

**T.C.
İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ
İKTİSAT ANABİLİM DALI**

DOKTORA TEZİ

**ENERJİ VE EKONOMİ İLİŞKİSİ ÇERÇEVESİNDE
HİDROJEN ALTERNATİFİ: İZLANDA VE TÜRKİYE
UYGULAMASI**

**HALİL ÖZEKİCİOĞLU
2502040184**

**TEZ DANIŞMANI
Prof. Dr. Gülden ÜLGEN**

İSTANBUL-2008

Tez Başlığı: Enerji ve Ekonomi İlişkisi Çerçevesinde Hidrojen Alternatifi: İzlanda ve Türkiye Uygulaması

Hazırlayan: Halil ÖZEKİCİOĞLU

ÖZ

İnsanoğlu yaşamı boyunca enerjiye ihtiyaç duymaktadır. Günlük tüketimden üretime kadar uzanan süreçte enerji kaynaklarına olan talep hızla artmaktadır. Bu talebin fosil yakıtlar kullanılarak karşılanması 2050 yılından itibaren yavaşlama sürecine girmesi beklenmektedir. Ayrıca fosil yakıtların iklim değişikliği konusunda yarattığı etkiler somut bir şekilde görülür hale gelmiştir. Yeni enerji kaynaklarına olan talep gün geçtikçe artmakta ve hidrojen alternatifine bir çok ülke ve dünya kamuoyu tarafından oldukça önem verilmektedir.

Hidrojenin en önemli özelliği sürdürülebilir bir enerji kaynağı olması ve çevreye zarar vermeyen bir özelliğe sahip bulunmasıdır. Gelişmiş ülkeler büyümesini sürdürebilmek için fosil kaynaklarının hemen hepsini en verimli şekilde kullanırken yenilenebilir ve çevreye duyarlı enerji kaynaklarını da en yüksek kapasitede kullanmaktadırlar. Özellikle İzlanda enerji sistemlerini 2030 yılında hidrojen odaklı olarak programlamakta ve hidrojen odaklı yasal düzenlemeler yapmaktadır. Çalışmada hidrojen enerji sistemlerine geçiş hazırlığındaki İzlanda'nın enerji tüketimi ve büyüme oranları arasında yapılan ekonometrik uygulamada büyümenin enerji tüketimindeki artışın nedeni olduğu tespit edilmiştir. Türkiye’de ise böyle bir sonuca ulaşamamıştır. Bu sonucun en önemli nedeni Türkiye’de kişi başına elektrik tüketiminin çok düşük olmasıdır.

Sonuç olarak, Türkiye hidrojen enerji sistemlerine geçiş için gerekli olan ileri teknolojiye yatırım yapmalıdır. En ucuz hidrojen üretimi güneş ve jeotermal enerjiden sağlanmaktadır. Türkiye’de bu kaynakların bol olması hidrojene geçişte ve hidrojenin evsel ve endüstriyel kullanımında maliyetleri azaltmasından dolayı önemli bir avantaj olarak görülmektedir. Çalışma sonucunda hidrojen gibi yeni enerjilere geçişin enerji teknolojilerindeki gelişmeler ve Çin ile Hindistan’ın enerji taleplerindeki beklenmedik artışlar nedeniyle 2030’dan önce gerçekleşmesi beklenmektedir.

Subject: Energy and Economy Relation in The Framework of Hydrogen Alternative: Iceland and Turkey Implementation
Prepared by: Halil ÖZEKİCİOĞLU

ABSTRACT

The humankind needs energy during his life. The demand on energy sources in the process from daily consumption to the production increases rapidly. The way of meeting this demand by using fossil fuels is expected to slowdown starting from 2050. Also the effects of fossil fuels on climate change can easily be seen now. The demand on new energy sources is increasing by the day and a lot of countries and the world public opinion give much importance to the hydrogen alternative.

The most important characteristic of the hydrogen is that it is a sustainable energy source and it does not cause any harm on the environment. The developed countries use almost all fossil sources in order to sustain their development and also use the environment- friendly sources of energy at high capacity. Especially, Iceland has programmed its energy systems focusing on the hydrogen since 2030 and made legal hydrogen-focused regulations. In the study, it has been determined that the growth in the econometric application made between energy consumption and the growth rates of Iceland which is preparing to use the hydrogen energy systems has been the cause of increase in the energy consumption. But in Turkey, such a result has not been reached yet. The most important reason of this result is the low level of electricity consumption per capita in Turkey.

Consequently, Turkey has to invest on advanced technology that is necessary for a transition into the hydrogen energy systems. The cheapest way of producing hydrogen is the solar and geothermal energy. The fact that these sources are abundant in Turkey is seen as an important advantage for a transition into hydrogen and for decreasing the costs of domestic and industrial usages of hydrogen. As a result of the study, the transition into new energies such as hydrogen is expected to occur before 2030 due to the development in energy technologies and the unexpected increases of the energy demand in China and India.

ÖNSÖZ

Enerji kaynakları insanoğlunun günlük ihtiyaçlarını karşılamasından başlayarak üretimle sonuçlanan yaşam döngüsü içerisinde kuşkusuz çok önemli bir girdi olarak önemli bir role sahiptir. Günümüzde enerji kaynaklarının etkin ve doğru şekilde kullanılması öne çıkmakta yeni ve sürdürülebilir kaynaklara kesintisiz erişim önem kazanmaktadır.

Bu öneme haiz olarak enerjinin, kaynaklardaki çeşitlenme nedeniyle hayatın her alanında geniş ölçüde yer alması sonucu “Enerji Ekonomisi” kavramı ortaya çıkmıştır. Enerji ekonomisi, enerji kaynaklarının varlığı ve bu kaynakların ekonomik faaliyetlerle ilişkisini ortaya koymaktadır. Enerji talebi ile ekonomik büyüme arasındaki ilişki ve enerjinin bolluğu veya yetersizliğinin ekonomik faaliyetler üzerindeki etkileri enerji ekonomisinin konusudur. Yeni enerji kaynaklarının bulunması, üretimi, dağıtımı ve halk tarafından kabullenilmesi uzun bir süreçtir. Fosil kaynakların artık maliyetli hale geleceği ve kullanılmasının tercih edilmeyeceği yönünde kesin bulgular vardır. Bu nedenle yeni ve sürdürülebilir bir enerji kaynağına ihtiyaç vardır. Dünya kamuoyunun ilgisini çeken ve gelecekte kullanımı artması beklenen en önemli kaynak hidrojen’dir.

Bu açıklamalardan hareketle çalışmada enerji’nin ekonomi içindeki yerini belirlemek amacıyla öncelikle teorik bir altyapı oluşturulmaya çalışılmıştır. Enerji ve ekonomi ilişkisini belirleyen unsurlar analitik açıdan tezin omurga kısmını oluşturmakta ve en son bölümde yer alan ampirik uygulamaya ışık tutmaktadır. Enerji kaynaklarının dünya ve Türkiye’deki durumu ve gelişme potansiyeli ortaya konulmuş buradan hareketle hidrojen alternatifi her yönüyle değerlendirilmiştir. Ayrıca ülke uygulamaları da çalışmada yer almış böylece uygulama örnekleriyle hidrojenin sürdürülebilirliği ve kullanılabilirliği test edilmiştir.

Tezin son kısmında yer alan ampirik çalışmada İzlanda’nın seçilmesi hidrojen konusunda yaptığı uygulamalar sebebiyledir. Hidrojene geçiş konusunda toplumsal

ve kamusal uzlaşı sağlayan ve parlamentosundan çıkardığı yasal düzenlemeleri uygulamaya başlayan ilk ülke İzlanda'dır. Hidrojen toplumu oluşturmaya yönelik bu çalışmalar oldukça ilgi çekicidir.

Bir tezin üretilmesi oldukça zorlu bir süreçtir. Dikkat, sabır ve düşünme tezin her aşamasında olmazsa olmaz bir koşuldur. Bu aşamalarda kuşkusuz çalışmaya katkıda bulunan çok değerli bilim insanları bulunmaktadır. Bu nedenle, öncelikle enerji ve ekonomi ilişkisini inceleme konusundaki ve özellikle hidrojen enerjisiyle ilgili yönlendirmeleri nedeniyle İktisat Politikası Anabilim Dalı Başkanı Prof. Dr. Ahmet İNCEKARA'ya içtenlikle teşekkür ederim. Tezin çeşitli aşamalarında, tez izleme komitesi üyeleri Prof. Dr. Sedat MURAT ve Prof. Dr. Kadir MERCÜL'e, önerileri ile tezin şekillenmesinde ve olgunlaşmasında değerli katkıları için teşekkürü bir borç biliyorum. Doktora çalışmalarımın her aşamasında bana her konuda destek veren Doç. Dr. Seyhun DOĞAN'a ayrıca teşekkür etmek isterim. Ayrıca değerli arkadaşlarım iktisat bölümünden Arş. Gör. Barış KABLAMACI ve ekonometri bölümünden Arş. Gör. Aycan HEPSAĞ'a kıymetli destekleri için çok teşekkür ederim. Burada bilimsel gelişmemde katkıda bulunan ve isimlerini anamadığım bütün değerli hocalarımı da sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Danışman hocam sayın Prof. Dr. Gülden ÜLGEN'e sadece tezle ilgili olarak yönlendirmeleri için değil, sonsuz desteği, pozitif yaklaşımı ve sınırsız hoşgörüsü için şükran borçluyum.

Tez çalışmalarını yürütebilmek ve bir sonuca ulaşabilmek oldukça emek isteyen bir süreçtir. Bu zorlukların aşılmasında en büyük desteği gördüğüm çok değerli eşim Seda ÖZEKİCİOĞLU'na en içten duygularıyla şükranlarımı sunarım.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa No
ÖZ (ABSTRACT)	iii
ÖNSÖZ	v
İÇİNDEKİLER	xii
TABLolar LİSTESİ.....	xiv
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	xv
GRAFİKLER LİSTESİ.....	xvi
KISALTMALAR	xvii
GİRİŞ.....	1

BİRİNCİ BÖLÜM

ENERJİ VE EKONOMİ İLİŞKİSİ

1.1. ENERJİ VE EKONOMİK BÜYÜME.....	7
1.1.1. Ekonomi ve Fizik İlişkisi.....	8
1.1.2. Enerji ve Ekonomik Büyüme İlişkisini Belirleyen Faktörler	10
1.1.2.1. Enerji Etkinliği, Teknolojik Yenilikler ve Geri Sıçrama Etkisi	12
1.1.2.2. Enerji Girdi Kompozisyonundaki Değişmeler ve Enerji Kalitesi.....	14
1.1.2.3. Enerji Kaynakları ve Sermaye İlişkisi.....	14
1.1.2.4. Kişi Başına Enerji Tüketimi ve GSYİH.....	15
1.1.2.5. Gayri Safi Milli Hasıla Bileşimindeki Değişmeler ve Dışsallıklar.....	16
1.1.3. Sürdürülebilir Enerji- Sürdürülebilir Ekonomik Büyüme İlişkisi.....	19
1.1.3.1. Sürdürülebilir Büyüme ve Ekserji.....	22
1.1.3.2. Sürdürülebilir Büyüme ve Enerji -Ekonomi -Çevre İlişkisi.....	25
1.1.3.3. Sürdürülebilir Büyüme ve Teknoloji- İnovasyon- İktisadi Büyüme İlişkisi.....	27
1.2. ENERJİ ARZI VE TALEBİ.....	28
1.2.1. Enerji Arzını Etkileyen Faktörler.....	29
1.2.1.1. Coğrafi Konum.....	29

1.2.1.2. Çevresel Etkiler.....	30
1.2.1.3. Arz Teknolojilerindeki Gelişim.....	31
1.2.1.4. Petrol Fiyatlarındaki Dalgalanmalar.....	33
1.2.1.5. Politik Faktörler ve Enerji Arz Güvenliği.....	37
1.2.2. Enerji Talebini Etkileyen Faktörler.....	39
1.2.2.1. Nüfus Artışı.....	40
1.2.2.2. Kentleşme.....	42
1.2.2.3. Ekonomik Büyüme	44
1.2.2.4. Teknolojinin Gelişmesi ve Yaygınlaşması.....	46
1.2.2.5. Enerji Verimliliği.....	48
1.3. ENERJİ KAYNAKLARI.....	51
1.3.1. Fosil Enerji Kaynakları.....	51
1.3.1.1. Doğalgaz.....	52
1.3.1.1.1. Dünya Doğalgaz Potansiyeli.....	53
1.3.1.1.2. Türkiye Doğalgaz Potansiyeli.....	53
1.3.1.2. Nükleer Enerji.....	54
1.3.1.2.1. Dünya Nükleer Enerji Potansiyeli.....	55
1.3.1.2.2. Türkiye Nükleer Enerji Potansiyeli.....	56
1.3.1.3. Kömür.....	56
1.3.1.3.1. Dünya Kömür Potansiyeli.....	57
1.3.1.3.2. Türkiye Kömür Potansiyeli.....	57
1.3.2. Yenilenebilir Enerji Kaynakları.....	58
1.3.2.1. Güneş Enerjisi.....	59
1.3.2.1.1. Dünya Güneş Potansiyeli.....	60
1.3.2.1.2. Türkiye Güneş Potansiyeli.....	61
1.3.2.2. Rüzgar Enerjisi.....	62
1.3.2.2.1. Dünya Rüzgar Enerjisi Potansiyeli.....	62
1.3.2.2.2. Türkiye Rüzgar Enerjisi Potansiyeli.....	63
1.3.2.3. Hidrolik Enerji.....	64
1.3.2.3.1. Dünya Hidrolik Enerjisi Potansiyeli.....	64
1.3.2.3.2. Türkiye Hidrolik Enerjisi Potansiyeli.....	65

1.3.2.4. Jeotermal Enerji.....	66
1.3.2.4.1. Dünya Jeotermal Enerji Potansiyeli.....	66
1.3.2.4.2. Türkiye Jeotermal Enerji Potansiyeli.....	67
1.3.2.5. Biyokütle Enerjisi.....	68
1.3.2.5.1. Dünya Biyokütle Enerjisi Potansiyeli.....	69
1.3.2.5.2. Türkiye Biyokütle Enerjisi Potansiyeli.....	69

İKİNCİ BÖLÜM

HİDROJEN ENERJİSİNİN EKONOMİK YÖNÜ VE ETKİLERİ

2.1. HİDROJEN EKONOMİSİ.....	74
2.1.1. Hidrojen Ekonomisinin Tanımlanması.....	76
2.1.2. Hidrojen Ekonomisine Geçiş	77
2.1.2.1. Teorik Nedenler.....	78
2.1.2.1.1. Fosil Enerjilerin Tükenmesi.....	79
2.1.2.1.2. Küresel İklim Değişikliği ve Kyoto Protokolü.....	85
2.1.2.1.3. Yeni ve Sürdürülebilir Enerji İhtiyacı.....	88
2.1.2.2. Fiziksel Nedenler.....	91
2.1.2.2.1. Sıfır Salınım.....	91
2.1.2.2.2. Enerji Taşıyıcı.....	92
2.1.2.2.3. Hafif ve Depolanabilir Olması.....	92
2.1.2.2.4. Tükenmemesi.....	93
2.1.2.2.5. Güvenli Olması.....	94
2.2. HİDROJEN ÜRETİMİ.....	95
2.2.1. Yenilenebilir Enerji Kaynaklarından Üretimi.....	97
2.2.1.1. Güneş Enerjisinden Hidrojen Üretimi.....	98
2.2.1.2. Rüzgar Enerjisinden Hidrojen Üretimi.....	99
2.2.1.3. Hidrolik Enerjiden Hidrojen Üretimi.....	100
2.2.1.4. Jeotermal Enerjiden Hidrojen Üretimi.....	101

2.2.1.5. Biokütle Enerjisinden Hidrojen Üretimi.....	101
2.2.2. Fosil Enerji Kaynaklarından Üretimi.....	102
2.2.2.1. Nükleer Enerjiden Hidrojen Üretimi.....	103
2.2.2.2. Doğalgaz’dan Hidrojen Üretimi.....	103
2.2.2.3. Kömür’den Hidrojen Üretimi.....	105
2.2.3. Üretim Yöntemlerine Göre Hidrojen Maliyetlerinin Karşılaştırılması.....	107
2.2.4. Dolum İstasyonları.....	108
2.2.5. Hidrojen Üretiminde Nano Teknolojiler.....	110
2.2.5.1. Dünya Uygulamaları	111
2.2.5.2. Türkiye Uygulamaları.....	112
2.3. KULLANIM ALANLARI.....	113
2.3.1. Taşınabilir Elektronik Cihazlar.....	113
2.3.2. Evlerde Enerji Olarak Kullanımı.....	114
2.3.3. Ulaşımında Hidrojen Kullanımı: Yakıt Hücre Teknolojisi.....	115
2.3.3.1. Karayolu Ulaşımı.....	121
2.3.3.1.1. Otomobiller.....	121
2.3.3.1.2. Otobüsler.....	123
2.3.3.1.3. Trenler.....	124
2.3.3.2. Deniz Ulaşımı.....	125
2.3.3.2.1. Gemiler.....	125
2.3.3.2.2. Denizaltılar.....	125
2.3.3.3. Hava Ulaşımı.....	126
2.3.3.3.1. Yolcu Uçakları.....	126
2.3.3.3.2. Uzay Araçları.....	126
2.4. HİDROJENİN EKONOMİSİNİN ETKİLERİ.....	127
2.4.1. Avantajları.....	127
2.4.1.1. Ulusal Güvenlik.....	128
2.4.1.2. Sera Gazlarının Sınırlanması.....	128
2.4.1.3. Çevre Kalitesi.....	128
2.4.1.4. İstihdam.....	129

2.4.2. Dezavantajları.....	129
2.4.2.1. Hidrojen Dolum İstasyonlarının Bulunmaması.....	129
2.4.2.2. Yüksek Maliyetler.....	131
2.4.2.3. Teknolojik Deneyimsizlik.....	132
2.4.2.4. Halkın Kabul Edebilirliği.....	133
2.4.2.5. Politik Engeller.....	134
2.4.3. Hidrojen Ekonomisine Geçiş Senaryoları.....	134
2.4.3.1. Niş Hidrojen Senaryosu.....	135
2.4.3.2. Genişleyen Piyasa Senaryosu.....	137
2.4.3.3. Sürdürülebilir Hidrojen Senaryosu.....	137

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

HİDROJEN ENERJİSİNDE ÜLKE UYGULAMALARI İLE TÜRKİYE-İZLANDA EKONOMİLERİNDE ENERJİ TÜKETİMİ VE BÜYÜME ARASINDAKİ NEDENSELLİK İLİŞKİSİ

3.1. AVRUPA BİRLİĞİ'NDE HİDROJEN UYGULAMALARI.....	140
3.1.1. AB Enerji İhtiyacı.....	141
3.1.2. AB Enerji Politikası.....	142
3.1.2.1. Hukuki Temeller.....	142
3.1.2.2. Amaçları.....	144
3.1.2.3. Gerçekleşmesi Beklenen Muhtemel Sonuçlar.....	145
3.1.3. AB'de Ulaşım Sektörü ve Hidrojen.....	146
3.1.3.1. Hukuki Temeller.....	146
3.1.3.2. Sektörün Ekonomik Büyüklüğü ve İstihdam Potansiyeli.....	147
3.1.3.3. Sektörde Büyüme Tahminleri.....	147
3.1.3.4. AB Hidrojen Uygulamaları.....	148
3.1.3.4.1. AB HySociety Projesi.....	150
3.1.3.4.1.1. Amaçları.....	152
3.1.3.4.1.2. Gerçekleşmesi Beklenen Muhtemel Sonuçlar.....	154

3.1.3.4.2. AB Hidrojen ve Yakıt Hücresi Teknolojisi Platformu.....	155
3.2. ÜLKE UYGULAMALARI.....	156
3.2.1. İzlanda.....	156
3.2.1.1. Enerji Politikası ve Hidrojen Çalışmaları.....	156
3.2.1.2. İzlanda Yeni Enerji Konsorsiyumu (INE).....	159
3.2.1.3. ECTOS Projesi.....	160
3.2.2. Amerika Birleşik Devletleri.....	163
3.2.2.1. Enerji Politikası ve Hidrojen Çalışmaları.....	163
3.2.2.2. Kaliforniya Yakıt Hücresi Ortaklığı ve Hidrojen Otoyolu.....	164
3.2.3. Kanada.....	166
3.2.3.1. Enerji Politikası ve Hidrojen Çalışmaları.....	166
3.2.3.2. Kanada Hidrojen Otoyolu.....	168
3.2.4. Japonya.....	170
3.2.4.1. Enerji Politikası ve Hidrojen Çalışmaları.....	170
3.2.4.2. WE-NET Projesi.....	171
3.2.5. Almanya.....	174
3.2.5.1. Enerji Politikası ve Hidrojen Çalışmaları.....	174
3.2.5.2. Zukunfts Yatırım Programı ve Hidrojen Boru Hattı.....	175
3.2.6. Türkiye.....	177
3.2.6.1. Enerji Politikası ve Hidrojen Çalışmaları.....	177
3.2.6.2. UNİDO-ICHET Hidrojen Enerjisi Teknolojileri Merkezi.....	178
3.2.6.2.1. Amaçları.....	178
3.2.6.2.2. Faaliyetleri.....	179
3.2.6.2.3. Çalışma Kapsamı.....	179
3.2.6.3. Karadeniz’den Hidrojen Üretimi.....	181
3.2.6.4. Türkiye’de Bor ve Hidrojen Depolama.....	184
3.3. TÜRKİYE VE İZLANDA EKONOMİLERİNDE ENERJİ TÜKETİMİ- EKONOMİK BÜYÜME(GSYİH) ORANLARI ARASINDAKİ NEDENSELLİK İLİŞKİSİ.....	186
3.3.1. Enerji Tüketimi ve GSYİH Kavramları.....	187

3.3.2. Enerji Tüketimi-GSYİH Modelinde Kullanılan Veriler.....	188
3.3.3. Enerji Tüketimi – GDP İlişkisi İle İlgili Literatürde Yapılmış Çalışmalar.....	190
3.3.4. Kullanılan Model ve Yöntem.....	194
3.3.5. Enerji Tüketimi - GSYİH Modelinde Kullanılan Parametrelerin Durağanlıklarının Araştırılması.....	196
3.3.5.1. Birim Kök Testi.....	196
3.3.6. İzlanda’nın Enerji Tüketimi-GSYİH Değişkenleri Arasında Nedensellik İlişkisinin Test Edilmesi.....	200
3.3.7. Türkiye’nin Enerji Tüketimi-GSYİH Değişkenleri Arasında Nedensellik İlişkisinin Test Edilmesi.....	201
SONUÇ.....	206
KAYNAKÇA.....	212
EKLER.....	234
ÖZGEÇMİŞ.....	238

TABLOLAR LİSTESİ

	Sayfa
Tablo 1.1 : Seçilmiş Ülkeler İçin Üretim Faktörlerinin ve Enerji Kullanımının GSYİH Büyümesine Katkıları (1980-2001).....	18
Tablo 1.2 : Enerji-Ekonomi-Çevre-Etik İlişkisi.....	26
Tablo 1.3 : Ekonomik Kalkınmanın Amaçları, Sosyal ve Çevresel Bağlantıları	43
Tablo 1.4 : Bölgelere Göre GSMH Gelişmesi (2004-2006).....	45
Tablo 1.5 : Başlıca Bölgelerin Enerji Tüketim Profilleri (2007).....	52
Tablo 1.6 : Türkiye'nin Yıllık Toplam Güneş Enerjisi Potansiyelinin Bölgelere Göre Dağılımı (2006).....	61
Tablo 1.7 : Dünya'da, Avrupa Birliği'nde ve Türkiye'de Kurulu Rüzgar Gücü	63
Tablo 1.8 : Seçilmiş Bazı Ülkelerde Hidroelektrik Potansiyel Gelişimi.....	65
Tablo 2.1 : Kaynaklar Bazında Dünya'daki Hidrojen Üretimi (2005).....	95
Tablo 2.2 : Fosil Yakıtlarla Güneş-Hidrojen Sisteminin Karşılaştırılması.....	99
Tablo 2.3 : Üretim Yöntemlerine Göre Hidrojen Maliyetleri (2006).....	108
Tablo 2.4 : Ülkelere Göre Hidrojen Dolum İstasyonları (2006).....	109
Tablo 2.5 : Dünya Nanoteknoloji Yatırımları.....	112
Tablo 2.6 : Yakıt Hücrelerinin Avantajları ve Dezavantajları.....	120
Tablo 2.7 : Hidrojen ve Petrol'ün Karşılaştırılması.....	123
Tablo 3.1 : Hysociety Ortaklar Konsorsiyumu.....	153
Tablo 3.2 : We-Net Projesinin Temel Planı.....	173
Tablo 3.3 : Türkiye İçin Hidrojen Üretimi, Depolanması ve Nakli Yol Haritası.....	180
Tablo 3.4 : Türkiye'nin Bor İhracatı.....	184
Tablo 3.5 : Dünya Bor Rezervleri.....	185
Tablo 3.6 : İzlanda GDP Serisine Ait Birim Kök Testi.....	198
Tablo 3.7 : İzlanda Enerji Tüketim Serisine Ait Birim Kök Testi.....	199
Tablo 3.8 : İzlanda GDP Serisine Ait Birim Kök Testi(1. Fark).....	199
Tablo 3.9 : İzlanda Enerji Tüketim Serisine Ait Birim Kök Testi(1. Fark).....	200

Tablo 3.10:	İzlanda’da GDP ve Enerji Tüketimi Arasında Granger Nedenselliği Test Sonuçları.....	201
Tablo 3.11:	Türkiye GDP Serisine Ait Birim Kök Testi.....	201
Tablo 3.12:	Türkiye Enerji Tüketim Serisine Ait Birim Kök Testi.....	202
Tablo 3.13:	Türkiye GDP Serisine Ait Birim Kök Testi(1. Fark).....	202
Tablo 3.14:	Türkiye Enerji Tüketim Serisine Ait Birim Kök Testi(1. Fark).....	203
Tablo 3.15:	Türkiye’de GDP ve Enerji Tüketimi Arasında Granger Nedenselliği Test Sonuçları.....	204

ŞEKİLLER LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 1.1 :	Sürdürülebilir Gelişme, Ekserji, Enerji ve Çevre Arasındaki İlişki.. 23
Şekil 1.2 :	Küresel Sürdürülebilirlik Altında Sürdürülebilir Gelişmenin Dört Anahtar Faktörü..... 24
Şekil 1.3 :	Kanıtlanmış Doğalgaz Rezervlerinin Bölgelere Göre Dağılımı..... 53
Şekil 1.4 :	Ülkelere Göre Kanıtlanmış Kömür Rezervleri..... 57
Şekil 2.1 :	Fosil Yakıt Üretim/Talep (Doğalgaz-Petrol)-(1980-2040)..... 79
Şekil 2.2 :	Petrol Üretiminde Hubbert Eğrisi..... 81
Şekil 2.3 :	Hidrojen Enerji Sistemi..... 89
Şekil 3.1:	Hysociety Projesi..... 150

GRAFİKLER LİSTESİ

	Sayfa
Grafik 1.1 :	Kişi Başına Enerji Tüketimi ve GSYİH..... 16
Grafik 1.2 :	Petrol Fiyatlarının Tarihsel Gelişimi (1970-2005)..... 36
Grafik 1.3 :	Dünya Nüfusu ve Enerji Talebindeki Büyüme (1900-2100)..... 41
Grafik 1.4 :	Teknolojinin Tanımlanması..... 48

Grafik 1.5 :	Nükleer Enerji Kullanan Ülkelerde Elektrik Üretiminde Nükleer Enerjinin Payı (2005).....	55
Grafik 1.6 :	Biyoyakıtı Ulaşım Yakıtı Olarak Kullanan Başlıca Ülkeler.....	69
Grafik 2.1 :	Kanıtlanmış Petrol Rezervleri	82
Grafik 2.2 :	Dünya Enerji Kullanımına Bağlı Olarak Karbondioksit Salınım Miktarları	86
Grafik 3.1 :	Dünya Petrol Talebi ve Arzı (1996-2030).....	142
Grafik 3.2 :	Motorlu Araç Filosu, OECD ve Dünya'nın Geri Kalanı (1990-2030).....	148
Grafik 3.3 :	İzlanda'nın (1971-2005) Döneminde GSYİH'nın Gelişimi.....	189
Grafik 3.4 :	İzlanda'nın (1971-2005) Döneminde Enerji Tüketiminin Gelişimi.....	189
Grafik 3.5 :	Türkiye'nin (1971-2005) Döneminde GSYİH'nın Gelişimi.....	190
Grafik 3.6 :	Türkiye'nin (1971-2005) Döneminde Enerji Tüketiminin Gelişimi.....	190

RESİMLER LİSTESİ

	Sayfa
Resim 2.1 :	Hidrojen Dolum İstasyonu, Los Angeles Honda Tesisleri 110
Resim 2.2 :	Toronto ve Winnipeg Güzergahında Çalıştırılacak Hidrojen-Dizel Motorlu Elektrikli Tren Projesi..... 124
Resim 2.3 :	Hidrojen Yakıtlı U31 Alman Yapımı Denizaltı..... 126
Resim 3.1 :	Reykjavik Shell Hidrojen Dolum İstasyonu..... 162
Resim 3.2 :	Kaliforniya Hidrojen Otoyolu..... 166
Resim 3.3 :	Victoria, Vancouver ve Whistler Arasındaki BC Hidrojen Otoyolu 169
Resim 3.4 :	Almanya, Rhein-Ruhr Güzergahında 200 Km’lik Mesafeli Hidrojen Boru Hattı..... 176

KISALTMALAR

AB	: Avrupa Birliği
ABD	: Amerika Birleşik Devletleri
AEEİ	: Autonomous Energy Efficiency Index
AFC	: Alkalın Yakıt Hücreleri
AIST	: The Agency of Industrial Science and Technology
AKÇT	: Avrupa Kömür ve Çelik Topluluğu
AR-GE	: Araştırma Geliştirme
BC	: British Columbia
BDT	: Bağımsız Devletler Topluluğu
BM	: Birleşmiş Milletler
BP	: British Petroleum
Btep	: Bintonpetrol
CO₂	: Karbondioksit
CUTE	: Avrupa İçin Temiz Kentsel Ulaşım
DMİ	: Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğu
DOE	: ABD Enerji Departmanı
ECTOS	: Ecological City Transport System
EİE	: Elektrik İşleri Etüt İdaresi
ERDA	: Enerji Araştırma ve Geliştirme İdaresi
FCV	: Fuel Cell Vehicles
FP 6	: Avrupa Birliği 6. Çerçeve Programı
GDP	: Gross Domestic Product
GJ	: Gigajul
GOÜ	: Gelişmekte Olan Ülkeler
GM	: General Motors
GSMH	: Gayri Safi Milli Hasıla
GSYİH	: Gayri Safi Yurt İçi Hasıla
GW	: Giga Watt
HES	: Hidroelektrik Santral
Ibid	: Aynı Yer
ICHET	: International Center for Hydrogen Energy Technologies

IceTec	: İzlanda Teknolojik Araştırma Kurumu
IEA	: International Energy Association
IMF	: International Monetary Fund
INE	: İzlanda Yeni Enerji Şirketi
Km	: Kilometre
kW	: Kilowatt
loc.cit	: Yukarıda Belirtilen Yer
LNG	: Liquid Naturel Gases
METI	: Japon Ekonomi, Ticaret ve Sanayi Bakanlığı
MW	: Megawatt
Nm	: Nanometre
OECD	: Organisation for Economic Cooperation and Development
OPEC	: Organisation of the Petroleum Exporting Countries
op.cit.	: Yukarıda Değınilen Çalışma
p./Pp	: Sayfa/Sayfalar
PENS	: Elektrik Nükleer Sistemleri
POSSUM	: Policy Scenarios for Sustainable Mobility
REPA	: Türkiye Rüzgar Atlası Projesi
SCAQMD	: Kanada Güney Kıyısı Hava Kalite Yönetim Alanı
SSCB	: Sovyet Sosyalist Cumhuriyetler Birliğı
SUV	: Sport Utility Vehicle
TPAO	: Türkiye Petrolleri Anonim Ortaklığı
TÜBİTAK	: Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu
UNAM	: Birleşmiş Milletler Nanoteknoloji
Vb.	: Ve Başkaları
VRC	: Via Rail Canada
Yy	: Yüzyıl
WEO	: World Energy Outlook
WE-NET	: Japon Dünya Enerji Ağı Projesi
WTO	: World Trade Organization
ZIP	: Zukunfts Investitions Programm

GİRİŞ

Ekonomik büyümedeki en önemli rol hiç şüphesiz enerjinindir, dolayısıyla enerji kalkınma planlarının en vazgeçilmez unsurudur. Enerji konusu, ülkelerin gündeminde en üst sırada yer almakta, sürdürülebilir enerji, sürdürülebilir çevre ve ekonomi ile birlikte sürdürülebilir kalkınmanın önemli bir unsuru haline gelmektedir. Enerji politikaları, özellikle gelişmekte olan ülkelerde sürdürülebilir kalkınmanın temel dinamikleridir.

Enerji üretim ve tüketim yapısı sürekli değişmekte enerjiye olan talep sürekli olarak artış göstermektedir. Enerjiyle ilgili veriler incelendiğinde görülmektedir ki enerji talebinin sürekli artışına rağmen enerji üretimi aynı hızda ve oranda arttırılamamaktadır. Bu durum enerji üreticisi ülkeler için pozitif dışsallık, enerji tüketicisi ülkeler içinse negatif dışsallık olarak görülmeye devam etmektedir. Ekonomik aktiviteler ve enerji talebi arasında doğrudan bir ilişki vardır. Sürdürülebilir ekonomik büyüme'nin teşviki enerji tüketimini arttırmakta bu durumda sera gazlarının salınımını çoğaltmakta ve bu çevresel olumsuzlukların etkilerini azaltmak için temiz ve yenilenebilir enerjiye olan ihtiyaç gün geçtikçe artmaktadır.

Çevre kirliliğine yol açmadan çeşitli alanlarda kullanılabilecek esnek bir yakıt olan hidrojen 21. yüzyılın yakıtı olarak düşünülmekte; üretimi, taşınması ve depolanması ile kullanılmasına ilişkin teknolojilerin geliştirilmesi için kapsamlı programlar yürütülmektedir. Hidrojen enerjisine geçişte gelişmiş ülkelerin oldukça yoğun çalışmaları vardır. Bu çalışmalara en güzel örnek hidrojenle çalışan arabaların deneme sürüşlerinin yapılması ve hidrojen dolum istasyonlarının kurulmuş olmasıdır. Çalışmada aranan cevaplardan birisi bu teknolojiye geçişin nasıl ve ne zaman olabileceğidir. Hidrojen programları esas itibariyle uzun döneme yönelik olmakla beraber, mevcut altyapısıyla çalışabilecek kısa dönemli uygulamalar üzerinde durulacaktır. Bu teknolojiye geçişin ekonomik anlamda oldukça maliyetli olacağı ve 2050 yılında tamamen hidrojen kullanılacağı varsayılmaktadır.

Enerjinin üretiminden tüketimine çevrede yarattığı olumsuz etkilerinin önlenmesi dünya'nın bütünü açısından en önemli sorundur. Küresel iklim değişikliğine neden olan sera gazları dünya gündeminde ilk sırada yer almaktadır ve bu soruna uluslararası bir çözüm aranmaktadır. Türkiye de bu konuda uluslararası anlaşmaların tarafıdır. Bu durum, çevre dostu, ileri enerji üretim ve tüketim strateji ve teknolojilerinin geliştirilmesini gerekli kılmaktadır. Çevreye verilen zararı en aza indirmeyi hedefleyen bu teknolojiler, aynı zamanda mevcut enerji kaynaklarının da daha verimli kullanılmasını ve çevreye etkilerini en aza indirmeyi amaçlamaktadır.

Türkiye'nin 21. yüzyılda diğer bütün dünya devletleri gibi nüfusa bağlı olarak enerji ihtiyacı giderek artmaktadır. Enerji arzı, Türkiye'nin en önemli sorunlarından biridir, bunun nedeni ekonomik gelişmenin güvenilir ve sürdürülebilir enerji teminine bağlı olmasıdır. Türkiye'nin ulusal çıkarları petrol, doğalgaz gibi ithal yakıtlara olan bağımlılığın azaltılması için yerel ve yenilenebilir enerji kaynakları arayışının hızlandırılmasını gerektirmektedir. Çevre konusunda özellikle kentlerde yaşanan hava kirliliğinin önlenmesinden, dünya ölçeğinde de global ısınma riskinin azaltılması açısından tüm beklentiler bugün kullanılan enerjilerden, daha az kirlüten ve daha az sera gazları yayan enerji kaynaklarının ve teknolojilerinin kullanılmasını gerektirmektedir.

Türkiye'nin büyüme sürecinde kullandığı enerji tüketimi hızla artarken, enerji üretimi ve yatırımı geride kalmış, enerji ihtiyacı giderek artan ithalatla karşılanmıştır. Türkiye'nin cari açığının büyük kısmı enerji ithalatından kaynaklanmakta, uygulanan yanlış politikalar sonucunda ülkemiz enerji alanında dışa bağımlı hale gelmektedir. Türkiye enerji üretimini çeşitlendirmeli ve özellikle su kaynaklarının bolluğundan dolayı yenilenebilir enerji kaynaklarından elde edilen hidroelektrik, nükleer ve rüzgar santralleri'nin artırılması ve hidrojen gibi geleceğin enerjisi olarak görülen çevreye hiçbir yan etkisi olmayan ve kaynağı doğada bulunan, yenilenebilir enerji üretiminin mutlak derecede artırılması gerekmektedir. Enerjinin stratejik bir ihtiyaç olmasından dolayı, Türkiye enerji konusunda dışa bağımlılığını ortadan kaldırmalı ve tam tersine ürettiği enerji fazlasını dışarı satarak cari açığını azaltma yoluna gitmelidir.

Ayrıca Türkiye, dünya bor rezervlerinin büyük bölümüne sahiptir ve dünya da en çok hidrojen saklayabilen ve depolayabilen maden olan borun, günümüzde otomobillerde, otobüslerde hidrojen deposunun hammaddesi olarak kullanılması öngörülmektedir. Hidrojen'in bor'da depolanması oldukça maliyetli olmakla beraber, laboratuarlarda düşük maliyetli bir yöntem bulmak için çalışmalar devam etmektedir. Şimdiye kadar piyasaya çıkan otobüs ve otomobillerde hidrojen, basınçlı kaplarda depolanmaktadır. BMW otomobillerinde sıvı hidrojen kullanılmaktadır. Borda depolanmış hidrojen henüz kullanılmamaktadır, maliyetler ekonomik seviyeye indirilmeye çalışılmaktadır.

Çalışmanın esas amacı; Türkiye'nin ekonomik, çevresel ve ulusal çıkarlarını gerçekleştirmeye yönelik olarak yenilenebilir bir enerji kaynağı olan hidrojen enerjisi'ni ve geleceğin enerjisi olma yolunda ulusal ve uluslararası alanda yapılan çalışmaları incelemektir. Böylece Türkiye'nin bir enerji alternatifi olarak hidrojen enerjisi potansiyelini ortaya koymaktır. Bir diğer sınanacak hipotez Türkiye'de hidrojen enerjisi potansiyelinin var olduğuna ilişkindir. Hidrojen yakıtı üretiminde kullanılacak kaynaklar arasında hidrolik enerji, güneş enerjisi, deniz-dalga enerjisi, jeotermal enerji ve nükleer enerji yer almaktadır. Türkiye gibi gelişmekte ve teknolojik geçiş aşamasında olan ülkeler için güneş-hidrojen enerji sistemleri önerilmektedir.

Çalışmada kapsam bakımından bazı sınırlamalar yapılmış; enerji politikalarına ve hidrojen enerjisine geçiş aşamasındaki uygulamalarda bazı referans ülkelere değinilmiştir. Uyguladıkları enerji politikalarıyla ekonomilerinde sinerji yaratılmasını sağlayan A.B.D, Almanya, Kanada, Japonya, İzlanda gibi bazı ülkeler bu kapsamdadır. Diğer yandan tam üyelik yolunda olduğumuz Avrupa Birliği'nde hidrojen enerjisine geçiş için oluşturulan bir çalışma grubu da bulunmaktadır. Bu nedenle AB'nin uygulamakta olduğu projeler Türkiye için ayrı bir önem taşımaktadır. Yapılmakta olan Ar-ge çalışmaları yenilenebilir enerji kaynakları ve hidrojen enerjisi açısından değerlendirilecektir.

Bu çalışma üç bölümden oluşmaktadır;

Birinci bölümde enerji-ekonomi ilişkisi Neoklasik iktisatçıların çalışmalarından yola çıkılarak üretim fonksiyonunda gösterilmiş ve enerji girdilerinin üretim süreçlerini nasıl etkilediği örneklerle ortaya konulmuştur. Daha sonra sürdürülebilir ekonomik büyüme ve sürdürülebilir enerji ilişkisi incelenmiş ve burada ekserji kavramından söz edilmiştir. Sürdürülebilir büyümenin enerji-çevre ve etiksel olarak birbiriyle ilişkisi irdelenmiş ve teknoloji ile inovasyonun büyümeye etkisi ortaya konulmuştur. Daha sonra enerji arz ve talebini etkileyen temel etkenler ortaya konularak enerjinin hangi dışsal ve içsel etkenlerden etkilendiği incelenmiştir. Birinci bölümde son olarak, enerji kaynaklarının günümüzdeki durumu güncel veriler kullanılarak gösterilmeye çalışılmıştır. Buradaki amaç hidrojen enerjisini incelemeden önce fosil kaynakların ve yenilenebilir kaynakların tür bakımından tanıtılmasıdır.

İkinci bölümde enerji literatürün de 1976'dan bu yana kullanılan "Hidrojen Ekonomisi" kavramı detaylı bir şekilde kavramsal ve teorik yönlerden incelenmiştir. Hidrojenin sürdürülebilir enerji ve sürdürülebilir büyüme için önemi vurgulanmış ve fosil yakıtların bitişi, petrolün varil başına fiyatının yıllar boyunca sürekli artışı açıklanarak fosil enerjilerin tükenmesi ya da daha doğru bir anlatıyla bulma ve çıkarma maliyetinin artışıyla bu kaynakların çıkarılmasından vazgeçileceği örnekler ve benzetmelerle anlatılmıştır. Bu bölümde ayrıca hidrojenin üretimi, kullanım alanları incelenmiş ve hidrojen ekonomisinin muhtemel avantajları ve dezavantajları ile hidrojenin gelecekteki rolü açıklanmıştır.

Tezin son bölümü olan üçüncü bölümde özellikle dünya da hidrojen konusunda en önemli çalışmayı yapan ülkeler incelenmiştir. Bu ülkeler seçilirken bir bütün oluşturmak amacıyla Avrupa Birliği, dünya'daki çalışmalar ve en son olarak da Türkiye incelenmiştir. Bu seçimde en çok öne çıkan ülke İzlanda olmuştur. Bunun nedeni İzlanda'nın 2030 yılında kadar bütün enerji sistemlerini, iktisadi yapısını fosil enerjileri minimize etmek suretiyle hidrojene yöneltmiş olmasıdır. İzlanda'nın hidrojen konusunda yoğun çalışmalar yapan diğer ülkelerden en önemli farklarından

biri İzlanda devletinin hidrojen konusunda hukuki ve yasal zemini oluşturmuş olmasıdır. İzlanda'nın hidrojene geçiş konusundaki kararlılığının en önemli kaynağı ülkenin her yerinde çıkan jeotermal enerjidir. İzlanda jeotermal enerjiden faydalanarak hidrojen üretimine ağırlık vermektedir. Yüksek sıcaklıktaki sudan ayrıştırma yoluyla hidrojen üretimi en düşük maliyetli hidrojenin eldesini sağlamaktadır. Bu üretimin en önemli olumlu tarafı çevresel etki bakımından hiçbir atık bırakmıyor olmasıdır. Böylece çevresel anlamda da hidrojen dönüşümlü ve sürdürülebilir bir enerji kaynağıdır.

Üçüncü bölümün ve tezin son kısmı olan ekonometrik uygulama İzlanda ve Türkiye'de enerji tüketimi ve büyüme arasındaki ilişki incelenerek aralarındaki nedensellik ilişkisi araştırılmaktadır. Bu çalışmadaki hipotez GDP'deki artışın, enerji tüketimini olumlu yönde arttırdığı olarak belirlenmiştir. Analiz öncesinde yol göstermesi amacıyla kullanılacak parametreler, model, yöntem, değişkenler ve nasıl elde edildikleriyle ilgili geniş bir bilgi verilmektedir. Bu konuda geçmiş yıllarda yapılan ampirik çalışmalar değerlendirilmektedir. Bulunan sonuçlar geçmiş çalışmalarla karşılaştırılarak analiz desteklenmektedir. Verilerin analizinde ve grafiklerin oluşturulmasında EViews 5.1 paket programı kullanılmıştır.

BİRİNCİ BÖLÜM

ENERJİ VE EKONOMİ İLİŞKİSİ

Enerji insanların günlük ihtiyaçlarının karşılanmasında ve aynı zamanda üretim-tüketim ilişkilerinin geliştirilmesi ve sürdürülmesindeki en önemli unsurlardan biridir. Ekonomilerdeki büyüme ve üretim sürecine bağlı olarak enerji talebindeki artışların karşılanması ülkelerin gündemlerindeki en önemli konu haline gelmiştir. Enerji üretimi ve bu üretimdeki devamlılığın sürekli olarak sağlanmasındaki ihtiyaç ve gereklilik enerji arz güvenliğinin önemini ortaya çıkarmakta ve ülkeleri uzun erimli planlamalar yapmaya zorlamaktadır. Dünya ekonomisindeki büyüme enerji arz ve talebindeki gelişmelere bağımlı hale gelmiştir. Bunun en önemli nedeni ülkelerin fosil enerji kaynaklarına dayalı üretim yapılarıdır.

Enerji girdilerindeki ve özellikle petrol fiyatlarındaki beklenmeyen artışlar enerji ihraç eden ülkelerin daha da zenginleşmesine yol açmakta, enerji ithal eden ülkelerin ise üretim ve tüketim fiyatlarında beklenmedik değişimler meydana gelmektedir. Tüm enerji fiyatları çok daha yüksek bir seviyeye gelmekte ve dünya farklı enerji türlerine ihtiyaç duymaktadır. Fosil enerji kaynaklarının 2050 yılına doğru bulunabilirliğinin azalacağı kanıtlanmıştır ve çıkarılma maliyetlerinin artmasından dolayı fosil kaynakların yerini yenilenebilir ve hidrojen gibi yeni enerji kaynaklarının alacağı kesinlik kazanmıştır. Ülkeler çevresel kaygılarla hareket etmek durumunda kaldıklarında bu değişimin kaçınılmaz olması beklenmektedir.

Enerjinin ekonomi içindeki etkileri ampirik çalışmalarla ölçülmüş ve yapılan çalışmalar sonucunda enerji ve ekonominin birbirini sürekli besleyen ve geliştiren bir yapıda olduğu görülmüştür. Dolayısıyla bu bölümde öncelikli olarak enerjinin kavramsal tanımı yapılmış ve fiziki bir olgu olması nedeniyle fizik-ekonomi ilişkisinden yola çıkılarak enerji-ekonomi ilişkisi teorik olarak açıklanmaya çalışılmıştır. Daha sonra, enerji arz ve talebini etkileyen unsurlar değerlendirilmiş ve sürdürülebilir ekonomik büyümenin yapıtaşı olan sürdürülebilir enerjinin, enerji arz güvenliği açısından ve çevresel ilişkileri bakımından neden-sonuç ilişkileri

incelenmiştir. Son olarak da fosil ve yenilenebilir enerji kaynaklarının günümüzdeki yapısı hakkında güncel veriler sunularak açıklanmaya çalışılmıştır.

1.1. ENERJİ VE EKONOMİK BÜYÜME

En temel anlamda enerji iş yapabilme kapasitesi ve yeteneğidir. Bir cisimde bulunan, bir iş meydana getirmeye yarayan güce "enerji" denir. Akan suda, hareket eden bir cisimde, bir makinede ya da insanda her an bir iş meydana getirme gücü olduğuna göre bu hareketi sağlayan bir enerji var demektir. Hareket gibi enerji de fizik biliminin en önemli unsurlarından biridir. Enerji, kimya enerjisi ya da fizik enerjisi şeklinde olabilir. Bir maddenin yanması, bir kimya enerjisi sağlar. Yanma sonucunda meydana gelen ısı, ışık birer enerji çeşididir. Dünya da enerji değişik şekillerde bulunabilmektedir; kimyasal enerji, elektrik enerjisi, ısı, ışık, mekanik enerji ve nükleer enerji. Enerjiyi iki farklı sınıfa ayırmak mümkündür. Bunlar potansiyel enerji (depolanmış enerji) ve kinetik enerji (hareket enerjisi)'dir ¹.

Üretim sürecinde enerji kaynaklarının yoğun olarak kullanımı iktisadi faaliyetin tarımsal, endüstriyel ya da teknolojik gibi niteliğine ve enerji tüketicilerinin sosyal ve kültürel yaşam standartlarını belirleyen tercihlerine bağlıdır. Buna karşın çevre koşullarının sabit bir veri kâbul edildiği varsayımı altında, enerji kaynaklarının ekonomik üretim sürecinde ayrı bir üretim faktörü olarak tanımlanabileceği yönünde görüşler de mevcut bulunmaktadır. Bu görüşlerden teorik anlamda en geçerli olanı Neo-klasik iktisatçılara aittir².

Enerji, bir ekonomideki talep ve arz üzerinde oldukça etkin bir rol oynamaktadır. Talep yönünden enerji, tüketicilerin faydalarını maksimize etmeleri için satın aldıkları bir ürün niteliğindedir. Arz yönünden enerji, emek ve sermaye gibi önemli

¹ Abdurrahman Satman, "Dünya'da Enerji Kaynakları", **Türkiye'de Enerji ve Kalkınma Sempozyumu**, İstanbul, Tasam Yayınları, 2006, s.47.

² Qystein Noreng, **Ham Güç: Petrol Politikaları ve Pazarı**, Çeviren: Nurgül Durmuş, Elips Yayınları, Ankara, 2004, s.20.

bir üretim faktörüdür ve çoğu üretim ve tüketim faaliyetlerinde zorunlu bir girdi olduğu için, ülkelerin ekonomik büyümelerinin ve kalkınmanın tesis edilmesinde belirleyici bir konuma sahiptir. Enerjinin ekonomideki öneminin özellikle, 1970’li yıllarda ve sonrasında yaşanan enerji krizlerinin etkisiyle artmasına paralel olarak enerji, ekonomik büyüme alanında yapılan ampirik araştırmalarda önemli bir büyüme belirleyicisi olarak yer edinmiştir. Enerji tüketimi ile ekonomik büyüme ilişkisinin yaklaşık otuz yıldır, geniş bir araştırma konusunu oluşturmaya rağmen, bu iki değişken arasındaki ilişkinin niteliği hakkında literatürde kesin bir fikir birliğinin oluştuğundan söz etmek oldukça zordur³.

1.1.1. Ekonomi ve Fizik İlişkisi

Toplumsal olaylar, doğa olayları ile karşılaştırılamayacak kadar kompleks bir yapıya sahiptir. Bu karmaşık yapıda, toplumsal olayları belirleyen nedenlerin birbirine bağımlılığı ve bunları birbirinden ayırmanın olanaksızlığı vardır. Bunlara ilaveten öznel davranışların ve ekonomi dışı değişkenlerin etkileri karmaşıklığı daha da arttırmaktadır. Toplumsal bilimlerde deney sorunu, sınamayı zorlaştıran nedenlerden en önemlisini oluşturmaktadır⁴.

Ekonomide ölçülebilirlik oldukça zordur, toplumu ve toplumsal ilişkileri bir anda dondurup, herhangi bir konudaki ilişkileri, nedenleri ve sonuçlarını inceleme olanağı yoktur. Sürekli bir değişim söz konusudur. Ayrıca ekonomi dışı değişkenleri soyutlamak ancak düşünce boyutunda olabilmektedir. Toplumsal ilişkilerde ve ekonomi ile ilgili kararlarda geriye dönemezlik nedeniyle ekonomide ele alınan zaman, fizikçinin kullanabileceği zamandan farklı olmak durumundadır. Çoğu fiziksel deneylerde geriye dönmek ve zamanı tekrar başlatabilmek mümkündür⁵.

³ Salih Türedi, Metin Berber, “Enerji Tüketimi ve Ekonomik Büyüme İlişkisi Uzun Dönem Analizi: Türkiye Örneği (1976–2005)”, **İkinci Uluslararası İşletme ve Ekonomi Çalıştayı**, Giresun, Türkiye, 28-29 Haziran 2007, p.2.

⁴ Ercan Eren, **İktisatta Yöntem**, Ezgi Kitabevi, 3. Baskı, Bursa, 1994, s.9.

⁵ **Ibid.**

Ekonomik ve toplumsal olaylar, bireysel davranışlardan yola çıkarak açıklanabilir. Bir fizikçinin fizik sorunlarını atom ve temel parçacıklar düzeyinde ele alması benzer yöntemlerdir. Bu yaklaşımlar iki türdür; ilki tek tek birimlerin incelenerek bütünü ele alınması (Tümevarım), diğeri de bütünü ele alınarak (Tümdengelim) birimlere inilmesidir. İşte Neo-klasik iktisatçılar, fizikçiler gibi atom ya da parçacıklar düzeyinde ilk yöntemi kullanarak ekonomik birimleri incelemektedir⁶.

Neoklasik ekonomik görüş, tek tek bireylerden oluşan bir toplum kurgulamaktadır. Bir fizikçinin atomu, bir biyoloğun genleri, araştırmasının temel nesnesi yapması gibi ekonomist de bireyi temel birim olarak kâbul eder. Toplum, bireylerden oluştuğu kadar, sınıflar, politik gruplar, sendikalar, cemaatler, etnik topluluklardan da oluşur. Bir başka deyişle (rasyonel tüketici ya da üretici olarak) bireyin değer yargıları, cinsiyeti, yaşı, politik görüşü, ait olduğu sınıf, etnik kimliği ya da inançları onu toplumsal bir varlık haline getirir. Neo-klasik görüş, tüm bu çok değişkenli (çoğulcu) yapıyı ihmal etmiş; tektipleştirdiği, sadece rasyonel bireyin davranışlarını konu edinmiştir. Neo-klasiklere göre bu bireyler “özgür ve eşit” sayılmaktadırlar. Bu ön kâbul karar birimi olarak adlandırılan bireylerin (hane halkları ve firmalar) incelenmesine imkân vermektedir⁷.

Newton’a göre bir sistem olan dünyayı oluşturan parçacıklar, belirli fizik kurallarına göre hareket ederler ve parçacıkların birbirleriyle olan ilişkileri, “nedensellik” çerçevesinde gelişir. Modern dünyayı biçimlendiren sosyal bilimler, sanat, edebiyat, müzik, klasik fiziğin kuralları doğrultusunda gelişmiştir. Örneğin, Newton’un atomlardan oluşan kâinat fikri, ekonomide Adam Smith’in çıkarlarını kovalayan bireysel girişimcilerden oluşan kapitalist/liberal anlayışının temelini teşkil eder. Bağımsız atomların birbirleriyle olan ilişkileri ekonomide bireylerin birbirleriyle olan ilişkilerini modellemektedir. Gerek fizikte, gerekse ekonomide

⁶ Bernard Guerrien, **Neo-Klasik İktisat**, İletişim Yayınları, Çeviren: Ertuğrul Tokdemir, 1999, İstanbul, s.8.

⁷ Esin Candan, Avni Önder Hanedar, “İktisat Neden Bir Kapalı Kutudur? Hâkim İktisadın Değer Yargısı – Sınama İlişkisi”, Gazi Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, **Ekonomik Yaklaşım Dergisi Kongreler Dizisi (IV)**, 12-14 Ekim 2005, Ankara, s.2.

kullanılan araştırma yöntemi de aynı esasa dayanmaktadır; Sistemi mümkün olan en küçük parçasına indirmek ve parçacıkların davranışına bakarak, bütünün geleceğine dair karar vermek ve tahmin yürütmektir⁸.

Ekonominin ve diğer sosyal bilimlerin fiziğin temel kavramlarını ödünç alması gibi davranışlar da bu çerçevede değerlendirilebilir. Fiziğin en önemli konularından biri ‘hâl değişimleri’ yani, erime, donma, buharlaşma diye bilinen süreçlerdir. Bunların dışında da bir sürü hâl değişimi vardır. Örneğin, demirin yeterince yüksek sıcaklıkta mıknatıslığını kaybetmesi ya da da örneğin bazı alaşımların, belli bir sıcaklığın altında bileşenlerine ayrılmaları gibi. Bu değişimlerin ortak yanı, sıcaklık gibi bir parametrenin sürekli bir biçimde değiştirilmesi sonucu, birden bire sistemde niteliksel bir değişikliğin ortaya çıkışıdır⁹.

Bu fiziksel olaylar ekonomik açıdan ele alınırsa; genel ekonomide ya da borsada da böyle hâl değişimleri yaşandığını ve bunların yerine göre ani sıçramalar olarak, yerine göre ise daha yavaş bir hızla geliştiklerini, bir parametrenin sürekli olarak değiştirilmesi sonucu niteliksel bir değişikliğin ortaya çıktığı bilinmektedir. Fizik, atom ve moleküllerin davranışlarından yola çıkarak, basınç, sıcaklık, mıknatıslanma gibi büyüklükleri ve bunların birbirleri ile ilişkileri hesaplanmaktadır. Ekonomideki mikro-makro ilişkisine benzer bir cümleyi istatistiksel açıdan tüketici ve firmaların davranışları hakkında bildiklerimizden yola çıkarak, enflasyon, para arzı gibi büyüklükleri ve bunların birbirleriyle olan ilişkileri hesaplanabilir¹⁰.

1.1.2. Enerji ve Ekonomik Büyüme İlişkisini Belirleyen Faktörler

Neo-klasikler, sermaye, emek ve toprak faktörlerini üretim faktörü olarak ele almış ve değer yaratmanın temelinde bu faktörlerin olduğunu belirtmiştir. Ekonomik büyüme ile enerji kaynakları kullanımı arasında sermaye birikiminin yönlendirdiği

⁸ Alev Alatlı, “Kuantum Fiziği: Ekonomi ve Fizik”, (Çevrimiçi) <http://www.alevalatli.com> (22.05.2007).

⁹ Necmi Gürsakal, “Yeni Bilim”, **İş-güç Endüstri İlişkileri ve İnsan Kaynakları Dergisi**, 2001, Cilt:3, Sayı: 1, (Çevrimiçi) <http://www.isgucdergi.org>, (12.09.2007).

