,5 | >700 | >9 | >800 | >11,5 | >1800 |
| 5-6 | 150-250 | 6,5-7,5 | 300-500 | 7-8,5 | 400-700 | 8-9 | 600-800 | 10-11,5 | 1200-1800 |
| 4,5-5 | 100-150 | 5,5-6,5 | 200-300 | 6-7 | 250-400 | 7-8 | 400-600 | 8,5-10 | 700-1200 |
| 3,5-4,5 | 50-100 | 4,5-5,5 | 100-200 | 5-6 | 150-250 | 5-5,7 | 200-400 | 7-8,5 | 400-700 |
| <3,5 | <50 | <4,5 | <100 | <5 | <150 | <5,5 | <200 | <7 | <400 |

Tablo 3.3' de görüldüğü gibi en büyük rüzgar hızı dağ ve tepelerde olur.

Bunu açık deniz ve sahil boyları izler. Daha sonra açık denizler gelir. En düşük rüzgar hızı ise engelli arazilerde görülür. Rüzgar türbinlerinde güç ve moment; aşağıdaki formülle verilir.

$$P=1/2d.CP.S.V^3 \quad (3.1)$$

P: Elde edilecek güç (W)

d : Hava yoğunluğu

CP: Güç katsayısı (bir türbinin rüzgardaki enerjiyi elektriğe dönüştürme verimi)

V:Esen rüzgarın hızı (m/s)

S: Rüzgardan etkilenen alan (m²)

(3.1) formülünde; $k = 1/2.d.CP$ seçilirse, güç formülü aşağıdaki gibi olur.

$$P= k.S.V^3 \quad (3.2)$$

k: Rüzgar makinesinin tipine göre 0.1 ile 0.3 arasında değişen bir katsayı ideal bir rüzgar makinesi için "k" katsayısının değeri 0.37' dir. Bu durumda ise gelen rüzgarın kinetik enerjisinin % 59.3' ü geri kazanılır. Yukarıdaki formüle göre; güç, rüzgarın hızının küpüyle doğru orantılıdır. Rüzgar hızı yükseklikle artar, çoğu türbin 30-50m kule yüksekliğine sahiptir. Rüzgar hızındaki küçük değişimler türbin gücünü büyük ölçüde etkilemektedir. Bu durum rüzgar santrallerinin en önemli sakıncalarını oluşturmaktadır. Bu gün kullanılan modern rüzgar türbinlerinde çeşitli otomatik kontrol düzenekleri yardımıyla pervane (kanat) ve ekseni değiştirilerek mekanik güç, dolayısıyla hız ve frekans kontrollü yapılmaktadır.

ÖRNEK: Bir yerleşim bölgesine kurulan rüzgar türbinin üreteceği güç istenmektedir. Bu yerleşim bölgesinde esen rüzgarın ortalama hızı 2.65 m/sn' dir. Kullanılan rüzgar makinesinin "k" katsayısı 0.25' dir. Rüzgardan etkilenen alan 450 m² olduğuna göre burada oluşan gücü hesaplayınız.

Verilenler:

$$V = 2.65 \text{ m/sn}$$

$$P= k.S.V^3$$

$$S = 450 \text{ m}^2 \quad P= 0.25* 450*2.65$$

$$k = 0.25 \quad P= 298.125 \text{ W bulunur.}$$

$$P=?$$

Elektrik İşleri Etüt Genel Müdürlüğünün yaptığı analizlere göre, rüzgar enerjisi gibi

temiz kaynaklardan elde edilen enerji maliyetleri konvansiyonel kaynaklardan elde edilen enerji maliyetlerinden daha yüksektir. Çünkü rüzgarın belli bir fiyatı yoktur, ancak kurulacak sistemlerin ilk yatırım, işletme ve bakım maliyetleri vardır. Ayrıca sistem ömürleri teorik olarak 20 yıl tecrübe edilen 10 yıl gibi kısa olması maliyeti artırıcı bir etkidir. Temiz Enerji Vakfı raporunda rüzgar türbinleri için ilk yatırım giderinin Avrupa'da ve dünyada 1.400 dolar/kW olduğu belirtiliyor. Bu rakam Amerika'da 750 dolar/kW düzeyine kadar indirildi. Ancak teknolojinin gelişmesiyle rüzgardan üretilen elektriğin birim maliyeti giderek düşmektedir. 2005 yılına kadar maliyetlerin % 25 azalacağı beklenmektedir. En ekonomik rüzgar santrali, 10-30 MW'lık kapasite büyüklüğüdür. Bugün yaygın büyüklükteki 25 türbinden yılda yaklaşık 20 GWh'lık enerji üretilmektedir. Rüzgar hızı yükseldikçe artar, çoğu türbin 30-50 m kule yüksekliğine sahiptir. Türbin güçleri birkaç kW' tan birkaç MW' a kadar değişebilmektedir. Rüzgar enerjisi ile elektrik üretiminde 100 kW'a kadar olan tesislere küçük tesisler denir. Bu tesisler; genel olarak enerji iletiminin ekonomik olmadığı uzak büyük tesisler denir. Bu tesisler enerji sistemini beslemek için kurulur. Büyük güçlü olarak geliştirilen tesise örnek olarak ise 1982 yılında 61 m yüksekliğinde bir kuleye tespit edilmiş 91 m çaplı türbin ile 2.5 MW üretilmiştir. Ülkemiz rüzgar potansiyeli bakımından şanslı bir konumdadır. Bunda gerek orta enlemlerde olması, gerekse üç tarafı denizlerle çevrili olmasının etkileri vardır. Rüzgar türbinleri karaya kurulduğu gibi denizlerde de kurulabilmektedir. Deniz üstünde kurulan rüzgar türbinlerinin en önemli üstünlüğü ve özelliği, maliyetlerinin daha az olmasıdır. Önceleri deniz altı kablolu ve temellerden dolayı, diğer rüzgar türbinlerine göre daha pahalı idi. Ancak yeni temel teknolojileri ve MW boyutlu rüzgar türbinleri şimdi kıyılardan uzak rüzgar türbinleri en azından 15m ye kadar deniz derinliği için, karadaki türbinler ile yarışabilir bir duruma getirmiştir. Kıyılardan uzaktaki rüzgarlar, karadaki düz arazilerden % 50 daha çok enerji üretebildiği için, kıyılardan uzak bütün yerleşimleri oldukça çekici olmuştur. Yeni teknolojiler 15m su derinliğine kadar ekonomik olacağını göstermektedir. 1.5 MW büyüklükteki türbinlerin şebekeye bağlantısı ve temel işleri 450-500 kW'lık türbinlerinkinden yalnızca % 10-20 oranında yüksektir. İlk ticari deniz-üstü rüzgar parkı, kıyılardan 15-40 km uzaklıkta 5, 10, 15m derinliklerde 120-150 MW olarak Danimarka' da kurulması planlanmaktadır. Kullanılacak türbinler 1.5 MW güçte olup, işletmeye

yaklaşık 5 yılda geçilecektir. Bu tür türbinlerin şebekeye bağlantısı deniz altı kabloları ile yapılacaktır.

Ülkemizde rüzgar teknik potansiyeli 120 TWh/yıl olarak tahmin edilmektedir. EİEİ' nin rüzgardan enerji üretimine yönelik bir çalışması sonucunda Türkiye'nin yıllık ortalama rüzgar hızı 2,54 m/s ve rüzgar gücü yoğunluğu 10 m yükseklikte 24 W/m² olarak bulunmuştur. Türkiye'nin rüzgar enerjisi potansiyeli bölgelere göre dağılımı Tablo 3.4' deki gibidir. Tablodan görüldüğü gibi, Marmara, Ege ve Güneydoğu Anadolu bölgelerinin rüzgar yoğunluğu diğer bölgelere göre daha zengindir¹⁶.

Tablo 3.4. Türkiye'nin rüzgar enerjisi potansiyeli

| Bölgeler | Yıllık Ortalama Rüzgar | Yıllık Ortalama Rüzgar Hızı (m/s) |
|-------------------|------------------------|-----------------------------------|
| Doğu Anadolu | 13,19 | 2,12 |
| İç Anadolu | 20,14 | 2,46 |
| Karadeniz | 21,31 | 2,38 |
| Akdeniz | 21,36 | 2,45 |
| Ege | 23,47 | 2,65 |
| Güneydoğu Anadolu | 29,33 | 2,69 |
| Bölgeler | 51,91 | 3,29 |

1974 yılında Tablo 3.5' de belirtilen istasyonlarda ortalama rüzgar hızları değerleri verilmiştir. Aslında bu değerler uzun yıllar ölçüm sonuçlarına sahip olunan meteorolojik kayıtlarından alınması, istasyonların zamanla şehir içerisinde kalmasından dolayı daha sağlıklı elde edilmiş kayıtlardır.

¹⁶ TMMOB, EMO, 2002. Elektrik Mühendisliği Dergisi, Sayı 412, 26-39, Ankara.

Tablo 3.5. Bazı istasyonlardaki ortalama rüzgar hızı

| İstasyon Yeri | V (m/s) | İstasyon Yeri | V (m/s) | İstasyon Yeri | V (m/s) |
|---------------|---------|---------------|---------|---------------|---------|
| Antakya | 4.2 | Florya | 3,5 | Silifke | 3.1 |
| Antalya | 3.1 | Gökçeada | 4,4 | Sinop | 4.7 |
| Ayvalık | 3.2 | Göztepe | 3,0 | Siverek | 4.0 |
| Balıkesir | 3.1 | İnebolu | 3,7 | Sivrihisar | 3.0 |
| Bandırma | 5.2 | İpsala | 3.8 | Şile | 3.1 |
| Bergama | 3.2 | İzmir | 3.5 | Tefenni | 3.3 |
| Ankara | 3.2 | K.maraş | 3.4 | Tekirdağ | 3.1 |
| Bilecik | 3.4 | Karapınar | 3,6 | Uzunköprü | 4.1 |
| Bozcaada | 7.0 | Kırklareli | 3.0 | Yenişehir | 3.0 |
| Cihanbeyli | 3.7 | Kumköy | 4.9 | Yozgat | 3.0 |
| Çanakkale | 4.9 | Menemen | 4.1 | | |
| Çeşme | 3.8 | Muğla | 3.4 | | |
| Çorlu | 3.9 | Nevşehir | 3.2 | | |
| Dikili | 3.0 | Niğde | 3.4 | | |
| Doğubeyazıt | 3.1 | Kireçburnu | 4.7 | | |
| Kdz. Ereğli | 3.8 | Seydişehir | 3.3 | | |

Bunun yanında 1990' lı yıllarda rüzgar potansiyelinin yoğun olduğu bazı illere göre dağılımı ise Tablo 3.6' da verilmiştir. Tablo 3.6' dan görüldüğü gibi rüzgar gücü yoğunluğu $152,6 \text{ W/m}^2$ ile en fazla Bandırma' da olmaktadır. En az ise $71,2 \text{ W/m}^2$ ile Çanakkale ilimizde olmaktadır.

Tablo 3.6. Rüzgar potansiyelinin bazı illere göre dağılımı.

| İstasyon Adı | Rüzgar Gücü Yoğunluğu (w/m^2) | Ortalama Rüzgar Hızı (m/s) |
|--------------|--|----------------------------|
| Bandırma | 152,6 | 5,0 |
| Antakya | 108,9 | 4,5 |
| Kumköy | 82 | 4,1 |

Tablo 3.6. (devam) Rüzgar potansiyelinin bazı illere göre dağılımı

| | | |
|-----------|------|-----|
| Mardin | 81,4 | 4,1 |
| Sinop | 77,9 | 4,7 |
| Gökçeada | 74,5 | 6,9 |
| Çorlu | 72,3 | 4 |
| Çanakkale | 71,2 | 3,9 |

Rüzgar enerjisi potansiyel ölçümlerinin rüzgar hızının yüksek olduğu ve faydalanma olanaklarının bulunduğu yörelerde yapılması gerekir. Bu amaçla EİEİ 1990 yılında rüzgar enerjisi gözlem istasyonları kurmuştur. Bunlardan bazıları, İzmir-Karaburun (1218 m) yükseklikte, Manisa-Akhisar (388 yükseklikte), Muğla-Göztepe (1880 m yükseklikte), Aydın-Didim (43 m yükseklikte) kurulan istasyonlardır. Bu istasyonlarda rüzgar ile ilgili elde edilen veriler Tablo 3.7' de verilmiştir.

Tablo 3.7. EİE Gözlem İstasyonları Ortalama Rüzgar Hızı (m/s)

| Gözlem İstasyonu Adı | Ortalama Rüzgar Hızı (m/s) | Gözlem istasyonu Adı | Ortalama Rüzgar Hızı (m/s) |
|----------------------|----------------------------|----------------------|----------------------------|
| Kocadağ | 8,5 | Yalıkavak | 6,6 |
| Bandırma | 5,0 | Şenköy | 7,5 |
| Zengen | 3,6 | Akhisar | 6,6 |
| Datça | 6,0 | Söke | 4,3 |
| Karabiga | 6,4 | Karaburun | 6,7 |
| Didim | 4,8 | Belen | 6,7 |
| Sinop | 4,7 | Nurdağı | 7,2 |
| Göktepe | 5,8 | Gökçeada | 6,9 |

Türkiye' de gerçekte rüzgar enerjisinden yararlanmak amacıyla kurulan sistemler azınlıktadır. Çeşme-Altınyunus Turistik Tesislerinde bulunan 56 KW güçlü rüzgar türbini bulunmaktadır. ARES AŞ. Tarafından yapılan Çeşme-Alaçatı' daki 600 kW' lık

12 türbin içeren ve kurulu gücü 7,2 MW olan santral, Aralık 1998 tarihinde hizmete girdi. Ankara' da bulunan 1,1 kW' lık gücünde Elektrik İşleri Etüt İdaresi (EİEİ) rüzgar türbini bulunmaktadır. Ancak Türkiye'de ilk rüzgar santrali Resim 3.7' de görüldüğü gibi Demir Holding tarafından 1998 yılında kurulan Çeşme'nin Germiyan Köyündeki her biri 580kW' lık 3 adet türbin ve toplam 1.74 MW gücündeki rüzgar enerjisi santralidir. Bu santral yılda yaklaşık 5 milyon kWh enerji üretiyor, bu enerji bölgede yaşayan 5 bin kişinin elektrik enerjisi ihtiyacını karşılayabiliyor.

Bu çalışmalara paralel olarak Elektrik İşleri Etüt İdaresi (EİEİ) ile Ortadoğu Teknik Üniversitesi (ODTÜ) ile işbirliği yaparak bir proje gerçekleştirilmiştir. EİEİ' nin yeni enerji kaynakları parkında kurulan sistem 17 m yükseklikte çelik kule iç kanatlı düşey eksenli türbin 1.1 kW senkron jeneratör, mikroişlemcili elektronik kontrol devresi, 250 Ah-48 V kapasitesindeki akü grubundan oluşmaktadır. Sistemin sadece türbin kısmı ithal edilmiştir. Bunların yanında özel sektör tarafından, rüzgarın yoğun olduğu bölgelerde kurulması planlanan ve onay bekleyen projelerin vardıkları aşama, buldukları yerler ve yapan firmalar Tablo 3.8' de verilmiştir Bu projeler tamamlanınca yaklaşık 1 milyar kW elektrik enerji üretimi planlanıyor.

Tablo 3.8. Proje aşamasındaki bazı rüzgar santralleri

| Projenin Adı | Yeri | Gücü (MW) |
|---|---------------------|-----------|
| Sözleşmesi imzalanmış rüzgar projesi | | |
| Çeşme Alaçatı Rüzgar Santrali (ARES A.Ş.) | İzmir-Çeşme-Alaçatı | 7,2 |
| Sözleşme görüşmesi süren rüzgar projeleri | | |
| Kocadağ Rüzgar Santrali (As. Makinsan) | İzmir-Çeşme-Kocadağ | 50.4 |
| Fizibilite raporu değerlendirilen rüzgar projeleri | | |
| Bozcaada Rüzgar Santrali (Genel Enerji-Yeni Gün inşaat) | Çanakkale-Bozcaada | 5,0 |
| Çanakkale Rüzgar Santrali (As. Makinsan) | Çanakkale | 30,0 |

Tablo 3.8. (devam) Proje aşamasındaki bazı rüzgar santralleri

| | | |
|---|------------------------|------|
| Bozcaada Rüzgar Santrali (Demirer Holding A.Ş.) | Çanakkale-Bozcaada | 10,2 |
| Revize fizibilite raporu beklenen rüzgar projeleri | | |
| Akhisar Rüzgar Santrali (Ak-En Enerji - SASAŞ İnşaat) | Manisa-Akhisar | 12,0 |
| Gökçeada Rüzgar Santrali (Simelko) | Çanakkale-Gökçeada | 1,62 |
| Fizibilite raporu beklenen rüzgar projeleri | | |
| Akhisar Rüzgar Santrali (Demirer Holding A.Ş.) | Manisa-Akhisar | 30,0 |
| Datça Rüzgar Santrali (Demirer Holding A.Ş.) | Muğla-Datça | 30,0 |
| Mazıdağ Rüzgar Santrali (Demirer Holding A.S.) | İzmir-Çeşme-Alaçatı | 39,0 |
| Hacıömerli Rüzgar Santrali (Demirer Holding A.Ş.) | İzmir-Aliaga | 45,0 |
| Bodrum Rüzgar Santrali (Demirer Holding A.Ş.) | Muğla-Bodrum Yalıkavak | 19,8 |
| Kocadag Rüzgar Santrali (MAGE) | İzmir-Çeşme | 43,5 |
| Yaylaköy Rüzgar Santrali (MAGE) | İzmir- Karaburun | 15,0 |
| Şenköy Rüzgar Santrali (Akfirat A.S.) | Hatay-Şenköy | 12,0 |
| Çeşme Rüzgar Santrali (Prokon) | İzmir-Çeşme | 12,0 |
| Yalıkavak-Rüzgar Santrali (Atlantis Ticaret) | Muğla-Bodrum-Yalıkavak | 15,0 |
| Beyoba Rüzgar Santrali (Atlantis Ticaret) | Manisa-Akhisar-Beyoba | 15,0 |
| Lapseki Rüzgar Santrali (Atlantis Ticaret) | Çanakkale-Lapseki | 15,0 |
| Bandırma Rüzgar Santrali (Atlantis Ticaret) | Balıkesir-Bandırma | 15,0 |
| Datça Rüzgar Santrali (Atlantis Ticaret) | Muğla-Datça | 15,0 |
| Karaburun Rüzgar Santrali (Atlantis Ticaret) | İzmir-Karaburun | 22,5 |
| Başvuru raporu değerlendirilen rüzgar projeleri | | |

Tablo 3.8. (devam) Proje aşamasındaki bazı rüzgar santralleri

| | | |
|---|-------------------------------|------------|
| Karabiga Rüzgar Santrali (As Makinsan) | Çanakkale-Karaburun | 15,0-30,0 |
| Kapıdağ Rüzgar Santrali (As Makinsan) | Balıkesir-Erdek | 20,0-30,0 |
| Belen Rüzgar Santrali (Teknik Ticaret) | Hatay-Belen | 20,0-30,0 |
| Intepe Rüzgar Santrali (InterWind Ltd) | Çanakkale-Intepe | 30,0 |
| Intepe Rüzgar Santrali (Santas A.Ş.) | Çanakkale-Intepe | 13,2 |
| Başvuru raporu sunulup, Ölçümleri beklenen rüzgar projeleri | | |
| Karabiga Rüzgar Santrali (Teknik Ticaret) | Çanakkale-Karabiga | 5,0-7,0 |
| Karabiga Rüzgar Santrali (Ak-En) | Çanakkale-Karaburun | 12,0 |
| Yellice Rüzgar Santrali (As Makinsan) | İzmir Yellice Belen-Karaburun | 70,0-100,0 |

7. Beş yıllık kalkınma planı genel enerji özel ihtisas komisyonu yeni ve yenilenebilir enerji kaynakları alt çalışma grubu raporuna göre rüzgar enerjisi tesisini diğerlerinin izlemesi ile kurulu gücün 2000 yılında 10 MW'a çıkması ve bundan sonra katlanarak artması planlanmıştır. Böylece 2000 yılında 36,7 GWh'lık yıllık üretimle çok küçükte olsa, elektrik enerjisi üretim kaynakları arasında rüzgar enerjisinin girmesi amaçlanmıştır.

Rüzgar türbini ilk defa 1. Dünya savaşında yapılmış 1910 yılına kadar 5 ile 25 kW'lık güçler üretebilen tesisler hizmete konmuştur. 1931 yılında Kırım'da AG (Alçak Gerilim)'i besleyen bir tesis yapılmış 1940 yılında Amerika'da 55 m çaplı ve çift kanatlı rüzgar türbini kullanılarak 1,2 MW elde edilmesi başarılmıştır. Ancak bu tesis 1945'te kuvvetli bir fırtınadan sonra terk edilmiş. Bu krizden sonra kullanım eğilimi artmıştır.

Dünyada rüzgar enerjisiyle ilgili bazı uygulamalar bulunmaktadır. Bunlardan biri İsveç'in ilk deniz üstündeki rüzgar enerjisi projesi Gotland yakınlarında uygulanmaya alınmıştır. 1998 yılı itibariyle 4 adet rüzgar türbini parkı geliştirilmiştir.

Bunlardan 2 tanesi 11 rüzgar türbini jeneratörlü Danimarka'da, biri 10,4 jeneratörlü

Hollanda'da, diğeri ise 2,75 MW gücündeki İsveç kıyılarındaki parktır. Denizlerdeki rüzgar enerjisi projeleri, işletim zorlukları çıkarmaktadır.

Hava koşulları nedeniyle türbinler üzerinde haftanın sadece 1-2 günü çalışmak mümkündür. Bu aynı zamanda rüzgar türbinlerinin yüksek güvenilirliğini göstermektedir. Bunun yanında türbinlerin deniz içine montesi planlı bir iştir. Danimarka'da Wind Word firması deniz projeleri ile ilgilenmeye devam etmektedir. Ürünlerini geliştirmeyi amaçlıyor ve 1999' un sonunda bitecek olan 2,5 MW' lık deniz üstü rüzgar türbini jeneratörü için 4,45 milyon dolar ayırdı. Bunların yanında, az yada gözle görülmeyen şekilde çevreye olumlu etki eder; deniz rüzgarları karadakinden ortalama % 5 - 15 daha hızlıdır. Dünyadaki bazı ülkelerin rüzgar enerjisi gücü aşağıdaki Tablo 3.9' daki gibidir¹⁷.

Tablo 3.9 Bazı ülkelerin rüzgar enerjisi gücü

| Ülkeler | Yıllık Kapasiteleri (kW) | | | 2000 Yılında Hedeflenen Rüzgar Gücü (MW) |
|------------|--------------------------|------|------|--|
| | 1990 | 1995 | 1996 | |
| Almanya | 47 | 1136 | 1545 | 2000 |
| A.B.D. | 1557 | 1591 | 1590 | 2800 |
| Danimarka | 412 | 619 | 857 | 1000 |
| Yunanistan | — | 28 | 29 | 200 |
| Hindistan | 6 | 565 | 857 | 2000 |
| İngiltere | 9 | 200 | 270 | 800 |
| İspanya | 8 | 145 | 249 | 800 |

Danimarka'da toplam elektrik enerjisi ihtiyacının % 7' sinden fazlası rüzgar enerjisi santrallerinden sağlanıyor. Dünyanın rüzgar enerjisi ile üretim yapan bu günkü kurulu güç kapasitesi 42506 W düzeyine ulaşmış durumda 2020 bu üretimin yaklaşık 900tW/yıl düzeyine ulaşacağı tahmin edilmektedir. Bu kapasitenin 1600 MW' ı 1980-1985 yılları arasında A.B.D.' de kurulmasına karşılık, rüzgar enerji santrallerinde son 13 yılda pek fazla gelişme gösterilmedi. 1998 yılında rüzgar

¹⁷ Elektrik Enerjisinde Ulusal Politika, 2000. Ankara İstanbul Sanayi Odası, 51-65, Ankara

kullanılarak üretilen enerji miktarının 2 bin 100 MW artarak 9600 MW' a yükseldiği, bu rakamın 1997 yılına oranla % 35' lik artış gösterdiği uzmanlar tarafından belirtilmektedir. Aynı zamanda Dünya İzleme Enstitüsü verilerine göre, rüzgardan elektrik üretimi önümüzdeki yıl 21 milyar kWh' a çıkacak ve 3,5 milyon evin elektrik ihtiyacını bu yoldan karşılamak mümkün olacaktır. İngiltere' nin Orkney şehrinde kanat açıklığı 60 m olan dev rüzgar türbini, bu şehrin elektrik ihtiyacının yaklaşık % 15' ini hemen hemen bedava üretmektedir¹⁸. Rüzgar enerjisinin hammaddesinin bedava olmasının yanında ilk tesislerinin, diğer santrallere göre pahalı olması ve kapasitenin rüzgara göre % 15-37 oranında değişmesi nedeniyle, rüzgar türbinleri uzun bir yatırımdır (10-20 yıl). Rüzgar santrallerinin yapımında kapasite kullanım oranına dikkat edilmediği takdirde, ölü türbinler yapılabilir. Bu nedenle her bölgeye ve rüzgar rejimine göre türbin ve pervane seçmek gerekir.

3.4 Güneş Enerjisi İle Elektrik Üretmek

Güneş enerjisi yaygın olarak kullanılmakla birlikte bunlar tamamen küçük ev ihtiyaçları için kullanılmaktadır. Güneş enerjisi; kule tipi, parabolik, silindirik gibi sistemler kullanılarak elde edilebilir. Büyük bir alana yerleştirilen güneşe göre ayarlanabilen çok sayıda yansıtıcının üzerine güneş ışığının düşmesi sonucu elde edilen kızgın buhar türbinde elektrik enerjisi üretir. Bugün bir Yunan şirketi verimli güneş enerjisi santrali araştırmalarına devam etmekte ve 10 MW' lık pilot bir santral için ortak şirket ve finansman desteği aramaktadır. Bu sistemde düşük dereceli ısı kaynağı, % 75-85 verimle elektrige dönüştürülmektedir. Bu modül bakımı kolay, düşük maliyet işletmeciliği açısından önemlidir. Tayland Elektrik Üretim Şirketi (EGAT) ilk güneş enerji santralini Tayland'ın kuzeyinde Burma'da kurdu. İhaleye yaklaşık 27 uluslararası firma girdi. İlk etapta 500 kW' lık bir pilot santral kuruldu. Daha sonraki etapta buna 1750 kW daha eklendi. EGAT, bununla üretim maliyetini azaltmayı planlamıştır. Türkiye' de ise Ar-Ge çalışmaları devam etmekte olup, büyük güçlü güneş enerji santrali bulunmamaktadır. Elektrik enerjisini elde etmek için fosil yakıtlarla kurulan elektrik santrallerinin tümünde çevreyi olumsuz yönde

¹⁸ POHEKAR, S. D., RAMACHANDRAN, M., 2003. Application of Multicriteria Decision Making to Sustainable Energy Planning - A Review. Renewable and Sustainable Energy Reviews, Elsevier, Pilani, India.

etkileyen birçok yön mevcuttur. Bunların yanında son yıllarda güneşten üretilen enerjinin çevreyi kirlletici hiçbir etkisi olmadığından, araştırmacıların bu konuya eğilmelerine sebep olmuştur.

Güneş enerjisi günümüzde önem kazanmış ve dünyada yaygın olarak kullanılmaya başlanılmıştır. Aynı zamanda gelişmekte olan ülkeler için umut kaynağı haline gelmiştir. Dünya yüzeyine bir dakikada gelen güneş enerjisi miktarının bir yıl boyunca dünyanın enerji ihtiyacını karşılayacağı bilinmektedir. Başka bir değişle yeryüzüne ulaşan güneş enerjisinin tümüyle kullanılması teorik olarak dünyanın bütün tüketimini sağlayacak ve artacak bir değerdedir. Aynı zamanda tüm enerji türlerinin oluşumunda dolaylı rol oynar. Güneş enerjisi, elektrik üretimi dışında sıcak su üretiminde alan ısıtma ve soğutmasında, sanayi kuruluşları için ısı enerjisi üretiminde de kullanılmaktadır.

3.4.1 Güneş enerjisinin üstünlükleri

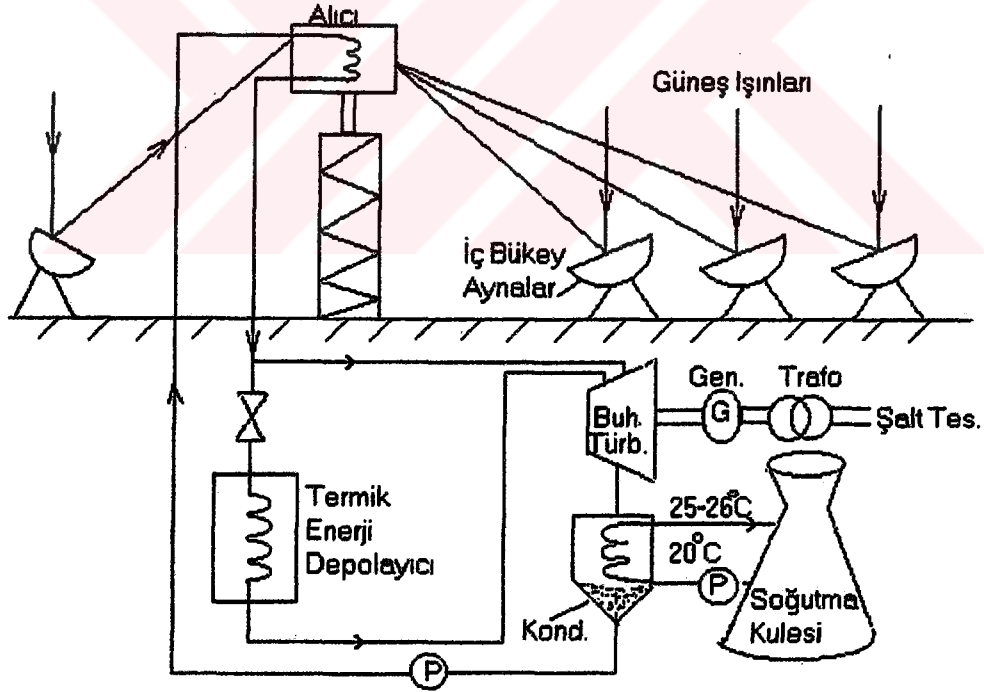
- 1.Periyodik bir kaynaktır.
- 2.Çevreye hiçbir zararı yoktur.
- 3.Tükenmez bir kaynaktır, Güneş devam ettiği sürece enerjisi var ve yakıtı bedavadır.
- 4.Tam bağımsız çalışmaktadır.
- 5.Tamamen sessiz çalışır.
- 6.Sistem kurulduktan sonra hiçbir ek maliyeti yoktur.
- 7.Tasarımı iyi yapılmış bir sistemde enerji ihtiyacına göre istenilen değişiklikler yapılabilir.
- 8.Taşınabilir bir sistemdir. Sistemler kolaylıkla kısa bir süre (1-2 saat) içinde de montaj edilerek yeni bir kullanım alanına taşınabilir.
- 9.Hiç bir bakım olmadan 20- 30 yıl gibi uzun bir ömürle çalışabilir.
- 10.Güvenli bir sistemdir. Elektrik kesintisi, voltaj düşmesi vb. gibi tüm problemlere tamamen çözüm bulur.

Pratikte güneş enerjisinden elektrik üretmek başlıca iki yoldan olmaktadır. Bunlardan biri; ısıl etkiden yararlanarak buhar elde edilmesi ve türbin-

jeneratör yardımıyla elektrik üretilmesi, diğeri ise; doğrudan doğruya Fotovoltaj Güneş Pilleri kullanılarak elektrik enerjisi üretilmesidir¹⁹.

3.4.2 Isıl (Termik) güneş santralleri

Günümüzde güneş ışığını toplayan ve endüstriyel işlemler için buhar ve sıcak suyun yanında elektrik üretimi için ısıl güneş santralleri geliştirilmiştir. Güneş ışını aynalarla öyle bir dereceye kadar yoğunlaştırılabilir ki teorik olarak güneş ısısına yaklaşan sıcaklıkları elde etmek mümkündür. Alıcının içinden geçen su güneş ışınları yardımıyla ısıtılarak buhar elde edilir. Elde edilen buhar; buhar türbinine uygulanarak mekanik güç elde edilir. Mekanik güç, türbine bağlı olan jeneratörü döndürür ve elektrik enerjisi üretilmiş olur. Bu santraller çok yaygın olmamakla birlikte güneşin ısıl enerjisinin en popüler kullanımını sıcak su elde etmek içindir.



Şekil 3.3. Isıl güneş santrallerinin prensip bağlantı şeması

¹⁹ CANZ, T., 1996. Fuzzy Linear Programming in DSS for Energy System Planning. International Institute for Applied Systems Analysis, 2-11, Laxenburg, Austria.

Bu santraller direk güneş ışığına bağlıdır. Bu yüzden yüksek miktarda güneş gören bölgelere kurulmalıdır. Güneş enerjisinin azaldığı veya olmadığı saatlerde kullanılmak üzere, ısı enerjisinin bir bölümü termik enerji depolayıcı da depolanır. Bu santrallere örnek olarak; ABD' de Kaliforniya Eyaletinde 1982 yılında hizmete giren 10 MW gücünde "Solarone Santrali", İspanya' da kurulan 1,2 MW gücünde Cesa-1 Santrali, Sicilya' da kurulan 1 MW gücünde Curelios Santrali, Fransa' da kurulan 2 MW' lık "Themis santrali" ve Japonya' da bulunan 1MW' lık santral verilebilir.

3.4.3 Güneş pilleri ile elektrik üretmek

Fotovoltaik (photovoltaic) terimi, ışıktan gerilim üretilmesi anlamına gelir ve genellikle "PV" ile gösterilir. Fotovoltaik piller için kullanılan ortak terim "Güneş Pilleri" olmakla birlikte, piller her tür ışık altında elektrik üretebilirler. Güneş pilleri, enerjinin korunumu yasasına uygun olarak, ışık enerjisini doğrudan elektrik enerjisine dönüştüren elektronik aygıtlardır; ancak enerjiyi depolayamazlar. Güneş olmadığı zamanlarda, güneş pilinin ürettiği elektrik de kesilir. Eğer elektrik sürekli kullanılmak isteniyorsa, devreye bir elektrik depolayıcı (akü) eklenmelidir. Diğer alternatif enerji kaynakları gibi, fotovoltaikler de 1970' lerdeki enerji krizinden sonra hızlı bir gelişme göstermişlerdir. Günümüzde, Almanya, İtalya ve Yunanistan gibi Avrupa ülkelerinde elektrik üretimi için fotovoltaikler kullanılmaktadır. Güneş pili dediğimiz fotovoltaiklerin yapısında Şekil 3.7' de görüldüğü gibi üst yüzeyinde, pil tarafından üretilen akımı toplayacak ve malzemesi genellikle bakır olan negatif kontaklar (ön kontaklar) vardır. Kontakların altında 150 mm kalınlığında, yansıtıcı özelliği olmayan bir kaplama tabakası vardır. Bu tabaka olmazsa, silisyum, üzerine düşen ışınımın üçte birine yakın kısmını yansıtacaktır. Bu kaplama tabakası, pil yüzeyinden olan yansımayı önler. Pilin ön yüzeyi, normal olarak yansıyan ışığın bir kısmını daha yakalayabilmek amacıyla, piramitler ve konikler şeklinde dizayn edilirler. Yansıtıcı olmayan kaplamanın altında, pilin elektrik akımının ortaya çıktığı yapı bulunur. Bu yapı, iki farklı katman halindedir. N-katmanı, fosfor atomları eklenmiş silisyumdan oluşan ve pilin negatif tarafını oluşturan katmandır. P-katmanı ise, bor atomları eklenmiş silisyumdan oluşmuş, pilin

pozitif tarafıdır. İki katman arasında, p-n kavşağı denilen, pozitif ve negatif yüklü elektronların karşılaştığı bir bölge bulunur. Pilin arka yüzeyinde, elektronların girdiği pozitif kontak görevi gören arka kontak yer alır.

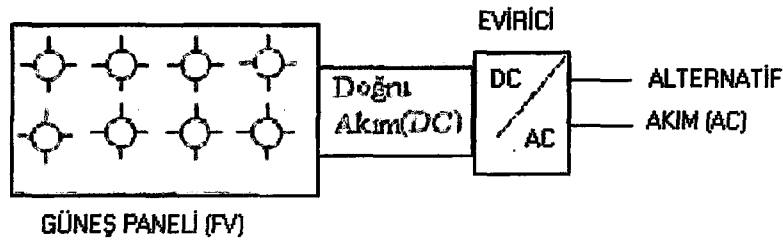
3.4.4 Güneş ışınları

Güneş pilleri kullanılmaya başlanıldığından bu yana ekonomik nedenlerle ve kaynağın küçük güçte kullanılmaya uygun doğası nedeniyle öncelikle elektrik enerjisi olmayan kırsal bölgelerde kullanılmıştır. Ülkemizde 1990'lı yıllara kadar birkaç kamu kurumunun şebekeden uzak yerlerdeki tesisleri dışında güneş pilleri ile enerji kullanımı gerçekleşmemiştir. Günümüzde ise temiz enerji kaynağı olması nedeniyle özellikle şebekeye bağlı tipte olmak üzere fotovoltaik uygulamalar yaygınlaşmaya başlamıştır. Teknik olarak güneşten elektrik enerjisi şu şekilde üretilir; Güneş ışını fotonları, genellikle silisyum kristalinden yapılan bir diyotun ara bölgesinde iyonizasyonuna neden olur ve bunun sonucunda oluşan elektronlar anoda doğru çekilerek bir akım üretilir. Üretilen elektrik akımı, diyotun dış kontaklarından alarak dış devreden toplamak mümkündür. Böylece üretilen güç istenilen yerde kullanılabilir. Bu yöntemin temel elemanı yarı iletken malzemeden yapılan güneş pilleridir. Güneş pillerinin imal edildiği pek çok materyal vardır. Fakat en sık kullanılan silisyumdur. Silisyum, dünyada oksijenden sonra en çok bulunan elementtir ve oksijenle birlikte kuartz veya daha bilinen haliyle kumu oluştururlar. Zehirsiz ve güvenilir olduğu kadar da bol bulunabilen bir malzemedir. Güneş pillerinin imal edildiği silisyum, aynı zamanda bilgisayar chiplerinin yapımında da kullanılmaktadır. Kısaca bir güneş pili az miktarda başka elementlerle yüzeyi işlemden geçirilen bir silikon yongadan yapılır. Silikon kumdan üretilir. Güneş panellerinin verimliliği ve ömrü hesaba katıldığında bir ton kum, yarım milyon ton kömür yakmakla elde edilebilecek kadar elektrik verebilir. Bunun yanında Germanyum (Ge), Selen (Se), Gayumarsenik (GaSe) gibi yarı iletken malzemelerden de faydalanılır. Bunlar elektriği yaklaşık 25° C sıcaklık olduğu zamanlarda iletirler.²⁰ Yarı iletkenlerin iletkenlik kabiliyetlerinin artırılması için Sat Silisyum kristal yapısı içine Fosfor (P) veya Bor (B) katılır. 7,5 cm

²⁰ MAVROTAS, et. al., 2002. Energy Plan. in Buil. Under Uncertainty in Fuel Costs: The Case of A Hotel Unit in Greece. Energy Conversion and Management, Elsevier, Greece.

çapında ve 300 cm kalınlığında bir tek Silikon pil elemanın gücü 1 W, gerilimi 0,5 V kadardır. Fotovoltaik Pilleri birbirine seri bağlayarak üretilen gerilim değerini arttırmak mümkündür. Genellikle, 30-36 adet güneş pili, 15-17 voltluk bir çıkış gücü vermek için birlikte bağlanabilir; ki bu gerilim değeri de, 12 voltluk bir aküyü şarj etmek için yeterlidir. Farklı çıkış güçleri verecek şekilde imal edilmiş, farklı büyüklüklerde güneş pilleri bulmak da mümkündür. Silisyum pillerinin seri bağlanması ile modüller oluşur. Bir modül, tipine göre dairesel veya kare alanlı PV hücrelerden Resim 3.9' da görüldüğü gibi 30-36 adedinin seri bağlanıp dış ortamdan etkilenmemeleri için hermetik bir kılıf içine yerleştirilmesiyle elde edilir. Modül yapımında kare kesitli PV hücreler, dairesel kesitli olanlara göre modül alanın daha iyi kullanılması nedeniyle tercih edilmektedir. Modüller genelde 12V-24V gerilim ve 20-65Wp güçleri arasında değişik kapasitelerde üretilir. Ancak modüllerin seri veya paralel bağlanmasıyla bu gerilim ve gücün arttırılabilmesi mümkündür.

Bir modülün ömrü 20 yıldan fazladır ve fiyatı ortalama 5-8 \$/Watt civarındadır. Modüller, yüzeyinin temizliği ve elektrikselsel ve mekanik bağlantılarının kontrol edilmesi dışında başka bir bakım gerektirmezler. Güneş pilinin kolayca kırılabilmesi ve ürettiği gerilimin çok düşük olması gibi, sakıncalarının giderilmesi gerekir. Pillerin birbirlerine bağlanması ile oluşan modüller, koruyucu bir çerçeve içine alınmışlardır ve kullanılabilir düzeyde gerilim üretirler. En basiti, bir modül ve buna bağlı bir akü veya elektrik motorundan oluşmuş bir sistemdir. Bu elemanların Şekil 3.9' de görüldüğü gibi Seri - Paralel bağlanmasıyla daha yüksek gerilim ve güç elde edilir. Elde edilen akım doğru akım olduğu için, alternatif akım ile çalışan cihazlar için bu akım bir evirici (inverter) yardımıyla alternatif akıma dönüştürülüp kullanılır.



Şekil 3.4. Güneş pili ile elektrik üretimine ait prensip şema

Bir sistem dizayn edilirken sırasıyla, uygulamanın tipi, hava koşulları vs sistemin kullanılacağı yere dikkat edilmesi gerekir. Her yük tek tek ele alındığında, bir gün boyunca ne kadar zaman kullanılacağı, çekeceği akım ve gerilim değerleri bilinmelidir. Daha sonra, mevsimlere göre güneş ışıını değeri değışeceğinden, kullanılacak zaman dilimi (yaz veya kış gibi) belirlenmelidir. Bu bilgiye göre, modülün güneş ışığını en iyi alabileceği açı hesaplanarak yerleştirilmesi yapılacaktır. Sistem, haftada yalnızca birkaç gün (örneğin hafta sonları) kullanılacaksa, panel ve akü sayısı düşecektir, bu da maliyeti azaltacaktır. Güneş pili modülleri uygulamaya bağlı olarak akümülatörler, inverterler (eviriciler) akü şarj kontrol cihazları ve çeşitli elektronik destek devreleri ile birlikte kullanılırlar. Bu sistemler, elektrik şebekesi olmayan yerlerde jeneratöre yakıt taşımının zor ve pahalı olduğu durumlarda kullanılır. Dünyada en fazla fotovoltaik pil üretiminin yapıldığı ülkeler ABD ve Japonya' dır. Bu gün dünyadaki toplam kurulu gücün 500-800 MWp olduğu bilinmektedir.

3.4.5 Güneş pilleri ile oluşan panellerin özellikleri

Modüllerin fiziksel ve elektriksel olarak bir araya getirilmesi ile oluşan yapıya panel adı verilir. Bir modülden elde edilen gücü arttırmak için başvurulan bir yapılanma biçimidir. Bu şekilde, çıkış gücü, 12, 24, 48 V ve ya daha yüksek olabilir. Birden fazla panelin kullanıldığı bir sistemde, paneller, kontrol cihazına veya akü grubuna, birlikte bağlanabilecekleri gibi, her panel tek olarak da bağlanabilir. Bu durumda, bakım kolaylığı olacaktır.

3.5 Dalga Enerjisi

Dalga enerjisi, rüzgar, denizdeki hareketli taşıtlar, deniz altında oluşan depremler veya med-cezir gibi dış etkenler sonucunda dengesi bozulan deniz yüzeyinin tekrar eski haline gelmesi için yaptığı hareketlerle oluşan dalganın, fibroflu plastik silindirlere güçlendirilmiş filaman camlı 1/7 prototip dalga enerji çeviricinin bir birine irtibatlandırılmış silindirlere iletilmesiyle elde edilir.²¹

²¹ FINON, D., 2000. Models in the French Energy Planning Process. 423-425, France.

Her bir dalga geldiğinde çalışır ve bu dalgalar hidrolik motorlarla jeneratöre iletilerek enerji üretimi sağlanır. Med-cezir olaylarının yaşandığı okyanusa kıyısı olan ülkelerde kullanılmaya başlayan dalga enerjisi, ticari amaçlı olarak ilk defa 2000 yılında İskoçya' nın Islay Adası' nda kurulmuştur. Bugüne kadar 300' e yakın patenti alınan dalga enerjisi, İskoçya, Hindistan, Japonya, Norveç gibi ülkelerde kullanılmaya başlanmıştır. Ancak bu enerji türü Türkiye gündemine henüz girmemiştir.

3.6 Jeotermal Enerji

Jeotermal enerji, yer kabuğunun çeşitli derinliklerinde yoğunlaşarak birikmiş ısının meteorik kökenli sularla yüzeye taşınması ile oluşan, sıcaklıkları sürekli olarak bölgesel atmosferik ortalama sıcaklığı üzerinde olan ve çevresindeki normal yer altı ve yer üstü sularına göre daha fazla erimiş mineral, çeşitli tuzlar ve gazlar içeren sıcak su ve buhar ile türbinleri faaliyete geçirilerek elektrik üretimi sağlanacaktır. Dünyada jeotermal ısı kullanımı ve kaplıca uygulamalarında ilk beş ülke Çin, Japonya, ABD, İzlanda ve Türkiye' dir. Türkiye' de alt sıcaklık sınırı 20° C kabul edilen toplam 1000 dolayında sıcak ve mineralli su kaynağının varlığı ile Avrupa' da birinci sırada yer almaktadır. Bilinen Jeotermal alanların % 95' i ısıtma ve kaplıca kullanımına, % 5' i de elektrik üretimine uygundur. MTA verilerine göre Türkiye' nin ispatlanmış termal kapasitesi 3173 MW' tır. Muhtemel Jeotermal potansiyel ise 31500 MW' tır. Türkiye' de 17.5 MW' lık Denizli-Kızıldere Jeotermal Santrali 1984 yılında işletmeye girmiştir. Denizli-Sarayköy' de Bereket enerji A.Ş. tarafından 5.5 MW' lık, Aydın Sultanhisar' da Menderes Elektrik Üretim A.Ş. tarafından 7.951 MW kurulu gücünde Jeotermal santral başvurusu EPDK' ya yapılmıştır.

3.7 Hidrojen Enerjisi

Hidrojen doğal yakıt olmayıp, birincil enerji kaynaklarından yararlanılarak su, fosil yakıtlar ve biyokütle gibi değişik hammaddelerden üretilen enerjidir. Hidrojenin enerji olarak üretimi: Fosil yakıtlarda, su buharı ve metanın yüksek basınç ve sıcaklıkta kimyasal tepkime ile hidrojen ve karbondioksit dönüşmesiyle, Atık gazların saflaştırılması; petrol rafinerisindeki hidrojen derişimi yüksek atık

gazların toplanması ve saflaştırılmasıyla,

Elektroliz; Sudan elektrik akımı geçirilerek, su moleküllerinin hidrojen ve oksijene ayrılmasıyla, elde edilir. Maliyetinin yüksek olması nedeniyle henüz deneme aşamasındaki bir enerji çeşidi olup, Türkiye' de uygulaması yoktur.

3.7.1 Jeotermal enerjinin Dünya'daki ve Türkiye' deki mevcut durumu potansiyeli ve değerlendirme alanları

Dünyada jeotermal elektrik üretiminde ilk beş ülke: ABD., Filipinler, İtalya, Meksika, Endonezya, jeotermal elektrik dışı kullanımlarda (ısıtma ve kaplıca vb kullanımı içine alan jeotermal doğrudan kullanım) ise dünyada ilk beş ülke sıralaması: Çin, Japonya, A.B.D, İzlanda ve Türkiye' dir.

1995' den 2000 yılına kadar dünyada jeotermal elektrik üretiminde % 17, jeotermal elektrik dışı uygulamalarda ise % 87 artış olmuştur.

Filipinler'de toplam elektrik üretiminin % 22' si. Kaliforniya Eyaleti' nde % 7' si, İzlanda' da toplam ısı enerjisi ihtiyacının % 86' sı jeotermalden karşılanmaktadır.

İtalya Larderello sahasında 1904 yılından beri. Kaliforniya Gevşer sahasından 40 yıldır jeotermal elektrik üretilmektedir. 1890' den beri (ABD) ve 1934' den bu yana İzlanda' da ısıtma sistemi bulunmaktadır²².