¹⁰ **Ibid.**

teknoloji odaklı bir ilişki bulunmaktadır. İktisadi üretimin girdi aşamasında sermaye, emek ve enerjinin olduğu varsayımı altında, üretimin değeri bütün ulaşılabilir kaynakların bulunabilirliğine bağlı bir zaman diliminde gerçekleşir¹¹.

Ekonomik büyümenin sürdürülebilmesi için enerji temel girdidir ve uzun dönemde gerekli enerjinin sağlanması ekonomilerde büyüme için son derece önemlidir. Özellikle 1970’li yıllarda yaşanan iki petrol şokundan sonra gelişmiş ülke ekonomilerinde enerji ile ilgili kapsamlı tartışmalar olmuştur. Tartışmaların odaklandığı alanlar sürdürülebilir büyümenin gerçekleşmesi için gerekli enerjinin sağlanması, enerji arzındaki kısıtların ve yetersizliklerin giderilmesi konusundadır. Enerji, kamu ve özel sektör tarafından başlı başına bir üretim alanı olarak değerlendirilmektedir¹².

Neo-klasik yaklaşıma göre enerji kullanımı ve ekonomik aktivite arasındaki ilişki genel üretim fonksiyonu ile şu şekilde ifade edilmiştir¹³:

$$(Q_1, \dots, Q_m)' = f(A, X_1, \dots, X_n, E_1, \dots, E_p)$$

Q_1 üretilmiş mal ve hizmetler gibi çeşitli çıktıları, X_1 - X_n sermaye ve emek gibi çeşitli girdileri, E_1 - E_p kömür, petrol gibi farklı enerji girdilerini ve A ise toplam faktör verimliliği olarak tanımlanan teknolojiyi açıklamaktadır. Enerji ve çıktı arasındaki bu ilişki GSYİH’yi, aşağıdaki değişkenler aracılığıyla etkilemektedir;

- Enerji ile diğer girdiler arası ikameye
- Teknolojik değişime-yani A ’daki bir değişime
- Enerji-girdi bileşimindeki bir değişime

¹¹ Vladimir N. Pokrovski, “Energy in the Theory of Production”, **Energy**, Vol. 28, Issue: 8, 2003, p.770.

¹² David Stern I., Cutler J. Cleveland, “Energy and Economic Growth”, Rensselaer, **Working Papers in Economics**, Number: 0410, March, 2004, New York, p.17.

Akt: Nurdan Aslan, Tahsin Yamak, “Türkiye’nin Enerji Sorununun Alternatif Enerji Kaynakları Açısından Değerlendirilmesi”, **Marmara Üniversitesi İİBF Dergisi**, Cilt: XXI, Sayı: 1, 2006, İstanbul.

¹³ **Ibid**, p.18.

- Çıktı bileşimindeki değişimlere

Değişkenlere ilaveten, emek yoğun bir ekonomiden sermaye yoğun bir ekonomiye geçiş, enerji ve çıktı arasındaki ilişkiyi etkileyebilmektedir.

1.1.2.1. Enerji Etkinliği, Teknolojik Yenilikler ve Geri Sıçrama Etkisi

Enerji etkinliği, enerjinin gayri safi yurtiçi hasılaya oranlanması ile bulunmaktadır. Enerji/GSYİH oranındaki değişimler sadece enerji fiyatları ile ilişkili olarak değil, otonom enerji etkinliğindeki değişimler olarak adlandırılır. Teknik bir gösterge olan otonom enerji etkinliği endeksi (AEEİ*)'nin özelliği teknolojik yeniliklerin üretim fonksiyonuna dahil edilmiş olmasıdır. Üretim fonksiyonu bu şekilde oluşturulursa, her bir girdi teknoloji faktörü A_1 ile çarpılır böylece ham girdi birimleri etkin girdi birimlerine dönüştürülmüş olur. A_E diğer tüm girdilerin kullanımını ve teknik değişimleri sabit tutan değişkenlerin ilave edildiği enerji endeksidir ¹⁴.

$$Q = f(A_1X_1, \dots, A_nX_n, A_EE)$$

1970 'lerde yaşanan petrol fiyatlarındaki artışlara dayanan enerji krizleri imalat sanayinin üretim yapısında değişiklikler meydana getirmiştir. Firmalar 1960'lara kıyasla teknolojik gelişimin de etkisiyle daha yüksek bir verimlilik elde etmişlerdir. Teknolojik ilerleme, sermaye stoğu bileşiminde önemli değişiklikler yaratmakta, enerji tasarrufu, eski sermaye stoğu araçları olan makine ve teçhizatlara olan yatırımlardan, enerji verimliliği yüksek üretim kapasitelerine geçiş yapılmasını sağlamıştır¹⁵.

* AEEİ: Autonom Energy Efficiency Index

¹⁴ **Ibid.**, p.20.

¹⁵ P. Ilmakunnas, H. Torma, "Energy Crises and Change of Technology", **Journal of Applied Econometrics**, Vol 9, No:3, 1994, p.306.

Khazzoom-Brookes'un "Geri Sıçrama Etkisi" kuramına göre enerji tasarrufu sağlayan teknolojik ilerlemeler nedeniyle, tasarruf edilen paranın başka mal ve hizmetlere harcanması, bu mal ve hizmetleri üretebilmek için yeniden enerji ihtiyacı gerektirmesi daha çok enerji tüketimine neden olur. Enerji kullanımında tasarruf sağlayan bir teknolojik yenilik, kullanılan enerjinin fiyatında bir düşüşe ve bu durum da enerji talebinde artışa yol açar. Böylece düşük enerji fiyatları gelir etkisi yaratmış olur ve ekonomik tüm mallara olan talep artarken aynı zamanda üretim için gerekli enerji miktarı artar. Enerji fiyatlarındaki artış enerji tasarrufu teknolojilerindeki ilerlemeleri hızlandırır¹⁶.

Halkın bu teknolojilere ulaşabilmesi, kullanabilmesi ve benimsemesi yeniliklerin hedefine ulaşabilmesi ve geliştirilmesi için temel şartlardır. Enerji kaynakları üzerinde teknolojik yeniliğin etkileri üç aşamada görülmektedir.¹⁷.

- **Ulaşılabilirlik**

Maliyet

Verimlilik

- **Kullanılabilirlik**

Güvenlik

Kalite

- **Kâbul Edilebilirlik**

Çevresel Etki

Fiyat Dalgalanmalarının Ekonomik Etkisi

Tüketici Tercihleri

Teknolojik gelişim, ekonomik ve kamu politikaları sebebiyle enerji sistemleri içerisinde önemini korumaya devam edecektir. Petrol ve Doğalgaz keşiflerinin arama ve üretme aşamalarında üç boyutlu sistemlerin gelişimi enformasyon çağının teknik

¹⁶ Stern, *op.cit.*, p.21.

¹⁷ Stephen Gehl, "Energy Technologies for the 21st Century", Phase II, World Energy Council, **Executive Energy Forum**, 2003, (Çevrimiçi) <http://www.wec.org>, (18.02.2007).

başarılarında köklü bir değişim göstermiştir. ABD ve birçok endüstriyel ülkede teknolojik yenilikler büyük ölçüde özel sektör tarafından gerçekleştirilmektedir.

1.1.2.2. Enerji Girdi Kompozisyonundaki Değişmeler ve Enerji Kalitesi

Enerji kalitesi, farklı yakıt türlerinin ve elektriğin ısı eşdeğeri birimi başına göreceli ekonomik faydasıdır. Enerji kalitesini ölçmenin yolu kullanılan enerjinin marjinal ürününün bulunmasıdır. Marjinal ürün; kullanılan enerji kaynağından her ilave birim ısıнын kullanılması sonucunda, ele edilen mal ve hizmet miktarındaki marjinal artıştır¹⁸.

Bazı yakıtlar çok sayıda ekonomik faaliyette kullanılır iken bazıları da çok daha değerli faaliyetlerde kullanılırlar. Örneğin kömür, elektrik üretiminde kullanılabilirken bir bilgisayarın çalıştırılmasında direkt olarak kullanılamaz. Bir yakıtın marjinal ürünü her bir yakıtın eşsiz özellikleri ile belirlenir; fiziksel kıtlığı, faydalı işleri yapabilmedeki kapasitesi, enerji yoğunluğu, temizliği, kolaylıkla depolanabilmesi, güvenli olması, kullanma esnekliği, dönüşüm maliyeti gibi etmenler öne çıkmaktadır. Bunlara ilaveten yakıtın sadece hangi ekonomik faaliyette kullanıldığı değil, aynı zamanda ne kadar sermaye ve emek ile kullanıldığı ve her bir kullanma için ne kadar enerji harcandığı da oldukça önemlidir. Bu nedenle enerji kalitesi zaman içinde sabit değildir¹⁹.

1.1.2.3. Enerji Kaynakları ve Sermaye İlişkisi

Enerji hizmetlerinin kullanımı ve kolaylıkla ulaşılabilirliği özellikle ekonomik gelişme yönünden; emek piyasalarının gelişimi, tarımsal üretim koşullarının modernizasyonu, doğal kaynaklar ve iletişim gibi bir çok alt yapı çalışmalarında önemli bir yer tutmaktadır. Aynı zamanda enerji kullanımındaki artış çarpan etkisi ile üretim faktörlerindeki verimlilik artışına da neden olmaktadır. Böylece, enerji arzındaki bir artışın sadece enerji kullanımını yükseltmesi değil,

¹⁸ Stern, *op.cit.*, p.23.

¹⁹ *Ibid.*

bunun yanı sıra enerji tüketiminde bulunan her bir birimin verimliliğinde de bir artışa neden olmaktadır. Buna bağlı olarak enerji girdisinin diğer faktörler üzerinde yaratacağı verimlilik artışı, nihai üretime de yansımaktadır²⁰.

Endüstriyel ya da endüstrileşmekte olan ülkelerde enerji bulunabilirliği ve esnekliği yükseldikçe, teknolojik gelişimin modern makine ve tekniklerin kullanımını sağlayacak düzeyde olması, emek verimliliğinin artmasını sağlamakta bu durumda sermaye/emek oranını yükseltmektedir²¹.

Petrol şoklarına bağlı olarak gelişen ve değişen enerji kaynaklarının, arz yapısındaki doğal şartların belirlediği düşüş ya da politik unsurların yaratacağı etkiler, iktisadi analizlerde enerji kaynaklarının üretim fonksiyonunda yer alması sonucunu beraberinde getirmiştir. Bu şoklar üzerine yapılan birçok analiz, sermaye, emek ve enerji çıktılarının girdi yapılarına bağlı olarak üretim fonksiyonundaki değişime dikkat çekmektedir²².

1.1.2.4. Kişi Başına Enerji Tüketimi ve GSYİH

Ülkeler az gelişmiş durumdayken, başlangıç aşamasında topluma enerjiye en az ihtiyacı olduğu durumda daha fazla enerji tüketme imkanı verildikçe, gelirlerinin oldukça yavaş arttığı tespit edilmiştir. Ancak, kişi başına 3 kwh enerji girişi sağlandığında ve bu ülkelerdeki vatandaşların gelirinde etkileyici bir artış meydana geldiğinde, gelirin enerjiye göre değişimi şiddetli bir biçimde artmaya başlamıştır. Bununla birlikte bu ikisi arasındaki ilişki kısa zaman sonra S şeklini almıştır çünkü kişi başına 6-7 kwh almaya başladıklarında, enerjideki artışın avantajları gözden kaybolmaya başlamıştır. Kişi başına 8 kwh değerine ulaştığında, kişi başına enerji artışı ile birlikte yaşam standardında daha fazla bir artış olmamıştır²³.

²⁰ **Ibid.**, p.98.

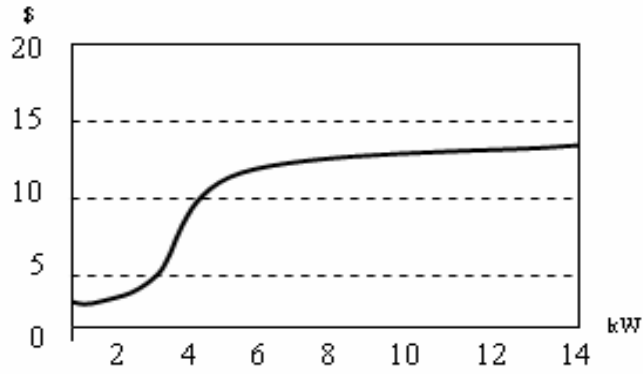
²¹ **Ibid.**

²² James D. Hamilton, "What is An Oilshock", **Journal of Econometrics**, Vol. 113, 2003, p.365.

²³ John Bockris, "Hydrogen Economy in The Future", **International Journal of Hydrogen Energy**, Vol 24, 1999, p.1.

Bununla birlikte bir faktör ters yöne gittiğinde sorun ortaya çıkmaktadır. Kişi başına düşen enerjiyi azalttıkça ve hava kirliliği gibi sorunları çözmeye uğraştıkça, yaşam standartlarının nasıl değiştiği grafik 1.1’de görülmektedir; Kişi başına 10 kwh ya da daha fazla enerji değerleri olan Birleşik Devletler, Kanada, Suudi Arabistan gibi birkaç devlet, yaşam standardında çok büyük bir kayıp olmadan (ör: daha küçük arabalar kullanmak) bu sorunları azaltabilirler. Fakat enerji değeri kişi başına 6 kwh’nin altına düştüğünde, enerjideki düşüşle birlikte yaşam standardındaki düşüş çok belirgin hale gelmekte ve buna karşı kuvvetli bir biçimde korunmak gerekmektedir²⁴.

Grafik 1.1 : Kişi Başına Enerji Tüketimi ve GSYİH



Kaynak: John Bockris, “Hydrogen Economy in The Future”,
International Journal of Hydrogen Energy, Vol 24, 1999, p.1.

1.1.2.5. Gayri Safi Milli Hasıla Bileşimindeki Değişmeler ve Dışsallıklar

Ekonomik kalkınmanın farklı dönemlerinde GSMH’nin kompozisyonu değişebilir. Kalkınma sürecinin erken aşamalarında, tarım sektöründen sanayi sektörüne doğru bir kayma olmuş iken; kalkınma sürecinin ilerleyen aşamalarında kaynak kullanımının yoğun olduğu sanayi sektöründen daha az kaynak kullanımı gerektiren hizmetler sektörüne doğru bir geçiş olmuştur. Enerji yoğunluğu; bir birim hasıla üretmek için tüketilen enerji miktarı olarak tanımlanmaktadır ve farklı sektörlerin enerji yoğunluğu birbirinden farklı olmaktadır. Bu sebeple kalkınma

²⁴ Ibid.

sürecinin erken aşamalarında birim çıktı başına gerekli olan enerji miktarı artar iken, kalkınma sürecinin ilerleyen aşamalarında birim çıktı başına gerekli olan enerji miktarı azalmaktadır. Hizmet sektöründe de yüksek oranda enerji ve kaynak girdileri gerekmektedir²⁵.

Gelişme sürecinde, üretimde enerji yoğunluğu önce artış sonra da düşüş eğilimi göstermektedir. Toplam enerji talebindeki büyüme, ekonominin üretim ve tüketim yapısındaki değişime bağlı olarak her sektörün enerji yoğunluğunu değiştirmektedir²⁶.

Yukarıdaki paragraflarda değinildiği gibi, Neo-klasik üretim fonksiyonu ekonomik büyümeyi emek, sermaye ve teknolojiye bağlı artışlar ile açıklamaktadır. Teknoloji olarak toplam faktör verimliliği kullanılmakta, büyümenin emek ve sermaye ile açıklanamayan kısmını ifade etmektedir. IEA (International Energy Association) tarafından yapılan bir araştırmada enerji üretim fonksiyonuna dahil edilmiş 1980-2001 dönemi için seçilmiş bazı gelişmekte olan ülkelere uygulanmıştır. Üretim fonksiyonu aşağıdaki gibi belirlenmiştir. Burada Y gayri safi yurt içi hasıla, K sermaye stoku, L emek gücü, E enerji tüketimi ve t zamanı ifade etmektedir. A ekonomide toplam faktör verimliliğini ifade eder. Çalışmanın sonuçları tablo 1.1’de sunulmuştur²⁷;

$$Y_t = A_t * (K_t)^\alpha (L_t)^\beta (E_t)^\gamma$$

Tablo 1.1’e göre; Çin haricinde seçilen diğer ülkelerde emek, sermaye ve enerji GSYİH’ye toplam faktör verimliliği artışından daha çok katkı yapmaktadır. Enerji seçilen tüm ülkelerde ekonomik büyümeye önemli ölçüde katkı yapar ve özellikle Brezilya, Kore ve Türkiye’de ekonomik büyüme’de öncü rol oynar. Enerjinin büyümeye katkısı tablodan da anlaşıldığı gibi Hindistan, Çin ve ABD’de

²⁵ Stern, **op.cit.**, p.24.

²⁶ Kenneth B. Medlock, Ronald Soligo, “Economic Development and End Use Energy Demand”, **The Energy Journal**, 2001, Vol. 22., Issue.2, p.78.

²⁷ World Energy Outlook, 2004, p.332 (Akt: Nurdan Aslan, Tahsin Yamac), “Türkiye’nin Enerji Sorununun Alternatif Enerji Kaynakları Açısından Değerlendirilmesi”, **Marmara Üniversitesi İİBF Dergisi**, Cilt: XXI, Sayı: 1, 2006, İstanbul, s.54.

daha küçüktür. Tabloya göre enerjinin ekonomik kalkınmanın erken aşamalarında olan ülkelerde, endüstri üretiminin bu aşamada ekonomik büyümeye katkısı büyük olduğu için enerjinin daha önemli bir rol oynadığı sonucuna varılmıştır. Bu ülkelerde imalat sanayi için enerji yoğunluğu diğer ülkelerden daha fazladır. Ekonomik kalkınmanın ileri aşamalarında ise enerji etkinliğini arttıran teknolojilerin dahil edilmesi ile ve sanayiden hizmetler sektörüne kayma olması nedeniyle enerji yoğunluğunun azalacağı sonucuna ulaşılmıştır.

Tablo 1.1: Seçilmiş Ülkeler İçin Üretim Faktörlerinin ve Enerji Kullanımının GSYİH Büyümesine Katkıları (1980-2001)

Ülkeler	Yıllık GSYİH Büyüme Oranı	Üretim Faktörlerinin ve Enerji Kullanımının GSYİH büyümesine katkıları			
		Enerji	Emek	Sermaye	A (Verimlilik)
Brezilya	2,4	77	20	11	-8
Çin	9,6	13	7	26	54
Hindistan	5,6	15	22	19	43
Endonezya	5,1	19	34	12	35
Kore	7,2	50	11	16	23
Meksika	2,2	30	60	6	4
Türkiye	3,7	71	17	15	-3
A.B.D.	3,2	11	24	18	47

Kaynak: IEA, *World Energy Outlook*, 2004, p.333.

Gelişmekte olan ülkelerde(GOÜ) kamu sektörü, gelişmiş piyasa ekonomilerinde gözlenen piyasa aksaklıklarını giderme, geleneksel kamu hizmetlerini üretmenin yanı sıra, mal üretiminde kamu girişimleri aracılığı ile direkt bir rol üstlenmektedir. GOÜ’lerin makul bir dış borçlanma ile desteklenerek büyüme süreçleri kendi iç koşullarına uygun hale getirilebilir. Ancak değişen dış ekonomik ortamlarda ülkelerin büyüme strüktür değiştirme süreçlerinde kontrol edilemeyen faktörlerin ağırlığı ve önemi gittikçe artış kaydetmektedir²⁸. Bu faktörlerin en önemlilerinden biri hiç kuşkusuz enerji fiyatlarıdır. Enerji fiyatlarındaki volatiliteler* özellikle gelişen piyasaları derinden etkilemektedir.

²⁸ Gülden Ülgen, *Türkiye’de Piyasa Ekonomisine Geçiş Süreci ve Sürdürülebilirliği*, Derin Yayınları, No:67, İstanbul, 2005, s.52.

* **Volatilité:** Bir kıymetin fiyatındaki değişkenliğin ifadesidir, çoğunlukla standart sapma ile ölçülür. Yüksek bir volatilité artan bir belirsizliğin göstergesidir.

Gelişmiş ülkelerde daha çok sanayileşme, kentleşme ve metropollerin artışına paralel olarak gelişen üretim ve tüketim artışlarından kaynaklanan çevre sorunları söz konusudur. GOÜ’lerde ise durum farklıdır. Gelişen sanayinin yarattığı çevre sorunlarının yanı sıra daha çok azgelişmişlikten kaynaklanan sorunlar daha ağırlıklıdır. Bu sosyal ve teknolojik ikiliğin temelinde varolan yapısal sorunların başında nüfus artışının yüksek olmasından kaynaklanan baskılar gelmektedir. Bu durum bir yandan tüketim eğilimlerini arttırırken, diğer yandan kırsal kesimin sorunları nedeniyle altyapının taşıyamayacağı ölçüde bir kentleşmeye yol açmaktadır. Yetersiz sermaye birikimi nedeniyle geri kalmış teknolojilerin yarattığı atıklar çevreyi her geçen gün daha fazla kirletmektedir²⁹.

Üretim ve tüketim faaliyetleri sonucunda dışsal maliyetler ya da faydalar ortaya çıkmaktadır. Enerji krizlerinin ortaya çıkması durumunda net ithalatçı ve gelişmekte olan ülkeler bakımından; ülke ekonomisinin enerji arzından kaynaklanan bir dengesizlik içinde bulunması, ekonomik ve ulusal güvenliği tehdit edebilecek seviyede hızla yükselen enerji fiyatlarının gerçekleşmesi, ekonomik güvenliğin tehdidi, ekonomik büyümede yaşanması muhtemel bir düşüş, enflasyonun yükselmesi, işsizliğin artması ve yatırımların uzun vadeli belirsiz bir döneme bırakılması biçiminde etkiler ortaya çıkmaktadır³⁰.

1.1.3. Sürdürülebilir Enerji - Sürdürülebilir Ekonomik Büyüme İlişkisi

Dünya’da “Sürdürülebilir Gelişme” nin sağlanması için izlenen politikalarda enerjinin rolü büyüktür. Bu kavram, kamuoyu gündemine ilk kez “Dünya Gelişme ve Çevre Komisyonu(Cenevre-1987)”nın raporu ile gelmiş ve komisyon “sürdürülebilir gelişme” kavramını şöyle tanımlamıştır; “Günümüz ihtiyaçları karşılanırken gelecek nesillerin ihtiyaçlarını da göz önünde bulunduran büyümedir”³¹. Bu tanımın gereği

²⁹ Rana F. Özbey, “Sustainable Tourism Development in Globalization Progress”, Globalization and Sustainable Development, **International Scientific Conference**, Book: 4, Varna, 2002, p.137.

³⁰ James Williams, F. Alhaiji, “The Coming Energy Crisis”, 2003, (Çevrimiçi)
<http://www.wtrg.com/EnergyCrisis/EnergyCrisis.pdf>, (19.02.2007), p.1.

³¹ Behçet Yücel, **Yaşanabilir Bir Dünya İçin Enerji**, Febel Yayınları, İstanbul, 2004, s.8.

olarak insan ile doğa arasındaki denge sürdürülebilir gelişme kavramını oluşturmaktadır. Bu raporda ekonomik kalkınma hedef alınarak, global düzeyde çevre ve ekonomi uyumunu sağlamak için uluslararası işbirliğinin geliştirilmesi vurgulanmıştır.

Sürdürülebilir gelişmenin temel yapı taşı olan enerjinin³²;

- Zamanında,
- Kesintisiz,
- Yeterli
- Düşük maliyetle temini hususu önemini giderek artırmaktadır.

Enerji ekonomik büyümeye yol açan tek girdi değildir ancak sürdürülebilir gelişme için son derece önemli bir girdidir. Enerji kullanmadan bir fabrikayı çalıştırmak, üretim yapmak, seyahat etmek, mal ve hizmetleri üreticiden tüketiciye göndermek mümkün değildir. Enerji tüketimi ve ekonomik kalkınma ilişkisini inceleyen çalışmaların çoğu ekonomik kalkınmanın enerji tüketimini nasıl etkileyeceği üzerine odaklanmıştır. Ekonomik büyüme*, kalkınmanın erken evrelerinde enerji tüketimini arttırmaktadır.

Enerji, doğa ve toplum arasındaki etkileşimlerde kilit bir unsur olması nedeniyle çevre ve sürdürülebilir gelişme için önemli bir girdi olarak kâbul edilmektedir. Çevresel konular ve sürdürülebilirlik konuları, yerelden bölgele ve küresele yayılan alanları etkileyen kirletici, tehlikeli ve ekosistem bozulma faktörlerini kapsamaktadır. Bu kaygıların bir kısmı, insan sağlığı üzerindeki gözlemlenebilir kronik etkilerden kaynaklanmaktadır. Ancak diğerleri tehlikeli materyallerin muhtemel yayılmaları gibi gerçek ya da hissedilen çevresel risklerden kaynaklanmaktadır. Pek çok çevresel sorun, enerji üretimi, dönüşümü ve

³² DPT, IX. Kalkınma Planı, "Enerji: Özel İhtisas Komisyonu Raporu", Ankara, 2006, s.10.

* **Ekonomik büyüme** ile **ekonomik kalkınma** genellikle birbirine karıştırılan kavramlardır. **Ekonomik büyüme**, ulusal gelir düzeyindeki ve birey başına düşen ulusal gelirdeki artışı işaret eder. **Ekonomik kalkınma** ise, çok daha yapısal bir sonuçtur yani yatırımların artması, üretim verimliliğinin yükselmesi anlamına gelir. **Ekonomik kalkınmanın** ardında, insan ögesine yapılan yatırımlar ve genel olarak yaşam standartlarının gelişmesi vardır. Bu nedenle de genellikle **ekonomik kalkınma ve gelişme** biçiminde kullanılır gelişmekte olan ülkelerin kalkınması.

kullanımından kaynaklanmakta ya da bununla ilgilidir; örneğin, ozon tabakasının incilmesi, asit yağmuru ve küresel iklim değişikliği³³.

Son zamanlarda, zararlı kirletici madde salınımlarıyla ilgili mevcut çevresel sorunlara çok sayıda potansiyel çözüm geliştirilmiştir. Hidrojen enerjisi sistemleri, en etkili çözümlerden biri olarak görülmektedir. Daha iyi çevre ve sürdürülebilirlik sağlanmasında önemli bir rol oynayabileceği düşünülmektedir. Sürdürülebilir gelişme, olumsuz toplumsal etkilere neden olmayan temiz ve maddi açıdan karşılanabilir enerji kaynaklarının sürdürülebilir bir teminini gerektirir³⁴.

İdeal olarak, sürdürülebilir gelişme arayışında olan bir toplum, sadece çevreye hiç salınımı olmayan ya da çok az salınımı olarak enerji kaynaklarını kullanır ve bu nedenle hiç ya da çok az çevresel etkiye neden olur. Ancak, bütün enerji kaynakları çevresel etkiye neden olabileceği için, artan verim, çevresel salınımlar ve bunların olumsuz etkileriyle ilgili kaygıları hafifletebilir³⁵.

Yeni nesil yakıtlar, verim ilerlemeleri, yenilenebilir kaynakların yayılmasının hızlanması ve nükleer enerjinin olası gelişimi, Kyoto hedeflerine ulaşmak için mevcut olan tek seçenek olarak gösterilmektedir. Nükleer reaktörlere, yenilenebilir kaynaklara ve jeotermal enerjiye dayalı olarak, çeşitli elektrik üretim teknolojileri ticari olarak ve teknik açıdan konuşulduğunda, dünyanın elektrik enerjisi ihtiyacının çok büyük bir kısmını tedarik edebilir. Ancak bu teknolojilerin çoğu gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerde toplumun büyük bölümleri için ekonomik ya da kâbul edilebilir değildir. Pek çoğu zorlu çevresel sınırlamalar ve sürdürülebilirlik sınırlamaları ile karşı karşıyadır ve maliyette çok büyük maliyet düşüşlerin sağlanmasını gerektirirler. Beklenmeyen zorlayıcı faktörler (iklim değişikliği) bu

³³ İbrahim Dinçer, “Environmental and Sustainability Aspects of Hydrogen And Fuel Cell Systems”, **International Journal of Energy Research**, Published Online in Wiley InterScience, 2006, p.1.

³⁴ **Ibid.**

³⁵ **Ibid.**

durumu değiştirmek için ortaya çıkmadıkça, daha temiz fosil yakıtlar, diğer pek çok sektörde olduğu gibi, enerji sektöründeki hkimiyetine devam edecektir³⁶.

İdeal olarak, sürdürülebilir gelişme arayışında olan bir toplum, sadece herhangi bir çevresel etkiye neden olmayan enerji kaynaklarını kullanır. Böyle bir duruma, enerji kaynaklarını minimum karbon salınımı ya da evre üzerinde etkisi olmayan şekillerde kullanarak kısmen ulaşılabilir. Ancak gerçekte, bütün enerji-kaynak kullanımları, bir derece çevresel etkiye neden olmaktadır. Bu nedenle sürdürülebilir gelişme, enerji kaynaklarının verimli bir şekilde kullanılmasını gerektirir³⁷. Bir toplum içindeki çevresel etkinin büyük bir kısmı, enerji kaynaklarının kullanımıyla ilgilidir. Verimli kullanım sayesinde toplum, enerji kaynaklarından sağladığı faydaları artırır ve negatif etkileri minimuma indirir. Çoğu enerji kaynağı bir derecede sınırlı olduğu için, daha fazla verim, bu kaynakların, uzun vadede gelişime katkıda bulunmasını saęlar³⁸.

1.1.3.1. Sürdürülebilir Büyüme ve Ekserji

Enerji, doğa ve toplum arasındaki etkileşimlerde kilit bir unsurdur ve ekonomik gelişme ve sürdürülebilir büyüme için kilit bir girdi olduğu düşünülür. Enerji kaynağı kullanımının evre üzerindeki etkisi ve kaynak kullanımı veriminin artırılması, ekserji kavramıyla en iyi şekilde belirtilebilir. Bir enerji çeşidinin ya da bir maddenin ekserjisi; kullanılabilirliğinin, kalitesinin ya da değişikliğe neden olma potansiyelinin bir lsdr ve bir maddenin ya da enerji çeşidinin çevreyi etkileme potansiyelinin etkili şekilde llmesi için temel oluşturur. Uygulamada, ekserjinin ve bunun enerji sistemlerinin verimine, çevresel etkisine ve sürdürülebilirliğine sağladığı etkinin tam olarak anlaşılması, enerji sistemleri ve evre alanında çalışan mühendis ve bilim adamı için gereklidir. Son on yıl boyunca, ekserji, enerji ve çevresel etki arasındaki bağlantıları anlama ihtiyaı gün geçtikçe önemli hale

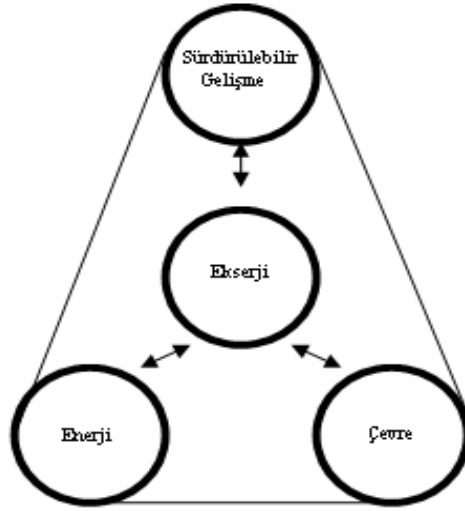
³⁶ Adnan Shihab Eldin, “New Energy Technologies: Trends in the Development of Clean and Efficient Energy Technologies”, **OPEC Review**, 2002, p.276.

³⁷ Marc A. Rosen, “Energy Considerations in Design for Environment: Appropriate Energy Selection and Energy Efficiency”, **International Journal of Green Energy**, Vol. 1, No: 1, 2004, p.35.

³⁸ **Ibid.**

gelmiştir. Dinçer ve Rosen yaptığı çalışmalarda ekserji; enerji, çevre ve sürdürülebilir gelişmenin odak noktası olarak gösterilmiştir. Şekil 1.1. ekserjinin, disiplinler arası özelliği ve bu disiplinlerin her biriyle olan ilişkisini göstermektedir³⁹;

Şekil 1.1: Sürdürülebilir Gelişme, Ekserji, Enerji ve Çevre Arasındaki İlişki



Kaynak: İbrahim Dinçer, “Environmental and Sustainability Aspects of Hydrogen And Fuel Cell Systems”, **International Journal of Energy Research**, Published Online in Wiley InterScience, 2006, p.5.

Sürdürülebilir büyüme konusunda özgün çalışmalar yapan Joseph Stiglitz 1974 yılında yaptığı bir çalışmada, kaynak tüketimi ve sermaye arasındaki ilişkiyi incelemiştir. Bu anlamda, kaynak yenilenebilirliğinin ve teknik ilerlemenin, sermaye-kaynak ekonomilerindeki bu tür çatışma olasılığını ortadan kaldırmadığını göstermiştir. Stiglitz’in bulgularına göre; eğer kaynak yeniden üretme ve artırma oranları oldukça düşük olursa, kişi başına düşen tüketimin zaman yolu hala tek tepe noktalı olacaktır. Diğer taraftan sürdürülebilirlik koşulu, optimal yollarda uzun vadeli tüketimi sürdürmek için gerekli olan teknik ilerlemenin kritik seviyesini tanımlamaktadır. Sürdürülebilirlik beklentileri, önemli derecede kaynak artırma oranına dayalıdır ve bu, yeni üretim metotları üretildikçe kullanılabilir hale gelecek olan kaynak tasarrufu yapan teknolojilerin etkisi olarak yorumlanabilir⁴⁰.

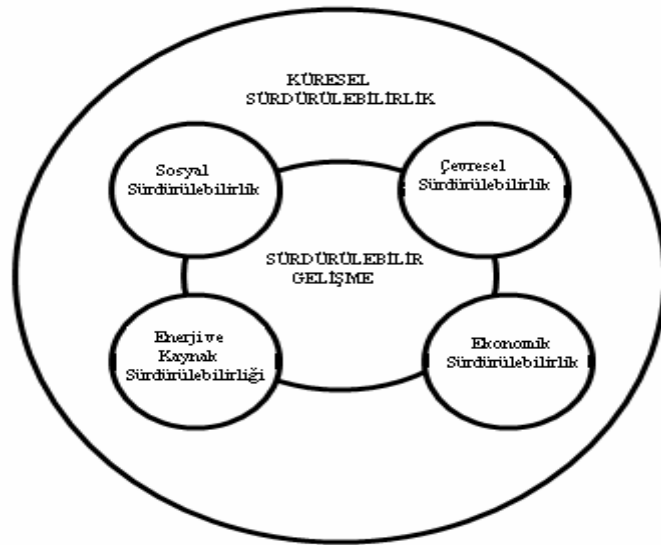
³⁹ Dinçer, **op.cit.**, p.5.

⁴⁰ Simone Valente, “Sustainable Development, Renewable Resources and Technological Progress”, **Environmental & Resource Economics**, Vol: 30, 2005, p.115.

Sürdürülebilir gelişme, şekil 1.2’de gösterildiği gibi, çevresel, ekonomik, sosyal sürdürülebilirlik ve kaynak/enerji sürdürülebilirliği açısından dört kilit faktör içermektedir. Bütün bu faktörlerin birbiriyle ilişkili olduğu ve mevcut durumu bir boyutlu sorundan çok boyutlu hale getirdiği açıkça görülmektedir. Bu, mevcut çevresel sorunların tek bir sihirli çözümü olmadığını ve hidrojen ve yakıt hücresi sistemleri gibi potansiyel çözümlere bakılması gerektiğini göstermektedir⁴¹.

Pahalı olmayan ve sabit enerji tedariki, sosyal ve ekonomik gelişme için bir ön şarttır. Aslında enerji insan refahı ve yaşam kalitesi açısından önemlidir. Bununla birlikte, enerji üretimi ve tüketimi, ciddi sonuçları olabilecek ve hatta dünyanın ekolojik sisteminin uzun vadeli sürdürülebilirliğini riske atabilecek önemli çevresel sorunlar (küresel, bölgesel ve yerel seviyelerde) yaratmaktadır. Bu nedenle, daha önceden de belirtildiği gibi, enerji üretimi ve tüketimi ve sürdürülebilirlik arasındaki ilişki karmaşıktır⁴².

Şekil 1.2: Küresel Sürdürülebilirlik Altında Sürdürülebilir Gelişmenin Dört Anahtar Faktörü



Kaynak: İbrahim Dinçer, “Environmental and Sustainability Aspects of Hydrogen And Fuel Cell Systems”, **International Journal of Energy Research**, Published Online in Wiley InterScience, 2006, p.7.

⁴¹ Dinçer, **op.cit.**, p.6.

⁴² **Ibid.**

1.1.3.2. Sürdürülebilir Büyüme ve Enerji- Ekonomi -Çevre İlişkisi

Çevre politikaları, küresel çevreyi güvence altına almak, çevresel değerleri sürdürebilmek, insanların üretim ve tüketim faaliyetlerinden kaynaklanan zararları ortadan kaldırmak için hedefleri belirlemek ve bu hedeflere ulaşmak için alınması gereken önlemler ve bu önlemlerin getirdiği yükün (maliyetlerin) nasıl paylaşılacağı ile ilgilidir. Doğal kaynak ve çevre sorunlarının incelenmesinde egemen yöntem “Sürdürülebilir Büyüme”dir. Buradaki amaç gelecek nesillerin ihtiyaçlarını tehlikeye düşürmeden bugünkü neslin ihtiyaçlarını karşılayan bir büyüme modelidir. Bu görüş içerisinde çevrenin ekonomik büyümeyi sınırlandıracağı ve çevre ile ilgili risklerden kaçınmayı öneren görüşler de bulunmaktadır. Sürdürülemez bir üretim ve tüketim yapısı çevresel bozulmaya neden olmaktadır. Aslında sorun üretim ve tüketim sırasında ortaya çıkan çevresel maliyetlerin (çevre üzerindeki negatif dışsallıkların) üretim ve fiyatlandırma kararlarında dikkate alınmamasından kaynaklanmaktadır.⁴³

Aşağıda tablo 1.2’de üç dönemde çevrenin, ekonomi-enerji-etikle ilişkisi gösterilmektedir. Buna göre⁴⁴;

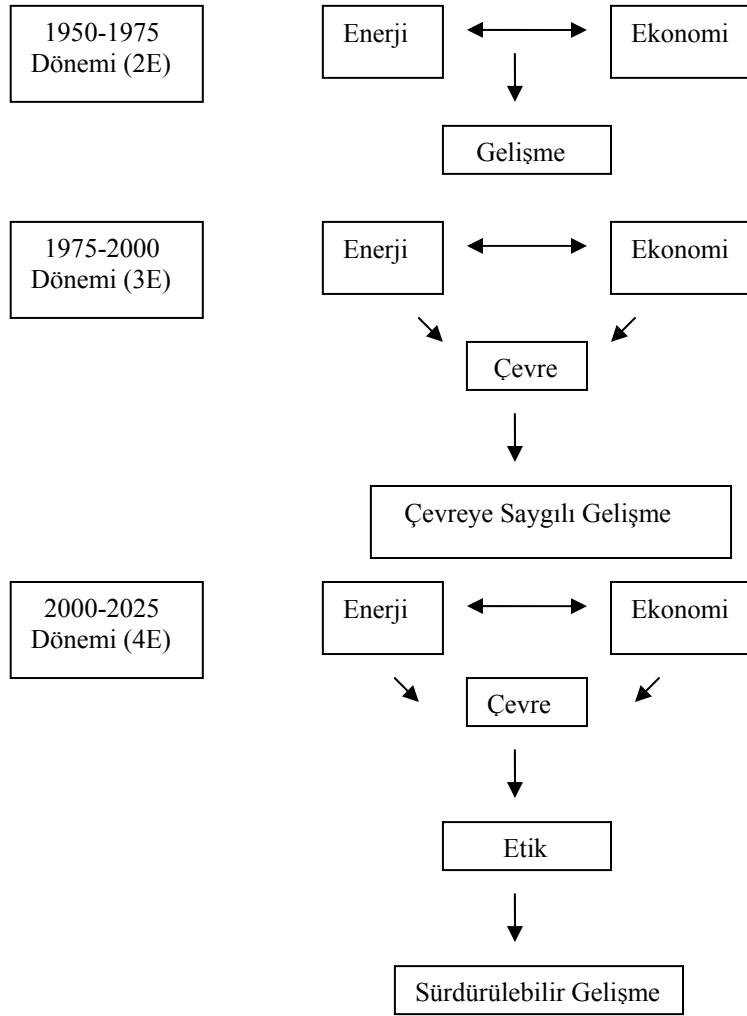
- İlk dönem (1950-1975): gelişme ve büyüme hedeflerinin sağlanması için ekonomik faaliyet ile enerji arasında karşılıklı bir ilişki olduğu görülmektedir.
- İkinci dönem (1975-2000): enerjinin ekonomiyle olan ilişkilerinde çevrenin öncelikle bir kaygı, sonrasında bir risk, nihayetinde de bir yandaş olarak ortaya çıkması ve oluşması göze çarpmaktadır. Bu noktadan itibaren enerji sektöründeki tüm faaliyetlerde çevre boyutu göz önüne alınmalıdır. Bu “3E” dönemidir. Ekonomik gelişmenin çevre boyutunun içeriği “Enerji-ekonomi-çevre” ilişkisidir.
- Henüz başlamış olan üçüncü dönem (2000-2025): motor gücün etik olduğu ve bu gücün önceki üç “E” ile karşılıklı etkileşim içinde olacağı ve yeni sorulara yol açacağı bir “üçüncü dalga” olacaktır. Bu üçüncü dalga hem yerel hem küresel firmaların sorumluluk düzeyinin arttığı ve etik kavramının öne çıktığı

⁴³ Duriye Toprak, “Sürdürülebilir Kalkınma Çerçevesinde Çevre Politikaları ve Mali Araçlar”, **Süleyman Demirel Üniversitesi SBE Dergisi**, 2006, Yıl: 2, Sayı: 4, Isparta, s.149.

⁴⁴ Yücel, **op.cit.**, s.297.

dönemin özelliğidir. Özellikle enerji sektöründeki şirketler açısından etik, bu koşullar altında çevreye ulaşmada bir ara nokta olarak belirlemektedir. Bundan böyle “4E” dönemi başlamıştır; Enerji-Ekonomi-Çevre-Etik*.

Tablo 1.2: Enerji-Ekonomi-Çevre-Etik İlişkisi



Kaynak: F. Behçet YÜCEL, *Yaşanabilir Bir Dünya İçin Enerji*, 2004, s.299.

* Burada 4E dönemi, İngilizce Energy-Economy-Environment-Ethical kelimelerinin baş harfini simgelemektedir.

1.1.3.3. Sürdürülebilir Büyüme ve Teknoloji- İnovasyon- İktisadi Büyüme İlişkisi

İktisatçılar çok eskilerden bu zamana, uzun dönemde ekonomik büyüme ve verimlilik artışında bilim ve teknolojinin önemini kavramışlardır. Hem A. Smith hem de Karl Marx, icatları ve yenilikleri, sermaye birikimi, ölçek ekonomileri ve genişleyen piyasalarla ilişkilendirerek, kapitalist ekonomilerin büyümesindeki en dinamik unsurlar saymışlardır. Büyüme teorisi de geleneksel olarak, bilgi birikiminin büyüme sürecindeki hayati rolünü kâbul eder. Teknolojik ilerleme olmazsa sermaye birikimi sürdürülemez, marjinal verimlilik azalmaya başlar ve sonunda kişi başına gelir artışı kaçınılmaz olarak sıfıra doğru yaklaşmaya başlar. Yeni makinelerin ve ara malların icadı yeni yatırım olanakları sağlar⁴⁵.

Schumpeter ve Avusturya okulu (1871), özellikle yeniliklere odaklanarak, ekonominin evrimsel bir bilim olarak gelişmesi için önemli bir temel oluşturmuştur. Schumpeter daha sonraki ekonomik politika oluşturmada çok büyük etkisi olan “girişimci” ve “yaratıcı yıkım” kavramlarını ortaya koymuştur. Evrimsel ekonomi, Schumpeter tarafından ortaya atılan evrimsel fikirler hakkında kendi teorik çerçevelerini oluşturdukları 1970’lerden sonra tam hız kazanmıştır. O zamandan bu yana, evrimsel oyun teorisi, yeni Schumpeter teknolojisi analizi ve evrimsel çok-ajanlı modelleme gibi çok sayıda evrimsel okul ortaya çıkmıştır. Çevresel politika, yeniliklere ve sistem değişikliğine odaklanması ile, evrimsel ekonomiden elde edilen anlayışlardan büyük ölçüde faydalanabilir. Evrimsel ekonominin şu anda ekonomik ve çevresel politikayla daha ilgili olmasının nedenlerinden biri, 1970’lerden beri evrimsel ekonominin hızla gelişmesidir⁴⁶.

Avrupa Komisyonu’nca Maastricht Economic Research Institute on Innovation and Technology’ye (Hollanda) hazırlattırılan “Innovation Policy In A

⁴⁵ Chris Freeman, Luc Soete, **Yenilik İktisadi**, Tübitak Yayınları, Çeviren: Ergun Türkcan, Ankara 2003, s.363.

⁴⁶ Jeroen Van Der Berg, Albert Faber ve Diğ., “Survival of The Greenest: Evolutionary Economics And Policies For Energy İnnovation”, **Environmental Sciences**, March 2006, Vol.3, No:1, p.58.

Knowledge-Based Economy” başlıklı çalışmada bilgi-inovasyon ve iktisadi büyüme ilişkisi şu şekilde anlatılmaktadır⁴⁷; 1990’ların ortalarından itibaren bilginin modern ekonomideki önemi açıkça görülür hale gelmiştir. Artık, bilginin ekonomik faaliyetlerdeki rol ve öneminin kökten değiştiği “bilgiye dayalı bir ekonomiye” geçilmekte olduğu ileri sürülmektedir. Ancak tarihsel olarak bakıldığında bütün ekonomilerin bilgiye dayalı olduğu görülmektedir. Günümüzdeki fark, bilginin ekonominin dinamiklerine yaptığı katkıda ve bu katkının büyüklüğündedir. Bilginin bu yönlendiriciliği, yalnızca birkaç sanayi dalıyla ilgili değildir; yüksek ya da düşük teknoloji bütünü için geçerlidir. Bu bağlamda terminolojide de bir değişiklik yapmak ve “bilgiye dayalı ekonomi (Knowledge-Based Economy)” yerine “bilginin yönlendirdiği –bilginin motor görevi gördüğü ekonomi (Knowledge-Driven Economy)” olarak nitelemek tarihsel açıdan doğru olacaktır⁴⁸. Günümüz Pazar ekonomilerinin temel dinamiklerinden biri dünya pazarlarındaki rekabet üstünlüğü yarışıdır. Bu yarıştaki belirleyici olan faktör “inovasyondaki yetkinlik’tir. Kim inovasyonda daha yetkinse rekabet üstünlüğü de onundur. İnovasyondaki yetkinlik ise, bilginin kendisini yani bilim ve teknolojiyi üretebilmekte yetkinlik ve üretilen bilim ve teknolojiyi başkasından önce ekonomik ve toplumsal bir faydaya dönüştürmekte yetkinlik demektir⁴⁹.

1.2. ENERJİ ARZI VE TALEBİ

Enerji talebinde meydana gelen beklenmedik artışlar enerji arzında da artış zorunluluğunu beraberinde getirmektedir. Dünya ekonomisinde sürekli yaşanan büyüme ile ülkelerin üretim yapısını geliştirme ve ilerletme hedefleri enerji ihtiyacının karşılanması sorununu ortaya çıkarmaktadır. Özellikle fosil kaynaklı üretim yapısı ülkelerin bu enerji kaynaklarına olan taleplerini sürekli olarak arttırmalarına yol açmaktadır. İşte bu sürekliliğin sağlanması çabaları ileriki konularda detaylı bir şekilde irdelenmiş olan “enerji arz güvenliği” kavramını ortaya çıkarmış bulunmaktadır. Ülkeler artık enerji arz güvenliğinin ulusal güvenliği bile

⁴⁷ Aykut Göçer, “Bilim ve Teknoloji Politikalarına Giriş İçin Enformasyon Toplumu Üzerine Kavramsal Bir Yaklaşım Denemesi”, **TTGV Yayınları**, Ankara, 2001, s.1.

⁴⁸ **Ibid.**

⁴⁹ **Ibid.**

son derece etkileyen bir öneme sahip olduğunu görmüşlerdir. Sürekli ve sürdürülebilir bir enerji yapısı olmayan ülkeler stratejik açıdan zayıf ülkeler arasındadır. Dolayısıyla bu bölümde enerji arzı ve talebini etkileyen faktörler üzerinde durulmuş ve sürdürülebilir enerji tedarikinin sağlanması için gerekli temel unsurlar incelenmiştir.

1.2.1. Enerji Arzını Etkileyen Faktörler

Enerji arzı bir ülkede ekonomiyi besleyen asli unsurların başında gelmektedir. Enerji arzını etkileyen en önemli faktörlerin başında coğrafi konum gelmektedir. Bir ülkenin coğrafi olarak enerji kaynaklarına sahip olması ekonomik yapısı için oldukça önemlidir. Kimi ülkeler enerji ihraç ederken bazıları da ithal etmektedir. Dolayısıyla bu durum ekonomilerde gelişmişlik farkları yaratmaktadır. Ayrıca enerji kaynaklarının tespit edilmesi, çıkarılması ve işlenmesi süreçlerini gerçekleştirecek bilgi birikimine ve insan gücüne sahip olmak ülkeler açısından oldukça önemlidir. Bu kaynakların üretimi-tüketimi sürecinde ortaya çıkan çevresel etkiler, enerji fiyatlarındaki değişimler ve siyasi politikalar da enerji arzını belirleyen unsurlardır.

1.2.1.1. Coğrafi Konum

Bir ülkede enerji kaynaklarının çeşitli olması kadar, coğrafi ve iklimsel olarak da kolay ulaşılabilir olması gerekmektedir. Tüketim alanlarına yakın yerde ulaşılabilen enerji kaynakları enerji arzında direkt etkili olan bir unsurdur. Birçok gelişmiş ve gelişmekte olan ülke enerji kaynaklarına olan uzaklığından dolayı ekonomik anlamda sıkıntı çekmekte ve kaynaklara sürekli ve kesintisiz ulaşmanın yollarını aramaktadır. Bir enerji kaynağına coğrafi olarak kolay ulaşılabilir ancak iklim olarak da uygunluğu gerekmektedir. Dünya'nın soğuk ya da sıcak bölgelerinde bulunan enerji kaynaklarının çıkarılması ve işlenmesi güçleşmektedir. Bu durum o kaynaklara ihtiyaç duyan tüketicilere sağlanan enerji temininde kesintilere neden olabilmektedir.

Jeopolitik olarak enerji kaynağına yakınlık ya da uzaklık ve bu kaynakların verimli üretimi oldukça önemlidir. Dünya nüfusunun giderek arttığı Asya kıtasında özellikle Çin ve Hindistan'ın hem nüfus artışındaki rolü hem de üretim artışından dolayı artan enerji talebi ve bağımlı olarak artması gereken enerji arzı nedeniyle politik kararların en önemli belirleyicisi haline gelmiştir. Bunun yanında Irak'ın petrol kaynaklarının A.B.D.'nin kontrolüne geçmesi ve bu bölgenin petrol üretimindeki ağırlığı dünya piyasalarını etkileyen bir yapıya sahiptir. Doğalgaz kaynaklarının da Rusya'nın egemenliği altında olması enerji piyasalarını derinden etkilemektedir. Kömür kullanımının artışı ve karbondioksit salınımindan kaynaklanan küresel ısınma ülkelerin gündeminde bulunmakta ve Kyoto protokolü politik alanda tartışmalara neden olmaktadır⁵⁰.

1.2.1.2. Çevresel Etkiler

Gelişen ekonomi ve sanayileşme beraberinde daha fazla enerji tüketimini her geçen gün arttırmaktadır. Enerji elde edilmesi ile ilgili en yaygın olarak bilinen kirlenme türü, fosil yakıtların kullanılmasından kaynaklanmaktadır. Ancak enerjiye olan aşırı talep; meydana getirdiği çevresel etkiler düşünülmeden her türlü enerjinin kullanılmasını gerektirmektedir. Çevresel sorunlar her geçen gün hızla artmış ve ekolojik denge bozulmaya başlamıştır. Bu nedenle çevreye zarar vermeden enerjinin kullanılması ve olası zararları önlenabilir enerji kaynaklarının kullanımı önem kazanmaktadır. 1992 yılında yapılan BM Rio De Janerio Konferansı ile kâbul edilen Gündem 21 raporunda öngörülen sürdürülebilir kalkınma kavramı enerji kullanımında da göz önüne alınması gerekmektedir. 1997 yılında kâbul edilen Kyoto protokolü ile birlik artık çevrenin korunması ve enerjinin kullanılmasını beraber anmaya başlamış ve bu alanda ilk hedef olarak da sera gazı emisyonlarını 2010 yılına kadar %8 olarak azaltmayı hedef olarak benimsemiştir⁵¹.

⁵⁰ Ncedet Pamir, "Enerji Arz Güvenliği ve Türkiye", **Stratejik Analiz**, Asam Yayınları, Ankara, Mart 2007, s.14.

⁵¹ Eldin, **op.cit.**, p.303.

Enerji kaynaklı çevre kirliliği sorunlarının çözümü için yapılan uzun vadeli planlarda, fosil enerji kaynaklarının tüketimi, günümüz koşullarına uygun düzeyde tutulmasına çalışılmaktadır. Bugünkü kalkınma hızı içinde, enerjisiz, dolayısıyla kaynakları tüketmeden bir gelişmeden söz edilmesi mümkün değildir. Ancak hedef, tüketirken de çevreye en az zararı vermektir. Kısa vadeli planlarda, çevreye en az zarar veren ekonomik yenilenebilir enerji kaynaklarından yararlanmak ana hedefi oluşturmalıdır. Sadece çevre unsurunun düşünüldüğü bir kalkınma da, ekonomik olmayan bir enerji kaynağının kullanıma sokulması da sürdürülebilir kalkınma anlayışına ters düşecektir.

1.2.1.3. Arz Teknolojilerindeki Gelişim

Yenilik genellikle, beklenmedik şeyleri tesadüfen bulma yeteneğinin bir sonucudur. Bu nedenle bilgi, yenilik süreçleri için çok önemlidir çünkü bunlar genellikle, mevcut tekniklerin ya da kavramların yeniden kombine edilmesini içerir. Sistematik araştırma (Ar-ge, bilim), faydalı yenilik kombinasyonları şansını artırma metodlarından biridir. Yenilikler, süregelen teknolojik paradigma ile aynı doğrultudadır ve genellikle mevcut teknolojilerin uygulanmasını geliştirir. Aşamalı yenilikler genellikle bağlantılı olduğu teknolojik sistemi güçlendirir. Diğer taraftan radikal yenilikler, süregelen teknolojik paradigmanın dışında kalır ve genellikle çok farklı kavramların ve teknolojilerin kombinasyonunu içerir. 12. yy. yel değirmeni, su değirmeni teknolojisiyle rüzgar enerjisinin kullanılmasını amaçlayan yelkenli teknolojisinin bir kombinasyonu olarak görülebilir⁵².

Az gelişmişlik ve uluslararası eşitsizlik, teknik ilerlemenin belirli ülkelerde yoğunlaşarak kaynak dağılımını kâr maksimizasyonu ilkesine dayandıran bir sistemin sonucu olarak görülmektedir. İleri teknoloji tekeli nedeniyle, endüstrileşmiş ülkelerdeki yüksek faktör kazançları, fakir ülkelerin kalifiye insan gücünün ve mali kaynaklarının bu ülkelere kaymasını teşvik etmektedir. Uluslar arasındaki eşitsizlik, teknolojik etkiyle hayat kalitesini de gittikçe arttırmaktadır. Bu süreç, fakir ülkeler

⁵² John Phillimore, "Schumpeter, Schumacer and the Grening of Technology", **Technology Analysis & Strategic Managments**, 2001, Vol.13, No: 1, p.27.

halklarının zorunlu olarak tekniği düşük bir üretimle elde edilmiş ve ucuz olan, çoğu kez etrafı kirleten kalitesiz ürünlere yönelmesinden, ileri ve zengin ülkeler halklarının ise daha ziyade yüksek tekniğe sahip üretimle elde edilen pahalı fakat temiz, kaliteli ürünleri tercih etmesinden meydana gelmektedir⁵³.

Ülkeler bilim ve teknoloji yeteneği bakımından üç bölüme ayrılmıştır⁵⁴;

- Teknolojiyi üretenler
- Teknolojiyi kullananlar
- İkisinin de dışında kalanlar

Enerji arzı açısından, gelişmiş teknolojilerin kullanımı; mevcut sistemin çevresel etkilerinin azaltılmasının yanı sıra, enerji kaynaklarının bulunması ve çıkarılmasında da oldukça önemlidir. Özellikle fosil yakıtlara olan bağımlılığın gelecekte de devam edeceğinden yola çıkarak, fosil yakıtların karbon tutma ve yok etme teknolojilerini de içeren temiz teknolojilerle kullanılması bir öncelik arz etmektedir⁵⁵.

Petrol ve doğalgaz kaynaklarının bulunması için geliştirilen teknolojiler, enerji inovasyonlarında büyük rol oynamıştır. Bu buluşlar, örneğin; uzay araçlarında hidrojenin yakıt olarak kullanımı gibi ileri teknoloji gerektiren çalışmalar öncelikle özel sektör tarafından geliştirilmekte daha sonra da kamu tarafından ekonomik anlamda değerlendirilmektedir. Enerji inovasyonları, araştırma, geliştirme, ispat-uygulama ve kullanma açılması olarak dört aşamada gerçekleşmektedir⁵⁶.

⁵³ Yücel, **op.cit.**, s.164.

⁵⁴ **Ibid.**, s.165.

⁵⁵ Robert W. Fri, “The Role of Knowledge: Technological Innovation in The Energy System”, **The Energy Journal**, Vol.24, No: 4, 2003, p.57.

⁵⁶ **Ibid.**

1.2.1.4. Petrol Fiyatlarındaki Dalgalanmalar

Enerji arzının ekonomik faktörlerden dolayı etkilenmesi oldukça eski bir tarihsel geçmişe sahiptir. Özellikle kömür ve daha sonra da petrol arzından dolayı ekonomik dengelerin etkilenmesi günümüzde de geçerliliğini korumaktadır. Enerji kaynaklarının kullanımı açısından ülkelerin birbirine bağımlı hale gelmesi ve ülkelerin büyümelerini ve kalkınmışlıklarını devam ettirme arzusu enerji arzını etkileyen en önemli unsurdur.