3.8 Sobadan Kalorifere Geçiş

Türkiye'nin doğalgaza yaptığı yatırımlar jeotermale yapıldığı takdirde Ülkemizin % 30' u, 1/4 daha ucuz maliyetli doğal ve çevre dostu özkaynağımız olan jeotermal enerji ile ısıtılmış olacaktır. Mümkün olan yerlerde jeotermal ile konut ısıtması yapılmasına öncelik verilmeli, doğalgazın ise elektrik üretimi ve sanayide kullanılması planlanmalıdır. Jeotermal merkezi ısıtma sistemleri çevre dostu bir alt yapı yatırımı olup, dışa bağımlılığı yoktur. Yöre halkının soba kültüründen kalorifer kültürüne geçmesini sağlayarak yaşam standardını yükseltmektedir. Jeotermal merkezi ısıtma sistemleri' nin kurulması için yatırım % 50' si yaklaşık 1000 ile 1500 ABD Doları katılma payı kullanıcı tarafından finanse

²² EDIGER, V. S., TATLIDIL, H., 2001. Forecasting the Primary Energy Demand in Turkey and Analysis of Cyclic Patterns. Energy Conversion & Management, Elsevier, Ankara, Turkey.

edilmektedir. Bu rakam, kat kaloriferi kazan yatırımına eşdeğerdir. Türkiye' de, sıcaklığı $-10^{\circ} C$ nin üzerinde 170 jeotermal sahadan sadece 5' i bugünün teknolojik ve ekonomik imkanlarına göre elektrik enerjisi üretimine uygundur. Bu milli kaynağımızın değerlendirilmesi ile 2010 yılında 500 MWe' lik elektrik enerjisi üretimi hedeflenmektedir. Diğer kaynaklarımız doğrudan ısıtmaya, kaplıca sağlık ve termal turizm amaçlı kullanıma ve sanayide kullanıma uygun sahalardır.

Tüm jeotermal potansiyelimiz değerlendirildiğinde milli ekonomiye yılda 20 milyar ABD Dolar' lık net katma değer hedeflenmektedir. Jeotermal Merkezi Isıtma Sistemlerine ilişkin yatırımlar ticari yatırımlar olarak ele alındığında, bunlar kendisini 5 ile 8 yıl içerisinde reel olarak geri ödeyen yatırımlar olmaktadır. Asıl geri ödeme ulusal ekonomide petrol ikamesi döviz tasarrufu olarak yapılan jeotermal yatırımın 3 yılda geri ödenmesidir.

Türkiye' de jeotermal enerji ile merkezi ısıtmacılık yapılabilecek yerleşim birimlerinin doğalgaz veya fosil yakıtlar yerine jeotermalle ısıtılmasının ülke ekonomisine ve bilinen kaynakların değerlendirilmesine büyük ölçüde katkıda bulunacaktır.

4. DÜNYADA YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAKLARI

4.1 Avrupa' da Yenilenebilir Enerjilerin Bilançosu ve 2010 Hedefi

Yenilenebilir enerjiler tükenmeme avantajına sahiptir. Fosil enerjilerle karşılaştırıldıklarında çevreye daha dost oldukları ve çok daha düşük sera etkisine sahip oldukları görülür. Başlıcaları, hidrolik enerji, rüzgar enerjisi, biomas, solar enerji. fotovoltaik sistem ve jeotermal Bu yazıda, Avrupa' da yenilenebilir enerjilerin son yıllardaki durumlarını ele alarak bu enerjilerde öngörülen gelişmeleri vermek istiyoruz. Ülkemizde de bu enerjilere rağbet artmaktadır. Avrupa' daki gelişmeler bize örnek olmaya devam edecektir.

Tablo 4.1. Dünyada Rüzgar Enerjisinin Gelişimi

| | 1191 (MW) | 1997 (MW) | Yıllık Artış % |
|---------------|-----------|-----------|----------------|
| Avrupa | | | |
| Almanya | 110 | 2031 | 63 |
| Danimarka | 409 | 1135 | 19 |
| İspanya | 15 | 449 | 76 |
| Pays-Bas | 83 | 349 | 27 |
| İngiltere | 81 | 333 | 27 |
| Kuzey Amerika | | | |
| ABD | 1450 | 1646 | 2 |
| Asya | | | |
| Hindistan | 33 | 870 | 73 |
| Çin | 3 | 170 | 96 |
| Dünya | 2223 | 7680 | 23 |

4.1.1 Rüzgar enerjisi

Dünyada rüzgar enerjisinden yararlanma hızla gelişmektedir. 1998 sonu itibarıyla dünya' da 42 ülkede toplam 9800 MW gücünde rüzgar tesisleri işletmede bulunuyordu. Toplam gücün üçte ikisine sahip olan Avrupa bu sektörün lideri durumundaydı. Son 20 yılda rüzgar santrallerindeki ekonomik ve teknolojik ilerlemeler çok dikkat çekicidir. 1980' de rüzgar türbini 20 metrelik bir yüksekliğe 26 kW' lık bir jeneratöre ve 10,5 metre genişlikte kanatlara sahipti. Bugün ise 80 metre yüksekliğe, 80 metre kanat genişliğine ve 2,5 MW' lık bir güce ulaşabiliyor. Rakamların gösterdiğine bakılırsa AB' de 1999 yılı sonu itibarıyla tesis edilmiş olan toplam kapasite 9332 MW' a yükselmiş bulunuyor. Bu değer 1990 rakamları ile kıyaslandığında % 42,5' luk bir büyümeye işaret etmektedir. Almanya bir yılda ilave ettiği 1570 MW' lık ek tesisleriyle 1999 sonunda 4445 MW' a ulaşmış ve bu pazarın en büyüğü olmuştur. Aynı dönemde İspanya 696 MW' lık ek tesisleriyle iyi bir performans sergilemiştir.

Daha önce Avrupa 2003 yılının sonuna kadar 10 bin MW' lık bir rüzgar enerjisi kapasitesine erişmeyi hedef almıştı. Halbuki, daha şimdiden (2000 yılı Nisan sonu) yani programın öngördüğü süreden üç yıl önceden bu kapasite 10 bin MW' ı aşmış bulunuyor. Bu atılım üzerine uzmanlar 2010 yılına ilişkin hedefleri gözden geçirerek yeniden belirlemiştir. Birtakım marjlar dikkate alınarak 2010 yılı için 73 bin MW' lık bir hedef tespit etmişlerdir. (Türkiye' nin 2010' da elektrik kurulu güç hedefi 60 bin MW olduğunu mukayese için hatırlatmak yerinde olur).

Bütün bu gelişmelere karşın zengin rüzgar enerjisi kaynaklarına sahip Fransa ve İngiltere gibi ülkelerin bu kaynakları iyi değerlendirmediklerinden şikayet edilmektedir.

4.1.2 Hidrolik enerji

Hidrolik enerji elektrik üretiminde yüzde 19' luk payı ile dünyanın en eski ve en yaygın kullanımına sahip yenilenebilir enerji kaynağıdır. Tablo 4.2' de dünyada varolan baraj kapasiteleri ile kullanılabilir potansiyeli göstermektedir.

Tablo 4.2. Avrupa Birliği'nde rüzgar kurulu gücü

| Ülkeler | 1998 | 1999 | Artış % |
|---------------------|------|------|---------|
| Almanya | 2875 | 1445 | 54,6 |
| Danimarka | 1450 | 1742 | 20,1 |
| İspanya | 834 | 1530 | 83,4 |
| İngiltere | 334 | 356 | 6,6 |
| İtalya | 180 | 286 | 58,9 |
| İsveç | 150 | 220 | 58,9 |
| AB' nin geri kalanı | 241 | 343 | 42,3 |
| Toplam AB | 6427 | 9332 | 45,2 |

Tablo 4.3' te Avrupa' nın dünya hidro enerji kapasitesinin yüzde 8,5' unu teşkil ettiği görünmektedir. Eski Sovyetler Birliği kaynakları da katılırsa bu oran % 19' u bulmaktadır²³.

Tablo 4.3. 1994' te kurulu hidro enerji kapasitesi ve kullanılabilir potansiyel

| | 1994' te Mevcut Kapasite | Kullanılabilir Potansiyel |
|------------------------|--------------------------|---------------------------|
| Kuzey Amerika | 133 | 313 |
| Orta ve Güney Amerika | 99 | 647 |
| Afrika | 20 | 182 |
| Asya | 122 | 735 |
| Avrupa | 155 | 202 |
| Eski Sovyetler Birliği | 64 | 240 |
| Dünya | 606 | 2358 |

²³ WEISSER, D., 2003. Costing Electricity Supply Scenarios: A Case Study of Promoting Renewable Energy Technologies on Rodriguez Mauritius. Renewable Energy, Elsevier, London, UK.

Barajlar ekonomik açıdan son derece cazip olsalar da yerel koşullara bağımlıdırlar. Bunların hiç yakıt gideri yoktur ve işletme giderleri yıllık toplam giderin yüzde 20 ile yüzde 25' ini oluşturur.

Hidrolik santraller 1 sent/kWh kadar düşük taban maliyetinde enerji üretebilirken santral doğru bir şekilde kurulmamış ise ya da santralin yıllık kullanımı düşükse 12 sent/kWh' a kadar çıkabilir. Büyük hidroelektrik projeler tekrar tekrar çevre problemlerine neden olmuşlardır ve bunların kullanılan diğer kaynaklarla ciddi bir entegrasyonu gereklidir. Daha küçük hidrolik güç kaynaklarının çevresel hedeflerle çelişkiye düşmeden kullanılması kolaydır. 1999 yılının sonlarında AB' de tesis edilmiş küçük hidrolik santrallerin kapasitesinin 9755 MW' a ulaştığı tahmin ediliyor.

4.1.3 Biyomas

Biyomas biyolojik kökenli fosil olmayan organik madde kütesidir. Bu rezervin bir bölümü enerji üretimi için kullanılabilir.

Tablo 4.4. 1999' da AB ülkelerinde odun enerjisi bazlı enerji üretimi (GWh)

| Ülkeler | Isı üretimi | Elektrik Üretimi | 1999' da toplam |
|-------------------|-------------|------------------|-----------------|
| Fransa | 106906 | 2019 | 108925 |
| İsveç | 68443 | 11727 | 80170 |
| İtalya | 7610 | 750 | 76850 |
| Avusturya | 26800 | 1500 | 28300 |
| Danimarka | 7100 | 500 | 700 |
| Almanya | 14000 | 195 | 14195 |
| Finlandiya | 49500 | 7000 | 56500 |
| AB'nin geri kalan | 86020 | 7480 | 93500 |
| Toplam AB | 434869 | 31171 | 466040 |

Biyomas'ın çeşitli enerji biçimlerinin her zaman "yenilenebilir" olarak sayılmasına karşılık, bunların yenilenme oranları değişiktir. Bu güneşin mevsimlik ve günlük durumlarına, iklim koşullarına, tarımsal tekniklere ve bitki gelişimine bağlı olduğu

gibi işletme koşullarından da etkilenebilir. Gelişmekte olan ülkelerde, toplam talebin üçte birinden fazlasını sağlayan ve 2.5 milyon insanın başlıca konutsal enerji kaynağını oluşturan biyomas, egemen enerji türünü oluşturmaktadır²⁴. Biyomas sektörü, enerji ikmalinde dünyanın yüzde 14' ünü, AB' nin de yüzde 3' ünü karşılamaktadır.

Bu sektör üç ayrı bölüme ayrılmaktadır: Biyoyakıt, biyogaz ve odun enerjisi. Odunun ve diğer biyokütlelerin konutsal kullanımının büyük bir bölümünün ticari işlemlerin dışında olması nedeniyle tüketilen miktarlar üzerinde güvenilir veriler elde edilmesi son derece zordur. Bundan dolayı bu tür enerji çeşitleri genel olarak "ticari olmayan enerjiler" olarak ayrılmaktadır.

Enerjiye dönüştürülmek üzere ormandan alınan ürünlerin odun endüstrisine giren miktarı ortalama % 25 olarak hesaplanmaktadır. Eskiden ısıtma odununun toplanmasının gelişmekte olan ülkelerde görülen orman kıyımının başlıca sorumlusu olduğu düşünülmekte idi. Şimdi ise bu sorunun aslında tarımın gelişmesi ile ilgili olduğu kabul edilmektedir.

Tablo 4.5. AB' de Biyogaza dayanan enerji üretimi (GWh)

| Ülkeler | 1999' da Üretim |
|------------|-----------------|
| İspanya | 13900 |
| İsveç | 1360 |
| Fransa | 665 |
| Danimarka | 572 |
| İtalya | 495 |
| Avusturya | 368 |
| Finlandiya | 120 |
| Almanya | 1760 |
| Geri kalan | 2965 |
| AB Toplam | 22205 |

Kaynak: EurObserv'ER

²⁴ KENNEDY, S., 2004. Wind Power Planning: Assessing Long-Term Costs and Benefits. Energy Policy, Elsevier, Cambridge, USA.

Odun enerjisiyle ilgili olarak AB' deki elektrik ve ısı üretiminden hareketle bir hesap yapılırsa 466 milyar kWh'lık bir değere ulaşılmaktadır. Burada Fransa 109 milyar kWh ile ilk sırada yer almaktadır.

Biyogaz için kullanılacak veriler elektrik üretimi payı ile ise üretim payını ayırmaya imkan vermemektedir. 1999' da AB' de biyogaz kökenli enerji üretimine 22 milyar kWh'lık bir değer biçilmektedir. İspanya bu kaynağın işletilmesinde 13,9 milyar kWh ile bu enerjiye en çok angaje olmuş ülke görünümündedir.

Tablo 4.6. AB' de tesis edilmiş küçük hidrolik santral kapasitesi (MW)

| Ülkeler | 1997 | 1999 |
|------------|--------|--------|
| İtalya | 2186,0 | 2190,0 |
| Fransa | 2004,0 | 2004,0 |
| Almama | 1370,0 | 1375,0 |
| İspanya | 1414,0 | 1420,0 |
| İsveç | 969,0 | 969,0 |
| Avusturya | 812,0 | 812,0 |
| Finlandiya | 304,0 | 304,0 |
| Portekiz | 245,0 | 280,0 |
| İngiltere | 161,0 | 161,0 |
| Belçika | 59,4 | 59,4 |
| İrlanda | 54,2 | 54,2 |
| Yunanistan | 44,6 | 44,6 |
| Hollanda | 37,0 | 37,0 |
| Lüksemburg | 34,3 | 34,3 |
| Danimarka | 10,5 | 10,5 |
| Toplam AB | 9705,0 | 9755,0 |

Tablo 4.7. Avrupa' nın 2003 ve 2010' a yönelik biomas gelişmesiyle ilgili hedefleri

| Uygulamalı | Hedef 2003 | Hedef 2010 |
|---|------------|-------------|
| Biyomas Kojenerasyon tesisleriyle 10000 MW üretim | 4,3 Mtep | 26 Mtep |
| Biyomas ısıtılan 1000000 lojman | 4,5 Mtep | Hazır değil |
| 1000 MW Biogaz tesisi | 2,25 Mtep | 15 Mtep |
| 5 milyon ton likit hidrokarbür | 3,95 Mtep | 18 Mtep |

AB geleceğe ilişkin planlarda biyomas sektörünü geliştirecek sektörlerin başına koymaktadır. Tablo 4.7 Avrupa Komisyonu' nun 2003 ve 2010 yıllarına ilişkin farklı uygulamalardaki hedeflerini gösteriyor.

Bu süreçte odun enerjisi ve biyogazla ilgili olarak avrupa ülkelerinin çabalarına bakarak gelecekte olacaklar hakkında bir şey söylemek çok zor sayıda uygulamaları bu çabaları çok değişken hale getirmekte. Bu enerjileri fiili olarak geliştiren başlıca ülkelerin ele aldıkları projeler biyomasın pazardan aldığı payı büyütme üzerinedir.

Biyogaz kullanımını artırmak gayesinde olan İsveç ve ya odun ısı tesislerini gelecek yıllarda iki katına çıkarmak niyetinde olan Avusturya bu konudaki örneklerdir. Sonuçta biyoyakıtlarla ilgili olan hedeflerin gerçekleştirilmesi daha kolaydır. 2000 yılında AB' de biyokar-bürlerin üretimi 1 milyon ton' a yükselirken mevcut eğilimin devamı halinde 2003' te 4.8 milyon ton' a ulaşacaktır.

4.1.4 Jeotermal enerji

Jeotermal enerji, yerkabuğu içinde magna, pluton ve radyoaktif elementlerin doğal parçalanmasından doğan yüksek sıcaklıkların etkisiyle oluşan ve yerkabuğu derinliklerinden yeryüzüne doğru çıkan ısı akımıdır.

Jeotermal akışkan ise, yerkabuğundan çıkarılan ya da fişkıran kuru buhar, yağ buhar ya da sudur. Bunlar, birlikte çözülmüş halde kimyasal maddeler içerirler. Jeotermal enerjinin temel elemanı bu akışkan olmaktadır. İlk deneme girişiminden ve ilk endüstriyel tesis projesinden bu yana kurulu jeotermal güç, dünyanın her yerinde düzgün bir şekilde artmaktadır²⁵.

²⁵ YU, X., TAPLIN, R., AKURA, T., 1997. A Framework for Energy Policy-Making in the Pacific Islands. Energy Policy, Elsevier, Australia, Kiribati.

Tablo 4.8. AB' de tesis edilmiş Jeotermik kapasite Elektrik üretimi (MW)

| | | Elektrik | Isı | |
|------------|----------|-----------------|-----------------|------|
| | | Üretimi (MW) | Üretimi (MW) | |
| Ülkeler | 1998 | 1999 | 1997 | 1999 |
| İtalya | 768,5 | 770 | 314 | 330 |
| Fransa | 3,2 | 4 | 309 | 320 |
| Almanya | n.d | n.d | 307 | 315 |
| Geri Kalan | 20,1 (1) | 21 (1) | 109 | 120 |
| AB Toplam | 792 | 795 | 1039 | 1085 |

Rüzgar enerjisinin ve fotovoltaik iki rakamlı yıllık büyüme oranlarının altında olmakla birlikte jeotermal enerji, biyomas ve hidrolikten sonra dünyadaki üçüncü yenilenebilir enerjidir. Jeotermal tesislerin , elektrik ve ısı üretimi için olduğu gibi, diğer enerjilere kıyasla gerçekleştirilmeleri daha fazla özen gerektirdiği ve daha zor olduğu için, gelişimleri daha yavaştır. 1999' da AB elektrik üretiminde 795 MW ve ısı üretiminde 1085 MW'lık değerlere sahipti. İtalya, Fransa ve Almanya işletilebilir kaynakları sayesinde Avrupa' nın başlıca aktörleri durumuna gelmişlerdir. Uzmanlar, Avrupa Komisyonu için kaleme aldıkları raporla ilgili olarak jeotermal tesislerin büyümesiyle ilgileniyorlar. Birliğin ülkeleri için sonuçlar 2010' da 1155 MW ve 2144 MWth' lik değerleri göstermektedir. Elektrik üretimiyle ilgili Avrupa hedefine ulaşılacaktır oysa ısı üretiminde eğilim daha önce ortaya konan hedefin altında olacaktır. Bununla birlikte, jeotermal tesis olgunluk evresine yıllar öncesinde ulaşmış ve büyümesinin yavaşlığını büyük bir düzenlilikle telafi eden bir tesistir. Üstelik bu enerjiden üretilen ısı ve elektriğin rekabetçi görünümündeki maliyeti, özellikle gelişmekte olan ülkeler için ağırlığı olan argümanlardır.

4.1.5 Fotovoltaik (Pv)

Güneş enerjisine dayanan termal sistemler büyük birimler gerektirirken fotovoltaik modüller küçük ve sistemlere bağlı olmayan enerji üretimi için daha yaygındır. Güneş enerjisinin en büyük dezavantajı, güneşin parladığı saatlere bağlı olması ve bu

nedenle kullanım kapasitesinin sınırlı olması ve enerji depolanması ve yedeklenmesi sistemlerini gerektirmesidir. Fotovoltaik enerji geleneksel şekildeki fosil yakıtlara dayanan elektrik üretimi ile karşılaştırıldığında ekonomik olmaktan uzaktır. Ancak bir elektrik sistemine ait şebekenin hizmet vermediği bölgelerde uygulanabilirliği bulunmaktadır.

50 MW kapasiteye sahip olacak dünyanın en büyük PV santralının Girit Adası'nda kurulması planlanmıştır. İlk basamakta 5 MW'lık bir kapasite hedeflenmiştir. Bu tesis 18 milyon Dolarlık bir maliyete sahip olacaktır. Akdeniz Bölgesinde PV'ye dayanan elektriğin fiyatı 0,50 Dolar/kW'dan daha düşüktür. Ancak Kuzey Avrupa'daki maliyet bunun nerdeyse iki katıdır. Kayda değer teknolojik buluşlar ya da maliyet tasarrufları büyük ölçekli güneş enerjisi sistemlerini geliştirecektir.

Fotovoltaik'in tesis edilmiş kapasitelerinin yıllık gelişim hızı elbette ki rüzgar enerjisinininkinden daha azdır. Fakat üç yıldır gelişim hızının yüzde 20 etrafında bir süreklilik arz etmesi kayda değerdir²⁶.

1999 sonunda AB'de tesis edilmiş fotovoltaik güce 124 MW'lık bir değer biçilmiştir. Almanya, Hollanda, veya İtalya gibi ülkelerde şebekeye bağlı güneş çatısının gelişim programları, bu büyümenin büyük bir kısmını hesaba katmaktadır. Eğilim, büyümenin artacağı yönündedir zira bu programların büyük bir çoğunluğu henüz ilk yıllarındadır ve gelecek yıllarda en uygun hızı yakalamak zorundadır.

Almanya'da 2000 yılının ilk rakamları, fotovoltaik kullanımı talebinin arzın üzerinde olma durumunu yaratacağını düşündürmektedir. 2003 ve 2010'a ilişkin projeksiyonlara ait uygulama (güneş çatısı) programları dolayısıyla basit değildir. AB'nin hedeflerine göre 4 yıl içinde 750 MW'lık ve 2010'da 2000 MW'lık tesis edilmiş fotovoltaik kapasite öngörülürü dikkate alınır. 2003'den itibaren AB bu hedeflerin gerisine düşecektir. Sadece Almanya ve daha az bir ölçüde de Hollanda, enerji alanında pazardan alınacak pay ve endüstrileşme konularında tesiste ortaya çıkacak yeni güçlükleri aşma noktasında çaba sarfediyorlar.

²⁶ KAVRAKOĞLU, İ., 1997. Energy Models. Bogazici University Library, Research Papers, 2-13, İstanbul

Avrupa' nın diğer ülkeleri İtalya gibi geride duruyorlar ya da sisteme bağlı olmayan tesislerini geliştiren Fransa gibi dışarıda duruyorlar.²⁷

Tablo 4.9. AB' de tesis edilmiş termik güneş kolektörü alanları (m²)

| Ülkeler | 1998 | 1999 | 1999' da artış (%) |
|------------|--------|---------|--------------------|
| Almanya | 2630 | 3100 | 17,9 |
| Yunanistan | 2493 | 2650 | 6,3 |
| Avusturya | 1884 | 2042 | 8,4 |
| Fransa | 654,6 | 674 | 3,0 |
| İspanya | 341 | 360 | 5,6 |
| Danimarka | 294 | 311 | 5,6 |
| İtalya | 250 | 268 | 7,2 |
| Hollanda | 206,5 | 04,2 | 13,4 |
| Portekiz | 215 | 223 | 3,7 |
| İngiltere | 207 | 216 | 4,3 |
| İsveç | 150 | 160 | 6,7 |
| Finlandiya | 90 | 91 | 1,1 |
| Belçika | 18 | 21 | 16,7 |
| İrlanda | 1,5 | 1,6 | 6,7 |
| Lüksemburg | 1 | 1,1 | 10 |
| Toplam AB | 9435,6 | 10352,9 | 9,7 |

Düşük ısıli termik güneş enerjisi bugün büyüme evresinde bulunmaktadır. 1999 sonunda, tesis edilmiş termik kolektörün toplamı kapasitesinin yaklaşık 10,4 milyon m² yükseldiği ve 1998' e kıyasla % 9,7' lik bir artış gösterdiği görülmüştür. Almanya, Yunanistan ve Avusturya Birliğin tesis edilmiş güneş kolektörleri alanlarının % 75,3' ünü ellerinde tutarak diğer uluslardan ayrılmaktadır. Bu durum sadece bu ülkelerin çabalarının diğer ülkelerin bekleme yanlısı ve oportünist politikalarını maskeleymesi riskiyle sonuçlanabilir.

Fotovoltaik güneş gibi termik güneş enerjisi perspektifleri de ulusal programlar arasında belirlenebilir. Almanların "Solarnaklar" adı altındaki çalışması en dikkat çekenidir. Bu program 2003 yılında tesis edilmiş kapasitenin 2,4 milyon m² ye ulaşmasını ve sonrasında. 2010 yılından itibaren satılmış miktarın 10 milyon m² ye varması için güç artışı hedefliyor. Bu hızla Alman tesisi 2010 sonunda 55 milyon m² ye yükselecek gibi görülüyor. Fransa' da geride değildir. "Helios 2006" 2003' te kol-

²⁷ DUESING, E. C., 2000. Applications of Multiple Objective Linear Programming to Energy Modelling. 381-385, USA.

lektörün 845.000 m² lik ve 2010' da 1.450.000 m² lik tesise ulaşmamıza olanak sağlamak durumundadır. AB seviyesinde projeksiyonlar 2003 yılında 23.335 milyon m² lik bir tesisi göz önüne alıyorlar ve bu rakam aynı yıl için hedeflenen 15 milyon m² lik rakamla kıyaslandığında oldukça olumludur. Buna karşılık 2010 yılı için öngörülen hedefler daha fazla çaba gerektiriyor çünkü bu hedeflere güncel dinamikle ulaşamaz. Almanya' nın bütün iyi niyeti, AB' nin diğer ülkelerinin büyük bir kısmının bu konudaki duyarsızlığının üzerini örtmemektedir.



5. TÜRKİYE' DE YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAKLARI

5.1 Türkiye'nin Biyokütle Potansiyeli Ve Enerji Dönüşüm Sistemlerinde Kullanım İmkanları

Biyokütle enerjisi; artan nüfusun ve büyüyen sanayinin enerji gereksinimini çevreyi kirletmeden ve sürdürülebilir şekilde sağlayabilecek en önemli kaynaklardan birisidir. İçerisinde fosil yakıtlarda bulunan kükürt bulunmadığından, çevreye zararı da son derece azdır. Bunların yanı sıra, bitkisel yaşam güneş var olduğu sürece devam edeceğinden biyokütle tükenmez bir enerji kaynağıdır²⁸.

Türkiye enerji ihtiyacının yarısından fazlasını ithal eden bir ülkedir. Bu durum döviz dengesini olumsuz yönde etkilemektedir. Türkiye'nin enerji politikasının temeli; güvenilirlik, zamanında ve yerli üretim, ekonomiklik ve sürdürülebilirlik esaslarına dayandırmaktadır. Biyokütle kolay yetiştirilebilir olması, özellikle kırsal bölgelerde sosyoekonomik hayatı olumlu yönde etkilemesi, çevrenin korunmasına katkıda bulunması, elektrik, kimyasal madde ve özellikle taşıtlar için yakıt üretiminde kullanılabilmesi nedeniyle Türkiye için stratejik bir enerji kaynağıdır. Petrol, kömür ve doğal gaz gibi fosil yakıtların rezervlerini sınırlı olması ve önemli çevre kirliliği problemlerine yol açmaları nedeni ile biyokütlenin bir enerji kaynağı olarak kullanılması giderek önem arz etmektedir.

Dünyada yılda yaklaşık 26 milyar ton CO₂ atmosfere atılmaktadır. Bunun yaklaşık %80'i kömür ve petrol gibi fosil yakıtlarının yakılmasından kaynaklanmaktadır. Fosil yakıt kullanımından dolayı son 40 yıl içerisinde CO₂ emisyonu dört kat artmıştır. Milyonlarca yıldır atmosferde 180-280 ppm arasında değişen CO₂ seviyesi, günümüzde 360 ppm seviyesine kadar çıkmıştır. Buna ek olarak özellikle tropikal bölgelerdeki orman alanlarının yanması veya bozulması sonucunda yılda yaklaşık 6 milyar ton CO₂ atmosfere

²⁸ ÖZTÜRK, Ç., 2002. Türk Enerji Sektörü için Risk Yönetim Modeli Tasarımı. Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu, Ankara, Türkiye

atılmaktadır. Son 20 yılda ise atmosferdeki CO₂ değişimi % 27 oranında artmıştır. Bunun sonucunda atmosfer sıcaklığının 0.5° C kadar arttığı belirtilmektedir. Bu kirliliğin devam etmesi halinde önümüzdeki yüzyılın sonunda dünya sıcaklığının 5° C artacağı ve deniz seviyesinin de 1.8 -2.4 m yükseleceği tahmin edilmektedir. Bu tahminin gerçekleşmesi durumunda dünya için ciddi tehlikeler ortaya çıkmaktadır. Global CO₂ seviyesindeki artışın önemli nedenlerinden birisi de fosil yakıtlardır. Fosil enerji kaynaklarının dünya atmosferinde oluşturduğu hızlı kirliliğin bilincine varılması ile birlikte birçok ülkede alternatif enerji kaynaklarına yönelik çalışmalar yoğunlaşmıştır. Biyokütle olarak tanımlanabilen tarımsal yakıtların yanması sonucunda yine CO₂ üretimi söz konusu olsa da, bitkilerin yetiştirilmesi sırasında yaklaşık aynı miktarlardaki CO₂ fotosentez sonucunda tüketildiğinden denge sağlanmış olacaktır. Türkiye'nin enerji gereksinimi nüfus artışına ve sanayileşmesine paralel olarak hızla artmaktadır. Buna karşın enerji üretimi tüketimi karşılayamamaktadır. Türkiye'nin en önemli enerji kaynakları hidrolik potansiyel ve linyitlerdir. Ulusal enerji üretimi temel olarak bir iki kaynağa dayanmaktadır. Türkiye'deki linyit rezervleri yaklaşık 8.3 milyar ton civarındadır. Bunların çok büyük bölümü oldukça düşük kalitededir. Kül, nem ve kükürt içerikleri yüksek, ısı değerleri düşüktür. Bunların ancak yaklaşık % 7' nin ısı değeri 3000 kcal/kg üzerindedir. Yine bu linyitlerin % 80' nin kükürt içeriği ise % 1' in üstündedir. Türkiye'nin linyit tüketimi 1996 yılında 58 milyon tondur²⁹. Bunun yaklaşık yarısı elektrik üretiminde, geri kalanı ise konut ve sanayi sektöründe kullanılmaktadır. Linyit üretimi ve tüketiminin önümüzdeki yıllarda da artması beklenmektedir. 2010 yılında linyit tüketiminin 1996' daki tüketimin 2.5 katı civarında olması beklenmektedir. Böylece, Türkiye bir taraftan ulusal enerji kaynaklarını değerlendirmek, diğer taraftan da çevre kirliliği problemleri ile başa çıkmak gibi bir ikileme karşı karşıya kalmaktadır. Halen kömüre dayalı olarak çalışan güç santrallerinde tarımsal biyokütlenin kullanılması durumunda CO₂ ve SO₂ emisyonlarının önemli ölçüde azalacağı belirtilmektedir.

²⁹ Elektrik Piyasası Uygulama Kitabı, 2002. Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu, Ankara.

Tablo 5.1. Türkiye’de Yenilenebilir Enerji Potansiyeli

| Yenilenebilir Enerji Kaynağı | | Kullanım Amacı | Doğalgaz Kapasite | Teknik Kapasite | Ekonomik Kapasite |
|------------------------------|--------------------------|------------------------|-------------------|-----------------|-------------------|
| Yenilenebilir Enerji Kaynağı | | Elektrik (Milyar kWh) | 977000 | 6105 | 305 |
| | | Isı (Mtep) | 80000 | 500 | 25 |
| Yenilenebilir Enerji Kaynağı | | Elektrik (Milyar kWh) | 430 | 215 | 124,5 |
| Rüzgar Enerjisi | Direkt Enerji (Karadan) | Elektrik (Milyar kWh) | 400 | 110 | 50 |
| | Direkt Enerji (Denizden) | Elektrik (Milyar kWh) | - | 180 | - |
| | Dalga Enerjisi | Milyar (kWh) | 150 | 18 | - |
| Jeotermal Enerji | | Elektrik (10^9 kWe) | - | - | 1,4 |
| | | Isı (Mtep) | 31500 | 7500 | 2843 |
| Biyokütle Enerji | | Toplam (mtep) | 120 | 50 | 32 |

Gelişmekte olan ülkelerin birçoğunda biyokütle enerjisi artan bir hızla kullanılmaktadır. Bugün dünyanın birincil enerji ihtiyacının %13' ü biyokütleden elde edilmektedir. Halen kullanılmakta olana fosil kaynaklı yakıtlar yerine kullanılabilir yakıt seçenekleri konusunda yoğun çalışmalar devam etmektedir. Bunlar içinde yenilenebilir, nitelikli ve çevreci özellikleri ile biyokütle en önemli seçeneklerden birini oluşturmaktadır. Biyokütle temel olarak orman ürünlerini ve atıklarını, tarım atıklarını ve hızlı büyüyen enerji bitkilerini kapsamaktadır. Bunun yanı sıra şehir kanalizasyon atıkları ve bazı endüstriyel atıklar da biyokütle sınıfına dahil edilmektedirler. Biyokütle doğrudan yakılarak enerji üretiminde kullanılabilir gibi, çeşitli proseslerden geçilerek ikincil katı ve sıvı yakıtlara da çevrilebilmektedir. Biyokütleden biyoenerji elde edilmesi çalışmaları gittikçe yaygınlaşmaktadır. Yalnız Avrupa Birliği, 1979 yılından beri biyokütleden enerji üretimi projelerini desteklemek amacıyla 160.5 milyon € harcamıştır. Dünya ölçeğinde biyokütleden elde edilen enerjinin toplam enerji üretimindeki oranı % 12 civarına ulaşmıştır. Gelişmekte olan bazı ülkelerde ise bu oran % 40' lara varmaktadır.

Ülkemizdeki biyokütle enerji üretimi çalışmalarının, Avrupa Birliği üyesi ülkelerle karşılaştırıldığında bir hayli geride olduğu görülmektedir. Kullanılan biyokütle temel olarak odun, tezek ve bitki atıklarından oluşmaktadır. Türkiye 25 milyon hektara varan ekilebilir toprakları ile büyük bir biyokütle potansiyeline sahiptir. Yapılan bir ön hesaplama göre, Türkiye'deki yıllık tarımsal üretim atığının miktarı 60 milyon ton civarındadır ve bunun yaklaşık 30-40 milyon tonu enerji üretiminde kullanılabilir.

5.1.1 Biyokütle enerjisi ile elektrik üretmek

Biyokütle; karbon içeren her türlü bitkisel veya hayvansal atıklara organik maddelere (biomass) denir. Bu kaynaklar, bitkisel atıklar, hayvansal atıklar ile şehir ve endüstri atıkları olarak sınıflandırılır. Bunlar; ağaç, tahıl sapı, insan ve hayvan dışkı, su yosunu, çöpler, kanalizasyon ve mezbaha sularının süzülmesi ile elde edilen posalar vb. leridir³⁰. Biyokütle enerji kullanımını klasik ve modern olmak üzere iki gruba ayırılır. Klasik biyokütle enerji ormanlarda elde edilen yakacak odun, yine yakacak

³⁰ BECCALI, M.,1998. Decision Making in Energy Planning:The Electre Multicriteria Anal. İta..

olarak kullanılan bitki ve hayvan atıklarından (özellikle tezek) oluşur. Bu enerjinin en önemli özelliği direk yanma tekniği ile elde edilmesidir. Modern biyokütle kaynakları enerji ormancılığı ürünleri ile orman ve araç endüstrisi atıkları enerji tarımı ürünleri tarım kesiminin bitkisel atıkları ve hayvansal atıkları, kentsel atıklar, tarımsal endüstri atıkları biçiminde sıralanır.

Bitkilerden oluşan kömür, linyit, bataklık gazı ve ilkel canlılardan meydana gelmiş olan ham petrol, doğal gaz ve benzeri fosil yakıtlarda biyokütle ürünüdür. Yeryüzünde doğrudan veya dolaylı olarak fotosentezin ürünü olan biyokütle yanma denilen oksijen ile tepkimesi sonucu içinde depolanmamış güneş enerjisini ortaya çıkarır. Dolayısıyla her türlü biyokütle yakılarak enerji elde edilebilir.

Bu santrallerin çalışma prensibi Termik santrallerinin çalışma prensibi ile aynıdır. Temel fark yakıt olarak kömür yerine biyokütlenin kullanılmasıdır. Biyokütle yenilenebilir bir enerji kaynağıdır. Tükenmesi söz konusu değildir, ancak üretim miktarı tarım faaliyetleri yapılabilecek alanların büyüklüğüne bağlıdır. Uygulamaya geçmek için uzun araştırmalara gerek yoktur. İlk akla gelen biyokütle tarım ve ormancılık atıklarıdır. Bunların toplanması, santrallere taşınması organize edilirse, mevcut termik santrallerinde veya kurulacak santrallerde elektrik enerjisine dönüşüm gerçekleştirilir. Tarımsal atıkların sınırlı olması nedeniyle sadece enerji amaçlı tarım yapılabilir. Üretilen bu enerji bitkileri, çok kısa zamanda birim alanda yüksek miktarda selüzoik ürün verebilen, çok az gübre veya su isteyen, bakımı ve hasatı kolay bitkilerdir. Enerji bitkileri her yerde yetiştirebildiğinden enerjide dışa bağımlılığı azaltır, dolayısıyla çiftçinin gıdanın yanında enerjide üretmesi tarıma yeni talep getirir, atıkların değerlendirilmesini sağlar, dolayısıyla enerji için harcanan paralar çiftçiye geri döner.

Fosil yakıtlar yandığında ortaya karbondioksit çıkar, sera etkisi yapan bu gazın atmosferde çoğalarak dünyanın ısı dengesini bozacağı bilinmektedir. Ancak biyokütle yanarken atmosfere ek bir karbondioksit vermez. Bunun yanında Biyokütlenin, kükürdü yok denecek kadar azdır. Dolayısıyla şehir havasındaki insan sağlığını bozan SO₂ (kükürd dioksit) gazı veya ormanları yok eden asit yağmuru oluşmaz. Genel olarak biyokütlenin enerji kaynağı olarak kullanımındaki olumlu yönlerini aşağıdaki gibi sıralamak mümkündür.

Hemen her yerde yetiştirilebilmesi.

Fosil yakıtlarda bulunan kanserojen madde ve kükürt biyokütle içinde olmadığından çevre kirliliği oluşturmaz. Sera etkisi oluşturmaması.

Asit yağmurlarına yol açmaması.

Depolanabilir olması.

Sosyoekonomik gelişmelerde önemli olması.

5-35° C arasında sıcaklık gerektirmesi.

Düşük ışık şiddetlerinin yeterli olması.

Her ölçekte enerji verimi için uygun olması.

Üretim ve çevrim teknolojilerinin iyi bilinmesi.

Biyokütle kömür ve petrolden sonra Dünyanın üçüncü büyük birincil enerji kaynağıdır.

Biyokütlenin kömürle birlikte yakılması oldukça ekonomik bir uygulamadır.

Biyokütlenin ısıl enerjisi (odun, saman, enerji bitkisi, tezek, çalı çırpı vs.) takriben 4000 kcal/kg. Bu değer santrallerimizde yakılan bazı kömürlerin iki katı olması bakımından avantajlı olmakla beraber bazı dezavantajları vardır.

5.1.2 Biyokütle enerjisinin dezavantajları

Biyokütle kömür ile karşılaştırıldığında bu atıkların büyük bir alana yayılmış olduğu görülür. Yani değerlendirme merkezine nakliye masrafları eklenecektir. Biyokütle genelde yaştır ve yoğunluğu düşüktür. Nakliye masraflarını düşürmek için biyokütlenin nakliyeden önce kurutulması sıkıştırılması ve balyalanması gerekir. Bunun yanında gıda üretimi esnasında oluşan ve toplanması zorunlu olan bazı tarımsal atıkların (örneğin pirinç sapı, kabuğu vb) değerlendirilmesi daha az masraflı olmaktadır. Masrafları en aza indirmek için santraller tarım atıklarının olduğu yerlerin ortasına ve değişik yakıtlarda kullanabilecek şekilde kurulmalıdır. Takriben yarıçapı 50 km olan bir dairenin ortasına kurulacak bir santralın buradaki atıkların değerlendirilmesi dolayısıyla en uygun çözüm olacaktır.

Biyokütlenin düşük çevrim verimine sahip olması, tarım alanları için rekabet oluşturması ve su içeriğinin fazla olması bu enerji için büyük bir dezavantajdır. Enerji bitkileri dekarda yaş 20 ton, kuru 40 ton olarak üretilir. Verimsiz

topraklarda bu rakamlar düşecektir. Tarımsal atıkların aksine küçük bir alanda büyük miktarda ürün alabilmek enerji bitkilerinin özelliğidir. Yani dekarda 1 ton petrol eşdeğerinde enerji üretmiş oluruz. Enerji bitkilerin de tarımsal girdilerin düşüklüğü de (sulama ihtiyacı 200 mm, 5 kg azot gübresi) göz önünde tutulursa buğday ekerek dekarda 1 milyon TL için çalışan çiftçilerin yüzü gülebilir. Yapılan araştırmalara göre, ülkemizde hayvansal dışkı arjinli biyokütle enerji potansiyelinden 2.8 – 3.9 milyar m³ biyogaz üretilbileceği anlaşılmaktadır. Bu potansiyelin petrol eşdeğeri 1.4-2 milyon ton/yıl, elektrik enerjisi cinsinden değeri 24.5 milyon kWh' tir. Sadece hayvansal atık kökenli biyogaz potansiyelinin değerlendirilmesiyle, toplam ülke enerji tüketiminin yaklaşık % 5' i karşılanabilecektir.

1989 yılı verilerine göre 2.148.000 ton olduğu varsayılan bitkisel atık ve artık toplamının (fındık, ceviz, prina, ayçiçeği kabukları, çığit ve mısır koçanı gibi) üretim tüketimi ise 2000 yılında 2.819.000 ton olması beklenmektedir. 1993 yılı enerji istatistiklerine göre ülkemizin yıllık taşkömürü üretimi 2.79 milyon ton, tüketimi 8.54 milyon ton, ham petrol üretimi 3.89 milyon ton tüketimi ise 27.074 milyon tondur. Bunun yanında, sadece gübre ve hububat sapslarından elde edilen biyogazın kalori değeri ülkemizde üretilen taşkömürünün 6 katı, tüketiminin 3 katı, ham petrol üretiminin 5.6 katı ve tüketiminin de % 70' i olarak ortaya çıkmaktadır. Türkiye' de halen çok az sayıda biyogaz tesisi faaliyet halindedir.

5.1.3 Türkiye' deki biyogaz tesisleri

1980 yılı başında Zonguldak Devlet Mühendislik ve Mimarlık Akademisi ile Ereğli Kömür İşletmesi işbirliği ile, buğday sapsarı ile çalışan pilot bir biyogaz tesisi kurulmuştur, bu tesis normal bir köy evinin, mutfak, ısıtma ve aydınlatma gibi ihtiyaçlarını karşılamaktadır.

5.1.4 Türkiye' nin biokütle potansiyeli

Türkiye' nin 1999 yılı toplam enerji tüketiminin yaklaşık % 10' u biyokütleden sağlanmaktadır.

Tablo 5.2. Teorik ve Tahmini Biyokütle Üretimi (mTON)

| Üretim | Tarım | Otlaklar | Orman | Toplam |
|---------|-------|----------|-------|--------|
| Teorik | 180 | 174 | 188 | 542 |
| Tahmini | 34 | 16 | 05 | 118 |

5.1.5 Endüstriyel ürünler

Tütün: Yıllık toplam tütün üretimi 269.888 ton olup, atık miktarı ise 44.000 ton' dur. Konutlardaki tüketimin toplam tüketimindeki payı ise % 24' tür. Bu tüketimin yaklaşık % 47' si biyokütle kaynaklıdır. Özellikle kırsal kesimdeki tüketim önemli ölçüde biyokütleden sağlanmaktadır. Türkiye' de biyokütle ve diğer yenilenebilir enerji kaynakları potansiyeli Tablo 5.1' de verilmiştir. Türkiye' nin kuru biyokütle üretiminin (teorik olarak); 188 milyon tonu ormandan, 180 milyon tonu tarımdan ve 177 milyon tonu otlaklardan olmak üzere toplam 542 milyon ton olarak sağlanmaktadır. Türkiye'nin teorik ve tahmini yıllık biyokütle üretimi (mton) Tablo 5.2' te verilmiştir.

5.1.6 Biyokütle çeşitleri ve atık potansiyelleri

5.1.6.1 Tarımsal atıklar

Tahıllar

Pirinç: Türkiye' de yıllık toplam olarak 198.000 ton pirinç üretilmektedir. Bu üretimden başta pirinç sapı olmak üzere %38 oranında atık ortaya çıkmaktadır. Dolayısıyla pirinçten kaynaklanan yıllık toplam atık miktarı 75.000 ton' dur. Bu atık Şeker kamışı: Yıllık şeker kamışı üretimi 11.000.000 ton olup, kuru atık miktarı ise 956.000 ton olarak belirlenmiştir.

Pamuk: Yıllık pamuk üretimi 617.000 ton olup, bunun kuru atık miktarı ise 1.500.000'dur. Atıklar genelde ısıtma amaçlı olarak yakalanmaktadır.

Yağlı tohumlar

Ayçiçeği: Yıllık ayçiçeği üretimi 1.250.000 ton olup kuru atık miktarı ise 3.750.000 tondur. Atıklar genellikle ısıtma amaçlı olarak yakılmaktadır.

Kabuklu ürünler

Fındık: Türkiye'nin yıllık fındık üretimi 600.000 ton civarında olup fındıktan kaynaklanan

kuru atık miktarı 300.000 ton' dur. Atıklar genellikle katı yakıt olarak kullanılmaktadır.

5.1.6.2 Hayvansal atıklar

Türkiye hayvansal üretim açısından oldukça zengindir. Toplam hayvan sayısı yaklaşık olarak 67.179.000 küçükbaş, 55.589.000 koyun-keçi, 12.602.000 büyükbaş olarak verilmektedir. Toplam hayvansal atık miktarı ise Tablo 5.3' de verilmiştir. Koyun keçi ve büyükbaş hayvanlardan elde edilen yıllık toplam tarlalarda anız olarak yakılmaktadır. Mısır: Yılda 2 milyon ton mısır üretilmekte olup bunun kuru atık miktarı 690.000 olarak verilmektedir. Kuru atık miktarı 46 milyon ton olup bu miktarın % 10' u gübre olarak, % 30' u mera alanlarında, % 60' ı ise ısıtma ve yemek pişirme amaçlı kullanılır.

Tablo 5.3. Hayvan Başına Ortalama Islak Atık Miktarı

| | Ortalama Ağırlık (Kg/Hayvan) | Nemli Atık (Gr-Atık/Kg. Hayvan/Gün) | Nemli Atık (Kg-Atık/ Hayvan/Gün) | Nem % |
|-----------------------------|------------------------------|-------------------------------------|----------------------------------|-------|
| Kümes Hayvanları | 2 | 62 | 0,124 | 75-80 |
| Sütü İçin Beslenen Büyükbaş | 450 | 84 | 38 | 85 |
| Et İçin Beslenen Büyükbaş | 450 | 66 | 29,7 | 85 |
| Koyun | 50 | 72 | 3,6 | 80 |

5.1.6.3 Kentsel atıklar

a. Çöpler

Türkiye'de kentsel atıklara yönelik bir istatistik tutulmamaktadır. Ancak genel bir yaklaşımla kişi başına çöp miktarı günlük 500 gr olarak alınabilir. Dolayısıyla bu yaklaşımdan yıllık atık miktarı yaklaşık 2.200.000 ton olarak hesap edilebilir.

b. Kanalizasyon çamuru

Yerleşim bölgelerinden kaynaklanan atık sularındaki organik maddeler; proteinler, hidrokarbonatlar ve yağlar olmak üzere üç sınıfta incelenebilir. Proteinler organik

maddelerin %40-50' sini oluşturur. Kanalizasyonun organik madde miktarı yıllık 1.500.000 ton olarak hesap edilebilir. Bu organik maddelerin önemli bir bölümü denizlere direkt olarak verilir ya da kanalizasyon kanalına verilerek değerlendirilmeden atılır.

5.1.6.4 Gıda ve diğer endüstri

a. Mezbaha atıkları

Orta ve büyükbaş hayvanlardan kaynaklanan yıllık toplam kutu atık madde miktarı 310.800 ton' dur.

b. Süt işletmelerindeki atıklar

Süt işletmelerinde elde edilebilecek en değerli atık peynir üterit prosesinde elde edilebilir. Bir kg peynir elde edilmesi için ortalama 7.5 kg sıvı atık açığa çıkar. Yıllık atık miktarı ise 76.000 tondur. Atıkların protein içeriği yüksek olmasına rağmen genellikle kanalizasyon sistemine verilmektedir.

c. Meyve ve sebze işletmeleri

Konservacilik: Konservacilik işletmelerinde yıllık yaklaşık 2300 ton kuru atık ortaya çıkmaktadır.

Meyve suyu: Türkiye'de yıllık toplam 4.000 ton meyve suyu üretilmektedir. Bu üretimden 1.100 tonu kuru olmak üzere 4.500 ton atık ortaya çıkar. Bu atıklar yaş yem olarak satılır.

Salça: Türkiye'nin yıllık salça üretimi 200.000 tondur. Üretimden ortaya çıkan atık miktarı 4.500 ton/yıldır. Bu atıkların besin değeri yüksek olduğundan, çiftçilere fabrikada yem amaçlı olarak satılır.

d. Yağ endüstrisi

Yaklaşık yılda 610.000 ton zeytinin yağ amaçlı işlenmesi sonucunda 56.100 ton kuru atık elde edilir. Ayrıca yılda 915.000 ton zeytinyağı işletmesi 100.000 ton siyah zeytin suyu atılır.

e. Şeker Endüstrisi

Şeker fabrikalarında işleme sonucunda yılda toplam 936.750 m² atık elde edilir. Bu atığın yaklaşık % 40' ı kuru maddedir. Yani yılda 375.000 ton kuru atık elde edilir. Bu atıklar gübre amaçlı kullanılabilir olmasına rağmen genellikle atılmaktadır. Toplam şeker pancarı üretimi 2.700.000 ton olup tarlada bırakılan atık miktarı ise 956.000 ton' dur. Şeker fabrikalarında ise 1.300.000 ton posa üretilmektedir.

f. Alkollü içecekler endüstrisi

Bir litre bira üretiminden yaklaşık 0.2 kg atık (% 20-25 kuru) elde edilir. Bu madde posa olarak adlandırılır ve yem amaçlı olarak satılır. Bira üretim prosesinden yılda elde edilen toplam atık miktarı 13.000 ton' dur. Şarap üretiminden elde edilen atık miktarı ise 33.000 ton' dur. Şaraptan elde edilen posalar yem amaçlı kullanılmakta, rakıdan elde edilenler ise atılmaktadır.

g. Diğer endüstriler

Türkiye'de yılda yaklaşık 5.010.000 m³ endüstriyel ağaç işlenmekte olup, bu prosesten yılda 649.000 ton kuru ağaç atığı elde edilir. Bu atık ağaçlar ya yakılmakta ya da satılmaktadır.

5.1.6.5 Orman atıkları

Türkiye'de yılda yaklaşık 9.449.000 m² tomruk işlenmekte olup, elde edilen toplam kuru atık miktarı ise 1.417.000 tondur. Bu atıklar genellikle orman arazisinde bırakılmaktadır.

Sadece yukarıda belirtilen atıkların toplam 60 milyon ton/yıl civarındadır. Yakıtların ortalama ısıl değerleri 12000 kJ/kg kabul edildiğinde 22830 MW civarında yakıt gücü elde etmek mümkün olacaktır. % 20 verimle çalışacak bir sistemle 4566 MW'lık bir santrali çalıştırmak mümkün olacaktır. Bu sistemden ayrıca ısı enerjisi de sağlanacaktır

Tablo 5.4. Türkiye' de Yapımı Tamamlanan Biyokütle ve Atık Yakıt Kaynaklı Kojenerasyon Tesisleri

| NO | Kurum Adı | Bölgesi | Yeri | Kapasite (MW) | Yakıt Tipi |
|----|-------------|----------|-------------|---------------|------------|
| 1 | Aksa Enerji | Bursa | Bursa | 0.83 | Çöp |
| 2 | Belka | Ankara | Ankara | 3.20 | Biogaz |
| 3 | İzaydaş | İzmit | Küseküy | 540 | Çöp |
| 4 | İstaç | İstanbul | Kemerburgaz | | Çöp |

5.1.7 Biyokütlenin enerji dönüşüm sistemlerinde kullanım imkanları

Türkiye'de son zamanlarda organik atık, biyokütle ve biyogazdan enerji eldesine yönelik kamu ve özel sektör yatırımları artmaya başlamıştır. Öncelikle Büyükşehir Belediyeleri çöp atıklarının çözümüne yönelik olarak atık yakma ve enerji üretim tesisleri kurmaya başlamışlardır.

Türkiye' de yapımı tamamlanan biyokütle ve atık yakıt kaynaklı kojenerasyon tesisleri Tablo 5.4' de verilmiştir. Özel yatırımcıları çekmek ve teknoloji transferini hızlandırmak için çeşitli teşviklerle birlikte işletim ve yönetim maliyetleri düşürülmelidir. Avrupa Birliği projeleri kapsamında ortak proje imkanları araştırılarak demo sistemlerin Türkiye'de kurulması sağlanmalıdır. Böylece kurulacak öncü sistemlerin varlığının diğer yatırımcı işletmecileri de teşvik edeceği açıktır..

5.2 Jeotermal Enerji Ve Türkiye

Ege ve Akdeniz bölgeleri gibi dünyanın önemli volkanik alanlarında yaşayan insanlar için, yer içinden gelen ısı düşüncesinin, uzun süreden beri bilinmekte olduğu kesin gibidir. Ancak, yer bilimleri, bu ilk dönemlerinde güçlü bir yapıya sahip olmadığından, yeraltındaki sıcaklıklar üzerine güvenilir çok az bir bilgi vardır. Eski Yunanlılar Yeraltı Dünyası'nı belirli tanrıların ve ölen kişilerin ruhlarının ikametgahı olarak düşünmeyi tercih etmişlerdir. Diğer dinler de Yeraltı Dünyası'nı ruhların cezalandırma yeri olarak düşünme eğilimini göstermişlerdir. Yer içindeki çok yüksek sıcaklıklar çoğu zaman cezanın verildiği yer olarak düşünülmüştür. Örneğin; Ortaçağ hristiyanlarının ve müslümanlarının cehennem kavramı, budistlerin avichi kavramı bunlara örnek olarak verilebilir. Diğer yandan inkalar, kötü insanların ruhlarını yeraltındaki soğuk bölgelerde kalarak ceza göreceğine inanıyorlardı. Budizm'de ise soğukla olduğu kadar sıcakla da cezalandırmaya yönelik inanç vardı.

Tüm dünyada hızlı bir artış gösteren enerji gereksiniminin büyük bir kısmı bir süre daha fosil yakıtlar ve hidrolik enerji ile karşılanabilecektir. Fosil yakıtların kısa bir dönemde tükenebileceği ve bir süre sonra bunların yerini yeni enerji kaynaklarının alması beklenmektedir. Yapılan enerji kongrelerinde belirlenen sonuçlara göre; tüm dünya

ülkeleri yeni enerji kaynaklarının geliştirmesine özen göstermektedir. Bu yeni enerji kaynaklarının en önemlilerinden biri de jeotermal enerjidir.

Jeotermal enerjinin önemi ancak günümüzde yeni yeni anlaşılmaya çalışılan bir kavramdır. En geniş anlamıyla Yerküre'nin doğal ısısıdır. Jeotermal enerji yerkabuğunun işletilebilir derinliklerinde olağan dışı olarak birikmiş ısının oluşturduğu bir enerji türüdür. Bu ısı yeryüzüne doğal olarak sıcak su kaynakları ve buhar şeklinde veya sondajlarla çıkartılan sıcak su sıcak su + buhar ve buhar şeklinde ulaşmaktadır. Doğrudan veya başka enerji türlerine dönüştürülerek de ekonomik olarak kullanılabilir. Yerin derinliklerinde var olan bu ısı kaynağı henüz soğumamış bir magma kütlesi veya genç volkanizmayla ilgilidir. Yeraltına sızan meteorik sular, burada gözenekli ve geçirimli özellikleri bulunan hazne kayalarda toplanır. Hazne kayalar üzerinde geçirimsiz örtü kaya vardır. Isı bu şekilde yerkabuğunun kırık ve çatlakları boyunca dolaşan sularla yeryüzüne aktarılabilirdiğinden, hidrotermal sistemler söz konusu olur. Yerkabuğu içinde doğal su dolaşımına izin verecek nitelikte kırık yoksa ve yine de ısı birikimi varsa oluşturulacak yapay kırıklar içinde dolaştırılacak akışkanlarla yine enerji elde edilmesi mümkündür. Bu sistemlere kızgın kuru kaya denmektedir.

Jeotermal kaynaklar akışkanların sıcaklıklarına ve taşıdıkları ısı enerjisine bağı olarak düşük entalpili (akışkan sıcaklıkları 160° C' den küçük), orta entalpili (akışkan sıcaklıkları 160° C - 190° C arasında), yüksek entalpili (akışkan sıcaklıkları 190° C' den büyük) olarak ayrılmaktadırlar. Düşük ve orta entalpili kaynaklar özellikle ısıtma amaçlı kullanılırlar. Orta entalpili Jeotermal akışkanın elektrik enerjisi üretiminde kullanımı için yeni teknolojilerin kullanımı şarttır. Düşük entalpili akışkanların kaplıca-termalizm uygulamaları önemlidir. Yüksek entalpili akışkanlar ise; elektrik üretimi ve buna bağı entegre diğeri işlerde kullanılırlar.

Tarihsel çağlarda sadece sağlık amacıyla kullanılan Jeotermal enerjiden ilk olarak 1904 yılında İtalya'da elektrik üretimi gerçekleştirilmiştir. Dünyada son yıllarda Jeotermal enerji kullanımı çok gelişmiş 1981 verilerine göre elektrik üretimi 2462 MW' a ve endüstriyel uygulamalar ve ısıtmacılıkta 6298 termal MW' a ulaşmıştır. Ülkemizde 1962 yılında MTA Enstitüsü tarafından başlatılan Jeotermal enerji aramaları ile Türkiye'nin önemli bir Jeotermal enerji kuşağı içinde bulunduğu ve birçok Jeotermal alanın

bulunduğu belirlenmiştir. Bu çalışmalarda, jeoloji, jeofizik, jeokimya, jeomorfoloji, sondaj ve çeşitli test yöntemleri uygulanmıştır. Denizli Kızıldere Jeotermal alanı UNDP (Birleşmiş Milletler Geliştirme Programı) ile ortak proje sonunda ilk geliştirilen alanımız olmuştur.

5.2.1 Dünya rezervleri

Yerin merkezindeki ısı enerjisi, kötü bir iletken olan yerkabuğundan gayet yavaş bir kondüksiyonla yeryüzüne doğru akmaktadır, Bu yavaşlığa rağmen dünyanın her yıl ısısından 250x105 kcal kadarını bu yolla kaybettiği tahmin edilmektedir. Kaybedilen bu ısı enerjisinin 35.7 milyar ton taşkmre eşdeğer olduğu bu miktarın ise dünyanın yıllık enerji üretiminin 5-7 katı düzeyinde olduğu hesaplanmıştır. Diğer yandan dünyadaki toplam Jeotermal enerji potansiyelinin 5x1020 ton taşkmre eşdeğer olduğu tahmin edilmektedir. Ancak bugün için ekonomik bakımdan işletilebilir maksimum derinlik olan 3 km içerisinde yerkabuğu bu potansiyelin küçük bir bölümünü içerir. Dünya Jeotermal akışkanından elde edilebilecek toplam enerji miktarının 1980-2050 yılları arasındaki dönem için en az 100 milyon ton kömüre eşdeğer olacağı tahmin edilmektedir.

5.2.2 Jeotermal enerjinin kullanımı

Yeryüzüne ulaşan (sondajlarla veya doğal olarak) buhar ve sıcak suyun içerdiği enerjiden ya doğrudan ısıtma ya da başka enerji türlerine dönüştürülerek yararlanılmaktadır.

Bunlar;

Elektrik Enerjisi retimi

Isıtma

Seraların Isıtılması

Tropikal Bitki Yetiştirme

Binaları ve Kentleri Merkezi Isıtılması ve Sıcak Su Kullanımı

Toprak,cadde vb.ısıtma

Havaalanı Pistlerini Isıtma

Yüzme havuzu. Fizik tedavi vb. Isıtma

Çeşitli Endüstriyel Uygulamalar olarak sınırlandırılabilir.

Jeotermal enerji, yerkabuğunun çeşitli derinliklerinde olağandış birikmiş ısının

oluşturduğu bir enerji türüdür. Bu ısı yeryüzüne doğal olarak sıcak su kaynağı ve buhar veya sondajlarla sıcak su, sıcaksız-buhar ve buhar Beklinde ulaşmaktadır.

1962 yılından bu yana M.T.A. Enstitüsünce yapılan Jeoloji, Jeofizik, Jeokimya, Jeomorfoloji, sondaj ve test çalışmaları sonunda Türkiye'nin jeotermal enerji olanakları açısından çok zengin ülkeler arasında olduğu belirlenmiştir.

İlk uygulama olarak Denizli-Kızıldere' de 500 kW' lık pilot türbin ve 3000 m lik pilot sera ısıtmacılığı başarılı sonuçlar vermiş, 20 MW' lık elektrik üretim santrali TEK tarafından kurulmaya başlanmış ve 1982' de üretime geçmesi planlanmıştır. Bunun yanı sıra her birinin kapasitesi en az Kızıldere' ninki kadar olduğu saptanan yaklaşık 15 jeotermal alanın sondaj aşamasına gelinceye kadar tüm etüdüleri yapılmış durumdadır.

Eldeki verilerle yapılan bir envanter çalışmasına göre; en az toplam 4500 MW kapasiteli elektrik üretim santralının kurulup işletilebileceği saptanmıştır. Bu kapasite halleri ülkemizde elektrik üretimi yapan tüm santrallerin toplam kapasitesine eşdeğerdir. Elektrik üretiminin yanı sıra doğrudan ısı enerjisi şeklinde kullanımda (kent ısıtması, tarımsal yada endüstriyel uygulamada) ise yine en az 31100-termal MW' lık bir enerji sağlanabileceği hesaplanmıştır. Bu enerji ile 150.000 dönüm yerin ısıtılacağı, 6.000.000 ton ürün elde edilebileceği ve ülke ekonomisine önemli bir katkıda bulunabileceği anlaşılmıştır. Jeotermal enerjinin maliyetinde % 50-80 oranındaki düşüklüğün, tükenmezliğin, yenilenebilirliğin, devreye girme çabukluğunun ve yurdumuz düzeyindeki olumlu dağılımın yanı sıra ulusal enerji kaynağı olması ve özellikle elektrik dışı uygulamalarda, ulusal teknolojinin yeterli olabilmesi, Türkiye'nin bu yeni enerji kaynağının araştırılması ve işletilmesine ne denli önem vermesi gerektiğini göstermektedir. Jeotermal enerji artan enerji gereksinimimiz ve geleceğimiz için çok önemli bir enerji potansiyelidir.

5.2.3 Türkiye' de jeotermal enerji araştırmalarına yönelik jeofizik çalışmalar

Türkiye Jeotermal Enerji yönünden şanslı ülkeler arasında yer almaktadır. Aktif faylarla sınırlı grabenler ve yaygın genç volkanizmaya bağlı olarak doğal buharın, hidrotermal alterasyonların ve sıcaklığı yer yer 100° C' ye ulaşan 600' den fazla sıcak su kaynağının bulunuşu Türkiye'nin önemli jeotermal potansiyele sahip olduğunun bir kanıtıdır. 1962 yılında MTA Enstitüsü tarafından bir sıcak su envanter çalışması olarak başlatılan

Türkiye'nin jeotermal enerji araştırılmasında, jeoloji, jeofizik, jeokimya, jeomorfoloji, sondaj test ve pilot jeotermal santral yapımı çalışmaları konusunda oldukça önemli deneyimler kazanılmıştır. Jeofizik olarak; gravite, özdirenç, magnetik ve sismik çalışmalarıyla makro ve mikro tektonik hatlar, üretime elverişli rezervuarların bulunabileceği saha sınırları ve yaklaşık derinlikler belirlenmektedir. 1981' e kadar 35050 km² gravite, 2301 nokta ve 1598 km: özdirenç ölçüm çalışması tamamlanmıştır. Uygulanan tüm jeofizik anomaliler üzerinde gradyan sondaj yerleri seçilmektedir. Gradyan sondajları, derinlikleri 60-120 m arasında değişen ve belirlenen saha sınırları içinde yer sıcaklığının değişiminin bulunması nedeniyle yapılan sığ sondajlardır. Bu arada elde edilen verilerle Türkiye'nin bir ısı akışı haritası hazırlanmıştır.

Bu çalışmalarla Türkiye'nin aşağıdaki önemli jeotermal alanları belirlenmiştir:

Denizli Kızıldere Jeotermal Alanı

Aydın Germencik Söke Jeotermal Alanı

Çanakkale Tuzla Jeotermal Alanı

İzmir Seferihisar Jeotermal Alanı

İzmir Agamemnon Jeotermal Alanı

Afyon Geçek Jeotermal Alanı

Nevşehir Acıgöl Jeotermal Alanı

Ve diğer Jeotermal alanlar

Bugüne kadar bulunan Jeotermal alanların % 95' i ısıtma amaçlı uygulamalara uygun sıcaklıkta olup 30° C' nin üzerinde toplam 140 Jeotermal alan Türkiye sathına dağılmış olmakla birlikte, çoğu Batı, kuzeybatı ve Orta Anadolu'da toplanmıştır. Aydın Germencik Söke Jeotermal Alanı, Denizli Kızıldere Jeotermal Alanı ve Nevşehir Acıgöl Jeotermal Alanı kuyu sıcaklıklarına göre yüksek entalpili alanlar olup özellikle elektrik üretimi ve entegre ısıtma için uygundur. Türkiye' de yeteri kadar Jeotermal kuyu açılmamıştır. 140 Jeotermal alana karşılık açılan kuyu sayısı 200 olup dünya standartlarına göre oldukça azdır. Bu potansiyelin ortaya konulması için daha çok kuyu açılması gerekmektedir. Aramaların geliştirilmesi ile Jeotermal potansiyelde önemli artışlar beklenmektedir.

5.2.4 Jeotermal enerjinin üstünlükleri

Jeotermal, bir takım yer hareketlerinin meydana gelme olasılığıdır.

Ülkemiz jeotermal potansiyeller açısından zengin bir ülkedir. Bu da jeotermal

enerjinin önemini artırmaktadır. Jeotermal kaynakların dağılımı yöresel olarak enerji ihtiyacı ile paralellik göstermektedir. Jeotermal enerji çevre etkileri açısından en temiz enerji türlerinden biridir. İklim koşullarına bağlı olarak tükenmeyen enerji kaynağıdır. Bu enerjiyi kullanan sistemler güvenilir, diğer sistemlere göre daha verimli ve esnektir. Bu sistemler % 98 verime ulaşabilmektedirler. Jeotermal santraller maliyetleri ve çevreye verdikleri zararlı etkileri çok az olmaları yanı sıra yüksek bir kapasite kullanım oranı ile çalışabilmektedirler. Aynı zamanda bu santrallerin yapım süreleri oldukça kısadır. Güçleri 10 MW' a kadar olan santrallerin yapım süreleri altı ay, 250 MW ve üstü kombine tesislerin yapım süreleri iki yıl civarındadır. Bu yüzden bu santrallerle elektrik üretimi için gerekli çalışmalar hızlandırılmalıdır. Yerli enerji kaynaklarımızdan olan Jeotermal enerjinin yurdumuzun içinde bulunduğu enerji darboğazı da göz önüne alındığında, enerji açığının karşılanmasında petrole olan bağımlılığın azaltılmasında ve döviz kaybının önlenmesi için öncelikle değerlendirilmesi gerekmektedir. Jeotermal enerji hidrolik, güneş, rüzgar vb gibi tükenmez enerji grubundandır. Bu nedenle er ya da geç tükenirliği olan kömür, petrol, doğal gaz, bitümlü şist, nükleer enerji kaynaklarına oranla çok uzun ömürlüdür. Jeotermal enerjinin maliyeti gerek elektrik üretiminde, gerekse ısıtma yönünden diğer kaynaklardan üretilen enerji maliyetine oranla % 50-80 daha ucuzdur. Bu oran gün geçtikçe artmaktadır.

Fosil ve nükleer kaynaklı enerji üretimlerine kıyasla çok daha az ve genellikle kabul edilebilir sınırlar içerisinde kalan bir ölçüde çevre sorunlarına neden olur. Jeotermal enerjide özellikle elektrik dışı uygulamalarda ulusal teknoloji kolaylıkla geliştirilebilir. Genellikle elektrik açığının fazla olduğu Batı ve Kuzeybatı Anadolu' da yüksek entalpili elektrik üretimine elverişli kaynaklar, Orta ve Doğu Anadolu'da ise ısıtma amacıyla düşük entalpili kaynaklar bulunmaktadır. Arama sondajları aynı zamanda üretim sondajı olabildiğinden uygulamaya geçiş süresi kısadır. Jeotermal enerjinin yenilenebilirliği, tükenmezliği ve bunlara bağlı olarak maliyetinin diğer enerji türlerine göre % 50-70 oranında ucuz olması, devreye girme çabukluğu, ülkemiz düzeyinde olumlu dağılımı, ulusal enerji kaynağımız olması, özellikle elektrik dışı uygulamalarda ulusal teknolojinin yeterliliği diğer enerji kaynaklarına göre önemini göstermektedir.

6. NEDEN BİR ADA

Yenilenebilir enerji kaynakları bakımından zengin bir yer olması,

Rüzgar ve güneş enerjisi potansiyeli yüksek bir yer olması.

Şebeke iletimi denizaltı kabloları ile sağlandığından ve iletim hattı uzunluğunun fazla olmasından dolayı iletim hattı bedelinin yüksek olması, burada gerçekleştirilebilecek yenilenebilir enerji santrali ile iletim hattı maliyetinden tasarrufa gidilmesi.



7. MARMARA ADASININ YENİLENEBİLİR ENERJİLER AÇISINDAN DEĞERLENDİRİLMESİ

7.1 Biokütle Potansiyeli

Tablo 7.1. Marmara Adası' nda Zeytin ve Zeytin Atık Miktarı

| YILLAR | ZEYTİN | ZEYTİNYAĞI | POSA | SU |
|--------|---------|------------|---------|---------|
| 2005 | 200 TON | 40 TON | 80 TON | 80 TON |
| 2004 | 400 TON | 80 TON | 160 TON | 160 TON |
| 2003 | 300 TON | 60 TON | 120 TON | 120 TON |

Tablo 7.2. Marmara Adası' nda Meyve ve Sebze Miktarları

| MEYVELER | 2000 | | 2001 | | 2002 | |
|--------------|-------------|--------------|-------------|--------------|-------------|--------------|
| | AĞAÇ SAYISI | ÜRETİM (TON) | AĞAÇ SAYISI | ÜRETİM (TON) | AĞAÇ SAYISI | ÜRETİM (TON) |
| ARMUT | 400 | 24 | 400 | 20 | 400 | 24 |
| AYVA | 150 | 7,5 | 150 | 5 | 150 | 7,5 |
| ELMA | 6000 | 90 | 6000 | 70 | 6000 | 90 |
| MUŞMULA | 100 | 2,5 | 100 | 2 | 100 | 2,5 |
| ERİK | 500 | 10 | 500 | 10 | 500 | 10 |
| KİRAZ | 500 | 25 | 500 | 25 | 500 | 25 |
| ŞEFTALİ | 350 | 17,5 | 350 | 15 | 350 | 17,5 |
| VİŞNE | 150 | 1,5 | 150 | 1 | 150 | 1,5 |
| CEVİZ | 300 | 18 | 300 | 15 | 300 | 18 |
| BADEM | 100 | 3 | 100 | 2 | 100 | 3 |
| ÜZÜM | 150 | 170 | 150 | 150 | 150 | 180 |
| İÇDE | 100 | 5 | 100 | 3 | 100 | 5 |
| TOPLAM MEYVE | | 374 | | 318 | | 384 |

Tablo 7.2. (devam) Marmara Adası' nda Meyve ve Sebze Miktarları

| SEBZELER | 2000 | | 2001 | | 2002 | |
|------------------|--------|-----------------|--------|-----------------|--------|-----------------|
| | EKİLİŞ | ÜRETİM (TON) | EKİLİŞ | ÜRETİM (TON) | EKİLİŞ | ÜRETİM (TON) |
| BİBER | 22 | 40 | 20 | 40 | 22 | 40 |
| DOMATES | 40 | 150 | 40 | 150 | 40 | 120 |
| FASULYE | 30 | 15 | 30 | 15 | 30 | 15 |
| HIYAR | 38 | 30 | 40 | 30 | 40 | 30 |
| ISPANAK | 10 | 3 | 9 | 3 | 10 | 3 |
| KARPUZ- KAVUN | 50 | 50 | 45 | 50 | 50 | 50 |
| MARUL | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 |
| PATLICAN | 25 | 15 | 23 | 15 | 25 | 15 |
| SOĞAN | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| TOPLAM | | 305 | | 305 | | 275 |

Tablo 7.3. Marmara Adası' nda Hayvancılık

| HAYVAN NEVİ | 2000 | 2001 | 2002 |
|--------------|------|------|------|
| SİĞİR | 835 | 565 | 565 |
| KOYUN | 2600 | 1950 | 1950 |
| KEÇİ | 4300 | 2050 | 2050 |
| TEK TIRNAKLI | 143 | 83 | 83 |
| KANATLI | 1000 | 1000 | 1000 |
| ARI KOVANI | 220 | 250 | 250 |

Tablo 7.4. Marmara Adası' nda Tarla Ürünleri

| TARLA ÜRÜNLERİ EKİLİŞ (DEKAR) | | | | | |
|-------------------------------|--------|------|-------|-------|--------|
| YILI | BUĞDAY | ARPA | YULAF | MISIR | TOPLAM |
| 2000 | 500 | 80 | - | 150 | 730 |
| 2001 | 400 | 20 | - | 255 | 675 |
| 2002 | 400 | 20 | - | 375,5 | 795,5 |

Tablo 7.5. Marmara Adası'nda biokütle potansiyeli³¹

| BİOKÜTLE | MARMARA ADASI POTANSİYELİ (KG) | ATIK POTANSİYELİ (KG) |
|-----------------------------------|--------------------------------------|-----------------------------|
| A)TARIMSAL ATIKLAR | | |
| a)TAHILLAR | | |
| Buğday | 160000 | 100000 |
| Arpa | 10000 | 5000 |
| Mısır | 262850 | 375500 |
| b)ENDÜSTRİYEL ÜRÜNLER | | |
| Tütün | | |
| Şeker kamışı | | |
| Pamuk | | |
| c)YAĞLI TOHURLAR | | |
| Ayçiçeği | | |
| d)KABUKLU ÜRÜNLER | | |
| Fındık | | |
| B)HAYVANSAL ATIKLAR | | 3825,2 TON |
| C)KENTSEL ATIKLAR | | |
| a)ÇÖPLER | | |
| b)KANALİZASYON ÇAMURU | | |
| D)GIDA VE DİĞER ENDÜSTRİ | | |
| a)MEZBAHA ATIKLARI | | |
| b)SÜT İŞLETMELERİNDEKİ ATIKLAR | | |
| c)MEYVE VE SEBZE İŞLETMELERİ | | |
| Konserveçilik | 384 TON | |
| Meyve Suyu | 305 TON | |
| Salça | | |
| d)YAĞ ENDÜSTRİSİ | 300 TON | 120 TON |
| e)ŞEKER ENDÜSTRİSİ | | |
| f)ALKOLLÜ İÇECEKLER ENDÜSTRİSİ | | |
| g)DİĞER ENDÜSTRİLER | | |

³¹ Balıkesir İli Maden ve Enerji Kaynakları, 2004, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, 5-6, Ankara.

8. ADA' NIN YAŞAYIŞ TARZI İLE İLGİLİ BİLGİLER NÜFUS BİLGİSİ HANE SAYISI

8.1 İlçenin Kısa Tarihçesi

8.1.1 Marmara takım adaları

Marmara denizinin güney batısındaki adalar topluluğudur. Kapıdağ Yarımadası ile Şarköy arasındaki sığ bir deniz alanında yer alır. Üç büyük ve küçük adalardan oluşur. Bu adalardan Marmara Adası' nın yüzölçümü 117.18 kilometrekaredir. Paşalimanı' nın 21.37. kilometrekare, Türkeli Avşa Adası'nın yüzölçümü 20.62 kilometrekaredir. Yüzölçümü bir kilometrekareden daha az olan Hayırsız, Fener, Yer, Tavşan, Mamali Adaları oldukça dik kıyılı ve kayalıktır. Toprak örtüsü ve su kaynaklarından yoksun olan bu adalarda yerleşim yoktur. Avşa' nın kuzey batısındaki Ekinlik Adasının yüzölçümü 2.47 kilometrekaredir. Bu takımadalardan Marmara Adası' nda altı (Marmara, Çınarlı, Gündoğdu ,Saraylar, Topağaç), Paşalimanı Adası' nda beş (Paşalimanı, Balıklı, Harmanlı , Poyrazlı, Tuzla), Avşa Adası'nda iki (Türkeli, Avşa) Ekinlik Adası' nda bir yerleşim yeri vardır. Toplam yüzölçümü 165 kilometrekare olan Takımadalarının 1990 yılındaki nüfusu 10318' dir. Adaların çevresinde kara parçalarından oluşan birçok küçük adaya rastlanır. Marmara Takımadaları Jeolojik yapı ve yer şekilleri bakımından Kapıdağ Yarımadası' nın Marmara Denizi'ndeki uzantısı görünümündedir. Yer yapısında granit ve mermer bol miktarda mevcuttur. Takımada; deniz yüzeyinin yükselmesi alçak kesimlerinin su altında kalması sonucu karadan ayrılmıştır. Takımada' ya adını veren grubun en büyüğü olan Marmara Adası orta kesimlerde 700 metreyi bulan yüksek bir ada görünümündeyken Paşalimanı, Avşa ve Ekinlik Adaları' nın yüksekliği 100-250 m arasında değişen basık ve yassı adalardır. Doğal bitki örtüsü bakımından Marmara Adası daha zengin ve daha yeşil

görünümündeyken öteki adalar çıplaktır. Marmara Adaları' nda başlıca ekonomik etkinlikler bağcılık, zeytincilik, şarapçılık, turizm, mermer işletmeciliği ve küçük ölçekli deniz taşımacılığı ve balıkçılıktır. Adaları kuşatan ve derinliği 8 m' yi geçmeyen sığ deniz alanı, balıkçılar için çok uygun bir yaşam alanı oluşturur. İstanbul ve Çanakkale Boğazları yoluyla Karadeniz ve Ege Denizi arasında yer değiştiren balıkların göç yolları buradan geçer.

Adada ilk yerleşme antik çağda Milatoslularca kurulmuştur. Bir deniz ticaret kolonisi olarak kurulan Prokonnesos kenti adaya adını vermiştir. Osmanlı topraklarına katıldıktan sonra 15 yy. başlayarak adaya Türklerde yerleştirilmiştir. Ada halkının çoğunu oluşturan Rumlar yüzyıllarca Türklerle yanyana yaşamışlardır. Lozan Antlaşmasının (1923) mübadele maddesi hükümleri uyarınca Rumlar Yunanistan' a girmek zorunda kalınca adaya Karadeniz Bölgesinden gelenler yerleştirilmiştir. 4 Ocak 1935 yılındaki Erdek depreminde Ada' da büyük zarar görmüştür.

Marmara Adasının kuzey kesiminde mermercilik büyük bir ekonomik potansiyel teşkil eder. Mermer ocaklardan çıkarılan blokların taşınması İstanbul Marmara Adası arasında deniz taşımacılığının gelişmesini sağlamıştır. 1950' lerde başlayan turizm ise günümüzde ekonomik ağırlık kazanmış. Adada birçok otel, pansiyon, dinlenme tesisi ve yazlık konut yapılmıştır. Marmara Adası' na İstanbul, Erdek ve Tekirdağ' dan düzenli gemi ve deniz otobüsü seferleri vardır. Ada' nın bitkisel ve tarımsal alanı olan Topağaç Ovası önemli bir sebze ve meyve üretim merkezine dönüşmüştür. Balıkesir iline bağlı Marmara Adası, eskiden Erdek ilçesine bağlı iken Marmara Bucağı sınırları içerisinde yer alan Marmara Adası 19 Haziran 1987 tarihinde İlçe olmuştur.

8.1.2 Marmara Adası

Marmara Denizinin güneybatısındadır. Marmara Adaları' nın en büyüğü ve Gökçeada' dan sonra Türkiye' nin ikinci büyük adasıdır. Yüzölçümü 117.18

kilometrekaredir. Kabaca bir elipsi andıran adanın orta kesimleri dağlık, kuzey ve gúneyi ise genellikle tepeliktir. Kuzeyde şerit biçiminde yayılan tepelik alan batıya doğru daralır. Bedalan kórfezinin doğusunda genişleyen bu tepelerin yúkseliđi doğuda 337 m' yi bulur. Karabanlar tepesi 346 m' ye, Yavuzaki sırtı ise 359 m' ye ulaşır. Marmara Adaları' nın en yúkseđi olan Marmara Adası, doğal bitki örtüsü açasından diğer adalardan ayrılır. Takımadaların geri kalan bölümünde step görünümü egemenken Marmara Adası' nda yer yer kızılcam ve fıstıkçamı ormanlarına rastlanır. Daha kurak olan gúney kesimlerde makilikler yaygındır. Ada' da bol miktarda bulunan yabani Antepfıstığı ağaçları İstanbul Üniversitesi Mühendislik Fakóltesi Ziraat Bölümü tarafından açılarak zengin bir Antepfıstığı ormanına dönüştürülmüştür.

Orta kesimdeki dağlık alan batıda Keltepe' de 515 m.' ye doğudaki Viranköy tepesinde 598 m' ye yükselir. Adanın en yüksek kesimi 699 m. ile Büyükçayır tepesidir. Adanın gúney kıyılarına doğru kuzey kesimindekini andıran yúkseliđi 300 m' yi açmayan tepelik bir alana geçilir. Güneydođusunda önemli bir tarım alanı olan Topağaç (Kılazak) ovası yer alır. Ovanın taban genişliği ortalama bir kilometredir.

Marmara Adası' nda jeolojik açasından, genel olarak batı-doğu doğrultulu kuşaklar halinde farklı yapılar uzanır ve kuzeyden gúneye doğru yeni oluşumlara geçilir. En altta yer alan başkalaşmış şistler gúneye bakan yamaçların alt kısmında ortaya çıkar. Adanın kuzey kesiminin tümü saflık oranı % 95' e varan mermerlerden oluşur. Bu kesimlerde antik çağlardan beri işletilen ünlü mermer ocakları vardır. Marmara Adası' nın adı da mermerden gelmektedir. Mermer yataklarının kalınlığı 2000 m.' ye varır. Bedalan kórfezi çevresinde kristalleri daha düşük olan dolomitli mermerler bulunur.

Karadeniz' den gelen üst akıntılar ve Marmara Denizi' nin gúneyine dökülen akarsular bu çevreye çeşitli planktonlar ile organik maddeleri taşıyarak balıkçılık için çok elverişli bir ortam hazırlarlar. Marmara Adası' nın bir koyunda göç etmeyen

balık türlerine rastlanmıştır. Takım adalar çevresinde yılın çeşitli zamanlarında başlıca balıklar; palamut balığı, lüfer, kolyoz, mezgıt, hamsi, ıstarvit, sardalya, gümüş balığı, tekir, mercan ve kırlangıç balığıdır. Bu kesimlerde Akdeniz kökenli süngerlere de rastlanır. Ayrıca midye, yengeç, pavurya, İstakoz ve yaygın olarak karides bulunur. Ada' nın çevresi adalı ve İstanbullu balıkçılar için önemli bir avlanma alanıdır. Son zamanlarda Marmara Denizi' nin yaygın biçimde kirlenmesi, deniz canlılarının yaşamını olumsuz biçimde etkilemekte, bu nedenle balıkçılıkta verim büyük ölçüde düşmektedir. Marmara Adaları' na ulaşım İstanbul' dan gemi ve deniz otobüsü, Erdek' ten gemi ve feribotlarla, Tekirdağ' dan ise özel feribotlarla ulaşım yapılmaktadır. Marmara Adası' nın yüzölçümü:117.18 kilometrekaredir, yüksekliği: 700 metredir.

Tablo 8.1. Marmara adası' nda Elektrik Abone sayıları

| ABONE SAYILARI-2002 yılı ekim ayı nüfus sayıları | | | |
|--|-----------|--------|--------|
| | TOPLAM | TİCARİ | MESKEN |
| MERKEZ | 2002-2408 | 250 | 1752 |
| ÇINARLI | 827-612 | 150 | 677 |
| GÜNDOĞDU | 478-363 | 60 | 418 |
| SARAYLAR | 831-2080 | 200 | 631 |
| TOPAĞAÇ | 539-512 | 50 | 489 |
| ASMALI | 304-214 | 10 | 294 |
| AVŞA | 2499 | | |
| EKİNLİK | 120 | | |
| YİĞİTLER | | | |

9. ESKİ VE YENİ SİSTEMİN EKONOMİK DEĞERLERLE KARŞILAŞTIRILMASI

Tablo 9.1. Fosil Yakıtlardan Her birinin Yol açtığı Çevre Zararı

| Zarar Tipi (n) | 1998 itibariyle GJ başına çevre zararı (\$ cinsinden) | | | | | |
|---|---|---------------|-----------------|---------------|-----------------|---------------|
| | Kömür | | Petrol | | Doğalgaz | |
| | Ayrınt Zarar | Ara Toplam | Ayrınt Zarar | Ara Toplam | Ayrınt Zarar | Ara toplam |
| insanlar üzerindeki etki | | 5.16 | | 4.19 | | 3.09 |
| Prematüre ölümler | 1.75 | | 1.42 | | 1.05 | |
| Tıbbi harcamalar | 1.75 | | 1.42 | | 1.05 | |
| Çalışma verimi kayıpları | 1.66 | | 1.35 | | 0.99 | |
| Hayvanlar üzerindeki etki | | 0.75 | | 0.63 | | 0.45 |
| Evcil hayat stok kaybı | 0.25 | | 0.21 | | 0.15 | |
| Vahşi hayal kaybı | 0.50 | | 0.42 | | 0.30 | |
| Bitkiler ve ormanlar üzerindeki etki | 0,13 | 1.99 | | 1.61 | | 1.20 |
| Tarla veriminde azalma –ozon | 0.25 | | 0.21 | | 0.15 | |
| Tarla veriminde azalma - asit yağmurları | | | 0.10 | | 0,07 | |
| Vahşi flora üzerindeki etki (bitkiler) | 0.77 | | 0.62 | | 0.46 | |
| Orman kaybı (ekonomik değer) | 0.27 | | 0.22 | | 0.16 | |
| Orman kaybı biyolojik çeşitlilik üzerindeki etki) | 0.53 | | 0.43 | | 0.33 | |

Tablo 9.1. (devam) Fosil Yakıtlardan Her birinin Yol açtığı Çevre Zararı

| | | | | | | |
|---|------|------|------|------|------|------|
| Eğlence gelirlerinden kayıp | 0.04 | | 0.03 | | 0,03 | |
| Su ekosistemleri üzerindeki etki | | 0.26 | | 1.55 | | 0.16 |
| Petrol yayılmaları | - | | 0.44 | | | |
| Sualtı tanklarından sızıntılar | - | | 0.90 | | - | |
| Kireçlenen göller | 0.04 | | | | 0.03 | |
| Balık popülasyonlarında kayıp | 0.04 | | 0.03 | | 0.03 | |
| Biyolojik çeşitlilik üzerindeki etki | 0.18 | | 0.15 | | 0,10 | |
| İnsan-yapısı yapılar üzerindeki etki | | 1,66 | | 1.34 | | 0.98 |
| Tarihi binalar ve anıtlar | | | | | | |
| Bozulma | 0.18 | | 0.15 | | 0.10 | |
| Bina ve evlerin zararı | 0.37 | | 0.30 | | 0.22 | |
| Çelik yapılar ve korozyon | 0,99 | | 0.80 | | 0.59 | |
| elbiselerin, arabaların, vs kirlenmesi | 0.12 | | 0.09 | | 0.07 | |
| Diğer hava kirlilik maliyetleri | | 1.45 | | 1.16 | | 0.88 |
| Görüş azalması | 0.30 | | 0.23 | | 0.15 | |
| Hava kirliliğini azaltma maliyeti | 1.15 | | 0.93 | | 0.70 | |
| Açık ocak madenciliğinin etkisi | | 0.73 | | | | - |
| İklim değişikliklerinin etkisi | | 2,04 | | 1.66 | | 1.22 |
| Sıcak dalgalar insanlar üzerindeki etki | 0.27 | | 0.22 | | 0.16 | |
| Kuraklıklar | | | | | | |
| Zirai kayıplar | 0.16 | | 0.13 | | 0.10 | |
| Çiftlik hayvanlarındaki kayıp | 0,13 | | 0.10 | | 0.07 | |
| Orman kayıpları | 0.16 | | 0.13 | | 010 | |

Tablo 9.1. (devam) Fosil Yakıtlardan Her birinin Yol açtığı Çevre Zararı

| | | | | | | |
|---------------------------------------|------|-------|------|-------|------|------|
| Yabani bitki ve hayvan kayıpları | 0.93 | | 0.75 | | 0.56 | |
| Su açıkları ve güç üretimi | | | | | | |
| Problemler | 0.25 | | 0.21 | | 0.15 | |
| Taşkınlar | 0.07 | | 0.06 | | 0.04 | |
| Tınmalar, kasırgalar, hortumlar | 0.07 | | 0.06 | | 0.04 | |
| Deniz seviyesindeki yükselmeye etkisi | | 0.47 | | 0.38 | | 0.28 |
| Toplamlar | | 14.51 | | 12.52 | | 8.26 |

Tablo 9.2. Enerji sisteminin ürettiği kirleticiler

| Kirletici | Fosil yakıt sistemi | Kömür/sentetik fosil yakıt sistemi | Güneş-hidrojen sistemi (kg&GJ) |
|-----------------|---------------------|------------------------------------|--------------------------------|
| CO ₂ | 72.40 | 100.00 | 0 |
| CO | 0.80 | 0.65 | 0 |
| SO ₂ | 0.38 | 0.50 | 0 |
| NO _x | 0.34 | 0.32 | 0.10 |
| HC | 0.20 | 0.12 | 0 |
| PM | 0.09 | 0.14 | 0 |

Tablo 9.3. Enerji sisteminin su buhar üretiminin karşılaştırması (1998 yılı enerji tüketimi için)

| Kalem | Birim | Fosil Yakıt | Kömür/sentetik | Güneş/hidrojen sistemi |
|--|---------------------|-------------|----------------|------------------------|
| Enerji sisteminin yıllık su buharı üretimi | 10 ¹² kg | 8.9 | 9300 | 6.0 |
| Küresel ısınmadan ileri gelen yıllık su buharı | 10 ¹² kg | 3,900 | 3,900.000 | 0 |
| Enerji sisteminden ve küresel ısınmadan ileri gelen toplam su buharı | 10 ¹² kg | 3,909 | 3,909.000 | 6.0 |
| Tabii olarak oluşan su buharının bir kesri | % | 0.782 | 0.782 | 0.001 |

Not: Güneş ısınmasından ileri gelen yıllık su buharı oluşumu 5 X 10¹⁷ kg

Tablo 9.4. Çevre zararı ve çevreye uyum faktörleri

| Enerji sistemi ve yakıt | Çevre zararı (1998 US \$/GJ) | Çevreye uyum faktörü ϕ_1 |
|------------------------------------|------------------------------|-------------------------------|
| Fosil yakıt sistemi | 12.47 | 0.055 |
| Kömür | 14.51 | |
| Petrol | 12.52 | |
| Doğalgaz | 8.26 | |
| Kömür/Sentetik fosil yakıt sistemi | 15.46 | 0.044 |
| Sen-Gaz | 20.34 | |
| Güneş/hidrojen enerji sistemi | 0.68 | 1.000 |
| Hidrojen | 0,68 | |

Tablo 9.5. Fosil yakıt sisteminin efektif maliyeti

| Uygulama | Yakıt | Enerji tüketim faktörü | Efektif maliyet (1998 US \$/GJ) |
|----------------------------|------------|------------------------|---------------------------------|
| Isı enerjisi | Doğalgaz | 0.20 | 17.46 |
| | Petrol | 0.10 | 27.56 |
| | Kömür | 0.10 | 17.75 |
| Elektrik enerjisi | Kömür | 0.30 | 17.25 |
| Kara ve deniz taşımacılığı | Benzin | 0.20 | 31.61 |
| Hava taşımacılığı | Jet yakıtı | 0.10 | 25.98 |
| Kesirler Toplamı | | 1.00 | |
| Toplam Efektif Maliyet | | | 22.11 |

9.1 Enerji Çevre Ve Sürdürülebilirlik Enerji Ve Çevre

Mevcut enerji üretim ve tüketim sistemleri, yerel, bölgesel ve küresel ölçekte hava, su ve toprak kirlenmesine yol açmaktadır. Son yıllarda artan enerji gereksiniminin karşılanmasında, fosil enerji kaynaklarından yapılan üretimle ortaya çıkan çevre kirliliği, Dünya'nın gündeminde önemli bir yer tutmaktadır. Kirletici azaltımının en önemli aracı, yeni ve yenilenebilir enerjileri de içerecek şekilde oluşturulacak, çevreye karşı duyarlı ve sürdürülebilir enerji sistemleridir. Tüm dünyada temiz ve yenilenebilir enerji kaynaklarına doğru bir yönelme gözlenmektedir.³²

³² DUIC, N., CARVALHO, M.G., 2003. Increasing Renewable Energy Sources in Island Energy Supply: Case Study Porto Santo. Renewable and Sustainable Energy Reviews, Elsevier, 384-389, 396-398, Lisbon, Portugal.

Tablo 9.6. Mevcut enerji üretim sistemlerinin çevresel etkileri

| | İklim Değişliği | Asit Yağmurları | Su Kirliliği | Toprak Kirliliği | Gürültü | Radyasyon |
|-----------|-----------------|-----------------|--------------|------------------|---------|-----------|
| Petrol | X | X | X | X | X | - |
| Kömür | X | X | X | X | X | X |
| Doğalgaz | X | X | X | - | X | |
| Nükleer | - | - | X- | X | - | X |
| Hidrolik | X | - | X | X | - | - |
| Rüzgar | - | - | - | - | X | - |
| Güneş | - | - | - | - | - | - |
| Jeotermal | - | - | X | X | - | - |

Enerji politikalarının belirlenmesinde çevreye verilen etkilerin yanı sıra, göz önünde bulundurulması gereken diğer önemli parametreler ise; enerji kaynağının dışa bağımlı olup olmaması, kaynağın güvenliği, çeşitliliği ve ömrü, yatırım ve üretim maliyetleridir

Tablo 9.7. Enerji kaynaklarının karşılaştırılması

| | Dışsal/ Yerel | Kalan Ömür (yıl) | İstihdam (Kişi/yıl.THh) | Yatırım Maliyeti (\$/KW) | Üretim Maliyeti (cent/KWh) |
|-----------|---------------|------------------|-------------------------|--------------------------|----------------------------|
| Petrol | Dış | 40-45 | 260 | 1500-2000 | 5,0-6-0 |
| Kömür | Yerel/Dış | 200-250 | 370 | 1400-1600 | 2.5-3.0. |
| Doğalgaz | Dış | 60-65 | 250 | 600-700 | 3.0-3.5 |
| Nükleer | Dış | - | 75 | 3000-4000 | 7.5-12,0 |
| Hidrolik | Yerel | - | 250 | 750-1200 | 0.5 - 2.0 |
| Rüzgar | Yerel | - | 918 | 1000-1200 | 3.5-4,5 |
| Güneş | Yerel | - | 7600 | Yüksek | 10.0-20.0 |
| Jeotermal | Yerel | - | - | 1500-2000 | 3.0 - 4.0 |

Dünya elektrik enerjisi üretiminin yaklaşık olarak % 64.5' i fosil yakıtlar (%38.7 kömür, % 18.3 gaz, % 7.5 petrol), % 16.6' sını hidrolik enerji, % 17.1' i nükleer enerji ve % 18' i yenilenebilir enerji kaynaklarından gerçekleşmektedir. Ülkemizde ise elektrik enerjisi üretiminin % 26' sını hidrolik, % 74' ü ise fosil kaynaklardan gerçekleşmektedir. İçinde bulunduğumuz yüzyılın özellikle ilk yarısında da elektrik enerjisi üretiminde fosil yakıtların baskınlığını koruması beklenmektedir. Beklenen en önemli değişiklik doğalgazın, fosil yakıt tüketimi içindeki payının artacağıdır. Uluslararası Enerji Ajansının (IEA) 2030 öngörülerinden bazıları aşağıda verilmiştir. Bu öngörüler dahilinde, Dünya Birincil Enerji Talebi ile bu ihtiyacı karşılamak üzere 2000-2030 yılları arasında kurulması beklenen ilave kapasiteler Şekil 1 ve 2' de bulunmaktadır.