Yüksek petrol fiyatlarının ekonomilere etkisini petrol ithal eden ve petrol ihraç eden ülkeler açısından ayrı ayrı değerlendirmek gerekmektedir. Öncelikle yüksek petrol fiyatları petrol ithalatçısı ülkelerin reel milli gelirlerinin azalmasına yol açmaktadır. Petrol tüketiminin petrol fiyatlarının artış oranı doğrultusunda azaltılması mümkün olamadığından toplam petrol harcamaları artmakta, dolayısıyla diğer harcamalara ayrılan milli gelir miktarı düşmektedir. Yüksek petrol fiyatlarının milli gelir üzerindeki olumsuz etkisi petrol harcamalarının milli gelir içindeki payına ve ülkenin petrole bağımlılığına oranla değişmektedir. Bir başka deyişle, bir ülkede petrol harcamalarının milli gelir içindeki payı yüksekse ve ayrıca bu ülkenin petrol tüketimini azaltarak diğer enerji kaynaklarına yönelme imkanı kısıtlıysa yüksek petrol fiyatlarının ekonomi üzerindeki olumsuz etkisi artmaktadır⁵⁷.

Petrol fiyatlarındaki artışların petrol ithal eden ekonomiler üzerindeki etkileri aşağıda sıralanmıştır⁵⁸;

- Petrol fiyatlarındaki artışların milli gelir üzerinde yarattığı olumsuz etki, petrol harcamalarının milli gelir içindeki payına ve ülkenin petrole olan bağımlılığına göre değişmektedir.
- Bir ülkede petrol harcamalarının milli gelir içindeki payı yüksekse ve ayrıca, bu ülkenin petrol tüketiminin azaltılarak diğer alternatif enerji kaynaklarına

⁵⁷ Şule ÖZKAYA, “Petrol Fiyatlarının Ekonomilere Etkisi”, Şubat 2001, (Çevrimiçi) www.mfa.gov.tr/MFA_tr/Yayinlar/DisisleriBakanligiYayinlari, (10.04.2007).

⁵⁸ H. Naci BAYRAÇ, “Uluslararası Petrol Piyasasının Ekonomik Analizi”, 1999, (Çevrimiçi) www.tek.org.tr/dosyalar/BAYRAC-ENERGY.pdf, (12.6.2007).

yönelme olanakları kısıtlı ise, yüksek petrol fiyatlarının ekonomi üzerindeki olumsuz etkisi artmaktadır.

- Yüksek petrol fiyatlarının makroekonomik hedefler ve özellikle yüksek petrol fiyatlarına uyum sağlamak amacıyla, yürütülen politikaların sonuçları açısından da önemli etkileri bulunmaktadır. Yüksek petrol fiyatları doğrudan girdi maliyetini arttırmakta ve bu durum, üretilen mal ve hizmetlerin fiyatlarının artmasına ve dolayısıyla enflasyona neden olmaktadır.

- Yüksek petrol fiyatlarının enflasyonu arttıran etkisi özellikle, yapısal sorunları bulunan ve bütçe açıklarının borçlanma yoluyla kapatılmaya çalışıldığı gelişmekte olan ekonomilerde daha fazla hissedilmektedir.

- Yüksek petrol fiyatları, petrol ithalatçısı ülkelerin reel milli gelirlerinin azalmasına yol açmaktadır. Bu ülkeler petrol tüketimlerini petrol fiyatı artışları oranında azaltmalarının mümkün olmaması nedeniyle, milli gelir içerisinde toplam petrol harcamalarına ayrılan pay giderek artmakta ve dolayısıyla, diğer harcamalara ayrılan pay azalmaktadır.

Petrol, 1950’li yıllardan başlayarak dünyanın başlıca enerji kaynağı olmuştur. Bu durumun enerji teknolojilerindeki gelişmelere bağlı olarak 2040-2050’li yıllara kadar süreceği anlaşılmaktadır. Diğer yandan, yüksek petrol fiyatlarının makroekonomik hedefler açısından ve özellikle yüksek petrol fiyatlarına uyum sağlamak amacıyla yürütülen politikaların sonuçları bakımından da önemli etkileri bulunmaktadır. Öncelikle yüksek petrol fiyatları doğrudan dünya girdi ve temel mal fiyatlarını, dolayısıyla maliyetleri artırmaktadır. Sonuçta toptan ve tüketici mal fiyatları enflasyonu yükseltmektedir. Enflasyonla mücadele programlarında da iç talebin kısılması hedeflenmekte, bu amaçla uygulanan politikalar sonucunda yatırımlar ve vergi gelirleri azalmaktadır⁵⁹.

Buna karşılık, petrol ihraç eden ülkeler açısından durum farklıdır. Yüksek petrol fiyatları bu ülkelerde doğrudan ihracat gelirlerini arttırmakta ve dolayısıyla milli geliri yükselten bir etki yaratmaktadır. Örneğin yüksek petrol fiyatlarının Rusya

⁵⁹ Özkaya, **loc.cit.**

ekonomisine yaptığı olumlu etki dikkate değer görülmektedir. Esasen petrol üreten ülkeler, düşük petrol fiyatlarının kendi ekonomilerine verdiği zararın daha ağır olduğunu, zira ekonomilerinin enerji sektörüne bağımlı bulunduğunu ifade etmektedirler. Petrol üreten ülkeler, ayrıca tüketici ülkelerin petrol ürünlerine uyguladığı ağır vergilerden yakınmakta ve petrol fiyatlarındaki dalgalanmanın bu vergilerden kaynaklandığını ileri sürmektedirler. Sonuçta, yüksek petrol fiyatları petrol ithal eden ülkelere petrol ihraç eden ülkelere gelir transferine yol açmakta ve dolayısıyla ülkeler arasındaki gelir dengesizliğini artıran bir etki yaratmaktadır⁶⁰.

Petrol fiyatlarındaki artışların petrol ihraç eden ekonomiler üzerindeki başlıca etkileri şunlardır⁶¹;

- Yüksek petrol fiyatları, petrol ihraç eden ülkelere doğrudan ihracat gelirlerini arttırmakta ve dolayısıyla milli geliri arttırıcı yönde etki yaratmaktadır. Aslında petrol üreten ülkeler ekonomilerinin enerji sektörüne bağımlı olması nedeniyle düşük petrol fiyatlarının kendi ekonomilerine daha fazla zarar verdiğini ifade etmektedirler.
- Petrol üreten ülkeler, tüketici ülkelerin petrol ürünlerine uyguladığı ağır vergilerden yakınmakta ve petrol fiyatlarındaki dalgalanmanın bir bölümünün bu vergilerden kaynaklandığını ileri sürmektedirler.
- Yüksek petrol fiyatları petrol ithal eden ülkelere petrol ihraç eden ülkelere gelir transferine yol açmakta ve bu nedenle, ülkeler arasındaki gelir dengesizliği artmaktadır.

Petrol fiyatlarında yaşanan artış ülkeler arası ticaret dengesini ve döviz kurlarını da etkiler. Petrol ithal eden ülkelerin ödemeler dengesi bozulurken, döviz kurları üzerinde de bir baskı oluşur. Bunun sonucu olarak, ithal malların değeri artarken ihraç malların değeri düşer; diğer bir ifadeyle reel milli gelirde düşüş yaşanır. Merkez bankasının ve hükümetin para politikalarında bir değişikliğe gitmemesi halinde, dolar kuru yukarı çıkabilir. Aynı zamanda, petrol üreten ülkelerin, ülke varlıklarını değerlendirirken ölçüt aldıkları dolar bazlı uluslararası

⁶⁰ **Ibid.**

⁶¹ Bayraç, **loc.cit.**

rezerv gereksinimi de artar⁶². Aşağıda grafik 1.2’de 1970-2005 tarihleri arasında petrolün varil başına fiyatının tarihsel olaylarla beraber değişimi gösterilmektedir. Grafik’ten görüldüğü gibi savaşlar esnasında petrol fiyatları’nın tırmandığı görülmektedir. 2005 yılı itibariyle petrolün varil başına fiyatı 55 \$ civarındadır. Ancak zaman zaman yükselme trendine girmekte ve varil başına 80 \$’a kadar yükselme eğiliminde olmaktadır.

Grafik 1.2 : Petrol Fiyatlarının Tarihsel Gelişimi (1970-2005)



Kaynak: Peak Oil Crisis, “The End of Cheap Oil”, (Çevrimiçi),
(<http://www.peak-oil-crisis.com>), (12.04.2007).

21. Yüzyılda üstünlük kavramının bir petrol varilinden olduğu kadar bir bilgisayardan da gelebileceği açıkça görülmüştür. Ancak petrolün sanayideki önemli yerini korumaya devam edecektir. Enerji kaynağı olarak yerini tutacak başka bir seçenek bulununcaya kadar petrol dünya ekonomisi üzerinde erişilmesi çok güç olan etkisini daima koruyacaktır. Çevre bilincinin doğmasıyla birlikte endüstriyel toplum ve petrol endüstrisi eleştirilere maruz kalmıştır ve kalmaya devam edecektir. Bu

⁶² Fatih Birol, “Petrol Fiyatlarındaki Yükselişin Dünya Ekonomisi Üzerindeki Etkileri”, **Türkishtime**, TİM Yayınları, Sayı 32, 2004, (Çevrimiçi) http://www.turkishtime.org/32/tr_18.asp, (12.06.2007).

abalar kuşkusuz geçerli olan nedenlere dayanmaktadır ve bunlardan en önemlisi iklim deęiřiklięidir⁶³.

1.2.1.5. Politik Faktörler ve Enerji Arz Güvenliği

Ülkelerin kalkınmada, refaha erişmede ve refahı sürdürmede kullanmak zorunluluğunda oldukları enerji kaynaklarının seçimi ulusal düzeyde ekonomik imknlara, bölgesel ya da uluslararası düzeyde de ekonomik olduğu kadar siyas ve stratejik konjonktrlere bağımlı olmaktadır. Dünya da birbiri ile enerji kaynağı alışverişinde bulunan ülkelerin dışında, belirli bir enerji kaynağının kullanılması, ilk bakışta diğer ülkeleri etkilememekte ve ilgilendirmemektedir. Ancak son yıllarda enerji kaynaklarının kullanımının vreye ve dünya iklimine olumsuz etkilerinin ortaya çıkması, coğraf olarak birbirlerinden çok uzakta bulunan ve herhangi bir enerji kaynağı alışverişinde bulunmayan ülkeler arasında da enerji kullanımıyla ilgili sorunların baş göstermesine yol amıřtır⁶⁴.

Enerji arz güvenliği, ülkelerin gelişimlerini, ekonomik ve ulusal güvenliklerini temelden etkileyen bir olgudur. Bu nedenle, enerji kaynaklarını kesintisiz, güvenilir, ucuz, temiz ve çeşitlendirilmiş kaynaklardan sağlayabilmek ve verimli kullanmak, her ülkenin güvence altına alması gereken hususlardır. Enerji güvenliği, geniş kapsamlı bir kavramdır ve sadece yukarıda sıralanan temel başlıklar altında değerlendirilmesi yeterli değildir. Enerji altyapısına yönelik terörist saldırılardan, yatırım eksikliklerinin doğuracağı kesintilere, kasırgaların doğuracağı engellerden ambargolara, grevlerden lokavtlara, iç savaştan işgale kadar birçok olasılığı birlikte değerlendirmeyi gerekli kılan bu geniş kavramın kuramsal ve uygulamaya yönelik boyutu da mutlaka göz önüne alınmalıdır⁶⁵.

⁶³ Daniel Yergin, **Petrol**, eviren: Kamuran Tuncay, Türkiye İş Bankası Yayınları, Yayın no: 37, Ankara, 1995, s.11.

⁶⁴ Reşat Uzman, Asım Arar, “21. Yüzyılda Enerji Kullanımı ve İklım Değişikliği”, Mayıs 2001, (evrimii) [http://www.mfa.gov.tr/MFA_tr/Yayinlar/EkonomikSorunlarDergisi/Sayi2_\(10.05.2007\)](http://www.mfa.gov.tr/MFA_tr/Yayinlar/EkonomikSorunlarDergisi/Sayi2_(10.05.2007)).

⁶⁵ Pamir, **loc.cit.**

Petrol başta olmak üzere toplam enerji kaynaklarının temininde net ithalatçı durumunda bulunan sanayileşmiş ülkelerde ve bunun yanında modern enerji hizmetlerinden faydalanmak isteyen gelişmekte olan ülkelerde enerji güvenliği birinci öncelikli konu haline gelmiştir. Enerji arz güvenliğini gündeme getiren başlıca unsurlar şunlardır⁶⁶;

- Üretici ülkelerdeki politik ve ekonomik istikrarsızlık.
- Terör ve bölgesel çatışmalar.
- Hızla büyüyen ekonomilerin artan enerji talebi ve bunun enerji arzı ile ekonomiler üzerinde yaratacağı istikrarsızlık.
- Enerji projeleri için gerekli finansman ihtiyacının teminindeki güçlükler.
- Ticaret yolları üzerindeki kritik noktalardaki yoğunlaşmanın sebep olacağı arz kesintileri.
- Çevresel etkilerin en aza indirilmesi için üstlenilen sorumluluk ve baskılar.
- Petrol fiyatlarındaki kalıcı olabilecek artışların ekonomi üzerindeki olumsuz etkileri.

Enerji politikalarının temel amacı, artan nüfusun ve gelişen ekonominin enerji ihtiyacının sürekli, kaliteli ve kesintisiz bir şekilde, güvenli bir arz sistemi içinde karşılanabilmesi ve bunun özel sektör yatırımlarının ağırlığını oluşturduğu, serbest rekabete dayalı şeffaf bir piyasa yapısı dahilinde gerçekleştirilmesidir. Bu çerçevede, arz planlaması yapılırken enerjinin zamanında, kesintisiz ve yeterli miktarda sağlanabilmesi ve arz maliyetinin olabilecek en düşük seviyede tutulması temel hedef olmalıdır⁶⁷.

⁶⁶ DPT, IX. Kalkınma Planı, **op.cit.**, s.10.

⁶⁷ Ahmet İncekara, Halil Özekicioğlu, “İktisadi Kalkınma–Enerji İlişkisi ve Türkiye’nin Alternatifleri“, Avrasya Bir Vakfı I. Beyin Fırtınaları Toplantısı, **Türkiye’de Enerji Darboğazı- Alternatif Enerji Kaynakları-Nükleer Enerji**, İstanbul, Cilt.II, s.140.

Enerji kaynaklarında dışarıya ne kadar az bağımlı olunursa politik karışıklıklar ve ekonomik krizlerden o kadar az etkilenilir. Enerji güvenliğinin en önemli garantisi yerli ve mümkün olduğu kadar kurumsal ve bireysel kaynaklara dayanmak ve az enerji ile idare edebilmektir⁶⁸.

Enerji sorunu bir ülkenin bütün fonksiyonlarını olumsuz biçimde etkileyebilir. Bir ülkenin milli güvenliği ve refahı o ülkenin enerji gücü ile ölçülebilir. Enerji olmadan bir ülkenin kendini savunabilmesi imkansızdır. Enerji kaynaklarının herhangi bir sebeple kesilmesi durumunda ciddi tehlikelerle karşılaşması muhtemeldir⁶⁹.

1.2.2. Enerji Talebini Etkileyen Faktörler

Üretime dönük yapının sonucu olarak enerji talebinde meydana gelen artışlar özellikle nüfus artışı ve kentleşmeyle ilişkilendirilmektedir. Nüfusun artışıyla beraber enerji talebi de doğal olarak artmaktadır. Sanayileşmenin getirdiği kitlesel yaşam kültürü teknolojinin de oldukça gelişmesiyle sürekli bir biçimde enerji talep etmektedir.

2020'den sonra, hidrojen, biokütle gibi alternatif enerjilere olan talebin artması beklenmektedir. Bunun nedeni, kaliteli enerji hizmetlerine olan talep, gelişmiş ve yeni enerji tedarik teknolojilerine olan ihtiyacı teşvik etmektedir. Bu teknolojilerin geliştirilmesi, verimin artırılmasını, işletme ve üretme masraflarının azaltılmasını, çevresel etkilerin hafifletilmesini ve eşit derecede önemli olarak, gittikçe artan sosyal değerlere tepki vermeyi amaçlamaktadır. Merkezi bir önem kazanan enerji güvenliği ihtiyacı bu teknolojilerin gelişmesine büyük ölçüde katkıda bulunmaktadır⁷⁰.

⁶⁸ TEMA, “Doğa Dostu Enerji Kullanımı İçin Yeni Fırsatlar”, **Tema Vakfı Raporu**, İstanbul, 2007, s.3.

⁶⁹ Oktay Alniak, “Milli Güvenliğin Bir Unsuru Olarak Enerji Politikalarının İncelenmesi”, **III. Ulusal Hidrojen Enerjisi Kongresi Bildirileri**, İstanbul, Temmuz 2006, s.191.

⁷⁰ Eldin, **op.cit.**, p.304.

Özel şirketler tarafından yeni ticari enerji teknolojileri geliştirilmektedir; bu nedenle bunların gelecekte yayılmasını belirleyen kriterler, iyi iş becerisine ve sağlam yatırımlara dayalı olacaktır. Hükümetlerin rolü, bu teknolojiler için etkili programlar geliştirmek, teşvik sağlamak ve finansman sunmak olacaktır. Bu destekler her türlü yeni enerji kaynağının ticarileştirilmesini desteklemek için önemlidir. Belirli nedenlerle, uzun vadede bunların piyasaya girişinden yararlanacak olsalar da gelişmekte olan ülkelerin yeni enerji teknolojilerinin gelişimine katılımının ihmal edilmesi muhtemeldir⁷¹.

1.2.2.1. Nüfus Artışı

Ekonomik hayatın; üretim, tüketim, mübadele ve bölüşüm olmak üzere dört önemli fonksiyonu bulunmaktadır. Üretim fonksiyonu da emek, teşebbüs, sermaye ve doğal kaynaklardan oluşmaktadır. Bunlardan emek ve teşebbüs insan faktörüyle, sermaye ve doğal kaynaklarda maddi faktörlerle ilgilidir. Maddi faktörler eşit olarak kâbul edildiği takdirde (ceteris paribus) toplumların ekonomik kalkınmasının insan faktörünü ekonomik hayatta değerlendirebilme gücüne bağlı olduğu söylenebilir. Bu açıdan nüfusun sosyal özellikleri önem arz etmektedir⁷².

Enerji talebini önemli derecede etkileyen en önemli faktörlerden biri nüfus artışıdır. Dünya nüfusunun artışıyla enerjiye olan talepte hızla artmaktadır. Dünya nüfusu 19-20. yy'a kadar oldukça yavaş bir artış göstermiştir. Bunun ana nedeni o yıllarda ölüm oranının çok yüksek olmasıdır. Daha iyi beslenme, hijyen koşullarının sağlanması, tıp tekniklerinde ilerlemeler sayesinde hayati tehlikesi olan hastalıkların önlenmesi ve tedavi edilmesi gibi ilerlemeler neticesinde 19-20. yy'larda hayatta kalan çocuk sayısı artmıştır ve bununla beraber nüfus artışı daha önceki dönemlere göre artan oranlarda artış göstermiştir. 1800'lerde 1 Milyar olan dünya nüfusu 1950'de 2,5 milyara çıkmıştır. 1950-2004 yılları arasında da dünya nüfusu 2,5

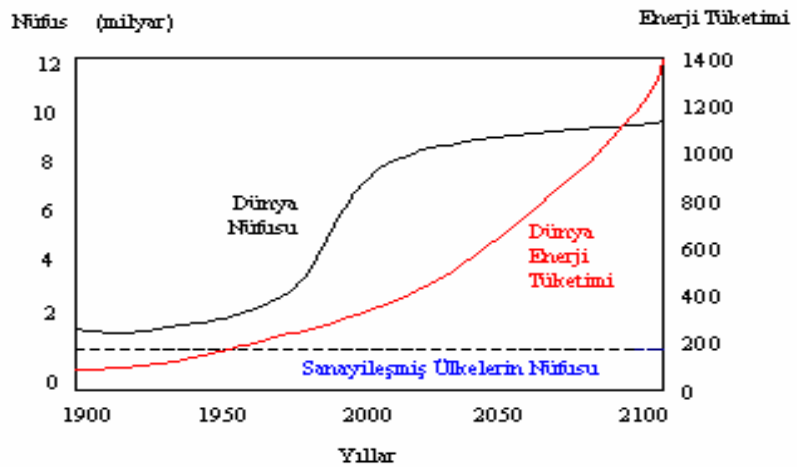
⁷¹ Ibid.

⁷² Sedat Murat, "Avrupa Birliği Ülkeleri ve Türkiye'nin Karşılaştırmalı Nüfus Yapısı", **Tüm Yönleriyle Türkiye-AB İlişkileri**, Ed. Mustafa Aykaç ve Zeki Parlak, Elif Kitapevi, İstanbul, 2002, s.48.

milyardan 6,4 milyara yükselmiştir⁷³. Dünya nüfusuna her yıl yaklaşık 60 ile 80 milyon insan ilave olmakta ve enerji tüketimi sürekli artmakta ve enerji sektörü de büyümektedir. Dünya nüfusunun sürekli artış trendinde olması nedeniyle yapılan tahminlere göre 2004 yılında yaklaşık 6,4 milyardan 2050’de 8,9 milyara çıkması beklenmektedir⁷⁴.

Nüfus ve ekonomik büyüme, enerji talebi büyümesinin arkasındaki ana yönlendiricilerdir. 2020 ve sonrasında genişlemeye devam etmesi beklenen enerji talebiyle petrol, özellikle ulaştırma sektöründe bu ihtiyacı yaratan en büyük kaynak olmaya devam edecektir. Aynı zamanda benzin, elektrik üretiminde gittikçe artan bir rol oynayacaktır ki tüm enerji talebinden daha hızlı bir oranda büyümeye devam edecektir⁷⁵. Grafik 1.3’e göre, dünya nüfusu hızla artarken, enerji talebi de hızla artmaktadır. Buna göre, dünya nüfusundaki artış sanayileşmiş ülkelerin nüfus artışlarına göre oldukça fazladır. Enerji tüketiminin özellikle 2000-2100’lü yıllar arasında artma eğiliminin nüfus artışının önünde olacağı tahmin edilmektedir.

Grafik 1.3: Dünya Nüfusu ve Enerji Talebindeki Büyüme (1900-2100)



Kaynak: U.S.A, Department of Energy, “Secure, Reliable Energy Supplies”, (Çevrimiçi) www.netl.doe.gov/KeyIssues/secure_energy.html, (10.02.2007).

⁷³ Brown R. Lester, “Yeni Yüzyılın Sorunları”, Dünya’nın Durumu 2000, Çeviren: Ayşegül ve Zeynep Yelçe, **Tema Vakfı Yayınları**, İstanbul, 2000, s.3.

⁷⁴ Jack Barkenbus, “Energy, Environment, Resources”, University of Tennessee, 2005, p.5.

⁷⁵ Eldin, **op.cit.**, p.303.

Çevreye zarar vermede en önemli nedenler enerji üretimi ve nüfus artışı olarak kâbul edilmektedir. Özellikle gelişmekte olan ülkelerde görülen yüksek nüfus artışı gelişmiş ülkeleri daha fazla rahatsız etmektedir. Bu ülkelerde nüfus artış hızının azalmış olması yine de bu tahribi önlemekte yetersiz kalacaktır⁷⁶. Nüfus artışı, işsizlik, göç ve iletişim ile giderek artan sayıda insanın bu arzulara kavuşmak için kentlere ve teknolojilere ulaşması beraberinde artan enerji talebini ve bu talebi karşılamak için de yoğun çabaları getirmiştir. Bunun kaçınılmaz bir sonucu olarak üreticiler, en kolay ulaşılabilir ve en ucuz kaynak arayışı içine düşmüşlerdir. Tüketiciler de, daha düşük fiyatlara ve daha kaliteli ürünler elde etmeye yönelmişlerdir. Bu durum enerji kullanımında verimliliğin ve enerji arz güvenliliğinin öneminin göz ardı edilmesine ve çevresel etkilerin de çoğalmasına neden olmuştur.

1.2.2.2. Kentleşme

Teknolojik gelişme ve üretim artışının, fazla oranda doğal kaynak ve malzeme arzına yol açtığı ve tarım dışı işgücünün toplumun gıda gereksinmelerine göre çok daha bol ve değişik çıktıları sağladığı yerlerde, üretim ve hizmet faaliyetlerinin tarımsal nüfusla olan mekansal bağlantıları kopmuş ve bunun yerini toplumun endüstriyel-kentsel dönüşümü almıştır. Bu gelişme sanayi devriminin ortaya çıkışını gerçekleştirmiştir. Kentsel alanlar, basit el sanatları imalatından üretim birimlerine dönüşümün gerekli mekanizmalarını sağlamıştır. Böylece kentsel alanlar karar alma merkezleri haline dönüşmüştür. Sanayinin gereksinimleri yeni kentsel alanların oluşumunu belirlemiş ve mevcut kentsel alanlar sanayinin gereksinmelerine uyum sağlamak zorunda kalmıştır. Bu sürecin doğal sonucu kentlerdeki aşırı göç sorununu ve nüfus artışını yaratması olmuştur⁷⁷.

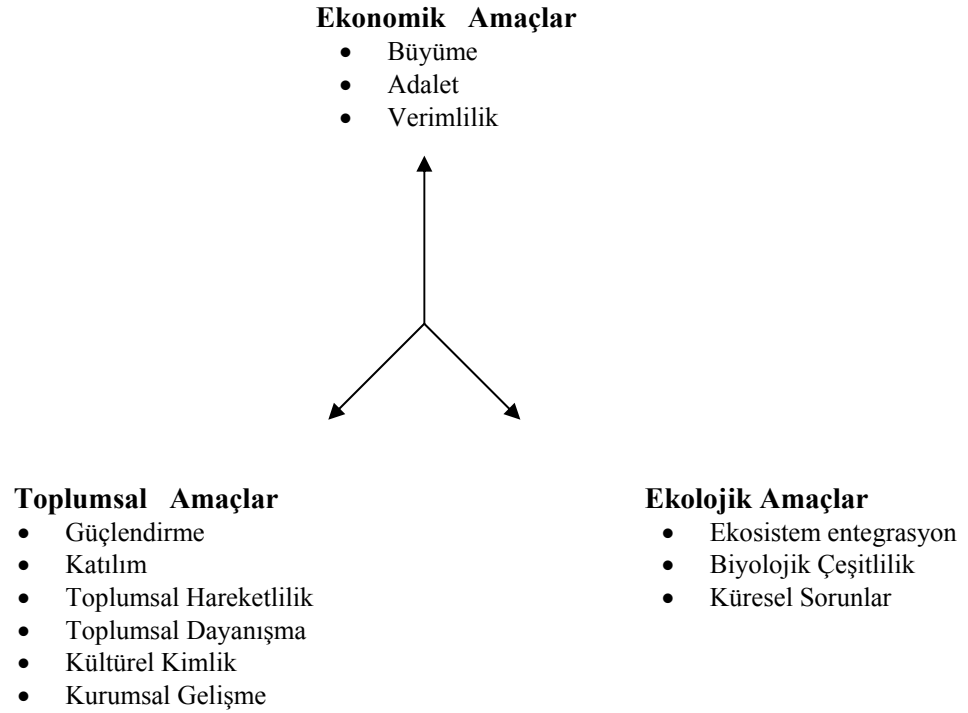
Dünya da nüfus artışı, sanayileşme ve şehirleşme ile birlikte, küreselleşme sonucu artan ticaret ve üretim imkanlarına bağlı olarak, doğal kaynaklara ve enerjiye

⁷⁶ H. Mahir Fisunoğlu, “Sürdürülebilir Kalkınma ve Ekonomi”, **Çevre ve Ekonomi**, Türkiye Çevre Sorunları Vakfı Yayınları, Ankara, 1985, s.44.

⁷⁷ İsmail Ceritli, **Kentleşme Sürecinin Ekonomi Politikası**, Yargı Matbaası, Ankara, 2003, s.60.

olan talep giderek artmaktadır. Dünya da 2030 yılına kadar nüfusun 2 milyar kişi artması ve OECD dışında da trafikteki araç sayısının 550 milyona yükselmesi beklenmektedir. Dünya da 2030 yılına kadar enerji talebinin büyük kısmı gelişmekte olan ülkelerden kaynaklanmak üzere, bugüne göre %60 daha fazla olması beklenmektedir⁷⁸. Ekonomik kalkınmanın etkileşim içinde olduğu alanlar tablo 1.3'de gösterilmektedir. Buna göre ekonomik, toplumsal ve ekolojik açıdan ele alındığında, kentin bir boyutunun ekonomik verimlilik ve adaletle, diğer bir boyutunun toplumsal kalkınmayla ve en son olarak çevresel sürdürülebilirlikle ilgili olduğu görülmektedir. Bu durumda kentleşme sürecinin, disiplinler arası bir gelişme sürecini içerdiği anlaşılmaktadır⁷⁹.

Tablo 1.3: Ekonomik Kalkınmanın Amaçları, Sosyal ve Çevresel Bağlantıları



Kaynak: İsmail Ceritli, **Kentleşme Sürecinin Ekonomi Politikası**, Yargı Yayınları, Ankara, 2003, s.51.

⁷⁸ IX. Kalkınma Planı, **op.cit.**, s.8.

⁷⁹ Ceritli, **op.cit.**, s.5.

1.2.2.3. Ekonomik Büyüme

Enerji, ekonomik büyümede geri besleme (Feedback) etkisi yaratmaktadır, buna göre enerji kullanımının artması ve teknolojinin gelişimi, yeniden enerji kullanımını zorunlu hale getirmektedir. Böylece birbirini sürekli besleyen bir durum söz konusu olmaktadır. Ancak yukarıdaki bölümlerde değinildiği gibi, enerji kullanımı gelişmiş ülkelerde, gelişmekte olan ülkelere oranla daha az artmaktadır. Gelişmekte olan ülkelere teknolojinin ithal edilmesi ve hızlı nüfus artışı enerji talebini arttırmaktadır.

İktisat biliminin önünde iki seçenek vardır ve iktisat bilimi bu yollardan birini seçmek durumunda kalmaktadır⁸⁰;

- Çevreci amaçlar için büyümenin sınırlanması; Bu sınırlanma özellikle gelişmiş ülkelerin menfaatiyle uyuşmamaktadır. Bunun nedeni %5’lik bir karbon sınırlamasının gelişmiş bir ekonomideki sınırlama etkisiyle gelişmekte olan bir ekonomiye etkisi farklı olacaktır. Gelişmiş ekonomiler bu sınırlamadan daha çok etkilenecektir.

- İktisadi büyümenin amaç ve araçlarında, ölçüm yöntemlerinde “çevre sorunları”nı içeren birtakım değişikliklerin yapılması; Örneğin ölçümlerde karbon vergisinin dahil edilmesi ve bu vergi alındıktan sonra büyüme oranının ölçülmesi. Ölçüm yöntemlerinde değişiklik hem makro, hem de mikro düzeyde yer almak zorundadır. GSMH’yi meydana getiren faktörler ya teker teker ya da genel bir “çevre faktör” katsayısı ile çarpılabilir.

Dünya ekonomisi tablo 1.4.’den anlaşılacağı gibi, 2006’da büyük bir canlılık içinde olmuş ve %8’lik büyüme ile 2000 yılından beri ikinci en yüksek mal ticareti gerçekleştirmiştir. Ekonomilerin büyüklüğünün göstergesi olan Gayri Safi Milli Hasıla (GSMH) Avrupa ve Japonya’da beklenenden daha güçlü olarak gerçekleşirken, Çin ve Hindistan rekor yüksek seviyelere erişmişlerdir. Ancak yapılan projeksiyonlara göre dünya ekonomisi 2007’de ancak %3 oranında büyüyecek olup bu tahmine paralel olarak da dünya ticaretinin yavaşlaması ve mal ticaretindeki büyümenin

⁸⁰ Reha Bilge, “Ekonomi, Teknoloji ve Çevre Sorunları”, **Çevre ve Ekonomi**, Türkiye Çevre Sorunları Vakfı Yayınları, Ankara, 1985, s.18.

2007’de %6 civarında gerçekleşmesi beklenmektedir. Finans ve mal piyasalarındaki mevcut risklerin ve mal ve hizmet ticaretindeki büyük ticari dengesizliklerin, 2007 yılında belirsizlikleri arttıracığı ve bunun da 2008 için daha zayıf bir ekonomik ve ticari gelişmenin sinyallerini vermekte olduğu WTO Raporları ve ekonomistlerince belirtilmektedir⁸¹.

IMF tahminleri doğrultusunda 2006 yılına göre 2007 ve 2008’de daha düşük bir büyüme beklenmektedir. Ancak yine de petrol fiyatlarında olabilecek bir artış ve ABD emlak piyasasının düşmeye devam etmesi potansiyel riskler olarak görülmektedir. Yüksek petrol ve temel madde fiyatlarının artışına paralel olarak bu ürünlerin ihracatçısı olan az gelişmiş ülke ekonomilerinin ticareti %30 civarında gerçekleşirken bu ülkeler ve diğer gelişmekte olan ülkeler dünya mal ticaretinden rekor paylar almışlardır. 2006 yılı dünya da sağlam bir büyümenin ve canlı bir ticaretin yaşandığı bir yıl olmuştur. Global gayri safi milli hasıla %3,7’ye çıkarak 2000 yılından beri en yüksek seviyesine erişmiştir⁸². Dünya GSMH’sı 2000 yılında yaklaşık 40 trilyon dolar iken, 2050 yılında 125-130 trilyon dolar olacağı tahmin edilmektedir⁸³.

Tablo 1.4 : Bölgelere Göre GSMH Gelişmesi (2004-2006)

(%)	2004	2005	2006
ABD	3,9	3,2	3,4
AB (25)	2,3	1,6	2,8
BDT	8,0	6,7	7,5
Afrika ve Ortadoğu	6,0	5,5	5,4
Asya	4,8	4,1	4,4
Çin	10,1	9,9	10,7
Japonya	2,7	1,9	2,2
Hindistan	8,0	8,5	8,3
Dünya	3,9	3,2	3,7

Kaynak: İGEME, Dünya Ticaretinin 2006 Yılı Gelişmeleri İle 2007 Yılı Beklentileri”,(Çevrimiçi) http://www.igeme.gov.tr/tur/haber/dunya_ticareti.pdf, s.1.

⁸¹ İGEME, “Dünya Ticaretinin 2006 Yılı Gelişmeleri İle 2007 Yılı Beklentileri”, (Çevrimiçi) http://www.igeme.gov.tr/tur/haber/dunya_ticareti.pdf, (14.04.2007), s.1.

⁸² **Ibid.**

⁸³ Barkenbus, 2005, p.6.

1.2.2.4. Teknolojinin Gelişmesi ve Yaygınlaşması

İktisatçılara göre teknoloji; “üretim sürecinde kullanılması gereken üretim faktörlerini ve bunlar arasındaki bileşim oranlarını gösteren bir üretim fonksiyonudur”. Daha net bir ifadeyle, herhangi bir maldan Q miktar üretmek için ne miktar sermaye (K) ve ne miktar işgücü (L) gerekli olduğunu ve bu iki faktörün ne oranda (K/L) birleştirileceğini gösteren bir üretim fonksiyonu, aynı zamanda bir üretim teknolojisini ya da tekniğini de vermektedir. Teknolojik değişme, işte bu üretim fonksiyonunda meydana gelen bir değişmedir. Bunun anlamı aynı miktar ürünü elde etmek için, teknolojik gelişmeden önceki duruma kıyasla, şimdi en az bir faktörden tasarruf edilerek daha az üretim faktörü kullanılmış olacaktır. Üretim fonksiyonunun yukarı doğru kayması durumunda toplam üretimde sağlanan artışın, üretim faktörlerindeki (K ve L) artışa neden olan kısmı çıkarıldıktan sonra geriye kalan kısmı, teknolojik gelişmeye yaptığı katkı olacaktır⁸⁴.

Ekonomik büyüme ve gelişme sürecinde rol alan klasik üretim faktörlerinin çağdaş iktisadi olayları açıklamakta yeterli olamaması, haklı olarak yeni arayışlara neden olmuştur. Bu bağlamda son yıllara kadar değişik nedenlerle hak ettiği değeri göremeyen beşeri sermayenin önemli bir yeri bulunmaktadır. Üretime yaptığı ilave katkı nedeniyle, bilgi, beceri, tecrübe ve dinamizm beşeri sermaye olarak kâbul edilmektedir. Söz konusu sermayenin geliştirilmesinin ve etkin bir şekilde kullanılabilmesinin özellikle ekonomik gelişme süreçlerini tamamlayamamış az gelişmiş ülkeler açısından son derece önemli olduğu görülmektedir⁸⁵.

Bilgi, beşeri sermaye ve teknolojik değişme tarih boyunca iş ilişkilerini, üretim tarzlarını, gelir düzeyini, gelir dağılımını ve tüketim kalıplarını topluca değiştiren kesintisiz süreçler olmuşlardır. Bu değişime uymayan yapılar varlıklarını sürdürememişlerdir. Bilginin ışık hızında aktığı ve mesafelerin önemini yitirdiği günümüzde, yeterli finansal sermayeye sahip olamayan ülkelerin geri kaldığı

⁸⁴ Cihan Dura, Hayriye Atık, **Bilgi Toplumu Bilgi Ekonomisi ve Türkiye**, Literatür Yayınları, İstanbul, 2002, s.171.

⁸⁵ Mehmet Karagül, “Beşeri Sermayenin Ekonomik Büyümeyle İlişkisi ve Etkin Kullanımı”, **Akdeniz Üniversitesi İİBF Dergisi**, Cilt 5, 2003, s.88.

şeklindeki geleneksel yaklaşım, yerini güncel bilgi ve teknolojiyi elde edemeyen, beşeri sermaye birikimi zayıf olan ülkelerin geri kaldığı gerçeğine bırakmıştır. Bunca önemine rağmen, ölçme zorluğu, rasyonellik gereği bilginin emek faktörüyle bütünleştiği ve sermayenin teknolojiyi, teknolojinin de bilgiyi içerdiği düşüncesiyle bilgi, beşeri sermaye ve teknolojik gelişme önceki büyüme modellerinde yeterince dikkate alınmamışlardır. Bilgi ve teknoloji hemen her şeyle iç içe girdiği halde, büyüme analizlerinde onları dışsal sayıp bütün gücü onların etkilediği faktörlere vermenin doğru olamayacağı açıktır. İçsel büyüme çalışmalarının bugünkü düzeye gelmesinde P. Romer'in (1986) ve R. Lucas'ın (1988) öncü çalışmaları ile daha sonra P. Romer'in Rivera- Batiz'le ortak çalışmaları (1991) önemli rol oynamıştır⁸⁶.

Teknolojik gelişmeyi ekonomik sürecin içine dahil eden içsel büyüme teorileri teknolojik gelişmeyi motive eden unsurlar açısından iki ana gruba ayrılmaktadır. Bunlardan birincisinde, Romer (1986) modelinde olduğu gibi, teknolojik gelişmenin birim maliyetlerin düşmesi şeklinde gerçekleştiği ve üretim ve yatırım sürecinde doğal olarak ortaya çıktığı söylenebilir. Bu durum aslında Arrow'un "yaparak öğrenme" sürecinin bir pozitif dışsallık olarak üretim fonksiyonuna dahil edilmesiyle sağlanmaktadır. Helpman, Stokey, Lucas gibi iktisatçıların üzerinde çalıştıkları ikinci grup olarak sınıflanan alt literatürde ise teknolojik gelişmeyi sağlayan fertlerin beşeri sermaye yatırımı yapma(eğitim) ya da şirketlerin ar-ge yaparak yeni ürün ortaya çıkarma davranışları olduğu belirtilmektedir. Dolayısıyla, teknolojik gelişme bilinçli kararlarla ortaya çıkmaktadır⁸⁷.

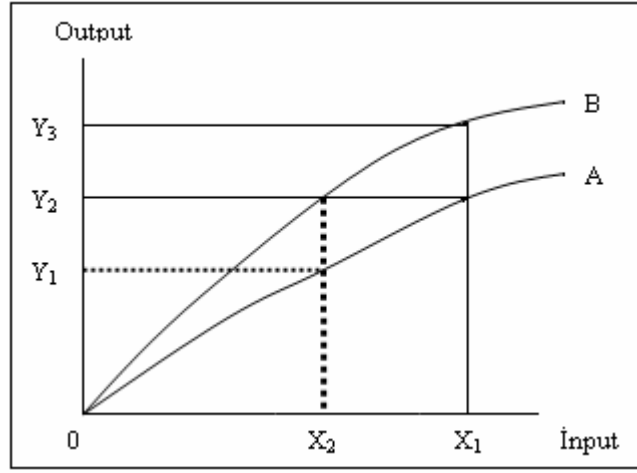
Teknolojik yeniliklerin en önemli amaçlarından biri kıt kaynakları daha verimli ve daha iyi şekilde kullanabilmektir. Teknolojik gelişme daha çok üretim fonksiyonundaki yeni bir bileşimin uygulama alanına konulmasıdır. Teknoloji tanımı, aşağıdaki grafik 1.4'de daha açık görülmektedir. Dikey eksen, output, yatay eksen, input yer almaktadır. A eğrisi eski teknolojiyi, B eğrisi yeni

⁸⁶ Osman Demir, "Durgun Durum Büyümeden İçsel Büyümeye", C.Ü. İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, Cilt. 3, Sayı: 1, 2002, s.2.

⁸⁷ Murat Yülek, "İçsel Büyüme Teorileri", Hazine Dergisi, Ankara, Sayı: 6, 1997, s.3.

teknolojiyi göstermektedir. OA ve OB eğrilerinin gittikçe yükselerek alçalmasının sebebi Azalan Verim Kanunudur. Eski teknoloji ile, OX_1 inputla OY_3 output elde edilmekte yani Y_1 - Y_3 aralığı kadar bir fazlalık sağlanmaktadır. Bir başka deyişle, eski teknoloji OX_2 inputla OY_1 outputu, yeni teknoloji ise aynı outputu (OY_2) daha az inputla (OX_2) elde etmektedir. Böylece Y_1 - Y_2 aralığı kadar bir büyüme gerçekleşmiş olmaktadır⁸⁸.

Grafik 1.4: Teknolojinin Tanımlanması



Kaynak: Ali Özgüven, **İktisadi Büyüme, İktisadi Kalkınma, Sosyal Kalkınma, Planlama ve Japon Kalkınması**, Filiz Kitabevi, İstanbul, 1988, s.68.

1.2.2.5. Enerji Verimliliği

Enerji, özellikle 19. yüzyılın başlarından itibaren ülkelerin rekabet üstünlüğü sağlamada istifade ettikleri en önemli unsurlardan biri olmuştur. Yeni çağda ise, dünya daki teknolojik yenilikler, uluslararası sınırların geçirgenliğinin artması, sermaye hareketleri için sınırların hemen hemen kalkmış bulunması ve iletişim alanındaki beklenmedik gelişmeler hem dünya daki enerji kullanımının miktar ve hızını artırmış, hem de enerjiyi üzerinde durulması gereken en önemli sorunlardan birisi haline getirmiştir. Bir yandan enerjiyle ilgili olarak ortaya çıkan ozon tabakasındaki incelme, sera gazı emisyonlarının insan yaşamını tehdit eder boyutlara

⁸⁸ Ali Özgüven, **İktisadi Büyüme, İktisadi Kalkınma, Sosyal Kalkınma, Planlama ve Japon Kalkınması**, Filiz Kitabevi, İstanbul, 1988, s.68.

ulaşması gibi sorunlar, diğer yandan dünya daki doğal enerji kaynaklarının (özellikle fosil yakıtların) hızla tükenmesi gibi riskler hem birer varlık olarak devletleri, hem de insanlık adına düşünme sorumluluğunda olan bilim adamlarını ve aydınları enerji konusuna daha çok yoğunlaşmaya ve bu alan üzerinde daha çok araştırma yapmaya sevk etmektedir⁸⁹.

Bütün dünya da ülkelerin enerji konusuyla ilgili birimleri, karar vericileri ve üst yöneticileri güvenli, çevre standartlarını dikkate alan ve riski en aza indirmiş enerji politikaları üretmek için çalışmaktadırlar. Enerji verimliliği, bir başka deyişle enerjinin etkin kullanımı, refah düzeyinin değiştirilmeden, kalite ve performansı azaltmadan aynı mal ya da hizmeti elde etmek için gerekli enerji miktarının azaltılması olarak tanımlanmaktadır⁹⁰.

Enerji arz sisteminin sürekli değişmesi, yeni teknolojilerin geliştirilmekte oluşu, enerji materyallerinin fiyatlarının kısa periyotlar içinde değişiklikler sergilemesi, özellikle dünya daki stratejik dengeleri zaman zaman yerinden oynatan petrolün fiyat istikrarının bulunmayışı, bütün bunlara karşın enerjinin gündelik hayatımızdaki kullanım oranının ve vazgeçilmezliğinin son yıllarda oldukça artmış olması; enerji ve elektrik enerjisi sistemlerinde tasarruf uygulamalarını ve verimlilik yaklaşımlarını zorunlu hale getirmektedir⁹¹.

Enerji verimliliğiyle ilgili stratejinin en önemli basamaklarından birisi enerji tasarrufudur. Enerji tasarrufu, genelde basit kısıntı tedbirleri uygulamak olarak algılanıyor ise de, aslında çok daha geniş bir tedbirler dizisini içermektedir. Enerji tasarrufu kalemleri genellikle ikiye ayrılmaktadır. Bunlardan birincisi doğrudan enerji tasarrufu uygulamaları olup, maliyet-etkin yaklaşımları (daha enerji verimli araç, ev ve arabaları kullanmak, alışkanlık ve günlük davranışları nihai kullanım teknolojilerini daha dikkatli kullanmaya göre ayarlamak, çeşitli nihai kullanım teknoloji stoklarını sınırlandırmak) ve somut tedbirleri içermektedir. İkincisi ise,

⁸⁹ Aynur Eray, **Enerjide Tutumluluk ve Verimlilik**, Temiz Enerji Vakfı Yayını, No: 11, 2001, s.6.

⁹⁰ **Ibid.**

⁹¹ Kubilay Kavak, "Dünya'da ve Türkiye'de Enerji Verimliliği ve Türk Sanayiinde Enerji Verimliliğinin İncelenmesi", **DPT yayımları**, No: 2689, Eylül 2005, Ankara, s.8.

bunların dışında kalan genel tedbirler olup dolaylı enerji tasarrufu olarak nitelendirilmektedir. İnsanları her türlü eşyanın uzun süre kullanımına teşvik ederek yenilerinin üretim hızını düşürmek, yerleşim yerlerini enerji sarfiyatını minimize edecek şekilde seçmek enerji verimliliğinin arttırılmasını sağlamaktadır⁹².

Enerji üretiminin yanında üretilen enerjinin en doğru şekilde kullanılması üretimde karşılaşılan problemlerin azalmasına yardımcı olacaktır. Bu uygulamalar sonucunda özellikle kaynak israfının önlenmesiyle üretim, iletim ve dağıtımda yeni yatırım gereksinimi azalacaktır ve en önemlisi karbon salınımının azaltılmasına katkıda bulunulacaktır⁹³.

Verim ve çevresel etki arasında güçlü bir ilişki mevcuttur, çünkü, aynı hizmetler ve ürünler için, daha az kaynak kullanımı ve kirlilik normal olarak artan verimle ilgilidir. Enerji veriminin artmasının, enerji kayıplarının azalmasını sağladığını belirtilmek gerekir. Pek çok verim gelişmesi, iki şekilde direkt çevresel fayda sağlamaktadır⁹⁴;

- Enerji girdisi gereklilikleri, ünite başına çıktıda azalır ve üretilen kirleticiler buna mukabil olarak azalır.
- Enerji kaynakları ve teknolojileri için tüm hayat döngüsünün göz önüne alınması, artan verimin, pek çok hayat döngüsü aşamasında çevresel etkiyi azalttığını ileri sürmektedir. Bu nedenledir ki, yakıt hücreleri gibi geleceğin hidrojen teknolojilerini, tüm hayat döngüleri açısından değerlendirmek, çeşitli hayat döngüsü aşamalarında enerji tüketimi ve salınımlar hakkında doğru bilgi edinmek, geleneksel teknolojiler için rekabetçi avantajlar geliştirmek ve daha iyi sürdürülebilirlik için gelecek senaryoları geliştirmek açısından önemlidir.

⁹² **Ibid.**

⁹³ TASAM, “Enerji Üretimi ve Çevresel Etkileri”, **Stratejik Rapor**, No:14, Nisan 2006, İstanbul, s.85.

⁹⁴ Dinçer, **op.cit.**, p.3.

1.3. ENERJİ KAYNAKLARI

Enerji kaynakları iki şekilde sınıflandırılabilir. Birincil enerji kaynakları (Fosil Kaynaklar); Kömür, petrol, doğalgaz, nükleer, ikincil enerji kaynakları (yenilenebilir kaynaklar); Güneş, jeotermal, rüzgar, hidrolik, biyokütle, hidrojen. Burada bu kaynakların sınıflandırılmasındaki en önemli nokta örneğin doğalgaz birincil bir enerji kaynağıdır ancak doğalgazdan elde edilen hidrojen ikincil enerji kaynağıdır. Buradaki ayrımı bir enerjinin başka bir enerjiden türetilmesidir. Dünya'nın içinde bulunduğu durum itibarıyla fosil enerji kaynaklarının 2050 yılına kadar kullanımının azalması ve yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelim söz konusudur. Bunun temel nedenleri ilk olarak fosil enerjilerin tükenmesi ve maliyetlerinin artışı, ikinci olarak da olumsuz çevresel etkilerin artışıdır.

1.3.1. Fosil Enerji Kaynakları

Fosil enerji kaynaklarından başlıcaları; Doğalgaz, nükleer, kömür ve petrol'dür. Bu kaynakların her biri ayrı öneme sahip olmakla birlikte özellikle öne çıkan enerji kaynağı petrol'dür. Petrol dünya'da yaşanan savaşların ana nedenlerinden birisidir ve petrole dayalı büyüyen ülkeler için oldukça önemli bir üretim girdisidir. Bu nedenle petrol ikinci bölüm'de detaylı bir şekilde incelenmiştir.

Fosil yakıtların kullanımıyla aşağıda sıralanan gelişmelerin olması beklenmektedir⁹⁵;

- Fosil yakıt kullanımıyla rezervler azalacak, fiyatlar artacaktır.
- Fosil yakıt kullanımıyla, küresel ısınma, ozon tabakasının tahribi ve çevre felaketlerine sebep olan emisyonlar artacaktır.
- Rezervlerin azalmasıyla kişi başına tüketilecek fosil enerji azalacak, pahalı enerji kullanımıyla yaşam standartları düşecektir.
- Enerji talebinin artmasıyla, fosil yakıt temeline dayalı teknolojik gelişmeler duracaktır.

⁹⁵ H. Mehmet Şahin, A. Hikmet Yalçın, "Nükleer Enerji ile Hidrojen Üretimi ve Küresel Isınmaya Etkileri", **International Hydrogen Congress Proceedings**, İstanbul, 2006, s.134.

- Fosil yakıtların sınırlı rezervleri tükenecektir. Acil olarak yenilenebilir enerji kaynaklarına ihtiyaç vardır.

Aşağıda tablo 1.5’de başlıca bölgelerin enerji tüketim formülleri verilmiştir. Buna göre en yüksek tüketim başlıca petrol ve Doğalgaz olarak belirmektedir. Burada A.B.D %40,5 ve AB’nin %40,8 tüketimlerinde petrolün ağırlığının, Çin %69,7 ve Hindistan’ın %55 ile yüksek kömür tüketimleri görülmektedir.

Tablo 1.5: Başlıca Bölgelerin Enerji Tüketim Profilleri (2007)

(%)	A.B.D	ÇİN	HİNDİSTAN	AB-25
Petrol	40,5	21	30,5	40,8
Gaz	24,4	2,7	8,5	24,7
Kömür	24,6	69,7	55	17,4
Nükleer	7,9	0,8	0,1	12,9
Hidro(Su)	2,6	5,8	5,7	4,1

Kaynak: BP, *Statistical Review of World Energy*, 2007, (Çevrimiçi)

<http://www.bp.com/statisticalreview> (07.08.2007).

1.3.1.1. Doğalgaz

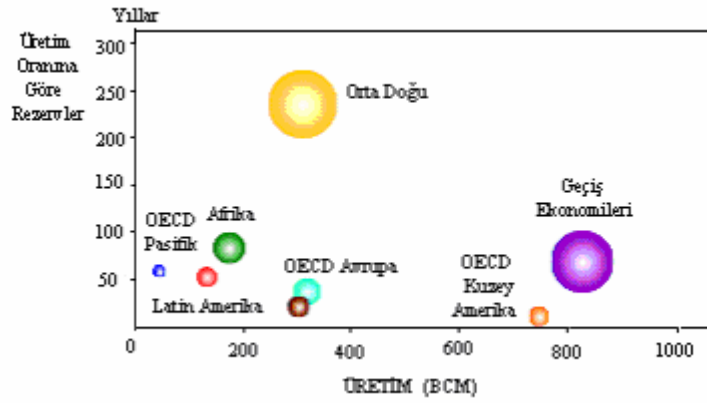
Doğalgaz temel özellikleri bakımından petrolden çok farklı olmayan bir hidrokarbon karışımıdır. Yer altında yalnız başına ya da petrolle birlikte bulunabilir. Temel olarak metan, etan, propan gibi hafif moleküler ağırlıklı hidrokarbonlardan oluşan bir karışımır. Doğalgaz da petrol gibi kayaçların gözeneklerinde bulunur ve kayaç içerisinde akarak üretim kuyularına ulaşır. Doğalgaz yüzeyde ayrıştırılarak içerisinde bulunan ağır hidrokarbonlar uzaklaştırılır. Doğalgaz hemen yüzeyin altında bulunabileceği gibi yerin kilometrelerce derinliklerinde de yer alabilir. Petrol ve Doğalgazı birbirinden ayıran en temel özellik aynı tip hidrokarbonların bileşimlerinin farklı oranlarda olmasıdır. Petrol söz konusu hidrokarbonların sıvı, Doğalgaz ise gaz halidir. Doğalgaz petrolün içinde çözünmüş olarak da bulunabilir. Doğalgaz petrolün kuyuya akmasını sağlamak amacıyla bir enerji kaynağı olarak da kullanılmaktadır⁹⁶.

⁹⁶ İTÜ Enerji Enstitüsü, “Doğalgaz Nedir?”, (Çevrimiçi)
http://atlascc.itu.edu.tr/pdgmb/question/fog_thtml#5, (05.012007).

1.3.1.1.1. Dünya Doğalgaz Potansiyeli

Doğalgaz kaynakları 2030'a kadar tahmin edilen talepteki artıştan çok daha yeterli durumdadır. Şekil 1.3'e göre, kanıtlanmış rezervlerin miktarı 2005 sonu itibariyle 180 trilyon m³ olup; şimdiki oranlara göre 64 yıllık rezervleri karşılayabilecek seviyededir. Bu rezervlerin %56'sı Rusya, İran ve Katar'da bulunmaktadır.

Şekil 1.3: Kanıtlanmış Doğalgaz Rezervlerinin Bölgelere Göre Dağılımı



Kaynak: IEA, World Energy Outlook, 2006, p.115.

1.3.1.1.2. Türkiye Doğalgaz Potansiyeli

Türkiye'nin enerji sektöründe doğalgaz önemli bir unsur olmuştur. 1989-2002 döneminde doğalgaz talebi yılda %14 artmıştır. 2005 yılı tüketimi yaklaşık 27 milyar m³ kadardır. Mavi Akım'ın da devreye girmesiyle Rusya'ya olan bağımlılık yaklaşık %65'e ulaşmış durumdadır. İthalatın %18'i LNG (Liquid Natural Gas) olarak Cezayir ve Nijerya'dan sağlanmaktadır. 2005 yılı içinde doğalgazın %57'si elektrik üretiminde, %22'si konut sektöründe, %19'u sanayide ve %2'si gübre sanayinde tüketilmiştir. Avrupa'da gaz tüketiminde Türkiye yedinci sıradadır ve Avrupa'daki toplam tüketimin %5'i gerçekleştirilmektedir. Fakat, Türkiye'de 2005 yılında doğalgazın %57'si elektrik üretiminde kullanılırken bu oran Avrupa'da %23 düzeyindedir. Halen 6000 km civarında olan ulusal doğalgaz şebeke uzunluğunun, inşa halindeki ve mevcut plan dahilindeki hatların 2006 yılı sonunda

tamamlanmasıyla 10000 km'ye ulaşması, 60'ın üzerinde şehir merkezinde doğalgazın kullanıma sunulması planlanmaktadır. Ekim 2006 itibariyle toplam 36 ilde doğalgaz arzı sağlanmıştır. 2005 yılı içinde Türkiye'de 550 milyon m³'ü Trakya'daki gaz sahalarından ve TPAO tarafından olmak üzere yaklaşık 800 milyon m³ doğalgaz üretilmiştir⁹⁷.

1.3.1.2. Nükleer Enerji

Nükleer enerji, fosil alternatifleri ile oldukça iyi rekabet edebilmişken, elektrik ve enerji piyasaları liberalleştikçe, nükleer güç kullanan ekonomilerin giderek maliyetli hale gelmesi muhtemeldir. Özellikle, Doğalgaz bazlı teknolojilerle elektrik üretimi ucuzdur ve giderek ucuzlaşmaktadır. Bazı seviyelerde verim getirileri için potansiyel olsa da, nükleer enerjinin çok büyük maliyet azalmalarından yararlanması muhtemel olmayıp, gittikçe artan güvenlik gereklilikleri maliyetleri arttırmaktadır. Pek çok yenilenebilir madde, fosil yakıttan ya da atom parçalanmasından pek çok kez daha maliyetli olsa da, kapasite arttıkça daha ucuz hale gelebilirler. Fakat nükleer güç üretimi için potansiyel maliyet tasarrufları muhtemelen sınırlıdır. Daha olumlu bir yaklaşım, nükleer enerjiyi pek çok karbon salınımlarını azaltma yolundan biri olarak düşünmektir⁹⁸.

Teknoloji hem gelecekteki global enerji sisteminin şekillendirilmesinde, hem de iklim değişikliğinden bahsedilmesinde merkezi bir rol oynamaktadır. 21. yüzyıl hakkındaki analizler, enerji teknolojilerinde, özellikle enerji yoğunluğunu, fosil yakıt verimini, nükleer ve yenilenebilir enerji formlarını yönlendiren teknolojilerde, büyük ilerlemelerin gerçekleştirileceğini tahmin etmektedir⁹⁹.

Karbon tutma ve atma, hidrojen sistemi teknolojileri ve ticari biokütle de dahil olmak üzere, uygun maliyetli enerji teknolojisi seçenekleri takımına ek

⁹⁷ Abdurrahman Satman, "Türkiye'de Enerji", Avrasya Bir Vakfı I. Beyin Fırtınaları Toplantısı, **Türkiye'de Enerji Darboğazı- Alternatif Enerji Kaynakları-Nükleer Enerji**, 14 Şubat 2007, Cilt.II, p.182.

⁹⁸ Bob Vand Der Zwaan, "Nuclear Power and Global Warming", **Survival**, Vol.42, The International Institute for Strategic Studies, No:3, Autumn 2000, p.62.

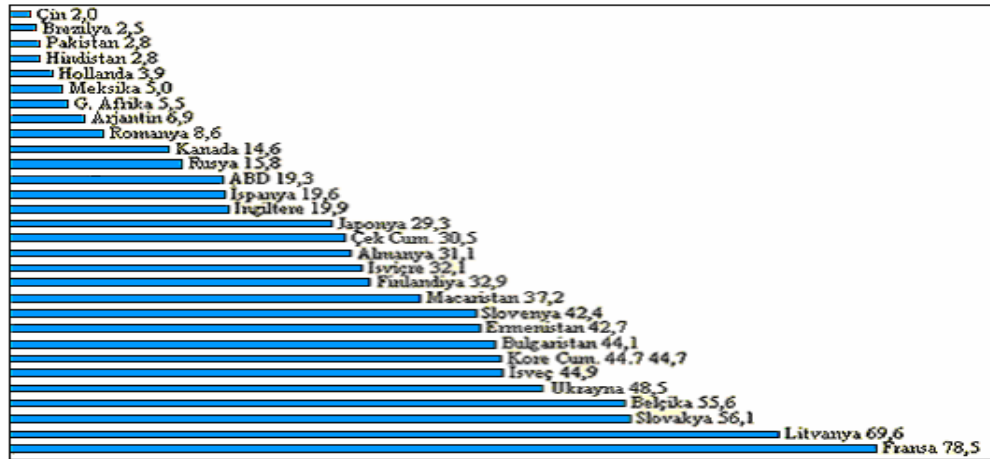
⁹⁹ Edmonds, **op.cit.**, p.413.

teknolojiler eklenmesi gereklidir. Karbon tutma ve atma, hidrojen sistemler ve biyoteknoloji gibi yeni teknolojilerin katkısının değeri, rüzgâr, güneş ve diğer yenilebilir kaynak enerjileri ve nükleer enerjinin yanı sıra enerji verimi ve fosil yakıt teknolojileri gibi enerji teknolojilerinin devam eden başarılı gelişimine bağlıdır. Bu teknolojileri uygulama hedefine ulaşılmadığı sürece, iklim değişikliğinin maliyeti artmaktadır¹⁰⁰.

1.3.1.2.1. Dünya Nükleer Enerji Potansiyeli

Aşağıda Grafik 1.5’de görüldüğü gibi Fransa elektrik ihtiyacının %78,5’ini, Litvanya %69,6’nı nükleer enerjiden karşılamaktadır. Özellikle gelişmiş ülkelere bakıldığında A.B.D. %19,3, Rusya 15,8, Almanya %31,1, İngiltere %19,9, Kanada %14,6 ve Japonya %29,3’lük oranıyla elektrik ihtiyacını nükleer enerjiden karşılamaktadır. Çin ise %2’lik bir orana sahiptir ancak bu oranı yükseltmeye ve nükleer tesisler kurmaya çalışmaktadır.

Grafik 1.5: Nükleer Enerji Kullanan Ülkelerde Elektrik Üretiminde Nükleer Enerjinin Payı(2005)



Kaynak: TAEK, , “Nükleer Enerji Kullanan Ülkelerde Elektrik Üretiminde Nükleer Enerjinin Payı”, (Çevrimiçi) <http://www.taek.gov.tr/bilgi/sss/durum.html>, (12.07.2007).

¹⁰⁰ Ibid.

1.3.1.2.2. Türkiye Nükleer Enerji Potansiyeli

Gelecekteki enerji açığının karşılanması için nükleer santrallerin kurulması kararı yetkililerce açıklanmış ve nükleer enerji yasası 2007 yılında meclisten geçirilmiştir. 2020 yılındaki elektrik açığını kapatmak için 4500 mw'lık nükleer santraller planlanmaktadır. Dünya da 450'ye yakın nükleer santral vardır, toplam kurulu güç 369 bin mw, elektrik üretimindeki payı ise %16'dır. Halen dünya da yapımı süren 20 adet nükleer santral vardır. Çin enerji açığını kapatmak için 2020 yılına kadar 20 adet nükleer santral yapmayı planlamaktadır. Türkiye'de nükleer santrale karar vermeden önce, nasıl yapılacağı, finansman modelinin ne olacağı, hangi teknolojinin kullanılacağı, nükleer artık sorununun nasıl çözüleceği tartışılmalı, dışa bağımlılık konusu dikkatle irdelenmelidir¹⁰¹.

1.3.1.3. Kömür

Kömür, enerji kaynaklarının en önemlilerinden birini oluşturan tortul bir kayadır. Fosil kökenli olan bu yakıt, insanlığın gelişmesinde önemli bir rol oynamıştır. Günümüzde diğer yakıtlar kömürün yerini kısmen alsa da, en fazla rezervi olan bir enerji hammaddesi olarak kömür, uzun yıllar boyunca insanlığın hizmetinde olacaktır. Kömür; turba, linyit, taş kömürü ve antrasit gibi sınıflara ayrılmaktadır. Bu kömürler farklı kullanım alanlarına sahiptir. Kömür tarih boyunca çeşitli dönemlerde cinslerine göre; ısıtmada, yiyeceklerin pişirilmesinde, çanak, çömlek ve tuğlalarında pişirilmesinde, metallerin eritilmesinde ve metallere şekil verilmesinde kullanılmıştır¹⁰².

Sanayi Devrimi ile kömürün önemi daha da artmış ve kömür, buharlı makinelerin buhar ihtiyacının karşılanmasında, demir-çelik sanayine yönelik olarak kok üretiminde, özellikle linyit kömürleri termik santrallerde elektrik enerjisi

¹⁰¹ Satman, **op.cit.**, p.185.

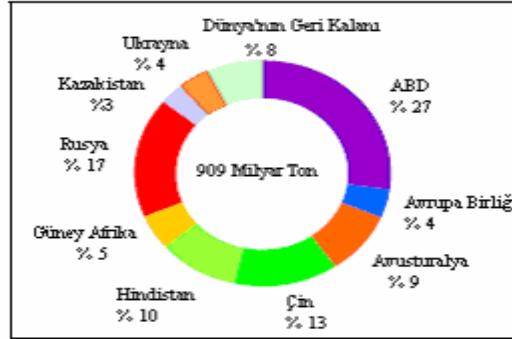
¹⁰² Erdal Kerey, Avrasya Bir Vakfı I. Beyin Fırtınaları Toplantısı, "Kömür ve Bitümlü Şistlerin Enerji Üretimindeki Önemi", **Türkiye'de Enerji Darboğazı- Alternatif Enerji Kaynakları**, 14 Şubat 2007, Cilt I, s.144.

üretiminde, çimento sanayinde, ısınma sektöründe ve son dönemlerde katı, sıvı ve gaz yakıt üretiminde ana ham madde olarak kullanılmaya başlanmıştır. 1950’li ve 1960’lı yıllardaki petrol krizi sebebiyle, kömür tüketimi ve kömürle ilgili araştırmalar hızlı bir artış göstermiştir¹⁰³.

1.3.1.3.1. Dünya Kömür Potansiyeli

Kömür en bol bulunan fosil yakıttır. Şekil 1.4’e göre; 2005 sonu itibariyle kanıtlanmış rezervlerin miktarı yaklaşık 909 milyar ton’dur ve 155 yıllık rezerv vardır. Kömür pek çok ülkede bulunmaktadır ancak rezervlerin %80’inden fazlası 6 ülkede bulunmaktadır. Üç büyük kömür tüketicisi; Çin, A.B.D. ve Hindistan’dır ve diğer ülkeler global rezervlerin yarısını ellerinde tutmaktadır. Rusya, Avustralya ve Güney Afrika %31’lik bir rezerve sahiptir¹⁰⁴.

Şekil 1.4: Ükelere Göre Kanıtlanmış Kömür Rezervleri



Kaynak: IEA, World Energy Outlook, 2006, p.129.

1.3.1.3.2. Türkiye Kömür Potansiyeli

Linyit kömürü Türkiye için önemli bir enerji kaynağıdır. Türkiye’nin linyit yataklarındaki tahmini 8 milyar tonluk rezerv onu dünya da en büyük 12. ülke konumuna getirmektedir. Taşkömürü rezervi 1.3 milyar ton kadardır. İthal edilenlerle birlikte kömür toplam enerji arzında %27’lik bir yere sahiptir. 2005 yılında yerli

¹⁰³ Ibid.

¹⁰⁴ World Energy Outlook, International Energy Association, Paris, 2006, p.129.

kömür üretimi yaklaşık 47.1 milyon ton ve ithalat 16.7 milyon tondur. İthalatın faturası 1.2 milyar dolar olmuştur. Türkiye, bir çok ülkede olduğu gibi, enerji ihtiyacının büyük bir bölümü kömürden karşılamaktadır. Ayrıca, Karabük, Ereğli ve İskenderun demir-çelik fabrikalarının ihtiyacı olan metalurjik kok üretimi için koklaşabilir kömür ithal edilmektedir. Ülkemizde yaklaşık 8.1 milyar ton linyit ve 1.1 milyar ton bitümlü kömür (taş kömürü) rezervi bulunmaktadır. Ülkemizde ihtiyaç duyulan, bitümlü kömürün büyük bir kısmı Amerika ve Avustralya'dan; büyük şehirlerde hava kirliliğini önlemek için düşük kükürtlü ve yüksek ısı değerli yakıt kömürü ise çoğunlukla Güney Afrika, Ukrayna ve Çin'den ithal edilmektedir¹⁰⁵.

1.3.2. Yenilenebilir Enerji Kaynakları

Dünya çapında enerji ihtiyacı sürekli olarak artmaktadır. Bilim adamları 1995 yılına göre 2015 yılında toplam enerji ihtiyacının %50 artacağını düşünmektedir. Artık fosil yakıtların çevresel etkileri insanlığı tehdit eder boyutlara gelmiştir. Bu nedenle özellikle Avrupa Birliği ülkeleri 2030 yılına kadar toplam enerji tüketiminin %20-25'ini yenilenebilir enerji kaynaklarından sağlama yoluna gitmektedir. Gelecek enerji sistemlerinin, çevresel etkileri en aza indirmek amacıyla, yenilenebilir enerji teknolojilerine dayalı olması ve sınırlı fosil kaynak arzını dikkate alması gerekmektedir¹⁰⁶.

Gelecek enerji sistemleri için en çok vaat eden enerji hidrojen olarak görülmektedir. Bununla birlikte, yenilenebilir bir hidrojen enerjisi sistemi uygulanmadan önce belirtilmesi gereken zorluklar da vardır. Her şeyden önce, yenilenebilir enerji kaynaklarından hidrojen üretimi için etkili bir metodun geliştirilmesi gerekir. Yakın dönemde hidrojen üretimi için karbon bazlı hammadde kullanımından kaçınılamaz, fakat uzun vadeli çözümlerin enerji ihtiyaçlarının gelecekte karşılanacağını güvenceye alacak şekilde tasarlanması gerekir.

¹⁰⁵ Kerey, **loc.cit.**

¹⁰⁶ Erik Wilhelm, Micheal Fowler, "A Technical and Economic Review of Solar Hydrogen Production", **Bulletin of Science, Technology & Society**, Vol.26, No.1, February 2006, p.285.

Yenilenebilir bir enerji sisteminin benimsenmesi için çevresel, ekonomik, siyasi nedenler ve halkın kabul edebilirliği gereklidir¹⁰⁷.

Yenilenebilir kaynakların karşı karşıya olduğu zorluklardan biri ekonomik ve yerel olarak kâbul edilebilir maliyetlere nasıl ulaşılacağıdır. Diğer geleneksel enerji teknolojilerinin aksine, yenilenebilir kaynaklar, pazar payı arttıkça daha yüksek maliyet sorunuyla karşı karşıya kalmaktadır. Bu nedenle, yenilenebilir kaynakların gelişiminde görülen yüksek büyüme oranı sürdürülebilir değildir. Bunun nedeni hükümetlerden, devam etmesi muhtemel olmayan destek almalarıdır. Ancak, zorluklar pek çok yenilenebilir enerji kaynağının geniş ölçekli enerji piyasası nüfuzunu kısıtlarken; orta-uzun vadede gelecek vaat eden yenilenebilir teknolojilerin yayılmasının büyümeyi devam ettirmesi beklenmektedir¹⁰⁸.

Yenilenebilir kaynaklardan elde edilen hidrojen, iklim sistemi için en temiz enerji kaynağı olarak düşünülmektedir. Sürdürülebilir hidrojen için tipik bir enerji zinciri, güneş ışığının enerji taşıyıcısı olarak hidrojene dönüştürülmesi, bu enerji taşıyıcısının saklanması ve elektriğe dönüştürüldüğü yer olan son cihaza dağıtılmasını içerir. Sürdürülebilir bir ekonominin olması için pek çok araştırma ve geliştirmenin yürütülmesi gerekmektedir. Sadece bilimsel ve teknik gelişme değil ayrıca sosyal yönlerin de geliştirilmesi gereklidir. Hidrojenle ilgili firmalar tarafından üçlü sonucun (ekonomi, ekoloji ve sosyal) sosyal boyutunu araştırmak için önemli bir müşterek çaba gösterilmektedir¹⁰⁹.

1.3.2.1. Güneş Enerjisi

Güneş enerjisi yeni ve yenilenebilir bir enerji kaynağı oluşu yanında, insanlık için önemli bir sorun olan çevreyi kirletici atıkların bulunmayışı, yerel olarak uygulanabilmesi ve karmaşık bir teknoloji gerektirmemesi gibi üstünlükleri sebebiyle son yıllarda üzerinde yoğun çalışmaların yapıldığı bir konu olmuştur. Binaların

¹⁰⁷ **Ibid**

¹⁰⁸ Eldin, **op.cit.**, p. 304.

¹⁰⁹ J. W. Gosselink, "Pathways to a More Sustainable Hydrogen- A Research Objective For Shell", **International Journal of Hydrogen Energy**, Vol.27, 2002, p. 1127.

ısıtılması, soğutulması, endüstriyel ve elektrik üretimi güneş enerjisinin yaygın olarak kullanıldığı alanlardır. Güneş enerjisi geniş bir coğrafi dağılıma sahip bir enerji kaynağıdır. Günümüzde güneş enerjisinin kullanımı oldukça azdır, ancak geleceğin dünyasının enerji gereksiniminin karşılanmasında, geleneksel enerji kaynaklarının yanında en önemli seçeneklerden biri olacağı düşünülmektedir. Güneş enerjisi temiz, yenilenebilir ve sürekli bir enerji kaynağıdır. Güneş enerjisi ile çalışan sistemler, kolayca taşınıp kurulabilen, gerektiğinde enerji ihtiyacına bağlı olarak basitçe değiştirilebilen sistemlerdir¹¹⁰.

Güneş enerjisinin olumlu özellikleri şunlardır¹¹¹;

- Güneş yer yüzünde tüketilen toplam enerjiden 10 000 kez daha fazla enerjiyi yer yüzüne yollar, sınırsız bir kaynaktır.
- Çevre dostu bir enerji kaynağıdır.
- Sessiz ve otonomdur.
- Uygulama alanları oldukça geniştir.
- En önemli sorunu süreksizlik (Gündüz Var, Gece Yok).
- Termal ve elektrik uygulamaları dünya geneline yayılmış durumda farklı sistemler ile birlikte kullanılıyor.

1.3.2.1.1. Dünya Güneş Potansiyeli

Dünya fotovoltatik(Güneş Panelleri) pazarı 2006 yılında 1744 mw' a ulaşmış bulunmaktadır. 2005 yılına göre %19 büyüme göstermiştir. Dünya fotovoltatik piyasasında Almanya %55 ile lider durumdadır, Japonya %17 ve ABD %8 ile en yoğun güneş pillerinden enerji üreten ülkelerdir¹¹².

ABD'de ev satın alma yanında alınan evlerin temiz ve yüksek verimli güneş enerji sağlayıcılarla donatımı için mortgage sistemindeki gibi finansal destek

¹¹⁰ Boğaziçi Üniversitesi , “Güneş Enerjisi”, (Çevrimiçi)

<http://www.kandilli.boun.edu.tr/meteoroloji/enerji1.html> (11.07.2007).

¹¹¹ Figen Kadirgan, “Güneş Enerjisi ve Hidrojen”, Avrasya Bir Vakfı I. Beyin Fırtınaları Toplantısı, **Türkiye’de Enerji Darboğazı- Alternatif Enerji Kaynakları-Nükleer Enerji**, 14 Şubat 2007, Cilt II, s.31.

¹¹² Dommel Valley Green Power, “World Solar PV Energy Totals By End of 2006”, (Çevrimiçi) www.dommelvalley.ca/world-solar-energy.htm, (14.08.2007).

verilmektedir. Ayrıca değişik kredi destekleri de bazı finans kuruluşları tarafından verilmektedir. Almanya ve Avrupa'nın bazı ülkelerinde destek tüketici alımı sırasında üreticiye belli bir payın ödenmesi şeklinde yapılmaktadır. Elektrik tüketiminde ise kullanılmayan saatlerde üretilen elektrik devlet tarafından satın alınarak tüketicinin pik kullanım saatlerinde geri ödeme yapılmaktadır. Ayrıca vergi indirimleri temiz enerji kullanımını desteklemektedir¹¹³.

1.3.2.1.2. Türkiye Güneş Potansiyeli

Türkiye'nin en fazla güneş enerjisi alan bölgesi 1460 kwh/m² ile Güney Doğu Anadolu Bölgesi olup, bunu 1390 kwh/m² ile Akdeniz Bölgesi izlemektedir. Güneş enerjisi potansiyeli ve güneşlenme süresi değerlerinin bölgelere göre dağılımı da tablo 1.6'da verilmiştir. EİE ve DMI, güneş enerjisi değerlerinin daha sağlıklı olarak ölçülmesi amacıyla enerji amaçlı güneş enerjisi ölçümleri almaktadırlar. Devam etmekte olan ölçüm çalışmalarının sonucunda, Türkiye güneş enerjisi potansiyelinin eski değerlerden %20-25 daha fazla çıkması beklenmektedir¹¹⁴.

Tablo 1.6: Türkiye'nin Yıllık Toplam Güneş Enerjisi Potansiyelinin Bölgelere Göre Dağılımı (2006)

Bölge	Toplam Güneş Enerjisi (kwh/m ² Yıl)	Güneşleme Süresi(Saat/Yıl)
G. Doğu Anadolu	1460	2993
Akdeniz	1390	2956
Doğu Anadolu	1365	2664
İç Anadolu	1314	2628
Ege	1304	2738
Marmara	1168	2409
Karadeniz	1120	1971

Kaynak: EİE, Türkiye'nin Yıllık Toplam Güneş Enerjisi Potansiyelinin Bölgelere Göre Dağılımı, (Çevrimiçi) <http://www.eie.gov.tr/turkce/gunes/tgunes.html>, (10.08.2007).

¹¹³ Kadırgan, **op.cit.**, s.41.

¹¹⁴ EİE, Türkiye'nin Yıllık Toplam Güneş Enerjisi Potansiyelinin Bölgelere Göre Dağılımı, (Çevrimiçi) <http://www.eie.gov.tr/turkce/gunes/tgunes.html>, (10.08.2007).

1.3.2.2. Rüzgar Enerjisi

Rüzgar enerjisi kirlilik yaratmayan ve çevreye çok az zarar veren yenilenebilir bir enerji kaynağıdır. Yeryüzünde %95 gibi bir alanda rüzgar enerjisi elde edilebilir ve bu alanlarda aynı zamanda ziraat, ormancılık gibi faaliyetler de sürdürülebilir. Evsel kullanım için iyi bir alternatif enerji kaynağıdır. Daha çok elektrik üretmek için türbinlerin rüzgar hızının sabit olduğu alanlarda kurulması uygundur ve bu nedenle de dünya da pek çok yer elverişli değildir¹¹⁵. Rüzgar enerjisinin temel özellikleri ¹¹⁶;

- Enleme, boylama, konumdan konuma göre değişmektedir.
- Yıl içindeki zamana göre değişmektedir.
- Alansal olarak genelde geniş alanlarda homojen bir dağılım göstermemektedir. Bundan dolayı rüzgar enerjisi haritaları potansiyeli tam olarak göstermemektedir.

1.3.2.2.1. Dünya Rüzgar Enerjisi Potansiyeli

Dünya Geneline 60.000 mw kurulu rüzgar gücünün büyük bir bölümü Avrupa ülkelerindedir. Aşağıdaki tablo 1.7.'ye göre; Avrupa 23291 mw kurulu rüzgar gücüne sahip iken, Amerika 5148 mw, Asya 2585 mw, Afrika ise sadece 137 mw kurulu rüzgar gücüne sahiptir. Rüzgar enerjisini en iyi kullanan ülkelerin başında 18428 mw ile Almanya gelmektedir. Bu ülkeyi sırasıyla 11600 mw ile İsviçre ve 10027 mw ile İspanya izlemektedir.

¹¹⁵ Boğaziçi Üniversitesi , “Rüzgar Enerjisi”, (Çevrimiçi)
<http://www.kandilli.boun.edu.tr/meteoroloji/enerji1.html> (11.07.2007).

¹¹⁶ Ahmet Duran Şahin, “Rüzgar ve Güneş Enerjilerinin Türkiye’deki Potansiyelleri”, **Avrasya Bir Vakfı I. Beyin Fırtınaları Toplantısı**, Türkiye’de Enerji Darboğazı- Alternatif Enerji Kaynakları- Nükleer Enerji, 14 Şubat 2007, Cilt. II, s.81.

Tablo 1.7: Dünya’da, Avrupa Birliği’nde ve Türkiye’de Kurulu Rüzgar Gücü

Bölgeler	Kurulu Güç(mw)
Amerika	5148
Avrupa	23291
Asya	2585
Afrika	137
Ülke	
İspanya	10027
Almanya	18428
İtalya	1717
Hollanda	1219
İngiltere	1353
Portekiz	1022
Fransa	757
Yunanistan	573
Danimarka	3122
İsveç	500
Türkiye	20
İsviçre	11600

Kaynak: Mükerrerem Şahin, **Hidrojen Enerjisi Teknolojileri**, Anıl Yayınları, Ankara, 2006, s.30 ve www.ewea.org,’dan derlenmiştir, (06.02.2007).

1.3.2.2.2. Türkiye Rüzgar Enerjisi Potansiyeli

Türkiye rüzgar enerjisi bakımından oldukça zengindir. Ancak potansiyeli ile orantılı olarak bu kaynağını değerlendirememektedir. 20 mw’lık bir kurulu gücü bulunmaktadır. Oysa bu oran Almanya’da 18428, İspanya’da 10027 ve AB-15 içinde 40317 mw’tır. Türkiye’nin Rüzgar Atlası Projesi(REPA)* 2006 yılında tamamlanmış olup Enerji Bakanlığının Türkiye’nin kurulu gücünü ilk aşamada 110 mw’a çıkarması çalışmaları devam etmektedir. Türkiye de inşaa halinde 400 mw’lık rüzgar yatırımı var. EİEİ tarafından yaklaşık 30 bin nokta göz önünde bulundurularak sayısal modellere dayalı detaylı bir Rüzgar Enerjisi Potansiyel Atlası (REPA) çıkarılmıştır¹¹⁷.

* **Ek-1:** Türkiye Rüzgar Atlası

¹¹⁷ Şahin, **op.cit.**, s.91.

1.3.2.3. Hidrolik Enerji

Dünya'nın hemen her bölgesinde akar suların önünde barajlar inşa edilip, buradan elektrik elde edilmektedir. Özellikle akarsu ve nehir kaynakları bakımından zengin ülkelerde hidroelektrik santralleri alternatif bir enerji üretim yöntemi olarak görülmektedir. Kurulum masrafı yüksek ve üretime geçme süresi uzun olsa bile hidroelektrik santralleri uzun vadede kendini amorti edebilmektedir. Bu yöntemle kinetik enerji kolaylıkla potansiyel enerjiye dönüştürülebilmektedir¹¹⁸.

Yenilenebilir enerji kaynakları içinde öne hidroelektrik santraller çıkmaktadır. Hidroelektrik santraller doğası gereği temiz ve sürekli yenilenebilir enerji üretimini olanaklı kılmaktadır. 2004 verilerine göre dünya birincil enerji arzının %6,4'ü su gücünden elde edilmektedir. Elektrik üretiminin de %17,3'ü hidroelektrik santrallerden sağlanmaktadır. 15.000 milyar kwh mevcut hidroelektrik potansiyelin 2.600 milyar kwh'i şu ana kadar kullanılmış durumdadır¹¹⁹.

1.3.2.3.1. Dünya Hidrolik Enerjisi Potansiyeli

Dünya'daki toplam su miktarı 1.400 milyon km³'tür. Bu suyun %97,5'i denizlerde ve okyanuslardaki tuzlu sulardan oluşmaktadır. Geriye kalan %2,5'i tatlı su kaynağı olup çeşitli amaçlar için kullanılabilir olduğu belirlenmiştir. Dünya'daki toplam suyun yaklaşık yılda ortalama 500.000 km³'ü denizlerle ve toprak yüzeyinde meydana gelen buharlaşmalar ile atmosfere geri dönmekte ve iklimsel çevrim içerisinde yağmur ve kar olarak tekrar yeryüzüne düşmektedir. Dünya'daki kara yüzeylerine yağışla düşen yılda ortalama yaklaşık 110.000 milyar m³ su akışa geçerek nehirler vasıtasıyla denizlere ve kapalı havzalardaki göllere ulaşmaktadır. Bu miktarın ancak 9.000 milyar m³'ü teknik ve ekonomik olarak kullanılabilir durumdadır. Dünya hidroelektrik potansiyeli brüt olarak 40.150.000 gwh iken söz konusu rakamlar Avrupa'da 3.150.000 gwh, Türkiye'de ise 433.000 gwh'dir. Buna

¹¹⁸ Şahin, **op.cit.**, s.33.

¹¹⁹ RWE; "World Energy Report 2005" , (Çevrimiçi)

<http://rwe.com/generator.aspx/property=Data/id=266754/worldenergyreport.2005.pdf>, (12.03.2007), Pp.115-130-149.

göre Türkiye'nin hidroelektrik enerji potansiyeli, dünya toplam potansiyelinin %1'i, Avrupa toplam potansiyeli'nin ise %16'sı civarındadır¹²⁰.

Aşağıda tablo 1.8'de bazı ülkelerde hidroelektrik potansiyelleri ve kullanım oranları verilmiştir. Gelişmiş dört ülkenin rakamlarına bakıldığında teknik potansiyellerin hemen hemen tamamına yakınıni kullandıklarını görülmektedir. Türkiye ise teknik olarak kullanabileceği potansiyelinin ancak dörtte birini kullanabilmektedir.

Tablo 1.8: Seçilmiş Bazı Ülkelerde Hidroelektrik Potansiyel Gelişimi

Ülke	Teknik Potansiyel (Milyar kwh/Yıl)	Geliştirilen Potansiyel (Milyar kwh/Yıl)	%
A.B.D.	376	322	85.7
Japonya	132	102	77.5
Norveç	171	116	67.7
Kanada	592	332	56.0
Türkiye	216	44	20.4

Kaynak: Veysel Eroğlu, “Jeotermal Enerjide son Teknolojik Gelişmeler”,
Türkiye 9. Enerji Kongresi, 2003, İstanbul, s.103.

1.3.2.3.2. Türkiye Hidrolik Enerjisi Potansiyeli

Ülkemizin 2006 yılı başı itibariyle tespit edilen teknik ve ekonomik hidroelektrik enerji potansiyeli 129,9 milyar kwh'dir. Bu potansiyel; en az ilk etüt seviyesindeki hidroelektrik projelerle, istikşaf*, master plan, fizibilite (planlama-yapılabilirlik), kesin proje, inşa ve işletme aşamalarından oluşan 747 adet hidroelektrik projenin toplam enerji üretim kapasitesini ifade etmektedir. Bugün için 129,9 milyar kwh olan ekonomik hidroelektrik potansiyelinin %35'i (45.930 gwh) işletmede, %8'i (10.518 gwh) inşa halinde ve %57'si (73.459 gwh) ise çeşitli aşamalardan oluşan projeler (ilk etüt ön inceleme, master plan, planlama ve kesin

¹²⁰ TASAM, “Enerji Üretimi ve Çevresel Etkileri”, **Stratejik Rapor**, No:14, Nisan 2006, İstanbul, s.29.

* ön inceleme

proje) düzeyindedir. 129,9 milyar kwh'lik yıllık ortalama enerji üretim değerini oluşturan 747 adet hidroelektrik santralin 142'si işletmede, 40'ı inşa halinde ve 565 adeti ise proje seviyesindedir¹²¹.

1.3.2.4. Jeotermal Enerji

Jeotermal enerji yer kabuğunun kilometrelerce derinliğindeki erimiş kayalardan oluşan mağmanın ısısından oluşmaktadır. Mağmadan yükselen ısı ile jeotermal rezervuarlar olarak bilinen yeraltı su havuzları ısınır. Hatta bazen su kaynayarak buhar oluşturabilir. Bunlar yeryüzüne çıkacak bir yer bulduğunda su ya da kaynar bir şekilde dışarıya çıkarlar. Bunlar kaplıcalar olarak bilinirler. Yüzyıllardır insanlar bu suları banyo yapma ya da mutfaklarında kullanırlar. Ancak bugünkü teknoloji ile artık bunların kendiliğinden yeryüzüne çıkmalarını beklemek yerine jeotermal rezervuarların oldukları yerlere sondaj yaparak enerji açığa çıkarılabilmektedir. Bu jeotermal enerjinin direkt kullanımındır¹²².

Aynı zamanda jeotermal enerji elektrik üretiminde de kullanılır. Güneş enerjisinden elektrik üretimine benzer olarak, jeotermal kaynaklardaki sıcak suyun oluşturduğu buhar ile çalışan tribünler sayesinde elektrik üretilir. Çok yüksek verimlidir ve direkt olarak elde edilebildiği için maliyeti düşük iyi bir güç kaynağıdır. Ancak yeraltından çıkarılarak tüketilen kısmın, aynı oranda, kısa süreçte tekrar oluşması mümkün olamamaktadır. Ayrıca bu kaynaklarda elde edilen su genellikle aşındırıcı ve kirlilik yaratıcı minareller de içermektedir¹²³.

1.3.2.4.1. Dünya Jeotermal Enerji Potansiyeli

2005 yılı itibariyle dünya daki jeotermal elektrik üretimi 8912 mw elektrik kurulu güç olup, 72.6 Milyar kwh/yıl üretimdir. Jeotermalin elektrik dışı kullanımı

¹²¹ EİE, “Türkiye’nin Hidroelektrik Enerji Potansiyeli”, (Çevrimiçi)
<http://www.eie.gov.tr/turkce/HESproje/turkeyhidro.doc>, (10.03.2007).

¹²² Boğaziçi Üniversitesi , “Jeotermal Enerji”, (Çevrimiçi)
<http://www.kandilli.boun.edu.tr/meteoroloji/enerji1.html> (11.07.2007).

¹²³ **Ibid.**

ise 27824 mw termal olup, 4.9 milyon konut ısıtma eşdeğeridir. 2000'den 2005 yılına kadar, jeotermal elektrik üretiminde %12, jeotermal elektrik dışı uygulamalarda ise %62 artış olmuştur. Filipinler'de toplam elektrik üretiminin %27'si, Kaliforniya Eyaleti'nde %7'si, İzlanda'da toplam ısı enerjisi (şehir ısıtma) ihtiyacının %86'sı jeotermalden karşılanmaktadır. Dünya'da jeotermal elektrik üretiminde ilk 5 sıralaması; A.B.D., Filipinler, Meksika, Endonezya ve İtalya, Dünya da jeotermal ısı ve kaplıca uygulamalarındaki ilk 5 ülke; Çin, İsveç, A.B.D., İzlanda ve Türkiye'dir¹²⁴.

1.3.2.4.2. Türkiye Jeotermal Enerji Potansiyeli

Jeotermal enerji, yerleşim alanlarının ısıtılmasında, halen yaklaşık 60 bin konut eşdeğerinde, seracılıkta, sağlık turizminde kullanılmaktadır ve zamanla yaygınlaşması beklenmektedir. Doğrudan kullanımda kurulu güç kapasitesi olarak; merkezi ısıtma için 635 mw, seracılık için 190 mw, termal turizm için 400 mw ve toplam olarak 1225 mw'lık bir kapasite olduğu bazı kaynaklarca iddia edilmektedir. Ortalama işletme kapasitesi ise 600 mw civarındadır. ETKB yetkilileri, 2005 yılı sonu itibariyle, 13 yerleşim biriminde konut ısıtmacılığı, 810 dekar (dönüm) alanda sera ısıtılması ve 215 adet kaplıcada termal turizm yapıldığını, ülkemizde 2 milyon ton petrol eşdeğeri jeotermal enerjinin kullanıldığını açıklamaktadır¹²⁵.

ETKB, 2010 yılında toplam jeotermal enerji kullanım kapasitesini 7500 mw'a, seracılıkta kullanılan sahayı 2000 dekara, termal turizmdeki 215 kaplıcaı 400'e, jeotermal enerji ile ısıtılan konut sayısını 200 bine çıkartmayı hedeflediklerini beyan etmiştir. Türkiye jeotermal enerji potansiyelinde Dünya'da 7., Avrupa'da 1. sıradadır. Bugüne kadar toplam potansiyelin (31500 mw) %10'u kullanıma hazır hale getirilmiştir. Hedef 2010 yılına kadar kullanıma hazır potansiyeli 7000 mw'a çıkarmaktır¹²⁶. 2008 yılı itibariyle Türkiye'nin Jeotermal Enerji Atlası* oluşturulmuş

¹²⁴ JTD, Dünya'da ve Türkiye'de Jeotermal, (Çevrimiçi) <http://www.jeotermaldernegi.org.tr>, (12.07.2007).

¹²⁵ Ibid.

¹²⁶ Ibid.

* Ek-2: Türkiye Jeotermal Atlası

ve Jeotermal Kanunu meclisten geçmiştir.

1.3.2.5. Biyokütle Enerjisi

Biyokütle, fosil olmayan organik madde kütlesi olarak tanımlanabilir. Biyokütle enerjisinin temelinde fotosentezle kazanılan enerji yatmaktadır ve temel kaynakları bitkisel ve hayvansal ürünlerdir. Hidroelektrikten sonra dünya genelinde elektrik enerjisi üretiminde kullanılan ikinci kaynak biyokütle enerjisidir¹²⁷.

Biyokütle'ye örnek olarak, ağaçları, mısır, buğday gibi özel olarak yetiştirilen bitkileri otları, yosunları, denizdeki algleri, evlerden atılan meyve ve sebze artığı gibi tüm organik çöpler, hayvan dışkılarını, gübre ve sanayi atıklarını saymak mümkündür. Biyokütle; tükenmez bir kaynak olması, her yerde yetiştirilebilmesi, özellikle kırsal alanlar için sosyoekonomik gelişmelere yardımcı olması nedeniyle uygun ve önemli bir enerji kaynağı olarak görülmektedir. Petrol, kömür, Doğalgaz gibi tükenmekte olan enerji kaynaklarının kısıtlı olması, ayrıca bunların çevre kirliliği oluşturması nedeni ile biyokütle kullanımı enerji sorununu çözmek için giderek önem kazanmaktadır¹²⁸.

Bitkilerin ve canlı organizmaların kökeni olarak ortaya çıkan biyokütle, genelde güneş enerjisini fotosentez yardımıyla depolayan bitkisel organizmalar olarak adlandırılır. Canlı kütle ve dikili ürün deyimleriyle eş anlama gelen biyokütle, çoğu kez phytomass ve zoomass olmak üzere ikiye ayrılır. Ölçü birimi ise, belirli bir alana oranlanmış yaş ya da kuru kütledir. Biyokütleyi aynı zamanda bir organik karbon olarak da kâbul etmek mümkündür¹²⁹.

Biyokütle Enerji Kaynakları¹³⁰;

¹²⁷ Aslan, Yamac, "Türkiye'nin Enerji Sorununun Alternatif Enerji Kaynakları Açısından Değerlendirilmesi", **Marmara Üniversitesi İİBF Dergisi**, Cilt: XXI, Sayı: 1, 2006, İstanbul, s.61.

¹²⁸ Habitat, "Biyokütle Enerjisi", <http://www.youthforhab.org.tr/tr/yayinlar/enerji/biyokutle/giris.htm>, (Çevrimiçi), (16.12.2007).

¹²⁹ **Ibid.**

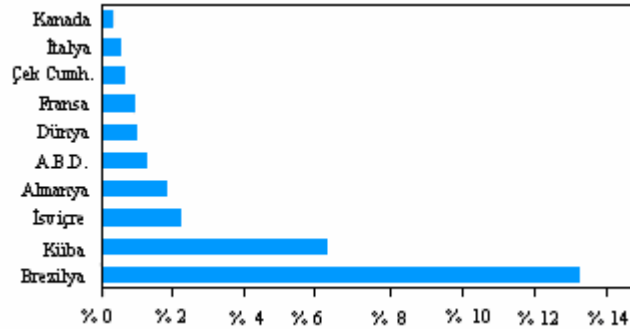
¹³⁰ H. Nejat Karaağaçlı, "Biyolojik Kaynaklardan Enerji – Biyodizel ve Türkiye'nin Durumu", Avrasya Bir Vakfı I. Beyin Fırtınaları Toplantısı, **Türkiye'de Enerji Darboğazı- Alternatif Enerji Kaynakları-Nükleer Enerji**, III. Cilt, 14 Şubat 2007, s.52.

- Katı biyolojik enerji kaynakları: Bitkiler (Saman vb).
- Sıvı biyolojik enerji kaynakları: Yağ bitkileri (aspir, kolza-kanola, soya, pamuk, ayçiçeği, Nişastalı/şekerli bitkiler- etanol, Piroliz (katıdan sıvı yakıt eldesi).
- Gaz biyolojik enerji kaynakları: Hayvansal atıklar ile gazlaştırma.

1.3.2.5.1. Dünya Biyokütle Enerjisi Potansiyeli

Dünya'daki pek çok ülke özellikle gelişmiş ülkeler enerji politikaları gereği yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanım paylarını artırma çabasıdadırlar. Biyoyakıtlar konusunda da teşvik ve destek uygulamaları yapılmaktadır. Ulaşım yakıtı olarak etanol ve biyodizel kullanılmaktadır. Grafik 1.6'da görüldüğü gibi, Biyoyakıtları en çok kullanan ülkeler %13 ile Brezilya ve %6 ile Küba'dır. Diğer pek çok gelişmiş ülkenin de ilgisi gün geçtikçe daha da çok artmaktadır¹³¹.

Grafik 1.6: Biyoyakıtı Ulaşım Yakıtı Olarak Kullanan Başlıca Ülkeler



Kaynak: IEA, World Energy Outlook, 2007, p.388.

1.3.2.5.2. Türkiye Biyokütle Enerjisi Potansiyeli

2004 yılında biyokütle enerjisinin yerli üretim kaynakları içerisindeki oranının yaklaşık %24 olduğu görülmektedir. Enerji tüketimi içerisindeki payının da

¹³¹ EİE, "Biyodizel Konusunda Dünya'daki Teşvik ve Destek Uygulamaları", (Çevrimiçi) http://www.eie.gov.tr/biyodizel/bd_dunyatesvik.html , (11.03.2007).

%9 olduğu görülmektedir. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı odun ile hayvan ve bitki artıkları kullanan klasik biyokütle enerji üretiminin 2020 yılında 7350 Btep* eşdeğeri olmasını planlamı tır. Modern biyokütle enerji üretimi ise öngörülmemiştir. Ticari olmayan biyokütle enerji üretiminin giderek azaltılması ve modern biyokütle enerji üretimine ba lanarak bu üretimin arttırılması gerekmektedir¹³².

* Bintonpetrol

¹³² TASAM, **op.cit.**, s.37.

İKİNCİ BÖLÜM

HİDROJEN ENERJİSİNİN EKONOMİK YÖNÜ VE ETKİLERİ

Yakın bir geçmişe kadar insanlık tarihinin geçirdiği en önemli değişim ve dönüşüm süreci olarak sanayi devrimi ve sonrasındaki yapısal değişim gündeme getirilirdi. Çünkü, sanayi devrimi öncesi ve sonrasındaki yaşam biçimindeki değişim, insanlığın yaşadığı en köklü dönüşüm sürecidir. Sanayi devrimi ile ortaya çıkan yeni teknolojiler, yeni bir üretim ortamı ve yaşam biçimi yaratmıştır. Sanayi devrimi teknolojik yeniliklerin üretim alanında kullanılmasının, ekonomik, sosyal, politik ve kültürel alanlara yansımaları kapsayan bir süreç olarak gerçekleşmiştir¹.

Bununla birlikte teknolojik açıdan James Watt'ın 1765'te buhar makinesini bulması ve bunun enerji kaynağı olarak kullanılması, ekonomi bilimi açısından Adam Smith'in 1776'daki "Milletlerin Serveti" adlı eseri ve politik gelişmeler açısından 1789 Fransız Devrimi belirleyici dönüm noktaları ve tarihler oldu. Böylece sanayi devrimi, İngiltere'de başlayan teknolojik ve ekonomik devrimle, Fransa'da gerçekleşen politik devrimin ortak ürünü olarak gerçekleşti. Başka bir deyişle sanayi devrimi, bir ayağı teknolojik-ekonomik temele, diğer ayağı politik-ideolojik temele dayalı iki taraflı devrim sonucunda tüm sosyal ve kültürel yapıyı sararak ve yeniden şekillendirerek gerçekleşmiştir.

Sanayi toplumunda aile yapısı değişmiş, tarım toplumundaki geniş, geleneksel aile tipinden, ana-baba ve çocuklardan oluşan çekirdek aile tipine doğru bir geçiş başlamıştır. Ailenin küçülmesiyle birlikte; aile bireylerinin birbirlerine olan sorumlulukları azalmış, ilişkiler seyrekleşmiş, yardımlaşma azalmış, insan önce çevresi ve daha sonra kendisiyle yabancılaşan bir varlık haline gelmiştir².

¹ Hüsnü Erkan, **Bilgi Toplumu ve Ekonomik Gelişme**, İş Bankası Yayınları, İstanbul, 1998, s.3.

² Naci Bayraç H., "Yeni Ekonomi'nin Toplumsal, Ekonomik ve Teknolojik Boyutları", **1. Ulusal Bilgi, Ekonomi ve Yönetim Kongresi**, Kocaeli, 2002, s.41.

1980'lerin ortasından itibaren uluslararası alanda yaşanan gelişmelerin günümüzde yorumlanması “Bilgi Ekonomisi” (Knowledge economy) denilen kavramın ortaya çıkmasına neden olmuştur. Son on yılda dünya ekonomisi ve ABD ekonomisindeki gelişmelere bakıldığında, bilgi ekonomisinin verimliliği, yeniden yapılanmaya yönelik baskıları, küresel niteliği, yol açtığı krizleri ile birlikte bilgi ekonomisinin sistemi nasıl kökünden değiştirip sarstığı ortaya çıkmaktadır. Eski sektörler önemini, karlılığını, istihdam gücünü, üretim kapasitesini yavaş yavaş yitirirken, yeni sektörler çığ gibi büyüyerek ekonomik büyümenin lokomotifi konumuna gelmektedir. Bilgi ekonomisi teknolojik gelişmeyle vücut bulan, büyük ölçüde dijitalleşmeye ve internete bağlı olan bir yapıdır ³.

Bilgi ekonomisini hazırlayan koşulları küreselleşme sürecinin dinamikleriyle ilişkilendirmek mümkündür. Böylesi bir bakış açısı küreselleşme sürecinde yaşanan değişim ve gelişmeleri anlamayı gerektirmektedir. Özellikle son yirmi yılda politik, ekonomik, bilimsel ve teknolojik alanda köklü değişiklikler yaşanmaktadır. Bu değişiklikler birbirinden bağımsız olmadığı gibi aynı zamanda birbirlerinin sebep ve sonuçlarını da oluşturmaktadır. SSCB ve Doğu Bloku'nun 1990'lı yılların başında dağılması ve soğuk savaşın sona ermesi, politik unsurlar içinde en önemlisini oluşturmakta ve bazı yazarlar bilgi ekonomisine dayalı yeni ekonomik düzeni bu oluşuma bağlamaktadır⁴.

Bilgi ekonomisi kavramı ile ilgili tartışmaların büyük bölümü özellikle ABD'de 90'lı yıllarda ortaya çıkan normalin üzerindeki iyi performanstan kaynaklanmaktadır. Özellikle 1996-2000 yılları arasında düşük enflasyon ve tahminlerin üzerinde yakalanan büyüme oranları, bu gelişmede ABD'nin bilişim ve iletişim teknolojilerine yaptığı yatırımların etkisi olduğu kanaatini güçlendirmektedir. Bilgi ekonomisi olarak adlandırılan ve uzun vadede de devam etmesi beklenen bu durum aslında farklı kesimlerce değişik anlamlarda kullanılmaktadır. Bu tanımlar küresel rekabet çağında klasik ekonomi kuramlarının

³ DTM, “Yeni Ekonomi”, (Çevrimiçi) http://www.dtm.gov.tr/yayınlar/yeni_ekonomi, (18.12.2004).

⁴ Bahadır Akın, “Yeni Ekonomi: Yeni Olan Nedir? 20.Yüzyılın Son Moda Kavramının Analizi”, 2004, (Çevrimiçi) <http://www.stratejiyonetim.com>, (19.12.2007).

geçersizliği ve hızlı teknolojik değişimi öne çıkaran çok geniş kapsamlardan sadece üretim ve verimlilik artışında bilişim ve iletişim teknolojilerinin etkisini içeren daha dar bir odağa kadar değişebilmektedir⁵.

Başta ABD olmak üzere gelişmiş ekonomilerde son yıllarda enformasyon ve iletişim teknolojisi sektörlerinde gözlenen gelişmeler, ekonomik performans üzerinde doğrudan ya da dolaylı yollardan etkili olmaktadır. Bu olgu literatürde bilgi ekonomisi kavramı ile ifade edilmektedir. Bilgi ekonomisi kavramı, pratikte, enformasyon ve iletişim teknolojilerinin gelişimini ifade etmek için kullanılmakta ve “dijital ekonomi”, “elektronik ekonomi” ya da “ağırlıksız ekonomi” (weightless economy) gibi değişik nitelemelerle adlandırılmaktadır. Genel bir bakış açısıyla değerlendirildiğinde, bilgi ekonomisi; bilginin elde edilmesi, işlenmesi ve dönüştürülmesi ile birlikte dağıtım süreçlerini kapsar. Bu üç temel süreç, bilginin işlenmesini, elde edilmesini, dağıtımını ve iletişimini sağlayan bilgisayar sisteminin fiziksel araçları ile birlikte, insan yardımı ile bütün süreci kontrol eden yazılım sistemi sayesinde işler⁶.

Bilgi ekonomisi, ünlü düşünür Roger Cass tarafından son 200 yıl içinde ortaya çıkan değişik ekonomik ve toplumsal gelişmelerle oluşan dalgalardan biri olarak görülmektedir. Roger Cass 1789 yılından başlayarak 60 yıl kadar devam eden birinci dönemi Sanayi/Fransız devrimi olarak adlandırmaktadır. İkinci olumlu gelişme dönemi 1848 yılında başlamış ve büyük demiryolu dönemi olarak 25 yıl sürmüş, 1872 yılındaki krizle beraber 24 yıllık bir gerileme dönemi ortaya çıkmıştır. Bu dönemin sona erdiği 1896 yılında elektrik, telefon gibi gelişmelerin sebep olduğu yeni bir 24 yıllık olumlu dalga ortaya çıkmıştır. Üçüncü “yeni ekonomi” dönemi günümüzün yeni ekonomisini andıran etkilerde bulunmuştur. 1921 ile 1947 arasında oldukça sorunlu bir gerilemeyle sona eren bu dönemi 1948 yılında II. Dünya Savaşı sonrası Bretton Woods anlaşması ve Marshall Planı gibi gelişmelerle yeni bir 24 yıllık dönem izlemiştir. Bilgisayarın icadıyla şekillenen bu dönem 1973 yılındaki

⁵ Ibid.

⁶ Seyfettin Erdoğan, “Makro Ekonomik Etkileri Açısından Yeni Ekonomi”, **1. Ulusal Bilgi, Ekonomi ve Yönetim Kongresi**, Kocaeli, 2002, s.13.

petrol şokuyla düşüşe başlamış, 1993 yılındaki internet devrimine kadar 20 yıl devam etmiştir. 1994 yılında artık yaygın bir şekilde sözü edilen günümüzün bilgi ekonomisi dönemi başlamış, bu dönemin öne çıkan temaları küreselleşme ve iletişim teknolojileri olmuştur. Roger Cass'a göre bu dönemin olumlu etkisi 2020 yılına kadar devam edecek, daha sonra 25 yıllık bir düzenleme dönemi gelecektir⁷.

Literatürde bilgi ekonomisi ile ilgili tanımlarda, bilgisayar ve bilgisayarlarla ilgili mal ve hizmetlerin üretimi ve ekonomik etkileri ile birlikte, enformasyon ve iletişim teknolojileri ile ilgili diğer mal ve hizmetlere de vurgu yapılmaktadır. Bilgi ekonomisi kapsamında yer alan ürün ve hizmetlerin en önemli özelliği, bilginin temel üretim faktörü olarak ön plana çıkmasıdır. Bu sektörlerde yeni ürünlerin üretilmesi ya da mevcut ürünlerin değiştirilmesi, geliştirilmesi ve önemli maliyet artışları doğuran araştırma ve geliştirme faaliyetlerini gerektirmektedir⁸.

Bilgi birikiminin ve teknolojik gelişimin bir sonucu olarak geliştirilen hidrojen enerji sistemleri ve bu sistemlerin oluşturacağı beklenen hidrojen ekonomisi ilerideki konularda da belirtileceği gibi literatürde bilgi ekonomisinin beraberinde getirdiği ve geliştirmeye devam edeceği bir süreç olarak görülmektedir.

2.1. HİDROJEN EKONOMİSİ

Hidrojen, renksiz ve kokusuz olan gazlı bir elementtir. Hidrojeni ilk kez 1500'lü yılların başlarında, İsveçli bir fizikçi olan Paracelsus, sülfürik asitle demiri birleştirdiğinde keşfetmiştir. Asitin demirle reaksiyonu üzerine “hava” olarak adlandırdığı gazın oluştuğunu bildirmiştir. Daha sonra, Fransız bir kimyacı olan Nicholas Lemery, sülfürik asitle demir reaksiyona geçtiğinde ortaya çıkan gazın yanıcı olduğunu göstermiştir. Ancak, Britanyalı bir fizikçi olan Henry Cavendish, 1776 yılında hidrojeni keşfetmesiyle kabul görmüştür⁹.

⁷ Akın, **loc.cit.**

⁸ Erdoğan, **loc.cit.**

⁹ Shahram Karimi, Frank R. Foulkes, “Fuel Cell Cars: Panacea or Pipe Dream”, **Bulletin of Science, Technology & Society**, Vol.22, No.4, August 2002, p.289.

Hidrojenin bir enerji taşıyıcısı olarak potansiyeli olduğu, yaklaşık iki yüzyıldır bilinmektedir. 1805 yılında Isaac de Riway tarafından geliştirilen ilk içten yanmalı motorlardan biri, yakıt olarak hidrojen kullanmıştır. Yaklaşık olarak 90 yıl sonra, Alman icatçı Rudolf Diesel (1895), ezilmiş kömürle (karbon ve hidrojen) çalışan dizel motoru icat etmiş ve tamamlamıştır. Jules Verne (1874), "L'île Mystérieuse" adlı kitabında bir enerji taşıyıcısı olarak hidrojen hakkındaki görüşünü sunmuştur. Jules Verne kitabını yayınladıktan yüzyıl sonra, çok sayıda gelişmiş ve gelişmekte olan ülke, hidrojen enerjisi ekonomisinin, enerji, ekonomi ve çevre güvenliğine potansiyel bir çözüm olarak hız vermiştir¹⁰.

Büyük ölçüde petrol ithalatına bağımlı olan gelişmiş ülkeler, yaşlanan bir elektrik ve doğalgaz altyapısına sahiptir ve istikrarsız enerji fiyatları oluşmaktadır. Geleneksel yakıtlarla ilgili hava ve su kirliliği konularında sıkıntı yaşamaktadır. Enerji sektörü kabul edilemez mali risklere sahip olup; belirsizlik hidrojeni cazip bir seçenek olarak ortaya çıkarmaktadır. Gelişmekte olan ülkeler de, hidrojenin bir enerji taşıyıcısı olarak kullanımını düşünmektedir. Çünkü bu ülkelerde 2-3 milyar insana enerji hizmeti sunmak için mücadele ederken, benzer enerji güvenliği sorunları yaşamaktadır¹¹.

Hidrojen evrende en fazla bulunan elementtir; ancak yüksek yoğunluğu nedeniyle, yeryüzünde serbest olarak mevcut değildir. Bunun yerine, genellikle su içindeki oksijen ya da metan içindeki karbon gibi diğer elementlerle kombinasyon içinde bulunur. Bu nedenle, doğalgaz, kömür, biokütle ya da su gibi diğer kaynaklardan ayrıştırılması gerekir. Eğer hidrojenin bu yüzyılın enerji alternatifi olması gerekiyorsa, daima büyüyen enerji ihtiyacını karşılayabilmesi gerekmektedir¹².

¹⁰ Robert K. Dixon, "Advancing Towards A Hydrogen Energy Economy: Status, Opportunities and Barriers", **Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change**, Springer 2006, p.1.

¹¹ **Ibid.**

¹² Karimi, Foulkes, **loc.cit.**

2.1.1. Hidrojen Ekonomisinin Tanımlanması

Hidrojen ekonomisi, yalnızca yakıt karışımında bir değişiklik önerisi değildir. Geleneksel ya da alternatif enerji kaynaklarından çeşitli son kullanımlara enerji taşımak için hidrojeni kullanan bir takım teknolojinin geliştirilmesini ve yayılmasını ifade etmektedir. Hidrojen bir enerji taşıyıcısıdır ve diğer kaynaklardan gelen enerjinin depolanmasına ve iletilmesine yarayan bir araç vazifesi görür. Bir yakıt hücresiyle birleştirildiğinde, hidrojen elektrik gücü verebilir ve benzin gibi yakıtların yerini alabilir. Fosil ve yenilenebilir kaynaklardan elde edilen enerji, ya suyu oksijene ve hidrojene ayırmak (elektroliz olarak bilinen işlem) için bu kaynaklardan sağlanan elektriği kullanarak ya da bir hammaddeden (genellikle doğalgaz) hidrojeni çıkararak ve onun enerji değerini kullanarak hidrojene dönüştürülebilir¹³.

Literatür, hidrojen enerjisi geleceğini şekillendirecek olan faktörler hakkında farklı görüşler ortaya çıkarmıştır. Örneğin, görüşlerin ve açıklayıcı senaryoların çoğunda, bir hidrojen geleceğinin geliştirilmesinin açıkça, sosyal değerleri değiştirerek yönlendirildiği düşünülmektedir, özellikle daha güçlü çevresel değerlerinin ortaya çıkması ve sosyal eşitlik konusunda daha büyük kaygının ve daha sonra merkezileştirilmiş enerji üretiminden ve dağıtımından, daha yaygın üretim çeşitlerine doğru bir kayma olmasının temelini oluşturduğu düşünülmektedir¹⁴.

Görüşlerin pek çoğu, büyük teknolojik engellerin aşılmış olduğunu ya da fon ve destek sağlamak için politik istek olduğu sürece bu engellerin kolaylıkla çözülebilir olduğunu ileri sürmektedir. Bu çalışmalar hidrojen ekonomisini, sadece hükümetlerin önderlik yapma konusundaki yetersizliği nedeni ile gerçekleşmesi geciken politik bir konu olarak düşünmektedir. Aksine, diğer pek çok çalışma teknolojik yönlendiricilere odaklanmaktadır. Bunların bazıları, diğer ekonomiler maliyetlere odaklanırken, hidrojen ekonomisinin geleneksel teknolojilerle rekabet

¹³ Alex Waegel ve diğerleri, "Hydrogen Highways: Lessons on the Energy Technology Policy Interface", **Bulletin of Science, Technology & Society**, Vol.26, No:4, August 2006, p.288.

¹⁴ William McDowall, Malcolm Eames, "Forecasts, Scenarios, Visions, Backcasts And Roadmaps to the Hydrogen Economy: A Review of the Hydrogen Futures Literature", **Energy Policy**, Vol.34, 2006, p.1242.

edebilir bir fiyatta “yürümek” zorunda olduğu prensibiyle işlediğini varsaymaktadır¹⁵.

Enerji güvenliği, çevre koruma, ekonomik büyüme ve refah, tüm dünya milletlerinde hidrojen ekonomisi için başlıca politika yönlendiricilerdir. Pek çok gelişmiş ülkedeki devlet başkanları, hidrojen ekonomisiyle ilgili olarak sıklıkla bahsedilen bu özellikler nedeniyle, hidrojen ekonomisini benimsemiştir. Örneğin Başkan Bush, yirmi yıl içerisinde tüketicilere sunulacak hidrojenle çalışan araçlara sahip olan milli bir hedefle ABD’de 1.2 milyar dolarlık bir hidrojen yakıtı girişimini başlatmıştır. Gelişmekte olan ülke liderleri, enerji, çevre ve ekonomi zorluklarıyla uğraşırken, hidrojen ekonomisini yakından incelemektedirler¹⁶.

Bir bütün olarak ele alındığında, yeni enerjinin kabullenilmesi ve kullanılması bakımından zamana ihtiyacı vardır. Hidrojen ve yakıt hücreleri de farklı olmayacaktır. J. A. Schumpeter (1883-1950) şöyle yazmıştır: “Ekonomik canlılığı destekleyen, yeniliklerdir”¹⁷.

2.1.2. Hidrojen Ekonomisine Geçiş

Endüstri çağından bu yana, yenilikçi enerji teknolojileri teknolojik ve ekonomik ilerleme açısından çok önemli olmuştur. Fosil kaynaklardan elde edilen kolayca ulaşılabilir elektrik ve termal enerji, toplumumuzun bağımlı hale geldiği üretim, ulaştırma ve iletişim altyapısının genişlemesini kolaylaştırmıştır. Bununla birlikte bu ilerleme, aşırı çevresel ve sosyal maliyete neden olmuştur. İklim değişikliği, yeraltı suyu kirliliği ve doğal ortam tahribi, endüstriyel kültürün fosil yakıt enerjisini kullanmasının çevresel sonuçlarıdır¹⁸.