Enerji kullanımı hızla artmaya devam edecektir.

Fosil yakıtlar baskınlığını koruyacaktır.

Enerji kaynaklı CO₂ salımlarındaki artış sürecektir.

Dünya nüfusunun %18'i elektrik yetersizliği çekecektir.

Doğal gazın kullanımı daha da artacaktır.

Nükleer enerjinin kullanımı azalacaktır.

Yenilenebilir kaynakların payı artacaktır.

Gelişmekte olan ülkelerin enerji ihtiyacı en fazla artacaktır.

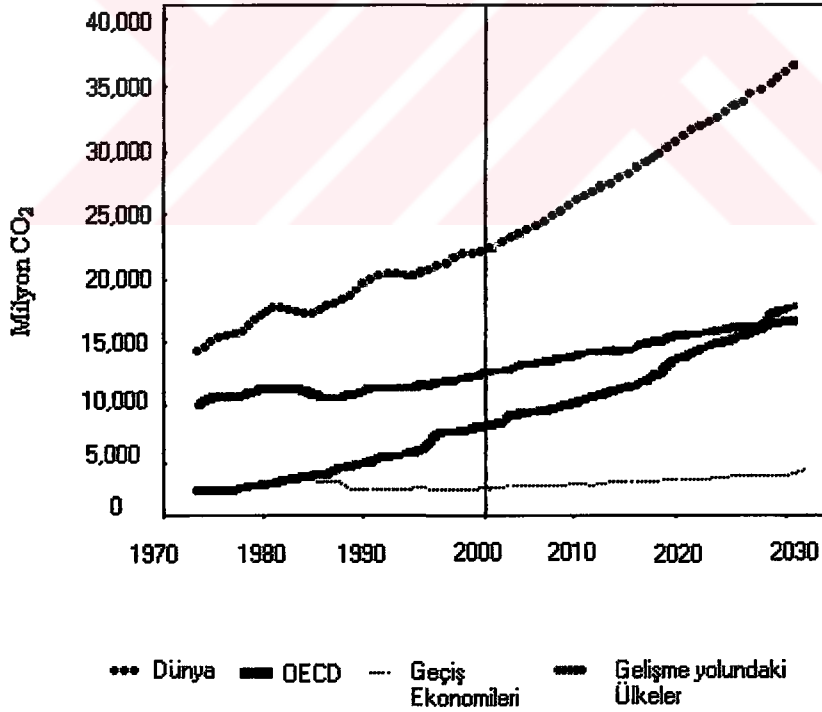
9.2 Enerji Ve İklim Değişikliği

Fosil yakıtların kullanımıyla atmosfere atılan CO₂ küresel ısınma ve buna bağlı olarak da iklim değişikliğine önemli katkı yapılmaktadır. İklim Değişikliğine neden olan önemli sera gazlarından biri olan karbondioksit (CO₂), dünya üzerindeki birçok noktada düzenli olarak gözlenmektedir. En eski gözlemevi olan Hawaii'deki Mauna Loa istasyonunda 1958 yılından bu yana yapılan ölçümlere göre CO₂ konsantrasyonunda bir artış gözlenmektedir. Sanayileşmeden önce 280 ppmv civarında olan CO₂ konsantrasyonu, günümüzde 372 ppmv civarındadır. Sera gazlarının ve aerosollerin etkilerini birlikte dikkate alan duyarlı iklim modelleri, küresel ortalama yüzey sıcaklıklarında 2100 yılına kadar 1 - 3.5 C° arasında bir artış ve buna bağlı olarak deniz seviyesinde de 15-95 cm arasında bir yükselme olacağını öngörmektedir.

Tablo 9.8. Bazı önemli sera gazlarının konsantrasyonlarının değişimi

| | CO ₂ | CH ₄ | N ₂ O |
|----------------------------------|-----------------|-----------------|-----------------------|
| Sanayileşme öncesi konsantrasyon | ≈ 280 ppmv | ≈ 700 ppbv | ≈ 275 ppbv |
| Eylül 2003 konsantrasyonu | 372 ppmv | ≈ 1800 ppbv | 3 1 7 ppbv |
| Konsantrasyon değişim hızı | 1.5 ppmv/yıl | 10 ppbv /yıl | 0.8 ppbv /yıl 0.25 |
| Atmosferdeki kalma süresi (yıl) | 50 - 200* | 12 | 120 |

Atmosferdeki CO₂ konsantrasyonundaki artışa, tüm ülkelerin az ya da çok katkısı bulunmaktadır. Gelişmiş ülkelerde lüks ve aşırı tüketim sonucu kişi başına salımlar yükselirken, Çin' de yaşayanlar hala temel sosyal kalkınma ihtiyaçlarının karşılanması mücadelesini vermektedirler. Türkiye'nin kişi başına düşen CO₂ salımları ise; Dünya ortalamasının altında ve OECD ortalamasının % 27' si civarındadır³³.



Şekil 9.1. 2000-2030 Arası Enerji Üretiminden Kaynaklı CO₂ Salınımları

³³ BORGES, A. R., ANTUNES, C. H., 2002. A Fuzzy Multiple Objective Decision Support Model for Energy- Economy Planning. European Journal of Operational Research, Elsevier, Portugal

Tablo 9.9. 2000 yılı için seçilmiş enerji göstergeleri

| Bölge / Ülke | Nüfus (milyon) | Elektrik Tük. Pop (kWh/kişi) | CO ₂ Salımım (Mt) | CO ₂ /Nüfus (t CO ₂ kişi) | CO ₂ /OSMH (kg CO ₂ /95 Us\$) |
|------------------|-------------------|------------------------------------|------------------------------------|--|---|
| Dünya | 6023.17 | 2343 | 23444.1 | 3.89 | 0.69 |
| OECD | 1122,18 | 8089 | 14114.5 | 11.09 | 0.45 |
| Orta Doğu | 165.36 | 2554 | 12449.0 | 5.96 | 1.70 |
| Eski Sovyetler | 289.56 | 3792 | 2219.19 | 7.66 | 435 |
| OECD dışı Avrupa | 58.20 | 2661 | 240.46 | 4.13 | 1.80 |
| Çin | 1269.26 | 1016 | 3052.27 | 2,40 | 2.53 |
| Asya | 1907.90 | 537 | 2153.57 | 1.13 | 105 |
| Latin Amerika | 415,65 | 1562 | 848.52 | 2.04 | 0.53 |
| Afrika | 795.07 | 501 | 685.72 | 0.86 | 1.16 |
| Avustralya | 19.16 | 10052.51 | 329.28 | 17.19 | 0.73 |
| Brezilya | 170.41 | 1935.49 | 303.31 | 1.78 | 0.38 |
| Kanada | 30.75 | 16967.61 | 26.77 | 17.13 | 0.75 |
| Çin Cum. | 1262.46 | 992. 88 | 2996.77 | 2.37 | 2.88 |
| Fransa | 60.43 | 7301.77 | 73.26 | 6.18 | 0.21 |
| Almanya | 82.17 | 6683.95 | 32.95 | 10.14 | 0.31 |
| Hindistan | 1015.92 | 392.99 | 37.28 | 0.92 | 2,01 |
| İtalya | 57.73 | 5227.71 | 25.73 | 7,37 | 0.35 |
| Kore | 47,28 | 5901.24 | 433.57 | 9.17 | 0.70 |
| Meksika | 97.22 | 1815.85 | 359.56 | 3.70 | 0.96 |
| Polonya | 38.65 | 3223.52 | 292.82 | 7.58 | 1.79 |
| Rusya | 145.56 | 5235.62 | 1505.74 | 10,34 | 4.21 |
| Güney Afrika | 42.80 | 4533.12 | 295.79 | 6.91 | 1.73 |
| İspanya | 39.93 | 5248.28 | 284.69 | 7.13 | 0.40 |
| Türkiye | 66.84 | 1563.85 | 204,08 | 3.05 | 1.00 |
| Ukrayna | 49.50 | 2755.22 | 301.03 | 6.08 | 6.79 |
| İngiltere | 59.76 | 5995.72 | 531.47 | 8.89 | 0.41 |
| ABD | 275.42 | 13843.27 | 5665.44 | 20.57 | 0.63 |
| Dünya | 6023.17 | 2343 | 23444.1 | 3.89 | 0.69 |

İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi (İDÇS) ve Kyoto Protokolü (KP)

Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi'nin nihai amacı, "Atmosferdeki sera gazı birikimlerini, insanın iklim sistemi üzerindeki tehlikeli etkilerini önleyecek bir düzeyde durduracaktır". İDÇS, küresel ısınmaya neden olan sera gazı salımlarını azaltmaya yönelik eylem stratejilerini ve yükümlülüklerini düzenlemektedir. Haziran 1992'de Rio' da düzenlenen BM Çevre ve Kalkınma Zirvesi'nde imzaya açılan İDÇS, 21 Mart 1994 tarihinde yürürlüğe girmiştir. 2003 yılı itibarı ile İDÇS' ye, Türkiye, Afganistan, Andora, Bruney Sultanlığı, Vatikan, Irak, Liberya, Filistin ve Somali hariç, 188 ülke ve Avrupa Birliği (AB) taraf olmuştur³⁴.

İDÇS' de temel yükümlülükler için 2 ana grup belirlenmiştir: Ek-I listesi gelişmiş ülkeler ve diğer ülke taraflarını tanımlamakta, Ek-II Listesi ise gelişmiş ülkeler ve diğer gelişmiş ülke taraflarını tanımlamaktadır. Her iki ek dışında kalan ve çoğunlukla gelişmekte olan ülkelerin yer aldığı grup ise Ek-I dışı olarak adlandırılmaktadır. Ek-I ülkeleri; bireysel veya ortak işbirliği içinde, 2000 yılında, seragazı salımlarının 1990 yılı seviyelerine çekilmesini sağlamak üzere, ulusal ölçekte politikalar ve önlemler geliştirmekle yükümlüdür. Ek-II ülkeleri ise Sözleşme den kaynaklanan yükümlülükler yerine getirilirken ortaya çıkacak maliyetlerin karşılanması (GEF, Özel fonlar) için yeni ve ek kaynaklar yaratmakla yükümlüdür. Sözleşmenin ortaya çıktığı 1992 yılı itibarı ile ülkeler arasındaki ayrımı temel olarak OECD üyelikleri ve gelişmiş düzeylerine bağlanmaktaydı. Ancak aradan geçen 10 yıl sonunda toplumsal ve ekonomik anlamda yaşanan gelişmeler sonucunda, ulusal çıkarlar doğrultusunda yeni ve çok farklı kamplaşmalar ortaya çıkmıştır.

Küresel sera gazı sahralarını 2000 sonrasında azaltmaya yönelik yasal yükümlülükler ise, Aralık 1997' de kabul edilen Kyoto Protokolü'nde (KP) yer almaktadır. KP' ye göre, gelişmiş Taraf ülkeler (İDÇS/Ek I), KP/Ek A'da listelenen sera gazlarının insan kaynaklı karbondioksit eşdeğer salımlarını 2008-2012 döneminde 1990 düzeylerinin en az % 5 altına indirmekle yükümlü olacaktır. Sera gazı salımlarına ilişkin genel değerlendirmeler aşağıda verilmektedir. 1900 yılından bu yana toplam sera gazı

³⁴ JANA, C., CHATTOPADHYAY, R. N., 2001. Block Level Energy Planning for Domestic Lighting – A Multi-objective Fuzzy Linear Programming Approach. IISWBM, Science Direct, Kharagpur, India.

salımlarının % 80' i Ek-I ülkelerinden kaynaklanmaktadır; 2000 yılı itibarı ile toplam Ek-I Ülke salımları % 3 azalmıştır. Ek-I bünyesinde yer alan Geçiş Ekonomisi Ülkeleri seragazı salımlarındaki azalmanın ana kaynağıdır. Bu ülkelerin salımları % 40' a yakın azalmıştır. En zengin ve en gelişmiş ülkelerin bulunduğu Ek-II ülkeleri salımları bu dönemde % 8 artmıştır. AB'nin toplam salımları % 3,5 azalmakla beraber Almanya ve İngiltere dışındaki ülkelerin çoğunda ciddi artışlar söz konusudur. Almanya'da birleşme ve İngiltere' de de özelleştirme ve yakıt değişiminden kaynaklı azalmanın 2000' li yıllarda aynı seviyede gerçekleşmeyeceği belirtilmektedir. AB' de 2000' li yıllarda ulaştırmadan kaynaklı seragazı salımlarında % 30' a varan artışlar beklenmektedir. Ek-I dışı ülkelerin salımlarının 2000'li yılların ilk yarısında Ek-I salımlarına eşitlenmesi beklenmektedir. Bu ülkelerdeki salımların temel kaynağı ormansızlaştırma etkinliklerinden kaynaklanmaktadır.

Aralarında Çin, Hindistan, Brezilya ve Güney Afrika'nın bulunduğu 5 temel gelişmekte olan ülkede yapılan çalışmalar sonucunda, toplam seragazı salımlarında 300 milyon ton/yıl değerinde azalma kaydedilmiştir. Bu miktar, tüm Ek-I ülkelerinin Kyoto kapsamında azaltma yükümlülüğü aldıkları miktarın % 75' ine eşdeğerdir. 10 yıllık süre içerisinde ABD'nin seragazı salımları %14 artmış, Çin'de ise % 5-10 arasında azalma sağlanmıştır. Yukarıda sunulan veriler ışığında, uluslararası alandaki yeni yapılanmalar hakkında aşağıdaki değerlendirmelerde bulunulabilmektedir.

ABD: Kyoto' da ve Johannesburg' da başlayan dünyaya (gerçekte AB, Rusya ve Çin gibi diğer süper güçlere) meydan okuma süreci aslında Irak'ın işgali ile gelişen sürecin habercisi olarak değerlendirilmiştir. Irak'ın yeni yapılanmasında aslında bir OPEC ülkesi olmaya soyunması, Kyoto görüşmelerinde diğer OPEC ülkeleri ile yaptığı işbirliğini biraz daha açıklamaktadır. Bununla beraber başta California olmak üzere birçok eyalet ve yerel yönetim düzeyinde olumlu çalışmalar ilerlemektedir. AB: Tüm kesimlerce ABD' nin boykotundan sonra Kyoto' yu hayata geçirecek tek siyasi güç olarak algılanmıştır. Birlik içinde ve dışındaki ilk 10 yıldaki performansı bu beklentiyi haklı çıkarmaktadır. Ancak 2012 sonrasında gelişmekte olan ülkeleri yükümlülük alma konusunda zorlaması ve 2000' li yıllarda seragazı salımları azaltımında başarısızlık beklentileri soru işaretleri uyandırmaktadır. G77/ÇİN: 2012

sonrasında yükümlülük alabilmek için Ek-I ülkelerinin Kyoto kapsamında verdikleri sözleri tutmalarını şart koşmaktadırlar. Bu ısrarlarında başarılı olabilmek için Kazakistan ve Arjantin gibi ülkelerin gönüllü yükümlülük almalarının engellenmesine çalışılmaktadır. Küresel ısınmanın devam etmesi riski sebebiyle adaptasyon konusunu öncelikli ele almayı hedeflemektedirler. OPEC: G77/ÇİN bünyesinde iklim değişikliği konusunda olumlu tavır alınmasını engellemekte başarılıdırlar. BP/Shell gibi petrol devleri 2050'de yeni ve yenilenebilir enerji ve teknolojiler konusunda çok ciddi yatırım ve araştırmalar yaparken, bu ülkelerin uzun vadede petrol tüketiminin azalması sebebiyle ekonomilerinin uğrayacağı zararları için tazminat talep etmeleri dikkat çekicidir. AOSIS (Küçük Ada Devletleri Koalisyonu): Küresel ısınmaya bağlı deniz seviyesinin yükselmesi sonucunda ülkelerinin haritadan silinmesi tehdidi yüzünden, iklim değişikliği konusunda akademi dünyası ve çevreci örgütlere en yakın duran gruptur. Bu açıdan "Dünyanın vicdanı" olarak adlandırılmaktadırlar. Ayrıca ülkelerinin yok olması halinde tazminat ve/veya göç etme hakkı konusunu müzakereye açmaktadırlar. EAGÜ (En Az Gelişmiş Ülkeler- LDC): 2001 yılındaki Marakeş Uzlaşmalar, kapsamında özel fonlar sağlamayı başarmışlardır. GEÜ (Geçiş Ekonomisi Ülkeleri): Ek-I bünyesinde yer almalarına rağmen hesaplamalarda kullanılan referans yılı değiştirmeleri ve Sözleşmenin mali mekanizması olan GEF fonlarından yararlanma hakkını elde etmişlerdir. EIG (Environmental Integrity Group): 2000 yılında G.Kore, Meksika ve İsviçre tarafından oluşturulmuştur. Özellikle OECD üyesi G.Kore ve Meksika'nın 2012 sonrasında alabileceği yükümlülüklerin belirlenmesi kapsamında, "İleri Gelişmekte olan Ülke" kavramını müzakerelere taşımaya çalışmaktadırlar. GRULAC (Latin Amerika Grubu): Kyoto Protokolü'nün esneklik mekanizmalarından Temiz Kalkınma Düzeneği kapsamında ormancılık etkinliklerini de dahil edebilmek için stratejiler geliştirmeye çalışmaktadırlar.

Türkiye, 1999 yılına ilişkin temel CO₂ göstergeleri açısından, dünya ülkeleri arasında, toplam CO₂, şalınımında 23., kişi başına CO₂ salımı açısından 75., CO₂, şalınımının gayri safi yurt içi hasılaya (GSYİH) oranında 60. ve CO₂ şalınımının satın alma gücü paritesine göre hesaplanmış GSYİH' ye oranında ise 55. sırada yer almaktadır. Ancak Türkiye, İDÇS müzakereleri sürecinde Ekonomik İşbirliği ve Kalkınma Örgütü (OECD) üyesi ülkelerle birlikte Ek II listesine alınmıştır. Türkiye'nin 1991-2002

yılları arasında iklim değişikliği müzakerelerindeki katılımı incelendiğinde aşağıdaki sonuçlara ulaşılmaktadır.

İDÇS' nin yapısının oluşturulduğu 1991 - 1995 yılları arasındaki Hükümetlerarası Müzakere Komitesi toplantıları, kamu kurumları tarafından ciddi bir şekilde izlenememiştir. Yüzlerce kişinin katıldığı bu görüşmelerde, Türk heyetleri nadiren en fazla 3 kişiden oluşmaktadır. 1995' ten itibaren gözlemci statüsünde katılım sağlanan Taraflar Konferansları'nda heyet sayısında göreceli olarak bir artış sağlanmıştır. Son 3 Taraflar Konferansı'nda OECD ülkelerinin ortalama 30, Ek-I dışı ülkelerinin ortalama 15 kişi ile müzakerelere katıldığı düşünöldüğünde, bu sayı hala çok azdır. Bu süreçte, heyetlerin oluşumunda kurumlar arasında ve kurumlar içerisinde görevlendirilen temsilci sayısı ve sürekliliği açısından ciddi istikrarsızlıklar gözlemlenmektedir. Bunun sonucunda heyetlerin müzakerelerdeki verimi azalmaktadır. Özellikle COP7 (7. Taraflar Konferansı) sonrasında. Yardımcı Organlar toplantıları da dahil olmak üzere, heyet sayılarındaki azalma, uluslararası prestijimiz açısından dikkate alınmalıdır. Uluslararası toplantıların yurtiçindeki çalışmalarla eşgüdümünde de sıkıntılar yaşanmaktadır. Yılda 3 sefer toplanması gereken İklim Değişikliği Koordinasyon Kurulu 2001 yılında 2, 2002 yılında 1 defa toplanabilmiş, 2003 yılında ise bu yönde herhangi bir çalışma yürütölmemiştir. Oysa 2001 yılında Marakeş' te alınan karar Türkiye için çok önemli ev ödevleri yüklemektedir. 1991-2002 yılları arasında müzakerelere katılan heyetlerde kamu kuruluşları dışında bilim dünyası, özel sektör ve sivil toplum kuruluşları adına hiçbir temsilci yer almamıştır. Oysa son 3 Taraflar Konferansında OECD ve G77/Çin heyetlerinde en az %10 düzeyinde bu kesimlerin temsil edildiği gözlemlenmektedir.

2001 yılı Kasım ayında Fas'ın Marakeş kentinde yapılan 7. Taraflar Konferansı'nda, Türkiye'nin isminin Ek H' den silinmesi ve "ortak fakat farklılaştırılmış sorumluluk" prensibi çerçevesinde, özgün koşulları dikkate alınarak ve diğer ülkelerden farklı bir Ek-I ülkesi olarak Sözlüşmeye taraf olması kabul edilmiştir. Konu ile ilgili yasa 21 Ekim 2003 tarih ve 25266 sayılı Resmi Gazete' de yayımlanarak yürürlüğe girmiştir. Bu kapsamda, resmi katılım belgesi Sekretarya' ya bildirilmesini takip eden 3 ay içinde İDÇS Türkiye için de yürürlüğe girecektir.

10. DÜNYADA YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAKLARI İLE İLGİLİ YASAL DÜZENLEMELER

10.1 Sürdürülebilir Kalkınma - Yenilenebilir Enerji Ve Yenilenebilir Enerji Kaynakları Kanun Tasarısı Taslağı

Sürdürülebilir kalkınma, bugünkü toplulukların ihtiyacı olan ekonomik gelişmenin gelecekte dünya üzerinde yaşayacak olan toplulukların ihtiyaçlarını karşılama engeli oluşturmayacak şekilde sağlanması demektir. Geleneksel enerji üretim ve tüketiminin çevre ve doğal kaynaklar üzerinde yerel, bölgesel ve küresel seviyede doğrudan olumsuz etkilere neden olduğu bilinmektedir. Bu nedenle enerji sürdürülebilir kalkınma ile ilgili çalışmaların kapsamında yer alan önemli konulardan biri olmuş ve insanlığın ihtiyacı olan enerji tüketiminin ekonomik olarak ve çevreye zarar verilmeyen şekilde sağlanması amacı öne çıkmıştır³⁵. Bu çalışmada sürdürülebilir kalkınmanın sağlanmasında yenilenebilir enerjilerinin rolü, yenilenebilir kaynaklardan yararlanma konusunda Türkiye' de durum ve hazırlanmakta olan yenilenebilir enerji kaynakları yasa tasarısı taslağı ana hatlarıyla incelenmektedir.

10.2 Sürdürülebilir Kalkınma Ve Sürdürülebilir Enerji

Sanayileşmenin hızla gelişimi, nüfusun büyük bir artış göstermesi, yeni teknolojilerin kullanıma soktuğu makine ve araç çeşitlenmesi gibi faktörler her geçen gün enerjiye duyulan ihtiyacı artırmaktadır. Bu enerjinin büyük bir kısmı fosil yakıtlardan (kömür, petrol, doğal gaz vb.) sağlanmaktadır. Konvansiyonel enerji kaynakları olan yakıtlar enerji üretiminde ağırlıklı olarak kullanılmaktadır. Geleneksel enerji üretim ve tüketiminin çevre ve doğal kaynaklar üzerinde yerel, bölgesel ve küresel seviyede olumsuz etkilere neden olduğu bilinmektedir.

³⁵ DEBANNE, J. 2000. Regional Network Based Modelling as A Tool in Energy Planning: An Evolutionary Expose. 357-360, Canada.

Enerji sürdürülebilir kalkınmanın üç temel bileşeni olan sosyal denge, ekonomik büyüme ve çevresel koruma ile ilgili hedeflerin başarılmasında önemli bir başlangıç noktasıdır. Bu nedenle enerji; sürdürülebilir kalkınma ile ilgili çalışmaların kapsamında yer alan önemli konulardan biri olmuş ve insanlığın ihtiyacı olan enerji tüketiminin ekonomik ve çevreye zarar verilmeden sağlanması amacı öne çıkmıştır.

Sürdürülebilir enerji, sürdürülebilir çevre ve ekonomi ile birlikte sürdürülebilir kalkınmanın önemli bir unsuru olarak belirlenmektedir. Sürdürülebilir enerji yaklaşımı, gereksinmemiz olan enerjinin en az finansmanla, en az çevresel ve sosyal maliyetle ve sürekli olarak teminine olanak sağlayan politika, teknoloji ve uygulamaları kapsamaktadır. Enerji alanında sürdürülebilirlik üç ana ilkeye dayanmaktadır ; Enerjinin etkin kullanımı ve enerji tasarrufu; özellikle son kullanıcıların yer aldığı binalar, elektrikli cihazlar, araçlar ve üretim prosesleri vs.

Yenilenebilir enerji kaynakları kullanımının artırılması ve bu alandaki teknoloji yeteneğinin yükseltilmesi; Hem hava kirliliği hem de sera gazı salınımları açısından sıfır veya hemen hemen sıfır emisyon yaratan güneş, rüzgar, jeotermal ve hidrolik kaynaklar vs. Yeni enerji teknolojilerinin geliştirilmesi ve yaygınlaştırılması; Enerji tüketimi ve kullanımının çevrede meydana getirdiği olumsuz etkilerin ve kirlenmenin en aza indirilmesi için çevre dostu stratejilerin geliştirilmesi özellikle hemen hemen sıfır zararlı emisyonu neden olan ikinci nesil yakıt teknolojilerinin kullanımı.

10.3 Sürdürülebilir Kalkınma Ve Yenilenebilir Enerjiler

Fosil kökenli yakıtlar üretim teknolojilerinin gelişmiş ve ucuz olması nedeniyle son iki yüzyıldır yaygın olarak kullanılmaktadır. Petrol ve kömür egemenliğine dayanan enerji çağı, uzun yıllar sorunsuz devam etmiş, ancak 1973 Petrol Krizi ilk kez enerji kaynakları konusunda bir güvensizlik ortamı yaratmıştır. Bu ortam bütün dünyada yeni ve yenilenebilir kaynaklara karşı yoğun bir ilgiye yol açmıştır. 1980' lerin ortalarında petrol fiyatları düşmüş ancak, petrol krizi sonucu gündeme gelen "enerji güvenliği" kavramı kalıcı olmuş ve "enerjinin çeşitlendirilmesi", enerji politikalarının vazgeçilmez unsurlarından biri haline gelmiştir. Enerji güvenliği ve kaynak çeşitliliği, yenilenebilir enerji kaynaklarının da enerji yelpazesinde yer almasına yol açmıştır.

1990' lı yıllarda çevre bilincinin ortaya çıkması yenilenebilir enerji kaynaklarının gelişimini destekleyen bir başka gelişmedir. Bu bilinç, geleneksel enerji üretim ve tüketiminin çevre ve doğal kaynaklar üzerinde yerel, bölgesel ve küresel seviyede olumsuz etkilere neden olduğunun anlaşılmasına ve atmosfere kirlilik yaratacık emisyon vermeyen yenilenebilir enerji kaynaklarının "temiz enerjiler" olarak destek görmesine yol açmıştır. Geleneksel kaynaklarla enerji kullanımının küresel ve yerel düzeyde yarattığı çevresel etkilerin ve bunların küresel ısınma ile ilişkisinin açıkça görülmesi, neredeyse sıfır emisyonlara neden olan yenilenebilir enerji kaynaklarının çevresel açıdan oldukça önemli bir konuma gelmesine yol açmıştır. Çünkü sürdürülebilir kalkınmanın temelinde, kaynakları koruma ve süreklilik ile çevre etkilerini en aza indirme fikri vardır. Yenilenebilir enerji kaynaklarının sürdürülebilir enerji açısından sağlayacağı başlıca yararlar;

Başta sera gazı emisyonları olmak üzere elektrik ve diğer enerji kullanımlarından kaynaklanan kirliliğin azaltılmasına katkı sağlaması,

Enerjide kaynak çeşitlendirilmesine ve arz güvenliğine katkı sağlaması

Modüler, dağıtılmış ve daha küçük ölçekli teknolojiler yoluyla altyapı ve esneklik sağlaması,

Sınırlı olan fosil yakıt rezervlerinin korunması,

Fosil yakıt arzına bağlı fiyat istikrarsızlığı risklerinden kaçınmayı sağlama,

Kırsal alanda oluşturduğu iş ve altyapı olanakları ile sosyo-ekonomik gelişmeye katkı sağlaması,

Sürdürülebilir kalkınmaya katkı sağlaması,

olarak özetlenebilir. Başlıca yenilenebilir enerji kaynakları; küçük hidrolik, güneş, rüzgar, jeotermal, biyokütle ve yenilenebilir kaynaklardan elde edilen hidrojenidir.

10.4 Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Dünyadaki Durumu

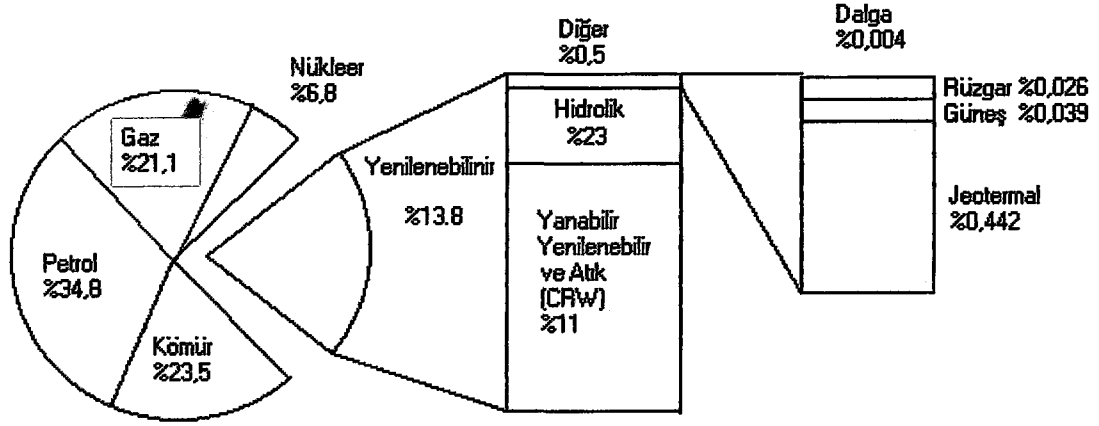
2000 yılı itibariyle Dünyadaki toplam primer enerji kaynakları 9958 Milyon TEP olup bunun % 13.8' ini yenilenebilir enerji kaynakları oluşturmaktadır. Bu oranın % 11' ini biyokütle, % 2.3' ünü hidrolik ve % 0.05' ini de diğer yenilenebilirler (rüzgar, güneş, jeotermal, dalga vb.) oluşturmaktadır. 2000 yılı itibariyle yenilenebilir kaynakların bölgelere göre dağılımı Tablo 10.1 ve Şekil 10.1' de verilmiştir.

Tablo 10.1. 2000 Yılı İçin Bölgesel Yenilenebilir Enerji Kullanım Miktarları

| BÖLGE | Toplam Primer Enerji Kaynağı TPES | TPES içindeki Toplam Yenilenebilir | TPES içindeki Toplam Yenilenebilirlerin Oranı | Toplam Yenilenebilir içinde Ana Yakıt Katagorilerinin Payı | | |
|----------------------------|-----------------------------------|------------------------------------|---|--|----------------------------|---------------------------------|
| | | | | Hidrolik | Jeotermal Güneş Rüzgar vb. | Yanabilir Yenilenebilir ve Atık |
| | Mtep | Mtep | % | % | % | % |
| Afrika | 508 | 259 | 50,9 | 2,3 | 0,2 | 97,5 |
| Latin Amerika | 456 | 127 | 27,9 | 37,3 | 1,3 | 61,3 |
| Asya* | 1123 | 382 | 34 | 4 | 3,3 | 92,7 |
| Çin** | 1158 | 234 | 20,2 | 8,2 | 0 | 91,8 |
| OECD üyesi olmayan ülkeler | 95 | 9 | 9,9 | 46,1 | 0,9 | 53 |
| Eski SSCB | 921 | 30 | 3,3 | 65,5 | 0,2 | 34,3 |
| Orta Doğu | 380 | 3 | 0,8 | 41,3 | 22,7 | 35,9 |
| OECD | 5317 | 329 | 6,2 | 34,4 | 10,8 | 54,8 |
| Dünya | 9958 | 1372 | 13,8 | 16,5 | 3,7 | 79,8 |

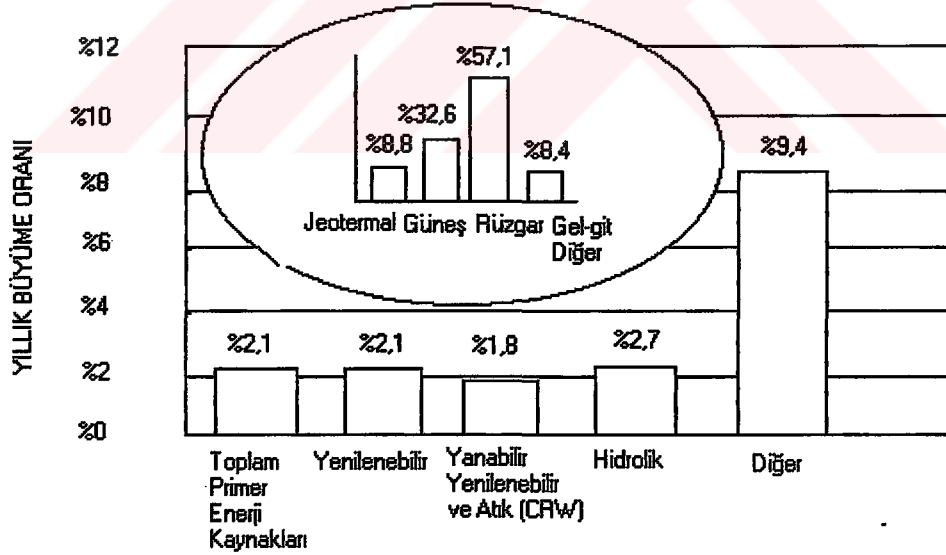
Çin hariç Asya, ** Asya hariç Çin

Biyokütlenin toplam yenilenebilirler içindeki büyük payı nedeniyle, Asya, Latin Amerika ve Afrika gibi OECD üyesi olmayan ülkeler ana yenilenebilir kullanıcı olarak ortaya çıkmaktadır. Hidrolik ve diğer yenilenebilirler (güneş, rüzgar, jeotermal vb.) de ise OECD ülkeleri önemli bir kullanıcı olarak görülmektedir.



Şekil 10.1. 2000 yılı itibariyle Dünyadaki Enerji Kaynaklarının Dağılımı

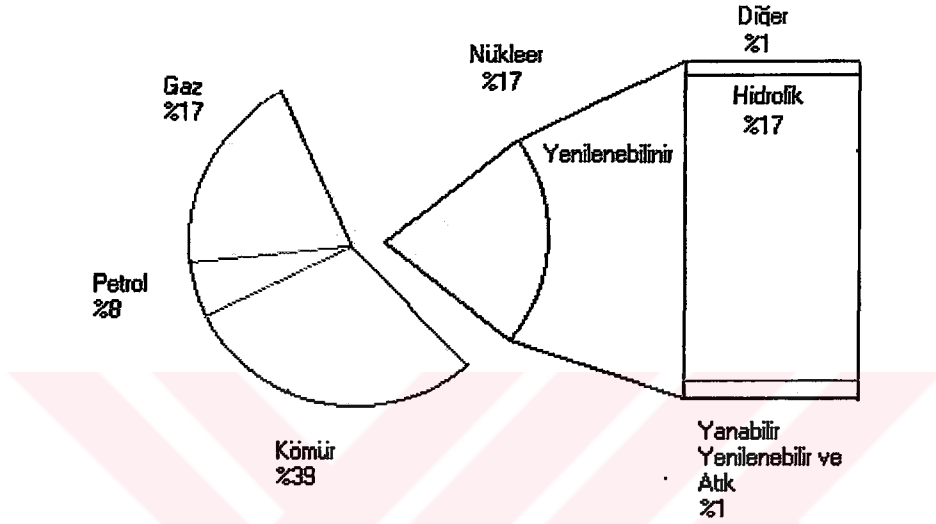
Yenilenebilir kaynaklar son 30 yılda yıllık % 2' lik bir büyüme göstermiştir (Şekil 2). Bununla birlikte, "diğer" kategorisi olarak belirtilen jeotermal, güneş, rüzgar, dalga vb. içeren yeni yenilenebilirler ise % 9 ile daha büyük bir yıllık büyüme göstermiştir. Bunlar arasında en fazla artış % 57 ile rüzgar enerjisinde, ikinci sırada ise % 32 ile güneş enerjisinde gerçekleşmiştir³⁶.



Şekil 10.2. Son 30 yılda dünyadaki enerji kaynaklarının gelişimi

³⁶ Türkiye 4. Enerji Sempozyumu, 2003. Küresel Enerji Savaşları Ulusal Kamusal Enerji Politikaları. Milli Kütüphane, 295-355, Ankara.

Dünya elektrik üretiminin kaynaklara göre dağılımı ise Şekil 10.3' de verilmiştir. Buna göre; kömür % 39, nükleer % 17, gaz % 17, petrol % 8 ve yenilenebilirler % 19' dur. 2000 yılında yenilenebilirlerden üretilen elektriğin çok büyük bir bölümü (%92) hidrolik santrallerden üretilmiş olup bunu biyokütle (% 5) izlemektedir. Çok hızlı gelişen jeotermal, güneş ve rüzgar ise elektrik üretiminin % 3' den daha azını karşılamaktadır.



Şekil 10.3. 2000 Yılı itibariyle Dünya Üretimini kaynaklara Göre dağılımı

Küresel sera gazı emisyonlarını 2000 sonrasında azaltmaya yönelik yasal yükümlülükler getiren Kyoto Protokolü' ne göre, gelişmiş taraf ülkeler sera gazlarının insan kaynaklı karbondioksit (CO₂) eşdeğer emisyonlarını 2008-2012 döneminde 1990 düzeylerinin en az % 5 altına indirmekle yükümlüdürler. AB hem birlik olarak hem de üye ülkeler açısından % 8' lik bir azaltma sağlayacağını kabul etmiştir. AB çevrenin korunması ve sürdürülebilir enerjiye katkıları nedeniyle yenilenebilir enerji kaynaklarının öncelikli olarak geliştirilmesini gerekli görmektedir. Bu kaynakların geliştirilmesi aynı zamanda yerel istihdam yaratarak sosyal bütünleşmeye ve arz güvenliğine katkı sağlayacaktır. Bu öncelik ana hatları ile "Yenilenebilir Enerji Kaynakları Beyaz Bildiri" de {White Paper on Renewable Energy Resources)" belirtilmiştir. Bu belgede, AB ülkelerinin ulusal genel enerji tüketimi içindeki ortalama yenilenebilir enerji oranının 2010 yılına kadar iki katına çıkarılarak %12' ye ulaşması öngörülmektedir.

Sera gazı emisyonlarının azaltılması ve enerji güvenliğinin sağlanması AB' inde yenilenebilir enerji teknolojilerine girilmesinin ana nedenidir. Sera gazı emisyonları açısından, AB' de elektrik enerjisinin % 56' sını üreten termik santraller toplam CO₂, emisyonlarının % 30' unu yaratmaktadır. Bu emisyonun 2/3' ü kömür yakan santrallerden kaynaklanmaktadır. AB elektriğinin % 44' ü ise CO₂ emisyonlarına neden olmayan nükleer ve hidrolik santraller tarafından sağlanmaktadır. AB önemli yenilenebilir enerji kaynakları potansiyeline sahip olmakla beraber ülkelere göre eşit dağılım ve yeterli kullanım göstermemektedir. Mevcut durumda AB içinde ortalama olarak toplam enerji tüketiminin ancak % 6' sı yenilenebilir enerji kaynaklarından sağlanabilmektedir. Yenilenebilir enerjinin AB elektrik üretimindeki payı ise ortalama % 14' dür.

Orta dönemde yenilenebilir enerji üretiminde bu hedefe ulaşılmasını sağlamak için AB Komisyonu iç elektrik piyasasında yenilenebilir enerji kaynaklarından elektrik üretimini teşvik eden 2001/77/EC sayılı Direktifi yayınlamıştır. Söz konusu direktif, 2010 yılına kadar topluluğun tamamında yenilenebilir enerji kaynaklarından üretilen elektriğin toplam elektrik tüketiminin % 22, 1' ine ulaşmasını hedeflemektedir.

AB' ye üye ülkeler 1980' li yılların sonlarından itibaren yenilenebilir enerji üretimini;

A&G programlarına destekler,

Örnek projelerin desteklenmesi,

Yatırım maliyetlerine yapılan doğrudan destekler,

Finansal ve vergi teşvikleri,

Bu santrallerden üretilen elektrik enerjisinin teşvikli fiyatla satın alınması vb. yöntemlerini tek tek ya da karma bir şekilde kullanarak desteklemektedir.

10.5. Yenilenebilir Kaynaklarının Türkiye'deki Durumu

2002 yılı itibariyle Türkiye'nin birincil enerji tüketimi 76.4 Milyon TEP olup bunun % 13' ünü yenilenebilir enerji kaynakları oluşturmaktadır. Türkiye Birincil Enerji Tüketim miktarları Tablo 10.2' de verilmektedir.

Tablo 10.2. 2002 Yılı için Türkiye Genel Enerji Dengesi (MTEP)

| Yıl | Taş kömürü, | Petrol | Doğal Gaz | YEK | Toplam |
|------|-------------|--------|-----------|--------|--------|
| 2002 | 19.475 | 30.777 | 16.128 | 10.013 | 76.393 |

Toplam Yenilenebilir Enerji Kaynakları Tüketiminin Dağılımı ise Milyon TEP olarak Tablo 3' de verilmektedir. YEK kullanımının, % 59.7' sini biyokütle (% 46.8'ini odun, % 12.9'unu hayvan ve bitki atıkları), % 29'unu hidrolik ve % 11' ini de diğer yenilenebilirler (rüzgar, güneş, jeotermal, vb.) oluşturmaktadır.

Tablo 10.3. 2002 Yılı İçin Türkiye Birincil Enerji Tüketimleri (MTEP)

| Yıl | Hidrolik | Rüzgar | Jeotermalı | | Güneş | Biyokütle Odun | |
|--------------|------------|------------|------------|-------|-------|----------------|-------|
| | (Elektrik) | (Elektrik) | Elektrik | | | Hayvan | Bitki |
| 2002 | 2.897 | 0.004 | 0.730 | 0.09 | 0,318 | 4.684 | 1.29 |
| Toplam YEK'e | %29 | %0.04 | %7.3 | %0.09 | %3 | %46.8 | %12.9 |

Türkiye başta hidrolik, rüzgar, jeotermal, güneş olmak üzere yenilenebilir kaynakları potansiyeli açısından zengindir. Yapılan rüzgar ölçümleri sonucunda, Türkiye'nin özellikle Marmara, Ege ve Doğu Akdeniz kıyı bölgesinin zengin rüzgar potansiyeline sahip olduğu görülmüştür. EİE ve DMİ tarafından yapılan Türkiye rüzgar atlasında Türkiye'nin ekonomik rüzgar potansiyeli 10 000 MW olarak tahmin edilmektedir.

Ülkemizin brüt hidroelektrik enerji potansiyeli 433 milyar kWh mertebesinde olup, teknik yönden değerlendirilebilir potansiyelimiz 216 milyar kWh civarındadır. Bugün için 126,1 milyar kWh olan ekonomik hidroelektrik potansiyelimizin % 35' i (44.388 GWh) işletmede, % 9' u (10.845 GWh) inşa halinde ve % 56' sı (70.876 GWh) ise çeşitli aşamalardan oluşan proje (ilk etüt, ön inceleme, master plan, planlama ve kesin proje) düzeyindedir.

Türkiye jeotermal zenginliği açısından dünyanın yedinci ülkesidir. Şu anda jeotermal potansiyelimizin sadece % 2' si değerlendirilmektedir. Türkiye güneş enerjisi

uygulamaları açısından da oldukça uygun bir coğrafi konuma sahiptir. Yıllık ortalama güneşlenme süresi 2640 saat ve ortalama güneş enerjisi yoğunluğu 3.6 kWh/m² gün'dür. Türkiye'de en yaygın güneş enerjisi uygulamaları sıcak su kollektörleridir. 2002 yılı için yaklaşık 9.1 milyon m² kollektör alanı mevcuttur. Güneş pilinin elektriksel uygulamaları kısıtlı olup toplam kurulu güç 350 kW civarındadır ve genellikle Türk Telekom ve Orman Gözetleme Kulelerinde kullanılmaktadır. Klasik biyokütle kaynakları olan odun ile bitki ve hayvan artıkları özellikle ısıtma ve pişirme alanlarında yıllardır kullanılmaktadır. 2002 yılı verilerine göre Türkiye'nin enerji üretiminde 15.614 Milyon Ton (4.684 MTEP) odun ve 5.609 Milyon Ton (1.290 MTEP) hayvan-bitki artıkları yer almıştır. Ülkemizde klasik biyokütle enerji kullanımı, ilkel ve ekonomik olmayan biçimde gerçekleşmekte, enerji tarımı, tarımsal yan ürünler ile endüstriyel ve kentsel biyokütle atıklardan enerji üretimini içeren modern biyokütle uygulamaları ise yok denecek kadar azdır.

Türkiye' nin 2002 yılı elektrik enerjisi kurulu gücü 31845.9 MW' tır, Bu gücün % 61.45 termik (19 480.3 MW), % 38.44 hidrolik (12 240.9 MW), % 0.05 jeotermal (17.5 MW) ve % 0.06 rüzgar (18.9 MW) santrallerinden sağlanmaktadır. Elektrik enerjisi üretimine bakıldığında ise, 2002 yılında üretilen 129399.5 GWh' lik enerjinin % 73.9' u konvansiyonel santrallerden, % 26' sı hidrolik, % 0.1' i jeotermal, % 0.04' ü ise rüzgar santrallerden üretilmiştir. Elektrik enerji üretiminde hidrolik dışındaki diğer yenilenebilirler oldukça düşük oranlardadır. Yenilenebilir kaynakların kullanımının artırılması, ulusal ve küresel ölçekte sürdürülebilir kalkınma hedeflerine ulaşılabilmesi için son derece gerekli bir araçtır. Enerji güvenliği açısından dışa bağımlılığın kabul edilebilir düzeyde tutulması amacıyla yerli kaynakların yanı sıra başta hidrolik olmak üzere yenilenebilir enerji kaynaklarına gereken önem verilmelidir. Bu güne kadar yeterince değerlendirilemeyen bu kaynakların gerek ülkenin öz kaynakları olması ve enerji ithalat bağımlılığını azaltması, gerekse çevrenin korunması, istihdam ve yerli teknoloji oluşturmaya katkı sağlaması ve bu kaynakların mevcut piyasa sistemi içerisinde diğer enerji üretim sistemleri ile kolayca rekabet edememesi nedenleriyle ulusal bir politika oluşturularak desteklenmesine ihtiyaç vardır.

10.6 Yenilenebilir Enerji Kaynakları Kanun Tasarısı Taslağı

Hazırlanmakta olan yenilenebilir enerji kaynakları kanun tasarısı taslağının amacı, yeni ve yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımını yaygınlaştırması ile ülke genelindeki enerji talebinin güvenilir, ekonomik ve kaliteli biçimde karşılanmasında ithalata bağımlılığı azaltmak, arz güvenliğini güçlendirmeye yönelik kaynak çeşitliliğini artırmak, temiz çevre gereksinimlerini yerine getirmek, yeni enerji kaynaklarının pazara girmelerini temin etmek ve öncelikle kullanımını sağlamak, imalat sektöründeki üretim ve istihdamı geliştirmek, tarım ve madencilik sektöründeki potansiyelin enerji pazarında harekete geçirilmesine katkıda bulunmaktır.

Kanun tasarısı taslağının temel ilkeleri;

Yeni ve yenilenebilir kaynak kullanımının ülke düzeyinde yaygınlaştırılmasında ve bu kaynakların verimli kullanılmasında toplumsal maliyetleri dikkate alan bir fiyat mekanizması ile serbest pazar gelişimini engellemeyen stratejik bakış ve tedbirlere öncelik vermek. Yaygınlaştırma sürecinde temiz çevre gerekleri doğrultusunda bu kaynakların kullanımının artırılması için gerekli maliyetler öncelikle çevreyi kirletenler tarafından ödenmesini sağlamak. Kaynakların yönlendirilmesinde, ulusal teknoloji düzeyini yükseltici AR-GE çalışmalarının desteklenmesine ve yerli üretim imkanlarının artırılmasına öncelik tanınmaktadır.

Kanun tasarısı taslağının temel stratejileri ise;

Yenilenebilir kaynak alanlarının belirlenmesi, korunması ve bu alanlarda azami yararlanmanın temini.

Yenilenebilir kaynaklı elektrik üretiminin rekabet ortamında ve geçici süreyle teşvik primi uygulaması ve perakende satış lisansına sahip kişilere alım yükümlülüğü getirilmesi.

Yenilenebilir enerji yatırımlarının teşvik edilmesi.

Gerçek veya tüzel kişilerin 250 kW' a kadar sadece kendi ihtiyaçlarını karşılamak üzere yenilenebilir kaynaklı elektrik üretimlerinin teşvik edilmesi,

Yenilenebilir enerji sanayisinin teşviki ve AR-GE projelerinin desteklenmesidir.

11. TÜRKİYEDE YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAKLARI İLE İLGİLİ YASAL DÜZENLEMELER

Elektrik enerjisi sadece, doğal tekel niteliği gösteren iletim ve bölgesel tekel niteliği gösteren dağıtım sistemleri üzerinden taşınabilmektedir. Bu nedenle bu sektörde piyasa tümüyle serbestleşse bile, üretim ve ticaret faaliyetlerinin eşit taraflar arasında ayırım gözetilmeksizin sürdürülebilmesi için iletim ve dağıtım faaliyetlerinin düzenlenme ihtiyacı devam edecektir.

Kamu ve özel sektör arasında ayırım yapılamaz. Bir diğer ifadeyle serbest piyasa kuralları sadece özel sektör için uygulanabilir değildir. Elektrik Piyasası Kanunu özel sektör ağırlığının söz konusu olduğu bir piyasayı öngörmektedir. Ancak yine Kanun, bu hedef tamamen gerçekleşinceye kadar özel ya da kamu ayırımı yapılmaksızın, aynı düzenleme çatısı altında serbest piyasa uygulamalarının sürdürülmesini de öngörmektedir. Unutulmamalıdır ki; kamu tekelinin düzenlenemediği bir ortamda, özel tekel de düzenlenemez³⁷.

Özelleştirilmesi konusunda arzu edilen ilerleme kaydedilememiştir. Kamuoyunun görüş ve önerilerinin de alındığı bir çerçevede gerçekleştirilecek özelleştirmelerin, elektrik piyasası reformu açısından, serbestleşmenin sağlanabilmesindeki katkısı çok büyük olacaktır.

11.1 Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Teşviki

Bilindiği gibi EPDK' nın kanuni sorumlulukları arasında, "Elektrik enerjisi üretiminde çevresel etkiler nedeniyle yenilenebilir ve yerli enerji kaynaklarının kullanımını özendirerek tedbirleri almak ve bu konuda teşvik uygulamaları için ilgili kurum ve

³⁷ Elektrik Piyasası Kanunu.

kuruluşlar nezdinde girişimde bulunmak" görevleri de yer almaktadır. Bu görev kapsamında bugüne kadar Kurul tarafından kanun çerçevesinde yapılan düzenlemeler aşağıdadır; Yenilenebilir enerji kaynaklarına dayalı üretim tesisi kurmak üzere lisans almak için başvuruda bulunan tüzel kişilerden lisans alma bedelinin yüzde biri dışında kalan tutarı tahsil edilmemektedir. Yenilenebilir enerji kaynaklarına dayalı üretim tesisleri için ilgili lisanslara derç edilen tesis tamamlanma tarihini izleyen ilk sekiz yıl süresince yıllık lisans bedeli alınmamaktadır.

Yenilenebilir enerji kaynaklarına dayalı üretim tesislerine, TEİAŞ ve ya dağıtım lisansı sahibi tüzel kişiler tarafından, sisteme bağlantı yapılmasında öncelik tanınmaktadır.

- 1) Elektrik enerjisi sektöründe yeniden yapılanma.
- 2) Perakende satış lisansı sahibi tüzel kişiler; serbest olmayan tüketicilere satış amacıyla yapılan elektrik enerjisi alımlarında, yenilenebilir enerji kaynaklarına dayalı bir üretim tesisinde üretilen elektrik enerjisi satış fiyatı, Türkiye Elektrik Ticaret ve Taahhüt Anonim Şirketinin toptan satış fiyatından düşük veya eşit olduğu ve daha ucuz bir başka tedarik kaynağı bulunmadığı takdirde, öncelikli olarak yenilenebilir enerji kaynaklarına dayalı üretim tesisinde üretilen elektrik enerjisini satın almakla yükümlü kılınmıştır.
- 3) Yenilenebilir enerji kaynaklarına dayalı üretim tesisleri, yük alma ve yük atma tekliflerini Piyasa Mali Uzlaştırma Merkezine vermekten ve Ulusal Yük Dağıtım Merkezi tarafından verilecek yük alma ve yük atma talimatlarına uygun hareket etmekten muaf tutulmuşlardır.
- 4) Ürettikleri elektrik enerjisini toptan satış ve perakende satış lisansı sahibi tüzel kişilere satan rüzgar enerjisine dayalı üretim tesisleri ile kanal tipi hidroelektrik üretim tesislerine, Dengeleme ve Uzlaştırma Yönetmeliği yürürlüğe girene kadar mali uzlaştırmaya tabi tutulmayacaklardır.
- 5) Müşterilerine taahhütte bulunabilmelerini sağlamak üzere, özel sektör toptan satış şirketlerinden yıllık ortalama üretimleri kadar elektrik enerjisi satın almalarına olanak sağlanmıştır.

Bugüne kadar Kurumumuza yapılan yenilenebilir enerji kaynaklarına dayalı yeni lisans başvurularından 185 MW kurulu güçte 6 adet rüzgar ve 15 MW kurulu güçte 2 adet jeotermal üretim tesisi için lisans verilmiştir.

Rüzgar enerjisine dayalı 860 MW kurulu güçte 25 üretim tesisi için ise lisans verilmesine ilişkin uygun bulma kararı alınmıştır. Böylece yeni lisans verilen ve lisans verilmesi uygun bulunan yenilenebilir tesislerin toplam kurulu gücü 1000 MW' ı aşmaktadır. Ayrıca, 3155 MW kurulu güçte 88 adet başvuru Kurumumuz tarafından inceleme ve değerlendirmeye alınmıştır.

Kurumumuz dünyadaki gelişmeleri de çok yakından takip ederek, Elektrik Piyasası Kanunu hükümleri çerçevesinde yenilenebilir kaynaklara dayalı üretim tesislerini desteklemeyi sürdürecektir. Diğer taraftan; Elektrik Piyasası Kanununun temel yaklaşımları ile çelişmeyecek bir anlayışla yenilenebilir enerji kaynaklarının mali anlamda teşviki için gerekli yasal altyapı, bir diğer deyişle hazırlanacak bir "Yenilenebilir Enerji Kaynakları Kanunu", bu kaynaklara dayalı üretimin arzu edilen seviyeye yükselmesinde lokomotif görevi göreceklerdir.

12. TÜRKiYE RÜZGAR GÜNEŞ HARİTASI

Ek olarak verilmiştir.



13. MARMARA ADASI HARİTASI

Ek olarak verilmiştir.



15. MARMARADA YENİLENEBİLİR ENERJİ SİSTEMLERİ İLE ELEKTRİK KESİNTİLERİNİN ORTADAN KALKMASINDAN SAĞLANACAK KAZANÇ

Tablo 15.1. Marmara ve Avşa Ada'ları Şebeke Arıza ve Elektrik Kesintileri

| İLÇELER | MARMARA İLÇESİ | | AVŞA İLÇESİ | |
|---------|------------------|--------------------|------------------|--------------------|
| | ŞEBEKE ARIZALARI | ELEKTRİK KESİNTİSİ | ŞEBEKE ARIZALARI | ELEKTRİK KESİNTİSİ |
| OCAK | 47 | 37 | 42 | 41 |
| ŞUBAT | 35 | 24 | 137 | 49 |
| MART | 29 | 14 | 46 | 10 |
| NİSAN | 37 | 8 | 62 | 7 |
| MAYIS | 19 | 5 | 12 | 9 |
| HAZİRAN | 14 | 22 | 17 | 5 |
| TEMMUZ | 40 | 5 | 59 | 20 |
| AĞUSTOS | 42 | 17 | 30 | 10 |
| EYLÜL | 22 | 14 | 12 | 9 |
| EKİM | 123 | 31 | 11 | 4 |
| KASIM | 81 | 48 | 13 | 6 |
| ARALIK | 77 | 38 | 14 | 8 |
| TOPLAM | 566 | 263 | 455 | 178 |

16. BULANIK MANTIK

16.1 Birinci Bölüm Belirsizlik Kavramları

16.1.1 Giriş

Her insan günlük hayatında kesin olarak bilinemeyen, bazen de önceden sanki kesinmiş gibi düşünülen, ama sonuçta kesinlik arz etmeyen durumlarla karşılaşır. Bu durumların örgün (sistemik) bir şekilde önceden planlanarak sayısal öngörülerinin yapılması ancak bir takım kabul ve varsayımlardan sonra mümkün olabilmektedir. Şimdiye kadar yapılan mühendislik araştırmalarında ve modellemelerinde bu varsayım ile kabul ve kavramlara kesinlik kazandırmak için değişik çalışmalarda bulunulmuştur. Halbuki, büyük ölçeklerden küçük ölçeklere doğru geçildikçe incelenen olayların kesinlikten uzaklaşarak belirsizlikler içeren yönere doğru gitmeleri söz konusudur. Mesela, çok uzakta bulunan bir cisme bakıldığında bunun nokta şeklinde algılanması onun boyutsuz ve şekilsiz olduğu sonucuna varmamıza sebep olur. Bu cisim bize yaklaştıkça bir boyutludan önce tepsi gibi iki daha sonra da küre gibi sanki üç boyutlu hale dönüşür. Böylece, boyutlar arasında kesin bir geçişten ziyade tedricen bir değişimin olduğuna akıl ile varılabilir. Zaten son zamanlarda geliştirilen fractal (kesikli) geometride boyutlar ondalık sayıdır. Doğanın geometrisi denilen kesikli geometri belirsiz ve geliş güzel şekillerin incelenmesine yarar³⁸.

Gerçek dünya karmaşıktır. Bu karmaşıklık genel olarak belirsizlik, kesin düşünceden yoksunluk ve karar verilemeyiştten kabaklanır. Birçok sosyal, iktisadi ve teknik konularda insan düşüncesinin tam anlamı ile olgunlaşmamış oluştundan dolayı belirsizlikler her zaman bulunur, İnsan tarafından geliştirilmiş olan bilgisayarlar, bu türlü belirsizlikleri işleyemezler ve çalışmaları için sayısal bilgiler gereklidir. Gerçek bir olayın kavranılması insan bilgisinin yetersizliği sebebiyle tam anlamı ile mümkün olamadığından, insan, düşünce sisteminde ve

³⁸ ŞEN, Z., 2001. Bulanık Mantık ve Modelleme İlkeleri. Bilge Kültür Sanat, 9-27, İstanbul

zihninde bu gibi olayları yaklaşık olarak canlandırarak yorumlarda bulunur. Bilgisayarlardan farklı olarak insanın yaklaşık düşünme..oldukça yetersiz, eksik ve belirsizlik içeren veri ve bilgi ile işlem yapabilme yeteneği vardır. Genel olarak, değişik biçimlerde ortaya çıkan karmaşıklık ve belirsizlik gibi tam ve kesin olmayan bilgi kaynaklarına bulanık (fuzzy) kaynaklar adı verilir. Zadeh tarafından gerçek dünya sorunları ne kadar yakından incelenmeye alınırsa, çözümün daha elverişli bulanık hale geleceği ifade edilmiştir (1968). Çünkü çok fazla olan bilgi kaynaklarının tümünü insan aynı anda ve etkileşimli olarak kavrayamaz ve bunlardan kesin sonuçlar çıkaramaz. Burada bilgi kaynaklarının temel ve kesin bilgilere ilave olarak, özellikle sözel olan bilgileri de ihtiva ettiği vurgulanmalıdır. İnsan sözel düşünebildiğine ve bildiklerini başkalarına sözel ifadelerle aktarabildiğine göre bu ifadelerin kesin olması beklenemez.

Bir sistem hakkında ne kadar fazla öğrenerek bilgi sahibi olursak, onu o kadar daha iyi anlayabiliriz ve onun hakkındaki karmaşıklıklar da o derece azalır; fakat tamamen yok olmaz. İncelenen sistemlerin karmaşıklığı, az veya yeterli miktarda veri bulunmazsa, bulanıktık o kadar etkili olacaktır. Bu sistemlerin çözümlerinin araştırılmasında bulanık olan girdi ve çıktı bilgilerinden, bulanık mantık kurallarının kullanılması ile anlamlı ve yararlı çözüm çıkarımlarının yapılması yoluna gidilebilir. Bulanık ilkeler hakkında ilk bilgiler, Azerbaycan asıllı Lütfü Askerzâde (Zadeh, J 965) tarafından literatüre mal edilmesine karşılık, bu fikirler Batı dünyasında şüphe ile karşılanmış ve oldukça yoğun tenkit almıştır. Ancak, 1970 yıllarından sonra Doğu dünyasında ve özellikle de Japonya' da bulanık mantık ve sistem kavramlarına önem verilmiştir. Bunların, teknolojik cihaz yapım ve işleyişinde kullanılması bugün bütün dünyada yaygın hale gelmiştir. Batıda gecikmenin ana sebebi Batı kültürünün temelinde ikili mantık, yani Aristo mantığının yatması ve olaylara evet-hayır, beyaz-siyah, kurak-sulak, artı-eksi, 0-1 vb. gibi ikili esasta yaklaşılmasıdır. Bu iki değer arasında başka seçeneklere kesin değil düşüncesi ile hiç yer verilmezdi. Batıda bulanık (fuzzy) kelimesi güvensizliği ifade eder. Doğu'da ise bu güvensizlikte bile güzelliklerin bulunabileceği düşüncesi vardır. Örneğin, insanlar arasındaki gerekli diyalogun bile sağlanması bu tür bulanık (kesin olmayan, oldukça kişisel) görüşlere bağlıdır. 1965 yılında Lütfü (Lotfi) Askerzâde (Zadeh) tarafından ortaya atılan bulanık küme, mantık ve sistem kavramları bu araştırmacının uzun yıllar boyunca kontrol alanında

çalışması, istediği kontrolü elde edebilmesi için fazlaca doğrusal olmayan denklemlerin işin içine girmesi; yöntemin karmaşıklaşması ve çözümün zorlaşması neticesinde ortaya çıkmıştır. Bulanık kavramların ortaya atılması ile beraber bilimsel çalışmalarda ve literatürde bazı enteresan durumlar ortaya çıkmıştır. Bazı araştırmacılar bulanıklık fikrini benimseyerek bu konuda çalışmayı teşvik etmiş, ama büyük bir çoğunluk da karşı görüşte olmuştur. Bu ikinci grup, fuzzyfication yani bulanıklaştırmanın kesin olan bilimsel ilkelere uymadığını ve hatta bilime karşı geldiğini ileriye sürmüştür. Özellikle, ihtimaller teorisi ve istatistik gibi zaten belirsizlikleri konu edinen daha da belirsiz bilim dalları bulunduğundan, bu konularda çalışan araştırmacılar, bulanık sistemlere açık biçimde karşı çıkmışlardır. Bulanık yöntemlerin yapacağı her türlü hesaplamanın, ihtimal ve istatistik hesaplamalarla yapılabileceğini ileriye sürmüşlerdir. Hatta, bu yöntemlerin bulanık sistemlerden çok daha iyi sonuçlar verdiğini iddia etmişlerdir, ilk ortaya atıldığı zamanlarda, bulanık sistemlerin doğrudan uygulaması olmadığından, yapılan tartışmalar daha ziyade felsefik seviyede kalmış ve bunun sonucunda daha kuvvetli felsefi ve teorik temelleri olan ihtimaller teorisi ve istatistik yöntemleri ağır basmıştır. Ancak, burada gözden kaçan basit bir nokta, sözel bilgilerin bulunması halinde istatistiğin fazlaca işe yaramadığıdır. Her ne kadar Bayesian teorisi gibi bir istatistik yöntem ile sözel bazı ifadelerin hesaplamalarda kullanılması mümkün ise de, bu yöntemlerin işleyişlerindeki bazı temci kabuller (normal dağılmış olmak, doğrusal olmak gibi) pratikte gerçekleşmemektedir (Şen, 2000). Bu sebeplerden, bulanık (fuzzy) sistemler dünyadaki hemen her araştırma merkezinde fazlaca rağbet görmemiştir. Özellikle de. Batı' da (Avrupa ve Amerika) bu kavramlar nerede ise tamamen ihmal edilmiş, hoş karşılanmamıştır.

Bulanık kavram ve sistemlerin dünyanın değişik araştırma merkezlerinde dikkat kazanması 1975 yılında Mamdani ve Assilian tarafından yapılan gerçek bir kontrol uygulaması ile olmuştur. Bu araştırmacılar ilk defa bir buhar makinası kontrolünün bulanık sistem ile modellenmesini başarmıştır. Bu ön çalışmadan, bulanık sistemlerle çalışmanın ne kadar kolay ama sonuçlarının da ne kadar etkili olduğu anlaşılmıştır. Daha sonraki yıllarda bulanık sistem uygulaması bir çimento fabrikasının işletilmesi ve kontrolü için yapılmış; artık bulanık kavramlar dünyanın birçok yerinde yavaş yavaş kullanılmaya başlanmıştır. Bu faaliyet, Batı'da çok yavaş

olurken, Doğuda ve özellikle de Japonya, Singapur, Kore ve Malezya'da kendisini daha fazla göstermiştir. Teknolojiye duyarlı olan Japon mühendisleri bulanık kontrol birimlerini kurmanın ne kadar kolay olduğunu görerek, bunları birçok cihazın yapımında kullanmaya başlamışlardır. Müteakip yıllarda, bilhassa 1980'den sonra bulanık (fuzzy) sistemin elektrikli süpürgeler, çamaşır makinaları asansörler, metro ve şirket işletimi gibi konularda kullanılmasında patlama olmuştur. Son yıllarda, birçok mühendislik dallarında, veri tabanlarının sözelleştirilmesinde, tele sekreterlerin cevaplamasında, ve birçok konularda bulanık mantık, bütün dünyada kullanılır hale gelmiştir. Hele değişik bilim ve mühendislik konularını yayınlayan uluslararası dergilere girildiğinde, hemen her mühendislik konusunda ve teknolojik çalışmalarda artık fuzzy (bulanık) sistem kontrollerinin ve hesaplamalarının yaygınlaştığı görülmektedir. Mantık, sistem, küme vb için bulanıklık, belirsizliğin bir ifadesi olarak karşımıza çıkar. Geçmişte, belirsizliklerin işlenmesi ve anlamlı sonuçlara varılabilmesi için ihtimaller teorisi kullanılmıştır. Matematik ve mühendislikte bu teori belirsizlik durumlarında istatistik yöntemlerle beraber kullanılır. Bu nedenle de, bütün belirsizliklerin rastgele (random) karakterde olduğu kavramı yaygınlaşmıştır. Rastgeleliğin en önemli özelliği, sonuçların ortaya çıkmasında tamamen şans olayının rol oynaması ve gerekli öngörülerin ve tahminlerin kesin bir doğrulukla önceden yapılamamasıdır. Ancak, bilinen belirsizliklerin hepsi rastgele karakterde değildir. Günlük hayatta karşılaşılan belirsizliklerin çoğunun rastgele olmadığı kolayca anlaşılabilir. Rastgele karakterde olmayan olaylar için., örneğin, sözel belirsizlikler halinde inceleme ve sonuç çıkarma işlemlerinde ihtimaller hesabı ve istatistik gibi sayısal belirsizlikleri gerektiren yöntemler (metodolojiler) kullanılamaz.

Etrafımızda ilgimizi çeken birçok sorunu, sayısal bilgiden ziyade, çok kere kendi görüş, değer yargısı, takdir ve düşüncelerimizi sözel olarak ifade ederek inceler ve yorumlarız. Bu ifadelerin anlamlı olmaları ve bankalarına iletile-bılıncsi için mutlaka her insanın en az bir tane dile (ana dil) ihtiyacı vardır. Dil ne kadar kesin olmayan kelime ve cümleleri ihtiva etse bile, insanın iletişim kurmasında ve bilgi akışında en etkin olan bir vasıtaadır. Dildeki belirsizliklere rağmen, insanoğlu onunla birbirini kolayca anlayabilmektedir. İnsanların konuşa konuşa anlaşabileceği ve karşılıklı diyaloga varabileceğini hepimiz biliriz.

Kültürümüzdeki "insanlar konuşa konuşa, hayvanlar koklaşa koklaşa anlaşıır" sözü buna bir esas teşkil eder. İşte böyle bir anlayış için gerekli olan konuşmalar arasında belirsizlik içeren birçok kelime bulunmaktadır. Bunu anlamak için okuyucunun bir arkadaşı ile konuştuğu cümleleri yazarak içlerinde bulunabilecek belirsizlik ifade eden kelimelere bakması yeterlidir. Örneğin, 'hava sıcak' denildiğinde herkes, kesin olarak hava kelimesinin günlük hayattaki kullanımını anlamaktadır, Ancak 'sıcak' kelimesinin ifade ettiği anlam izafî (göreceli) olarak birbirinden farklı olabilir. Kutuplarda bulunan bir kişinin sıcak için 15° C' yi algılamasına mukabil, ekvator civarındaki bir kişi için bu 35° C' yi bulabilir. Arada birçok kişinin görüşü olarak başka dereceler de bulunur. Böylece 'sıcak' kelimesinin altında, insanların da ima ettiği sayısal anlayışın bir sonucu olarak belirsiz bir durum vardır. Bu rastgele değildir, ancak belirsizdir ve bu şekilde kelimelerin ima ettikleri belirsizliklere bulanıklık (fuzzy) denir. Burada hemen dikkat etmemiz gerekli bir nokta, sadece 'sıcak' kelimesinin ne kadar fazla bir sayısal dereceler topluluğunu temsil ettiğiidir. İşte bu gibi sayısal topluluklara ileriki bölümlerde küme adı verilecektir. Bulanık kümenin ne olduğu belki bu kısa açıklama ile anlaşılmıştır. Bazı insanların sıcaklığı 15 C, bazılarının ise 35 C gibi oldukça farklı sayısal biçimde algılamasına karşılık, bu insanlar arasında bir ihtilaf bulunmaz. İşte bulanık mantığın güzelliklerinden bir tanesi de budur. Ancak Aristo mantığı geçerli sayılsa da olsa idi, bu iki gurup insan arasında sürekli anlaşmazlıklar bulunacaktı. Çünkü, Aristo mantığında kesin olarak sıcak veya soğuktan biri vardır. Böylece, bulanık mantığın sayılardan ziyade sözel kelimeleri esas aldığı da anlaşılmış olmaktadır. Bugün okuduğunuz herhangi bir kitap, dergi veya gazeteden birkaç sayfa olarak belirsizlik ifade eden kelimelerin altlarını çizerseniz, günlük hayatınızda ne kadar anlamı belirsiz (bulanık) kelimeler kullandığınızı görürsünüz.

Bulanık mantığın en geçerli olduğu iki durumdan ilki, incelenen olayın çok karmaşık olması ve bununla ilgili yeterli bilginin bulunmaması durumunda kişilerin görüş ve değer yargılarına yer verilmesi, ikincisi ise insan kavrayışlarına ve karar vermesine ihtiyaç gösteren hallerdir. Bulanık mantıktan karmaşık da olsa, karşılaşılan her türlü sorunun çözülebileceği anlamı çıkarılmamalıdır Ancak, en azından insan düşüncesinin incelenen olayla ilgili olarak bazı sözel çıkarımlarda bulunması dolayısı ile, en azından, daha iyi anlaşılabilceği sonucuna varılabilir.

İnsanın fizik olayları hakkındaki bilgi ve yorumlarının çoğu kişisel görüşleri şeklinde ortaya çıkar. Bu bakımdan insan düşüncesinde sayısal olmasa bile belirsizlik, faydalı bir bilgi kaynağıdır. İşte bu tür bilgi kaynaklarının, olayların incelenmesinde örgün bir biçimde kullanılmasına bulanık mantık ilkeleri yardımcı olacaktır. Mühendislik modellemelerinde kesinliğin kazanılmasına uğraşılması durumunda maliyetlerin artması ve zamanın uzaması söz konusudur. Çünkü maliyetle kesinlik (prezisyon) arasında doğru oranlı bulunur. Ancak olayın bulanık mantık ile incelenmesinde araştırmacı veya mühendisin her şeyden önce yapacağı çıkarımların belirli tolerans sınırları içinde kalmasına önceden karar vermesi gerekir. Yüksek kesinlik sadece yüksek maliyetlere değil, aynı zamanda, sorunun çözülmesinin çok karmaşıklaşmasına da sebep olur. Bu durumu açıklayabilmek için değişik şehirlerarasında gezerek kazancını temin etmeye çalışan bir seyyar satıcıyı örnek alalım. Bu satıcı değişik şehirlerarasındaki gezisini optimize etmeye çalışsın. Az sayıda şehir durumunda mümkün olan tüm seçeneklerin düşünülmesi ile en kısa mesafe sorunu kesin olarak çözülebilir. Halbuki, fazla sayıda şehir arasında gezme durumunda en kısa yolun tespit edilmesi günümüzde mevcut olan bilgisayar zamanının yetmeyeceği sınırlara ulaşır.

Mesela, 100 tane şehir arasında gezme imkânı olması durumunda $100 \times 99 \times 98 \times \dots \times 2 \times 1$ yani aşağı yukarı 10^{20} tane yol bulunur. Dünya Ömrünün 10^{17} saniye civarında olduğu düşünülürse, bu sayıdaki gezme seçeneğinin dünya ömrü boyunca bile kesinlikle çözülemeyeceği sonucuna varılabilir. Bir sorunun çözümlenmesine başlamadan önce, mühendis toplayabildiği kadar sayısal ve/veya sözel verileri göz önünde tutarak çözüm için en uygun yöntem hakkında karar vermelidir. Bu arada bulanık yöntemlerin sözel verileri işlemekte etkin olduğu da unutulmamalıdır. Günlük misallerden bir tanesi, bir annenin çocuğuna fırına koyduğu keklerin pişmesi durumunda fırını kapatmasını söylemesi için ya sayısal olarak sıcaklığın hangi dereceye kadar devam etmesini veya daha basit olarak keklerin üstünün açık kahverengi olmaya başlaması halinde kapatmasını söyleyebilir. Bunlardan ikinci tür bilgi bulanıktır ve sayısal yönleri ima etmesine rağmen kesinlikle bilinmemektedir. İkinci tür sözel bilginin ise yani renk bilgisinin birçok kişi tarafından tercih edileceği gerçektir. O halde, böyle bilgileri bilgisayarlara tanıtarak bulanık işlemlerin yapılmasını temin etmek yoluna gidilmelidir. İşte bu yoldaki en geçerli yöntem bilim (metodoloji) bulanık küme, mantık ve sistemlerdir. Yukarıdaki kek

örneğinde, sıcaklığın 60 C olması gibi bir bilgiyi uygulamak oldukça zordur, fakat keklerin üzerindeki rengin kahverengiye dönüşmesiyle pişmenin kıvamında olduğunu çocuk bile anlar.

16.1.2 Belirsizlik yöntemleri

Yukarıda kısaca değinilen belirsizlik durumlarının doğal, sosyal, toplum ve fizik olayların hepsinde bulunduğu bugün bilimsel olarak anlaşılmıştır. Örneğin, matematik hesaplamaların sadece belirgin (deterministik) yöntemlerle yapılmasının yetersiz olduğu, nasıl 17. yüzyılda şans oyunlarının hesaplanmasının düşünülmesi ile anlaşıldı ise, daha sonraki yüzyıllarda bilimsel çalışmalar belirgin yönere gideceğine, belirsizlik yöntemlerinin gelişmesi ve hesaplara girmesi yönünde olmuştur. Mesela, sanayi devriminin 18. yüzyılda gelişmesi ile elde edilen bilgi ve bilimsel sorgulamalar sonunda ortaya çıkan, termodinamik, yani ısı iletimi olayının moleküler seviyede tamamen belirsizlik yöntemleri ile çözümlenebileceği anlaşılmış ve belirsizliğin bilimsel ölçütü olarak entropi kavramı ortaya çıkmıştır. Bunun kısaca anlamı, doğal ve fizik olayların sürekli olarak belirsizliklerinin arttığı ve asla azalmadığı yani bir düzensizliğe doğru gelişme bulunduğudür. Bir bakıma entropi belirsizlik ve düzensizliğin ölçüsüdür. Buradan anlaşılmaktadır ki, belirsizliğin ve düzensizliğin arttığı bir dünyada doğal olarak bunları nesnel (objektif) biçimlerde kontrol edebilecek belirsizlik yöntemlerine önem verilmelidir³⁹.

Aslında günlük hayatta evdeki hesabın çarşıya uymaması da insanın belirsizlik ortamında yaşadığının bir kanıtıdır. Belirsizlik yöntemlerinin son yüzyılda daha da gelişmesine rağmen, gecikmiş olarak kullanılması, insanların belirsiz sıfatı olan yöntemlerin başlangıçta öğrenilmesinin, uygulanmasının ve sonuca gidildiği takdirde bulunan sonucun tam güvenilir olmamasının verdiği kuşku ve isteksizlik nedeni ile olmuştur. Genel olarak, bir çok toplumda belirsizlik ilkelerine ve özellikle de ihtimal (olasılık) sıfatı taşıyan sözlere güven duyulmamıştır. Sonradan belirsizlik yöntemlerinin verdiği sonuçların daha genel olduğu, bunların ortalamalarının

³⁹ SCHMITZ, K., TERHORST, W., VOSS, A., 2000. Simulation Techniques in Energy Analysis. STE, 112-123, Germany.

belirgin yöntemlerle bulunan sonuçları da verdiği anlaşılmıştır. Böylece belirgin yöntemlerin verdiği sonuca varıldıktan sonra, o sonucun etrafında ne kadarlık bir hata ile neticeye güvenilebileceğinin de hesaplanmasının mümkün olduğu nesnel (objektif) bir matematik dil ile ifade edilebilmiştir.

Son yüzyıl içinde yapılan bilimsel devrimlerin hemen hepsi belirsizlik ilkelerini ve bunların sonucunda geliştirilen yöntemleri içermektedir. Örneğin, daha 20. yüzyılın başında fizikçiler bundan sonra fizikte yapılacak birşey kalmadı, herşey belirlilik yöntemleri olan Newton ilke ve kanunları ile izah edilebilir diyerek bir genelleme yapmak istedikleri sırada, molekül ve atomun alt yapılarıyla uğraşan fizikçilerin belirgin yöntemlerin bu olayları inceleyemeyeceği sonucuna varmaları, onlar arasında bir huzursuzluğa neden olmuştur. Takip eden yıllarda alışlagelmiş klasik, yani Newton fiziğini devrim yaparak yıkan Kuantum fiziği ortaya çıkmıştır. Hele 1927 yılında fizikçi Heisenberg'in insanlık var oldukça aynı zamanda, konum ve hız ölçümünü hatasız olarak yapamayacağı genellemesi ile fizik belirgin ortamdan belirsizlik ortamına, oradan da ihtimaller ve istatistik gibi belirsizlik yöntemlerinden yararlanan kuantum fiziği haline gelmiş ve bugünkü teknolojik patlamalara sebep olmuştur.

İnsanların bütün tasarımlarında kullandıkları yaklaşık 2000 yıllık Öklid geometrisi, 1970' li yıllarda yerini artık daha doğal olayların geometrisini yapabilen ve yine belirsizlik ilkelerinden doğal fraktal (kesirli) geometriye bırakmıştır. Öklid geometrisinde noktanın 0, doğrunun 1, yüzeyin 2 ve hacmin 3 boyutlu olduğu varsayılmıştır. Bu varsayımlar birer belirginlik örneğidir. Ancak fraktal geometrisinde belirsizlik işin içine girerek incelenen her şeklin kesirli boyutlarının olabileceğini ileriye sürülmüştür. Mesela, çok girintili çıkıntılı olan Türkiye'nin Ege sahillerinin uzunluğunun 1 boyutunda değil 1.32 gibi kusurlu bir boyuta sahip olabileceği söylenir hale gelmiştir.⁴⁰

Belirgin fizik ve matematik kurallarının bir araya getirilmesi ile elde edilen madde, enerji ve momentumun korunumu ilkeleri ile akışkanlar mekaniğinde ve

⁴⁰ FULLER, ZIMMERMANN, Fuzzy Reas. for Solving Fuzzy Math. Prog. Prob. Germany.

diğer akla gelen her türlü durumda geçerli olan diferansiyel denklemler elde edilmiştir. Aslında bunların çözülmesi ile incelenen olayın gelecek durumlarının tahminleri yapılır. Burada başlangıç ve sınır koşulları için girer. Diferansiyel denklemler çok ideal sınır ve başlangıç koşulları için analitik olarak çözülebilir. Büyük bir kısmının özellikle mühendislik gibi uygulamalı alanlarda kullanılması için çözülmesinde sayısal yöntemler kullanılır. Çözümlerinin belirgin olduğu sanılan bu diferansiyel denklemlerin, çözümlerinin asla kesin olmadığı ve kaotik yani belirsiz çözümler içerdiği son 30 yılda anlaşılmıştır (Lorenz, 1963). Kısaca diferansiyel denklemlerin çözümleri genci olarak acayip fraktal geometrik şekiller üzerinde olur ama, noktasal olarak bunun nerede olacağı kestirilemez.

Bunun için geliştirilen çözümlerinde ihtimaller ve istatistik gibi belirsizlik yöntemlerinden yararlanılır. Son 30 yıla kadar sürekli kullanılan belirgin mantık, ve özellikle de yine 2000 yılı kadar insanların basitçe kullandıkları Aristo mantığı yerine, belirsizlik içeren ve bugün Azerbeycan'lı bilim adamı Lütfü Askerzâde tarafından fuzzy veya türkçe bulanık denilen bir mantık yapısı, değişik teknolojik cihazlarda kullanılır hale gelmiştir. Burada, günlük konuşma dilinde geçen sözel belirsizlikleri de, modelleme veya hesap yapılırken işin içine katması yolu seçilmiştir. Günümüz teknolojisinin, çamaşır makinası, elektrikli süpürgesi, araba, asansör, yapay zekâ, modelleme gibi birçok atılımları son günlerde bulanık mantık yöntemlerinin de kullanılması ile başarabilmektedir.

Bu açıklamalardan sonra belirsizliğin her tarafta ve her şeyde bulunduğu ve bunların nesnel olarak incelenmeleri için bazı teknik, yöntem, algoritma ve yaklaşımların alışıla gelmiş belirgin matematik (diferansiyel denklem, türev) dışında belirsizliği yakalayabilecek ve onu sayısallaştırabilecek kuralları olan bazı bilimsel yöntemlere ihtiyaç olduğu aşikârdır. Bu türlü konular için geçerli olabilecek ihtimaller, istatistik, stokastik, fraktal, kaotik, pertürbasyon, kuantum gibi değişik belirsizlik yöntemleri bulunmaktadır. Ancak bunların en eskisi ve diğerlerinin anlaşılması için gerekli olanı ihtimaller hesabıdır. Bu yöntemler olayın incelenmesinde kuralcı, basitleştirici ve donuk kavramlar olması yerine daha dinamik, belirsiz ve verimli yaklaşım ve görüşlerle yardımcı olmaktadır (Şen, 2000).

16.2 Fuzzy Matematiği

16.2.1 Bulanıklık kavramı (fuzziness)

Bulanık (Fuzzy) küme kuramı belirsiz, kesin olmayan bulanık gözlemler ve kavramlara ait problemlerin çözülebilmesi için geliştirilmiştir. Günlük yaşantımızda genellikle sayılar ve ifadeler yerine sınırları belirsiz sayılar, ifadeler ve nesne sınıfları kullanırız.

"Bulanıklık" terimi sınırları açıkça tanımlanmamış kümeler için ortaya atılmış bir kavramdır⁴¹.

16.2.2 Bulanık mantık (fuzzy logic)

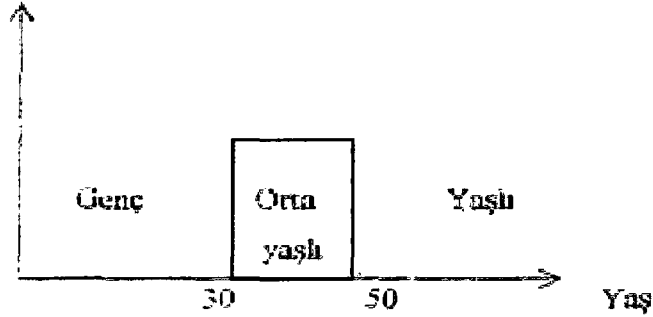
İnsan beyni sayısal bir işlemi birkaç dakikada yapmasına rağmen idrak etmeye ait olayları çok kısa sürede çözebilir. Bilgisayarlar ise sayısal işlemleri çok kısa sürede yapabilmelerine karşın, insanların tecrübeyle kazandığı konularda yetersizdir. İnsan beyni düşünsel ve hesaplamalar yapan bilgisayarlardan farklı olarak sinirsel algılayıcılar vasıtasıyla kazanılmış görelilik olarak sınıflandırılmış bilgileri kullanma temeline dayanır. 1965 yılında Lotfi A. Zadeh tarafından öne sürülen Fuzzy mantık teorisi, düşünsel ve kavramsal işlev ve görelilik sınıflandırılmış üyelik sanıları temeline dayandığından bilgisayarlara ve bilgisayar destekli tasarımlara uygulanabilme açısından günümüzde oldukça değer kazanmıştır.

İngilizce fuzzy kelimesinin sözlük anlamı "bulanık, hayal meyal"dır.

İlk defa Prof. Dr. Zadeh tarafından kullanılan bu terim temelde çok değerli mantık, olasılık kuramı, yapay zeka ve yapay sinir ağları üzerinde oturtulmuş olup; olayların oluşum olasılığından çok oluşum derecesiyle ilgilenen bir kavramı tanımlar. Fuzzy denetim kuramı temelde insan düşünüş tarzını örnek alır. Oldukça kapsamlı ve ayrıntılı bir matematiksel temeli varsa da, ana özellikleri aşağıdaki şekilde açıklanabilir.

⁴¹ ÖZKAN, C., 1999. Fuzzy Linear Program. Bir Üretim Prob. Uygulanması. Marmara Üniv. Sosyal Bil. Ens. Yük. Lis. Tezi, İstanbul.

Geleneksel mantıkta bir kümeyi oluşturan elemanlar keskin (crisp) elemanlar olup bir eleman bir kümenin ya elemanıdır ya da değildir (var veya yok, 0 veya 1). Bu tür

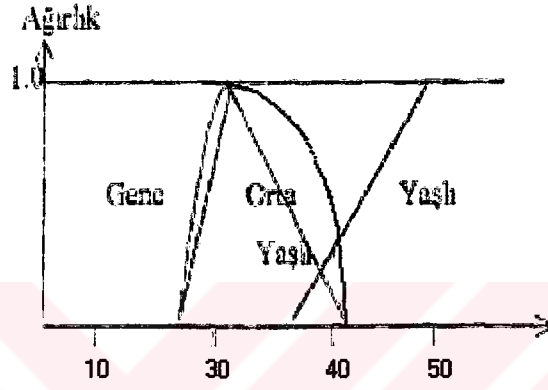


Şekil 16.1. Kesin Kümeler

kümelere keskin kümeler (crisp sets) denir. Bir örnek olarak orta yaşlı kavramını alalım. Eğer 40 yaşlı orta yaş kabul edecek olursak, geleneksel kümelendirmede 30 yaşın altındaki kişiler. Şekil 1' de gösterildiği gibi "genç", 30-50 arası "orta yaşlı", 50 yaşın üstü de "yaşlı" kümelerine sokulabilirler. Dolayısıyla 29.5 yaşındaki birisi "genç" iken 30.5 yaşındaki diğer bir kişi "orta yaşlı" olarak anılabilecektir. Bir endüstriyel denetleyici için bu durumu ele alalım. Eğer bu denetleyicide fiziksel büyüklüklerin dahil olduğu kümeler birbirlerinden böyle keskin çizgilerle ayrılmışlarsa denetim çıktısının da ani değişiklikler göstermesi kaçınılmaz olacaktır. Örneğin soğuk-sıcak sınırının 25°C olduğu bir sayısal açık-kapalı denetleyicide $24,5^{\circ}\text{C}$ soğuk olarak algılanacak, buna karşın $25,5^{\circ}\text{C}$ sıcak olarak ele alınarak denetim çıktısı ani olarak değiştirilebilecek, örneğin buhar vanası, ani olarak kapatılabilecektir.

Yukarıda açıklananlara karşıt olarak fuzzy mantık keskin mantığın açık-kapalı. (soğuk-sıcak, hızlı-yavaş gibi ikili denetin değişkenlerinden oluşan keskin dünyayı, az açık-az kapalı, serin-ılık, biraz hızlı-biraz yavaş gibi gevşek niteliyecilerle yumuşatarak gerçek dünyamıza benzetir. Yani özetle olarak şöyle denilmektedir: Fuzzy mantık, fuzzy küme teorisine dayanan bir matematiksel disiplindir ve doğruluğun ve yanlışlığın derecesini konu alır. İki değerli mantığın oldukça genelleştirilmiş hali olarak da düşünülebilir, öyle ki, doğru ve yanlış arasına kısmen doğru ve kısmen yanlış kavramları da sokularak spektrum

genişletilmiştir. Fuzzy mantık için, matematiğin gerçek dünyaya uyarlanması diyebiliriz. Çünkü gerçek dünyada her an değişen durumlardan değişik sonuçlar çıkabilir ve deneyimlerden yararlanmak gerekir. Bu gerçek dünyaya uyarlamayı yukarıdaki yaş örneğini ele alarak biraz daha açıklayalım. 35 yaşındaki bir insana pek ona yaşlı denemeyeceği gibi o kişi pek genç de sayılmaz. Durumuna göre belki genç tanımı, belki de ona yaşlı tanımı daha uygun düşer. İşte bulanık kümeler, aşağıdaki şekilde gösterildiği gibi böyle esnek bir düşünüşe olanak tanır



Şekil 16.2. Yaşın 3 Gruba Ayrıldığı Bir Fuzzy Kümelenendirme

Kümelerin birbirlerinden keskin çizgilerle ayrılmamış olması, aralarında belirli bir örtüşüm olması. 35 yaşın bir oranda hem orta yaşlı, hem genç olmasına olanak sağlar. Isı denetleyicisi örneğine geri dönersek 20 derecelik bir sıcaklık hem biraz serin hem de biraz sıcak olarak düşünülür. Fuzzy mantık bir kişinin diğeri ile konuşması veya diğeri açıklama yapmasına benzer olarak “soğuk”, “sıcak”, “yüksek”, “alçak” gibi dilsel değişkenleri de kapsar. İkili durumları kullanan (sıcak-soğuk gibi) ikili mantıktan farklı olarak fuzzy mantık ara durumları da (az sıcak - az soğuk gibi) kullanır. Fuzzy mantık kuramı, makinalara insanların verilerini işleyebilme ve onların deneyimlerinden ve öngörülerinden yararlanarak çalışabilme yeteneği verir ve böylece onların kullanıcıya daha yakın olmasını sağlar.

Her dilde olduğu gibi Türkçe’de de eş anlamlı kelimeler bulunmaktadır. Neden eş anlamlı? Eş anlamlı kelimelere ne gerek vardır? Tarihsel olarak bakılırsa dilde her şey mükemmel ve doğal olmaktadır. Özdeş kelimelere ise herhangi bir olayın derecelendirilmiş durumlarını ifade etmek için gerek duyulmuştur. Örneğin muhkem -

kuvvetli - berk - sert - güçlü veya yel - rüzgar - poyraz - lodos - kasırga - meltem gibi dilbilimsel ifadeler aynı olayı ifade etse de anlam derecelerine göre birbirinden ayrılır. Benzeri derece farkı Azerice' de de vardır; uzun, yüksek ve hündür gibi kelimeler kullanımına göre farklılıklar taşımaktadır. Örneğin, yüksek dağ, fakat hündür ağaç. Böylece kelimelerin kullanımına göre hangi nesnenin daha uzun olduğu anlaşılabilir. Dolayısıyla her dilde dereceli ifadelerle gösterilen bir bulanıklık var olmaktadır. Niteliği tam anlaşılamayan, iyi seçilmeyen, açık seçik görünmeyen, net olmayan şekilde tanımlanan Bulanıklık, dereceli üyelik kavramı yardımı ile teknik bilim dünyasına da taşınmıştır. Bulanık kümelerde dereceli üyelik tanımını ilk kez 1965 yılında Kaliforniya Üniversitesi' nden Azeri kökenli Prof. Dr. Lütfü A. Zade (Lotfi Zadeh) yapmıştır.⁴²

Genetik mühendisliğin geliştiği bu zamanlarda bir kaplumbağayı ele alalım. Bu kaplumbağadır klasik kümede 1 değeri alacaktır. Embriyon değişikliğine uğrayarak timsahla bir kaplumbağanın değişiminden oluşan canlıya ise daha çok kaplumbağa diyebiliriz. Bu ise bulanık değere karşılık gelir. Bazı olaylara ve kavramlara ise bulanık mantıkla da karar vermek zordur; örneğin "güzel", "kötülük" vb. Belirli bir anlamda kötülerin genel bir karakteristiği çıkartılabilirse de, iyilerin iyilik derecelerinin belirlenmesi çok daha zordur. Bu, ZB' nün belirlenmesinde, bütün zeka özürülüler basit biçimde sezilmesine rağmen, olağanüstü yeteneklilerin bulunmasının ne derecede zor olduğu biçiminde de yorumlanabilir.

Bulanık kümelere dayalı olan bulanık mantık genelde, insan düşüncesine özdeş işlemlerin gerçekleşmesini sağlamakla, gerçek dünyada sık sık meydana gelen belirsiz ve kesin olmayan verileri modellemede yardımcı olur. Klasik mantıkta bir önerme "doğru" veya "yanlıştır". Fakat gerçek dünyadaki olayların ne derecede iyi veya yanlış olmasının belirlenmesi gerekmektedir. Örneğin 100 C suyun sıcaklığı "sıcak" olarak ifade edilirse 95 C, 80 C lerdeki su için "sıcak değildir" ifadesi bu anlamda doğru olmadığı gibi yanlış da değildir. Bu nedenle önermelerin doğru (1) ve yanlış (0) değerleri arasındaki değerler (az sıcak, ılık, az soğuk, vs.) kullanılarak bulanık küme kavramı ortaya atılmıştır. Bulanık küme teorisi az, sık, orta, düşük, çok, birçok gibi

⁴² GUNGOR, A Fuzzy Outrank. Meth. in Ener. Pol. Plan. Gazi Univ. Fuzzy Sets and Systems, Elsevier, Turkey.

kavramı ortaya atılmıştır. Bulanık küme teorisi az, sık, orta, düşük, çok, birçok gibi dilbilimsel yapıları kullanarak dereceli veri modellemesini gerçekleştirmektedir. Böylece olayların modellenmesinde daha gerçekçi ve doğala yakın sonuçların elde edilmesini sağlar. Kurallar, bulanık sistemin davranışını tanımladığından, bulanık kümeler kendi içerisinde öğrenmektedir.

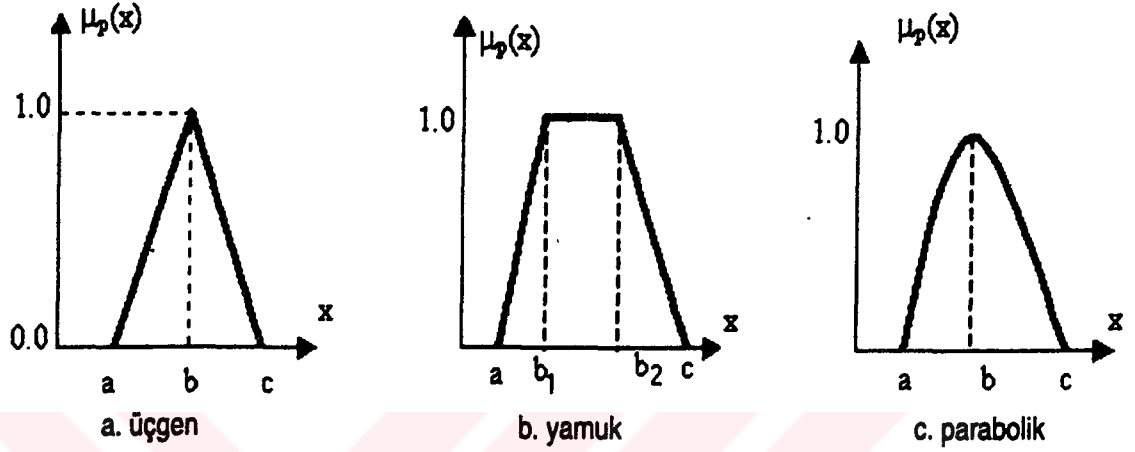
Klasik küme, kümeye kesinlikle ait (üye) veya kesinlikle ait değil (üye değil) biçiminde iki grubun oluşturulması ile anlamlıdır. Klasik kümede üye olanlarla olmayanlar arasında kesin bir fark vardır. Ama genelde kullanılan, " koyu renk", "uzun saçlı", "bulutlu gün" gibi doğal dilde kullanılan bazı terimler bu karakteristiğe uymaz. Bunların sınırları belirsiz görünür ve üye olandan, üye olmayana geçiş kesin biçimde değildir.