¹⁵ **Ibid.**

¹⁶ Dixon, **op.cit.**, p.6.

¹⁷ Carl Jochen Winter, “Into the Hydrogen Energy Economy Milestones”, **International Journal of Hydrogen Energy**, Vol.30, 2005, p.682.

¹⁸ Erik Wilhelm, Michael Fowler, “A Technical and Economic Review of Solar Hydrogen Production Technologies”, **Bulletin of Science, Technology & Society**, Vol.26, No:1, February 2006, p.283.

Günümüzde, bir tarafta çevre kirliliğini ve küresel ısınmayı azaltmak için diğer taraftan da endüstri faaliyetlerini fosil yakıt enerjisine daha az bağımlı hale getirmek için, dünyanın enerji gereksinimlerini karşılamak üzere uzun vadeli değişikliklerin yapılması zorunludur. Eğer buna ek olarak, sürdürülebilir gelişme kavramına dayanan ekonomi modellerinin benimsenmesi gerekliyse; hesaplı bir enerji kullanımı ve yenilenebilir enerjilerin kullanımı orta ve uzun vadede çok daha fazla önemli hale gelecektir. Bu anlamda Avrupa Birliği 2010 yılında üye ülkeleri tarafından tüketilen toplam enerjinin %15'inin yenilenebilir enerjilerden sağlanacağını tahmin etmekte ve ABD'de 2030 yılında yenilenebilir enerjilerin, toplam enerji talebinin %28'ine karşılık geleceği düşünülmektedir¹⁹.

1970'lerdeki petrol enerjisi krizinden bu yana, alternatif enerji kaynaklarının geliştirilmesi için önemli kaynaklar kullanılmıştır. Petrol sonrası uyum için rekabet eden tüm seçeneklerin içinde, en çok gelecek vaat eden olarak hidrojen enerji sistemleri ortaya çıkmıştır. Hidrojenin bir enerji olarak kullanılması, fosil kaynakların üstünde pek çok avantaj sağlamaktadır. Hidrojen, enerji depolama yollarını bulacak, enerjiyi bir yerden başka bir yere taşıyacak ve ulaştırma uygulamaları için yerinde enerji kaynağı sağlayacaktır²⁰.

2.1.2.1. Teorik Nedenler

Literatürde Hidrojen ekonomisine geçişin teorik nedenlerini üç şekilde sıralamak mümkündür²¹;

- Fosil enerjilerin tükenmesi.
- Sera etkisi ve küresel iklim değişikliği.
- Yeni ve sürdürülebilir enerji ihtiyacı.

¹⁹ A. Contreras, J. Carpio, "Solar Hydrogen: An Energy System For Sustainable Development in Spain", **International Journal of Hydrogen Energy**, Vol:24, 1999, p.1041.

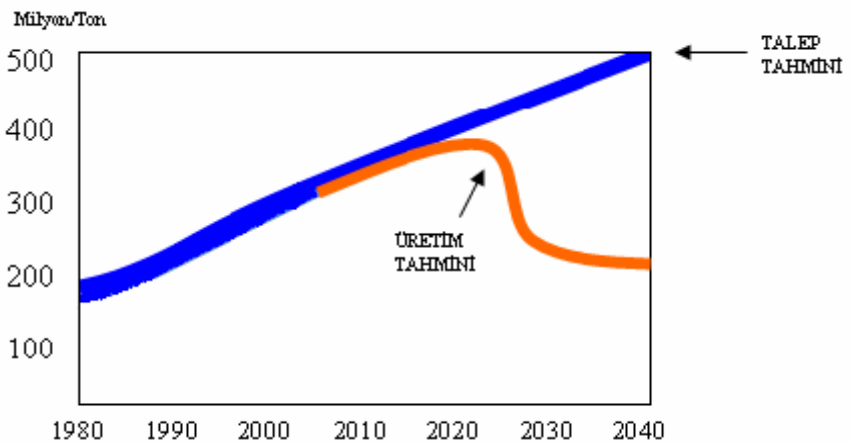
²⁰ Wilhelm, **loc.cit.**

²¹ McDowall, Eames, **loc.cit.**

2.1.2.1.1. Fosil Enerjilerin Tükenmesi

Enerji ihtiyacının büyük bir kısmını karşılayan fosil yakıtlar giderek tükenmektedir. Bu konu özellikle büyük petrol şirketleri tarafından spekülasyona uğratılmaktadır. Yayınlanan enerji raporlarında muhtelif tahminler yapılmakla beraber oluşan ortak kanı; fosil yakıt kaynaklarının 50-100 yıl daha insanlığın ihtiyacını karşılayacak rezerve sahip olduğudur. Ancak farklı düşünceler taşıyan bilim adamları tüketimin beklenenden daha fazla artmasıyla fosil kaynakların 10-20 yılda beklenenden çok azaldığını ve alternatif kaynaklar oluşturulmazsa kısa zaman içinde büyük zorluklarla karşılaşılacağını öne sürmektedirler. Bu noktada hidrojen enerji sistemleri ve bu sistemlerin zincirleme olarak meydana getireceği hidrojen ekonomisinin devreye girmesi beklenmektedir. Hidrojen enerjisi yaklaşık 50 yıldır roketlerde, uçaklarda, denizaltılarda ve sanayide kullanılmaktadır²². Uluslararası enerji ajansının(2006) verilerine göre 2013-2014 yıllarında arz-talep dengesinin bozulması ve doğalgaz, petrol fiyatlarının oldukça pahalı hale gelmesi beklenmektedir²³. Bu beklentiye uygun olarak A.B.D. Enerji Bakanlığının tahminlerine göre şekil 2.1’de talebin 2040’a kadar sürekli artacağı buna karşılık üretimin aynı hızda artmayacağı görülmektedir.

Şekil 2.1: Fosil Yakıt Üretim/Talep Doğalgaz-Petrol (1980-2040)



Kaynak: U.S Department of Energy, **International Energy Outlook**, May 2007, Washington, p.7.

²² Engin Türe, “Hidrojen Enerjisi”, Avrasya Bir Vakfı I. Beyin Fırtınaları Toplantısı, **Türkiye’de Enerji Darboğazı- Alternatif Enerji Kaynakları-Nükleer Enerji**, 14 Şubat 2007, Cilt. II, s.5.

²³ Mükerrrem Şahin, **Hidrojen Enerjisi Teknolojileri**, Anıl Yayınları, 2006, Ankara, s.8.

Russel Roberts'ın özgün adı "The Invisible Heart: An Economic Romance" olan ve Türkçe'ye "Görünmez Kalp" olarak çevrilen iktisadi roman da fosil enerjilerin ne zaman tükeneyeceği ve ya tükenmeyeceği konusu oldukça anlamlı bir betimlemeyle anlatılmıştır²⁴;

"İktisat hocası öğrencilerine "Dünya'da sınırlı miktarda ham petrol var, her gün hayli yüksek bir tüketim söz konusu, açıktır ki petROLSÜZ kalacağız, öyle değil mi? biçiminde bir soru yöneltir. Öğrenciler petROLSÜZ kalacaklarını düşünürken hocaları bir başka betimleme yapar ve şöyle bir soru daha yöneltir; Sizlere büyük bir oda dolusu milyonlarca antep fıstığı versek ve hiç ücret almasak, ancak bir tek kural var fıstık kabukları odada bırakılacak ve dışarı çıkarmak yasak. Başlangıçta öğrenciler hiçbir sorun yaşamaksızın ilk birkaç gün, birkaç hafta, hatta birkaç ay fıstıklar çok rahatlıkla bulunup tüketilirken aradan aylar, yıllar geçtikçe bir fıstığı bulabilmek çok daha uzun zaman alacaktır. Araya kabuklar girmeye başlayacak ve öyle bir hale gelinecektir ki, artık kabuklardan fıstığı bulmak giderek zorlaşacaktır. Öğrenciler ise artık birkaç fıstık için uzun süreler arama yapmayı göze alamayacaklar ve oda dışındaki fıstıklara yönelecekler ve onları almak için para ödeyeceklerdir. Çünkü fıstık odasında o kadar zaman harcanmaya başlanmıştır ki fıstıkların maliyeti çok yükselmiştir."

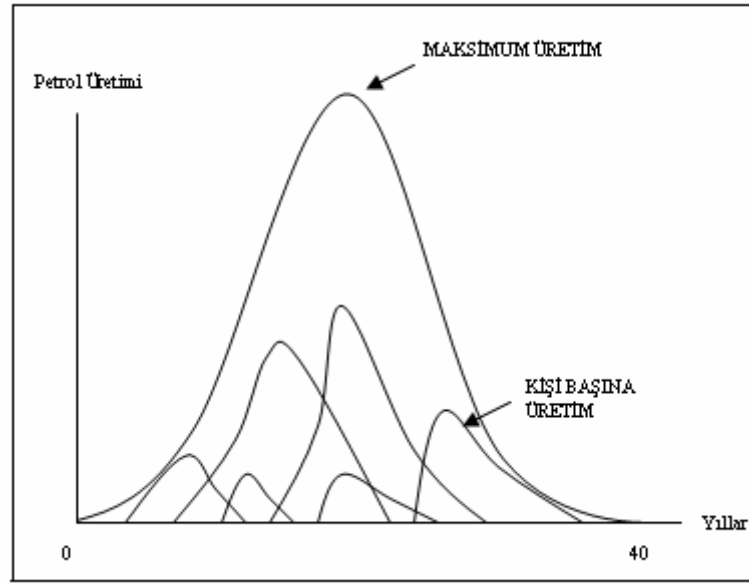
Petrol için de aynı durum geçerlidir. Petrolün son damlası bulunup çıkarılmadan yıllar önce artık bir enerji kaynağı olarak kullanmaktan vazgeçilecektir. Çünkü yeni rezervler bulmak artık fazlasıyla zorlaşacak ya da bilinen rezervlerin çıkarılması daha pahalı hale gelecek ve petROLSÜZ kalmadan çok önce daha ucuz alternatifler aranacaktır.

M. King Hubbert, 1956'de hazırladığı çalışmasında, petrol tüketiminin tepe noktaya varacağını ve düşeceğini önceden belirtmiştir. Geçmişteki üretim miktarı ve oranına dayanarak, Birleşik Devletlerdeki petrol üretiminin 1965 ile 1970 yılları arasında tepe noktaya varacağını tahmin etmiştir. Hubbert, klasik çan eğrisinde olduğu gibi, petrol üretiminin sıfırdan başlayıp, yükseldiğini, tahmin edilen petrolün yarısı üretildiğinde tepe noktasına vardığını ve daha sonra da düşüşe geçtiğini iddia etmişti. Petrolün çıkarılması yavaş yavaş başlar ve daha sonra büyük petrol alanları kuruldukça hızlı bir şekilde artmaya başlar. En büyük alanlar bulunup kullanılmaya

²⁴ Russel Roberts, "The Invisible Heart: An Economic Romance", Türkçesi: Görünmez Kalp, Çeviren: Mustafa Acar, Liman Yayınları, Ankara, 2004, s.5.

başladığında, üretim düşüşe geçer. Daha küçük alanların bulunması zorlaşır ve petrolün çıkarılması ve üretilmesi daha pahalı hale gelir. Keşif sayısının azalması ve mevcut alanların üretimindeki hızın yavaş olması eninde sonunda üretimde bir tepe noktasıyla sonuçlanır. Çan eğrisinin en üstü, orta noktayı temsil eder ki bu noktada da kullanılabilir rezervlerin yarısı üretilmiş durumdadır. Bu noktadan sonra, Şekil 2.2’de gösterildiği gibi, üretim çan eğrisinin ikinci yarısındaki yükselme hızı kadar hızlı bir şekilde düşer. Hubbert daha sonra ayrıca, pahalı olmayan 227 milyar varil petrolü üretmenin 1859 yılından 1969 yılına kadar 110 yıl sürdüğünü gözlemlemiştir. Bu petrolün yarısı, ilk 100 yıl içinde üretilmiştir; oysa ikinci yarısı 1959’dan 1969’a kadar 10 yıldan daha kısa bir süre içinde üretilmiştir²⁵.

Şekil 2.2: Petrol Üretiminde Hubbert Eğrisi



Kaynak: Denis Kouroussis ve Shahram Karimi, “Alternative Fuels in Transportation”, **Bulletin of Science, Technology & Society**, Vol. 26, No. 4, August 2006, p.348.

2005 yılında, dünya da yaklaşık olarak 28.8 milyar varil petrol tüketilmiştir, fakat her yıl yeni alanlarda bulunan yeni petrol miktarı 13 milyar varilden daha azdır. Bu nedenle, keşfedilen her varil için iki varil ham petrolden daha fazlası

²⁵ Denis Kouroussis, Shahram Karimi, “Alternative Fuels in Transportation”, **Bulletin of Science, Technology & Society**, Vol. 26, No. 4, August 2006, p.348.

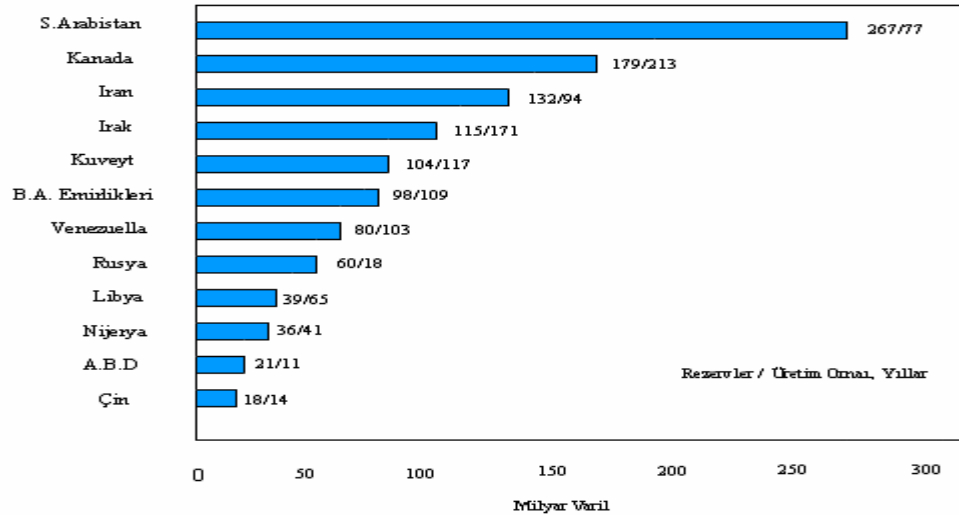
tüketilmektedir. Bu noktada önemli görünenin, ne kadar ham petrol tüketildiği değil, petrol üretiminde tepe noktaya yaklaştığımız olduğu vurgulanmaktadır²⁶.

Uzun vadeli güvenli ve sürdürülebilir bir enerji tedarikinin yönlendiricileri;

- Enerji tedarikinin güvenliği,
- CO₂ salınımlarının azaltılması (Kyoto önlemleri)
- Kirliliğin azaltılmasıdır.

Özellikle petrol tedarikinin güvenilirliği ve sürdürülebilirliği kilit konudur, bu durumun nedeni grafik 2.1’de görüldüğü gibi geniş ve artan bölümün nihai enerji tedarikinde petrolün payı, istikrarlı olmayan orta doğudan (global petrol rezervlerinin %65.4’ünün bulunduğu yer) kaynaklanmaktadır; özellikle ulaşım eleştirilmeye açık konumdadır. Global petrol rezervleri, mevcut petrol üretimiyle yaklaşık 40 yıl yetecek seviyededir. Dünya’da kanıtlanmış petrol rezervlerinin dağılımına bakıldığında Suudi Arabistan’ın 267 milyar varil ile en yüksek kanıtlanmış rezervi olduğu görülmektedir;

Grafik 2.1: Kanıtlanmış Petrol Rezervleri



Kaynak: : IEA, World Energy Outlook, 2006, Paris, s.89.

²⁶ Kouroussis, Karimi, **op.cit.**, p.346.

Ancak, global GSYİH ve petrol tüketimi büyük bir yükselişle hızlı bir şekilde artmaktadır. Goldman Sachs tarafından yayınlanan bir raporda, AB'nin, ABD'nin ve dört büyük gelişmekte olan ülkenin (Brezilya, Rusya, Hindistan ve Çin) gayrisafi yurtiçi hâsılasının (GSYİH) 2050 yılına kadar 7 katına çıkması beklenmektedir. Bu nedenle petrol rezervleri çok daha kısa bir süre içinde tüketilecektir. Petrol keşiflerinde sona gelinilmiş durumdadır, 1990–2000 yıllarında yapılan yeni petrol keşifleri, 1950–1960 dönemindeki kadar sadece %25'ine karşılık gelmiştir. Bugün tüketilen her dört varil için, bir yeni varil keşfedilmektedir. Mevcut petrolün hemen hemen yarısı tüketilmiş ve yeni ucuz alanların bulunması çok muhtemel görünmemektedir²⁷.

2020 yılında, arz ve talep (65 milyon varil/gün) arasında bir boşluk olacağı ve üretilen petrolün yaklaşık olarak %100'ünün Orta Doğudan geleceği beklenmektedir. Mevcut kuyulardan petrolün yeniden çıkarılmasını artırmak durumu sadece çok az düzeltecektir. Yeni alanların geliştirilmesi pahalı olacaktır (ör: 2010 yılında 2000 m'de derin deniz sondajı). IEA, bir sonraki on yıl için gerekli olan yatırımların 1 trilyon ABD doları olacağını tahmin etmiştir. Buradaki kilit nokta, yeni ve daha pahalı petrol kuyularının geliştirilmesi için gerekli olan bu yatırımların, zamanında yapılıp yapılamayacağıdır. Eğer bu süreç çok yavaş olursa, bu durum kıtlıklara, yüksek fiyatlara ve sert rekabete neden olur. Özellikle Hindistan ve Çin gibi gelişmekte olan ülkelerin talebinin artması nedeniyle, uzun vadede petrol rezervleri 40 yıldan çok daha kısa bir süre dayanacaktır²⁸.

1998 yılında Campbell ve Laherrere, “*The End of Cheap Oil*” başlıklı makaleleriyle, global petrol üretimi konusundaki tartışmayı başlatmışlardır. Dünya daki petrol alanlarının keşfedilmesi ve üretilmesi konusundaki analizleri, gelecek on yıl içinde geleneksel petrol arzının, talebi karşılayamayacağını ileri sürmüştür. Rezerv tahminlerinin bir şekilde petrol üreten şirketler ve ülkeler tarafından, bu tür tahminlerin yapılması zor ve genellikle hatalı olduğu için çarpıtıldığını ileri sürmüşlerdir. Abartılan tahminler, bu sayılara bağlı olan mali ve politik çıkarlar

²⁷ Zegers, *op.cit.*, p.497.

²⁸ *Ibid.*

nedeniyle, sanayi içerisinde de nadir değildir. Campbell ve Laherrere çalışmalarına dayalı olarak, dünya petrolü'ndeki 1,160 milyar varil, tahmin edilen petrolün aksine dünya rezervlerinde yaklaşık 850 milyar varil geleneksel petrol olduğunu tahmin etmiştir. Ek bir 150 milyar varil petrole müsaade ederek, petrol sanayinin bir başka 1,000 milyar varil geleneksel petrol bulabileceğini tahmin etmişlerdir. Bu, üretilen 875 milyar varil petrolden oldukça fazla bir miktarı temsil etmektedir²⁹.

Bu yüzyılın başında kaynak bulunabilirliği konusunda kaygılanan ekonomilerin yükselişi büyük ölçüde Marshall, Walras ve Fisher'dan dolayı ortadan kalkmıştır. Başlıca makroekonomik gelir-gider döngüsünde, karşılığında üretilmiş mallarla takas edilen gelir elde etmek için mal üreten sonsuz iş alışverişi dairesinde, doğal kaynakların tükenmesi mevcut değildir. Gelişmeler bu yeni düşünceyi desteklemiştir. Ekonomi özellikle İkinci Dünya Savaşından sonraki yıllarda büyümeye devam etmiştir. Hatta büyük buhran sırasında olduğu gibi büyümeye devam etmese dahi, sebepleri artık sınırlı doğal kaynaklarda aranmamıştır³⁰.

Doğal kaynak bulunabilirliği konusundaki kaygı, Roma Klübünün "Büyümenin Önündeki Sınırlar" raporunun yayınlanmasıyla tekrar ortaya çıkmıştır. Bu kaygı, OPEC 1973 yılında Yom-Kippur Savaşında İsrail'i destekledikleri için ABD'yi ve Hollanda'yı boykot ettiğinde, dünya daki petrol fiyatlarının dört katına çıkmasından sonra popüler ve yaygın hale gelmiştir. Meadows, önemli mineral ve enerji kaynaklarının tükenmesinin, 21. yüzyılda ekonomik büyümeyi olanaksız hale getireceğini tahmin etmiştir. Bu nedenle kaynak kıtlığı, ekonomik büyümede bir duraklamaya ve hatta nihayetinde ekonomik bir daralmaya neden olacaktır³¹.

Campbell ve Laherrere'nin çalışması yaklaşık 10 yıl sonra doğrulanmıştır. Tükenen geleneksel petrol rezervlerinin ve petrol üretiminde tepe noktaya yaklaşmanın etkisine tanıklık edilmektedir. Sadece 2000-2007 yıllarında, dünya

²⁹ Colin J. Campbell, Jean H. Laherrère, "The end of Cheap Oil", **Scientific American Journal**, March 1998, (Çevrimiçi) <http://dieoff.org/page140.htm>, (12.04.2007).

³⁰ Eric Neumayer, "Scarce or Abundant? The Economics of Natural Resource Availability", **Journal of Economic Surveys**, Vol.14, No:3, Blackwell Publishers, Oxford, 2000, p.308.

³¹ **Ibid.**

pazarlarındaki petrol fiyatı yaklaşık olarak ikiye katlanmıştır. Ekonomistler gelecekte varil başına 150-200 ABD dolarını yakalayacağını tahmin etmektedirler³².

2.1.2.1.2. Küresel İklim Değişikliği ve Kyoto Protokolü

Ülkelerin sanayileşmelerine ve gelişmelerine bağlı olarak, enerji kaynaklarına olan ihtiyaçları da giderek artmaktadır. Son 50 yıl içinde dünya nüfusu iki kat artarken enerji talebi artışı 6 kat olmuştur. Bir başka deyişle dünya da kişi başına enerji tüketimi son 50 yıl içinde üç kat artmıştır. Artan talep ise doğal olarak enerji kaynaklarının önem kazanmasına neden olmaktadır. Enerji kaynaklarının ülkeler arasında dağılımı ülkelerin enerji üreten ve tüketen ülkeler durumuna gelmelerine neden olmuştur. Bu üretim ve tüketim küresel ısınmaya yol açmaktadır ve karbondioksit salınımları hızla artmaktadır³³.

Yerkürenin yüzeyindeki bu ısınma sera gazlarının yoğunluğunun artmasından kaynaklanmakta ve ciddi bir tehdit oluşturmaktadır. Bunlar arasında karbondioksit salınımlarının, diğer sera gazları arasında en yüksek orana sahip olduğu, yakıt tüketimindeki artışa bağlı olarak da oranın tahmin edilenden çok daha hızlı bir artış trendi içine girdiği dikkat çekmektedir. Başta gelişmekte olan ülkeler olmak üzere tüm dünya da, enerji kullanımıyla ortaya çıkan karbondioksit salınımının 21. yüzyılın ilk çeyreğinde hızlı bir artışa geçeceği bugünkü araştırmalarla da saptanmıştır³⁴.

Grafik 2.2’de görüldüğü gibi, 2004-2030 yılları arasında karbondioksit salınımlarında gerçekleşecek artışın sorumlusu olarak gelişmekte olan ülkeler görülmektedir. Bu ülkelerin salınım miktarlarının 2012-2013 yıllarından itibaren ise, OECD ülkelerinin üstüne çıkacağı beklenmektedir. Gelişmekte olan ülkelerdeki yükselme trendinin en büyük sorumlusu ise, enerji talebindeki artış olarak

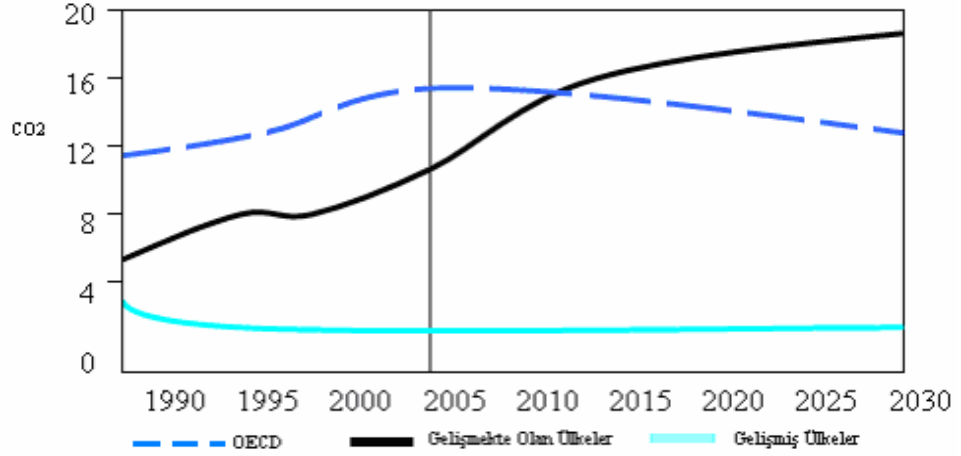
³² **Ibid.**

³³ Haluk Karadoğan, “Türkiye’de Enerji”, **Türkiye’de Enerji ve Kalkınma Sempozyumu**, 26 Nisan 2006, İstanbul, s.31.

³⁴ Seyhun Doğan, “Türkiye’nin Küresel İklim Değişikliğinde Rolü ve Önleyici Küresel Çabaya Katılım Girişimleri”, **Cumhuriyet Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi**, C.6, S: 2, Sivas, 2005, s.63.

gösterilmektedir. Enerji ihtiyacının karşılanmasında, ağırlıklı olarak kömür ve petrolün kullanılması, bu ülkelerin sera gazı salınımlarını arttırmaktadır.

**Grafik 2.2: Dünya Enerji Kullanımına Bağlı Olarak
Karbondioksit Salınım Miktarları**



Kaynak: IEA, *World Energy Outlook*, 2006, s.188.

Kyoto protokolü ile kısa vadede düşük sera gazı salınımları hedefini tutturabilmek için; verimli enerji kullanımına geçilmesi, ısı ve elektrik için rüzgar enerjisi; kömür yerine doğalgaz; güneş ışığı, hidrojen gibi sistemlerin kullanımının artması gerekmektedir. Ayrıca, karbon vergisi uygulamaları ve ticaret sisteminde değişiklikler de sera gazı salınımlarını azaltmada rol oynamaktadır. Ancak bu hedeflere ulaşmada, yeni teknolojilerin geliştirilmesi ön şarttır. Çevreye duyarlı yeni teknolojiler üretilmeden, gerek hükümetlerin, gerekse sanayilerin ve toplumların Kyoto'nun hedeflerine ulaşması imkansız gibi görünmektedir. Yeni teknolojiler, ciddi kamu ar-ge harcamalarını, yeni sanayilerin altyapılarının kurulması gibi maliyet artışlarını da beraberinde getirerek, hükümetlere ek mali sorumluluklar yüklemektedirler³⁵.

Ekonomik açıdan bakıldığında ise, uygulanan iklim politikalarının büyümeye zarar vereceği ve GSYİH'yı azaltacağı yönünde görüşler yaygın olarak kabul görmektedir. Bunun temeli, Neoklasik ekonomik modele dayandırılmaktadır.

³⁵ Bjorn A. Sanden, Christian Azar, "Near-Term Technology Policies For Long-Term Climate Targets- Economy Wide Versus Technology Specific Approaches", *Energy Policy*, Vol. 33, 2005, p.1574.

Neoklasikler, ekonominin optimal dengede olduğunu, sera gazı salınımlarını azaltmanın ise negatif ekonomik etkiler yaratarak büyümeyi azaltacağını ileri sürmüşlerdir. Teknolojik gelişmeyi hızlandırmaya ve yenilenebilir enerjileri teşvik etmeye yönelik her türlü girişim ise, bu görüşe göre ekonomi üzerine maliyetler yüklemektedir. Bu yaygın görüşe rağmen, pek çok devlet sera gazı salınımlarını azaltmak için bazı tedbirleri yasal çerçeveye oturtmuşlardır³⁶.

Ulus devletler ve yan kuruluşları, çevre kirliliği ve enerji tüketimi alanlarında yeni bir gelir yaratma olanağı bulabilirler. Geri dönüşü olmayan enerji tüketimi vergileri ve endüstriyel atık, araç kullanımı vb.'nin vergilendirilmesi sonucu "kirleten öder" prensibinin kabulünün yaygınlaşması, geleceğin başlıca gelir kaynağı olabilir³⁷.

1980'li yıllarda Kuzey Avrupa ülkelerinin bazıları, fosil kaynaklı yakıtların kullanımından kaynaklanan karbondioksit salınım miktarı üzerinden alınabilecek olan "karbon vergileri"ni tartışmaya başlamıştır. Finlandiya ve Hollanda'da 1990 yılından itibaren, İsveç'te ise, 1991 yılından itibaren fosil yakıt kullanımından kaynaklanan karbon salınımlarına, "karbon vergisi" uygulamaları başlatılmıştır. Küresel ısınma ve iklimsel değişikliklerin beraberinde getirdiği sorunların ciddiyetine rağmen, kullanımının sadece birkaç ülkeyle sınırlı kaldığı "karbon vergisi"nin, dünya genelinde uygulanması konusunda tam bir uluslararası uzlaşmaya da varılamamıştır³⁸.

Kyoto Protokolü'nün temel prensiplerine bakıldığında; hem gelişmiş hem de gelişmekte olan ülkeler tarafından imzalanan bu protokolde, sera gazlarının salınımindan sorumlu olan ve olmayan ülkeler iki ayrı grupta sınıflandırılmıştır. Sera gazlarından sorumlu olan ülkeler, salınımlarını, protokolün belirlediği sınırların dışına çıkaracak olurlarsa, bu fazla için "karbon kredisi" bulmak zorunda

³⁶ Karine Matthews, Matthew Paterson, "Boom or Bust? The Economic Engine Behind the Drive For Climate Change Policy", **Global Change, Peace & Security**, Volume 17, February 2005, p.60.

³⁷ Paul Hirst, Graham Thompson, **Küreselleşme Sorgulanıyor**, Dost Yayınları, Ankara, 2003, s.177.

³⁸ Birol Kovancılar, "Küresel Isınma Sorununun Çözümünde Karbon Vergisi ve Etkinliği", **Yönetim ve Ekonomi**, C.8, S: 2, Celal Bayar Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi , Manisa, 2001, s.17.

kalacaklardır. Özellikle AB’de başlayan bu uygulama karbon kredisi ticaretini ve borsasını da ortaya çıkarmıştır. Protokol çerçevesinde, sera gazlarının denetimi için ulusal daireler kurulmuştur. Japonya, Kanada, İtalya, Hollanda, Almanya gibi gelişmiş ülkelerde ise “karbon kredisi” için bütçeden pay ayrılmaktadır³⁹.

Salınımdaki azalmaların ekonomik büyümeye zarar vereceği yönündeki yaygın varsayımlara rağmen, çok sayıda devlet sera gazı salınımlarını azaltmak için bazı önlemleri kanunlaştırmıştır. Devletlere GSMH büyümesi hakkındaki kaygılar yön verdiği için, Kyoto’da olduğu gibi, çok taraflı olarak kabul edilen hedeflerin ortaya çıkması ve bu tür hedefleri uygulama tedbirleri oldukça zor görünmektedir⁴⁰.

2.1.2.1.3. Yeni ve Sürdürülebilir Enerji İhtiyacı

Sürdürülebilir gelişme, iklime karşı risk yönetimiyle ve sürdürülebilir temiz enerjiyle mümkündür. Hidrojen enerji sistemi ve ilgili teknolojiler bu süreçte kritik bir rol oynayacaktır. Hidrojen teknolojilerinin kullanımıyla ilgili olan en önemli kritik konular, pazar yayılımının yavaş olması ve kamu farkındalığının ve sonuç olarak kamu tarafından kabul görmenin düşük seviyede olmasıdır. Maliyet bu noktada en temel faktör olarak ortaya çıkmaktadır. Ayrıca Kyoto Protokolü gibi çevresel düzenlenmeler nedeniyle, kullanım mecburiyeti ve baskısı da vardır. Pazar yayılımını hızlandırmak amacıyla, hidrojen teknolojilerin ticari çapta üretimini ve maliyet rekabetini kolaylaştırmak için, bu teknolojilerin kritik yönünü vurgulamak ve sorunlu alanlara kaynakları tahsis etmek önemlidir⁴¹.

Kritik teknolojiler olarak hidrojen enerji teknolojileri, sektörler arası tartışma için ve gerekli hedefleri belirlemek için bir platform oluşturmak açısından bu konuda hükümetin rolünün önemini vurgulayarak, sanayi ve iş sektörleri bakış açısından

³⁹ Sanden, **loc.cit.**

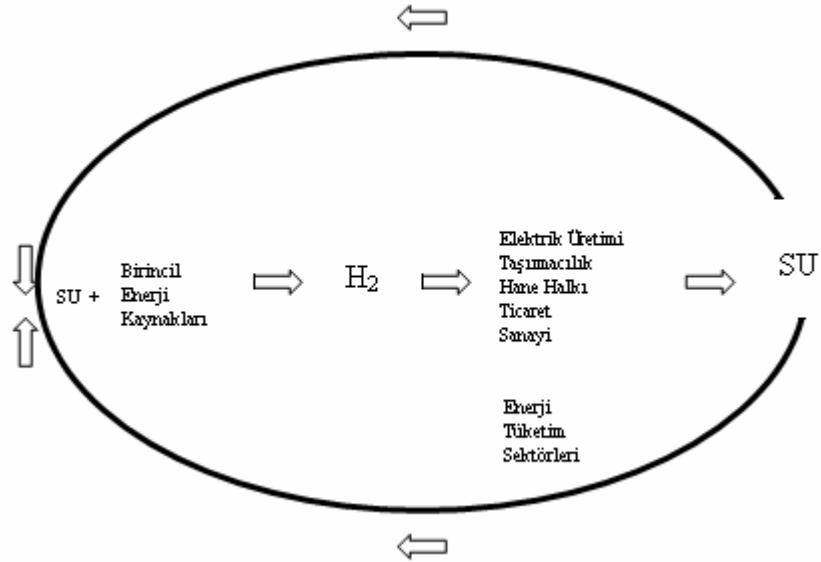
⁴⁰ Matthews, Paterson, **op.cit.**, p.59.

⁴¹ Sema Z. Baykara, “Hydrogen As Fuel: A Critical Technology?”, **International Journal of Hydrogen Energy**, Vol.30, 2005, p.548.

tartışılabilir. İklim hassasiyeti konusuna dayalı olan temiz enerji teknolojilerinin başlangıçtan itibaren öngörülmesi, doğru başlangıç noktası olacaktır⁴².

Hidrojen enerji sisteminde su ve her türlü enerji kaynağından hidrojen üretmek mümkündür. Elde edilen hidrojen bir enerji taşıyıcısı olarak enerji tüketim sektörlerine ulaşmaktadır. Bu süreç sonunda yine su açığa çıkar ve bu sisteme tekrar giriş yaparak yeniden aynı süreç devam eder. Aşağıda şekil 2.3’de görüldüğü gibi hidrojen enerji sistemi, sürdürülebilir bir enerji sistemidir.

Şekil 2.3: Hidrojen Enerji Sistemi



Kaynak: Momirlan, M., Veziroğlu, T.N., "Current Status of Hydrogen Energy", **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, Vol.6, No: 1, 2002, p.163.

Sürdürülebilir hidrojen enerjisinin çok önemli bir yönü, herhangi bir gelişim aşamasındaki ülkelerin, kendi ülkeleri için en uygun olan geçiş dönemi boyunca, bir dereceye kadar bütünleşebilmesidir. Hidrojen yakıtı, çeşitli teknolojiler kullanarak çeşitli materyallerden (doğalgaz, petrol bileşenleri, kömür, su, bor bileşenleri) üretilebildiği için her yerde bulunabilir. Neredeyse bütün ülkelerde, hidrojen yakıtıyla temiz elektrik, ısı ve ulaşım mümkündür. Kaynaklarıyla ve mevcut enerji

⁴² **Ibid.**

altyapılarıyla ilgili olarak farklı ülkelerde hidrojen üretimi ve kullanımı için çeşitli seçenekler mümkündür. Bazı gelişmiş ülkelerin, fosil yakıt rezervleri yoktur ve ithalata bağımlıdır. Her türlü teknolojinin maliyetini karşılayabildikleri için, hidrojen yakıtını ilk benimseyenler olabilirler. Fosil yakıt kaynaklarına sahip olan ülkeler için, Kyoto Protokolü döneminde bu rezervlerin kullanımı, karbondioksit tutma tekniklerinin uygulanmasıyla birlikte, neredeyse hidrojen kullanmak kadar pahalı olacaktır. Dahası, bu ülkelerin çoğu, hidrojen üretmek için çok sayıda yenilenebilir kaynağa sahiptir. Pek çok daha az gelişmiş ülkelerde, karbon bazlı altyapı mevcut değildir. Bunlar, fosil yakıt teknolojisini hep birlikte atlayabilir⁴³.

Bir toplumda sürdürülebilir gelişme sağlamak için hidrojen enerjisiyle ilgili pek çok kriter aşağıdaki gibidir⁴⁴:

- Sürdürülebilirlik yatırımlarının hakkında bilgi ve kamu bilinci.
- Çevresel ve sürdürülebilirlik eğitimi.
- Daha iyi verim için uygun enerji ve ekserji stratejileri.
- Çevresel açıdan tehlikesiz teknolojilerin teşvik edilmesi.
- Temiz hidrojen üretim teknolojileri.
- Sürdürülebilir hidrojen ekonomisi altyapısının geliştirilmesi.
- Yakıt hücreleri dahil, ticari açıdan geçerli ve güvenilir hidrojen enerjisi sistemleri.
- Yenilenebilir enerji kaynaklarının bulunabilirliği ve kullanımı.
- Üretim, taşıma, dağıtma, saklama ve kullanım için daha temiz teknolojilerin kullanımı.
- Makul bir finansman ve teşvik temini.
- Akademi – endüstri – hükümet ortaklık programları.
- Sürdürülebilir enerji programları için politika geliştirilmesi.
- Uygun izleme-gözleme ve değerlendirme araçları ve gelecekteki uygulama için yol haritaları.

⁴³ Baykara, **op.cit.**, p.549.

⁴⁴ Dinçer, **op.cit.**, p.3.

Hidrojen, yüksek enerji verimi olduğu ve karbon dioksit salmadığı için çevresel bakış açısından bakıldığında ideal ulaşım yakıtı olduğu düşünülmektedir. Ayrıca yakıt hücreleri yoluyla güç sağlamak için de kullanılabilir. *New Scientist*'e göre, hidrojeni geleceğin uzun vadeli yakıtı olarak gören Shell, Norsk Hydro ve Daimler Chrysler gibi pek çok büyük şirketi içeren hidrojen bazlı pek çok deney yürüterek İzlanda kendisini “prototip bir hidrojen ekonomisi” olarak düzenlemektedir⁴⁵.

Hidrojen kullanımının ve yakıt hücresi teknolojilerinin, çevresel zararı azaltabildiği ve sürdürülebilirlik sağlayabildiği açıktır. Bu tür teknolojilerde, temiz ve yenilenebilir enerji kaynakları yoluyla hidrojen üretildikçe, yakıt tüketmez, küresel ısınmaya katkı sağlamaz ya da büyük atıkları üretmez. Bu anlamda, hidrojen ve yakıt hücresi teknolojileri, geleneksel enerji teknolojilerine özellikle fosil yakıtlarla çalıştırılanlara göre daha verimli, etkili, çevreye yararlı ve sürdürülebilir alternatifler sağlayabilir⁴⁶.

2.1.2.2. Fiziksel Nedenler

2.1.2.2.1. Sıfır Salınım

Hidrojenin sıfır salınımı ile, çevreyi kirletecek hiçbir olumsuz özelliğinin olmaması hidrojeni karşılaştırmalı olarak diğer enerjilere göre avantajlı kılmaktadır. Enerji yoğunluğu, enerji taşıyıcı özelliği, çevresel etkileri, kullanım güvenliği ve rahatlığı bakımından pek çok olumlu özelliği vardır. Kömür ve doğalgaz'dan elde edildiği gibi su, güneş ve biyokütle'den elde edilebilen hidrojen yerel olarak da üretilmesiyle önemli bir avantaja sahiptir.

Kullanım noktasında, hidrojenin, bir yakıt hücresiyle çalıştırıldığında, sıfır-salınımlı bir yakıt olduğu düşünülebilir. Bir katalizör hidrojeni parçalar ve daha

⁴⁵ John Phillimore, “Schumpeter, Schumacer and the Grening of Technology”, **Technology Analysis & Strategic Managments**, 2001, Vol.13, No: 1, p.31.

⁴⁶ Dinçer, **op.cit.**, p.4.

sonra elektrokimyasal bir işlem ortaya çıkar ki bu işlemle hidrojen, genellikle ortam havasındaki oksijenle birleşir ve sonuçta ortaya çıkan ürünler elektrik ve su buharıdır. Bir hidrojen yakıt hücresi kullanıldığında, ortaya çıkan tek salınım su buharıdır ki bu yoğunlaştırılır ve toplanır ya da yeryüzüne yağmur olarak geri döneceği yer olan atmosfere salınır⁴⁷.

2.1.2.2.2. Enerji Taşıyıcı

Elektriğe benzer bir enerji taşıyıcısı olan hidrojen, özellikle ulaştırma ve dağıtımli enerji sektörleri olmak üzere, gelecekteki enerji sistemlerinde önemli ve yaygın bir rol oynayabilir. Hidrojen çok yönlü bir moleküldür ve direkt yanma için bir yakıt, sabit kullanım (ör: elektrik santralleri, binalar ve sanayi) ve ulaştırma için yakıt hücrelerinde bir elektrik üretim yolu ve ayrıca bir enerji depolama aracı olabilir. Rüzgar ve güneş enerjisi gibi aralıklı enerji üretim teknolojisi sistemlerinin faydası, hidrojenin çok yönlü enerji taşıyıcısı özellikleriyle geliştirilebilir⁴⁸.

Bilimsel çalışmalar özellikle bugüne kadar kullanılan enerji taşıyıcıları daha verimli hale getirebilmek üzere yoğunlaşmıştır. Özellikle sanayide daha az enerji ile daha büyük güç üreten sistemlerin üretimi ve geliştirilmesi daha büyük ve önemli bir alan olarak teşkil etmektedir⁴⁹.

2.1.2.2.3. Hafif ve Depolanabilir Olması

Yerkürede her yerde mevcut bulunan bir element olan hidrojen, neredeyse her zaman diğer elementlere bağlıdır ve kimyasal bağları kırmak için enerji gerekir. Salınan hidrojen gazının ağırlığı hafiftir, gözle görülmez, aktiftir ve depolanması, taşınması, sıvılaştırılması ve güvenli bir şekilde kullanılması mümkündür. Şu anda

⁴⁷ Waegel ve diğerleri, **op.cit.**, p.289.

⁴⁸ Dixon, **op.cit.**, p.3.

⁴⁹ Şahin, **op.cit.**, s.1.

mevcut olan teknolojileri kullanarak, hidrojen, sıkıştırılmış doğalgaz ya da bir sıvı olarak dağıtılabılır ve depolanabilir⁵⁰.

Hidrojen -253 derecede sıvı olmaktadır. Hidrojen üretim ve dağıtım şebekeleri kuzey Avrupa'da (1,500 km boru hattı) ve ABD'de (900 km) mevcuttur. Çünkü buralarda genellikle sanayi işlemlerinde kullanılır ve suni gübre, kimya ve petrokimya endüstrilerinin bir yan ürünüdür. Ticari hidrojen endüstrisi, yıllık olarak 20 milyar metre küpten fazla hidrojen üreten ABD'de oldukça gelişmiştir ve bu ülkeyi Avrupa ve Japonya izlemektedir. Son zamanlarda pek çok ülke, hidrojen üretme, depolama ve dağıtma şebekelerini genişletme çabalarını başlatmıştır (ör: Kanada, İtalya, Japonya, ABD)⁵¹.

2.1.2.2.4. Tükenmemesi

Tabiatta en hafif ve en yaygın element olan hidrojen Dünya'daki bilinen toplam maddenin yaklaşık %80'ini oluşturmaktadır. Her tip fosil yakıt çeşitli işlemlerden elde edilmesinden sonra da hidrojen ihtiva etmektedir. Yeryüzünde hidrojen serbest halde çok seyrek bulunur, büyük kısmı suyu oluşturmak üzere oksijenle birleşmiştir. Sudaki üç atomdan ikisi hidrojendir, böylece bütün su kaynakları hidrojen rezervlidir⁵².

Hidrojen hem fosil hem de yenilenebilir enerji kaynaklarından elde edilmektedir. Hidrojenin en önemli özelliklerinden biride bu kaynaklardan elde edilen hidrojen enerjisinin doğada en çok bulunan elementlerden olması ve kullanıldıktan sonra tekrar su haline geri dönmesidir. Suyun bileşiminde hidrojen ve oksijenin bulunması, suyun oksijenden ayrışması ile tekrar hidrojen açığa çıkmaktadır. Böylece hidrojen hayat var olduğu sürece tükenmeyecektir.

⁵⁰ **Ibid**, p.4.

⁵¹ **Ibid**.

⁵² John Bockris, T. Nejat Veziroğlu, Debi L. Smith, **Geleceğin Enerjisi: Güneş-Hidrojen**, Çeviren: Ömer Faruk Noyan, Kaynak Yayınları, İzmir, 2002, s.118.

2.1.2.2.5. Güvenli Olması

Diğer yakıtlar gibi hidrojen de yanıcıdır ve potansiyel olarak tehlikelidir. Hem hidrojen hem de doğalgaz pek çok benzerlik paylaşmaktadır, her ikisi de havadan daha hafiftir. Aslında yakıt hidrojenin, benzinle aynı risk seviyesine sahip olduğu ve muhtemelen daha güvenli olduğu düşünülmektedir. Ancak, riskler geleneksel yakıtlardan daha farklıdır çünkü hidrojenin özellikleri farklıdır. Hidrojen, hidrokarbonların yanması için gerekli olan %12 ile kıyaslandığında yanmayı sürdürmek için sadece %5 oksijene gereksinim duysa da, hidrojen patlayıcı değildir. Ateşleme kaynaklarının olmaması durumunda, hidrojenin açık atmosferde ateşlenmesi kesinlikle muhtemel değildir. Petrol ürünleri, 228-500 C° aralığındaki sıcaklıkta kendi kendine ateşlenirken, hidrojenin kendi kendine ateşlenme sıcaklığı 500 C°'dir⁵³.

Bütün enerji materyalleri ve enerji teknolojileri, spesifik güvenlik özelliklerini takip etmektedir. Olumlu ve olumsuz güvenlik özellikleri, enerji şeması içerisindeki bütün elementlerle az ya da çok bağlantılıdır. Ek olarak, bu özellikler zamana, yere ve özel koşullara bağlıdır. Örneğin, bir ülkedeki kömür madenlerinin oldukça yüksek güvenlik standardı vardır, fakat başka bir ülkedeki standartlar düşük olabilir. Hidrojenin güvenlik seviyesi, bütün diğer rakipleriyle az ya da çok yarışmaktadır: güvenlik avantajları ve dezavantajları vardır. İki avantajı, sera gazı etkisi üzerinde etkisi olmaması ve radyoaktif özelliğinin olmamasıdır. Elektrolit hidrojen sudan sağlanır ve oksijen (havadan) ile suya tekrar birleşir. Prensip, karbon yakalama ve tutma yöntemiyle fosil yakıtlardan elde edilen hidrojen ya da yenilenebilir kaynaklardan sağlanan hidrojen, çevre ve iklim temizliği açısından yarışır. Hidrojenin oldukça düşük tutuşma enerjisinin, geniş tutuşma aralığının ve çok yüksek orandaki havaya yayılma özelliğinin, spesifik güvenlik seviyesi vardır⁵⁴.

⁵³ H.K. Abdel-Aala, M. Sadika, "A New Approach To Utilize Hydrogen As A Safe Fuel", **International Journal of Hydrogen Energy**, Vol.30, 2005, p.1511.

⁵⁴ Carl Jochen Winter, "Energy Policy is Technology Politics—The Hydrogen Energy Case", **International Journal of Hydrogen Energy**, Vol.31, 2006, p.1630.

2.2. HİDROJEN ÜRETİMİ

Eğer hidrojenin elverişli bir enerji kaynağı olması gerekiyorsa, uygun maliyetli bir şekilde üretilmesi gerekir. Hidrojen, buhar yapılandırılması, biokütlenin gazlaştırılmasıyla, bazı hidrokarbonlarla etkileşimiyle ve su elektroliziyle üretilir⁵⁵.

Hidrojen, fosil yakıtlar (doğalgaz ve kömür), yenilenebilir kaynaklar (biokütle, su gücü, jeotermal, güneş ve rüzgar) ve nükleer güç gibi pek çok kaynaktan üretilir. Bugün hidrojen tablo 2.1.'den görüldüğü gibi doğalgazdan (%48), petrol'den (%30), kömürden (%18) ve su elektrolizinden (%4) üretilmektedir. Ayrıca, biyolojik ve termal işlemlerle üretilen yakıtın dönüştürülmesi yoluyla da üretilir fakat bu seçenek geliştirilme aşamasındadır ve ekonomik değildir⁵⁶.

Bir hidrojen ekonomisine geçiş muhtemelen, fosil yakıtlardan, özellikle doğalgaz ve kömürden üretilen hidrojenle başlaması muhtemeldir. Fosil enerjiyle çalışan hidrojen üretim sistemleri için karbon ayırma ve ayrıştırma teknolojileri geliştirilmektedir. Uzun vadede hidrojenin yenilenebilir enerji üretiminin, sürdürülebilir bir seçenek olduğu ortaya çıkmaktadır⁵⁷.

**Tablo 2.1: Kaynaklar Bazında Dünya'daki
Hidrojen Üretimi (2005)**

Kaynak	Miktar (milyar metre küp/yıl)	Yüzde
Doğalgaz	240	48
Petrol	150	30
Kömür	90	18
Su Elektrolizi	20	4
Toplam	500	100

Kaynak: Aala, H.K. Abdel, M. Sadika, "A New Approach To Utilize Hydrogen As A Safe Fuel", *International Journal of Hydrogen Energy*, Vol.30, 2005, p.1512.

⁵⁵ W. Clark Woodrow, Jeremy Rifkin, "A Green Hydrogen Economy", *Energy Policy*, Vol. 34, 2006, p.2634.

⁵⁶ Dixon, *loc.cit.*

⁵⁷ *Ibid.*

Bugün ABD yıllık olarak 90 milyar metre küpten fazla hidrojen kullanmaktadır. Bu hidrojenin çoğu yakıttan ziyade, amonyak üretimi, metanol sentezi, yağların hidrojene edilmesi vb. gibi çeşitli ticari uygulamalarda bir kimyasal madde olarak kullanılmaktadır. Kullanılan hidrojenin neredeyse tümü tutulmaktadır ve üretildiği rafineride ya da kimyasal tesiste tüketilmektedir. Hidrojenin yakıt olarak ana kullanım alanı, uzay programıdır. Hem uzay mekiğinin ana motoruna hem de mekik için gerekli olan elektrik gücünü sağlayan yakıt hücrelerine yakıt sağlar⁵⁸.

2005 yılı itibariyle her yıl %10'luk bir büyüme oranıyla dünya çapında yıllık 50 milyon ton hidrojen ticareti yapılmaktadır. Bu miktardan kat kat fazlası düzenli olarak üretilmekte ve dizel yakıtın ya da benzin ve benzerlerinin yeniden formüle edilmesi için rafinerilerde kullanılmaktadır. Hidrojen, fosil yakıtların özellikle doğalgazın, buhar-metan dönüşümünden ya da daha ağır petrol parçalarının kısmi işlemlere tabi tutulmasından ya da kömürün gazlaştırılmasından elde edilir. Sadece çok az bir oran, ucuz elektriğin mevcut olduğu yerlerde, ör: dünya çapında büyük hidro-barajlarda elektrolit yoluyla üretilir⁵⁹.

Yenilenebilir hidrojen (yenilenebilir rüzgar, güneş, vb. den elektrolit yoluyla üretilen elektrik), iklimsel olarak arzu edilen bir hedeftir fakat hidrojen ekonomisine giriş için ön koşul değildir. Arzu edilen hedefe ulaşılmadığı sürece, fosil yakıtlardan hidrojen üretimi, birlikte üretilen karbon dioksitin yakalanması, tutulması ve nihai olarak depolanması konusundaki vazgeçilmez koşullar altında bile, devam edecektir. İklim değişikliğinden korunmak sera gazlarının atmosfere salınmasından kaçınılmasını gerektirir⁶⁰.

Kısa vadede, hidrojenin büyük bir kısmı, doğalgaz (gaz dönüştürme) ya da elektrik (elektroliz) kullanarak, dağıtımli üretimden sağlanmaktadır. Buna göre, merkezi elektrik şebekesinin maliyeti karşılanabilir, güvenilir ve sabit bir güç sağlayabilme özelliği; yenilenebilir enerji teknolojilerinden ve birleştirilmiş ısı ve

⁵⁸ H.K. Abdel-Aala, M. Sadika, **op.cit.**, p.1512.

⁵⁹ Winter, **loc.cit.**

⁶⁰ **Ibid.**

gücün birlikte üretiminden, yerinde üretim yapmak da dahil olmak üzere, daha dağıtım ve bölgesel güç üretimine daha fazla güvenerek arttırılacaktır. Kamu politikası ve endüstriyel planlamacıların, kısıdan orta vadeye geçişte bir avantaj sağlamaları ve buna göre sermaye yatırımı stratejileri planlamaları gerekir. Hidrojen ekonomisinin hem vakitli gelişimi hem de kurulumunu hızlandırmak amacıyla, doğalgaz kullanımı, hidrojen üretimi için tek geçiş yakıtı olarak görülmektedir. Hidrojen için pahalı yeni bir dağıtım altyapısı kurmak yerine mevcut gaz ve elektrik dağıtım kapasitesi, yerel hidrojen üretim ihtiyaçlarını karşılayabilir⁶¹.

Talep eksikliği, hidrojen enerjisi teknolojisinin yüksek maliyeti ve düşük pazar yayılımı için ana neden olarak gösterilmektedir ve bu da toplu üretimi engellemektedir. Ancak küresel ısınma ve kaynakların tükenmesi riskinin, talep artışıyla sonuçlanacağı farz edilerek, başka bir faktöre, halk tarafından kabule, bu bağlamda daha az dikkat gösterilmiştir. Bu özellik, eğer sunduğu faydalar mukayese edilebilir ürünün faydalarını aşarsa ürünün “kabul edilir” olarak dikkate alındığı durumda incelenmektedir. Risk algısını ve müşteri memnuniyetini içeren kabul etme, sonuçta sosyal geçmişten ve deneyimden etkilenen, değerler, istekler ve algılamadan etkilenmektedir. Bu etkileşimler zincirine dayalı olarak, pazarlama metotları, eğitim projeleri ve ürün teşhiri, hidrojen yakıtının başarılı bir şekilde kabul edilmesi için tavsiye edilmektedir⁶².

2.2.1. Yenilenebilir Enerji Kaynaklarından Üretimi

Hidrojen üretiminin yenilenebilir enerji kaynaklarından eldesi en az maliyetli ve çevreye en az zarar veren yöntemdir. Ülkelerin enerji talebindeki artış yenilenebilir kaynaklara olan talebi gün geçtikçe arttırmakta ve yeni teknolojiler geliştirilmesine yol açmaktadır. Hidrojen üretimi konusunda en düşük maliyetle üretim yöntemi jeotermal enerji olarak görülmektedir.

⁶¹ Woodrow, Rifkin, **loc.cit.**

⁶² Baykara, **op.cit.**, p.548.

2.2.1.1. Güneş Enerjisinden Hidrojen Üretimi

Güneş bir günde yaşayan canlıların gündelik toplam enerji ihtiyacının 15 000 katı enerji sağlamaktadır. Yani çöllerde ulaşan güneş enerjisinin %3'lük bir kısmı değerlendirilse Avrupa ve Afrika'nın toplam enerji ihtiyacını karşılayabilmektedir. Güneşin bu sınırsız enerjisini kullanmak için yalnızca fotovoltaik piller kullanarak elektrik enerjisi üretmek ya da güneş panelleri ile suları ısıtmak yeterli değildir. Çünkü bu sistemler güneşin daha az görüldüğü kış günlerinde sürekli kesintiye uğrar ve verimsiz olur. Bunun yerine düşünülen alternatif güneş enerjisini suyun elektrolizinde kullanma ve elde edilen hidrojeni depolayıp, boru hatları yardımıyla dağıtmadır. Böylece hidrojenin yakıt olarak kullandığı elektrikli motorlar devreye alınacaktır. Bu durumda ise bütün sistemi elektrikli çalışır hale getirmek gerekmektedir. Güneş enerjisi iki şekilde kullanılmaktadır; Fotovoltaik Dönüşüm (Elektriğe Dönüştürme) ve Termal Dönüşüm (Isıya Dönüştürme)⁶³.

Güneşten hidrojen üretimi fotovoltaik yöntemle olmaktadır. Güneş enerjisi bu yöntemle elektrik enerjisine dönüştürülmekte; bu elektrik, suyun elektrolizinde kullanılarak hidrojen üretimini sağlamaktadır. Üretilen hidrojen tıpkı doğalgazın gönderilmesi gibi boru hatlarından şehir ve kasabalara verilir. Bu sistemin en önemli avantajı üretim fazlası elektriği hidrojen üreterek kullanmaktır. Böylece fazla elektrik israf edilmemiş olur. Ayrıca hidrojeni boru hatlarıyla iletmek, üretim fazlası elektriği tellerle iletmekten daha ucuz ve daha verimlidir. En yararlı tarafı ise hidrojen ve güneş enerjisinin kirleticisi olmamasıdır. Hidrojen ısı ya da enerji elde etmek için kullanıldığında yan ürün olarak sadece su çıkmaktadır⁶⁴.

Tablo 2.2'te görüldüğü gibi güneşten hidrojen üretiminin sınırsız ve sürdürülebilir bir özelliği olduğu gibi çevreye minimum zarar veren ve düşük maliyetli bir üretim yöntemidir.

⁶³ Şahin, *op.cit.*, s.17.