Bulanık küme, kesin geçişleri elemine ederek belirsizlik kavramının tanımını yeniden verir ve evrendeki bütün bireylere üyelik derecesi değerini atayarak matematiksel olarak tanımlar. Bu derece, bulanık küme tarafından verilen kavram ile uyumludur ve benzer bir bireyin derecesine uyar. Böylece bireyler, bulanık küme içerisinde üyelik dereceleri tarafından gösterilen daha büyük ve daha küçük değerlere ait olabilirler. Bu üyelik dereceleri [0-1] aralığında gerçek değerler ile ifade edilir. Klasik kümenin karakteristik fonksiyonu, evrensel kümede her bireye ya 1 ya da 0 değerini atar. Bu ise üye olma ve ya olmama anlamındadır. Kümelerdeki her nesne bu kümenin elemanıdır. Kümeler büyük harflerle, elemanlar ise küçük harflerle gösterilir. X evrensel kümesinin her elemanı için üye olduğunun ya da olmadığına saptanması, bu kümenin karakteristiği olan özel bir fonksiyonla gerçekleştirilir. Bir A kümesi için bu fonksiyon, her $x \in X$ için $\mu_A(x)$ değerini aşağıdaki şekilde belirler:

$$\mu_A = \{1 \text{ yalnızca } x \in A; 0 \text{ yalnızca } x \notin A\}$$

Böylece bu fonksiyon, evrensel kümenin elemanlarını 0 ve 1' den oluşan bir kümeye çerçeveler. Bu fonksiyon, elemanın küme içindeki üyelik derecesini veren ve özel bir aralıkta evrensel kümenin elemanlarına değer atayan fonksiyon olarak genelleştirilebilir. Daha büyük değerler, daha yüksek dereceli üyeliğe karşılık koyulurken, daha düşük değerler ise üyelik derecesinin küçük olduğunu göstermektedir. Üstte tanımlanan bu fonksiyona üyelik fonksiyonu, kümeye ise bulanık küme denilir. X bir evrensel küme ise, A bulanık kümesinin üyelik

yöntem bulunmaktadır. En gelişmiş yöntemler uzman tecrübelerinden faydalanarak küme değerlerini noktalı olarak belirlemek ve analitik fonksiyon biçiminde ifade etmektir. Şekil 16.3' de en çok kullanılan üyelik fonksiyonları verilmiştir⁴³. Bu üyelik fonksiyonlarından üçgen biçimi için genel ifadelendirme aşağıda verilmiştir:



$$\mu_p(x) = \begin{cases} 0, & x \leq a \\ (a - x) / (a - b), & a \leq x \leq b \\ (c - x) / (c - b), & b \leq x \leq c \\ 0, & x \geq c \end{cases}$$

Şekil 16.3. Fonksiyon Örnekleri

16.2.3 Fuzzy matematiğinin temel elemanları ve kavramları

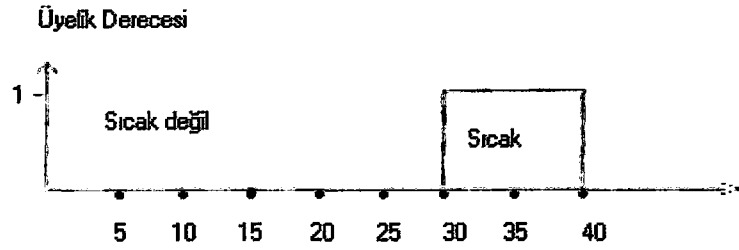
Fuzzy matematiğinin başlıca elemanlarından şöylece bahsedebiliriz; Fuzzy küme dilsel değişkenleri göstermek için kullanılır. Üyelik fonksiyonları bir fuzzy kümesinde (sıcak, yüksek, hızlı) bir fiziksel değişkenin (ısı derecesi, basınç, hız gibi) üyelik değerlerini tanımlamak için kullanılır. Fuzzy işlemci fuzzy ifadeler arasında mantıksal ilişkilere hız verir. Bunlarla EĞER-O HALDE (IF-THEN) türünden çıkarım kuralları, uzman sistemlerde kullanılan yöntemlere benzer

⁴³ ROGNER, H. H., 2000. An Aggregate Macroeconomic Model for the IIASA Set of Energy Models. International Institute for Applied Systems Analysis, 35-39, Laxenburg, Austria

olarak, sembolik olarak (yani dilsel olarak) formüle edilebilir. Fuzzy çıkarım, kuralları göz önüne alarak elimizde olan bilgilerden yeni bilgiler elde etmektir.

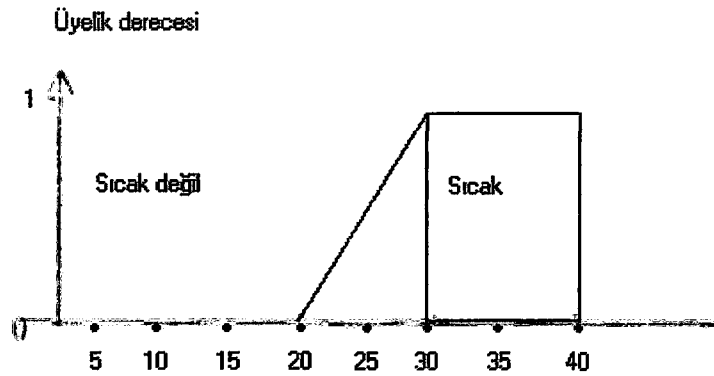
16.2.4 Fuzzy küme teorisi

Klasik küme teorisinde kısmimi üyelik yoktur . Bu demektir ki, bir eleman ya o kümenin elemanıdır yada değildir. Bunu bir şekil üzerinde gösterirsek;⁴⁴



Şekil 16.4 Klasik Küme Teorisi

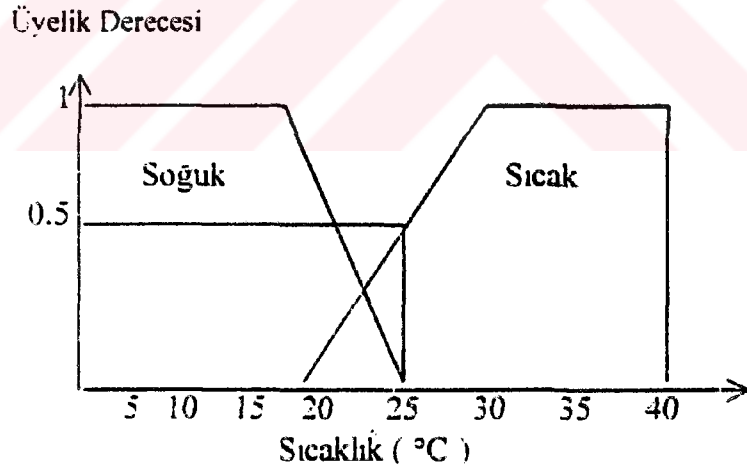
Şekil 16.4' den görüldüğü gibi 30 derecenin altındaki ısı derecelerine sıcak değildir diyoruz. 29 derecelik ısı klasik teoriye göre sıcak değildir. Klasik mantıkta, görüldüğü gibi esnekliği yoktur. Gerçek dünyada ise olaylar belirli bir esneklik içerebilir. Yani sınırlar bu kadar keskin değildir. Fuzzy mantık soğuk-sıcak, hızlı-yavaş, yüksek-alçak gibi ikili değişkenlerden oluşan keskin sınırları, az soğuk-az sıcak, az hızlı-az yavaş, az yüksek-az alçak gibi esnek sınırlara indirger.



Şekil 16.5. Fuzzy Küme Teorisi

⁴⁴ ÖZKAN, C.1999. Fuzzy Lineer Prog. Bir Üret. Prob. Uyg. Mar. Üniv. Sos.Bil. Ens. Yük. Lis. Tezi, İstanbul.

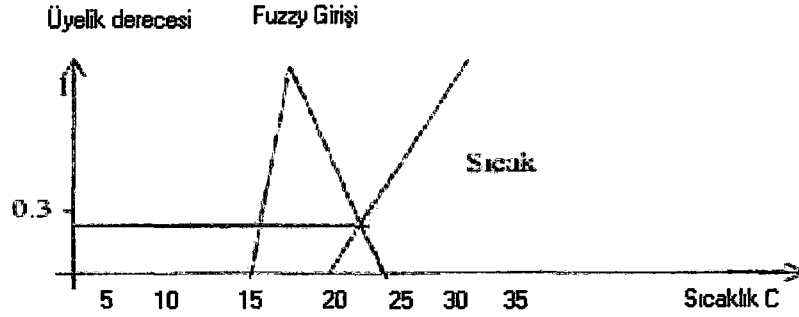
Şekil 16.5 sıcaklık değişkenlerini fuzzy küme teorisinde göstermektedir. Bu sıcaklık değişkenleri gerçek dünya için daha uygundur. 20 ile 40 derece arasındaki ısı değerleri için sıcak fuzzy küme üyelik derecesi belirlenmiş olur. 30 ile 40 derecelik sıcaklıklar maksimum üyelik değeri olan 1' e sahiptirler. 20 derece ise minimum üyelik değeri olan 0' dır. Sıcaklık değerlerinde 30 dereceden 20 dereceye doğru kademelendirilmiş bir azalma vardır. Isı değerleri azaldıkça daha az sıcaklıktan bahsedebiliriz. Şöyleki, 30 derece çok sıcak, 25 derece az sıcak , 20 derece ise artık sıcak sayılmayacaktır. Öyleki 20 derecelik sıcaklık bu fuzzy kümenin elmanı olmayacaktır. Şimdi Fuzzy küme teorisinin daha ileri safhalarından bahsedelim. Şekil 16.6' de fuzzy mantık teorisinin bir adım daha ileri şeması gösterilmektedir. Sıcak fuzzy kümesinin elemanlarının üyelik derecesi 0.5 ve ya daha az olduğunda bu elemanlar, soğuk fuzzy kümesi elemanlığına sahip olurlar Soğuk fuzzy kümesinin elemanlığı azaldıkça artar. Bu durumda 0' dan 15 dereceye kadar olan ısı değerleri oldukça soğuk sayılır. Bunlar en yüksek üyelik değerlerine sahiptirler 15 ile 25 derece arası ise oldukça soğuktan az soğuğa doğru giden üyelik değerlerine sahiptir



Şekil 16.6. Fuzzy Kümede Örtüşüm

20 ile 25 derecelik ısı değerleri arasında ise sıcak ve soğuk fuzzy kümelerinin kesim noktası vardır. Bu durum örtüşüm olarak adlandırılır. Örtüşüm bölgesindeki elemanlar hem sıcak: hem de soğuk fuzzy kümesinin elemanlarıdır. Yani bu bölge sıcak ve soğuk ikileminin ikisine birden sahiptir. Şimdiye kadar verilen örnekler fuzzy olmayan girişler için geçerli olmasına rağmen, bulanık mantık teorisinde bazen

girişler de bulanık olabilir. Bu durumda fuzzy küme üyelik derecesi, fuzzy küme ve fuzzy giriş değeri arasındaki kesişim bölgesinden belirlenir. Bu durum şekil 16.7’de gösterilmiştir ve üyelik derecesi yaklaşık 0,3’ tür.



Şekil 16.7. Fuzzy giriş değişkeninin üyelik derecesi

16.2.5 Fuzzy üyelik fonksiyonları

Fuzzy üyelik fonksiyonları yardımı ile fuzzy üyelik değerleri hesaplanır. Bu hesaplamalarda aşağıdaki üyelik fonksiyonları kullanılır:

- Sinir Ağları
- Genetik Algoritmalar
- Tümevarım fonksiyonları

Sinir ağları ve genetik algoritmalar kısa bir şekilde şöylece özetlenebilir.

16.2.5.1 Sinir ağları

Sinir ağları insan beynindeki sinirlerin çalışma sistemini simüle eden modelleri kullanarak akıllı bir program inşa etmeyi amaçlayan bir tekniktir. Bir sinir dendirit denilen bir çok çıtıktan ve axon denilen bir daldan oluşur. Bir sinir diğer sinirlerle dendiritler vasıtasıyla bağlanır. Farklı sinirlerin dendiritleri bir araya gelerek , mesajların geçtiği "synapses" leri oluşturur. Sinirler impulsları synapsesler yoluyla alır. Kısaca en genel biçimde bir sinir bir takım girdi impulsları alır ve daha sonrada bu inputlara bağlı olarak yine diğer bir elektrik akımı üretir. İnsan beynindeki sinirlerin çalışma prensibi taklit edilerek öğrenen fiziki makineler yapılmıştır. Her bir bilgisayar birimi kendisine gelen girdilere bağlı olarak bazı

fonksiyonları hesaplar ve sonuçları da sistem içinde bağlı olduğu diğer birimlere gönderir. Özetle sinir sistemleri aldıkları verilerin doğasına uyum sağlayarak problemleri çözerler.

16.2.5.2 Genetik algoritmalar

Genetik algoritmalar Darwin'in evrim teorisini kullanırlar. Darwin' in teorisi temelde, bütün yaşayan şeylerin varolmasının "Doğal Seçicilik" kuralına dayandığı gerçeğini vurguluyordu. Darwin aynı zamanda yaşayan şeylerin yeni cinslerinin veya sınıflarının reproduksiyon işlemi, çaprazlama ve varolan organizmalar arasındaki mutasyon ile oluştuğunu vurguluyordu. Evrim teorisindeki bu olgular problemlere daha doğal bir yol ile çözümler aramak için algoritmalara çevrilmişlerdir.

Önce bir problem için farklı çözümler yaratılır, daha sonra bu sonuçların performansları test edilir. Bütün olası sonuçlar içinden belli bir kısmı iyi çözümler olarak seçilir ve diğerleri elenir (Doğal Seçicilik). Seçilen bu çözümler mümkün olan çözümlerin yeni bir jenerasyonunu yaratmak için reproduksiyon işlemi, çaprazlama ve mutasyona uğrattırılır (bunların eski jenerasyona göre daha İyi bir performans göstermesi beklenir). Bu yeni jenerasyon üretme işlemi ve evrimleşmesi, bir jenerasyona yakınsama olana kadar tekrarlanır. Bu tekniğin yararı, araştırmayı normalde beklenen sonuçların çıkacağı dar bir alana sıkıştırmaktan ziyade bütün olası çözümlerin oluşturduğu bir spektrumdan çözüm aranmasıdır. Genetik algoritmalar, neredeyse sonsuz sayıda mümkün çözümden tek bir çözüme ulaşmak için zekice bir araştırma denerler. Genetik bir algortmada problemin parametre kümesi bitlerin sonlu sayıda dizileri şeklinde kodlanır. Bütün genetik algoritmalar 3 ana işlem içerir. İşlemlerin üçüde genetikteki adalarıyla benzer şekilde kullanılan reproduksiyon, çaprazlama, ve mutasyondur. Genetik algoritmalar üyelik fonksiyonlarının hesaplanmasında kullanılabilir. Bir sistem için verilen fonksiyonel bir göndermede, bir problem için tanımlanan çeşitli fuzzy değişkenleri için bazı üyelik fonksiyonları ve bunların şekilleri varsayılır. Bu üyelik fonksiyonları daha sonra sıralanacak olan bit dizileri şeklinde kodlanır. Üyelik fonksiyonlarının (fonksiyonel göndermeyi

tanımlayan parametreler) her kümesinin uyumluluğunu değerlendirmek için bir değerlendirme (uyum) fonksiyonu kullanılır.

16.2.6 Fuzzy değerlerden normal değerlere dönüşümler

Yapılan çalışmalar sonucu elde edilen fuzzy değerleri, kesin karar verme aşamasında kullanılamaz. Bu fuzzy sonuçları, ancak normal değerlere dönüştürülüp kullanılabilir. Yani fuzzy değerlerden kesin değerlere geçme yapılır. Bu dönüşüm işlemi durulaştırma olarak adlandırılır.

16.2.7 Durulaştırma yöntemleri

Bir fuzzy çalışmada iki veya daha fazla fuzzy kümeleriyle karşılaşabiliriz. Burada bu fuzzy kümelerinin üyelik fonksiyonlarını birleştiririz.

K adet farklı üyeliklerin birleşimi için;

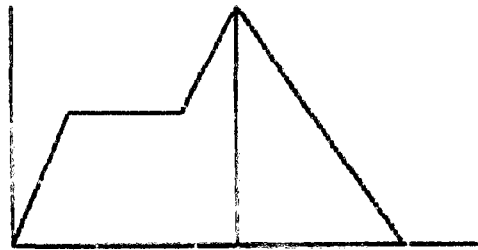
$$C = \bigcup_{i=1}^k C_i$$

kullanılır. Kesin bir değer almak için fuzzy durulma yöntemleri kullanılır. Bunların başlıcaları şunlardır;

Maksimum Üyelik Prensipli (Yükselti Yöntemi)

Z' seçilecek olan değeri gösterir.

$$\mu_{C'}(z') \geq \mu_{C_i}(z), \quad \forall z \in Z \text{ dir.}$$



z'

2- Merkez Yöntemi (Alan Merkezi, Ağırlık Merkezi)

$$z' = \frac{\int \mu_{C'}(z)z}{\int \mu_{C'}(z)dz}$$

fiziksel olarak kullanışlıdır.

3- Ağırlıklı Ortalama Yöntemi

$$z' = \frac{\sum \mu_{c_k}(\bar{z})\bar{z}}{\sum \mu_{c_k}(\bar{z})}$$

simetri çıktı veren üyelik fonksiyonunda kullanılır.

4- Maksimum Üyelik Ortalaması

$$z' = \frac{a+b}{2}$$

Maksimum üyelik tek olursa yükselti yöntemi yerine kullanılır.

5- Toplamların Merkezi

$$z' = \frac{\int_C \sum_{k=1}^n \mu_{c_k}(z) dz}{\int_C \sum_{k=1}^n \mu_{c_k}(z) dz}$$

Tek tek çıktılar yerine onların cebirsel toplamları alınır.

6- En Büyük Alanın Merkezi

$$z' = \frac{\int \mu_{c_{max}}(z)z dz}{\int \mu_{c_{max}}(z) dz}$$

Çıktı kümelerimiz C' ler non konveks olursa bu yöntem geçerlidir.

7- Maksimumların Birincisi veya Sonuncusu

En yüksek üyeliğe sahip z değerlerinden en küçüğü veya en büyüğü seçilir.

$$hgt(C_{-k}) = \sup_{z \in Z} \mu_{c_k}(z)$$

$$z' = \inf_{z \in Z} \left[z \in Z \mid \mu_{c_k}(z) = hgt(C_{-k}) \right]$$

Yukarıda sayılan durulma yöntemlerine daha başka yöntemlerde ilave edilebilir.

16.2.8 Durulma yöntemini belirlemede kullanılan kriterler

Bu belirtilen durulma yöntemlerinden hangisinin ne zaman kullanılacağı konusuna açıklık getirmek için Heibendorn ve Thomas bazı kriterler öne sürmüşlerdir. Bu kriterler şunlardır;

1 - Süreklilik Kriteri

Bir fuzzy sürecin girdisindeki ufak bir değişiklik çıktıda önemli bir değişikliğe sebep olmamalıdır.

2 – Tek Anlamlılık Kriteri

Durulma yöntemi sonucunda tek bir z değeri elde edilmelidir. Yani çok anlamlılık (enbiquety) olmamalıdır.

Yukarıdaki durulma yöntemlerinden en büyük alan merkezi yöntemine bakarsak, burada birden fazla aynı büyüklükteki alan için, birden çok Z değeri bulunduğunu farkederiz. ve bu da çok anlamlılığı doğurur ve sonuçta bu durulma yöntemi bu kritere aykırıdır.

3 - Akla Yakın Olma Kriteri

Z* değeri yüksek bir üyelik derecesine sahip olmalı ve destek bölgesinin ortası civarında olmalıdır. (Ağırlık merkezi ve toplamların merkezi yöntemi bunu sağlamamaktadır.)

4- Hesaplama Kolaylığı Kriteri

Burada yöntemler arasındaki sonucu elde etmenin kolaylığına bakılır. (Örnek olarak maximum yükseklik yönteminde hesaplamalar ağırlık merkezi yöntemine göre daha kolaydır.)

5-Ağırlık Yöntemi Kriteri

Burada kişisel yargıları incelediğimiz probleme göre göz önüne alırız.

16.2.9 Genişleme ilkesi

Klasik olarak bir fonksiyon tanımı

$x \rightarrow f(x) \rightarrow y$ şeklindedir.

Bu fonksiyon tanımı kısa bir ifade ile $y=f(x)$ şeklinde yazılır.

Burada x' in f altındaki görüntüsü y' dir. Ve ya $x= f^{-1}(y)$ ile y' nin orijinal görüntüsünün x olduğu gösterilir.

X tanım kümesi, Y değer kümesi olmak üzere fonksiyon

$$F: X \rightarrow Y$$

şeklinde gösterilir.

X xY kartezyen çarpım kümesi üzerinde

$$R = \{(x,y) \mid y=f(x)\}, \text{dir.}$$

(x,y) tanımlarının değerleride

$$\mu_R(x,y) = 1 \dots y=f(x),$$

$$\dots = 0, \dots y \neq f(x) \text{ şeklindedir.}$$

Alt kümelerin ifadesi de şöyle gösterilir.

$$F: P(x) \rightarrow P(y)$$

Yukarıdaki tanıma göre X evreninde bulunan bir A kümesinin Y evrenindeki görüntüsü B kümesidir.

$\forall y \in B = f(A) = \{y \mid \forall x \in A, y = f(x)\}$ ise B kümesindeki elemanların karakteristik fonksiyonu şu şekilde belirtilir.

$$\mu_{B(y)} = \mu_{f(A)}(y) = \bigvee_{y=f(x)} \mu_{A(x)}$$

Prof. Dr. Zadeh bu bilinen fonksiyon matematiğinden genişleme prensibini geliştirmiştir. Fuzzy küme kavramının temel kavramlarından biri, fuzzy olmayan matematiksel kavramların fuzzy durumlara bir genel genişlemesi olarak verilen genişleme kuralıdır. Bu kural bir ilişki veya bir haritanın alan tanımına göre X'deki noktalardan X' in bir fuzzy alt kümesine genişletilmesine izin veren temel bir özdeşliktir.

$f, y = f(x_1, x_2, \dots, x_r)$ olacak şekilde $X_1 \times X_2 \times \dots \times X_r$ den Y evrenine bir tasvir olsun.

Genişleme prensibi,

$$\mu_B(y) = \text{Sub}_{y=f(x_1, \dots, x_r)} \text{Min}(\mu_{A_1}(x_1), \mu_{A_2}(x_2), \dots, \mu_{A_r}(x_r))$$

$$\text{ve } f^{-1}(y) = \emptyset \text{ ise } \mu_B(y) = 0$$

olacak şekilde f fonksiyonunu, r tane A_r Fuzzy kümesinden Y deki bir B Fuzzy kümesine tasvir etmemize yardımcı olur.

n=1 özel durumu için,

$$\mu_B(y) = \{\mu_A(f^{-1}(y)) \text{ , } f^{-1}(y) \neq \emptyset \text{ ise}$$

$$\mu_B(y) = \{0 \text{ , d.d}$$

şeklinde yazılabilir.

Genişleme ilkesi sayesinde fuzzy sayılar tanımlanabilir ve genişleme ilkesi kullanılarak fuzzy sayılarda dört işlem yapılabilir.

16.3 Bulanık Kümeler ve Üyelik Dereceleri

Yukanda değinilen değişik belirsizlik durumları arasında sözel olanlarının mükemmel olmayan bilgi içeriği olması açısından daima yaklaşıklık ve bulanıklık içerdiği anlaşılmaktadır. Bu gibi belirsizlik durumlarında en uygun yöntem bilim (metodoloji) esasının küme elemanlarına değişik üyelik derecelerinin verilmesi ile olacağı Lütfü Askerzâde tarafından 1965 yılında belirtilmiştir. Aristo mantığına göre insanlar boy bakımından ya uzundur veya değildir. Halbuki, Zadeh yaklaşımına göre uzun boyluluğun değişik dereceleri vardır. Uzun boylulardan bir tanesi gerçek uzun boylu olarak esas alınırsa ondan biraz daha uzun veya kısa olanlar uzun boylu değil diye dışlanamazlar. Esas alınan uzun boyluluğun altında ve üstündeki boylar o kadar kuvvetli olmasa bile, uzun boyluluğa ait olma derecesi bira/- daha az olmakla beraber, yine de uzun boylular kümesine girmektedir. Böylelikle dünyadaki tüm insanlar kümesindeki insanların teker teker boy açısından birer uzunluk üyelik derecelerinin bulunduğunu söyleyebiliriz. Bunu biraz daha küçük ölçekte, Türkiye'de bulunan insanların "insan toplumu" kümesinin birer ögesi olduğu düşünülürse, bunların da ayrı ayrı uzun boyluluk açısından üyelik derecelerinin bulunduğunu söyleyebiliriz. Daha da küçülterek Isparta'da yaşayan insanları bir temel kümenin öğeleri olarak düşünürsek, bu defa Ispartada'ki insanların bu kümede ayrı ayrı üyelik derecelerinin bulunduğu anlaşılır. Misaller değişik ölçek ve bulanık kelimeler kullanılarak çoğaltılabilir.

Aristo mantığına göre çalışan ve şimdiye kadar alışlagelen klasik küme kavramında, bir kümeye giren öğelerin oraya ait oluşları durumunda üyelik dereceleri 1'e, ait olmamaları durumunda ise 0' a eşit var sayılmıştır. İkisi arasında hiçbir üyelik derecesi düşünülemez. Halbuki bulanık kümeler kavramında 0 ile 1 arasında değişen, değişik üyelik derecelerinden söz etmek mümkündür. Böylece daha şimdiden bulanık kümelerdeki öğelerin üyelik derecelerinin kesintisiz olarak 0 ile 1 arasında değerler aldığından söz edebiliriz. Aslında Zadeh küme öğelerinin üyelik derecelerinin 0 ile 1

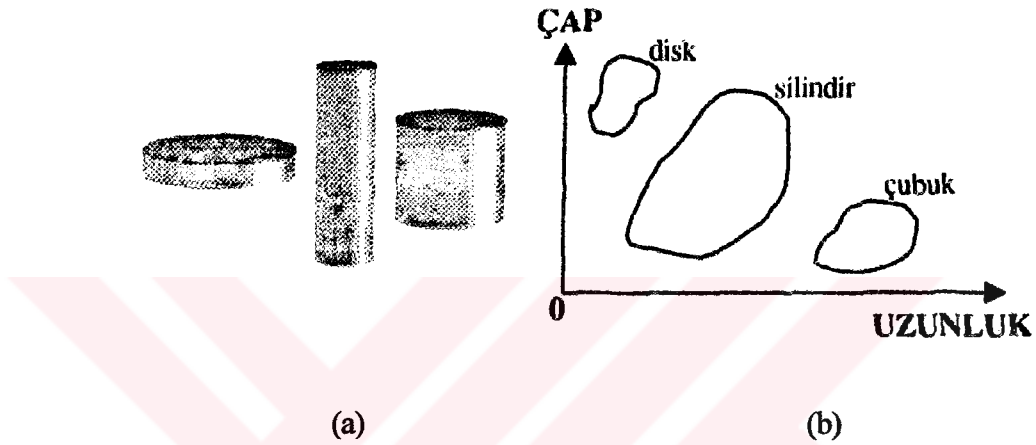
arasında değişebileceğini ileriye sürerek kümeler teorisinde geniş uygulamaya sahip ve doğal hayatla uyumlu olan bulanık küme teorisini geliştirmiştir. Bu kadar basit temeli olan bulanık kümeler kavramının özellikle 1980 yılı sonrasındaki teknoloji ve bilimsel çalışmalarda etkisi büyük olmuştur. Bu şekilde tanımlanan üyelik derecelerinin herbir bulanık söz için üç temel özelliği sağlaması tanım olarak gerekmektedir. Bunlar şöyle sıralanabilir:

- 1) Bulanık kümenin normal olmasıdır ki, bunun için en azından o küme de bulunan öğelerden bir tanesinin en büyük üyelik derecesi olan 1'e sahip bulunması gerekliliğidir.
- 2) Bulanık kümenin monoton olması istenir ki, bunun anlamı üyelik derecesi 1'e eşit olan öğeye yakın sağda ve soldaki öğelerin üyelik derecelerinin de 1'e yakın olmasıdır.
- 3) Üyelik derecesi 1'e eşit olan öğeden sağa veya sola eşit mesafede hareket edildiği zaman bulunan öğelerin üyelik derecelerinin birbirine eşit olmasıdır ki, buna da bulanık kümenin simetrik özelliği adı verilir.

Klasik kümelerle bulanık kümelerin arasındaki önemli farklardan bir tanesi, klasik kümelerin sadece bir tane dikdörtgen üyelik derecesi fonksiyonu bulunmasına karşılık, bulanık kümenin yukarıdaki üç şarttan ilk ikisini mutlaka sağlayacak biçimde değişik üyelik derecesi fonksiyonlarına sahip olmasıdır.

Yukarıda açıklamalardan sonra, bulanık küme üyelik derecesi fonksiyonlarının mutlaka simetrik olması özelliğini sağlamasının gerekmediği şimdiden akılda tutulmalıdır. İnsanlar zaman zaman kendi tercihlerini yapmak durumunda kalırlar. Buna bir misal verelim: Bir masada bulunan iki bardaktaki içecekten bir tanesini içmek için tercih etmeniz gerektiğinde önce bazı bilgileri edinmek için sorular sorarsınız. Bu bardaklardan birinde bulunan içeceğin %95 ihtimalle iyi ve sağlığa yararlı olduğu bilgisine sahip olduğunuzu düşünelim. İkinci bardaktaki içeceğin ise iyi ve sağlıklı olma üyelik derecesinin 0.95 olduğu bilgisi verilmiş olsun. Acaba bu iki içecekten hangisini seçerdiniz? Acaba, %95 ihtimalle iyi ve sağlıklı olan birinci bardaktaki içeceğin %5 ihtimalle zehirli veya sağlığa zararlı maddeler ihtiva edebileceğini düşünür müsünüz? Düşünürseniz ne yaparsınız? İşte bu bilgi ve düşünceler bulanık ve ihtimalli bilgilerin arasındaki farkı belirtmeye yeterlidir.

Bütün bu söylenenlerden sonra bulanıklığın müphemlik, belirsiz anlamlılık, değişik anlamlara gelebilme özelliği., rastgeleliğin ise, o olayın meydana gelmesindeki belirsizliğin sayısal ölçüsü olarak anlayabiliriz. Olay meydana gelebilir veya gelmez ama onun bulanıklığı daima söz konusudur Acaba size bir disk, silindir ve yuvarlak çubuk arasında ne gibi farklar vardır diye sorulsa nasıl cevap verirsiniz? Bunların her biri geometri (şekil bilgisi) olarak birbirinin aynıdır ancak aralarındaki fark yüksekliklerinin aynı olmamasındandır.



Şekil 16.8. (a) Geometrik şekiller (b) Müphem terimler

Disk, yüksekliği "kısa", silindir yüksekliği "orta" ama çubuk ise bu ikisine kıyasla yüksekliği "büyük (uzun)" olan silindirik şekillerdir. Bunların birinden diğerine geçiş sınırın kesin değildir. Bulanık küme esaslarına göre Şekil 16.18' deki her bir geometrik hacim "silindir toplum" kümesinin değişik üyelik dereceleri ile birer alt kümelerini teşkil eder. Burada belirtildiği gibi üç iane alt küme söz konusudur. Bunlar, 'kısa', 'orta' ve 'uzun' kelimeleri ile ifade edilmiştir. Yukarıdaki üç şeklin tanımında doğal ve ideal olarak kesitlerinin daire biçiminde olduğu klasik bilgilerimizle algılanır. Acaba kesit alanının mutlaka daire mi olması gerekir?

Çarpılmış, dejenere olmuş, dairesellikten çıkmış, ancak genel hatları ile daireye benzeyen kesit alanları da olamaz mı? Olabilir, çünkü gerçek dünya her zaman için idealleştirilmiş dünyadan sapmalar gösterir. Günlük hayatınızda bazı olaylar karşısında tercihen karar vermek durumunda kaldığımız zaman, her sözel bilginin artık bir bulanık kümeye karşı geldiğini düşünerek ve kendi kendimize üyelikler vererek uygun çözümlere varabiliriz. Burada belirtilmesi gerekli çok önemli

hususlardan bir tanesi, bulanık kümelerde öznel (sübjektif), yani bir dereceye kadar kişiye bağlı tercihler yapılarak üyelik derecesi fonksiyonlarına karar verilebilir.⁴⁵

Böylelikle bulanık kümelerin kişiler arasındaki diyalog anlayışlarına da yardımcı olacağı sonucunu çıkarabiliriz.

16.3.1 Bulanık ve klasik kümelerin karşılaştırılması

Doğal dilde tanımlamalar yaparken sayısal değerler yerine bulanık tanımlamaları tercih etmekteyiz. Örneğin, "Top kalenin yanından geçti" veya "Top kalenin çok yakınından geçti". Burada kalenin (yakınının) ve (çok yakınının) kaç cm veya metre olduğuna değinilmemektedir. Diğer bir örnek olarak havayı tanımlarken, bulutluluk yüzdesini vermek yerine genellikle güneşli, yağmurlu veya kapalı demekteyiz. Doğal dildeki bu bulanık tanımlar, kesin kavramlarda bir anlam kaybına yol açmaktadırlar. % 90 bulutla kapalı bir havaya güneşli diyemeyeceğimiz gibi, % 80 güneşli bir havaya da bulutlu denmez. Yaşı 6 olan bir kişi % 100 çocuk olarak tanımlanırsa, yaşı 8 veya 9 olan birisi ne derecede çocuktur? Burada yardıma bulanık küme yaklaşımıyla normalize edilmiş dereceli üyelikler gelmektedir. Klasik küme kavramı ile bulanık kümeler arasında önemli bir farklılık bulunmaktadır. Klasik küme, kümeye kesinlikle ait (üye) veya kesinlikle üye değil biçiminde iki grubun oluşturulması ile anlamlıdır. Klasik kümede, kümeye üye olanlarla olmayanlar arasında kesin bir "geçiş" olmaktadır ve her bireye evrensel kümede 1 veya 0 değerleri verilmektedir. Oysa doğal dilde de rastlanan birçok terimler arasında bu sınırlar belirsiz olmakta ve üye olandan, üye olmayana geçiş "yumuşak" biçimde yapılmaktadır. Bulanık küme, evrende olası her mümkün bireye, bu bireyin bulanık küme içerisindeki üyelik derecesi değerini atayarak matematiksel olarak tanımlar. Örneğin, Genç evrensel kümesinde 30 kg ağırlıklı birisi % 100 zayıf olarak tanımlanırsa 40kg, 50kg, 60kg uygun olarak % 80, % 50, % 10 zayıf olarak tanımlanabilmektedir. Bu üyelik derecelerinin değerlerine ise uzman tarafından

⁴⁵ SADEGHI, M., HOSSEINI, H. M., 2004. Energy Supply Planning in Iran by Using Fuzzy Linear Programming Approach (Regarding Uncertainties of Investment Costs). Imam Sadiq Univ., Energy Policy, Elsevier, Tehran, Iran.

deneyler sonucunda ve tecrübelerle karar verilebilmektedir. Üyelik fonksiyonlarının belirlenmesi için genel bir yöntem bulunmamaktadır.

Burada en çok merak edilen, bulanık üyelik derecelerinin olasılık değerleri ile kıyaslanmasıdır. Başka deyişle üyelik dereceleri ile belirlenmiş bir bulanık kümenin, benzer değerler alan olasılık değerlerinden farkı nedir? Bulanık değerlendirme için bir ölçüm olan olasılıkla bulanık kümeler arasında aşağıdaki farklılıklar görülmektedir: Sonlu bir evrensel kümede olasılıklar toplamı 1'e eşit olmakta, bulanık üyelik derecelerinde ise böyle bir durumun gerekliliği olmamaktadır.

Olasılık, ayrık değerlere sahip olmakta, bulanık kümenin bireye ilişkin üyelik dereceleri süreklilik taşımaktadır. Örneğin, bulanık kümelerde 70 kg birisi % 100 normal ağırlıkta ise, 71 kg için de normalliğin derecesi kolayca belirlenmektedir. Klasik olasılık hesapları, bireylerin tamamının temeline dayalıdır. Bulanık küme teorisinde ise bireyin üyelik derecesi, diğer bireylerin tamamının temeline ilişkin olmamakta, üyelikler bakımından farklar görülmektedir.

Farklılıklar olmasına rağmen olasılıkla bulanık üyelik değerleri arasında kesin bir ilişki bulunmaktadır. Zade'ye göre, bir olayın bulanık kümede olasılığı, bu olayın üyelik fonksiyonunun bir beklentisidir. Benzeri ilişki matematiksel olarak, bulanık kümelerle klasik küme operatörleri arasında da Zade tarafından aşağıdaki şekilde verilmektedir:

$$x \in \Omega \text{ ise } f_{A \cup B}(X) = \max [f_A(X), f_B(X)]$$

$$f_{A \cap B}(X) = \min [f_A(X), f_B(X)]$$

$f_A(X)$ üyelik fonksiyonu tarafından A kümesinin tümleyeni ise

$$f_{\bar{A}}(X) = 1 - f_A(X)$$

şeklinde verilebilir.

Dolayısıyla bulanık mantık değerlerini [0, 1] aralığından alan sonsuz değerli mantıktır. Evrensel küme sonlu olduğunda ise bulanık mantık çok değerli mantığa dönüşmektedir.

16.3.2 Bulanık mantıkta küme işlemleri

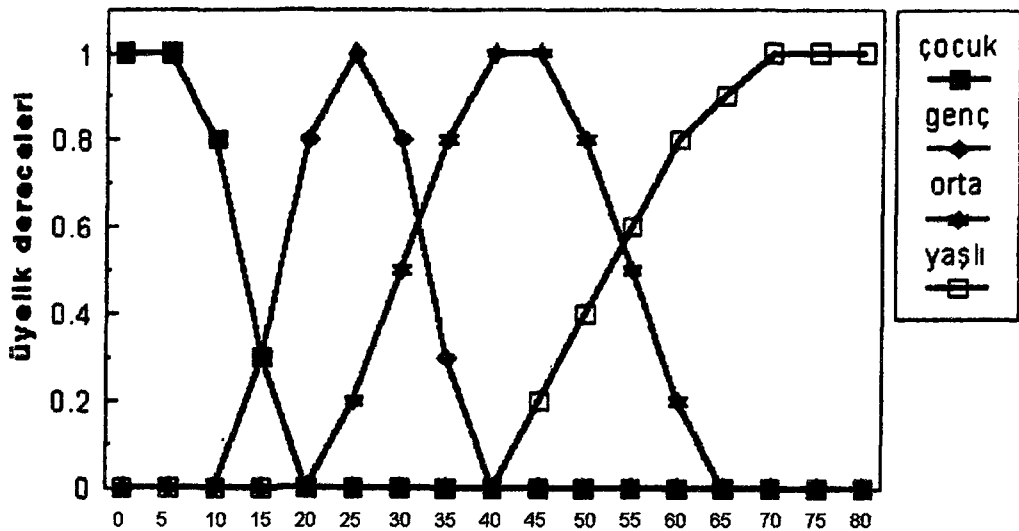
Bulanık kümenin her elemanı, küme içerisinde bir üyelik değerine sahiptir ve A bulanık kümesinin bu değerleri [0, 1] aralığında değişmektedir. U evrensel kümesi sonlu sayıda u_1, u_2, \dots, u_n kümelerinden oluşursa bulanık A kümesi aşağıdaki bağıntı ile ifade edilir. Zadeh' nin açılım ilkesine göre;

Benzeri olarak U süreklilik taşıyan bir küme ise bağıntı aşağıdaki gibi verilebilir.

$$A = \int_U \frac{\mu_A(u)}{u}$$

$$A = \frac{\mu_A(u_1)}{u_1} + \frac{\mu_A(u_2)}{u_2} + \dots + \frac{\mu_A(u_n)}{u_n} = \sum_{i=1}^n \frac{\mu_A(u_i)}{u_i}$$

Yukarıdaki bağıntıda toplama işareti cebirsel bir toplama olmayıp, A kümesinin tanımında eleman çiftleri ve üyelik derecelerinin topluca ifade edilmesi amacı ile kullanılır. Bölme işareti ise U evrensel kümesinde, A bulanık kümesinin sıfır olmayan üyelik değerlerine sahip olan tüm elemanlarını, yine bunların A' daki üyelik dereceleri ile birleştirir. Örneğin evrensel A kümesi 0-100 yaş arası kişileri ifade etsin. Yaşları ifade eden "Çocuk", "Genç", "Orta" ve "Yaşlı" bulanık kümelerine üyelik fonksiyonları Şekil 16.9' daki gibi tanımlanabilir:



U- evrensel küme

Şekil 16.9. Yaşları ifade eden "Çocuk", "Genç", "Orta" ve "Yaşlı" bulanık kümeleri

5 senelik bir ara ile aşağıdaki bulanık değerleri elde ederiz (0' lı değerler yazılmamıştır):

$$\text{çocuk} = \mu_{\text{çocuk}}(u) = 1/0 + 1/5 + 0.8/10 + 0.3/15$$

$$\text{genç} = \mu_{\text{genç}}(u) = 0.3/15 + 0.8/20 + 1/25 + 0.8/30 + 0.3/35$$

$$\text{orta} = \mu_{\text{orta}}(u) = 0.2/25 + 0.5/30 + 0.8/35 + 1/40 + 1/45 + 0.8/50 + 0.5/55 + 0.2/60$$

$$\text{yaşlı} = \mu_{\text{yaşlı}}(u) = 0.2/45 + 0.4/50 + 0.6/55 + 0.8/60 + 0.9/65 + 1/70 + 1/75 + 1/80.$$

Atanmış üyelik derecelerini ifade eden tablo aşağıda gösterilmiştir:

Tablo 16.1. "Çocuk", "Genç", "Orta" ve "Yaşlı" bulanık kümelerinin atanmış üyelik dereceleri

| Yıllar | Çocuk | Genç | Orta | Yaşlı |
|--------|-------|------|------|-------|
| 0 | 1.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 5 | 1.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 10 | 0.8 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 15 | 0.3 | 0.3 | 0.0 | 0.0 |
| 20 | 0.0 | 0.8 | 0.0 | 0.0 |
| 25 | 0.0 | 1.0 | 0.2 | 0.0 |
| 30 | 0.0 | 0.8 | 0.5 | 0.0 |
| 35 | 0.0 | 0.3 | 0.8 | 0.0 |
| 40 | 0.0 | 0.0 | 1.0 | 0.0 |
| 45 | 0.0 | 0.0 | 1.0 | 0.2 |
| 50 | 0.0 | 0.0 | 0.8 | 0.4 |
| 55 | 0.0 | 0.0 | 0.5 | 0.6 |
| 60 | 0.0 | 0.0 | 0.2 | 0.8 |
| 65.. | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.9 |
| 70 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 1.0 |
| 75 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 1.0 |
| 80 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 1.0 |

z kümesinde A ve B bulanık kümeleri tanımlı olsun. Bu ilişkilerin birleşimi ve kesişmesinden doğan yeni bulanık ilişkileri ve bu yeni ilişkilerin üyelik fonksiyonlarını aşağıdaki şekilde gösterebiliriz.

16.3.2.1 Bulanık kümelerin birleşmesi

$$\mu_{A \cup B}(X) = \mu_A(X) \vee \mu_B(X) = \max(\mu_A(X), \mu_B(X))$$

16.3.2.2 Bulanık kümelerin kesişmesi

$$\mu_{A \cap B}(X) = \mu_A(X) \wedge \mu_B(X) = \min(\mu_A(X), \mu_B(X))$$

16.3.2.3 Bulanık kümenin tersi

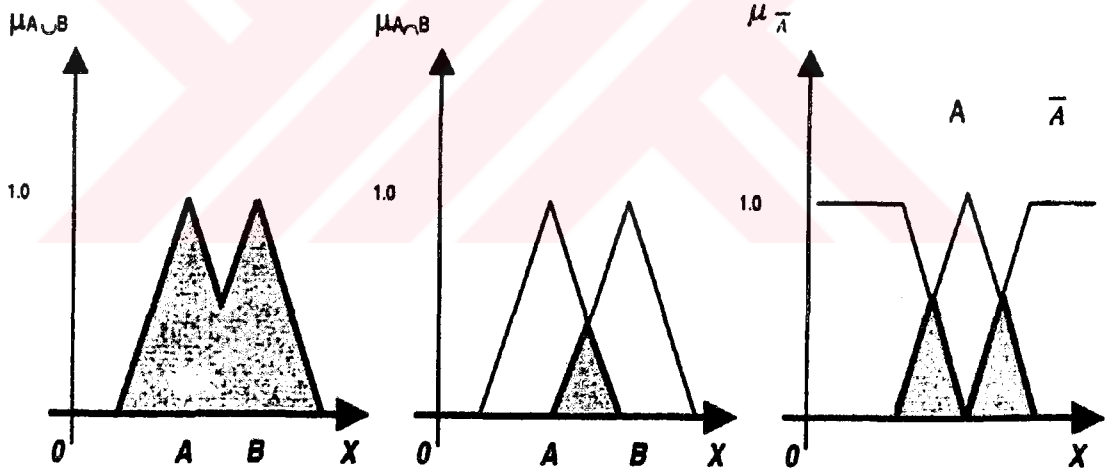
$$\mu_{\bar{A}}(x) = 1 - \mu_A(x)$$

Burada " \vee " ve " \wedge " sembelleri uygun olarak maksimum ve minimum işlemlerini ifade etmektedir. Bulanık kümelerdeki işlemler, klasik küme işlemlerine benzemektedir. Fakat tümeleme ile ilgili işlemlerde bazı farklılıklar vardır. Bunlar aşağıdakilerdir:

A bulanık kümesinin tersi ile birleşimi evrensel küme değildir: $A \cup \bar{A} \neq X$

A bulanık kümesinin tersi ile kesişimi boş küme değildir: $A \cap \bar{A} \neq \emptyset$

Bu ifadelerle ilişkin grafikler Şekil 16.10' da gösterilmiştir.



Şekil 16.10. Bulanık Mantıkta Küme İşlemleri

Yaş grupları için bazı bulanık işlemler sonucu aşağıdaki örneklerde verilmiştir.

Çocuk yaşta olmayanlar;

$$\sim(\text{çocuk}) = 2/10 + 0.7/15 + 1/20 + 1/25 + 1/30 + 1/35 + 1/40 + 1/45 + 1/50 + 1/55 + 1/60 + 1/65 + 1/70 + 1/75 + 1/80$$

Genç veya orta yaşta olanlar;

$$\text{genç veya orta} = \mu(\text{genç veya orta})(u) = 0.3/15 + 0.8/20 + 1/25 + 0.8/30 + 0.8/35 + 1/40 + 1/45 + 0.8/50 + 0.5/55 + 0.2/60$$

Orta yaşta ve yaşlı denilebilecekler;

$$(\text{orta n yaşlı}) = \mu_{(\text{orta n yaşlı})}(u) = 0.2/45 + 0.4/50 + 0.5/55 + 0.2/60$$

Sonuncu durum için 45 yaşlı kişilere 0.2 üyelik derecesi ile hem orta yaşta, hem de yaşlı denilebilir.

16.3.3 Bulanık sistem ne demektir?

İngilizce'de “fuzzy” kelimesine karşı gelen Türkçe' deki 'bulanık' kelimesinin genel olarak puslu, dumanlı, kesinlikle ayırt edilemeyen, kesin olmayan, belirsiz, kafa karıştıran, müphem gibi bir dizi anlamı vardır. Bu kitapta teknik açıdan fuzzy'nin tercümesi olarak bulanık kelimesi kullanılacaktır. Bulanıklığın anlamı, bir araştırmacının incelediği konunun kendisi tarafından tam kesinlikle bilinmemesi durumunda sahip olduğu eksik ve belirsiz bilgilerin tümüdür. Böylece araştırmacı, klasik analitik yöntemler ile dinamik ve korunum ilkeleri (enerjinin, maddenin, momentumun korunumları gibi) elde ettiği denklemleri, verilerinde ve bilgilerinde belirsizlik yani bulanıklık bulunduğu için doğrudan kullanamaz. Araştırmacının incelediği olay veya mekanizma sadece kesin kurallı, çıkarımlarında kabul ve varsayımlar olan denklemler yerine, onların tamamlayıcısı olarak mevcut, onunla ilgili sözel ve oldukça belirsiz bilgiler de göz önünde tutularak modellenebilir. Bulanık ilkelerin yardımı ile olayların incelenmesinde veri ve bilgi bakımından bir bulanıklık söz konusu ise de, bulanık yöntemlerin işleyişi tamamen belirgindir. Araştırmacıların bulanık sistemleri kullanması için genel olarak iki sebep vardır. Bunlar şöyle ifade edilebilir:

Gerçek dünya olaylarının çok karmaşık olması dolayısı ile bu olayların belirgin denklemlerle tanımlanarak, kesin bir şekilde kontrol altına alınması mümkün olmaz. Bunun doğal sonucu olarak araştırmacı, kesin olmasa bile yaklaşık fakat çözülebilirimi olan yöntemlere başvurmayı her zaman tercih eder. Zaten Einstein'ın da dediği gibi, gerçek olaylar matematik denklemlerle kesinlikle ifade edilebiliyor denirse, ya denklemlerin kesinliğinden., veya matematik denklemler gerçeği kesin olarak tasvir edebiliyor sonucuna varılırsa, bu sefer de, gerçek dün ya olaylarından söz edilemez. O halde, yapılan bütün çalışmalarda çözümler bir dereceye kadar yaklaşıktır. Aksi takdirde, çok sayıda doğrusal olmayan denklemlerin

aynı zamanlı olarak çözülmesi gerekir ki, bunun günümüz bilgilerine göre belirgin olmayan kaotik (buhranlı) çözümlere yol açacağı bilinmektedir. Mühendislikte bütün teori ve denklemler gerçek dünyayı yaklaşık bir şekilde ifade eder. Birçok gerçek sistem doğrusal (lineer) olmamasına, nonlineer olmasına rağmen bunların klasik yöntemlerle incelenmesinde doğrusallığı kabul etmek için her türlü gayret sarf edilir. Örneğin, mukavemet hesaplarında malzemenin gerilme altında şekil değiştirmesinin doğrusal olduğu. Hooke kanunu ile kesin bir ifadeye kavuşturulmuştur, Halbuki, malzemenin her zaman bu şekilde davranması beklenemez ve bu sebeple küçük de olsa bazı sapmaların olması muhtemeldir. Zaten bunun doğal sonucu olarak, mukavemet boyutlandırmalarında emniyet katsayısı gibi bir büyüklük hesaplara ithal edilerek, olabilecek belirsizlikler yine belirgin bir şekilde göz önünde tutulmuştur. Emniyet katsayısının kullanılması, bir bakıma, belirsizliklerin arka kapıdan çözümün içine katı bir şekilde sokulmasıdır. Halbuki, gerçek malzemenin davranışlarında emniyet katsayısı gibi bir büyüklüğe gerek kalmadan boyutlandırma yapılması için belirsizlik ilkelerine gerek duyulur.

Günümüzde bilgi ve bunun getirdiği sözel verilere önem verilmektedir. Bunun sebebi, insanların bir cihaz gibi sayısal değil de yaklaşık sözel verilerle konuşarak anlaşmasıdır. Sözel veriler gün geçtikçe önemini artırmaktadır. Sözel insan verilerini, bir sistem içinde formüle ederek, cihazların verdiği sayısal bilgilerle beraber mühendislik sistemlerinde göz önünde tutmak gerekmektedir. Bulanık sistemlerin asıl işleyeceği konu bu tür bilgilerin bulunması halinde, çözümlenmelere gitmek için nasıl düşünüleceğidir. İyi bir mühendislik teorisinin incelenen olayın önemli bazı özelliklerini yakalayarak onu yaklaşık bir biçimde modellemesi ve matematik bakımdan karmaşık olmayacak çözümlerle kontrol altına alması beklenir. Aslında bulanık yöntemlerle bir sistemin modellenmesinde de yaklaşıklık ve oldukça kolay çözümlülük bulunur. Bu bakımdan bulanık sistemler teorik ve matematik aksiyomlu yaklaşımlardan bağımsız bir çözüm algoritmasını temsil eder. Mühendislik yaklaşımında elde edilebilen tüm sayısal ve sözel bilgiler çözüm algoritmasına katılarak incelenen olayın kontrolünde anlamlı çözümlere varılabilmelidir. Bu bakımdan bulanık küme, mantık ve sistem ilkeleri, uzman kişilerin de vereceği sözel bilgileri işleyerek toptan çözüme gitmeye yarar. Halbuki, teorik matematik ve diferansiyel hesaplamalarda sadece sayısal değerler kullanılır. Örneğin, taşkın

çalışmalarının yapılmasındaki risk hesaplamaları, su toplama havzasının alan, eğim, drenaj yoğunluğu, yağış ve akışın şiddeti, tekerrür süresi gibi sayısal değerlerin yanında, o bölgede yaşayanlardan elde edilen sözel bilgiler ile, arazide geçmiş taşkınların bıraktığı İzlerin düşük, orta veya çok derin debileri geçirdiği şeklindeki sözel bilgiler de hesaplarda dikkate alınmalıdır. Bunun için bulanık sistemlerin iyi bilinmesi gerekir. İnsanların sunduğu sözel bilgilerin sayısal hale getirilerek bilgisayarlar veya algoritmalar tarafından algılanarak hesaplamaların yapılabilmesi için bulanık sistemlere gerek vardır. Bulanık sistemlerle ilgili örneklerden yaygın olanı, bir kişinin araba sürmesini öğrenmesinde ortaya çıkan sözel bilgilerdir. Sürücü adayına hız şu kadar km'ye varınca gaza şu kadar miktar bas denilecek yerde, eğitim sırasında

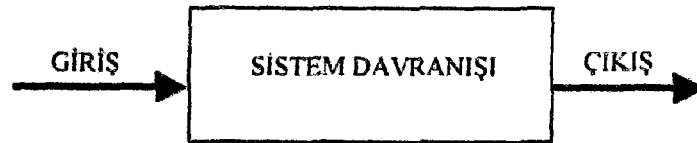
'EĞER hız düşük İSE gaza fazlaca bas'

Ve ya

'EĞER hız yüksek İSE gaza az bas'

gibi kurallar söylenir. Bu kurallardaki düşük, fazlaca, yüksek ve az kelimeleri kişilerde ister istemez belirli bir aralıkta sayısal değerleri ima eder. İşte bu ima edilen değerler topluluğuna o kelimeyi temsil eden küme denir. Bu kümenin her ögesi aynı derecede önemli değildir. Ancak bazı değerler vardır ki. bunlar diğerlerine göre çok önceliklidir. EĞER - İSE şeklindeki kuralların EĞER ile İSE kelimeleri arasında kalan kısımlara öncül kısım ve İSE kelimesinden sonra olan kısma da soncul kısım veya kural çıkarımı adı verilir. Genel olarak, öncül kısımda olayla ilgili koşulları içeren deyişler vardır. Soncul kısım ise daha ziyade kontrol ile ilgilidir.

Şimdiye kadar Öğrenilen matematik, stokastik veya kavramsal sistemlerin hemen hepsi Şekil 16.11' de verilen üç ayrı birimden ibarettir.

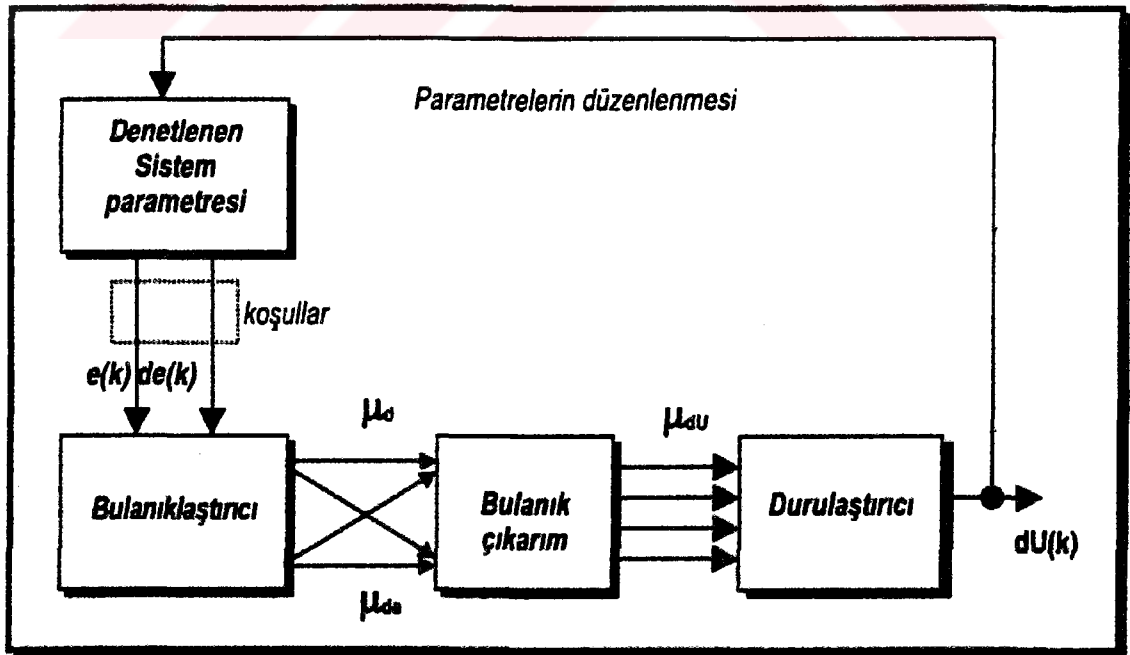


Şekil 16.11. Klasik Sistem

Bunlar giriş, bu girişi çıkışa dönüştüren ve sistem davranışı denilen bir kutu, çıkış kısımlarıdır. Birimlerin hepsinde sayısal veri, çıkış veya işlemler yapılmaktadır. Bulanık sistemlerin bu klasik tasarımdan farkı, sistem davranışı kısmının ikiye ayrılarak Şekil 16.11' deki gibi kendi aralarında bağlantılı dört birimin olmasıdır.

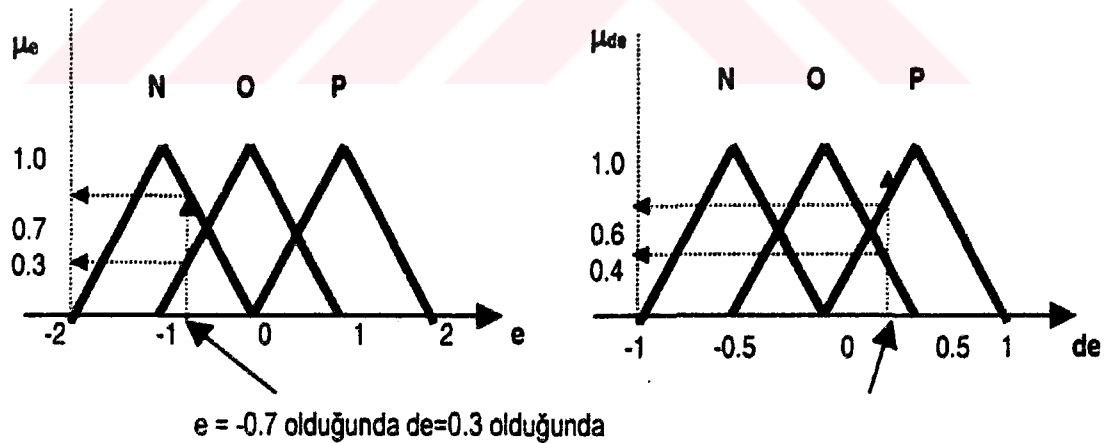
16.4 Bulanık Denetim Sistemi

Bulanık denetim sistemleri, insanın düşünme tarzı temel alınarak tasarlanmaktadır. Bulanık denetleyiciler genellikle matematiksel modeli bilinmeyen ve ya doğrusal matematiksel modeli kurulamayan sistemlerde oldukça etkilidir. Bulanık denetleme üç aşamada yapılmaktadır: Bulanıklaştırma, Bulanık sonuçlandırma, Durulaştırma. Benzeri sistemlerin çalışması aşağıdaki şekildedir. Önce denetlenmesi gereken modelin parametreleri ölçülür. Sonra kesin olan giriş değerleri bulanıklaştırma işlemi sonucu bulanık biçimde ifade edilir. Bulanık kuralları sağlayan bilgi tabanı, denetlenen sistemin ayarlanması için gerekli bulanık değerleri çıkarır. Sonra ise bulanık sonuç değeri, durulama yöntemlerinden biri ile kesinleştirilir ve sistemin ayarlanması yapılır. Bulanık denetleyicinin genel yapısı Şekil 16.12' de verilmiştir.



Şekil 16.12. Bulanık Denetleyicinin Genel Yapısı

Bir kontrol sistemi olarak bulanık mantık kullanıldığı ve bu sisteme giriş olarak, ayarlanması gereken parametrenin hatasının (e) ve bu hatanın türevinin (de) uygulandığı varsayalım. Burada hata, ayarlanan parametrenin istenen ve gerçek değerleri arasındaki farkı, hatanın türevi ise bu hatanın değişimini ifade etmektedir. Bu işaretler, bulanık kontrol sistemine girmeden önce, $[0, 1]$ kapalı aralığına normalize edilmelidir. Şekil 4'teki yapıdan da anlaşıldığı gibi önce giriş değerleri ilk olarak bulanıklaştırılacaktır. Bu üyelik derecelerinin bulunması anlamına gelmektedir. Giriş değerleri olan hata, $e(k)$ ve hatanın türevi, $de(k) = e(k) - e(k-1)$ için değişken aralığı dilbilimsel değişkeni ifade etmek için bölümlenebilir. Bu bulanık değişkenler değerlerini sözlü {N - "negatif, O - "yaklaşık sıfır", P - "pozitif"} bulanık altkümelerinden alsın. Örneğin, hatanın türevinin pozitif olması, son hata değerinin bir önceki hata değerine göre artmasını göstermektedir. Örnek üzerinde işlemlerin nasıl yapıldığını inceleyelim. Şekil 5' de hata ve hatanın türevi için bulanık altkümeler görülmektedir. Burada e 'nin değeri kesin olarak bilinmektedir ve sonuçta evrensel kümede olmayan bir değer elde edilebilir. Bu amaçla ilk aşamada bulanıklaştırma (fuzzyfication) işleminin yapılması gerekir. Bulanıklaştırma sonucu elde edilen değişkenlere dilbilimsel değişkenler (linguistic variables) denilmektedir. Bulanıklaştırma biriminde yapılan işlem aşağıda verilmektedir.



Şekil 16.13. Hata ve hata değişiminin grafiksel olarak bulunması

Burada hata ve türevi için uygun olarak, $e = -0.7$ ve $de = 0.3$ değerleri ele alınmıştır. Bu değerler için bulanıklaştırma sonucunda bulunan üyelik değerleri:

O üyelik fonksiyonu için $\mu_e = 0.3$ ve $\mu_{de} = 0.4$,

N üyelik fonksiyonu için ise $\mu_e=0.7$ ve $\mu_{de}=0.6$, olmaktadır.

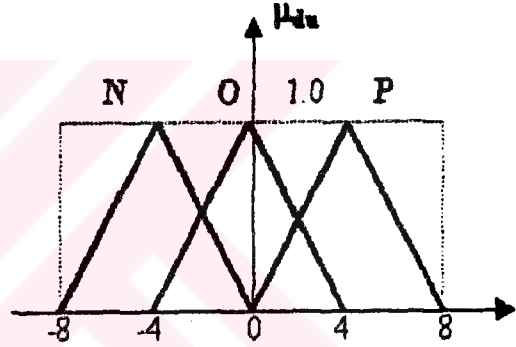
Bulanık çıkarım işlemleri kural tablosunun belirlenmesini gerektirmektedir, $e(k)$ ve $de(k)$ için uygun olarak üçer üyelik fonksiyonu iştirak ettiğinden kurallar sayısı 9 olacaktır. Mümkün olabilecek kurallar tablosu ve kuralların sözel ifadesi IF ... THEN ... ELSE biçiminde aşağıda verilmektedir.

EĞER (hata \rightarrow X) ve (hatanın türevi \rightarrow Y) ise, buradan ($du = Z$) Burada $du(k)$ değerleri, giriş değerlerine göre karar tablosundan elde edilen bulanık çıkarımlardır. Verilmiş hata ve hata türevi değerlerine göre bulunan üyelik değerlerinin dört farklı kombinasyonu olduğu görülmektedir.

| | | | | |
|---------------------|---|---|---|---|
| hata - e | O | O | N | N |
| hatanın türevi - de | O | P | O | P |

| | N_{de} | O_{de} | P_{de} |
|-------|----------|----------|----------|
| N_e | | 2 | 3 |
| O_e | | 5 | 6 |
| P_e | | | |

(a)



(b)

Şekil 16.14. Bulunan hata ve hata türevlerine göre etkin olan kurallar

Şekil 16.14' deki tablolardan da anlaşıldığı gibi, burada hata negatif ve hatanın değişimi yaklaşık sıfır ise 2. kuralın uygulanması gerektiği, yani uygulanacak kontrol işaretinin pozitif olması istenmektedir. Yine de bu tabloya göre, hata ve hatanın türevi yaklaşık sıfır ise, kontrol işareti sıfır; hata negatif ve hatanın değişimi pozitif ise kontrol işareti sıfır olmaktadır. Burada uzman tarafından hata sıfır olduğunda, hata değişiminin sıfır ve ya pozitif olmasına ilişkin uygun kontrol işaretinin sıfır veya negatif olması da saptanmıştır. Bu kuralların çıkış değeri üyelik fonksiyonlarının orta değeri olarak ele alınmaktadır. Üstteki dört kural için çıkış değerleri:

$$U_1 \rightarrow P=4,$$

$U_2, U_3 \rightarrow O=0,$

$U_4 \rightarrow N= -4,$ olacaktır.

Bulanık mantığa dayalı olarak denetimi gerçekleştirilen sistemler günümüzde çok geniş bir uygulama alanları içermektedir. Akıllı olarak nitelendirdiğimiz aletler bu cinstendir. Bunlara örnek olarak otomatik çamaşır makinesi, kablosuz ütü, mikrodalga fırın, elektrik süpürgesi, ısıtıcı, televizyon, tıraş makinesi, hava temizleyici vb. gösterilebilir. Diğer örnekler ise; ters sarkaç (inverted pendulum), uçak iniş kontrol sistemi (aircraft landing control), şoförsüz araba uygulamaları artık klasikleşmiştir. Ayrıca bulanık mantık ses ve görüntü tanıma problemlerinde de sıkça kullanılmaktadır.

Günümüzde bulanık mantık gelişmekte ve diğer alanlarla birleştirilerek daha da güçlendirilmeye çalışılmaktadır. Örneğin, yapay sinir ağları ile bulanık mantığın "karışımından" oluşan Bulanık Sinirsel Sistemler (Fuzzy Neural), sistem modelleme, tıbbi teşhis, örüntü tanıma vb. alanlarda önemli gelişmeler gösterebilecek potansiyele sahip olmaktadır. Bulanık sinirsel sistemlerde ağ, üyelik fonksiyonlarının üretilmesini sağlayacak biçimde tasarlanmaktadır. İstenen çıkış elde edildiğinde üretilmiş üyelik fonksiyonları optimum sayılır ve yapay sinir ağı sistem dışı bırakılır. Diğer yandan genetik algoritmalar kullanılarak bulanık modelin otomatik ayarlanması ve yapı optimizasyonu gerçekleştirilebilmektedir. Bir bulanık kümenin üyelik derecesi de bulanık değerler alabilmektedir. Bu kümelere alanlı bulanıklık (ultra fuzzy) denir. Bu bulanıklıklar ise sezgiselliğin de uygulanacak yöntemlerde dikkate alınması gerektiğini göstermektedir. Ayrıca üyelik fonksiyon değerlerinin belirlenmesinde sezgisel olarak karar verme sezgisel bulanıklık (heuristic fuzzy, intuitionistic fuzzy) tanımını da ortaya koymaktadır.

16.5 Fuzzy Çok Amaçlı Programlama

Matematik Programlamada, problemler, belirli kısıtlar altında bazı amaç fonksiyonlarının optimizasyonu şeklinde ifade edilir. Çözüm yöntemlerinin gelişimi, Doğrusal Programlamadaki Simpleks yöntemi gibi, tek amaçlı matematik programlar doğrultusunda olmuştur.

Matematik Programlama uygulamalarında karar-vericiler, gerçek hayattaki problemlerin, birçok amacın aynı anda optimizasyonunu gerektirdiğini fark ettiler.⁴⁶

16.5.1 Çok amaçlı optimizasyon

Bu çok amaçlı problemleri, tek amaçlı matematik programlar için geliştirilen çözüm yöntemleri ile modelleyebilmek için, amaçların hepsini bir şekilde tek bir amaç fonksiyonuna çevirmek gerekmektedir.

Çoklu amaçları bir araya toplamak için en çok kullanılan yöntemler Çoklu Toplam Yöntemi (Weighted Sum Method) ve "Lexicographic Sıralama Yöntemi" dir.

Çoklu Toplam Yöntemi'nde $\max f_1, \max f_2, \dots, \max f_n$ gibi çoklu amaçlar tek bir amaç fonksiyonuna dönüştürülür: $\max (w_1f_1 + w_2f_2 + \dots + w_nf_n)$

Lexicographic Sıralama Yöntemi'nde amaçlar öncelikle önem sırasına konulur.

Daha sonra ilk amaç için çözüm bulunur : $F_1 = \max \{f_1(x) \text{ veri kısıtlar altında} \}$.

Daha sonra her bir $i > 1$ için

$F_1 = \max \{f_1(x): f_k(x)=F_k(x), k=1, \dots, i-1\}$ çözümü bulunur. Yani;

$F_2 = \max \{f_2(x); f_1(x)=F_1(x)\}$

$F_3 = \max \{f_3(x): f_1(x)=F_1(x), f_2(x)=F_2(x)\}$

$F_4 = \max \{f_4(x): f_1(x)=F_1(x), f_2(x)=F_2(x), f_3(x)=F_3(x)\} \dots$

Bu yöntem $F_1(x)$ için birden fazla x olması ve amaçlar arasında daha önceden belirlenmiş bir önem sırası bulunması durumunda oldukça kullanışlıdır. Uygulamada oldukça kullanışlı olan diğer bir yöntem ise Fuzzy Kümelerin'in kullanımınıdır. Fuzzy Kümeler herhangi bir ağırlık ataması yapmadan veya amaçların önemi için bir sıralama oluşturmadan, bir çok amacı bir araya toplamada oldukça kullanışlıdır. Bunların yerine amaçlar için, Fuzzy Üyelik Fonksiyonları şeklinde modellenebilen belirli tercihler kümeleri kullanır.

⁴⁶ HAMİTOĞULLARI, H. C., 1999. Fuzzy Çok Amaçlı Optimizasyon Yöntemiyle Portföy Seçimi. Marmara Üniv. Sosyal Bil. Ens. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.

16.5.2 Fuzzy çok amaçlı doğrusal programlama

Fuzzy kümelerin çok amaçlı doğrusal programlamadaki kullanımını gösterebilmek için iki amaçlı ideal bir doğrusal programlama problemi alalım.

Problem: Bir fabrika üç ayrı ürün üretmektedir. Birinci üründen 1 litre üretebilmek için, 1 nolu malzemeden 2 ton, 2 nolu malzemeden 3 ton, ve 3 nolu malzemeden de 4 ton malzemeye ihtiyaç vardır. İkinci üründen 1 litre üretebilmek için, 1 nolu malzemeden 8 ton, ve 2 nolu malzemeden 1 ton malzemeye ihtiyaç vardır. Üçüncü üründen 1 litre üretebilmek için, 1 nolu malzemeden 4 ton, 2 nolu malzemeden 4 ton, ve 3 nolu malzemeden de 2 ton malzemeye ihtiyaç vardır. Şirket bir nolu ürünü 5 milyon / ton, iki nolu ürünü 10 milyon / ton, ve üç nolu ürünü de 12 milyon / ton fiyattan satmayı planlıyor. Fakat üretim sırasında doğa kirliliği yaratan atıklar ortaya çıkıyor. Üç ürünün üretimi esnasında sırasıyla 1, 2 ve 1 ton zararlı atık üretiliyor. Şirketin amaçları toplam geliri en çoklamak ve toplam zararlı atık üretimini en aza indirebilmek şeklinde belirtiliyor. Bu problem,

$$x^T = (x_1, x_2, x_3),$$

$$c = (5, 10, 12),$$

$$d = (1, 2, 1),$$

$$A = ((2, 8, 4), (3, 1, 4), (4, 0, 2)),$$

$$b^T = (100, 50, 50),$$

olmak üzere şu şekilde bir çok amaçlı doğrusal programlama olarak ifade edilebilir;

$$\max Z_0 = Cx \quad \min Z_1 = dx$$

$$Ax \leq b, x \geq 0$$

Buradaki her bir amaç fonksiyonunu ayrı ayrı çözerek şu sonuçlara ulaşırız.

1. $\max cx$ kısıtlar: $Ax \leq b, x \geq 0$

$$x = (0, 7.1429, 10.7143), Z_0 = 200, Z_1 = 35.7144$$

2. $\min dx$ kısıtlar $Ax \leq b, x \geq 0$

$$x = (0, 0, 0), Z_0 = 0, Z_1 = 0$$

(1.)'de 200 milyonluk bir maksimum gelir elde ediyoruz fakat aynı zamanda 35.71 ton zararlı atık üretilmiş oluyor. (2.)' de ise 0 tonluk bir zararlı atık sağlayabiliyoruz fakat bu 0 milyon kar anlamına geliyor. Görüleceği üzere bu iki amaç birbirleriyle çelişiyor. Karı maksimize ettiğimizde zararlı atık miktarını

arttırıyoruz, zararlı atık miktarını minimize ettiğimizde ise karı azaltmış oluyoruz. Ortak bir noktada buluşabilmek için, şirket şu amaçları tanımlıyor;

Amaç 1. Sağlanabilecek maksimum gelirin en az % 75' ini (150 milyon) sağlayalım, fakat maksimum gelirin % 100' ünü (200 milyon) tercih ederiz.

Amaç 2. 30 tondan fazla zararlı atık üretilmesin, fakat sıfır zararlı atık üretimini tercih ederiz.

Bu iki amaç kolaylıkla, doğrusal fuzzy karakteristik fonksiyonlara dönüştürülebilir. z_0 amacı için optimal değerler kümesini tanımlayalım, yani $(\max z_0; Ax \leq b, x \geq 0)$. Bu küme $z_0 = 200$ değerinde sadece bir elemana sahip olabilir z_0 ' ın bütün olası değerlere bir üyelik ölçütü atayarak, bu kümeyi "fuzzy"leştirirebiliriz. "Fuzzy"leştirme işlemi, F, z_0 ' in bütün uygulanabilir (feasible) değerlerinin kümesi olacak şekilde;

$\mu_0 : F \rightarrow [0, 1]$ ile tanımlanabilir.

$\mu_0(z_0)$ ' ın, z_0 ' ın ne kadar optimal olduğunun bir derecesi olduğunu söyleyebiliriz. Burada $\mu_0 = 1$ en çok optimal noktaları $\mu_0 = 0$ ' dan en az optimal noktaları belirtilmektedir. Amacın % 75' ine ve ya 150 milyona ulaşılması zorunlu olduğu için $z_0 = [0, 150]$ aralığında 0 üyeliği oluşacaktır. $[150, 200]$ aralığındaki değerler $(z_0 - 150)/150$ doğrusal fonksiyonuyla tanımlanabilir. Dolayısıyla şu üyelik fonksiyonunu elde ederiz,

$$\mu_0(z_0) = 0, 0 < z_0 < 150$$

$$\mu_0(z_0) = (z_0 - 150) / 150, 150 < z_0 < 200$$

Aynı şekilde (2.)' nin fuzzy optimal kümesiyle şu şekilde bir μ_1 elde ederiz,

$$\mu_1(z_1) = (30 - z_1) / 30, 0 < z_1 < 30$$

$$\mu_1(z_1) = 0, \text{ diğer durumlarda}$$

Buradaki amacımız Fuzzy karar kuramını kullanarak $Ax \leq b, x \geq 0$ kısıtları altında $\max \{ \min \{ \mu_0, \mu_1 \} \}$ ' i sağlamaktır. Burada z_0 ve z_1 ' in bağımlı olduğu, x ' ler kümesi içinde her iki kümeye üyeliği maksimum yapacak noktayı bulmaya çalışıyoruz. $z_0 = cx, z_1 = dx$ olduğundan şu doğrusal programlama problemine ulaşırız;

$$\text{Max } \lambda$$

$$\lambda \leq (z_0 - 150) / 150$$

$$\lambda \leq (30 - z_1) / 30$$

$$Ax \leq b, x \geq 0$$

Bu doğrusal programlamayı çözerek;

$\lambda = 0.1228$, $x=(0, 0.8772, 12.2807)$, $z_0 = 156.1404$, $z_1 = 24.807$ sonuçlarına ulaşırız.

Bu, fabrikanın iki nolu üründen 0.8772 ton, üç notu üründen de 12.2807 ton üreteceğini gösterir. Bunun sonucunda her iki amacı da sağlayacak şekilde, 156.1404 milyonluk geliri sağlanacak ve 24.804 ton zararlık atık üretilmiş olacaktır. $\lambda=0.1228$ ölçütü, her bir amaç için hedefe ne oranda ulaşıldığının bir göstergesidir; yani yüksek çözüm rakamı, yüksek tatmin seviyesi anlamına gelmektedir.

16.6 Fuzzy Mantık Ne Zaman Kullanılabilir

Fuzzy mantığın en güçlü uygulamaları, lineer olmayan veya girişlerinde veya tanımlarında belirsizlikler bulunan karmaşık sistemlerin gerçekleştirilmesindedir. Profesör Zadeh çok büyük doğal (hava, doğal biçimler, okyanuslar gibi) ve ya insan yapısı (ekonomi, borsa veya seçimler gibi) sistemlerin modellenmesi ve kontrolü için fuzzy mantığın en iyi olduğunu savunur. Kontrol sistemlerinin geliştirilmesinde bu yöntemin kullanılması onu şaşırtmıştır. Kontrol sistemleri de dahil olmak üzere;

Yeterli doğrulukta modellenemeyen çok karmaşık sistemler, önemli ölçüde lineer olmayan sistemler, girişlerinde ve ya tanımlarında belirsizlikler olan sistemler, için fuzzy mantığı kullanmak en iyi çözümü verir.

16.6.1 Fuzzy matematiğinin kullanıldığı alanlar

Fuzzy Mantığın teorik yapısından doğan çıkarımlar uygulama alanlarına yansımıştır. İlk uygulama alanları çimento sanayi ve su arıtma sistemleri olmuştur. Daha sonra buhar türbini, nükleer reaktör, asansör ve vinç denetimi gibi değişik alanlarda da fuzzy mantıktan yararlanılmıştır. Kuzey Japonya' nın Sendai kentindeki metro sisteminde Fuzzy mantığın çok başarılı bir biçimde kullanılması Fuzzy denetim uygulamalarına büyük bir hız kazandırmış ve bu olay Japonya'da büyük bir patlama yaratmıştır. 1987'de başlayan bu patlama

1990'da zirveye ulaşarak Fuzzy denetimin çok büyük bir alan içinde kullanılmasıyla sonuçlanmıştır. 1990 'da fuzzy mantık fotoğraf makinelerinden ev aletlerine ve hatta borsaya kadar çok değişik alanlarda kullanılmıştır. Günümüzde, fuzzy mantık uygulamalarına yönelik yazılım ve donanımlar piyasada hazır şekilde kullanıcılara sunulmuştur. Hatta bulanık mikroişlemciler de pazarlanmaktadır. Panasonic firmasının dizayn ettiği video kayıt cihazının, elle tutulması durumunda çekim sırasındaki sarsıntıları ortadan kaldırması, Subaru ve Nissan firmalarının birlikte o gerçekleştirdikleri otomobil vites sisteminde, araba kullanış stilinin ve motor yükünün sezilerek uygun dişli oranının seçimi, yine Nissan tarafından gerçekleştirilen ABS firen sistemleri, Fujitsu, Toshiba, Hitachi, ve Mitsubishi'nin gerçekleştirdikleri büyük asansör denetim sistemleri, Matsushita firmasının dizayn ettiği çamaşır makinesinde çamaşırın kirliliğine, ağırlığına ve kumaşın cinsine göre yıkama programı seçen sistemler fuzzy mantığın kullanıldığı ilginç örneklerdir. Nasa'da bir grup araştırmacı, fuzzy mantıktan yararlanarak, uzay mekiğinin yakıt tüketimini üç kat azaltmayı ve sistem güvenilirliğinin artmasını sağlamışlardır. Bugün ABD, Japonya, Çin, ve Batı Avrupa ülkeleri başta olmak üzere otuza yakın ülke fuzzy mantık üzerine araştırmalar yapmaktadır.

16.7 Fuzzy Mantığın Avantajları

Fuzzy mantığın avantajlarından başlıcaları şunlardır;

Fuzzy mantık insan düşünce tarzına yakındır.

Çok karmaşık, lineer olmayan, belirsizlikler içeren, geleneksel yöntemlerle gerçekleştirilemeyen sistemlerin oluşturulmasına olanak sağlar. Bu sistemler kısa sürede gerçekleştirilir ve yeni olanaklara da açıktır.

Uygulamalar hızlı ve ucuza mal olur.

16.8 Lineer Programlama

16.8.1 Klasik lineer programlama

Doğrusal programlama; "belirli bir amacın gerçekleşme derecesini etkileyen bazı kısıtlayıcı koşulların bulunması ve bunların doğrusal eşitlik veya

eşitsizlikler olarak verilmesi durumunda, bu amaca en iyi bir biçimde ulaşılması için kıt kaynakların en verimli şekilde kullanılmasını sağlayan bir matematik yöntemidir.

Bu şekilde varılması istenen hedef, karın maksimizasyonu, maliyetin minimizasyonu ve ya çıktı maksimizasyonu yahutta girdi kullanımının maksimizasyonu olarak belirlenebilecektir. Doğal olarak, böyle bir programlama sürecinde. Önce gerekli veriler toplanır, probleme ait bir model kurulur ve daha sonra bu modelin yapısına bağlı olarak, birden fazla olabilir ya da hiçbir çözüm bulunmayabilir. Zaman zaman, amaç denkleminde aynı değeri kazandıran farklı çözümlere de rastlanır. Karar verme durumunda bulunan bir yöneticinin bu farklı seçenekler arasından işletme için en uygun olanını uygulamaya koyması gerekir. Bazı durumlarda ise, modele sokulamamış olan çeşitli etkenlerden ötürü, optimum çözüm yerine ona en yakın olan başka bir çözümün benimsenmesi de gerekebilecektir. Ama her durumda, doğrusal programlama, yönetim için önemli bir araç olarak kullanılabilir. Doğrusal programlama sayesinde işletmeler geleceğe doğru yönelik stratejilerini sağlıklı bir şekilde belirlerler. Belirlenen hedeflere daha verimli bir şekilde ulaşılır.

Özetlersek "Klasik bir lineer programlama problemi" bir lineer fonksiyonun minimum ve ya maksimum değerlerini bulmaktır. Bu lineer eşitsizlik ve ya lineer denklemlerde çeşitli sınırlamaları göstermek sureti ile olur. En çok gösterilen tipik bir lineer programlama problemi şöyledir;

Minimize (ve ya maksimize) $Z = c_1x_1 + c_2x_2 + \dots + c_nx_n$

$$a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + \dots + a_{1n}x_n \leq b_1$$

$$a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + \dots + a_{2n}x_n \leq b_2$$

.....

$$a_{m1}x_1 + a_{m2}x_2 + \dots + a_{mn}x_n \leq b_m$$

$$x_1, x_2, \dots, x_n \geq 0.$$

Bu minimize veya maksimize edilen fonksiyon "Amaç fonksiyonu" olarak adlandırılır. C_i değerleri "maliyet birimleri" (cost coefficients) ve $c =$

(c_1, c_2, \dots, c_n) vektörü "maliyet vektörü" (cost vector) olarak adlandırılır. $A = [a_{ij}]$ matrisi, $i \in N_m$ ve $j \in N_n$ katsayılar matrisi ve $b = \langle b_1, b_2, \dots, b_m \rangle$ vektörü sağ taraftaki sabitlerin vektörüdür ve "kapasite vektörü" ü olarak isimlendirilir. Bu notasyon kullanılarak, problemin formülasyonu şöyle tasvir edilebilir.

$$\text{Min } z = cx$$

$$\text{s.t. } Ax \leq b$$

$$x \geq 0.$$

Burada $X = \langle x_1, x_2, \dots, x_n \rangle^T$ değişkenlerin bir vektörüdür ve konuya göre değişir. Tüm kısıtlara karşılık gelen x vektörleri uygulanabilir bir küme olarak adlandırılır.

Bu şekilde birçok pratik problem bir lineer programlama problemi olarak formüle edilebilir.

Örnek

Klasik lineer programlama için basit bir örnek verilirse:

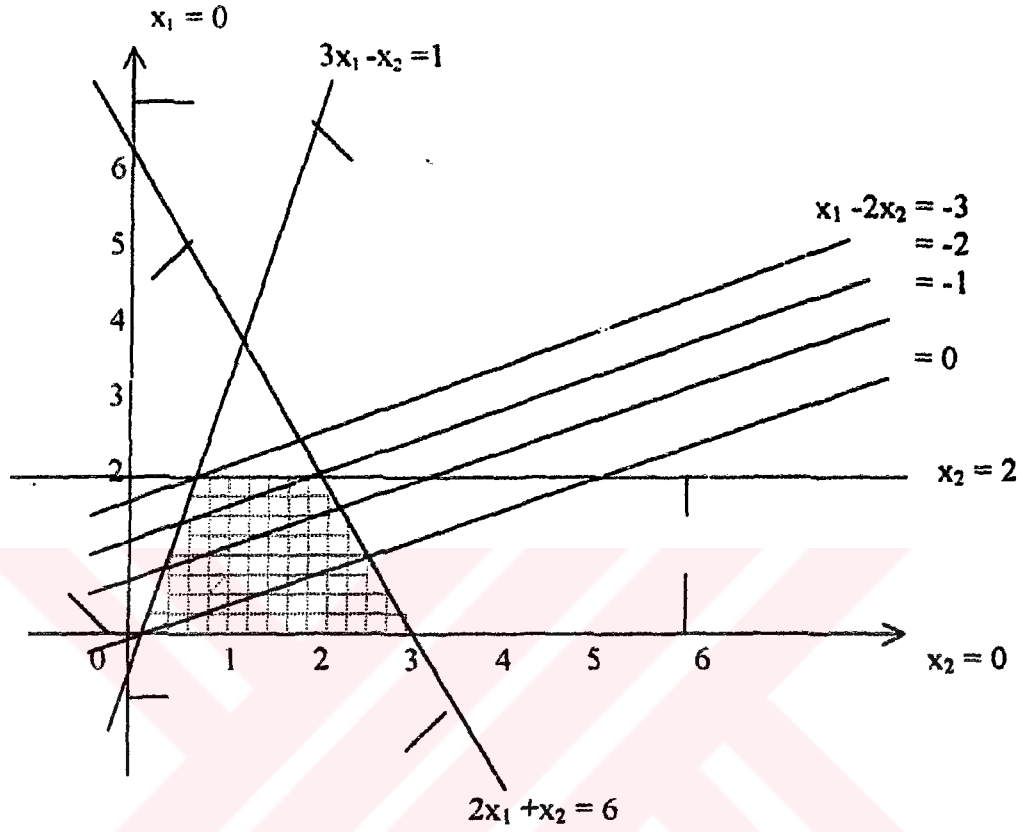
$$\text{Min } z = x_1 - 2x_2$$

$$\text{s.t. } 3x_1 - x_2 \geq 1$$

$$2x_1 - x_2 \leq 6$$

$$0 \leq x_2 \leq 2$$

Şekil 16.15. kullanılarak bir lineer programlama probleminin çözümünün nasıl elde edileceğini görülebilir. İlk önce uygulanabilir küme belirlenir. Şekil 16.15. iyi bir geometrik yorum için $x_1=0$, $x_2=2$, $3x_1-x_2=1$ ve $2x_1+x_2=6$ denklemlerinin doğru çizimi yapılmıştır. Bu doğru çizimleri vasıtası ile örnekteki eşitsizliklerin sınırları belirlenir. Bunların kesişiminden grafikteki taralı alan elde edilir. Bu alan bir konveks çokgendir. Bu uygulanabilir kümedeki minimum z amaç fonksiyonunu bulmak için, $x_1-2x_2=p$ denklemine göre paralel doğrular çizilir. Burada p parametredir. P 'nin azalma yönüne dikkat edilir. Bu konveks çokgen'in köşelerine veya tepe noktasına geçecek şekilde paralel yönde hareket eden doğrular tasarlanabilir. P parametresinin minimum aldığı değer hedef fonksiyonunun z değeridir. Eğer hedef fonksiyonunu maksimize etmek gerekirse, o zaman doğru ters yönde hareket ettirilir. Bu yönde p değeri artar.



Şekil 16.15. Klasik Lineer Programlamaya Bir Örnek

16.8.2 Fuzzy lineer programlama

Bazı pratik durumlarda bir lineer programlama probleminde amaç fonksiyonunun sınırlamaları tam kesin değerler gösteremeyebilirler. Bu durumlarda fuzzy lineer programlamayı kullanmak uygun olur. Fuzzy lineer programlamanın en genel hali şöyle formüle edilebilir:

$$\max \sum_{j=1}^n C_j \cdot X_j$$

$$\sum_{j=1}^n A_{ij} X_j \leq B_i \quad (i \in N_m)$$

$$X_j \geq 0 \quad (j \in N_n)$$

Burada A_{ij}, B_i, C_j fuzzy sayılardır ve X , değerleri fuzzy sayılarının $\{i \in N_m, j \in N_n\}$ halleridir. Toplama ve çarpma işlemleri fuzzy aritmetiğine göre yapılır. Ve “ \leq ” fuzzy sayılardaki sıralamayı gösterir. Bu genel yol yerine biz fuzzy lineer programlama problemlerinde iki özel durum gösterebiliriz.

1. Hal : Bu fuzzy lineer programlama probleminde yalnız sağ taraftaki B_i sayıları fuzzydir. Gösterim şu şekildedir;

$$\begin{aligned} \max \sum_{j=1}^n c_j x_j \\ \sum_{j=1}^n a_{ij} x_j \leq B_i \quad (i \in N_m) \\ x_j \geq 0 \quad (j \in N_n) \end{aligned}$$

2. Hal : Bu fuzzy lineer programlama probleminde sadece sağ taraftaki B_i sayıları da değil sınır matrisinin A_{ij} katsayıları da fuzzy sayılardır;

$$\begin{aligned} \max \sum_{j=1}^n c_j x_j \\ \sum_{j=1}^n A_{ij} x_j \leq B_i \quad (i \in N_m) \\ x_j \geq 0 \quad (j \in N_n) \end{aligned}$$

Fuzzy lineer programlama problemleri ilk olarak keskin lineer veya lineer olmayan problemler olarak değiştirilir. Daha sonra onlar standart metotla çözülürler. Fuzzy lineer programlama probleminin sonuç çözümü gerçek sayılardır. Şimdi 1. Hal fuzzy lineer programlama problemlerini inceleyelim. Burada B_i fuzzy sayılarının $(i \in N_m)$ formu şöyledir:

$$B_i(x) = \begin{cases} 1 & x \leq b_i \\ \frac{b_i + p_i - x}{p_i} & b_i < x < b_i + p_i \\ 0 & b_i + p_i \leq x \end{cases}$$

Burada $x \in R^n$ dir. Her $x = (x_1, x_2, \dots, x_n)$ vektörü için . ilk olarak $D_i(x)$ derecesi hesaplanır.

$$D_i(x) = B_i(\sum a_{ij} x_j)$$

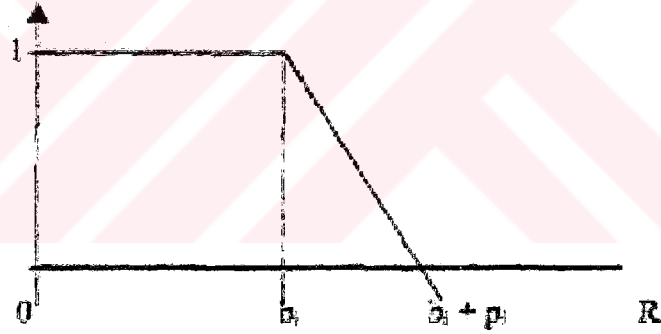
Bu dereceler R^n deki fuzzy kümede' dir. Ve onların kesişmesi $\cap_{j=1}^m D_j$ mümkün bir fuzzy kümedir.

Daha sonra fuzzy kümenin optimal değerleri belirlenir. Bu optimal değerlerin en alt ve en üst sınırlarını hesaplama ile olur. Optimal değerlerin en alt sınırı bu standart lineer programlama problemini çözerek bulunur⁴⁷.

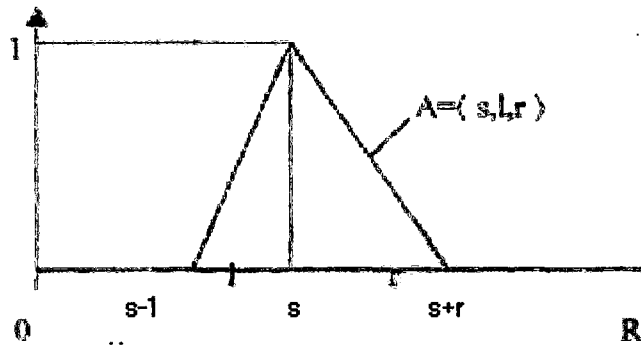
$$\max z = cx$$

$$\sum_{j=1}^n a_{ij} x_j \leq b_i \quad (i \in N_m)$$

$$x_j \geq 0 \quad (j \in N_n)$$



Fuzzy Sayılar



Üçgen Fuzzy Sayılar

Şekil 16.16. Fuzzy ve Üçgen Fuzzy Sayı Grafiği

⁴⁷ KAVRAKOĞLU, 2000. Math. Modelling of Energy Systems. Bogazici Uni. Library, İst.

Optimal değerlerin yüksek sınıın olan Z_u değeri benzer bir lineer programlama problemi ile bulunur. Burada her bi yerine bi + pi kullanılır.

$$\max z = cx$$

$$\sum_{j=1}^n a_{ij} x_j \leq b_i + p_i \quad (i \in N_m)$$

$$x_j \geq 0 \quad (j \in N_n)$$

Fuzzy kümenin optimal G değerleri şöylece gösterelim:

$$G(x) = \begin{cases} 1 & z_u \leq cx \\ \frac{cx - z_l}{z_u - z_l} & z_l \leq cx \leq z_u \\ 0 & cx \leq z_l \end{cases}$$

Şimdi 2.2-4 problemi şu şekilde klasik optimizasyon problemi halini alır.

$$\max \lambda$$

$$\lambda (z_u - z_l) - cx \leq -z_l$$

$$\lambda p_i + \sum_{j=1}^n a_{ij} x_j \leq b_i + p_i \quad (i \in N_m)$$

$$\lambda, x_j \geq 0 \quad (j \in N_n)$$

Yukarıdaki problem bir $x \in R^n$ bulunması problemidir. Öyleki

$$\left[\left(\bigcap_{i=1}^m D_i \right) \cap G \right](x)$$

maksimum değere ulaşılır. Yani amacı maksimum yapan ve kısıtları sağlayan bir noktanın bulunması problemidir. Bu fikirler Belman ve Zadehe aittirler.