⁶⁴ *Ibid.*

Tablo 2.2 : Fosil Yakıtlarla Güneş-Hidrojen Sisteminin Karşılaştırılması

Fosil Yakıtlar	Güneşten Hidrojen
Sınırlı Rezerv	Sınırsız Rezerv
Hayatı tehdit ediyor	Hayatı tehdit etmiyor
Kirli	Temiz
Yan Ürünü CO ₂	Yan ürünü Su
Verimsiz	Verimli
Elektrik iletiminde kayıp var	Elektrik naklinde kayıp yok
Gittikçe Fiyatı Artıyor	Fiyatı Düşük

Kaynak: John Bockris, T. Nejat Veziroğlu, Debi L. Smith, **Geleceğin Enerjisi: Güneş-Hidrojen**, Çeviren: Ömer Faruk Noyan, Kaynak Yayınları, İzmir, 2002, s.109.

2.2.1.2. Rüzgar Enerjisinden Hidrojen Üretimi

Yukarıda da incelendiği gibi hidrojen, yenilenebilir enerji kaynaklarını tamamlamaktadır. Hidrojenin yenilenebilir kaynaklardan elde edildiği bir enerji sistemi, kendi kendine yeterlidir, temizdir ve sürdürülebilir gelişme için kalıcı bir enerji çözümünü temsil etmektedir. Rüzgar gücü, yenilenebilir enerji kaynaklarından biridir.

Günümüzde bazı yerlerde rüzgar; geleneksel yakıt, fosil yakıtı ya da nükleer üretimli elektrik ile fiyat açısından rekabet edebilmektedir. Yıllık %27’lik büyüme ile en hızlı büyüyen yenilenebilir enerji sektörüdür ki; bu her üç yılda kurulu kapasitenin ikiye katlanması anlamına gelmektedir. Tüm dünya da 25,000 mw’dan fazla kurulu rüzgar türbini vardır (2001’in sonu itibariyle). Son 20 yıldır, bireysel ünitelerin üretim kapasiteleri 25 kw’dan yaklaşık 2500 kw’ye yükselmiştir. Bugünün rüzgar türbinlerinin sermaye maliyeti 1000/kw dolardan daha azdır ve elektrik maliyeti, iyi rüzgar kaynakları olan alanlarda kw/s olarak 4 cent kadar düşüktür. Prototip türbinler 5 mw kapasitesini aşmaktadır. Rüzgar gücünün niteliği gereği var olan dezavantajlarından biri, rüzgar hızının oldukça aralıklı olmasıdır. Bu nedenle rüzgar türbininden elde edilen enerji zamana göre büyük ölçüde dalgalansa da, rüzgar gücü maksimum gücün %20’sinden az olduğu sürece, üretilen rüzgar gücünün

çoğunun tutulabildiği, genellikle kabul edilmektedir. Bu nedenle rüzgar gücünden hidrojen üretimi verimli değildir⁶⁵.

2.2.1.3. Hidrolik Enerjiden Hidrojen Üretimi

Hidrojen bir elektrik santralinde, yanmalı motorda ya da bir yakıt hücresinde kullanılıyorsa, tek yan ürün sudur. Fakat bu, hidrojen kirliliğe neden olmayan bir şekilde üretildiği anlamına gelmez. Hidrojenin çevresel faydaları, hidrojen gazının üretilmesi sırasında, hidrojen yakıt döngüsünün en başında tespit edilir. Evrende en çok bulunan element olmasına rağmen, hidrojen genellikle moleküler bir hidrojen gazı olarak bulunmamaktadır. Bunun yerine, çok çeşitli farklı moleküllerle ilişkili bir element olarak bulunur ve genellikle organik maddelerden, fosil yakıtlardan ya da sudan çıkarılır. Bu maddelerin hepsi, hidrojen açısından zengin moleküler yapılara sahiptir. Küçük miktarlarda oldukça saf hidrojene gereksinim duyulan uygulamalarda, su elektrolizi kullanılabilir. Elektroliz, sulu bir solüsyondan elektrik akımı geçirerek, su moleküllerini bileşenlerine yani oksijene ve hidrojene ayırıştırma işlemidir. Ancak, böyle bir yaklaşım, gerekli hidrojeni elde etmek için elektrik formunda fazla miktarda enerji gerektirir. 25°C sıcaklıkta, bir su molekülünü elektrolizleştirmek ve bir metre küp hidrojen üretmek için 4.8 kwh elektrik gerekir. Bazı durumlarda, elektriğin maliyetinin, hidrojenin satış fiyatının %80'inden fazla olduğu belirlenmiştir⁶⁶.

Hidrojen üretimiyle ilgili çevresel problemler, kaynak molekül içerisinde diğer elementlerin bulunmasından kaynaklanmaktadır. Su, hidrojen kaynağını sağladığında, çok az çevresel sorun ortaya çıkar çünkü su içindeki diğer tek element oksijendir. Hidrojen, bir yakıt hücresinde yakılır ya da çalıştırılırsa, su buharı üretmek için atmosferdeki diğer ortam oksijeni ile yeniden birleşir. Bu da atmosfere zehirli olmayan bir gazın salındığı fakat hidrojen kullanıldığında geri istendiği

⁶⁵ S.A. Sherif, F. Barbir, T.Veziroğlu, "Wind Energy and the Hydrogen Economy", **Solar Energy**, Vol. 78, 2005, p.655.

⁶⁶ Waegel ve diğerleri, **op.cit.**, p.290.

anlamına gelmektedir. Böylece atmosferin kimyası, yakıt döngüsü boyunca herhangi bir net değişiklik geçirmemektedir⁶⁷.

Bir alternatif olarak hidrojen devamı en fazla getirilebilen yani sürdürülebilen bir enerji kaynağıdır. Evrendeki en bol element olan hidrojen, su moleküllerini, rüzgâr ya da güneş enerjisi kullanarak ayrıştırma yöntemiyle üretilir. Hidrojen bir enerji kaynağı olarak, ya bir yanma yoluyla ya da elektrik üretmek için bir yakıt hücresi yoluyla kullanılır. Her iki durumda da, tek yan ürün olarak su ile birlikte, neredeyse sıfır salınım ortaya çıkmaktadır⁶⁸.

2.2.1.4. Jeotermal Enerjiden Hidrojen Üretimi

Geleceğin yakıtı olarak bilinen hidrojenin üretimi, jeotermal kaynaklar aracılığı ile de mümkündür. Jeotermalden üretilen elektriğin reaktörde ve jeotermal akışkanın su olarak kullanılması ile hidrojen üretimi pilot çalışmaları İzlanda’da başlamıştır. İzlanda, jeotermal zenginliği nedeniyle, bu işe başlamak için en ideal yer olarak görülmüştür. 24 Nisan 2003’de Özel Sektör (Shell) ve Belediye işbirliği ile dünyanın ilk hidrojen gaz istasyonu Reykjavik-İzlanda’da açılmıştır. Doğal ve ucuz kaynak olan jeotermalden üretilen hidrojen petrolün yerini alarak şehirdeki hava kirliliğini önleyecek ve ekonomi sağlayacaktır. Shell Tokyo’da Belediye işbirliği ile bir dolum istasyonu açmış bunu Amerika Kaliforniya ve Lüksemburg izlemiştir⁶⁹.

2.2.1.5. Biokütle Enerjisinden Hidrojen Üretimi

Biokütle, çıkartılabilir yakıt içeren organik bir materyaldir; tahıl sapı, ağaç atığı ve katı atık gibi tarımsal atıklar, çeşitli teknikler uygulanarak hidrojen üretimi için kullanılabilir⁷⁰.

⁶⁷ **Ibid.**

⁶⁸ Kouroussis, Shahram Karimi, **op.cit.**, p.351.

⁶⁹ **Ibid.**

⁷⁰ Karimi, Foulkes, **loc.cit.**

Biokütle, bugün ısı, elektrik ve likit ulaşım yakıtları üretmek için kullanılan kanıtlanmış yenilenebilir bir enerji kaynağıdır ve gazlaştırma adı verilen bir işlem yoluyla hidrojen üretmek için kullanılır. Bu işlemde biokütle bir gaza dönüştürülür ve hidrojen çıkarılır. Bu biokütle işlemlerinden hemen hemen hiç sera gazı salınımı ortaya çıkmaz. Çünkü bitki yetişmesi sırasında atmosferden karbon çıkarıldığı ve bu karbonun hidrojen üretimi sırasında salındığı doğal döngü korunmaktadır. Yeniden bitki dikmek ve yeniden ağaçlandırmak, biokütleden sağlanan yenilenebilir hidrojenin korunması için ön koşullardır⁷¹.

Çok sayıda gelişmekte olan ülke biyoyakıtlardan oldukça etkilenmiş durumdadır. Bu yakıtlar ülkelerin ekonomilerinde ve sosyal durumlarında olumlu etki yaratabilir. Sanayileşmiş ülkelerde, yenilenebilir kaynakların olduğu kadar fosil yakıtların üretim kapasiteleri, ulaşımdaki enerji talebinin sadece küçük bir kısmını tedarik edebilir. Bu nedenle, gelişmekte olan ülkeler, ihracat için biyoyakıt üretme seçenekleri beklemektedir. Çiftçiler bitki üretmek ve satmak zorunda olduğu için, bunların, fakirliğin hakim olduğu yerlerdeki kırsal gelişme üzerinde olumlu etkileri olabilir. Ancak, sosyal ve ekonomik koşullar o kadar değişkendir ki sürdürülebilirlik hakkında herhangi bir genel tahmin yapılamamaktadır⁷².

2.2.2. Fosil Enerji Kaynaklarından Üretimi

Fosil enerji kaynaklarından hidrojen üretimi eskiden bu yana süregelen bir yöntemdir. Özellikle kömür kaynaklarının bol bulunması kömürden hidrojen üretim yöntemlerinin gelişmesini sağlamıştır. Diğer yöntemlerden nükleer enerjiden hidrojen üretimi teknolojinin gelişimine paralel olarak gelişmektedir. En düşük maliyetli hidrojen üretiminin nükleer enerjiden sağlanması beklenmektedir. Günümüzde doğalgaz'dan hidrojen üretimi doğalgaz altyapısının gelişmiş olması ve hidrojenle uyumlu olmasından dolayı hidrojene geçişte ilk aşama olarak düşünülmektedir.

⁷¹ Woodrow, Rifkin, **op.cit.**, p.2632.

⁷² Dirk Abmann, Niklas Sieber, "Transport in Developing Countries: Renewable Energy Versus Energy Reduction", **Transport Reviews**, Vol.25, No.6, November 2005, p.736.

2.2.2.1. Nükleer Enerjiden Hidrojen Üretimi

Nükleer enerji kullanarak hidrojen üretimi konusuna dünya çapında ilgi gösterilmektedir. Elektrik üretmek için nükleer enerji kullanımının etkileri oldukça iyi anlaşılırken; hidrojen üretmek için nükleer reaktörler kullanmanın etkileri daha az belirgindir. Nükleer, hidrojen konusundaki mevcut talepleri karşılamak için kullanılabilir. Hidrojen üreten nükleer enerji, yenilenebilir maddelerin geniş çaplı kullanımını sağlayan teknoloji olabileceği gibi ulaştırma için kilit bir teknoloji de olabilir. Bu uygulama, ilk nükleer hidrojen uygulamalarından biri olabilir. Ayrıca bir nükleer-hidrojen yenilenebilir kaynaklar ekonomisinin altyapısını hazırlayan teknoloji olabilir. Bu sistemlere, En Yüksek Elektrik Nükleer Sistemleri (PENS) adı verilmektedir⁷³.

Yakın dönem uygulamaları, petrol ve doğalgaz yakan gaz türbinleri gibi en yüksek elektrik gücü taleplerini karşılama konusundaki alternatif metotların yerini almak ve döner rezerv sağlamaktadır. Döner rezerv, bir elektrik santralinde beklenmeyen bir kesinti ve şebeke hatası olduğunda, elektrik şebekesinin elektrik sağlama için elektrik üretim kapasitesidir. 14 Ağustos 2003'te, eğer yeterli enerji rezervi olsaydı ve uygun şekilde dağıtılmış olsaydı, Amerika Birleşik Devletlerinin doğu kıyısının büyük bir bölümü kararmamış olacaktı⁷⁴.

2.2.2.2. Doğalgaz'dan Hidrojen Üretimi

Hidrojen üretimi için kullanılan başlıca ticari işlem, buhar yapılandırılması ile doğalgaz'dan hidrojen üretimidir. Bu metot, dünya hidrojen üretiminin yarısını açıklamaktadır. Buhar yapılandırma; yüksek sıcaklıktaki buharın karbon atomlarından ayrıştırılması ile üretilir ve hidrojenin en ekonomik elde edilme yöntemidir. Yukarıdaki metodu kullanarak hidrojen üretiminin ortalama fiyatı 5\$ - 8\$/GJ'dir. Nihai fiyatı etkileyen faktörler, hammaddenin (ör: doğalgaz) ilk fiyatı ve üretim tesisinin

⁷³ Charles Forsberg, "Futures For Hydrogen Produced Using Nuclear Energy", **Progress in Nuclear Energy**, Vol.47, No:1, 2005, p.485.

⁷⁴ **Ibid.**

büyükklüğüdür. Amerikan Ulusal Yenilenebilir Enerji Laboratuvarı tarafından yayınlanan bir rapora göre, doğalgazın ilk fiyatı, büyük tesislerin toplam maliyetinin yaklaşık %52'si ile %68'i arasındadır⁷⁵.

Benzinin ve LNG'nin (sıvılaştırılmış doğalgaz) hidrojen ekonomisine geçişin bir parçası olması beklenmektedir. Bir hidrojen ekonomisi geliştirmek için en önemli konulardan biri, dünyanın petrole ve kömüre bağımlılığıyla ilgilidir. Bu nedenledir ki doğalgaz gittikçe büyüyen bir pazar oluşturmuştur. Gittikçe daha fazla bölge doğalgaz tesisleri kurmuştur çünkü yakılması daha temizdir. Bununla birlikte, gün geçtikçe doğalgaz evlerde enerji olarak, araba ve otobüslerde yakıt olarak daha fazla kullanıldığı için, temel enerji güvenliği sorunları devam etmektedir çünkü artan kullanım, daha yüksek fiyatta fakat istikrarlı olmayan ithal petrol ve benzine olan talebin artmasına neden olacaktır⁷⁶.

Doğalgaz, bütün fosil yakıtlar içinde en büyük hidrojen oranını sağlar. Hidrojene dönüştürüldüğünde ve bir yakıt hücresi aracında kullanıldığında, karbondioksit salınımları, benzinli içten yanmalı bir motorla karşılaştırıldığında %60'dan fazla düşüş gösterir⁷⁷. Hidrojen dağıtımında direkt bir yol için, doğalgaz kullanarak bir altyapı oluşturmak, hidrojen kaynağı olarak en iyi seçenek olabilir. Diğer organik maddeler de kullanılabilir fakat doğalgaz genellikle diğer seçeneklerden daha temizdir⁷⁸.

Doğalgaz'dan hidrojen üretimi pek çok nedenle avantajlıdır. Doğalgaz'dan hidrojen üretmek için ihtiyaç duyulan yeni altyapı düşük maliyetli olacaktır. Doğalgaz çıkarmak ve dağıtmak için büyük bir altyapı zaten mevcuttur ve endüstriyel amaçlarla A.B.D'de üretilen hidrojenin %90'ından fazlası, doğalgazın buhar reformasyonundan elde edilmektedir. Hidrojen ekonomisinin başlangıç aşamalarında gerekli olan hidrojen miktarı, mevcut doğalgaz altyapısıyla kolaylıkla

⁷⁵ Karimi, Foulkes, **loc.cit.**

⁷⁶ Woodrow, Rifkin, **op.cit.**, p.2634.

⁷⁷ Waegel ve diğerleri, **op.cit.**, p.288.

⁷⁸ Roberta E Weisbrod., "Solving China's Urban Crisis: China's Transportation Energy Future", **Journal of Urban Technology**, Volume 6, Number 1, 1999, p.89.

üretilebilir. Ekonomi açısından, doğalgazdan hidrojen elde etme, aynı miktarda benzinden %50 ile %100 daha pahalıdır. Bu maliyet, yakıt hücreli araçlarda verimli ilerlemeler yaparak telafi edilebilir. Şu anda, bu teknolojinin, genel tüketici için çok pahalı olduğu düşünülmektedir. Fakat ekonomik olabilecek filoların geliştirilmesi için potansiyel vardır. 2020 yılına kadar, hidrojen maliyetinin, 1 galon benzin eşdeğeri başına 2\$ altına düşmesi beklenmektedir. Diğer kaynaklardan elde edilen hidrojenin maliyeti konusundaki mevcut tahminler büyük ölçüde farklılık göstermektedir ve kullanılan üretim metoduna bağlıdır. Maliyetler, üretim, taşıma ve dağıtım unsurlarına bölünebilir⁷⁹.

2.2.2.3. Kömür'den Hidrojen Üretimi

Kömür, dünya da en fazla bulunan fosil kaynaklarından biridir ve diğer enerji kaynaklarıyla karşılaştırıldığında, yakmak pahalı değildir. Kömür ulaşım ve ev ısıtması için kullanılmıştır ancak bugün A.B.D.'deki kullanımı neredeyse tamamen elektrik üretimiyle sınırlıdır. Ulaşım ve ev ısıtma enerji hizmetleri petrole ve doğalgaza verilmiştir ki bunların genellikle ithal edilmesi gerekir bu da ekonomik dışı akışlara neden olur ve enerji güvenliği kaygılarını artırır. Kömürden çıkarılan hidrojen, mevcut ulaşım ve ev ısıtma ihtiyaçları için enerji hizmetleri sağlayabilir ve bunu hiçbir son kullanım kirliliği olmadan gerçekleştirir. Bu durumda hidrojen bu talepleri karşılamaya yetecek miktarlarda çıkarılabilir. Bu anlamda, hidrojen kömürden elde edilen enerjiyi daha faydalı ve uygun bir forma taşıma potansiyelini sunar. Bu şekilde, bugün ithal edilen yakıtlara dayalı olan enerji ihtiyaçlarının çoğu, bunun yerine yerel olarak mevcut olan kömüre dayalı hale gelebilir⁸⁰.

Kömür gazlaştırma, hidrojen üretimi için iyi bilinen bir işlemdir; ancak doğalgaz ve petrol fiyatları büyük ölçüde daha yüksek hale gelmedikçe rekabet edemez. Kömürden elde edilen hidrojenin fiyatının, 10–12 \$/GJ civarında olduğu tahmin edilmiştir. Kömür fiyatı, nihai hidrojen maliyetinin %25'idir ve doğalgaz fiyatından daha düşüktür. Ancak ilk sermaye maliyeti, bakım ve atık imhası, doğalgaz

⁷⁹ Waegel ve diğerleri, **op.cit.**, p.289.

⁸⁰ **Ibid.**

biçimlendirmeden çok daha yüksektir. Kömür, dünyanın bazı yerlerinde doğalgaz ve petrolün yerini alabilir, fakat bu teknolojinin çevre üzerinde, doğalgaz kullanımının etkisinden çok daha büyük etkisi bulunmaktadır⁸¹.

Hidrojenin ithal petrole bağımlılığı azaltılarak, enerji kaynaklarını çeşitlendirerek, kirliliği ve sera gazı yayılımlarını azaltarak, birincil enerji taşıyıcısı haline geleceği tahmin edilmektedir. Hidrojenin, endüstriyel alanlarda, elektrik santrallerinde ve yakıt istasyonlarında, kırsal alanlardaki dağıtım tesislerinde yerinde üretilmesi beklenmektedir. Sürdürülebilir bir hidrojen ekonomisine geçiş sürecinde, fosil yakıtlarının ve özellikle kömürün, en önemli hidrojenin kaynağı olması beklenmektedir⁸².

Yukarıdaki analizlerin de gösterdiği gibi, kömürden elde edilen hidrojen, diğer kaynaklardan elde edilen hidrojenle rekabet edebilir durumdadır. Yukarıdaki analizler ileri teknolojilerin geliştirilmesinin önemini de göstermektedir. Eğer bu tür teknolojik gelişmeler hedeflerine ulaşırsa, kömürden hidrojen üretme maliyeti, şimdiki değerlerden %25-50 daha aşağıya düşürülecektir. Bu ileri teknolojilerin sadece daha düşük maliyet potansiyeli yoktur ayrıca işlem verimi arttırılarak gazlaştırıcılara yakıt tedariki de yapabilir. Fosil bazlı olmayan teknolojiiden elde edilen hidrojenin bugünün piyasasında masraflı olduğu, performansı artırmak ve maliyeti düşürmek için önemli ilerlemelerin yapılması gerektiği belirtilmektedir⁸³.

Kömürden hidrojen üretiminin bir geleneği vardır. Gelecek enerji karışımı, çevresel ve iklimsel sorumluluğu ve ticaret politikaları değerlendirildiğinde, kömür vazgeçilmezdir ve gelecekte de öyle olacaktır. Kömürden hidrojen üretiminin iki avantajı vardır. Birincisi, elektrik santrallerde karbondioksit içermeyen kömürün yanmasını sağlar ki bununla bugün dünyanın ortalama %30'dan fazla olmayan kömür elektrik santrali verimi, Kyoto Protokolü bakış açısından oldukça gereklidir. İkincisi; canlanan benzin pazarlarının gelecekteki katılımcısı olarak hidrojen;

⁸¹ Karimi, Foulkes, **loc.cit.**

⁸² Gary J. Stiegel, Massood Ramezan, "Hydrogen From Coal Gasification: An Economical Pathway to a Sustainable Energy Future", **International Journal of Coal Geology**, Vol.65, 2006, p.188.

⁸³ **Ibid.**

hidrojen yoluyla kömürün, iki enerji son kullanıcı sektörü olan ulaştırma ve ev kullanımına (ki bu alanlarda petrol ve benzinin gelmesiyle yok olmuştu) yeniden katılmasının yolunu açar⁸⁴.

Kömürden hidrojen üretimi'nin⁸⁵ ;

- Geleneği vardır.
- Statik bir yüzyıl sahası vardır.
- Enerji tedariki güvenliğine katkısından dolayı vazgeçilmezdir.
- Karbondioksit içermeyen kömürle çalışan elektrik santralini mümkün kılar.
- Kömürün canlanan benzin pazarlarına girmesini sağlar.
- Karbondioksit tutulması koşulunu karşılamalıdır.

2.2.3. Üretim Yöntemlerine Göre Hidrojen Maliyetlerinin Karşılaştırılması

Bütün biyolojik bazlı kaynakları ve fosil yakıt kaynakları hidrojen çıkarıldığında çok sayıda salınan farklı molekül içermektedir. Genellikle, bu elementler aynı kirleticileri, özellikle karbondioksiti oluşturur ki bunları hidrojen üretiminin azalttığı varsayılmıştır. Örneğin, doğalgazın buhar reformasyonu, karbon monoksit ve su buharı ile birlikte, üretilen her dört birim hidrojen için bir birim karbondioksit üretir. Fakat bu, doğalgaz bir yakıt olarak kullanıldığında salınacak olan karbon monoksit miktarına eşittir. Bu oran karbon bazlı her türlü hidrojen kaynağı için geçerlidir⁸⁶.

Yukarıda da belirtildiği gibi, bazı fosil yakıt hidrojen kaynakları (ör: doğalgaz) benzin kullanan mevcut ulaşım teknolojilerinden daha az karbon dioksit üretecektir. Fakat, bu karşılaştırmalı avantaj, örneğin, iklim değişikliği tehditlerini göstermek için %60 ile %80 arasında düşüşlere gereksinim duyulursa, yeterli

⁸⁴ Winter, *op.cit.*, p.682.

⁸⁵ *Ibid.*

⁸⁶ Waegel ve diğerleri, *op.cit.*, p.291.

olmayabilir. Bu nedenle hidrojenin çevresel profili, kaynağına ve ulaşılacak hedeflere bağlıdır. Sudan başka bir hidrojen kaynağı kullanıldığında çevresel kaygılar ortaya çıkmaktadır⁸⁷.

Hidrojenin üretim maliyetlerini çıkarmak, şimdiki sistemlerle oldukça zordur. Bunun nedeni teknolojiye gelişim ve üretim girdilerinin maliyetinin sürekli olarak değişkenlik göstermesidir. Burada seçilecek metodun hangisi olduğu kadar gerekli enerjinin hangi yollarla elde edileceği de önemlidir. Üretim yöntemlerine bağlı olarak değişmekle beraber şu anda bir litre hidrojenin maliyeti 2,5 \$ civarındadır. Bu rakamın ilk olarak benzine göre oldukça pahalı olduğu düşünülmektedir. Ancak taşıdığı enerji değeri benzine göre oldukça yoğundur. Sadece, doğalgaz gibi yöntemler kullanılarak hidrojen elde edilirse bu rakamın oldukça düştüğü bilinmektedir. Aşağıdaki tablo 2.3’de farklı yöntemlere göre elde edilen hidrojenin maliyetleri karşılamıştır. Benzinin fiyatının vergiler dahil 10 Cent/kwh olduğu düşünülerek kıyas edilmelidir⁸⁸.

Tablo 2.3: Üretim Yöntemlerine Göre Hidrojen Maliyetleri (2006)

Üretim Yöntemi	kwh başına Maliyeti(Cent)
Doğalgaz	4
Hidroelektrik	9
Biokütle	10
Rüzgar	23
Güneş	75

Kaynak: Mükerrrem Şahin, **Hidrojen Enerjisi Teknolojileri**, Anıl Yayınları, 2006, Ankara, s.49.

2.2.4. Dolum İstasyonları

Hidrojen altyapısına destek açısından, dünya çapında 120’ye yakın hidrojen dolum istasyonu vardır ve bunların 90’ı 2004-2006 yılları arasında yapılmıştır. Tablo 2.4’de görüldüğü gibi, bunların 23’ü A.B.D.-Kaliforniya’dadır ve yakın gelecekte en azından 14 istasyon açılması planlanmaktadır. Yakıt hücreleriyle ilgili maliyetlerin de

⁸⁷ **Ibid.**

⁸⁸ Şahin, **op.cit.**, s.49.

azalmasıyla birlikte bu dolum istasyonları popülarite kazandıkça ve müşterinin ilgisi ve farkındalığı arttıkça, ilk ticari yakıt hücresi araçlarının üretim bandından çıkması için sorun kalmamaktadır⁸⁹.

Tablo 2.4: Ülkelere Göre Hidrojen Dolum İstasyonları (2006)

ÜLKELER	Gaz Şeklinde Hidrojen	Sıvı Hidrojen	Sıkıştırılmış Sıvı Hidrojen
A.B.D.	10	4	6
Belçika	1	-	-
Kanada	2	-	-
Fransa	1	1	-
Almanya	9	8	6
İzlanda	1	-	-
İtalya	2	1	-
Japonya	14	1	1

Kaynak: Deloitte, Energy & Resources Reports, “Paving The Way to A Hydrogen Based Global Economy”, April 2007, p.8.

2003 yılında hidrojen dolum istasyonlarının maliyeti istasyon başına 1 milyon dolar civarında gerçekleşmiştir. 2004 yılında, maliyetler yaklaşık olarak 700.000 dolara inmiştir ve hızlı bir şekilde düşmeye devam etmektedir. Dahası, Kaliforniya’daki bölgeler ve diğer başka yerler bugün istasyonlar kurmaktadır. Güney Kaliforniya’daki Güney Kıyısı Hava Kalite Yönetim Alanı (SCAQMD) dünya liderlerinden biridir⁹⁰.

Hidrojen ekonomisine geçiş için fonksiyonel ve masrafsız bir altyapının geliştirilmesi, ulusal, bölgesel ve uluslararası bir zorunluluktur. Shell, Texaco, BP gibi geleneksel enerji firmaları ve ticari hidrojen endüstrisi, gelecekteki hidrojen ekonomisindeki rollerini araştırmak ve geliştirmek için hidrojen birimleri kurmuşlardır. Hidrojen üretim, depolama ve taşıma konusundaki ilk altyapı yatırımları oldukça küçük olmuştur, ancak geçen her yıl sürekli bir şekilde büyümektedir. Bugün 250’den fazla hidrojen dolum istasyonu ve ilgili altyapı

⁸⁹ Kouroussis, Karimi, **op.cit.**, p.348.

⁹⁰ Woodrow, Rifkin, **op.cit.**, p.2635.

tesisleri inşaat halindedir ve teknolojileri test etmek ve geçerli kılmak için işlevseldir. Eğer hidrojen ekonomisinin başarılması gerekiyorsa, altyapı yatırımlarının önemli ölçüde büyümesi gerekecektir⁹¹.

Bulunduğu yerde hidrojeni doğrudan üretebilen ilk istasyon resim 2.1’de görüldüğü gibi, 2001 yılında Los Angeles’ta Honda tarafından inşa edilmiştir. Burada hidrojen fotovoltaiik olarak güneş enerjisi yardımıyla elektroliz yöntemiyle üretilmektedir. Günlük yaklaşık 8000 litre gaz hidrojen elde edilmekte ve 250 barlık basınçla sıkıştırılarak kullanıma sunulmaktadır. Bunun benzeri bir uygulamanın da rüzgar enerjisi kullanılarak Kuzey Denizi’nde gerçekleştirilmesi planlanmaktadır. 2008 yılından itibaren İstanbul’da ICHET ile İstanbul Büyükşehir Belediyesi tarafından ortak planlanan projede hidrojen dolum istasyonları kurulması planlanmaktadır⁹².

Resim 2.1: Hidrojen Dolum İstasyonu, Los Angeles Honda Tesisleri



Kaynak: HONDA, Hidrojen Dolum İstasyonu, Los Angeles Honda Tesisleri, (Çevrimiçi) http://www.honda.com.tr/otomobil/honda_fcx.htm, (13.08.2007).

2.2.5. Hidrojen Üretiminde Nano Teknolojiler

Nanometre ölçeğinde fiziksel, kimyasal ve biyolojik olayların anlaşılması ve kontrolü ile nano boyutlarda fonksiyonel malzemelerin, araçların ve sistemlerin

⁹¹ Dixon, **op.cit.**, p.5.

⁹² HONDA, Hidrojen dolum İstasyonu, Los Angeles Honda Tesisleri, http://www.honda.com.tr/otomobil/honda_fcx.htm, (13.08.2007).

geliştirilmesi ve üretimidir. Nanoteknoloji ile nano ölçekteki olayların değerlendirilip, benzerlerinin geliştirilerek uygulanmasıyla bilimde yeni ufuklar açılmaktadır. Nano ölçeğin anlamı ise atom ve moleköl büyüklüğünde maddeleri kullanarak olayları kontrol etmektir. En küçük atom olan hidrojen atomunun 10 katı ya da normal bir insan saç telinin 80000/1 kadar bir büyüklüktür. Nanoteknoloji bu tekniğin öncülerinden Albert Frank’a göre en az bir boyutu 1-100 nm olan materyaller, cihazlar ve sistemler ile ilgilenir. Daha farklı ve üstün nitelikli mekanik, elektrik, ısıtma, optik ve kimyasal özelliklere sahip materyal ve sistemler geliştirmeyi amaçlamaktadır⁹³.

Nanoteknolojinin kullanım ve uygulama alanları⁹⁴;

- Endüstriyel Alan: Mikro makineler, mikro sensörler geliştirme, elektronik elemanların üretimi, enerji, nano boyutlu kaplamalar(cam türevi), nano boyutlu elemanlar arası bağlantılar, chip ve cd üretmi, yeni nesil boyalar.
- Tıp ve Sağlık Alanı: Mikro-nano cerrahi (özellikle göz ve beyin cerrahisi), diagnostik kitler, hücre, doku ve moleküler (DNA gibi) hasar belirlenmesi ve onarımı.

2.2.5.1. Dünya Uygulamaları

Aşağıdaki tablo 2.5’den anlaşıldığı gibi nanoteknolojilere özellikle gelişmiş ülkeler büyük oranda yatırım yapmaktadırlar. Japonya 1,610 milyon dolarla en çok yatırım yapan ülkedir ve bu ülkeyi 1,524 milyon dolarla A.B.D. izlemektedir. Bu iki ülke dünya nanoteknoloji yatırımlarının yaklaşık yarısını yapmaktadır. Çin, G. Kore ve Almanya nanoteknoloji yatırımlarını sürekli olarak arttırmaktadır.

⁹³ Mehmet Doğan, “21. Yüzyıl’ın Teknolojisi Nanoteknoloji”, **Popüler Bilim Dergisi**, Ekim 2004, S:128, s. 32.

⁹⁴ **Ibid.**

Tablo 2.5: Dünya Nanoteknoloji Yatırımları

Nanoteknoloji Yatırımlar	2003 Nanoteknoloji Destekleri (Milyon Dolar)	Devlet Katkısı (%)
Japonya	1,610	50
ABD	1,524	51
Çin	480	58
Güney Kore	280	71
Almanya	218	54
Avustralya	193	48
İngiltere	160	56
Tayvan	115	35
Fransa	90	56
İsrail	50	40
Hindistan	45	44
Finlandiya	33	55
Kanada	31	52
Singapur	30	50
Diğer	685	50
Dünya Toplamı	5,544	52

Kaynak: NTD, “Dünya Nanoteknoloji Yatırımları“, (Çevrimiçi)

http://www.nano.org.tr/docs/nanoteknoloji_yatirimlari.pdf, (21.07.2007).

2.2.5.2. Türkiye Uygulamaları

Nanoteknoloji ülkeler için stratejik bir önem taşımaya başlamıştır. Gelişmiş ülkeler öncelik verdikleri alanları belirleyip çalışmaya ve eğitim programlarını uygulamaya başlamışlardır. Türkiye’de ise nanoteknoloji araştırmaları ağırlıklı olarak henüz kuramsal düzeyde ve devlet kurumları tarafından yapılmaktadır. Avrupa Birliği’nin 6. Çerçeve Programı (FP 6) sayesinde nanoteknoloji araştırmaları yeniden yapılanmış ve hız kazanmıştır. TÜBİTAK tarafından hazırlanan Vizyon 2023 Programında öncelik ve önem verilen alanlardan biri olarak görülmektedir. Türkiye’de yapılan ilk çalışmalar nanoteknoloji merkezi olan UNAM tarafından organize edilmekte olup olumlu başarılar elde edilmeye başlanmıştır. Bunlardan ilki hidrojen ile ilgilidir⁹⁵.

⁹⁵ NTD, “Tek Yol Nanoteknoloji Devrimi: Ekonomik Büyümenin Yeni Adı Nanoteknoloji”, (Çevrimiçi) <http://www.nano.org.tr>, (20.07.2007).

Yenilenebilir enerji olarak hidrojen konusunda çalışmalar gerçekleştiren UNAM araştırmacıları ABD’de yaptıkları araştırmalarda yenilenebilir enerji kaynağı olan hidrojen gazını depolayabilecek yeni bir yöntem geliştirmişlerdir. Daha önce depolanma sorunu yaşandığı için yenilenebilir enerji olarak kullanılamayan hidrojenin, bu yöntemle yenilenebilir enerji olarak kullanılma ihtimali belirmiştir. Geçiş elementleri ile işlevselleştirilen nanotüpler ve moleküllerle çok yüksek kapasitede hidrojenin patlamaksızın depolanabileceği ispatlandı ve ABD %6 oranında hidrojen depolanmasını başarılı sayarken %14 oranında hidrojeni depolamayı başarmıştır⁹⁶.

2.3. KULLANIM ALANLARI

2.3.1. Taşınabilir Elektronik Cihazlar

Hidrojen ve yakıt hücresinin başka bir uygulaması, dizüstü bilgisayarlar ya da telekomünikasyon cihazları gibi portatif güç kaynağıdır. Burada hidrojen, elektrik enerjisini depolamak için bir olasılık olarak uygulanabilir. Bugün bazı hidrojen ürünleri piyasaya girme yolundadır. Rakipleri, küçük depolama kapasiteleri ve yüksek spesifik maliyetleri olan akümülatörlerdir. Hidrojen tedariki, bir depo sisteminde küçük değiştirilebilir saklama birimleri kullanarak gerçekleştirilebilir. Hidrojenle çalışan portatif aletlerin ve yakıt hücresi uygulamasının ek bir faydası da, pilli ve elektrikli aletlere göre daha uzun çalışma süresidir⁹⁷.

Günümüzde dünya da yakıt hücresi teknolojisini piyasaya sokma konusuna odaklanmış 100’den fazla şirket bulunmaktadır. Bunların bir kısmı, şarj edilen bataryalarla ilgili bekleme süresini ortadan kaldırma isteği mevcut olduğu için, büyük taşınabilir elektronik malzeme üreticileridir. Dizüstü bilgisayarlarda ve cep telefonlarında kullanılan yüksek güçlü bataryalarla ilgili masraf oldukça fazla olduğu için, bunların yerine, masrafların kabul edilebilir derecede olabileceği mikro yakıt

⁹⁶ **Ibid.**

⁹⁷ J.F. Hake, J. Linssen , M. Walbeck, “Prospects for Hydrogen in The German Energy System”, **Energy Policy**, Vol.34, 2006, p.1279.

hücrelerinin piyasaya sürülmesinin uygun olacağı düşünülmektedir. Örneğin, dizüstü bilgisayar sahipleri bataryalar için normalde 5,000/kw \$ ile 10,000/kw \$ arasında ödemektedir. Cep telefonları genellikle yaklaşık 1,000/kw \$ çalışan bataryalar kullanır. Elektronik alet tedarikçilerinin çoğunluğu, gelecek iki yıl içinde cihazlarında kullanılacak olan metanolla çalışan mikro yakıt hücrelerini çıkarmak için bir yol haritası hazırlamıştır. Herhangi bir yakıt hücresine benzer olarak, bu cihazlar sürekli çalışmak için anında metanolla şarj edilebilmektedir⁹⁸.

Ulaşım, evsel ve endüstriyel uygulamalarda olduğu gibi taşınabilir cihazlar için de hidrojen ile çalışan ürünler hızlı bir şekilde üretilmektedir. MTI ve Motorola firmalarının cep telefonları, Toshiba, Samsung, Fujitsu, NEC ve Matsushita firmalarının dizüstü bilgisayarlar için geliştirdiği ürünler vardır⁹⁹.

2.3.2. Evlerde Enerji Olarak Kullanımı

Evler, bürolar ve fabrikalar yaşamak ve rahat bir şekilde çalışmak için gereken sıcaklıkların oluşturulmasında ısıtma ve soğutmaya ihtiyaç duymaktadır. Bütün bunlar güneş-hidrojen sistemiyle çok kolay elde edilebilir. Üretilen elektrik, elektrikli rezistans ısıtıcılarıyla ısıtma, klasik klima sistemleriyle soğutma ve ters çevrimli klima cihazlarıyla da ısıtma ve soğutma amaçlı kullanılabilir. Hidrojenin mutfakta kullanımı da oldukça verimlidir. Bilinen metod, gazla çalışan klasik cihazlarda doğalgaz yerine hidrojen kullanılmasıdır. Hidrojen alevi görünmez özellikte olduğundan, aleve renk vermek için hidrojene az bir miktar hidrokarbon ilave edilir. Bu aynı zamanda bir güvenlik tedbiri anlamına gelmektedir. Pişirme verimleri açısından hidrojen %70, doğalgaz kullanılması durumunda ise %60'dır¹⁰⁰.

Aydınlatma sistemlerinde hidrojen kullanımı özellikle çok yüksek apartman ve iş merkezlerinde verimlidir. Hidrojen'den üretilen elektrik, elektrik ampülü kullanan sistemler için en uygun enerjidir. Birçok ev aleti çalışmak için elektriğe

⁹⁸ Kouroussis, Karimi, **op.cit.**, p.353.

⁹⁹ Haluk Görgün, "Dünya'da Hidrojen Enerjisi Çalışmaları", **Türkiye'de Enerji ve Kalkınma Sempozyumu**, İstanbul, Tasam Yayınları, 2006, s.86.

¹⁰⁰ John Bockris, T. Nejat Veziroğlu, Debi L. Smith,, **op.cit.**, s.132.

ihtiyaç duymaktadır. Bu ekipmanların çoğu hidrojenden üretilen elektrikle çalışabilir. Böyle durumlarda, hidrojenin alevli ve katalitik yanmasıyla üretilen ısı enerjisi kullanılabilir¹⁰¹.

2.3.3. Ulaşımında Hidrojen Kullanımı: Yakıt Hücre Teknolojisi

Yakıt hücreleri, William Grove'un cihazın prensibini ilk kez keşfettiği tarih olan 1839'dan bu yana mevcuttur. 1802'de, Britanyalı kimyacı Humphrey Davy suyun, içinden elektrik akımı geçtiğinde, hidrojen ve oksijene ayrıştırılabileceğini keşfetmiştir. Bu işlem daha sonra elektroliz olarak adlandırılmıştır. W. Grove, elektrokimyasal ayrışma işleminin tersine çevrilebileceğini ve bir elektrik akımı şeklinde su, ısı ve enerji oluşturmak için hidrojenin ve oksijenin birleştirilebileceğini başarılı bir şekilde kanıtlamıştır. Birkaç yıl sonra, saf hidrojen ihtiyacını giderme girişimiyle karbon-bazlı yakıtlar başarısızlıkla kullanıldığında, bu konudaki çabalardan, 1889 yılında Ludwig Mond ve Carles Langer, Grove'un çalışmasını tekrar edip, oksijeni hava ve saf hidrojenle ve kömürden elde edilen endüstriyel gazla değiştirirken, %50 verimle 1,5 w üretmeyi başarmıştır. Bu büyük bir başarıydı ve ilk kez cihaza hidrojen yakıtı ismi verilmişti. Fakat gaz içinde mevcut olan karbon monoksitin zehirlemiş olduğu platin katalizörlerinin yüksek maliyetli olması nedeniyle, proje bir kez daha yavaşlatılmıştır. A.B.D'de Francis Baron'un ilk modern hidrojen yakıt hücresini geliştirdiği tarih olan 1932 yılına kadar, cihazın geliştirilmesi için çok başarılı olmayan girişimlerde bulunulmuştur. Devam eden 20 yıl boyunca, 1952 yılında 5kw'lık bir yakıt hücresi sistemi başarılı bir şekilde test edilene kadar, bu tür cihazların güç çıkışını ve verimini artırmak için çok çaba sarf edilmiştir¹⁰².

Yakıt hücreleri, elektrik üretmek ve yan ürün olarak su buharıyla ısıtmak için bir katalizör olması durumunda hidrojen ve oksijeni birleştiren elektrokimyasal cihazlardır. Yakıt hücresi teknolojisi, son birkaç on yıl içinde hızlı bir biçimde olgunlaşmıştır. Bugün yakıt hücreleri enerji verimli olarak tanımlanmaktadır ve ulaştırma ve dağıtımli enerji sektörlerinde en ekonomik uygulamalar olarak

¹⁰¹ Ibid.

¹⁰² Karimi, Foulkes, *op.cit.*, p.284.

öngörülmektedir. Hidrojen yakıtı altyapısının ve yakıt hücrelerinin geliştirilmesinin stratejik ve ekonomik önemiyle ilgili olarak dünya çapında gittikçe büyüyen bir görüş birliği vardır. Hidrojen ekonomisine yapılan ulusal ve uluslararası yatırımlar, hem ileride karşılaşılabilecek zorlukları hem de fırsatları göstermektedir¹⁰³.

Yakıt hücrelerinin pek çok olumlu özelliği vardır; bunlara yüksek verim ve düşük ya da sıfır sera gazı emisyonu dahildir. Ancak bunlar, pek çok kompleks materyal ve üretim sorunları nedeniyle, henüz ticarileştirilememiştir. Özellikle materyal teknolojisi ve elektronikteki büyük ilerlemeler, bunların gelişimiyle ilgili sermaye ve enerji maliyetlerinde etkileyici bir düşüşe neden olmuştur. Bazıları uzun zamandır sınırlı ticari üretimdeyken, pek çok gelecek vaat eden yakıt hücresi dizaynı şu anda gelişim aşamasındadır. Ancak, bunların ticari amaçlarına bir süre ulaşması muhtemel görünmemektedir. Bu nedenle, büyük yakıt hücre üreticisi firmalar, iş stratejilerini, dağıtım gücü üretimi piyasası için yakıt hücrelerinin geliştirilmesine kaydırmaya zorlanmıştır ve yakıt hücrelerinin uzun süre beklenen vaadi bu piyasalarda yerine getirilecektir¹⁰⁴.

Hidrojen yakıt hücresinin olumlu özellikleri, NASA için çalışan pek çok bilim adamı ve mühendisin dikkatini çekmiştir. Yakıt hücresinin herhangi bir nükleer cihazdan daha az tehlikeli olması, onarımı ve mekik üzerine montajı açısından kullanımı daha basittir ve diğer enerji üretim cihazlarından ve bataryalar da dahil diğer depolama araçlarından daha hafiftir. Hidrojen yakıt hücresi teknolojisinin, yeryüzünün dışındaki uygulamalara transfer edilmesinin, iki nedenden dolayı iyi bir görüş olduğu kanıtlanmıştır; İlki, çok miktarda yakıt yani saf hidrojen gerekli değildir; ikincisi ise, ekonomi çok küçük bir rol oynamaktadır. Diğer taraftan, yeryüzündeki uygulamalara bu tür bir teknoloji transferinin zor olduğu kanıtlanmıştır. Başlıca konulardan biri, büyük miktarda saf hidrojene ihtiyaç duyulmasıdır¹⁰⁵.

¹⁰³ Dixon, **op.cit.**, p.2.

¹⁰⁴ Adnan Shihab Eldin, "New Energy Technologies: Trends in the Development of Clean and Efficient Energy Technologies", **OPEC Review**, 2002, p.305.

¹⁰⁵ Karimi, Foulkes, **loc.cit.**

Yakıt pilleri şimdiye kadar özel amaçlar için oldukça kısıtlı sayıda üretilmiş ve kullanılmıştır. NASA'nın 1998 yılında inşaatına başladığı uzay istasyonunun yakıtı hidrojendir. Ayrıca bu istasyona parça taşıyan mekikler yakıt pili sistemlerini kullanmaktadırlar. Uzay istasyonlarında yakıt pilleri elektrik enerjisi üretiminin yanı sıra saf su elde etmek için de kullanılmıştır¹⁰⁶.

Ulaşım sanayindeki pek çok yakıt hücresi üreticisi için orijinal plan, esas itibariyle benzinle çalıştırılacak bir yakıt hücresi geliştirmektir. Hidrojen, bir reformer yoluyla benzinden ayrılacak ve yakıt hücrelerinin daha yüksek verimi ve salınımların daha iyi kontrolüyle, kamunun bunu kabul etmesi zahmetsiz olacaktır. Bununla ilgili sorun, yapılmakta olan araştırma devam ettiği için, benzin ıslahıyla beraber yakıt hücrelerinin masrafının, satın alınabilir fiyat açısından rekabet edilebilir bir otomobil yapamayacak kadar çok yüksek olacağının ortaya çıkmasıdır. Bu çabalar daha sonra azalmış ve hidrojen depolama probleminin çözüleceği ve hidrojen altyapısının yavaş yavaş ortaya çıkacağı düşünülerek, dikkatler tamamen, hidrojenle çalışan kusursuz bir yakıt hücresi aracının geliştirilmesine çevrilmiştir. Yakıt hücrelerinin geliştirilmesine odaklanmış olarak, ulaştırma pazarı için satın alınabilir bir yakıt hücresi geliştirilmesi açısından kaydedilen ilerleme yavaş yavaş görülmektedir. Çabaların çoğu, bir yakıt hücresi materyallerinin maliyetini azaltma ve bu sistemlerin dayanıklılığını artırma konusunda gösterilmektedir¹⁰⁷.

Hidrojenin bir ulaşım yakıtı olarak ticari uygunluğu; fosil yakıtlar daha pahalı hale geldikleri ve artan maliyetlerini karşılamak için, hidrojen yakıtının maliyetinde bir azalma gerektirir. Tüm dünya da nüfus ve araç sayısının tahmin edilen büyümesi, hidrojen yakıtını daha istenir hale getirmekte ve geniş ölçekli bir hidrojen yakıtı endüstrisinin hızla büyümesini gerektirecektir. Hidrojen üretimi konusunda pek çok metot incelenmekte olsa da, suyun elektrolizinin (ve belki yüksek sıcaklıkta suyun termokimyasal parçalanması) 2050 yılına kadar 9 milyardan fazla bir nüfus için yaklaşık olarak 1.5 milyara ulaşması beklenen dünya araç sayısının gelecekteki talebini karşılayacak yeterli miktarda hidrojen üretiminin başlıca yol haline gelmesi

¹⁰⁶ Şahin, **op.cit.**, s.66.

¹⁰⁷ Kouroussis, Karimi, **op.cit.**, p.352.

muhtemeldir. Hidrojen kullanan araçların, tüm dünya da 2000 yılında kişi başına %1 araçtan 2050 yılına kişi başına yaklaşık olarak %16 araca ulaşması tahmin edilmektedir¹⁰⁸.

Ulaştırma sektöründe hidrojenin yakıt olarak kullanımı, petrol ithalatında potansiyel azalmaları ve CO₂ salınımlarının ortadan kaldırılmasını sağlamaktadır. Pek çok gelişmiş ülke, büyük ölçüde ithal edilen petrol ürünlerine bağımlıdır ve gelecekle ilgili tedarik seçenekleri hakkında kaygılanmak için pek çok neden vardır. Petrol ürünlerinin ithalatıyla ilgili ticaret açıkları da göze çarpan bir ekonomik sonuçtur. Dünya çapında, ulaştırma sektörü hava kirliliğinin, özellikle sera gazı salınımlarının büyük bir bölümünü oluşturmaktadır. Su buharı, hidrojenle çalışan araçlarla ilgili başlıca salınımdır ve otomobile ilgili kirlilik konusundaki geleneksel tartışmalar büyük ölçüde yok olmaktadır¹⁰⁹.

Yakıt hücresi teknolojisini ulaştırma sanayi için pazarlama konusunda gösterilen en büyük ve en önemli çabalar, Ballard Power Systems ve GM tarafından yapılanlardır. 2005 yılında Ballard firması, bağımsız analizciler yoluyla, yüksek hacimli yakıt hücrelerinin maliyetinin kabaca 73/kw \$ olduğunu tahmin etmiştir. Karşılaştırma yapıldığında, içten yanmalı motor için yapılan tahmin yaklaşık olarak 30/kw \$ olmuştur. Hoku Scientific ve Acta Nanotech de dahil olmak üzere, maliyet düşürme hedefini başarma konusuna odaklanan pek çok küçük şirket ortaya çıkmıştır. Odaklandıkları konu, mevcut yakıt hücresi zarlarında kullanılan pahalı materyallerin yerine, daha fazla bulunan ve daha ucuz olanları kullanmaktır. Bunun ışığında Ballard 2010 yılına kadar, bir yakıt hücresinin kw başına maliyetinin, içten yanmalı motorun maliyetiyle karşılaştırılabilir hale geleceğini tahmin etmektedir. Ayrıca pek çok şirket ilk olarak üretimdeki tutarsızlıklara daha sonra da daha uzun süre dayanıklı olacak materyallere odaklanarak dayanıklılık konusuna da değinmektedir¹¹⁰.

¹⁰⁸ Paul Kruger, "Electric Power Required in The World by 2050 With Hydrogen Fuel Production", **International Journal of Hydrogen Energy**, Vol.30, 2005, p. 1516.

¹⁰⁹ Dixon, **op.cit.**, p.6.

¹¹⁰ **Ibid**, p.353.

Sistem evrimi konusunda anlaşmazlıklar da mevcuttur. Depolarda dolumu yapılan filo araçlarının, hidrojenin yol ulaşımına en muhtemel geçiş noktası olacağı konusunda genel bir fikir birliği vardır. Ancak, piyasaya ilk girecek yakıt hücreli araç türleri konusunda belirgin bir anlaşmazlık vardır. Tartışmanın bir kısmı bu teknolojinin, ağırlığı düşürmek ve böylece yakıt hücreli sistemlerinin güç ve depolama gereksinimlerini bir derecede azaltmak amacıyla küçük yolcu arabaları için uygun olduğu yönündedir. Diğerleri, teknolojiyi ilk benimseme konusunda büyük ağır araçların daha uygun olduğunu, çünkü alan ve ağırlık gerekliliklerinin özellikle nakliye için daha az zorlayıcı olduğunu savunmaktadır. Yakıt hücrelerinin, lüks ve geniş araçlarda (SUV gibi) aracın işlevlerine göre yardımcı güç sağlayabilme özelliği, sürüş performansındaki küçük kayıpları dengeleyecek bir uygunluk sunmaktadır. Başka bir anlaşmazlık konusu, yakıt hücreli araçların ve sabit yakıt hücrelerinin piyasaya sokulması sırasıyla ilgilidir. Hangisinin ilk önce piyasaya girmesi ve hakim olmasının uygun olduğu konusunda farklılık gösteren görüşler mevcuttur¹¹¹.

Altyapı gelişiminin koordine edilmesi konusundaki zorluğa ek olarak, geleneksel örneklerle karşılaştırıldığında tek parçaların kendisi pahalı olabilir. Bu özellikle, hidrojeni elektriğe çevirmek için kullanılan yakıt hücresi için geçerlidir. Piyasalarda yakıt hücresi fiyatları oldukça yüksektir ve bu da herhangi bir cihaz kullanımının, geleneksel bir güç kaynağı kullanıldığında ortaya çıkan maliyetten binlerce kat fazlasına mâl olmasına neden olmaktadır. Bu, yakıt hücreli bir aracın şu anda yaklaşık olarak 1 milyon dolara mâl olduğu ulaşım sektöründe daha belirgin bir şekilde görülmektedir. Yakıt hücresinin yüksek maliyetine ek olarak, en çok istenen hidrojen kaynaklarının (ör: yenilenebilir enerji kaynaklar) çoğunun kullanımı, şu anda kullanımda olan geleneksel kaynaklardan daha pahalı yakıtlarla sonuçlanacaktır. Güneş, biokütle ya da rüzgar gibi sürdürülebilir kaynaklardan elde edilen hidrojen, aynı enerji içeriğine sahip olan bir miktar benzinden daha pahalıdır. Şu anda sadece doğalgazdan ve kömürden elde edilen hidrojen, benzinle rekabet edebilir durumdadır. Hidrojen kullanımını sağlamak için yüksek maliyetli enerji kaynaklarının ve teknolojilerin birleştirilmesi muhtemelen, yakın ya da orta vadede bir hidrojen enerji

¹¹¹ McDowall, Eames, **op.cit.**, p.1245.

ekonomisinin ortaya çıkmasını engelleyecektir. Ancak uzun vadede gerçekleşmesi beklenmektedir¹¹².

Sonuç olarak, çevresel açıdan sürdürülebilir bir sistemin üretilmesi şartıyla, hidrojenin ve sonuçta hidrojen yakıt hücresi arabaların kullanılması oldukça faydalı görünmektedir. Hidrojen yakıt hücresi arabaların kullanılması, bölgesel ve yerel salınımları dikkate alırken avantajlar sunmaktadır. Diğer bir deyişle, yakıt hücresi bir arabadan çıkan kirlilik su buharıdır. Ancak, farklı parçaların üretilmesi, örneğin yakıt hücresi yığınları, göz ardı edilemeyecek çevresel bozulmaya neden olacaktır. Ek olarak, bir arabayı 1,000 km kullanmak için gerekli olan brüt enerji, içten yanmalı benzinli bir motora sahip bir araba için gerekli olandan daha düşük değildir. Bugünün teknolojisi, otomobil üretmek ve çalıştırmak için ihtiyaç duyulan enerji anlamına gelen birincil enerji kullanımında sadece %7'lik bir azalma sağlayacaktır¹¹³. Yakıt hücrelerinin avantajları ve dezavantajları tablo 2.6'da sıralanmıştır¹¹⁴,

Tablo 2.6 : Yakıt Hücrelerinin Avantajları ve Dezavantajları

Avantajları	Dezavantajları
Zararlı madde içermez, çevre dostudur	Teknolojisi henüz son noktaya gelmemiştir
Hareketli aksam yoktur	Malzeme imal maliyeti yüksektir
Mekanik ve ısı kaybı yoktur	Çalışma prensipleri sıkı kurallara bağlıdır
Çalışmaya kısa sürede başlayabilir	Yakıt olarak kullandığı hidrojenin eldesi henüz ekonomik değildir
Sessiz çalışmaktadır	
Büyük bir gelişim potansiyeli vardır	

Kaynak: Mükerrer Şahin, **Hidrojen Enerjisi Teknolojileri**, Anıl Yayınları, 2006, Ankara, s.65.

¹¹² Waegel ve diğerleri, **op.cit.**, p.292.

¹¹³ Karimi, Foulkes, **op.cit.**, p.288.

¹¹⁴ Şahin, **op.cit.**, s.65.

2.3.3.1. Karayolu Ulaşımı

2.3.3.1.1. Otomobiller

Hidrojenin bir enerji taşıyıcısı olarak kullanımının pek çok etkisi vardır ve ulaşım sektöründeki geleneksel zorlukları çözme fırsatları sunmaktadır. Otomobil üreticileri, enerji tedarikçileri ve ulaştırma sektörü enerji ihtiyaçlarını çevreye ve halk sağlığına zarar vermeden, artan verimle makul bir fiyatı karşılama konusunda büyük bir istek duymaktadır. Bu nedenle, çok çeşitli kamu-özel ortaklıklarında, içten yanmalı motorlarla çalışan araçlar da dahil bir hidrojen enerjisi teknolojileri portföyü, yakıt hücresiyle çalışan araçlar ve hibrit araçlar geliştirilmekte ve test edilmektedir. Yapılan bir analiz, fosil yakıtlardan elde edilen hidrojeni kullanan yakıt hücreli araçların, hibrit araçlara göre önemli bir verim sunmadığını göstermektedir. Uzun vadede hidrojen, üretilen yenilenebilir enerji kaynakları bu denklemi önemli derecede değiştirilebilir¹¹⁵.

Hidrojen yakıt hücreli araçların, tüketiciler ve otomobil endüstrisi tarafından takdir edilen teknolojik ve ekonomik verimi sağladığı görülmektedir. Yakıt hücreli araçlar, daha büyük tasarım esnekliği sağlar, daha az araç donanımı gerektirir ve daha az sayıda mekanik sisteme sahiptir. Çok az yakıt hücresi bugün engelleyici bir şekilde pahalı olmaya devam ederken, maliyetlerindeki aşırı düşüş, otomobil üreticilerini, bu teknolojik seçeneğe önem vermeye teşvik etmektedir. General Motors gelecek 15-20 yıl içinde 1 milyon hidrojen yakıt hücreli otomobil satan ilk firma olma planlarını açıklamıştır. Toyota, BMW ve Honda yakıt hücreli otomobil üretme ve pazarlama hedeflerine sahiptir¹¹⁶.

Otomotiv endüstrisi tasarımı kaçınılmaz olarak düşük maliyetli yakıt stokunun tasarımı ve konfigürasyonu ile bağlantılı olacaktır. Eğer hidrojen düşük maliyette bulunur hale gelirse, ilk olarak mevcut benzin tedarik sistemiyle rekabet eden bir hidrojen tedarik sistemi görülebilir. Bu girişler kentsel alanlarda, özellikle

¹¹⁵ Dixon, *op.cit.*, p.6.

¹¹⁶ *Ibid.*

atık partikül seviyelerinde, kirlilik seviyesi konusunda kaygılı olan çevre gruplarından güçlü destek alacaklardır. Mevcut yakıt kullanım şekillerinin devam etmesinin önündeki önemli bir engel, yükselen atmosferik karbondioksit korkusudur¹¹⁷.

Dört araç türünün ekonomik ve çevresel bir karşılaştırması yapıldığında; geleneksel, hibrit(elektrik ve benzin beraber), elektrik ve hidrojen yakıt hücresi. Analiz, karma ve elektrikli arabaların diğerlerine göre daha avantajlı olduğunu göstermektedir. Elektrikli bir arabanın kullanımıyla ilgili ekonomiler ve çevresel etki, büyük ölçüde elektriğin kaynağına bağlıdır. Eğer elektrik, yenilenebilir bir enerji kaynağından geliyorsa, elektrikli araba karma arabaya göre daha avantajlıdır, fosil yakıtlardan geliyorsa ve elektrik yerleşik olarak üretiliyor olsa bile elektrikli araba rekabetçidir. Eğer elektrik, yüksek kapasiteli bir batarya ve elektrik motoruna bağlı bir gaz türbin motorundan yaklaşık %50-60 verimle üretiliyorsa, elektrikli araba pek çok açıdan üstün hale gelir. Gaz türbin dönüşlerine yakıt hücrelerinin ve iyon iletken zarların uygulanması, elektrik üretim veriminin daha da artmasını ve hava kirliliği salınımlarının daha da düşmesini sağlar. Bu nedenle, yerleşik elektrik üretebilme özelliğine sahip olan elektrikli araba, enerji verimli ve ekolojik olarak tehlikesiz araçların geliştirilmesi konusunda daha kapsamlı araştırma yapılmasına değen faydalı bir seçenek olarak ortaya çıkmaktadır¹¹⁸.

Tablo 2.7’de hidrojen ve Petrolün yakıt olarak karşılaştırılması yapılmıştır. Buna göre; Oldukça düşük çevre kirliliği, su gibi en temiz enerjilerden elde edilebilir olması, geliştirilme teknolojisinin sürekli ilerlemesi bakımından hidrojen üstün nitelikleri olan bir yakıttır. Bunun yanı sıra üretimi ve depolanabilmesi konusunda sıkıntılar bulunmaktadır. Bu teknik zorlukların zaman içinde aşılabacağı düşünülmektedir.

¹¹⁷ S.S. Penner, “Steps Toward the Hydrogen Economy”, **Energy**, Vol.31, 2006, p.41.

¹¹⁸ Mikhail Granovski ve Diğerleri, “Economic And Environmental Comparison of Conventional, Hybrid, Electric And Hydrogen Fuel Cell Vehicles”, **Journal of Power Sources**, Vol.159, 2006, p.1192.

Tablo 2.7: Hidrojen ve Petrol’ün Karşılaştırılması

Hidrojen	Petrol (Benzin-Dizel)
Düşük Çevre Kirlenme	Yüksek Çevre Kirlenme
Hacimsel Enerji Yoğunluğunun düşük, kütleli enerji yoğunluğunun büyük olması	Büyük Enerji Yoğunluğu
Sudan ya da hidrokarbonlardan sentetik yollardan yüksek maliyetle elde edilmesi	Yeraltı kaynaklarından ekonomik olarak elde edilmesi
Teknolojisinin yeni olması	Uzun yıllardır kullanılan teknolojiye sahip olması
Geliştirilme teknolojisinin önünün açık olması	Teknolojinin sınırlı olması
Eldesinin Güçlüğü	Eldesinin kolaylığı
Zor depolanması	Kolay depolanması

Kaynak: Mükerrrem Şahin, **Hidrojen Enerjisi Teknolojileri**, Anıl Yayınları, 2006, Ankara , s.118

Hidrojen’in benzinden daha yüksek verimle yandığı ve en temiz yakıt olduğu bilimsel olarak ortaya konulduğu için, hidrojeni otomobillerde yakıt olarak kullanma konusuna büyük ilgi gösterilmektedir. Hidrojenin depolanması alanındaki en büyük konu, maliyettir. Hidrojeni dönüşümlü olarak oda sıcaklığında ve düşük basınçlarda soğutan metal hidritler bu alanda bir fırsat sunmaktadır. Bu teknoloji, hidrojeni, sıvı halinden daha yüksek yoğunlukta ve düşük basınçta depolama fırsatı sunmakta böylece otomobil uygulamaları için potansiyel sağlamaktadır. Ancak, metal hidritlerin maliyeti hâla cazip hale gelemeyecek kadar yüksektir¹¹⁹.

2.3.3.1.2. Otobüsler

Otobüs projelerine, Mercedes-Benz tarafından geliştirilen Citaro, 2002’de geliştirilen Man modeli hidrojen otobüsü, 1999 yılında geliştirilen Neoplan hidrojen otobüsü gösterilmektedir. Otobüslerde hidrojen kullanımı için prototip yakıt hücreli ve hibrit araçlar geliştirilmiştir ve teknolojinin geçerliliği denetlenmiştir, fakat maliyetler kitle üretimi için engelleyicidir. Otobüs üreticilerini ve ticari enerji firmalarını içeren, ABD Kaliforniya Yakıt Hücresi Ortaklığı gibi kamu özel ortaklıkları, hidrojenle çalışan araçların maliyetlerinin düzenlenmesine ve

¹¹⁹ Ram Ramachandran, Raghu K. Menon, “An Overview of Industrial Uses of Hydrogen”, **International Journal of Hydrogen Energy**, Vol. 23, No. 7, 1998, p.594.

azaltılmasına yardımcı olan teknoloji gelişimi ve geçerlilik platformlarıdır. Hidrojen ve yakıt hücresi teknolojilerinin tamamen ticarileştirilmesi, hükümetler ve özel sektör arasında hem ulusal hem de uluslararası işbirliğini gerektirecektir. ABD Kaliforniya Valisi Schwarzenegger gibi bazı hükümet liderleri, yakıt hücreli ve hibrit araçların taleplerini karşılamak için bir hidrojen dolum altyapısının inşa edilmesini taahhüt etmiştir¹²⁰.

2.3.3.1.3. Trenler

Hidrojen yakıt hücreli pilleri demiryolu taşımacılığı içinde önemlidir. Son yıllarda bu konuyla ilgili önemli mesafeler alınmıştır. Özel olarak dizayn edilmiş yalıtımlı vagonlarda hidrojen süper soğuk ve sıvı olarak depolanabilmekte, hacim sorunu olmayan lokomotiflerde seri bağlanmış bataryalarda kullanılmaktadır. Resim 2.2.'de görüldüğü gibi Kanada Demir Yolları, Pasifik Demir Yolu Hattı'nda Toronto ile Winnipeg arasında çalıştırılacak hidrojen-dizel motorlu elektrikli tren projesi inşa halindedir¹²¹.

Resim 2.2: Toronto ve Winnipeg Güzergahında Çalıştırılacak Hidrojen-Dizel Motorlu Elektrikli Tren Projesi



Kaynak: VRC (Via Rail Canada), (Çevrimiçi)

www.viarail.ca/htmaps/toro-winn_ns.html, (15.09.2007).

¹²⁰ Dixon, **op.cit.**, p.10.

¹²¹ VRC (Via Rail Canada), (Çevrimiçi) www.viarail.ca/htmaps/toro-winn_ns.html, (15.09.2007).

2.3.3.2. Deniz Ulaşımı

2.3.3.2.1. Gemiler

Özellikle İzlanda ve Norveç balıkçılık sektörü için hidrojen yakıtlı ticari gemi projeleri ortaya koymuşlardır. Bu ülkeler hidrojenin hem düşük maliyeti hemde denizlere en az zarar veren yakıt olması nedeniyle hidrojen projelerine destek vermektedirler. Yakıt hücreli motorlar kullanarak 500 kw'lık bir motorla yaklaşık 100 ton balık avlanması hedeflenmiştir. Bunun için 1 ton hidrojen yakıtına ihtiyaç olduğu tahmin edilmektedir¹²². Gemiler, yolcu arabaları kadar ebat ve ağırlık açısından zorluk yaratmamaktadır, bu nedenle depolama bir sorun olarak görülmez. Hem yakıt hücresi maliyetlerinde azalma hem de ilerlemeyi teşvik edecek öğrenme süreçleri sağlamaktadır¹²³.

2.3.3.2.2. Denizaltılar

Denizaltılarda yakıt hücrelerinin ve hidrojenin kullanımı ilk defa 1989 yılında hidrojen enerjisi ile çalışan denizaltı Perry Group tarafından üretilmiştir. Benzer şekilde Alman denizaltı programı dahilinde Siemens tarafından 120 kw'lık PEM tipi modül üretilmiştir¹²⁴.

Yeni nesil U31 Alman denizaltıları hidrojeni yakıt olarak kullanmaktadır. Aşağıda resim 2.3'de görüldüğü gibi Siemens tarafından prototipi yapılan ve ticarileştirilen PEM yakıt pili kullanılan bir denizaltıdır¹²⁵.

¹²² Thorsteinn I. Sigfusson, "Hydrogen Island", **Apec Workshop**, University of Iceland, (07.04.2004), p.39.

¹²³ McDowall, Eames, **loc.cit.**

¹²⁴ Görgün, **op.cit.**, s.85.

¹²⁵ Hydrogencommerce, U31 Hidrojen yakıtlı Alman Denizaltısı, (Çevrimiçi) <http://hydrogencommerce.com/index16.htm>, (19.10.2007).

Resim 2.3: Hidrojen Yakıtlı U31 Alman Yapımı Denizaltı



Kaynak: Hydrogencommerce, U31 Hidrojen Yakıtlı Alman Denizaltısı, (Çevrimiçi) <http://hydrogencommerce.com/index16.htm>, (19.10.2007).

2.3.3.3. Hava Ulaşımı

2.3.3.3.1. Yolcu Uçakları

Uçaklarda hidrojenin yakıt olarak kullanımı Kerosine(uçak yakıtı) göre yaklaşık 3 kat daha fazla enerji içermesi nedeniyle hem de taşınan toplam yakıt miktarını azaltması bakımından uçakların ağırlıklarının azaltılması bakımından oldukça önemlidir. Böylece uçakların hacimleri artacak ve daha fazla yolcu alabilecektir. Hidrojenin yakıt olarak kullanımı olası kaza anında da oldukça avantajlı olup, yanma sonucu sadece su buharı çıkarmaktadır. Dolayısıyla uçak kazaları kayıplarında en aza inmesi sağlanacaktır. 1990 yılında Alman ve Rus firmaların ortak girişimleri ile başlatılan çalışmalar üç ayrı konsept üzerinde yoğunlaşmıştır; Tupolev T-156, Dornier DO328 ve Airbus A310¹²⁶.

2.3.3.3.2. Uzay Araçları

Hidrojenin yakıt olarak birincil uygulaması, havacılık ve uzay sanayindedir. Uzaya gönderilen insansız araçlar hidrojen yakıtını kullanmaktadır. Likit hidrojen ve oksijenin birleşimi, yıllardır çeşitli uygulamalar için itici gaz olarak kullanılmıştır.

¹²⁶ M. Şahin, *op.cit.*, s.87.

Hidrojen ve oksijen karışımının, itici gazın her birim ağırlığı için en yüksek enerji miktarını verdiği tespit edilmiştir ki bu uzay uygulamalarında kilit bir ölçüttür. Ancak, hidrojeni sıvılaştırma maliyeti ve sıvı olarak saklayabilme ile güvenli bir şekilde kullanabilmenin zorluğu likit hidrojeni otomobil gibi diğer yakıt uygulamalarından uzak tutmuştur¹²⁷.

Gemini ve Apollo uzay programlarında General Electric ve United Technologies Research Center tarafından üretilen yakıt hücreleri kullanılmış olup üretilen elektrik enerji ihtiyacının karşılanmasında, yan ürün olan su uzay aracı içinde su ihtiyacının karşılanmasında kullanılmıştır. Halen uzay mekiklerinde yakıt hücreleri kullanılmaktadır¹²⁸.

2.4. HİDROJEN EKONOMİSİNİN ETKİLERİ

2.4.1. Avantajları

Bir hidrojen ekonomisinin, geleneksel enerji sistemlerine göre pek çok avantajı vardır. Ulusal güvenlik, sera gazı salınımları, sınırlı fosil yakıt kaynakları ve çevre kalitesi ile ilgili kaygılar eğer hidrojen enerji sistemleri kullanılırsa, kısmen ya da tamamen çözülmektedir. Hidrojen yakıtı yenilenebilir ve bu nedenle potansiyel üretim teorik olarak sınırsızdır. Fosil yakıtlar, biokütle ve su gibi yakıt çok yönlülüğünü teşvik eden çok sayıda hammaddeden hidrojen elde edilebilir. Yakıt hücreleri ve yanmalı motorlar gibi hidrojen kullanan son kullanım teknolojilerinin, çevre ve toplum sağlığının korunmasını geliştiren bir güvenlik avantajı vardır¹²⁹. Yeni ve yenilenebilir kaynaklar içinde en gelecek vadeden kaynak hidrojen olarak görülmektedir. Bunun nedenlerinin başında petrol ve doğalgaz sistemlerinin arkasından en kolay adapte edilebilen sistem hidrojendir¹³⁰.

¹²⁷ Ramachandran, **loc.cit.**

¹²⁸ Görgün, **loc.cit.**

¹²⁹ **Ibid.**, p.2.

¹³⁰ Cenk Pala, “Dünya’da ve Türkiye’de Enerjinin, Suyun, Ekonomi Politikası ve Geleceği”, **İktisat İşletme ve Finans Dergisi**, S: 208, Temmuz 2003, s.25.

2.4.1.1. Ulusal Güvenlik

Hidrojen, temel kaynak su olduğu için, tüketilemez. Eğer uygun uygulamalarda dikkatli bir şekilde kullanılırsa, neredeyse süresiz olarak, tamamen güvenilir ve sürdürülebilir enerji tedariki sağlayabilir. Bunun aksine, fosil yakıt ve uranyum, çıkarma ve tüketme yoluyla eksilmektedir. Hidrojenin gelecekte enerji güvenliği, ekonomik büyüme ve sürdürülebilir gelişme için yenilenebilir enerji kaynakları ve taşıyıcılarıyla rekabetçi ve verimli enerji gibi çok sayıda avantajları vardır.

2.4.1.2. Sera Gazlarının Sınırlanması

Elektrik gibi, ikinci bir enerji taşıyıcısı olan hidrojen, bütün birincil enerji kaynaklarından - kömür, petrol ve benzinden, nükleer, biyokütle ya da diğer yenilenebilir kaynaklara - elde edilecektir ve yenilenebilir enerjilerin kaynak olduğu her durumda çevresel ve iklimsel açıdan temizdir¹³¹.

2.4.1.3. Çevre Kalitesi

Hidrojen, diğer geleneksel enerji kaynakları ve teknolojilerine göre çok daha az çevresel etki yaratır. Hidrojenin ve yakıt hücreli teknolojilerin çeşitliliği, farklı uygulamalarda kullanılmaları için esnek bir seçenek dizisi sağlar.

Hidrojen ve yakıt hücresi teknolojilerinin, hem kırsal hem de kentsel alanlarda gelecekte ortaya çıkacak enerji ihtiyaçlarını karşılama konusunda çok önemli bir rolü vardır. Bu tür teknolojilerin geliştirilmesi ve kullanılmasına, özellikle olumsuz çevresel etkiler ve fosil bazlı üretimin siyasi sonuçları hakkında artan farkındalığın ışığında, yüksek öncelik verilmelidir. Dünya da sürdürülebilir enerji gelişimi ihtiyacı hızlı bir şekilde artmaktadır. Aslında, bu teknolojilerin yaygın

¹³¹ Winter, *op.cit.*, p.683.

kullanımı, hem gelişmekte olan ülkelerde hem de sanayileşmiş ülkelerdeki enerji sektörlerinde sürdürülebilirlik sağlamak açısından önemlidir¹³².

2.4.1.4. İstihdam

Sabit ya da hareketli yanmalı motorların yakıt hücreleriyle değiştirilmesi, dövme endüstrisini (krank milleri, kam milleri, krank kolları vs.) ve döküm endüstrisini (motor mahfazaları, dişli mekanizmaları vs.) küçültür ve membran teknolojileri (yakıt hücresi yığınları), reformer teknolojileri ile vb. endüstrilerini büyütür¹³³.

Petrol şirketleri, sadece A.B.D. ve Kanada gibi Batı ülkelerinde değil ayrıca dünya arzının %65'inden fazlasının bulunduğu Orta Doğu'da ekonominin büyük bir bölümünü oluşturmaktadır. Eğer uygun adımlar atılmaz ve uzun vadeli planlamalar yapılmazsa, bu ülkelerin ekonomisinde bir çöküş yaşanması kaçınılmaz olacaktır. İstihdam konuları da çok önemlidir. Diğer bir deyişle, alternatif enerji alanı iş mi yaratacak yoksa işi ortadan mı kaldıracaktır? Bu çok kritik bir meseledir çünkü hidrojen ekonomisinin yarattığı işlerin çoğu yüksek tekniğe dayalı olacaktır. Bu tür çoğu iş, genel işçilere değil de, vasıflı işçilere yönelik olacaktır. Hidrojenin, tüketici için daha ucuz ve güvenli olmasını sağlama konusunda otomasyon, bilgisayarlaşma ve mekanizasyon daha büyük bir rol oynayacaktır¹³⁴.

2.4.2. Dezavantajları

2.4.2.1. Hidrojen Dolum İstasyonlarının Bulunmaması

Hidrojen en hafif elementlerden biri olduğu için, saklamak karmaşık bir sorundur. Ortam sıcaklığında hidrojen, aynı enerji miktarını içeren benzinden 2000-3000 kat daha fazla hacime sahiptir. Hidrojeni sıvılaştırmak, depolama hacim

¹³² İbrahim Dinçer, "Environmental And Sustainability Aspects of Hydrogen And Fuel Cell Systems", **International Journal of Energy Research**, Published Online in Wiley InterScience, 2006, p.4.

¹³³ Winter, **op.cit.**, p.684.

¹³⁴ Karimi, Foulkes, **op.cit.**, p.293.

zorluklarını azaltmaktadır fakat başka teknolojik engeller ortaya çıkarmaktadır. Hidrojeni depolamak için karbon nanotüpleri, metal hidritler ve yeni kimyasal reaktif materyaller gibi gelişmiş materyaller geliştirilmekte ve test edilmektedir. Hidrojen topluluğunda, hidrojen depolama sorunlarını çözmek için materyal biliminde gelişmelere ihtiyaç olduğu yaygın olarak anlaşılmıştır¹³⁵.

Geleneksel olarak, otomobil ve ulaşım yakıtı endüstrileri, büyük ölçüde birbirine bağlı olarak çalışmıştır bu da hidrojen ulaştırma ekonomisinin ekonomik gelişimini zorlaştıran bir durumdur. Yaşanılan ikilem, hidrojen dolum istasyonlarının mı yoksa hidrojen arabalarının mı ilk önce yapılması konusundadır. A.B.D. gibi büyük bir ülkede enerji üretme, depolama ve dağıtma için gerekli olan altyapının, milyarlarca dolara mâl olduğu tahmin edilmektedir. Enerji altyapı yatırımları genel olarak, değişen piyasa koşullarını yerine getirmek için daha sonra kolaylıkla değiştirilemeyen sabit bir enerji sistemine en azından 30 yıllık bir bağlılığı temsil eder. Bu nedenle, ilk yatırım kararlarının bir enerji projesinin gelecek vaat etmesinde kritik rolü vardır. Bu durumda, hidrojen tedarik piyasalarına yatırım yapanlar, hidrojen yakıtlı arabaların giderek büyüyen bir piyasası olduğuna dair kanıt elde edene kadar hidrojen ekonomisini sermayeleştirilme risklerini almak konusunda isteksiz olabilirler. Bunun tersine, otomobil imalatçıları, onlara hizmet verecek hidrojen yakıtı dolum istasyonları yapılana kadar, hidrojenle çalışan otomobiller imal etmeyi istemeyebilirler. Sonuç olarak, hidrojen teknolojisi için ölçek ekonomileri kuran sağlam bir ticari satış platformu oluşturmak oldukça zordur¹³⁶.

Dolum altyapısının yokluğunda yakıt hücreli araçlar için bir pazar oluşturma zorluğu ve hidrojenin depolanması, hidrojen ekonomisine geçişte büyük bir engel olabilir. İlk olarak basınçlı ve sıvılaştırılmış hidrojen kullanılabilir fakat her birinin eksiklikleri vardır. Dolayısıyla, araştırma ve geliştirme çabaları şu anda, gelişmiş hidrojen depolama teknolojilerine yönlendirilmektedir. Katı durumda saklamanın ve nanoteknolojinin (mikroskopik küçüklükte olan nesnelerin imalatı ve ölçümü teknolojisi), özellikle depolama hacmi arttıkça, potansiyel olarak geçerli seçenekler

¹³⁵ Dixon, **op.cit.**, p.7.

¹³⁶ Waegel ve diğerleri, **loc.cit.**

olduğu kanıtlanabilir, fakat bu yaklaşımlar hala büyük ölçüde deneme aşamasındadır¹³⁷.

2.4.2.2. Yüksek Maliyetler

Bir enerji taşıyıcısı olan hidrojen pek çok farklı kaynaktan üretilebilir fakat uygun düşük maliyetli hidrojen dağıtım sistemleri geliştirilme aşamasındadır. Bugün, en ucuz seçenek, geleneksel perakende yakıt fiyatlarından %25–100 daha fazla doğalgaz buhar reformasyonudur. Kömürden, petrolden ve sudan hidrojen üretme teknolojileri daha karmaşık, daha az verimli ve pahalıdır. Güneş, rüzgar, biokütle, jeotermal ve su gücü gibi yenilenebilir enerji, su moleküllerini ayırmak için elektrik tedarik edebilir fakat bu teknolojiler, yakın gelecekte rekabet edilebilir fiyatta olmayacaktır. Hidrojen üretiminin maliyeti son yıllarda azalmasına rağmen, hala geleneksel yakıt fiyatlarıyla rekabet edememektedir¹³⁸.

Parçalarının maliyetlerini düşürmek, ihtiyaç duyulan altyapı seviyesini oluşturmak ve hidrojenin bir enerji taşıyıcısı olarak etkili kullanımıyla ilgili teknik problemleri çözmek için, hem hükümet hem de sanayi kaynaklarından büyük yatırımlara ihtiyaç duyulacaktır. Bu yatırımın, teknik problemleri çözmek ve hidrojen yakıt hücreli devirde daha az maliyetli parçalar geliştirmek için yıllar süren araştırma ve geliştirmeyi üstlenmesi gerekecektir. Bu konuda, Amerika Birleşik Devletleri'nde hem kamu sektörü hem de özel sektör enerji araştırma ve geliştirme (Ar-Ge) yatırımları konusundaki trendin giderek azalmasıyla ilgili olarak büyük kaygılar mevcuttur. Bu örnek, ulusal sermaye taahhütlerinin, hidrojen enerjisi ekonomisinin tamamen geliştirilmesi için gerekli olan süre boyunca sürdürüleceği yönündeki olasılık konusunda kuşkuvar olduğunu göstermektedir. Devlet yatırımları oldukça iyi düzeydedir ve belli eyaletlerde (Kaliforniya) artmaktadır. Fakat henüz büyük özel sektör taahhütlerini eşit derecede etkilememiştir. Sonuç olarak, ticari açıdan uygun ve

¹³⁷ Ibid.

¹³⁸ Dixon, loc.cit.

yaygın kullanımlı teknolojilere hidrojen yakıt hücreli sistemlerin geliştirilmesi için yıllarca süren yüksek desteğin korunup korunmayacağı belirsizdir¹³⁹.

Yakıt hücreleri 100 yıldan uzun bir süre önce icat edilmiştir. Geliştirilmeleri ve kullanılmalarında ciddi ilerlemeler sağlanmış olmasına rağmen, bu teknoloji hâla çok pahalıdır ve güvenilirlikleri henüz tam anlamıyla geçerli kılınmamıştır. Kamu ve özel sektör araştırma ve geliştirmesi, maliyette 10 kat azalma elde etmiştir fakat ticarileştirilmesi için daha fazla maliyet düşüşlerine ihtiyaç duyulmaktadır. Sistem güvenilirliğini ve uzun ömürlülüğünü artırmak için büyük araştırma ve geliştirmeye ihtiyaç vardır. Materyal biliminde, katalizör kullanımında, sistem tasarımı ve entegrasyonunda, üretim, geri dönüşüm ve sürdürülebilir tasarımdaki ilerlemeler, sonuçta müşteriye ve topluma fayda sağlayan yakıt hücrelerine destek verebilir¹⁴⁰.

2.4.2.3. Teknolojik Deneyimsizlik

Yerleşik hidrojen depolama ve hidrojenli araçların mevcut sınırlı kullanımı, yakıt hücrelerinin sınırlı ömrü ve diğer pek çok teknolojik zorluk, belirli hidrojen gelecekleri için spesifiklerdir. Hidrojen ekonomisinin uzun vadeli bir hedef olarak geliştirilmesine ilgi gösterilirken, teknolojik bakımdan hazır oluşu, pazar kabulü ve hidrojen sektörü yatırımlarıyla ilgili sorular mevcuttur. Bazı şüpheciler, hidrojen ekonomisinin geleceğinin istikrarsız olduğunu, ekonomik ve çevresel faydaların çok büyük olmadığını belirtmektedir. ABD Ulusal Bilimler Akademisi'nin yayınladığı bir rapor, bilim adamlarının ve mühendislerin, hidrojen ekonomisiyle ilgili tedirgin edici teknolojik zorluklarla karşı karşıya olduğunu belirtmektedir. Akademi raporu genellikle belirtilmesi gereken üç büyük teknolojik ve ekonomik engeli kabul etmektedir¹⁴¹;

- Hidrojenin, geleneksel yakıtlarla rekabet edebilir fiyatlarda üretimi ve uygun arzı.

¹³⁹ Waegel ve diğerleri, **op.cit.**, p.293.

¹⁴⁰ Dixon, **loc.cit.**

¹⁴¹ **Ibid.**

- Hidrojeni verimli, ekonomik ve güvenli bir şekilde saklama.
- Düşük maliyetli güvenilir yakıt hücreleri üretimi.

2.4.2.4. Halkın Kabul Edebilirliği

Halkın değişikliğe direnç göstermesi önemli bir meseledir. Kamu işbirliği ve alışkanlık değişimi aşılması gereken adımlar olacaktır. Hükümetler kamuyu medya ve diğer kaynaklar yoluyla bilgilendirmek için inisiyatifi ele almalıdır. Toplum genel olarak, değişmek için iyi bir neden olmadıkça değişmeyecektir. Eğer mevcut enerji kaynağı işi görüyorsa, özellikle bu değişiklik toplum açısından zaman, para ve çaba alıyorsa, değişikliğe direnç gösterilecektir. Kamu eğitimi, sadece yasa yoluyla elde edilemeyen bu tür bir yeni teknolojinin ayrılmaz bir parçasıdır¹⁴².

Enerji politikası öncelikleri ve yeni bir enerji geleceğiyle ilgili olarak ulusal ya da uluslararası oybirliği oluşturmak ve bunu sürdürmek zordur. Hidrojen ve yakıt hücresi teknolojisiyle ilgili zorluklar henüz çözülmediği için, önemli araştırma ve geliştirme konularıyla karşı karşıya kalınmaktadır. Mevcut çok az hidrojen enerjisi altyapısı vardır ve inşa etmek yıllar süren çok büyük mali yatırımları gerektirecektir¹⁴³. Sadece birkaç çalışma tarafından ele alındıktan pek çok engel de vardır. Bunlar¹⁴⁴,

- Yenilenebilir enerji kullanımının fazla miktarda olmaması.
- Çevreyi göz ardı eden sosyal değerler.
- Halen fosil yakıtları destekleyen düzenleyici bir çerçeve.
- Geçerli teknolojilerin, hidrojenle rekabeti benimseyebilmesi.
- Global işbirliği ya da eylem planının olmaması.
- Başta platin olmak üzere yakıt hücresi parçalarının sınırlı bulunması.
- Teknoloji geliştiricilerin sermayeye ulaşma zorluğu.
- Hidrojen ürünleri için talebin olmaması.

¹⁴² Karimi, Foulkes, **op.cit.**, p.294.

¹⁴³ Dixon, **op.cit.**, p.2.

¹⁴⁴ McDowall, Eames, **op.cit.**, p.1243.

- Sosyal muhalefet, uygulanabilirlik konusunda tereddüt ve karbon tutmanın yüksek maliyeti.

2.4.2.5. Politik Engeller

İlk başta, herhangi bir politik engel olmasından ziyade politik kazanımlar olacağı düşünülmektedir. Batı ülkeleri hükümetleri bu tür bir sistemden fayda sağlayabilir çünkü ülkeleri artık yabancı petrole bağımlı olmayacaktır. Bu durum, aşırı derecede Orta Doğu'daki petrole bağımlı olan A.B.D için kesinlikle doğrudur. Dünyanın bu bölgesinden çıkmak, A.B.D halkını hem para hem de endişeden kurtaracaktır. Artık bu alanların güvenliğini sağlamak ve bölgedeki farklı ülkelere ambargo uygulamak gibi bir ihtiyaç olmayacaktır. Son olarak, bu ülkelerle yürütülen siyasi ilişkilerde askeri bir eylem ve müdahaleye gerek kalmayacaktır. Ancak, daha kapsamlı düşünüldüğünde, aksi ortaya çıkmaktadır. Petrol kartelleri gibi geleneksek enerji sağlayıcılar, alternatif enerji kaynaklarının çıkmasını durduracak ya da en azından yavaşlatacak güçlü bir lobi grubudur. Daha önce de belirtildiği gibi, fosil yakıttan hidrojene geçiş, bu birliklerin çökmesine neden olabilir. Diğer bir faktör, hidrojen ekonomisinin benimsenmesiyle, petrol arama, sondajlama, işleme ve dağıtma konusundaki işlerin kaybolmasıdır. Eğer bu işlerin yerine, hidrojen üretimi ve hidrojen ekonomisinin geliştirilmesiyle ilgili diğer işler yer almazsa, siyasi partilerin çoğu bu tür stratejileri benimseme konusunda isteksiz olacaktır¹⁴⁵.

2.4.3. Hidrojen Ekonomisine Geçiş Senaryoları

Bir hidrojen ekonomisine geçişi düşünürken, her birinin ayrı özellikleri olan çok sayıda alternatif yol tanımlanabilir. Enerji taşıyıcısı olarak hidrojene bağlı olan enerji sisteminin, hidrojen enerjisi ekonomisi olarak tanımlandığında hidrojen; üretimi, depolanması, taşınması ve kullanımı için gerekli olana altyapı, iş ve materyalleri içerir. Bu nedenle hidrojen enerjisi ekonomisinin iki belirgin özelliği, birincisi hidrojen uygulamaları ikincisi hidrojen kaynaklarıdır.

¹⁴⁵ Karimi, Foulkes, **op.cit.**, p.293.

Hidrojen üretim sistemleri ve yakıt hücreleri gibi belirli hidrojen teknolojileri için gerekli olan pazar, ilk olarak gelişmekte olan ülkelerden gelebilir. Sonuçta daha az maliyetli teknolojiler gelişebilir; bu da her iki yöndeki teknoloji transferine neden olabilir. Fosil yakıtı altyapısı bu ülkelerde tam anlamıyla gelişmediği için, yeni hidrojen altyapısının düzenlenmesi daha kolay olabilir. Teknolojinin gelişmekte olduğu ülkelerde, yeni sisteme geçiş sırasında, eğer firmalar; elektrolizörler, su kullanan yakıt üretim süreçleri, bor bileşenleri ve hidrokarbonlar gibi her iki sistemi (hidrojen ve klasik) sunan ürün ve bileşenlerin bir karışımını kullanırlarsa, firmaların işlerine devam etmelerine yardımcı olacaklardır¹⁴⁶.

Hidrojen ekonomisi bu şekilde gözden geçirilerek, üç yol kapsamlı olarak tanımlanabilir; niş hidrojen senaryosu, geçici hidrojen senaryosu ve sürdürülebilir hidrojen senaryosu. Ekonomik, sosyal ve çevresel uygulamalar, her bir yol için büyük ölçüde farklılık göstermektedir¹⁴⁷.

2.4.3.1. Niş Hidrojen Senaryosu

Niş hidrojen senaryosuna göre hidrojen, seçilmiş amaçlar (örneğin şirket araçları) için kullanılan bir yakıt olarak var olacaktır ancak ulusal enerjinin kullanımının sadece küçük bir bölümünü oluşturacaktır. Bunun sonucu olarak hidrojen bir yakıt olarak yaygın kabulü ve erişilebilirliği elde edemeyecek ve muhtemelen sadece birkaç bölgede bulunacaktır. Ulaşım yakıtı olarak, hidrojen, daha geniş müşteri kabulüne engel olacak bölgesel parçalanmadan rahatsızlık yaşayacaktır. Hidrojenin hem endüstriyel hem de filo kullanımı ek uygulamaları harekete geçirebilir. Fakat altyapı engelleri, geniş çaplı kullanımları engelleyecektir. Hidrojen tedarikini arttırmak ya da oluşturmak için çok az teşvik var olacaktır; çünkü niş(küçük ve bölgesel) uygulamalar egemen olacaktır. Hidrojenin sınırlı kullanımından dolayı, niş ekonomisi, hidrojenin bir enerji taşıyıcısı olarak kullanımının istenilen faydalarını

¹⁴⁶ Sema .Z. Baykara, “Hydrogen As Fuel: A Critical Technology?”, **International Journal of Hydrogen Energy**, Vol.30, 2005, p.548.

¹⁴⁷ Waegel ve diğerleri, **op.cit.**, p.294.

büyük ölçüde elde edemeyecektir. Hidrojen, enerji kullanımının çevresel etkisine tesirde bulunacak ya da yabancı enerji kaynaklarına bağıllığı azaltacak kadar yeterli miktarda kullanılmayacaktır¹⁴⁸.

Çeşitli eski niş paylı pazarların, bir hidrojen ekonomisinin gelişimi için önemli bir aşama sağladığı kabul edilmektedir. Bu eski pazarların ya da teknolojilerin çoğunun halkın alışkanlığını artırmanın yanı sıra, öğrenme ve ölçek ekonomilerine müsaade eden küçük paylı uygulamaları sağlayarak, maliyet engellerinin üstesinden geldiği belirtilmektedir. Bu uygulamalardan bazıları şunlardır¹⁴⁹;

- Hidrojen içten yanmalı motorlar, yakıt hücreli araçlardan (FCV) oldukça düşük maliyetlidir ve muhtemelen daha pek çok yıl böyle olmaya devam etmesi beklenmektedir. Bu araçların benimsenmesi, bir hidrojen pazarını teşvik eden düşük kirlilik araçları sağlar ve halkın yakıt olarak hidrojene aşına hale gelmesine yardımcı olacaktır.

- Mikro ve küçük yakıt hücre satışlarında en muhtemel eski yakıt hücresi pazarı olarak görülen taşınabilir elektronikler ve tüketici mallarının, yakıt hücresi fiyatlarının aşağı çekilmesine ve yakıt hücresi kabul edilebilirliği ve aşinalığının sevk edilmesine yardımcı olabileceği düşünülmektedir.

- Doğalgaz karışımının içine hidrojenin enjekte edilmesi (%20'ye kadar) ve ya daha düşük salınımlara direkt olarak karışımı kullanmak ya da gaz ve hidrojeni ayırarak; doğalgaz şebekesini, yeni oluşan bir hidrojen boru hattı şebekesi olarak kullanmak.

- Kanıtlama projeleri şu anda yakıt hücreleri için en büyük pazardır. Yüksek teknolojiye ve emisyon değerlere uymayı kanıtlamaya istekli olan kamu

¹⁴⁸ Ibid.

¹⁴⁹ McDowall, Eames, **op.cit.**, p.1245.

otoriteleri ve şirketler, yakıt hücreleri için küçük paylı bir talep sağlamakta ve ölçek ekonomileri ve öğrenme yoluyla maliyette ilerleme yapılmasını sağlamaktadır.

2.4.3.2. Genişleyen Piyasa Senaryosu

Genişleyen piyasa senaryosuna göre hidrojen, enerji ihtiyaçlarının hemen hemen tamamını sağlayabilir ancak bu senaryoya göre enerji sistemleri fosil yakıt bazlı olmaya devam edecektir. Hidrojenin kullanabileceği kaynaklar, oldukça düşük maliyetleri ve mevcut altyapının var olmasından dolayı, fosil ya da biyolojik yakıtlardır. Hidrojenin depolanması, dağıtılması ve ülke çapında hidrojen ağı geliştirmek, bir eyaletten diğer eyalete ya da ülkenin bir tarafından diğer tarafına hidrojen yakıtı kullanarak araba kullanılabilecektir¹⁵⁰.

Pek çok hidrojen savunucusu, hidrojen ekonomisine geçiş için en emin yolun, yakın dönemde önemli yakıt değişiklikleri olmadan mevcut sistemi harekete geçirmek olduğuna inanmaktadır. Bu sistemdeki enerjinin büyük bölümü, yeni bir enerji ekonomisi yolunda seyretnmek yerine, mevcut enerji ekonomisine etkili bir şekilde bir aşama ya da bir seçenek ekleyerek, karbon-ağırlıklı kaynaklardan gelmeye devam edecektir. Bir kısmı daha çeşitli amaçlar için daha çeşitli yerel yakıtların kullanılması yoluyla kısmi olarak azaltılabilse de, fosil yakıtlarla ilgili mevcut çevresel sorunlar ve kaynak sorunları devam edecektir. Özellikle hidrojen büyük ölçüde yerel doğalgazdan sağlanırsa, ulusal enerji güvenliğinde mütevazı ilerlemelerin ve düşük karbon salınımların olması beklenebilir¹⁵¹.

2.4.3.3. Sürdürülebilir Hidrojen Senaryosu

Sürdürülebilir bir hidrojen senaryosu, yenilenebilir kaynaklara bağlanmadan önce, kalan doğalgaz rezervlerinin tüm avantajını kullanarak, başlangıç olarak geçici bir yol izleyebilir. Fakat başlangıçtan beri yenilenebilir enerji prensiplerine bağlanma ihtiyacını göz önünde bulundurmak için önemli nedenler vardır, böylece mali açıdan

¹⁵⁰ Waegel, *loc.cit.*

¹⁵¹ *Ibid.*

en pahalı senaryo ve teknolojik açıdan en cesur ayrılış olsa da, sürdürülebilir bir hidrojen yolu muhtemelen en büyük enerji güvenliğiyle ve çevresel kazançlarla sonuçlanacaktır. Muhtelif yenilenebilir yerel enerji kaynaklarını oldukça düşük yoğunluklarda kullanma ihtiyacının dikte ettiği dağıtımli enerji yolu, yenilenebilir kaynakların eşsiz özelliğiyle birleştiğinde bu neredeyse tamamen sermaye maliyetleri ve teknolojik yeniliğe bağlı olan ve hemen hemen yakıt fiyatından bağımsız olan bir ekonomidir. Sürdürülebilir hidrojen senaryosu, mümkün olan en yüksek enerji güvenliğine ulaşmayı vaat etmektedir. Niş ve geçici hidrojen senaryoları sadece karbon salınımları içindeki artış oranını etkileyecektir¹⁵².

Çeşitli senaryolara göre hidrojen, hızlı teknolojik gelişmeyle ilgili olarak, orta-güçlü ekonomik bir büyümenin olduğu ekonomilerde ve aşağıda belirtilen durumlarda ortaya çıkar¹⁵³;

- Çevre hakkındaki endişeler güçlü olduğunda, özellikle iklim değişikliği belirgin hale geldiğinde.
- Geleneksel enerji tedarikleri pahalı olduğunda.
- Maliyetleri radikal bir biçimde düşüren teknolojik buluşlar.
- Petrolün nispi fiyatındaki kaymalar.
- Güçlü hükümet desteği.

Gelişmekte olan hidrojen enerjisi sistemleri, 21. yüzyıl için önemli bir ekonomik güç olabilir. Hidrojen yakıtı üretimindeki teknolojik ilerlemeler, geniş çaplı, düşük maliyetli dağıtım sistemlerinin ve şebekelerinin inşa edilmesi için temel oluşturabilir. Yenilenebilir, fosil ve nükleer enerji platformları da dahil olmak üzere hidrojen üretmek için pek çok yol vardır ve bu seçeneklerin hepsi, istihdama, oldukça yüksek maaş veren mesleklere ve ekonomik büyümeye katkı sağlayabilir. Temiz hidrojenle çalışan yeni ulaşım sistemlerinin, konutların ya da ticari binaların planlanması, geliştirilmesi ve pazarlanması da ekonomik büyümeye katkı sağlayabilir. Hidrojen ekonomisine geçişle ilgili olarak başka sosyoekonomik

¹⁵² Waegel, **op.cit.**, p.295

¹⁵³ McDowall, Eames, **op.cit.**, p.1248.

faydalar da vardır. Örneğin, geniş çaplı hükümet ve özel sektör araştırma ve geliştirme programları bilim adamlarını ve mühendisleri istihdam etmekte ve geleceğin teknoloji liderlerinin eğitilmesine yardımcı olmaktadır. Hidrojen enerji sistemleriyle ilgili toplumsal faydalar, çevresel ve halk sağlığıyla ilgili risklerin ve kayıpların azaltılmasını içerebilir¹⁵⁴.

Hidrojen, sosyal değerlerden ziyade piyasanın hâkim olduğu; iklim değişikliği etkilerinin küçük olduğu ve teknolojik gelişmenin yavaş olduğu bölgelerde ve ekonomik büyüme durgunlaştığında ortaya çıkmaz. Hidrojenin gelişimi, önemli petrol ve benzin rezervleri olmayan alanlarda sadece lokal olarak güçlü olan, güçlü bölgesel özerkliği olan ekonomilerde henüz tamamlanmamıştır. Hidrojenin genellikle yavaş yavaş ortaya çıktığı ya da “Business As Usual”^{*} tipi senaryolarda ortaya çıkmadığı, dikkate değer bir noktadır. Hidrojene geçişten sağlanacak faydaların ancak 2030-2050 yıllarından sonra ortaya çıkacağı tahmin edilmektedir¹⁵⁵.

¹⁵⁴ Dixon, **loc.cit.**

^{*} “**Business-as-usual**” (gerçekleşmesi olağan beklentiler) senaryosundaki varsayımlar şöyledir; 1) Birincil enerji üretiminde doğalgazın payı, kömür ve petrole kıyasla artacak 2) Bazı yeni nükleer santraller kurulacak 3) Yenilenebilir enerji kaynakları kullanımı artacak 4) Ekonomik faaliyetlere kıyasla, enerji kullanımı daha yavaş artacak.

¹⁵⁵ McDowall, Eames, **loc.cit.**

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

HİDROJEN ENERJİSİNDE ÜLKE UYGULAMALARI İLE TÜRKİYE VE İZLANDA EKONOMİLERİNDE ENERJİ TÜKETİMİ- BÜYÜME ARASINDAKİ NEDENSELLİK İLİŞKİSİ

3.1. AVRUPA BİRLİĞİ'NDE HİDROJEN UYGULAMALARI

Küresel olarak kabul edilebilir hidrojen ekonomisi gelişim stratejileri yaratmak için, dünyanın farklı yerlerinden bilim adamlarının ve endüstrilerinin bilgilerini bir araya getirmeye çalışan uluslararası gruplar oluşturulmuştur. Hidrojen Uygulama Anlaşması olarak bilinen hidrojen programı, 1977 yılında Uluslararası Enerji Dairesi tarafından planlanmıştır. Oniki farklı ülke ve Avrupa Birliği bu programın bir parçasıdır¹.

Almanya, Avrupa kıtasında en gelişmiş hidrojen enerjisi programına sahipken, en önemli bölgesel politika girişimi Avrupa Birliği'ninkidir. AB hidrojen ekonomisi uzun vadeli bir dönüşüm çabalarının önemli bir göstergesidir ve İzlanda ve Japonya'dan başka bu şekilde davranan ilk büyük siyasi birliktir. Hidrojen ve yakıt hücrelerinin, Batı Avrupa için uygun ve sürdürülebilir enerji sistemlerine ulaşma yolunda uzun vadede sağlayacağı potansiyel katkıyı incelemek için Avrupa Komisyonu tarafından bir "Yüksek Seviye Grubu" oluşturulmuştur. Bu grup enerji ve ulaştırmadan sorumlu Avrupa Komisyonu Başkan Yardımcısı ve Araştırma Komisyon Üyesi tarafından 2002 yılında bir araya getirilmiştir. Avrupa'nın birkaç önde gelen enerji, otomobil ve araştırma kurumlarının temsilcilerinden oluşmaktadır².

2003 yılında, Amerika Birleşik Devletleri ve diğer devletler arasındaki ikili anlaşmalara dayalı olan "Hidrojen Ekonomisi" için uluslararası ortaklıklar

¹ S. Milciuviene, D. Milcius, B. Praneviciene, "Towards Hydrogen Economy in Lithuania", **International Journal of Hydrogen Energy**, Vol. 31, 2006, p.861.

² Barry D. Solomon, Abhijit Banerjee, "A Global Survey of Hydrogen Energy Research, Development And Policy", **Energy Policy**, Vol. 34, 2006, p.787.

kurulmuştur. Ayrıca 2004 yılında Avrupa Birliği, Üst Düzey Grubunun yaptığı tavsiyelere dayalı olarak, Hidrojen ve Yakıt Hücreleri Teknoloji Platformunu kurmuştur³. Dünya çapında yapılan çalışmalar ulaştırma ve enerji sektörlerinde bir enerji taşıyıcısı olarak hidrojenin kullanımının teknik uygunluğunu göstermiştir ancak hidrojenin enerji sistemlerinde uygulanmasından önce ortadan kaldırılması gereken ve teknik olmayan pek çok engel bulunmaktadır⁴.

3.1.1. AB Enerji İhtiyacı

AB yenilenebilir enerji kaynaklarının ve yeni teknolojilerin piyasaya girmesine yardımcı olmak için birtakım önlemler almaktadır. Yenilenebilir enerji kaynakları için mali çerçevenin geliştirilmesi ve kabul edilmesi, önemli bir adım olmuştur. Avrupa Birliği'nin kömüre, petrole ve doğalgaza bağımlılığı gittikçe artmaktadır⁵.

AB'nin enerji bağımlılığı 1990 yılında %40 iken 2000 yılında %35'e doğru bir azalma göstermiştir. Bu rakam, petrol için %80, doğalgaz için %70 ve kömür için %50'dir. Ancak 20-30 yıl içinde bu oranın %60'a ulaşması beklenmektedir. Grafik 3.1'de görüldüğü gibi IEA'ya göre, 10-15 yıl içinde maksimum bir petrol üretimine ulaşılabilir ve bunu doğal olarak bir üretim düşüşü ve arzı aşan bir talep takip edebilir. Diğer tahminler daha kısa süre gecikmelerini göstermektedir. Sonuç olarak, fiyat artışının jeopolitik durumlarla birlikte değerlendirilmesi gerekmektedir. Daha az ulaşılabilir ve daha az kaliteli rezervlerin işletilmesi bile bu durumu düzeltmeyecektir. Doğalgaz için de, biraz daha uzun gecikme dışında (10-20 yıl), mevcut bütün koşullar aynıdır⁶.

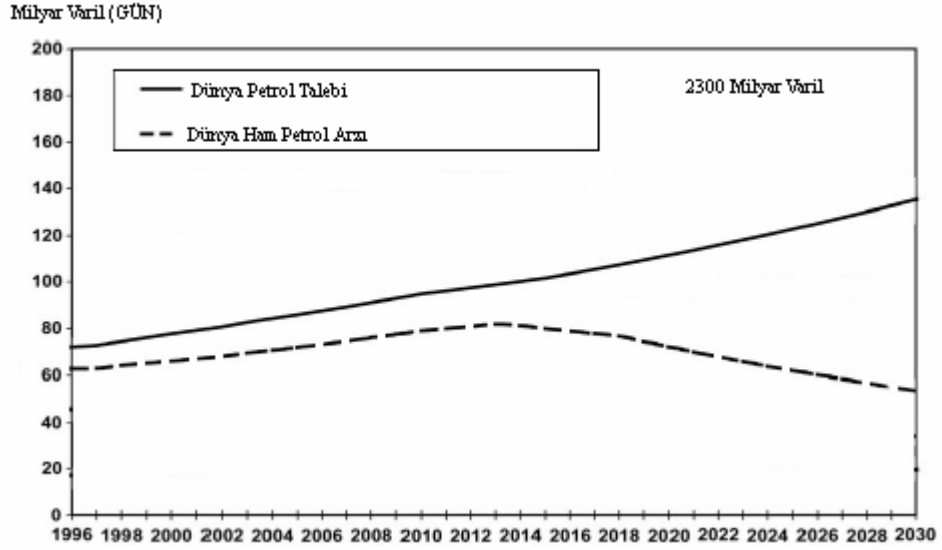
³ Milciuvienė, D. Milcius, B. Praneviciene, **loc.cit.**

⁴ T.R.C. Fernandes, Fengzen Chen, "Hysociety " in Support of European Hydrogen Projects and EU Policy", **International Journal of Hydrogen Technology**, Vol.30, 2005, p.240.

⁵ Milciuvienė, D. Milcius, B. Praneviciene, **op.cit.**, p.862.

⁶ J. Van Mierlo, G. Maggetto, P. Lataire, "Which Energy Source for Road Transport in The Future? A Comparison of Battery, Hybrid And Fuel Cell Vehicles", **Energy Conversion and Management**, Vol. 47, 2006, p.2751.

Grafik 3.1: Dünya Petrol Talebi ve Arzı (1996-2030)



Kaynak: J. Van Mierlo, G. Maggetto, P. Lataire, “Which Energy Source for Road Transport in The Future? A Comparison of Battery, Hybrid And Fuel Cell Vehicles”, **Energy Conversion and Management**, Vol. 47, 2006, p.2751.

3.1.2. AB Enerji Politikası

3.1.2.1. Hukuki Temeller

AB enerji politikasına topluluğu kuran antlaşmalarda geniş yer verilmiştir. Avrupa Birliği'nin kurucuları olan altı ülke 1951 yılında Avrupa Kömür ve Çelik Topluluğu'nu (AKÇT) kurmuştur. Bu kuruluş enerji kaynaklarını en iyi şekilde yönetme ihtiyacından kaynaklanmıştır. 1958 yılında ise Avrupa Atom Enerjisi Topluluğu ile Avrupa Ekonomik Topluluğu'nu kuran antlaşmalar imzalanmış ve o tarihlerden bu yana, ortak enerji politikası ekonomik bütünleşme ile birlikte geliştirilmeye çalışılmıştır. Konsey'in 1974 ve 1986'da aldığı kararlarda bir enerji politikası stratejisi ve topluluk enerji politikasının amaçları belirlenmiştir. 1995 yılında “Avrupa Birliği İçin Bir Enerji Politikası” adlı kitap yayınlanmıştır. Bu kitapta üç kurucu antlaşmada ve Avrupa Birliği Antlaşması'nda yer alan, enerji konusuyla ilgili tüm yetkiler birleştirilmiş ve AB enerji iç pazarının genel ilke ve

hedefleri ifade edilmiştir. AB enerji politikası 1998-2002 Enerji Çerçeve Programında biraz daha geliştirilmiştir⁷.

Dış enerji kaynaklarına olan bağımlılığın yüksek olması, özellikle enerji tedarikinin politik açıdan sabit olmayan ve istikrarsız bölgelerden sağlanması durumunda, modern topluma büyük ekonomik, sosyal, ekolojik ve fiziksel riskler getirmektedir. Bu nedenle, Avrupa topluluğunun enerji politikasının ana hedeflerinden birisi, çevreye saygılı ve Avrupa enerji piyasasında sağlıklı rekabeti teşvik eden, aynı zamanda tüm tüketicilere karşılayabilecekleri fiyatta enerji tedariki sağlamaktır. Bu hedefler, AB'nin dünyanın en fazla rekabet edilebilir bilgi temelli ekonomisi haline gelmesi için Lizbon stratejisinden ve Sürdürülebilir Gelişme konusundaki AB stratejisi hakkındaki Göttenburg prensipleriyle belirlenmiştir. Haziran 2000'de Komisyon Kyoto Protokolünü uygulamak için AB stratejisinin gerekli tüm unsurlarını tanımlamak ve geliştirmek için Avrupa İklim Değişikliği Programını başlatmıştır⁸.

Ulaşım sektöründe Komisyon Kasım 2001'de ulaştırma için alternatif yakıtların kullanımını teşvik etmek için bir eylem planı ve yeni bir düzenleyici yasa önermiştir. Avrupa Birliğinin 15 üye ülkesi için hazırlanan eylem planı, 2020 yılına kadar ulaştırma sektöründe dizel ve benzin yakıtlarının %20'sinin yerine alternatif yakıtların kullanılması için bir strateji sunmaktadır. Plan, her birinin, gelecek 20 yıl içinde toplam ulaşım tüketiminin %5'inden fazlasına ulaşma potansiyeli olan üç seçenek kabul etmiştir. Mevcut olan biyoyakıtlar kısa vadede, doğalgaz orta vadede, hidrojen ve yakıt hücreleri uzun vadede düşünülmüştür. 2005 yılında %2 ile başlaması, 2010 yılında da %5.75'e ulaşması hedeflenmiştir⁹.

Avrupa Birliği Enerji konusundaki politikasını uygulayarak, ulaşım için biyoyakıtların ve diğer yenilenebilir yakıtların kullanımının teşvik edilmesi hakkında 8 Mayıs 2003 tarihli Avrupa Parlamentosu direktifini, yenilenebilir enerji

⁷ Cihan Dura, Hayriye Atik, **Avrupa Birliği Gümrük Birliği ve Türkiye**, Nobel Yayınları, 2. Baskı, Ankara, 2003, s.288.

⁸ Fernandes, Fengzen Chen, **loc.cit.**

⁹ **Ibid.**

kaynaklarından sağlanan elektriğin ülke içi elektrik piyasasının teşvik edilmesi hakkında 27 Eylül 2001 tarihli AP direktifi ve topluluk çerçevesinin enerji ürünlerinin ve elektriğin vergilendirilmesi için yeniden yapılandırılması hakkında 27 Ekim 2003 tarihli AP direktifini kabul etmiştir. Bu direktiflerin amacı, Avrupa Komisyonunun 2010 yılına kadar yenilenebilir enerji kaynaklarını Avrupa Birliği'nin gayri safi ülke içi enerji tüketimine %12 katkı sağlaması için “Enerji Tedarikinin Güvenliği İçin Bir Avrupa Stratejisi” hedefine ulaşmak amacıyla, yenilenebilir enerji kaynaklarının enerji sektöründe kullanımını teşvik etmektir. Ulaşım için biy yakıtların ve diğer yenilenebilir yakıtların kullanımının teşvik edilmesi hakkındaki direktif, ilgili topluluk çerçeve programlarını göz önünde bulundurarak, artan biy yakıt kullanımıyla ilgili olarak üye ülkelerin elde etmeye çalıştığı araştırma politikasının, hidrojen sektörünü belli bir dereceye kadar içine alması ve bu seçeneği teşvik etmesi gerektiğini belirtmektedir¹⁰.

3.1.2.2. Amaçları

AB'nin taahhüdü, hidrojen ve yakıt hücreleri hakkındaki bir Yüksek Seviye Grubu'nun Ekim 2002'de AB ulaştırma, enerji üretimi ve diğer pek çok alanda hidrojenin ve yakıt hücrelerinin kullanılmasının potansiyel faydalarını değerlendirmek ve bu alandaki AB faaliyetinin daha belirgin olmasını sağlamak için yaptığı görevlendirme ile gösterilmektedir. Grup, büyük AB otomotiv ve enerji şirketlerinin, kamu tesislerinin, araştırma kurumlarının, ulaştırma şirketlerinin ve politika oluşturucularının üst düzey temsilcilerinden oluşmaktadır¹¹.

Avrupa Komisyonunun amacı, hidrojen geleceğini tasarlamak için endüstriyi, araştırma toplumunu ve hükümeti bir araya getirmektir. Avrupa için AB'nin bilimsel çabası, 1960'lardaki uzay programı ABD için ne kadar önemliyse, o kadar önemli olacaktır. Bu hedeflere ulaşmak için, çok sayıda endüstriyel, bölgesel, sosyal ve bütçeye ait politika önlemleri uygulanmaktadır¹².

¹⁰ Milciuviene, D. Milcius, B. Praneviciene, **loc.cit.**

¹¹ Fernandes, Fengzen Chen, **op.cit.**, p.241.

¹² **Ibid.**

Sürdürülebilir enerji tedarikine olan ihtiyaç, fosil enerji kaynaklarının azalması, çevrenin kirlenmesi, iklim değişikliği ve Orta Doğu'daki petrol ihraç eden ülkelere bağımlılığın artması dikkate alındığında daha acil duruma gelmektedir. Bu bağlamda, bir enerji taşıyıcısı olarak hidrojen hakkında yapılan tartışmalar giderek daha sıklıkla oluşmaktadır. Hidrojen, doğalgaz ya da petrol gibi çıkarılamaz, fakat enerji uygulayarak salınması gerekir. Bir taraftan bu bir dezavantajı temsil etmektedir. Çünkü işlem, kömür, doğalgaz ya da biokütle gibi birincil enerji taşıyıcılar, elektrik ya da yüksek sıcaklık girdisini gerektirir. Diğer taraftan hidrojenin avantajı, üretimi için çok çeşitli farklı hammaddenin ve enerji kaynağının kullanılabilmesidir¹³.

AB Enerji politikasının temel amaçları şunlardır¹⁴;

- Enerji iç pazarının kurulması.
- Enerji arzının güvenliği.
- Çevrenin korunması.
- Genel rekabet gücü.
- Enerjinin etkin kullanılması.
- Petrol tüketim ve ithalatının azaltılması.
- Katı yakıt kullanımının teşviki.
- Enerji kaynaklarının çeşitlendirilmesi.
- Hidrojen gibi yenilenebilir enerji kaynaklarının daha çok kullanılması.