17. TÜKETİM VERİLERİ

Tablo 17.1 Marmara Adası'nın 2000, 2001, 2002, 2003 yılı elektrik enerjisi tüketim verileri

| | 2000 YILI | 2001 | 2002 | 2003 | | | | |
|---------|--------------|--------------|--------------|--------------|------------|------------|---------|---------|
| AYLAR | SATIN ALINAN | SATIN ALINAN | SATIN ALINAN | SATIN ALINAN | Ort | Min | Maks | Kısıt |
| OCAK | 1077780 | 1345500 | 1207500 | 1736040 | 1341705 | 1077780 | 1736040 | 110-180 |
| ŞUBAT | 1261320 | 1435200 | 1077780 | 743820 | 1129530 | 743820 | 1435200 | 75-150 |
| MART | 1197840 | 1290300 | 1709820 | 1849200 | 1511790 | 1197840 | 1849200 | 120-190 |
| NİSAN | 1581480 | 2060340 | 1995000 | 2421900 | 2014680 | 1581480 | 2421900 | 160-245 |
| MAYIS | 1966500 | 2232180 | 2188680 | 2707560 | 2273730 | 1966500 | 2707560 | 200-275 |
| HAZİRAN | 2016180 | 2054820 | 2279760 | 2784840 | 2283900 | 2016180 | 2784840 | 205-280 |
| TEMMUZ | 2221800 | 2446740 | 2626140 | 3030480 | 2581290 | 2221800 | 3030480 | 225-305 |
| AĞUSTOS | 2300460 | 1933380 | 2587500 | 2994600 | 2453985 | 1933380 | 2994600 | 195-300 |
| EYLÜL | 1948560 | 1780200 | 2412240 | 2660640 | 2200410 | 1780200 | 2660640 | 180-270 |
| EKİM | 1849200 | 1693260 | 2318400 | 2873160 | 2183505 | 1693260 | 2873160 | 170-290 |
| KASIM | 1868520 | 325680 | 1945800 | 2239740 | 1594935 | 325680 | 2239740 | 35-225 |
| ARALIK | 1429680 | 873540 | 1476600 | 2252160 | 1507995 | 873540 | 2252160 | 90-225 |
| Toplam | 20719320 | 19471140 | 23825220 | 28294140 | milyon YTL | milyon YTL | | |

Yukarıdaki tabloda Marmara Adası'nın 2000, 2001, 2002, 2003 yılı elektrik enerjisi tüketim verileri bir ararada görülmektedir. Bu veriler ışığında bulanık modelimizde kullanacağımız alt ve üst sınırlar belirlenmiştir. Dört senelik verilerden alt ve üst sınır değerleri elde edilmiştir⁴⁸.

⁴⁸ Türkiye Elektrik Dağıtım ve Tüketim İstatistikleri, 2003. Enerji Talepleri Değerlendirme ve İstatistik Müdürlüğü, TEDAŞ Genel Müdürlüğü, 28-30, Ankara.

19. MODEL ÇÖZÜMÜ

19.1 Alt Sınırlarla Çözüm

Tablo 19.1. Üretim ve tüketim verilerinin alt sınırları ile yapılan model çözümü

| Combined Report for enerji | | | | | | | | |
|----------------------------|----------------|--------------|--------------|-----------|------------|-----------|------------|------------|
| 19:59:22 | | | Wednesday | May | 18 | 2005 | | |
| Decision | Solution | Unit Cost or | Total | Reduced | Basis | Allowable | Allowable | |
| Variable | Value | Profit c(j) | Contribution | Cost | Status | Min. c(j) | Max. c(j) | |
| 1 | X1 | 3 | 30.000,00 | 90.000,00 | 0 | basic | -M | 204.618,00 |
| 2 | X2 | 0 | 250.000,00 | 0 | 132.348,00 | at bound | 117.652,00 | M |
| 3 | X3 | 0 | 339.120,00 | 0 | 338.867,50 | at bound | 252,456 | M |
| 4 | OCAK ŞEBEKE | 0 | 134 | 0 | 134 | at bound | 0 | M |
| 5 | ŞUBAT ŞEBEKE | 0 | 134 | 0 | 134 | at bound | 0 | M |
| 6 | MART ŞEBEKE | 0 | 134 | 0 | 134 | at bound | 0 | M |
| 7 | NİSAN ŞEBEKE | 0 | 134 | 0 | 134 | at bound | 0 | M |
| 8 | MAYIS ŞEBEKE | 554 | 134 | 74.236,00 | 0 | basic | 0 | 618,7912 |
| 9 | HAZİRAN ŞEBEKE | 325 | 134 | 43.550,00 | 0 | basic | 0 | 541,2246 |
| 10 | TEMMUZ ŞEBEKE | 0 | 134 | 0 | 134 | at bound | 0 | M |
| 11 | AĞUSTOS ŞEBEKE | 0 | 134 | 0 | 134 | at bound | 0 | M |

Tablo 18.1 (devam) Üretim verilerine göre modelimizde hesaplanan ay bazında 1 yıllık tüketim.

| | | | | | | |
|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| 103 | 157 | 214 | 280 | 343 | 365 | 325 |
| 0,14306 | 0,21806 | 0,29722 | 0,38889 | 0,47639 | 0,50694 | 0,45139 |
| 5,7 | 3,8 | 6,4 | 4,1 | 5,4 | 6,9 | 4,7 |
| 12 | 11 | 10 | 9 | 8 | 7 | 6 |
| 706,8 | 456 | 793,6 | 492 | 669,6 | 855,6 | 564 |
| 103 | 157 | 214 | 280 | 343 | 365 | 325 |
| 0,628 | 0,628 | 0,628 | 0,628 | 0,628 | 0,628 | 0,628 |
| 873540 | 325680 | 1693260 | 1780200 | 1933380 | 2221800 | 2016180 |
| 2252160 | 2239740 | 2873160 | 2660640 | 2994600 | 3030480 | 2784840 |
| 873,54 | 325,68 | 1693,26 | 1780,2 | 1933,38 | 2221,8 | 2016,18 |
| 2252,16 | 2239,74 | 2873,16 | 2660,64 | 2994,6 | 3030,48 | 2784,84 |
| 874 | 326 | 1694 | 1781 | 1934 | 2222 | 2017 |
| 2253 | 2240 | 2874 | 2661 | 2995 | 3031 | 2785 |
| 706 | 456 | 793 | 492 | 669 | 855 | 564 |
| -1379 | -1914 | -1180 | -880 | -1061 | -809 | -768 |
| 1379 | 1914 | 1180 | 880 | 1061 | 809 | 768 |
| 874 | 326 | 1694 | 1781 | 1934 | 2222 | 2017 |

Yukarıdaki tabloda yenilenebilir enerji kaynaklarının maliyetleri, kurulacak tesislerin verimleri, ay bazında elektrik talepleri, aylık güneşlenme süreleri, aylık rüzgar hızları, rüzgar, güneş, biokütle aylık üretimleri görülmektedir. Bu üretim verilerine göre modelimizde ay bazında 1 yıllık tüketim karşılanacaktır.⁴⁹

⁴⁹Türkiye 4. Enerji Sempozyumu, 2003. Küresel Enerji Savaşları Ulusal Kamusal Enerji Politikaları. Milli Kütüphane, 57-84, 143-185, 227-241, 295-355, Ankara.

18.2 Üst Sınırlarla Model

Tablo 18.3. Maksimum değerler alınarak oluşturulmuş tüketim ve üretim değerleri.

| | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---------|---|---|---|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|
| Integer | M | 0 | 1 | 706 | 456 | 793 | 492 | 669 | 855 | 564 | 471 | 600 | 855 | 627 | 682 | 30000 |
| Integer | M | 0 | | 103 | 157 | 214 | 280 | 343 | 365 | 325 | 273 | 197 | 165 | 115 | 103 | 250000 |
| Integer | 1 | 0 | | 0.628 | 0.628 | 0.628 | 0.628 | 0.628 | 0.628 | 0.628 | 0.628 | 0.628 | 0.628 | 0.628 | 0.628 | 339120 |
| Cont. | M | 0 | | | | | | | | | | | | | 1 | 134 |
| Cont. | M | 0 | | | | | | | | | | | | 1 | | 134 |
| Cont. | M | 0 | | | | | | | | | | | 1 | | | 134 |
| Cont. | M | 0 | | | | | | | | | | 1 | | | | 134 |
| Cont. | M | 0 | | | | | | | | | | | | | | 134 |
| Cont. | M | 0 | | | | | | | | | | | | | | 134 |
| Cont. | M | 0 | | | | | | | | | | | | | | 134 |
| Cont. | M | 0 | | | | | | | | | | | | | | 134 |
| Cont. | M | 0 | | | | | | | | | | | | | | 134 |
| Cont. | M | 0 | | | | | | | | | | | | | | 134 |
| Cont. | M | 0 | | | | | | | | | | | | | | 134 |
| Cont. | M | 0 | | | | | | | | | | | | | | 134 |
| Cont. | M | 0 | | | | | | | | | | | | | | 134 |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | 3 | 2253 | 2240 | 2874 | 2661 | 2995 | 3031 | 2785 | 2708 | 2422 | 1850 | 1436 | 1737 | |

Yukarıdaki tabloda tüketim ve üretim değerleri, mümkün olan maximum değerler alınarak oluşturulmuştur. Model bu değerlere uygun olarak çözülecektir.

18.3 Fuzzy Model

Tablo 18.4. Üretim değerleri tamsayı, tüketim değerleri fuzzy değerler alınarak oluşturulmuş model

| | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---------|---|---|-----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|---------|
| Integer | M | 0 | 1 | 706 | 456 | 793 | 492 | 669 | 855 | 564 | 471 | 600 | 855 | 627 | 682 | 30000 | x1 |
| Integer | M | 0 | | 103 | 157 | 214 | 280 | 343 | 365 | 325 | 273 | 197 | 165 | 115 | 103 | 250000 | x2 |
| Integer | 1 | 0 | | 0.628 | 0.628 | 0.628 | 0.628 | 0.628 | 0.628 | 0.628 | 0.628 | 0.628 | 0.628 | 0.628 | 0.628 | 339120 | x3 |
| Cont. | M | 0 | | | | | | | | | | | | | 1 | 134 | Ocak |
| Cont. | M | 0 | | | | | | | | | | | | 1 | | 134 | şubat |
| Cont. | M | 0 | | | | | | | | | | | 1 | | | 134 | mart |
| Cont. | M | 0 | | | | | | | | | | 1 | | | | 134 | nisan |
| Cont. | M | 0 | | | | | | | | | 1 | | | | | 134 | mayıs |
| Cont. | M | 0 | | | | | | | | | | | | | | 134 | haziran |
| Cont. | M | 0 | | | | | | | 1 | | | | | | | 134 | temmuz |
| Cont. | M | 0 | | | | | | | | | | | | | | 134 | ağustos |
| Cont. | M | 0 | | | | | 1 | | | | | | | | | 134 | eyül |
| Cont. | M | 0 | | | | 1 | | | | | | | | | | 134 | ekim |
| Cont. | M | 0 | | | 1 | | | | | | | | | | | 134 | kasım |
| Cont. | M | 0 | | 1 | | | | | | | | | | | | 134 | aralık |
| Cont. | M | 0 | | -1379 | -1914 | -1180 | -880 | -1061 | -809 | -768 | -741 | -840 | -652 | -692 | -659 | 739592 | lamda |
| | | | | > | > | > | > | > | > | > | > | > | > | > | > | <= | |
| | | 3 | 874 | 326 | 1694 | 1781 | 1934 | 2222 | 2017 | 1967 | 1582 | 1198 | 744 | 1078 | 988248 | | |

Yukarıdaki tabloda üretim değerleri tamsayı, tüketim değerleri fuzzy değerler alınarak oluşturulmuştur. Model bu değerlere uygun olarak çözülecektir.

19. MODEL ÇÖZÜMÜ

19.1 Alt Sınırlarla Çözüm

Tablo 19.1. Üretim ve tüketim verilerinin alt sınırları ile yapılan model çözümü

| Combined Report for enerji | | | | | | | | |
|----------------------------|----------------|----------|--------------|--------------|------------|----------|------------|------------|
| 19:59:22 | | | Wednesday | May | 18 | 2005 | | |
| | Decision | Solution | Unit Cost or | Total | Reduced | Basis | Allowable | Allowable |
| | Variable | Value | Profit c(j) | Contribution | Cost | Status | Min. c(j) | Max. c(j) |
| 1 | X1 | 3 | 30.000,00 | 90.000,00 | 0 | basic | -M | 204.618,00 |
| 2 | X2 | 0 | 250.000,00 | 0 | 132.348,00 | at bound | 117.652,00 | M |
| 3 | X3 | 0 | 339.120,00 | 0 | 338.867,50 | at bound | 252,456 | M |
| 4 | OCAK ŞEBEKE | 0 | 134 | 0 | 134 | at bound | 0 | M |
| 5 | ŞUBAT ŞEBEKE | 0 | 134 | 0 | 134 | at bound | 0 | M |
| 6 | MART ŞEBEKE | 0 | 134 | 0 | 134 | at bound | 0 | M |
| 7 | NİSAN ŞEBEKE | 0 | 134 | 0 | 134 | at bound | 0 | M |
| 8 | MAYIS ŞEBEKE | 554 | 134 | 74.236,00 | 0 | basic | 0 | 618,7912 |
| 9 | HAZİRAN ŞEBEKE | 325 | 134 | 43.550,00 | 0 | basic | 0 | 541,2246 |
| 10 | TEMMUZ ŞEBEKE | 0 | 134 | 0 | 134 | at bound | 0 | M |
| 11 | AĞUSTOS ŞEBEKE | 0 | 134 | 0 | 134 | at bound | 0 | M |

Tablo 19.1. (devam) Üretim ve tüketim verilerinin alt sınırları ile yapılan model çözümü

| | | | | | | | | |
|----|------------------|--------------|-----------|----------------|------------|-----------------|-----------|-----------|
| 12 | EYLÜL ŞEBEKE | 305 | 134 | 40.870, 00 | 0 | basic | 0 | 606,6714 |
| 13 | EKİM ŞEBEKE | 0 | 134 | 0 | 134 | at bound | 0 | M |
| 14 | KASIM ŞEBEKE | 0 | 134 | 0 | 134 | at bound | 0 | M |
| 15 | ARALIK ŞEBEKE | 0 | 134 | 0 | 134 | at bound | 0 | M |
| | Objective | Function | (Min.) = | 248.65 6,00 | | | | |
| | | Left Hand | | Right Hand | Slack | Shadow | Allowable | Allowable |
| | Constraint | Side | Direction | Side | or Surplus | Price | Min. RHS | Max. RHS |
| 1 | C1 | 2.046,00 | >= | 1.078,0 0 | 968 | 0 | -M | 2.046,00 |
| 2 | C2 | 1.881,00 | >= | 744 | 1.137,00 | 0 | -M | 1.881,00 |
| 3 | C3 | 2.565,00 | >= | 1.198,0 0 | 1.367,00 | 0 | -M | 2.565,00 |
| 4 | C4 | 1.800,00 | >= | 1.582,0 0 | 218 | 0 | -M | 1.800,00 |
| 5 | C5 | 1.967,00 | >= | 1.967,0 0 | 0 | 134 | 1.413,00 | M |
| 6 | C6 | 2.017,00 | >= | 2.017,0 0 | 0 | 134 | 1.692,00 | M |
| 7 | C7 | 2.565,00 | >= | 2.222,0 0 | 343 | 0 | -M | 2.565,00 |
| 8 | C8 | 2.007,00 | >= | 1.934,0 0 | 73 | 0 | -M | 2.007,00 |
| 9 | C9 | 1.781,00 | >= | 1.781,0 0 | 0 | 134 | 1.476,00 | M |
| 10 | C10 | 2.379,00 | >= | 1.694,0 0 | 685 | 0 | -M | 2.379,00 |
| 11 | C11 | 1.368,00 | >= | 326 | 1.042,00 | 0 | -M | 1.368,00 |
| 12 | C12 | 2.118,00 | >= | 874 | 1.244,00 | 0 | -M | 2.118,00 |
| 13 | C13 | 3 | <= | 3 | 0 | - 174.618,00 | 2,8909 | 3,5762 |

Üretim ve tüketim verilerinin alt sınırları ile yapılan model çözümü yukarıda gösterilmiştir. Burada modelimiz güneş sistemi ve biokütle sistemi kurmayı tercih etmemiştir. Rüzgar türbinlerinden 3 adet kurmuş ve Ocak, Şubat, Mart, Nisan, Temmuz, Ağustos, Ekim, Kasım, Aralık aylarının tüm elektrik talebini rüzgar enerjisinden faydalanarak karşılamıştır. Ayrıca bu aylarda şebekeye, rüzgardan elde ettiği fazla elektrik olan 968, 1137, 1367, 218, 343, 73, 685, 1042, 1244 MW'lık elektrik enerjisini satmıştır. Sattığı elektriğin maliyeti toplam maliyetlerden ayrıca düşülmüştür. Mayıs, Haziran ve Eylül aylarında talep fazla olduğundan şebekeden elektrik alınmıştır.

19.2 Üst Sınırlarla Çözüm

Tablo 19.2. Üretim ve tüketim verilerinin üst sınırları ile yapılan model çözümü.

| Combined Report for enerji | | | | | | |
|----------------------------|----------------|----------|--------------|--------------|------------|----------|
| | 20:00:33 | | Wednesday | May | 18 | 2005 |
| | Decision | Solution | Unit Cost or | Total | Reduced | Basis |
| | Variable | Value | Profit c(j) | Contribution | Cost | Status |
| 1 | X1 | 3 | 30.000,00 | 90.000,00 | 0 | basic |
| 2 | X2 | 2 | 250.000,00 | 500.000,00 | 10.274,00 | at bound |
| 3 | X3 | 0 | 339.120,00 | 0 | 338.530,90 | at bound |
| 4 | OCAK ŞEBEKE | 0 | 134 | 0 | 134 | at bound |
| 5 | ŞUBAT ŞEBEKE | 0 | 134 | 0 | 134 | at bound |
| 6 | MART ŞEBEKE | 0 | 134 | 0 | 134 | at bound |
| 7 | NİSAN ŞEBEKE | 228 | 134 | 30.552,00 | 0 | basic |
| 8 | MAYIS ŞEBEKE | 749 | 134 | 100.366,00 | 0 | basic |
| 9 | HAZİRAN ŞEBEKE | 443 | 134 | 59.362,00 | 0 | basic |
| 10 | TEMMUZ ŞEBEKE | 0 | 134 | 0 | 134 | at bound |
| 11 | AĞUSTOS ŞEBEKE | 302 | 134 | 40.468,00 | 0 | basic |
| 12 | EYLÜL ŞEBEKE | 625 | 134 | 83.750,00 | 0 | basic |
| 13 | EKİM ŞEBEKE | 67 | 134 | 8.978,00 | 0 | basic |
| 14 | KASIM ŞEBEKE | 558 | 134 | 74.772,00 | 0 | basic |
| 15 | ARALIK ŞEBEKE | 0 | 134 | 0 | 134 | at bound |

Tablo 19.2. (devam) Üretim ve tüketim verilerinin üst sınırları ile yapılan model çözümü

| | Objective | Function | (Min.) = | 988.248,00 | | |
|----|------------|----------|-----------|------------|------------|-------------|
| | | Left | | Right Hand | Slack | Shadow |
| | Constraint | Side | Direction | Side | or Surplus | Price |
| 1 | C1 | 2.252,00 | >= | 1.737,00 | 515 | 0 |
| 2 | C2 | 2.111,00 | >= | 1.436,00 | 675 | 0 |
| 3 | C3 | 2.895,00 | >= | 1.850,00 | 1.045,00 | 0 |
| 4 | C4 | 2.422,00 | >= | 2.422,00 | 0 | 134 |
| 5 | C5 | 2.708,00 | >= | 2.708,00 | 0 | 134 |
| 6 | C6 | 2.785,00 | >= | 2.785,00 | 0 | 134 |
| 7 | C7 | 3.295,00 | >= | 3.031,00 | 264 | 0 |
| 8 | C8 | 2.995,00 | >= | 2.995,00 | 0 | 134 |
| 9 | C9 | 2.661,00 | >= | 2.661,00 | 0 | 134 |
| 10 | C10 | 2.874,00 | >= | 2.874,00 | 0 | 134 |
| 11 | C11 | 2.240,00 | >= | 2.240,00 | 0 | 134 |
| 12 | C12 | 2.324,00 | >= | 2.253,00 | 71 | 0 |
| 13 | C13 | 3 | <= | 3 | 0 | -512.030,00 |

Üretim ve tüketim verilerinin üst sınırları ile yapılan model çözümü yukarıda gösterilmiştir. Burada modelimiz, biokütle sistemi kurmayı tercih etmemiştir. Rüzgar türbinlerinden 3 adet, güneş sisteminden de 2 adet kurmuş ve Ocak, Şubat, Mart, Temmuz, Aralık aylarının tüm elektrik talebini rüzgar ve güneş enerjisinden faydalanarak karşılamıştır. Ayrıca bu aylarda şebekeye, rüzgar ve güneşten elde ettiği fazla elektrik olan 515, 675, 1045, 264, 71 MW'lık elektrik enerjisini satmıştır. Sattığı elektriğin maliyeti toplam maliyetlerden ayrıca düşülmüştür. Nisan, Mayıs, Haziran, Ağustos, Eylül, Ekim, Kasım aylarında talep fazla olduğundan şebekeden elektrik alınmıştır.

19.3 Fuzzy Çözüm

Tablo 19.3. Tüketim verilerinin fuzzy sınırları ile yapılan model çözümü.

| Combined Report for enerji | | | | | | |
|----------------------------|----------------|------------|--------------|--------------|------------|----------|
| | 11:27:17 | | Monday | May | 23 | 2005 |
| | Decision | Solution | Unit Cost or | Total | Reduced | Basis |
| | Variable | Value | Profit c(j) | Contribution | Cost | Status |
| 1 | X1 | 3 | 0 | 0 | 0 | Basic |
| 2 | X2 | 0 | 0 | 0 | 0 | at bound |
| 3 | X3 | 0 | 0 | 0 | -0,2016 | at bound |
| 4 | OCAK ŞEBEKE | 0 | 0 | 0 | -0,0001 | at bound |
| 5 | ŞUBAT ŞEBEKE | 0 | 0 | 0 | -0,0001 | at bound |
| 6 | MART ŞEBEKE | 0 | 0 | 0 | -0,0001 | at bound |
| 7 | NİSAN ŞEBEKE | 264,2792 | 0 | 0 | 0 | Basic |
| 8 | MAYIS ŞEBEKE | 979,4391 | 0 | 0 | 0 | Basic |
| 9 | HAZİRAN ŞEBEKE | 765,941 | 0 | 0 | 0 | Basic |
| 10 | TEMMUZ ŞEBEKE | 121,4808 | 0 | 0 | 0 | Basic |
| 11 | AĞUSTOS ŞEBEKE | 536,1646 | 0 | 0 | 0 | Basic |
| 12 | EYLÜL ŞEBEKE | 810,2449 | 0 | 0 | 0 | Basic |
| 13 | EKİM ŞEBEKE | 0 | 0 | 0 | -0,0001 | at bound |
| 14 | KASIM ŞEBEKE | 56,9076 | 0 | 0 | 0 | Basic |
| 15 | ARALIK ŞEBEKE | 0 | 0 | 0 | -0,0001 | at |
| 16 | LAMDA | 0,5741 | 1 | 0,5741 | 0 | Basic |
| | Objective | Function | (Max.) = | 0,5741 | | |
| | | Left Hand | | Right Hand | Slack | Shadow |
| | Constraint | Side | Direction | Side | or Surplus | Price |
| 1 | Amac | 988.248,10 | <= | 988.248,00 | 0 | 0 |
| 2 | C1 | 1.667,64 | >= | 1.078,00 | 589,64 | 0 |
| 3 | C2 | 1.483,69 | >= | 744 | 739,69 | 0 |
| 4 | C3 | 2.190,66 | >= | 1.198,00 | 992,66 | 0 |
| 5 | C4 | 1.582,00 | >= | 1.582,00 | 0 | -0,0001 |
| 6 | C5 | 1.967,00 | >= | 1.967,00 | 0 | -0,0001 |
| 7 | C6 | 2.017,00 | >= | 2.017,00 | 0 | -0,0001 |
| 8 | C7 | 2.222,00 | >= | 2.222,00 | 0 | -0,0001 |
| 9 | C8 | 1.934,00 | >= | 1.934,00 | 0 | -0,0001 |

Tablo 19.3. (devam) Tüketim verilerinin fuzzy sınırları ile yapılan model çözümü

| | | | | | | |
|----|-----|----------|----|----------|--------|---------|
| 10 | C9 | 1.781,00 | >= | 1.781,00 | 0 | -0,0001 |
| 11 | C10 | 1.701,51 | >= | 1.694,00 | 7,5126 | 0 |
| 12 | C11 | 326,00 | >= | 326 | 0 | -0,0001 |
| 13 | C12 | 1.326,26 | >= | 874 | 452,26 | 0 |
| 14 | C13 | 3 | <= | 3 | 0 | 0,3098 |

Tüketim verilerinin fuzzy sınırları ile yapılan model çözümü yukarıda gösterilmiştir. Burada modelimiz, biokütle ve güneş sistemi kurmayı tercih etmemiştir. Rüzgar türbinlerinden 3 adet kurmuş ve Ocak, Şubat, Mart, Ekim, Aralık aylarının tüm elektrik talebini rüzgar enerjisinden faydalanarak karşılamıştır. Ayrıca bu aylarda şebekeye, rüzgardan elde ettiği fazla elektrik olan 589, 739, 992, 7, 452 MW'lık elektrik enerjisini satmıştır. Satıldığı elektriğin maliyeti toplam maliyetlerden ayrıca düşülmüştür. Nisan, Mayıs, Haziran, Temmuz, Ağustos, Eylül, Kasım aylarında talep fazla olduğundan şebekeden elektrik alınmıştır.

Tablo 19.4. Klasik Şebeke ile Üretim Maliyetleri.

| ŞEBEKE İLE ÜRETİM | | | |
|-------------------|---------------------|---------------------|----------------------|
| Ort (kwh) | ORTALAMAMALİYET(\$) | MİNİMUM MALİYET(\$) | MAKSİMUM MALİYET(\$) |
| 1341,705 | 179.788,47 | 144.422,52 | 232.629,36 |
| 1129,53 | 151.357,02 | 99.671,88 | 192.316,80 |
| 1511,79 | 202.579,86 | 160.510,56 | 247.792,80 |
| 2014,68 | 269.967,12 | 211.918,32 | 324.534,60 |
| 2273,73 | 304.679,82 | 263.511,00 | 362.813,04 |
| 2283,9 | 306.042,60 | 270.168,12 | 373.168,56 |
| 2581,29 | 345.892,86 | 297.721,20 | 406.084,32 |
| 2453,985 | 328.833,99 | 259.072,92 | 401.276,40 |
| 2200,41 | 294.854,94 | 238.546,80 | 356.525,76 |
| 2183,505 | 292.589,67 | 226.896,84 | 385.003,44 |
| 1594,935 | 213.721,29 | 43.641,12 | 300.125,16 |
| 1507,995 | 202.071,33 | 117.054,36 | 301.789,44 |
| | 3.092.378,97 | 2.333.135,64 | 3.884.059,68 |

Yukarıda Tablo19.4'te görüldüğü gibi klasik sistemin 4 senelik (2000-2003) ortalama tüketim verileri ile hesaplanan ortalama maliyeti 3.092.378,97 \$'dır.

Tablo 19.5. Yeni Sistem Üretim Maliyeti Hesabı ve Klasik Sistem ile Yeni Sistem Arasındaki Maliyet Farkı.

| YENİ SİSTEM İLE ÜRETİM MALİYETİ HESAPLAMASI(\$) | |
|---|--------------------------|
| Modelin Maliyeti | 988248 |
| Lamda katsayısı | 0,5741 |
| Formülasyon | $988248-(0,5741*739592)$ |
| Gerçek maliyet | 563.648 |
| ESKİ SİSTEM MALİYETİ | 3.092.379 |
| YENİ SİSTEM GERÇEK MALİYETİ | 563.648 |
| TALEP FAZLASI SATILAN ELEKTRİK MALİYETİ | 372.756 |
| NET YENİ SİSTEM MALİYETİ | 190.892 |
| İKİ SİSTEM ARASINDAKİ FARK | 2.901.487 |

Yukarıda Tablo 19.5'te görüldüğü gibi, fuzzy model ile bulunan yeni sistem maliyeti, lamda katsayısı kullanılarak gerçek maliyete dönüştürülmektedir. Bazı aylarda yenilenebilir kaynaklardan elde edilen talep fazlası elektriğin şebekeye satılarak elde edildiği tutar da yeni sistemin maliyetinden düşülerek net yeni sistem maliyetine (190.892\$) ulaşılır. İki sistem arasındaki maliyet farkı 2.901.487\$'dır. Böylece yeni sistem tercih edilerek elde edilecek kazanç görülebilmektedir.

20. SONUÇ

Günümüzde dünyada yaklaşık 1.6 milyar insan hiçbir yeni ve ticari enerji türüne ulaşamamaktadır. Bu insanların çoğunluğu gelişmekte olan ülkelerde, birçoğu da kırsal alanlarda ve izole toplumlarda yaşamaktadırlar. Enerjiden yoksunluk, yoksul yaşama koşullarının ve umutsuzlukların ana nedenini oluşturmaktadır. Enerjinin çeşitlendirilmesi durumunda dünyanın gelişmesi, barış ve refah düzeyinin artması sağlanabilecek, sosyal mücadeleler ortadan kalkabilecektir.

Enerji Projelerinin uzun dönem karakteri, mevcut alt yapı, yenilenebilir enerjide kullanılan teknolojilerin henüz gelişmemiş olması nedeniyle, bu da maliyeti artırmakta, kısa ve orta vadede birincil enerji kaynaklarının yerini alamayacağı, ama sınırlı fosil yakıt rezervlerinin kullanım sürelerinin uzatılmasına yardım edeceği açıktır. Sonuç olarak rüzgar enerjisi başta olmak üzere yenilenebilir enerji kaynaklarında artık dönüşü olmayan bir yola girilmiştir.

Geliştirilen veya transfer edilen teknolojinin standardizasyonu gerekmektedir. Teknoloji transferi içinde hali hazırda uygulanan biyokütle teknolojilerinin detaylı şekilde incelenmesi gerekmektedir. İnsanoğlu etkinlikleri ile doğal çevreyi sürekli etkilemekte ve kirletmektedir. Enerji alanında bu etki en yüksek düzeylere ulaşmaktadır. Enerji, doğa tarafından insanoğluna sunulan yapısı gereği kirlilik ya da temizlik gibi ölçütlerle nitelendirilemeyen bir özelliğe sahiptir. Enerjiyi kirli ya da temiz yapan şey kullanılan üretim teknolojisidir. Enerji politikaları "temiz üretim" baz alınarak hiç bir enerji kaynağı küçümsenmeden oluşturulmalı ve hayata geçirilmelidir.

Türkiye'de yeni ve yenilenebilir enerji kaynakları kullanıma sokulmalıdır. Bu hem artan ithal enerji yükünün azaltılması, hem de enerji ve çevre sorununa sürdürülebilirlik ilkesi ile yaklaşılması açısından önemlidir. Bu bağlamda jeotermal enerji, güneş enerjisi, rüzgar enerjisi ve modern biomas enerjilerinin kaynaklarının bilimsel ve teknik yöntemlerle doğru belirlenmesi konusunda çalışmalar

geliştirilmeli ve insanımızın hizmetine sunumu gerçekleştirilmelidir. Jeofizik ve jeolojik özellikleri bakımından Türkiye jeotermal enerji zenginliği açısından dünyanın sayılı ülkeleri arasında olup bu enerjinin başta ısıtma ve elektrik amaçlı kullanımını olmak üzere çeşitli kullanımları geliştirilmelidir.

Gelecek 10 yıl için öngörülen elektrik enerjisi talebinin nasıl karşılanacağını gösteren üretim tüketim dengesi hesaplanmış olup aşağıdaki sonuçlar saptanmıştır.

1. Elektrik enerjisi talebinin, son 10 yılda ortalama % 7.3 artarak gerçekleşmiş olup gelecek 10 yıl için ise yılda ortalama % 9,5 artışla gelişeceği elektrik enerjisi talebinin 2012 yılında 323.2 milyar kWh' e ulaşacağı, Puant güç talebinin son 10 yılda ortalama %7.1 artarak gerçekleşmiş olup gelecek 10 yıldaki artışın yılda ortalama % 9.5 artışla gelişeceği ve 2012 yılında 50520 MW' a ulaşacağı görülmektedir.

2. Üretim tüketim güç dengesi sonuçlarına bakıldığında; güç yedeğinin

2005 yılında % 45

2007 yılında % 24

2009 yılında % 4

olacağı ve daha sonraki yıllarda talep karşılanamadığından güç yedeğinin eksilere düşeceği, Proje üretimlerine göre hazırlanmış olan üretim tüketim dengesinde proje üretimlerine göre üretim yedekleri;

2003 yılında % 25.7

2005 yılında % 18.8

2007 yılında % 3.4 olarak hesaplanmış olup daha sonraki yıllarda talep karşılanamadığından proje üretim yedeğinin de eksiye düşeceği, güvenilir üretime göre hazırlanan üretim tüketim dengesindeki güvenilir üretim yedekleri ise;

2003 yılında % 16.0

2005 yılında % 8.5

2006 yılında % 0 olarak hesaplanmış olup daha sonraki yıllarda talep karşılanamadığından güvenilir üretim yedeğinin eksiye düşeceği görülmektedir. 2010 yılından itibaren puant talebi karşılamak için mevcut toplam kurulu güce ilave edilmesi gereken yeni kapasitenin güç talebini güvenilir bir yedek ile karşılayacak miktar olarak, üretim yedeğinin de enerji talebini güvenilir bir şekilde karşılayacak miktar olarak göz önüne alınması gerekmektedir.

3. Kurulu gücün yakıt cinslerine göre dağılımının gelecek yıllardaki gelişimine bakıldığında;

2003 yılında % 33 olan doğal gaz 2009' da % 29.8

Linyit + taşkömürünün 2003 yılındaki payı % 19.5 iken 2009 yılında % 21.6

ithal kömürün 2003 yılında % 3,8 olan payı 2009 yılında % 3.3

hidroliğin 2003 yılında % 34.8 olan payı ise 2009 yılında % 37.6 olacağı görülmektedir.

4. Kurulu güçteki yerli ve ithal kaynak dağılımının gelecek 10 yıllardaki gelişimi incelendiğinde ise; 2003 yılında % 54.5 yerli, % 45.5 ithal olan oranlar 2009 yılında % 59.2 yerli, % 40.8 ithal olarak gelişeceği görülmektedir. Enerji açığı olan yıllar için bu oranlar ilave edilecek kapasitenin cinsine göre değişebilecektir.

Enerji toplumsal yaşamın başlangıcından itibaren insan ve toplum yaşamı için vazgeçilmezdir. Gelişen teknoloji ve artan enerji ihtiyacı ile birlikte; geleneksel enerji kaynakları toplumun enerji ihtiyacını karşılamada yetersiz kalmakta ve yine bu enerji kaynakları doğal yaşam ve çevreye onulmaz zararlar vermektedir. Toplumsal yaşamın merkezinde yer alan ve kamusal bir hizmet olan enerjiye yönelik ihtiyacın belirlenmesi, karşılanması, iletilmesi kısacası enerjide planlama yapılması kaçınılmaz bir zorunluluktur.

Elektrik enerjisi üretiminde ulusal kaynaklara ve yenilenebilir enerji kaynaklarına ağırlık verilmelidir. Yeni ve yenilenebilir enerji kaynaklarının desteklenmesi için yasal düzenlemeler bir an önce hayata geçirilmelidir. Bu kaynakların enerji dönüşüm ve ünite donanımlarının yurdumuzda üretilmesi teşvik çalışmaları örgütlenmeli ve desteklenmelidir.

Enerji üretiminde öncelikli göz önüne alınması gereken çevre etkeninin göz ardı edilmesi sonucunda ciddi çevre sorunları oluşmaktadır. Enerji politikaları oluşturulurken çevresel etkiler göz önüne alınmalıdır. Yenilenebilir enerji kaynaklarından ülkemizde güneş, rüzgar ve jeotermal enerji kaynaklarının şu an yeterince değerlendirilemeyen mevcut potansiyelleri, verimli bir şekilde değerlendirilmelidir. Yıllar itibarıyla hidrolik enerjinin genel üretimdeki payı azalmaktadır. Bu durum maliyetleri de artırmaktadır. Henüz kendi potansiyelinin % 34' ü kullanılmakta olan su potansiyelinin kullanımını 10 yıllık bir dönemde % 50' ye

ikinci on yıllık dönemde ise % 70' lere çıkarılmalıdır Mevcut potansiyelinin % 2.97' sinden yararlanılan jeotermal enerjinin tümüyle kullanılmasına dönük yatırımlar yapılmalı, bu konuda araştırma ve kullanımla ilgili yasal düzenlemeler getirilmelidir. Bu çerçevede arama ve işletmeyi koordine edecek bir yapı oluşturulmalıdır.

Çevre dostu ve işletme maliyeti düşük olan rüzgar enerjisinde dünyadaki gelişmelere paralel olarak ülkemiz potansiyelini maksimum düzeyde değerlendirme yönünde ayrıntılı fizibilite çalışmaları yapılmalı, bu konuda gelişmiş teknolojilerle yatırım olanakları sağlanmalıdır. Güneş enerjisinden yararlanma konusunda teşvik edici politika oluşturulmalı, 2010 yıllarından itibaren kuruluş maliyetleri düşeceği bilinen fotovoltaik piller konusunda AR-GE çalışmalarına başlanılmalıdır.

Ekolojik tahribata yol açmayan biyokütle enerjisinin üretimi, yakıtın türü, kullanımı konularında standartlaşmaya gidilmeli, bu yönde kısa, orta ve uzun erimli enerji planlamaları yapılmalıdır. Doğayı ve çevreyi kirleten enerji üretiminde vergi zorunluluğu getirilmeli, bu parasal birikim bir fonda toplanarak, yenilenebilir ve temiz enerji teknolojileri için kullanılmalıdır. Ülkemizin kalori değeri düşük, kükürt içeriği yüksek linyitlerinin değerlendirilmesi açısından, yakıt olarak linyitin kullanıldığı termik santrallerimizde akışkan yataklı kazan teknolojilerine geçilmelidir. Yine SO₂ emisyonunun yönetmeliklerle de belirlenen sınır değerlerinin üzerine çıkılmaması yönünde termik santrallerimizde baca gazı desülfürasyon tesisleri kurulmalı ve sürekli devrede tutulmalıdır. Ayrıca temiz yakma için linyit kömürleri ile bitümlüştür vb. malzemelerin karıştırılarak yakılması için teknolojik gelişmeler takip edilerek hayata geçirilmelidir.

Ülkemizde emisyon emen alanların; ormanların artırılması çalışmalarının sistematik bir şekilde başlatılması ile CO₂ emisyonunun azaltılması hedeflenmelidir. Odun ile ısınmanın yaygın olduğu ülkemizde ormanların kurtarılması için enerji ormanları uygulamaları gündeme getirilmelidir. Kojenerasyon uygulamaları konusunda ülke düzeyinde geçerli olacak uygulama kodları ve standartlar getirilmelidir. Genel olarak enerji tasarrufunu sağlayıcı politika ve zorunlu uygulamalar yürürlüğe konulmalıdır. Elektrikte % 25' leri aşan kayıp kaçak oranını azaltacak yatırımlar hızlı biçimde yapılmalıdır. Enerji tüketiminde tasarrufu teşvik edici uygulamalara gidilmelidir. Tasarruf ve verimlilik konularında gerekli hukuksal düzenlemeler yapılmalıdır.

Ülkemizde enerji sektöründe 20 yıldır uygulana gelen politikalarla toplumsal ihtiyaçlarla bunların karşılanabilirliği arasındaki açığı her geçen gün daha da artmaktadır. Ülkemiz gerçekleri de göz önüne alınmak şartıyla Enerji sektörünün gerek stratejik önemi gerekse kaynakların rasyonel kullanımını açısından düzenleme, planlama, eşgüdüm ve denetleme faaliyetlerinin koordinasyonu açısından merkezi bir yapıya ihtiyacı vardır. Enerji sektörüne yönelik politikaların belirlenmesinde toplumun tüm kesimlerinin ve konunun tüm taraflarının görüşleri alınmalı ve sektör özerk bir yapıya kavuşturulmalıdır. Enerji planlamasına ilişkin önceliklerin tartışılıp, yeniden belirleneceği bir platform mutlaka oluşturulmalıdır. Ulusal elektrik sisteminin ve enerji sektörünün öncelikli, temel gereksinimlerinin doğru saptanmasıyla kısa ve uzun erimli enerji yatırımlarının zamanında gerçekleşmesine dönük uygun politikalar ve kurumsal düzenlemeler yaşama geçirilmelidir.



KAYNAKLAR

1. SEN, Z., 2001. Bulanık Mantık ve Modelleme İlkeleri. Bilge Kültür Sanat, 9-27, İstanbul.
2. Türkiye 4. Enerji Sempozyumu, 2003. Küresel Enerji Savaşları Ulusal Kamusal Enerji Politikaları. Milli Kütüphane, 57-84, 143-185, 227-241, 295-355, Ankara.
3. KOCAMAN, B., 2003. Elektrik Enerjisi Üretim Santralleri. Birsen Yayınevi, 157-203, 227-232, İstanbul.
4. Elektrik Enerjisinde Ulusal Politika, 2000. Ankara İstanbul Sanayi Odası, 51-65, Ankara.
5. YÜCEL, F. B., 2000. Kaynak Elektrik Dergisi, Sayı 141, 31-45, İstanbul.
6. YÜCEL, F. B., 2001. Kaynak Elektrik Dergisi, Sayı 143, 66-73, İstanbul.
7. YÜCEL, F. B., 2001. Kaynak Elektrik Dergisi, Sayı 144, 42-44, İstanbul.
8. TMMOB, EMO, 2001. Elektrik Mühendisliği Dergisi, Sayı 407, 19-30, Ankara.
9. TMMOB, EMO, 2001. Elektrik Mühendisliği Dergisi, Sayı 408, 6-16, Ankara.
10. TMMOB, EMO, 2002. Elektrik Mühendisliği Dergisi, Sayı 412, 26-39, Ankara.
11. Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu, 2001. 3E Enerji Elektrik Elektronik Dergisi, Sayı 81, 126-128, İstanbul.
12. Ölçü Mühendislik Dergisi, 2003, Sayı Nisan, 39-49, İstanbul.
13. CANZ, T., 1996. Fuzzy Linear Programming in DSS for Energy System Planning. International Institute for Applied Systems Analysis, 2-11, Laxenburg, Austria.
14. KAVRAKOĞLU, İ., 1997. Energy Models. Bogazici University Library, Research Papers, 2-13, İstanbul.
15. KAVRAKOĞLU, İ., 2000. Mathematical Modelling of Energy Systems. Bogazici University Library, 11-21, İstanbul.
16. KAVRAKOĞLU, İ., 2000. A Dynamic Optimization Model for Energy Policy Analysis. Bogazici University Library, 132-139, İstanbul.

- 17.ROGNER, H. H., 2000. An Aggregate Macroeconomic Model for the IIASA Set of Energy Models. International Institute for Applied Systems Analysis, 35-39, Laxenburg, Austria
18. SCHMITZ, K., TERHORST, W., VOSS, A., 2000. Simulation Techniques in Energy Analysis. STE, 112-123, Germany.
19. FINON, D., 2000. About the Use of An Energy Optimization Model. 158-163, France.
20. FINON, D., 2000. Models in the French Energy Planning Process. 423-425, France.
21. DEBANNE, J. G., 2000. Regional Network Based Modelling as A Tool in Energy Planning: An Evolutionary Expose. 357-360, Canada.
- 22.DUESING, E. C., 2000. Applications of Multiple Objective Linear Programming to Energy Modelling. 381-385, USA.
- 23.Balıkesir İli Maden ve Enerji Kaynakları, 2004, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, 5-6, Ankara.
24. Türkiye Elektrik Dağıtım ve Tüketim İstatistikleri, 2003. Enerji Talepleri Değerlendirme ve İstatistik Müdürlüğü, TEDAŞ Genel Müdürlüğü, 28-30, Ankara.
25. Elektrik Piyasası Kanunu.
26. DUIC, N., CARVALHO, M.G., 2003. Increasing Renewable Energy Sources in Island Energy Supply: Case Study Porto Santo. Renewable and Sustainable Energy Reviews, Elsevier, 384-389, 396-398, Lisbon, Portugal.
27. HAMİTOĞULLARI, H. C., 1999. Fuzzy Çok Amaçlı Optimizasyon Yöntemiyle Portföy Seçimi. Marmara Üniv. Sosyal Bil. Ens. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.
28. ÖZKAN, C. G., 1999. Fuzzy Lineer Programlamanın Bir Üretim Problemine Uygulanması. Marmara Üniv. Sosyal Bil. Ens. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.
29. JANA, C., CHATTOPADHYAY, R. N., 2001. Block Level Energy Planning for Domestic Lighting – A Multi-objective Fuzzy Linear Programming Approach. IISWBM, Science Direct, Kharagpur, India.
30. SADEGHI, M., HOSSEINI, H. M., 2004. Energy Supply Planning in Iran by Using Fuzzy Linear Programming Approach (Regarding Uncertainties of Investment Costs). Imam Sadiq Univ., Energy Policy, Elsevier, Tehran, Iran.
31. GUNGOR, Z., ARIKAN, F., 2000. A Fuzzy Outranking Method in Energy Policy Planning. Gazi Univ. Fuzzy Sets and Systems, Elsevier, Ankara, Turkey.

32. BECCALI, M., CELLURA, M., ARDENTE, D., 1998. *Decision Making in Energy Planning: The Electre Multicriteria Analysis Approach Compared to A Fuzzy-Sets Methodology*. Elsevier, Milano, Italy.
33. MAVROTAS, G., DEMERTZIS, H., MEINTANI, A., DIAKOULAKI, D., 2002. *Energy Planning in Buildings Under Uncertainty in Fuel Costs: The Case of A Hotel Unit in Greece*. Energy Conversion and Management, Elsevier, Athens, Greece.
34. POHEKAR, S. D., RAMACHANDRAN, M., 2003. *Application of Multicriteria Decision Making to Sustainable Energy Planning - A Review*. Renewable and Sustainable Energy Reviews, Elsevier, Pilani, India.
35. JEBARAJ, S., INIYAN, S., 2004. *A Review of Energy Models*. Renewable and Sustainable Energy Reviews, Elsevier, Anna Univ. Chennai, India.
36. DEMIRBAS, A., 2001. *Turkey's energy overview beginning in the twenty-first century*. Elsevier, Turkey.
37. ÖZTÜRK, Ç., ASLAN, R., CANER, L. Ö., SARAÇ, D., ŞAHİN, J., 2002. *Türk Enerji Sektörü için Risk Yönetim Modeli Tasarımı*. Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu, Ankara, Türkiye.
38. *Elektrik Piyasası Uygulama El Kitabı*, 2002. Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu, Ankara, Türkiye.
39. SWEENEY, J. L., WEYANT, J.P., 2000. *The Energy Modelling Forum: Past, Present and Future*. Stanford Univ. 430-434, Stanford, California.
40. BORGES, A. R., ANTUNES, C. H., 2002. *A Fuzzy Multiple Objective Decision Support Model for Energy- Economy Planning*. European Journal of Operational Research, Elsevier, Portugal.
41. EDIGER, V. S., TATLIDIL, H., 2001. *Forecasting the Primary Energy Demand in Turkey and Analysis of Cyclic Patterns*. Energy Conversion & Management, Elsevier, Ankara, Turkey.
42. KENNEDY, S., 2004. *Wind Power Planning: Assessing Long-Term Costs and Benefits*. Energy Policy, Elsevier, Cambridge, USA.
43. YU, X., TAPLIN, R., AKURA, T., 1997. *A Framework for Energy Policy-Making in the Pacific Islands*. Energy Policy, Elsevier, Australia, Kiribati.
44. WEISSER, D., 2003. *Costing Electricity Supply Scenarios: A Case Study of Promoting Renewable Energy Technologies on Rodriguez Mauritius*. Renewable Energy, Elsevier, London, UK.
45. KAVRAK, İ., 1997. *Türkiye Enerji Modeli*. BÜTEM, Bogazici University Library, İstanbul.

46. FULLER, R., ZIMMERMANN, H. J., Fuzzy Reasoning for Solving Fuzzy Mathematical Programming Problems. Aachen, Germany.



ÖZGEÇMİŞ

1980 yılında Ankara'da doğdu. İlköğrenimini Tatvan ve Keşan'da tamamladı. Orta ve lise öğrenimini Kırklareli Anadolu Lisesi'nde tamamladı. 1998 yılında Kocaeli Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümü'nde öğrenimine lisans öğrencisi olarak başladı. 2002 yılında lisans öğreniminden mezun oldu. Kocaeli Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümü'ne 2002 yılında yüksek lisans öğrenimi için tekrar başladı.

2003 yılından bu yana Endüstri mühendisi olarak çalışmaktadır. Halen Legrand Elektrik A.Ş.'de metod mühendisi olarak görevine devam etmektedir.