3.1.2.3. Gerçekleşmesi Beklenen Muhtemel Sonuçlar

Avrupa Hidrojen Ekonomisi gibi bir kavramın oluşturulması, en azından on ya da yirmi yıllık bir zaman perspektifini gerektirmektedir. Senaryo analizinin zaman çerçevesi 2030 yılı için verilmiştir. Bu senaryo ayrıca, hedef maliyetlerin ve performansın, şu anda henüz başlangıç aşamasında olan hidrojen teknolojileri için varsayıldığını belirtmektedir. Coğrafi çerçeve EU-25'dir. Belirli bir olasılığı

¹³ Martin Wietschel, Ulrike Hasenauer, Arend de Groot, "Development of European Hydrogen Infrastructure Scenarios—CO₂ Reduction Potential And Infrastructure Investment", **Energy Policy**, Vol.34, 2006, p.1284.

¹⁴ Dura, Hayriye Atik, **op.cit.**, s.289.

kapsamak için, iki hidrojen senaryosu kurulmaktadır. Bunlar, birisi yüksek, birisi de düşük hidrojen nüfuz oranı olan senaryolardır¹⁵.

- Senaryo A (yüksek hidrojen nüfuzu); 2030 yılına kadar sabit ve ulaşım enerji tüketiminde %20'nin önemli bir bölümüne katkıda bulunacak olan hidrojenin erkenden piyasaya sürülmesi.
- Senaryo B (düşük hidrojen nüfuzu); daha uzun dönemde meydana gelen hidrojen nüfuzu söz konusudur. Hidrojen 2030 yılına kadar sabit ve ulaşım enerji sektöründe sadece %5'lik bir pay sağlayacaktır.

Ortak Ulaşım Politikası hedefleri ve AB gelişimi içerisinde, sürdürülebilir hareketlilik hedefine ulaşmak için gerekli olan değişim ölçeğini değerlendirmek üzere belirgin hedefler oluşturulmuştur. Bu hedeflerin en önemlilerinden biride çevresel hedeflerdir¹⁶;

- 1995'den 2020 yılına kadar CO₂ emisyonlarının %25 azaltılması.
- 1995'den 2020 yılına kadar NO_x* emisyonlarının %80 azaltılması.
- Özel korunan alanların bozulmaması.

3.1.3. AB'de Ulaşım Sektörü ve Hidrojen

3.1.3.1. Hukuki Temeller

“Kurucu Antlaşma” olarak anılan 1957 Roma Antlaşması ulaştırma sektörüne, tarımın yanı sıra “Birlik amaçlarına ulaşabilmesi için ortak politika oluşturulması zorunlu alan” olarak yer vermektedir. Antlaşmanın ulaştırma başlıklı bölümünde bazı politika araçları sayılmış ve özellikle “rekabet kuralları”na yer verilmiştir. 1962-1973 arasında hazırlanan eylem programlarında ortak ulaştırma politikasının amaçları tartışılmıştır. Bununla birlikte, 1980'li yıllara kadar önemli bir ilerleme kaydedilememiştir. 1987 Tek Avrupa Senedi'nin “Tek Pazar” hedefi ile

¹⁵ **Ibid**, p.1285.

¹⁶ David Banister, Karl Dreborg ve Diğ., “Transport Policy Scenarios For the EU: 2020 Images of The Future”, **Innovation**, Vol. 13, No: 1, 2000, p.28.

* Azot Oksit Gazları

birlikte durumun değiştiği görülmektedir. Bunun nedeni ‘‘Tek Pazar’’ hedefine erişilmesinde ulaştırma sektörünün oldukça önemli katkıları beklenmektedir¹⁷.

AB kendini 2020 yılına kadar sürdürülebilir bir ulaşım sistemi elde etmeye adanmıştır. 4.  er eve araştırma programının bir parçası olarak, POSSUM projesinin, Ortak Ulaşım Politikası ve Trans-Avrupa Ağlarının geliştirilmesi bağlamında bu hedefe ulaşmak için yapı senaryoları görevi vardır. Ortak Ulaşım Politikasının en büyük hedefleri,  evre kalitesini artırırken, rekabeti (verim) korumak ve uyumu (bölgesel gelişme) teşvik etmektir¹⁸.

3.1.3.2. Sektörün Ekonomik Büyüklüğü ve İstihdam Potansiyeli

Avrupa ulaşım sektörü, aşağıdaki rakamlarla da belirtildiği gibi önemli bir ekonomik büyüklüktür. Yaklaşık 6 milyonu ulaşım sektöründe, 2 milyonu ekipman sektöründe ve 6 milyonu ulaştırmayla ilgili faaliyetlerde istihdam edilmiş 14 milyon işçi ve çalışan (yani aktif nüfusun %10’u) bulunmaktadır. Aile gelirlerinin %14’  ulaştırmaya verilmektedir. Yolcu olarak ifade edilen insan hareketliliğinin dağılımına bakıldığında %79 arabayla, %8 otobüsle, %7 havayoluyla, %6 tren yoluyla ve %1 tramvay ya da yer altı yoluyla gerçekleşmektedir. Mal ulaşımının dağılımı farklı bir tablo göstermektedir; %43 kara yoluyla, %41 deniz yoluyla, %9 trenle, %4 su yoluyla ve %3 boru hattıyla yapılmaktadır. Otomotiv endüstrisinin toplam katma değer 290 milyar Euro’dur. Ancak, kirlilik, kalabalık ve güvenlik gibi hareketlilikler nedeniyle önemli harici etkiler de vardır¹⁹.

3.1.3.3. Sektörde Büyüme Tahminleri

Avrupa ulaşımının büyümesi şu şekilde tahmin edilmektedir; 1998 ile 2010 arasında, yolcu kilometresinde %24’l k bir büyüme ve mal taşınmasında (ton/km) %38’lik bir büyüme tahmin edilmektedir. Yolcu ulaşımındaki en önemli büyümenin hava ulaşımında; mal taşınmasındaki en büyük büyümenin de yol ulaşımında olması

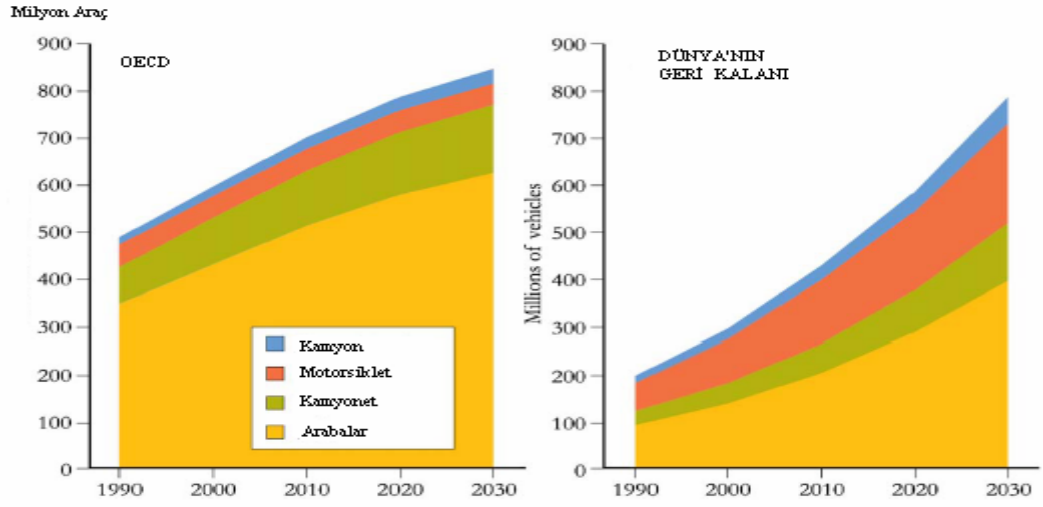
¹⁷ Dura, Hayriye Atik, **op.cit.**, s.292.

¹⁸ Banister, Karl Dreborg , **op.cit.**, p.27.

¹⁹ Mierlo, G. Maggetto, P. Lataire, **op.cit.**, p.2749.

beklenmektedir. Tüm dünya da araba sayısının katlanarak artması beklenmektedir. Grafik 3.2’de görüldüğü gibi, 2030’da OECD ülkelerindeki yol araçlarının sayısının (800 milyon araç), dünyanın geri kalanıyla aynı olacaktır; bu da bugün dünya daki araç sayısının ikiye katlanması anlamına gelmektedir. Bu ayrıca OECD ülkelerinde, yıllık %2’lik bir büyümeden kaynaklanan %65’lik bir büyümeye denktir²⁰.

Grafik 3.2 : Motorlu Araç Filosu, OECD ve Dünya’nın Geri Kalanı (1990-2030)



Kaynak: J. Van Mierlo, G. Maggetto, P. Lataire, “Which Energy Source for Road Transport in The Future? A Comparison of Battery, Hybrid And Fuel Cell Vehicles”, *Energy Conversion and Management*, Vol. 47, 2006, p.2750.

3.1.3.4. AB Hidrojen Uygulamaları

Bu projelerin amacı, hidrojen teknolojilerini, araştırma ve geliştirme aşamasından, ticarileştirme seviyesine geçirmektir. Kanıtlama projeleri bu aşamalar arasında yatmaktadır. Kapsamlı kanıtlamalar, ticarileştirme açısından kritiktir. Haziran 2003’te Brüksel Hidrojen Konferansında Avrupa Komisyonu tarafından, bir hidrojen ekonomisinin tüm anahtar unsurlarını sınırlı sayıdaki seçilmiş bölgelerde entegre eden geniş kapsamlı projeler önerilmiştir. Bu projelerin amacı, kitle üretiminin başlatılması konusunda karar alınabilecek şekilde, piyasa kabulü

²⁰ Mierlo, G. Maggetto, P. Lataire, *op.cit.*, p.2750.

oluşturmak için bir hidrojen ekonomisinin kilit teknolojilerini geliştirmektir. Hidrojen teknolojilerine dayalı olan araçların piyasaya girişi, yerel olarak çalıştırılan otobüslerden başlamıştır. Çünkü bu araçlar merkezi yakıt dolum tesislerini kullanmaktadır. 2003 yılı itibariyle, dünya da yaklaşık 250 hidrojen aracı mevcuttur. Hidrojen araçlarının yaygın kullanımıyla ilgili ciddi bir sorun, yakıt dolum tesislerinin altyapısının geliştirilmesinde yaşanmaktadır ve büyük yatırımlar gerekmektedir. Avrupa yakıt istasyonlarının %30'unda hidrojen kurmak, 100-200 milyar Euro'ya mâl olacağı hesaplanmaktadır²¹.

Avrupa Birliği'nde Altıncı Çerçeve Programının bütçesine ek olarak, hidrojen araştırma projeleri, Avrupa altyapılarını, şebekeleri ve bilgiyi geliştirmek amacıyla kamu ve özel yatırım ortaklıkları tarafından desteklenen hızlı başlangıç programlarına tabi tutulmaktadır. Hidrojen projesi, hidrojen ve elektrik üretimi için geniş kapsamlı bir test tesisinin inşa edilmesini içerir, fakat HySociety projesi, hidrojeni ısı, elektrik ve araçlar için yakıt kaynağı olarak kullanarak, Birlik çevresinde sınırlı sayıda “Hidrojen Topluluğu” oluşturmayı amaçlamaktadır. Topluluk fonlarından (Araştırma Çerçeve Programı ve Yapısal Fonlar) bu projeye sağlanan bütçeler, 2004–2015 yılları için 2.8 milyar Euro'dur²². Avrupa, hidrojen teknolojilerinin kullanılmasıyla ilgili olarak bir lider pozisyonu elde etmiştir. Son yıllarda, Avrupa endüstrisi çok sayıda hidrojenli araç prototipleri ve içten yanmalı motorla donatılmış tanıtım araçları ve sıkıştırılmış gazlı hidrojen ya da likit hidrojen kullanarak gövdedeki depo sistemleri ile kombine edilmiş yakıt hücreli elektrikli araçlar (PEMFC) üretmiştir. Son zamanlarda, standart üretim arabalar, otobüsler ve kamyonların yanı sıra istenilen ya da gerekli olan değişikliklerin daha önce üretilmiş bir ürüne teknolojik uyarlanması da dahil olmak üzere, doğalgaz alanında, hidrojenin yolunu açan çok sayıda aktivite gözlenmiştir²³.

²¹ Milciuviene, D. Milcius, B. Praneviciene, **op.cit.**, p.863.

²² **Ibid.**

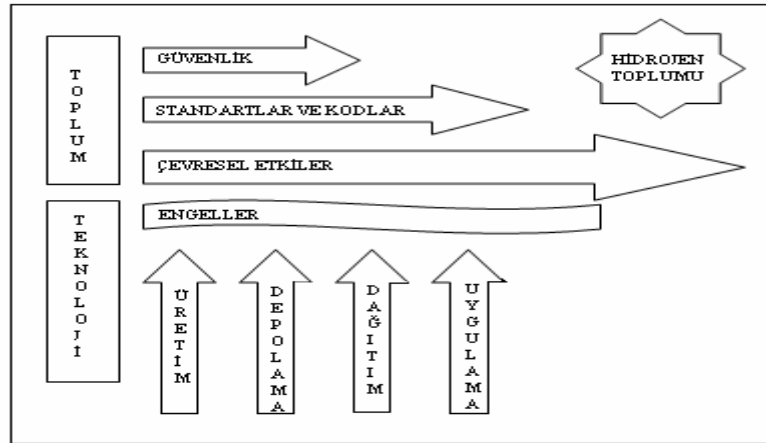
²³ M. Momirlan, T.N. Veziroğlu, “Current Status of Hydrogen Energy”, **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, Vol.6, 2002, p.161.

3.1.3.4.1. AB HySociety Projesi

Gelişmekte olan hidrojen ekonomisinden küresel fayda sağlamak için, uluslararası ortaklık oldukça önemlidir. Hidrojen ekonomisinin geliştirilmesi, tek bir ülkenin hedefi değildir. Hidrojen ekonomisi, yalnızca gelişimindeki farklı aşamalar ülkeler arasında koordine edilerek etkili bir şekilde geliştirilebilir. 2003 yılında Avrupa Birliği, Amerika Birleşik Devletleri tarafından başlatılan *Hidrojen Ekonomisi İçin Uluslararası Ortaklık Programı* 'na katılmıştır²⁴.

HySociety, FP5 Beşinci Çerçeve Programı'nın "ENERGY" alt programına göre finanse edilen bir projedir. HySociety, hidrojen temelli bir toplumun kurulmasının önündeki engelleri inceleyerek ve tanımlanan engellerin üstesinden gelmek için bir eylem planı hazırlayarak uygulanması gereken bir kısım bölgesel ve sosyal önlemler alınması ve Avrupa Birliği'nde hidrojenin piyasaya sokulması konusundaki problem alanlarını tanımlayacaktır. Şekil 3.1'de görüldüğü gibi hidrojen ekonomisine geçmek için üretim, depolama, dağıtım ve uygulama alanlarındaki sorunların giderilmesi zorunludur²⁵.

Şekil 3.1: Hysociety Projesi



Kaynak: T.R.C. Fernandes, Fengzen Chen, "Hysociety " in Support of European Hydrogen Projects and EU Policy", **Internatonal Journal of Hydrogen Technology**, Vol.30, 2005, p.242.

²⁴ Milciuviene, D. Milcius, B. Praneviciene, **op.cit.**, p.862.

²⁵ Fernandes, Fengzen Chen, **op.cit.**, p.242.

Avrupa çapında hidrojenin çeşitli yönlerine odaklanmış ve devam etmekte olan pek çok büyük faaliyet vardır. Bunlar aşağıdaki projeleri içermektedir ²⁶;

- EIHP: Hidrojenli araçlar için güvenlik konularına, standart ve yönetmeliklere, yakıt altyapısı için parça standartlarına odaklanan Avrupa Entegre Hidrojen Projesi.
- CUTE: Avrupa için temiz şehir ulaşımı ve dünya çapında en büyük hidrojen yakıt hücreli otobüs Keet'in denenmesi projesidir. Avrupa'da 27 hidrojen yakıtlı otobüsün dokuz şehirde 2 yıl boyunca düzenli hizmet vermesi projesi.
- RES2H2: Yenilenebilir enerji kaynaklarının hidrojen kullanarak Avrupa enerji sktrlerine entegre edilmesi için Toplu Pilot Proje'dir. Yenilenebilir kaynaklardan hidrojen üretimi, sürdürülebilir gelişme için oldukça önemlidir. Bu proje temiz hidrojen üretiminin ve endüstriyel bir seviyede hidrojen depolanmasının uygunluğunu ifade eder.
- ECTOS: Kamu tarafından onaylanmasının yanı sıra, İzlanda'nın sert ikliminde yakıt hücreli otobüslerinin performansını test eden Ekolojik şehir Ulaşımı Sistemi'dir.
- EURO-HYPORT: Hidrojenin İzlanda'dan Avrupa Kıtasına ihraç edilmesi konusunda bir fizibilite çalışmasıdır.
- FEBUSS: Büyük ulaşım araçları, otobüsler ve sabit uygulamalar için standartlaştırılmış Yakıt Hücreli Enerji Sistemleri'dir. Halk ulaşımı uygulamaları için standartlaştırılmış optimal bir yakıt hücresi ve g nitesi geliştirmeyi amaçlayan projenin süresi 2002-2008 yılları arasındır.
- FUCHSIA, HYMOSES, HYSTORY: FUCHSIA, metal hibritler ve karbon nano-yapılardaki hidrojen depolama için Birmingham niversitesi tarafından yürütülen bir projedir. Gelişmiş hidrojen depolama materyallerini inceleyen projeler bütünüdür. HYMOSES ve HYSTORY farklı depolama materyallerine ve uygulama alanlarına (sabit güç üretimi ve deniz uygulamaları) yönelmektedir.

²⁶ Ibid.

- HYPNET: Hidrojenin piyasaya girmesi ve hidrojenin kullanımından bir enerji taşıyıcısı olarak faydalanılmasını sağlamak için strateji geliştiren bir ağ ortamıdır. Bu ağ, hidrojen üretimi, altyapı, güvenlik ve düzenleme konuları, sosyo-ekonomik konular ve kamu farkındalığının sağlanmasıyla ilgilidir.
- ACCEPTH2: Hidrojenli taşıma teknolojilerinin halk tarafından kabul görmesidir.

3.1.3.4.1.1. Amaçları

HySociety'nin hedefi, engellerin üstesinden gelmek ve hidrojen temelli bir toplum kurmak için bir eylem planının hazırlanmasıdır. HySociety projesi, alt yapı uygulaması konusundaki kanun ve standartlar, kamu güvenliği kaygıları, sosyal ve ekonomik etkiler, endüstriyel yapılardaki ve Avrupa ekonomisindeki değişen trendler gibi teknik olmayan engellere değinerek, Avrupa'da güvenli ve güvenilir hidrojen temelli bir toplumun kurulmasını desteklemeyi amaçlamaktadır. HYSOCIETY'nin diğerlerinden farkı, tüm Avrupa'da hidrojen uygulamasını ve yaygın kullanımını hızlandırmak için ortak bir strateji önermesidir²⁷.

HYSOCIETY, hidrojenin halk tarafından, hidrojen temelli toplumun iş fırsatlarını tartışmak için iş liderleri tarafından, hidrojen toplumunun zorlukları ve avantajları hakkında diyalog başlatmak amacıyla; tüm çıkar grupları (çevresel gruplar, sivil toplum örgütleri, tüketici grupları, birlikler, yerel topluluklar) tarafından ve nihai olarak karar vericiler ve politika oluşturucular tarafından kabul görmesini artırmayı amaçlamaktadır. Ana hedefler, tanımlanan engellerin üstesinden gelmek için bir eylem planı hazırlamak ve Avrupa toplumunda hidrojenin kullanılmasının teknolojik, sosyal, ekonomik ve çevresel etkilerini incelemektir. Proje, tüm çıkar grupları ile diyalogu geliştirmek amacıyla hidrojen toplumunun fırsatları ve zorlukları hakkında kamu farkındalığı yaratacaktır; böylece fosil yakıt enerji sistemlerinden sürdürülebilir hidrojen temelli enerji sistemlerine geçişi

²⁷ Fernandes, Fengzen Chen, **loc.cit.**

hızlandıracaktır²⁸. Proje, Tablo 3.1’den görüldüğü gibi Avrupa’daki 14 ülkeden 20 organizasyonun oluşturduğu bir konsorsiyum tarafından yürütülmektedir. Coğrafi odak 15 üye ülke üzerindedir (Avusturya, Belçika, Danimarka, Almanya, Yunanistan, Finlandiya, İrlanda, İtalya, Lüksemburg, Hollanda, İspanya, Portekiz, İsveç ve Birleşik Krallık). Konsorsiyum ayrıca, yaşam kalitesi açısından bir dünya lideri olarak başarısı ve politikalarından dolayı Norveç’i ve yerel yenilenebilir enerjinin kullanımına bağlılığı ve dünya da ilk hidrojen temelli ekonomiyi oluşturma hedefleri nedeniyle İzlanda’yı da içermektedir. Ayrıca, 2004’de AB’ye katılan 10 ülke (G.Kıbrıs, Çek Cumhuriyeti, Estonya, Malta, Macaristan, Letonya, Litvanya, Polonya, Slovakya ve Slovenya) ve üç ortak devleti (Bulgaristan, Romanya ve Türkiye) ile temasa geçilecektir. Konsorsiyum ortakları, ulusal enerji kurumları, ulusal laboratuvarlar ve mühendislik okullarından oluşmaktadır²⁹.

Tablo 3.1: Hysociety Ortaklar Konsorsiyumu

Ülkeler	Kurumlar ve Araştırma Merkezleri	
Avusturya	EVA	Avusturya Enerji Kurumu
Belçika	ULG	Livege Üniversitesi
Belçika	VITO	Flaman Teknik Araştırma Kurumu
Finlandiya	VTT	Finlandiya Teknik Araştırma Merkezi
Fransa	CNRS	Ulusal Bilim Araştırma Merkezi
Almanya	ISI	Fraunhofer Kurum Sistemleri ve Yenilik Araştırması
Almanya	LBST	LB-Sistem Teknik
Yunanistan	NTUA	Atina Ulusal Teknik Üniversitesi
İzlanda	INE	İzlanda Yeni Araştırmalar Kurumu
İtalya	ENEA	İtalya Yeni Teknoloji, Enerji ve Çevre Kurumu
Hollanda	ECN	Hollanda Enerji Araştırma Merkezi
Norveç	SINTEF	Enerji Araştırma Merkezi
Portekiz	IST	Üst Teknik Kurumu
Portekiz	SRE	Enerji Araştırmaları Kurumu
İspanya	INTA	İspanya Uzay Teknolojileri Kurumu
İsveç	RF	Rogaland Araştırma Merkezi
İngiltere	ICSTM	Kraliyet Bilim, Teknoloji ve Tıp Koleji

Kaynak: T.R.C. Fernandes, Fengzen Chen, “Hysociety “ in Support of European Hydrogen Projects and EU Policy”, **International Journal of Hydrogen Technology**, Vol.30, 2005, p.243.

²⁸ **Ibid.**

²⁹ Fernandes, Fengzen Chen,, **op.cit.**, p.243.

3.1.3.4.1.2. Gerçekleşmesi Beklenen Muhtemel Sonuçlar

IEA'nın dünya enerji görünümü değerlendirmesi, enerji üretim sektöründe hidrojenin kullanılması olasılıklarını görmektedir. IEA referans senaryosu, 2030'a kadar düzenli artan bir dünya enerji kullanımı olacağını varsaymaktadır. Global enerji talebinin, 2000'den 2030 yılına kadar yılda ortalama %1.7 seviyesine ulaşması planlanmaktadır. Planlanan büyüme, yılda %2.1 olan son otuz yıldaki büyümeden daha yavaştır. Hidrojen gibi yeni enerji taşıyıcıları oldukça hızlı bir şekilde büyümektedir³⁰.

Hysociety projesinden beklenen sonuçlar şunlardır³¹;

- Hidrojen toplumu için tanımlanan engellerin ortadan kaldırılması ya da azaltılması için ortak bir politika ve önlemler.
- Teknoloji alanındaki büyük değişikliklerin değerlendirilmesi.
- Farklı senaryolara dayalı olarak Avrupa hidrojen altyapısının entegre sistem analizi.
- Avrupa ekonomisindeki değişikliklerin incelenmesi.
- Hidrojenin sosyal etkilerinin değerlendirilmesi.
- Hidrojen toplumunun çevresel etkilerinin değerlendirilmesi.
- Politik ve mali destek önlemleri için öneriler.
- Hidrojen konusunda kanun ve standartlar için öneriler.
- Farklı pay sahipleri için yayılım stratejileri.
- Hidrojen toplumu altyapısı için Avrupa seviyesinde alınacak önlemler.
- Okullar için çok disiplinli öğretim programlarının yanı sıra hidrojen toplumuyla ilgili kurslarda işçilerin ve mühendislerin eğitilmesi için bir eylem planı.
- Hidrojen temelli bir toplumun oluşturulması için tam bir eylem planı.

³⁰ J.F. Hake, J. Linssen, M. Walbeck, "Prospects for Hydrogen in The German Energy System", **Energy Policy**, Vol. 34, 2006, p.1280.

³¹ Fernandes, Fengzen Chen,, **op.cit.**, p.244.

Dikkate alınan senaryolar, yakıt olarak hidrojen için sadece çok küçük pazar potansiyellerini varsaymaktadır. Senaryoların süresi 2030 ve 2050'ye kadar uzanmaktadır. Bu süre içerisinde, altyapıyı değiştirmek ve yeni bir yakıt tedarik altyapısı kurmak çok zor ve pahalıdır. Farklı varsayımlara göre, hidrojenin yakıt olarak kullanıldığı olası pazarlar vardır. Özellikle yakıt hücresel araçların ve hidrojenli içten yanmalı motorların yolcu arabası ve otobüs sektörüne yayılması, bir hidrojen talebine neden olabilir. Bundan sonra hidrojen talebinin, alanda yaygın yakıt tedarik altyapısı ile karşılanması gerekir. Yeni yakıt altyapılarının ve üretim kapasitelerinin kurulması için gerekli sürenin, uzun vadeli bir olasılık olarak kabul edilmesi gerekir³².

3.1.3.4.2. AB Hidrojen ve Yakıt Hücresi Teknolojisi Platformu

Avrupa Komisyonu, Avrupa'da sürdürülebilir bir hidrojen ekonomisi için entegre bir stratejiye katkıda bulunma hedefiyle, "Teknoloji Platformu" olarak anılan bir "Avrupa Hidrojen ve Yakıt Hücresi Teknolojisi Ortaklığı" başlatmıştır, hedefleri şunlardır³³;

- Hidrojen, yakıt hücreleri ve bunların konsept ve yapıları hakkındaki farkındalığı yaymak.
- Devam eden ve yeni aktiviteleri sıraya koymak, sonuçlar çıkarmak ve tavsiyeler formüle etmek.

AB Hidrojen ve Yakıt Hücresi Teknolojisi Platformu, hidrojen ve yakıt hücrelerinin önemli rol oynadığı güvenli ve sürdürülebilir bir AB enerji tedariki sağlamak için geniş kapsamlı bir AB yaklaşımıdır. Bu yaklaşım 2002 yılı Haziran ayında Brüksel'de bir konferansta sunulan bir raporu hazırlayan bir Yüksek Düzey Grubu'nu kurmakla başlamıştır. Bu grubun hedefi, yeni hidrojen ve yakıt hücresi teknolojilerini desteklemek için bir Avrupa politik çerçevesinin oluşturulmasıdır.

³² Hake, J. Linssen, M. Walbeck, **loc.cit.**

³³ Carl Jochen Winter, "Into The Hydrogen Energy Economy Milestones", **International Journal of Hydrogen Energy**, Vol.30, 2005, p.681.

Ayrıca, enerji üreticileri, AB yetkilileri, ulusal yetkililer, araştırma kurumları, üniversiteler gibi başlıca bütün taraflar arasında yakın bir işbirliğinin sağlanmasını hedefleyen bir Avrupa ortaklığı kurulacaktır. Bu ortaklık, Aralık 2003’de görevlendirilen bir Danışma Konseyi tarafından yönlendirilecektir. Bu konseyin 35 üyesi, platform’a katılan farklı organizasyonları yansıtmaktadır. Danışma Konseyine yardım eden altı çalışma grubu oluşturulmuştur ve bu gruplar hidrojen üretimini, dağıtımını ve saklanması (güvenlik, standartlar, vb), ulaşım ve sabit uygulamalar için yakıt hücrelerini inceleyecektir. Bu alanlar için, teknik ve teknik olmayan engeller tanımlanacak ve araştırma için öncelikler tespit edilecektir. Yayılma stratejisinin geliştirilmesi ikinci büyük eylemdir. Bu strateji hidrojen ve yakıt hücresi teknolojileri, güvenlik, standartlar ve muhtemel ticarileşme rotaları için geçiş aşamalarını içerecektir³⁴.

3.2. ÜLKE UYGULAMALARI

Pek çok ülkenin hidrojen konusunda devam eden çeşitli faaliyetleri vardır. Bazıları diğerlerine göre çok daha fazla ilerlemiş durumdadır. Ancak, pek çok ülke enerji kaynağı olarak hidrojenin kabul edilmesini denememiştir. Bu bölümde, bir enerji kaynağı olarak hidrojenden yararlanılmasında öncü olan İzlanda, ABD, Kanada, Japonya ve Almanya’nın deneyimi incelenecektir.

3.2.1. İzlanda

3.2.1.1. Enerji Politikası ve Hidrojen Çalışmaları

Bir hidrojen enerjisi ekonomisine geçiş konusunda en ciddi olan ilk ülke İzlanda’dır. İzlanda, 2030 yılına kadar ekonomisini hidrojen enerjisi temelli dönüştürme konusunda ulusal bir hedefi olduğunu 1999’da ilan ederek dünyanın dikkatini çekmiştir. Sadece 294,000 nüfusu olan ve hiçbir fosil yakıt kaynağı olmayan İzlanda, enerji gereksinimlerinin yarısından fazlasını ve elektrik

³⁴ P. Zegers, “Fuel Cell Commercialization: The Key To A Hydrogen Economy”, **Journal of Power Sources**, Belgium, Vol. 154, 2006, p.497.

ihtiyaçlarının neredeyse %100'ünü tedarik etmek için hidroelektrik ve jeotermal enerji kaynaklarını kullanmaktadır³⁵.

Karbondioksit emisyonu ve diğer tür emisyonlar konusunda artan kaygı, enerji ve yakıtta olan talebin arttığı dikkate alındığında, pek çok devlet, ulaşım ve enerji sistemleri ile ilgili yol haritalarını yeniden çizmektedir. Hidrojen şu anda, devlet politikalarına dahil olan teknik kelimelerin listesinde. Fakat İzlanda'da hidrojen seçeneği sadece bir gelecek vizyonu değildir, aynı zamanda bir enerji taşıyıcısı olarak uzun zamandır test edilmekte ve uygulanmaktadır. Kamu, ulaşım sistemi içerisindeki yakıt hücresi otobüsleri güvenli bir şekilde çalıştırmak için gerekli olan teknik uygunluğun performansını test ederken, hidrojenin bir yakıt olarak kullanımının çevresel ve sosyo-ekonomik pek çok yönünü inceleme fırsatı olmuştur. Bu çalışmalar, İzlanda piyasasında hidrojenin ve hidrojen kullanan araçların erkenden piyasaya girmesini kolaylaştırabilir³⁶.

İzlanda, 2050 yılına kadar hidrojen dönüşümünü tamamlamak için hükümetin tam desteğiyle kendi kendine yeterli hale gelmek için çalışmaktadır. 1940 - 1975 yılları arasında ısıtma için petrolden jeotermale geçiş yapmışlardır³⁷. İzlanda cumhuriyetinin, hidrojen teknolojileri bu kadar yeniyken bile, ulaşım sisteminde yakıt olarak hidrojeni kullanma konusunda iddialı olmalarının pek çok nedeni vardır, bunlar³⁸;

- İzlanda bol miktarda su ve yenilenebilir enerji kaynaklarına sahiptir. Bu yeni yakıt türü, elektrolit bir işlemle suyun oksijene ve hidrojene ayrılması ile üretilenir. Ulusal ekonomi büyük ölçüde, balıkçılığa dayanmaktadır ve dolayısıyla da, balık teknelerinde, tarımsal araçlarda, arabalarda ve otobüslerde petrol kullanımına oldukça bağımlıdır.

³⁵ Solomon, Abhijit Banerjee, **op.cit.**, p.786.

³⁶ Maria H. Maack, Jon Bjorn Skulason, "Implementing The Hydrogen Economy", **Journal of Cleaner Production**, Vol.14, 2006, p.52.

³⁷ Brenda Johnston, Micheal C. Mayo, Anshuman Khare, "Hydrogen: The Energy Source For The 21st Century", **Technovation**, Vol.25, 2005, p.575.

³⁸ Maack, Jon Bjorn Skulason, **op.cit.**, p.53

- Yenilenebilir enerji kullanımının artması yönünde kesin bir politik taahhüt vardır. 1998 yılında başbakan, sanayi bakanı ve çevre bakanı taahhütte bulundukları bir protokol imzalamışlardır.

- Petrol fiyatlarında son zamanlarda meydana gelen çarpıcı artışlar, yakıt bağımsızlığı için plan yapmayı gerektirmektedir. Ülkede yerel herhangi bir karbon kaynağının olmamasına ek olarak, bitkilerin ve toprağın zayıf korunması vardır ve biokütle kısa sürede ilerleyen mevsim ve ciddi erozyon tarihi nedeniyle seyrektiler. Bu nedenle bütün fosil yakıtları ithal edilmektedir. Bu belirgin durum hidrojeni yakıt için muhtemelen en iyi yerel seçenek haline getirmektedir; diğer ülkeler ise sürdürülebilir alternatifleri olarak karbonlaştırılmış yenilenebilir kaynaklarla büyümelerine devam edebilirler.

- İzlanda'da tüm kara ve deniz taşımacılığı için hidrojen üretmek açısından ihtiyaç duyulan enerjinin, mevcut ulusal yenilenebilir enerji kaynaklarının %10'u olduğu tahmin edilmektedir. Aynı zamanda 2030 yılında ulaşım ve balıkçılık sektörleri için toplam enerji ihtiyacının, 100.000 ton hidrojen olacağı tahmin edilmektedir.

- İzlanda'nın özellikle jeotermal alandaki bilgisi, uluslararası alanda itibar görmektedir. Hidrojen üretim ve kullanım teknolojileri, jeotermal uygulamalarla ve bağımsız enerji sistemleri ile kolaylıkla entegre edilebilir. Çevreye duyarlı ve uygun maliyetli bir hidrojen üretim yöntemi geliştirilirse, tüm yerel enerji gereksinimleri İzlanda'daki yenilenebilir enerji kaynakları tarafından tamamen karşılanabilecektir. İzlanda'daki eşsiz ve uygun koşullara rağmen, bir hidrojen ekonomisine erkenden geçiş fikri, uluslararası ilgiyi de uyandırmaktadır. Avrupa Birliği, İzlanda'daki bazı hidrojen projelerine sponsorluk yapmaktadır ve sonuçlar tüm Avrupa Topluluğu'nun ilgisini çekmektedir³⁹.

İlk ithal yakıttan hidrojene geçiş kavramı, İzlanda Üniversitesinde geliştirilmiştir ve 1970'lerde akademik literatüre girmiştir. Kimya profesörü olan Bragi Arnason, bir enerji taşıyıcısı olarak yerel üretilen hidrojen konusundaki fikirlerini öğrencilerine ve daha sonra halka sunmaya başlamıştır. İzlanda'da

³⁹ Ibid.

meydana gelen petrol krizi ve sonuçta ortaya çıkan elektroliz yoluyla sudan yakıt üretme fikri zaman içerisinde kabul görmüştür⁴⁰.

3.2.1.2 İzlanda Yeni Enerji Konsorsiyumu (INE)

Hükümet enerji politikasıyla bağlantılı olarak, İzlanda enerji şirketleri, İzlanda Üniversitesi ve IceTec (yarı-özel teknolojik araştırma kurumu) ile birlikte bir işbirliği platformu kurmuştur. İzlanda Yeni İş Girişimi Fonu, bu girişimi finansal açıdan desteklemiştir ve 1999 yılında bir şirket olarak İzlanda Yeni Enerji (INE) kurulmuştur. Üç uluslararası şirket (Norsk Hydro, Shell Hidrojen ve DaimlerChrysler) bu girişime katılmıştır ki bu girişimin misyonu “İzlanda’da fosil yakıtların kullanımını hidrojenle değiştirme ve dünyanın ilk hidrojen ekonomisi haline gelme potansiyelini araştırmak” olmuştur. Bu tür bir organizasyon çok başarılı olmuştur. Diğer enerji ve teknoloji alanlarındaki pek çok uzmanın fikirlerinden doğan bilgiler INE içerisinde birikmiş ve projeler yapılmıştır. Henüz üretim INE’nin yükümlülüklerinden biri değildir; sadece fikirlerin yayılması, ortak projelerinin yönetilmesi, kolaylaştırma ve uygulama aşamasındaki sorunları çözme yükümlülükleri vardır⁴¹.

INE’nin misyonunun yerine getirmede 3 stratejik hedefi vardır⁴²;

- Kamu ulaşım sisteminde hidrojen yakıt hücreli otobüslerin test edilmesi: Bu amaçla “Ekolojik Şehir Ulaşım Sistemi” projesi Mart 2001’de başlatılmıştır. Avrupa Birliği Komisyonu tarafından sponsorluk sağlanmıştır ve 11 ortak bütçedeki paylarla işbirliği yapmaktadır.
- Kişisel hidrojenli araçların piyasaya sürülmesi: Bu aşamada sadece bir hidrojen yakıt istasyonu çalışmaktadır. Bu nedenle piyasaya girişi, araba üreticilerinin mallarını bu kadar küçük bir piyasaya sunmaya hazır olup olmamalarına bağlıdır.

⁴⁰ Ibid, p.54.

⁴¹ Maack, Jon Bjorn Skulason, *loc.cit.*

⁴² Ibid.

- Hidrojeni ve yakıt hücrelerini, özellikle balıkçılık gemilerinde olmak üzere deniz koşullarında test etmektir.

İzlanda'nın otomobil ve balıkçılık filolarının petrol ithalatına bağımlılığı yüksektir. İzlanda yılda 2000 ton hidrojen üretmektedir ve bu nedenle tüm ulaşım sektörü için yeterli ve yenilenebilir hidrojeni tedarik etmeyi planlamaktadır. İzlanda Yeni Enerji Şirketi (INE) alternatif yakıtlı araçlar geliştirmektedir. Hidrojenle çalışan (PEM) yakıt hücreli otobüsler, metanolle çalışan yakıt hücreli arabalar ve son olarak hidrojenle çalışan yakıt hücreli arabalar gibi. Programın ilk aşaması 8 milyon dolara mal olmuştur ve 2002'den beri Reykjavik'de üç yakıt hücreli otobüs test edilmektedir. Bir sonraki aşamada, başkentin 80 otobüslük filosu yavaş yavaş değiştirilecek ve bu yenileme 50 milyon dolara mal olacaktır. Yerinde üretim yapan ilk kamusal yakıt dolum istasyonu 2003 yılında Reykjavik'de açılmıştır ve sonuç olarak İzlanda'nın en büyük nüfus merkezi için bu tür yirmiden fazla istasyona ihtiyaç duyulacaktır. Planlar ayrıca, İzlanda'nın geniş balıkçılık gemi filosunu ilk olarak metanolle çalışan yakıt hücrelerine dönüştürmek içindir. Son aşama, 2030 yılına kadar tüm motorlu araç ve balıkçılık gemi filosunu, hidrojenle çalışan yakıt hücrelerine dönüştürmek olacaktır⁴³.

3.2.1.3. ECTOS Projesi

ECTOS projesi hidrojenin çevresel ve teknolojik yönlerini birleştirdiği için, bu projenin İzlanda'da hidrojen bazlı bir ekonomiye geçişte ilk adım olduğu belirtilmektedir. Projenin ana hedefleri şu şekildedir⁴⁴;

- Hidrojeni, elektrik tedarik sistemiyle entegre ederek yeni bir altyapının kurulmasını sağlamak.
- Geleceğin yeni yakıt dağıtım sistemi için yeni bir altyapı entegre etmenin maliyetini ve zamanlamasını tahmin etmek.

⁴³ Solomon, Abhijit Banerjee, **loc.cit.**

⁴⁴ Johnston, Micheal C. Mayo, Anshuman Khare, **loc.cit.**

- Fosil yakıtlara bağı olmaksızın, ulaştırma sisteminde alternatif bir enerji kaynağının kullanılmasının halk tarafından kabul edilmesini sağlamak.

Yakıt hücreli otobüslerin ilk sürüş testlerinin iki yıl sürmesi planlamıştır ancak ECTOS uluslararası dört yıllık bir pilot projedir. Organizasyon ve hazırlanma iki yıl sürmüştür. Reykjavik kamu ulaşım sisteminde normal güzergâhlarda Ekim 2003'den bu yana üç otobüs çalıştırılmıştır ve hidrojen dolum istasyonları Nisan 2003'den günümüze işlemektedir. Otobüsler günlük olarak doldurulmaktadır; güzergahları bir vardiya da yaklaşık olarak 180 km'dir. ECTOS'un ana hedefi, test sürecince yapılan uygulamadan mümkün olduğunca fazla pratik deneyim elde etmektir. Teknik performans testine paralel olarak, sosyoekonomik ve çevresel yönler konusunda bir çalışma yürütülmüştür. ECTOS pek çok açıdan, Avrupa için temiz şehir taşımacılığı konusunda büyük bir proje olan CUTE'nin öncülerinden biri olarak hareket etmiştir⁴⁵.

İzlanda çok dağlık bir bölgedir ve yaşayan insanların %99'u deniz kenarına yakın yaşamaktadır. Pek çok köyden ve kırsal toplulukların hizmet merkezlerinden tek bir otoyol geçmektedir. Pek çok küçük kasabada, yerleşim yerlerinde ve ana yol üzerindeki trafiğe hizmet veren tek bir yakıt istasyonu bulunmaktadır. Bölgede dağıtılan petrol, balıkçı tekneleri tarafından da kullanılmaktadır. İzlanda'nın etrafındaki otoyol 1400 km'dir ve köylerde 150-200 km aralıklı hidrojen dolum istasyonları vardır. Bu nedenle kırsal bölgelerde yaşayan kullanıcılara 10-15 hidrojen dolum istasyonunun daha hizmet vermesi planlanmıştır⁴⁶.

EURO-HYPORT çalışmasının sonuçları, tüm İzlanda'da hidrojen konusunda kamu farkındalığı yaratmak için ihtiyaç duyulan altyapının 3.5 milyar Euro'ya mâl olacağını ve toplam geçiş masraflarının yaklaşık 5 milyar Euro (yaklaşık olarak 7 milyar dolar) olacağını göstermiştir. Şu anda Reykjavik'te 55, tüm ülkede de 175 yakıt dolum istasyonu vardır. Müşterilerde hidrojenli araçlara karşı istek uyandırmak amacıyla, toplam yakıt dolum istasyonu sayısının %10-15'ini hidrojene dönüştürmek

⁴⁵ Maack, Jon Bjorn Skulason, **op.cit.**, p.55.

⁴⁶ **Ibid.**, p.57.

ve bu anlamda hidrojenli araçların piyasaya girmesini kolaylaştırmak gerekli bulunmaktadır⁴⁷.

Resim 3.1’de görüldüğü gibi, Reykjavik hidrojen Shell istasyonu, ECTOS içerisindeki uygulamalarını hazırlamak üzere yapılmıştır ve gelişmekte olan hidrojen teknolojisi için iyi bir temsilci haline gelmiştir. İstasyon yaklaşık olarak 1 milyon Euro’ya mâl olmaktadır ve bu maliyete spesifik dizayn ve yerinde teknik çözümler dahildir⁴⁸.

Resim 3.1: Reykjavik Shell Hidrojen Dolum İstasyonu



Kaynak: Maria H. Maack, Jon Bjorn Skulason, “Implementing The Hydrogen Economy”, *Journal of Cleaner Production*, Vol.14, 2006, p.52.

İstasyondaki hidrojenin fiyatı, büyük ölçüde elektroliz için kullanılan elektriğin fiyatıyla yönlendirilmektedir. Hidrojen küçük istasyonlarda yapıldıkça, elektrik masrafları diğer küçük kullanıcılarla aynı olacaktır. Diğer taraftan hidrojeni hem gaz olarak hem de sıvı olarak depolamak ve taşımak pahalıdır. Depolama alanının fiyatı, Reykjavik’de oldukça düşüktür. Fakat hidrojenin hacimli olması nedeniyle ve uygulanan güvenlik alanları sebebiyle yakıt fiyatında önemli bir faktör haline de gelebilir. Şu anda genel bir tahmin yapıldığında, Reykjavik hidrojen prototip sisteminin kullanılmasının gerçek maliyetlerinin, Temmuz 2004 itibarıyla benzin fiyatında benzer bir sistemin benzinle çalıştırılmasından 5 kat daha pahalı olduğu görülmektedir. Reykjavik’den belirlenen gerçek maliyetler ve simülasyonlar,

⁴⁷ **Ibid.**

⁴⁸ **Ibid**, p.56.

daha sonra kıyaslama yapılması amacıyla saklanmaktadır. 100 yıldır fiyat seviyelerini ayarlayan bir petrol altyapısının kullanılmasının maliyetlerini, sadece üç araç için hizmet sunan bir prototip hidrojen istasyonunu kullanmanın maliyetlerini karşılaştırmak da uygun değildir⁴⁹.

3.2.2. Amerika Birleşik Devletleri

3.2.2.1. Enerji Politikası ve Hidrojen Çalışmaları

Kuzey Amerika’da hükümetin hidrojen enerjisine olan ilgisi, Uluslararası Hidrojen Enerjisi Birliğinin kurulduğu ve konu hakkında Miami Şehrinde ilk uluslararası konferansın düzenlediği 1973’de meydana gelen petrol krizi günlerine dayanmaktadır. Enerji Araştırma ve Geliştirme İdaresi (ERDA*), hidrojen enerjisi araştırmasını, enerji politikası konusunda başarısızlığa uğramış ABD Hükümeti programının bir kısmı olarak desteklemiştir, ancak 1970’lerdeki finansman yılda 24 milyon doları geçmemiştir. Bu miktar Batı Avrupa’daki eşdeğer programlardan çok daha azdır. ABD Hükümetinden gelen araştırma desteği, gittikçe büyüyen küresel iklim değişikliği ve petrol ithalatına bağımlılık kaygısıyla, 1980’lerde düşmüştür. ABD Enerji Departmanı (DOE*) hidrojen araştırmalarını aynı çerçeveye yerleştirmemektedir. Ancak kısa vadede, yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımına kısa süreli fırsat verilmektedir. Örneğin, ABD Ulusal Hidrojen Enerjisi Yol Haritası, tüm hidrojenin %90’ının fosil yakıtlarından yapılacağını, geri kalanının da nükleer enerji kullanarak elektrolizden elde edileceğini varsaymaktadır. Aslında DOE, kömür, doğalgaz ve nükleer enerjiden hidrojen yakıtı çıkarmak için “devrim” niteliğinde teknolojiler geliştirmek için araştırma çabalarını desteklemektedir. Sonuç olarak hidrojen programları, Enerji Verimi ve Yenilenebilir Enerji Ofisi’nin yanı sıra, Fosil Enerji, Nükleer Enerji, Bilim ve Teknoloji ofisleri yoluyla desteklenmektedir⁵⁰.

⁴⁹ **Ibid**, p.60.

* ERDA (Energy Research Development Association)

* DOE (Department of Energy)

⁵⁰ Solomon, Abhijit Banerjee, **op.cit.**, p.785.

1990 Temiz Hava Kanunu, yakıt bileşimi ve türünün daha düşük araç emisyonlarına geçişte kritik faktörler olduğunun A.B.D tarafından resmen tanınması anlamında olmuştur. Kanun, yakıttaki değişikliklerin araç teknolojisindeki yeniliklerle birleştiğinde, hava kirliliğini azaltmak için gerekli olduğunu belirtmektedir. Bu kanunun geçirilmesi, petrol bazlı yakıtlara karşı diğer alternatifler tartışmasını başlatmıştır. Kaliforniya Pilot programı, Temiz Hava Kanunun bir sonucudur ve bu güne kadarki en katı emisyon standartlarının aşamalarını belirtmiştir. Temiz Hava Kanunu yasalaştığı zaman Kaliforniya en ciddi hava kirliliği seviyelerine sahipti. Sonuç olarak Kaliforniya bir hidrojen ekonomisine geçiş konusunda en girişken eyalet olmuştur. Hem BP gibi rafineri sektöründen hem de hidrojenin geliştirilmesine bağlı olan diğer şirketlerden üyeleri olan Kaliforniya İş Konseyi, benzine alternatif geliştirmek için birlikte çalışmaktadırlar⁵¹.

3.2.2.2. Kaliforniya Yakıt Hücresi Ortaklığı ve Hidrojen Otoyolu

Sektördeki hidrojenle ilgili aktivitelerin bir kısmını entegre etmek için 2002 yılında Bilim ve Teknoloji Ofisi bünyesinde yeni bir program ofisi oluşturulmuştur; Hidrojen Ofisi Yakıt Hücreleri ve Altyapı Teknolojileri Programı. Bu programı 2002 yılından 2007'ye kadar desteklemek için 2003'deki Ulusa Seslenişin de Başkan George W. Bush tarafından teklif edilen 1.7 milyar doları ile birlikte bu konuya odaklanan, FreedomCAR (Ortak Otomotiv Araştırması) ve Yakıt Girişimi adında bir program oluşturulmuştur. Bu toplamın, hidrojen üretimi araştırma finansmanına ayrılan 32 milyon dolar yenilenebilir kaynaklardan elde edilen hidrojene bağlanmıştır. Bu programın hedefleri, hidrojen enerjisinin maliyetini düşürmek, etkili hidrojen depolaması oluşturmak ve maliyeti karşılanabilir hidrojenli yakıt hücreleri yaratmaktır⁵².

Ortaklık basın ilanı, “2003 yılı boyunca, Kaliforniya Yakıt Hücresi Ortaklığının ve üyelerinin aşağıdaki uygulamaları gerçekleştireceğini ifade etmektedir⁵³;

- Yakıt hücreli araçların filo müşterilerinin kullanımına verilmesine başlamak.

⁵¹ Johnston, Micheal C. Mayo, Anshuman Khare, **op.cit.**, p.576.

⁵² Solomon, Abhijit Banerjee, **loc.cit.**

⁵³ Johnston, Micheal C. Mayo, Anshuman Khare, **op.cit.**, p.575.

- 265.000 mile kadar artarak, 60 yakıt hücresi araç çalıştırmak.
- Ek hidrojen dolum istasyonları kurmak.
- Dolum istasyonunun birlikte işlevliğini teşvik etmek.
- Araç ve dolum gösteri topluluklarını hedefleyen eğitim programını geliştirmek ve uygulamak.
- Dünya daki diğeri yakıt hücresi araç programlarıyla koordinasyon sağlamak ve otobüs programları için sabit veri toplama ve değeri lenmeyi teşvik etmeye başlamak.
- Direkt olarak en azından 500.000 insanı yakıt hücresi araçlarla ve dolum teknolojisi fırsatları ve zorluklarıyla tanıştırmak, çok sayıda kamu olayı ve faaliyeti yoluyla Kaliforniya halkına ulaşmak.
- Ortaokul ve lise öğretmenlerine 1000 öğretmen öğrenme seti dağıtmak.
- 2004 yılı ve sonrasında gerçek dünya daki filo operasyonlarında araçların daha büyük pazar girişi için hazırlanmak.
- Ortak hedefleri teşvik etmek için çevre topluluğıyla yakın işbirliği içinde çalışmak.

ABD Ulusal Araştırma Konseyi, hidrojen enerjisi teknolojilerinin durumu ve maliyetini ve DOE'nin araştırma, geliştirme ve yayılma stratejisini değeri lendirmek için geçici bir rapor yayınlamıştır. Gelecekteki Hidrojen Üretimi ve Kullanımı için Alternatifler ve Stratejiler hakkındaki raporda komite DOE'ye dört tavsiyede bulunmuştur⁵⁴;

- Çeşitli teknoloji yollarının etkilerini tanımlamak için hidrojen programı içerisinde bağımsız bir sistem mühendisliği ve analiz grubu kurulmalıdır.
- Önemli ve keşfedici araştırmalara, ek bütçesel önem verilmelidir.
- Güvenlik konularına değeri nmek için büyük bir çaba gösterilmelidir.
- Özel sektörün bilgisi ve yeteneklerine ilgiye devam edilmelidir ve DOE Bilim Ofisi, hidrojen programı planlamasına daha iyi entegre edilmelidir.

⁵⁴ Solomon, Abhijit Banerjee, **op.cit.**, p.785.

Resim 3.2’de Kaliforniya’da inşası devam eden hidrojen otoyolu görülmektedir. Bu otoyolda yalnızca hidrojen yakıtlı araçlar çalışmakta ve sadece hidrojen doldurabilen yakıt istasyonları bulunmaktadır.

Resim 3.2: Kaliforniya Hidrojen Otoyolu



Kaynak: Matt Palmquist, “Hydrogen Highway Revisited”, (Çevrimiçi)
http://www.hcn.org/servlets/hcn.WOTRArticle?article_id=17108 (23.06.2007).

3.2.3. Kanada

3.2.3.1. Enerji Politikası ve Hidrojen Çalışmaları

Kanada, uluslararası bir seviyedeki hidrojen ve yakıt hücresi geliştirme araştırmalarında ön planda olmuştur. Hidrojen sistemleri alanındaki Kanada uzmanlığının örnekleri şunlardır; yakıt hücrelerinin (PEMFC) geliştirilmesinde bir dünya lideri olan Ballard Power Systems, dünya daki hidrojen yakıt dolum istasyonlarının kurulumunda bir lider olan Stuart Energy Systems, yüksek basınçlı hidrojen depolama tanklarında bir lider olan Powertech Labs, dünyanın en büyük metanol üreticisi olan Methanex, hidrojen saflaştırma konusunda bir lider olan QuestAir Technologies ve hidrojenle ya da doğalgazla çalışan motorları geliştirenlerden biri olan Westport Innovations’dır. Kanada hidrojen ve yakıt hücresi

sektörü 2003 yılında gelirini 2002'ye göre %40 artırmıştır. İstihdam %40 büyüyerek 262'ye yükselmiştir, tanıtım projelerine katılım %232 büyüyerek 79'dan 262'ye çıkmıştır ve patent alımı %34 artışla 581'e çıkmıştır⁵⁵.

Kanada'nın yakıt hücresi teknolojisine ilgisi 1960'ların başlarında başlamıştır. Yakıt hücrelerinin geliştirilmesinde yapılan ilk araştırma, Toronto Üniversitesi, Ottawa Savunma Araştırma Kurumu ve Ulusal Araştırma Konseyi'nde yürütülmüştür. Bu ilk çalışmanın büyük bir bölümü alkalın ve fosforlu asit yakıt hücrelerine yoğunlaşmıştır. 1983 yılında, Ballard Araştırma, Ottawa Savunma Araştırma Kurumu ile yapılan bir sözleşmeye göre bir Polimer Elektrolit yakıt hücresinin geliştirilmesine başlamıştır. Son 20 yıldır, Kanada ülkeleri biraz hükümet desteği ile yakıt hücrelerinin ve ilgili ürünlerin geliştirilmesi ve ticarileştirilmesinde dünya da öncü olan bir pozisyon geliştirmiştir⁵⁶.

Kanada'da hidrojene geçiş sürecinde yakıt hücreleri kritik bir rol oynamaya devam etmektedir, yakıt hücreleri konusunda hedefler şunlardır⁵⁷;

- Kanada yakıt hücresi endüstrisinin küresel piyasada tanıtılması.
- Yakıt hücresi endüstrisi gelişimine ulusal bir stratejik yaklaşımı desteklemek için Kanada Hükümeti ile bu endüstrinin profilini geliştirmek.
- Yakıt hücresi şirketlerinin, ticaret öncesi yakıt hücresi teknolojilerini test etmesini ve tamamlamasını kolaylaştırmak.
- Yakıt hücresi teknolojisini ve bunun ekonomik ve çevresel faydalarını teşvik etmek.
- Üye ülkeler arasında bilgi paylaşımı ve iletişim ağlarının geliştirilmesi.
- Yakıt hücresi ürünlerinin emniyeti ve yaygın kullanımını destekleyen gelişim düzenlemeleri, standartları ve kodları kolaylaştırmak.

⁵⁵ Kirthi Roberts, John B. Robinson, "Characterization And Sustainability Assessment of Canada's Hydrogen Highway", **International Journal of Energy Research**, Vol.10, 2006, p.2.

⁵⁶ **Ibid.**

⁵⁷ Johnston, Micheal C. Mayo, Anshuman Khare, **loc.cit.**

- Kanada eğitim kurumlarında beceri gelişimi ve ders programı konusunda yönlendirme sağlamak.

Kanada Hükümeti, ülkenin hidrojen ekonomisinin geliştirilmesindeki öncülerden biri olarak kalmasını sağlamak için bir plan hazırlamıştır. Hükümet 2011 yılına kadar, küresel yakıt hücresi talebinin 46 milyar dolara ulaşacağını 150.000'den fazla insana istihdam sağlayacağını tahmin etmektedir. 2021 yılına kadar endüstri'nin 2.6 trilyon dolara ulaşabileceği tahmin edilmektedir. Kanada'nın yakıt hücresi ve ilgili teknolojilerin geliştirilmesi konusundaki faaliyetinin en büyük merkezi British Columbia'dır. Federal Devletin yardımıyla, eyalet bir pilot programda kullanmak üzere Ballard Power Systems'den üç yakıt hücreli otobüs almıştır. Bu gelişme hidrojenle çalışan araçların Kanada pazarına girmesinin devamı olarak görünmektedir. Ballard şu anda hidrojen teknolojisini kullanan yaklaşık 50 araca sahipken, diğer hidrojen yakıtlı araçlar Japonya ve Birleşik Devletler gibi diğer ülkelerdedir⁵⁸.

3.2.3.2. Kanada Hidrojen Otoyolu

Özellikle, son on yıldır, yakıt hücreleri ve hidrojen endüstrisi gelişmektedir ve giderek yayılan hidrojen ve yakıt hücreleri ile ün kazanmaktadır. 2010 kış olimpiyatları için toplanma yeri olarak Vancouver'in seçilmesi de hidrojen ve yakıt hücreleri profili için bir destek olmuştur. Çünkü Victoria, Vancouver ve Whistler arasında bir "Kanada Hidrojen Otoyolu" resim 3.3'den görüldüğü gibi, inşa etme planı onay almıştır. Hidrojen enerji sistemlerinin uzun vadeli potansiyelini gösteren pek çok global ve ulusal enerji senaryoları oluşturulmuş olsa da, bu senaryoları gerçekleştirmek için yeterli yetkinin olup olmadığı belirgin değildir. Bugüne kadar, hidrojen enerji sistemlerini teşvik etmek için gösterilen pek çok gayret, bireysel araştırma, geliştirme ya da kanıtlama projelerini içermiştir ve bunlar bireysel hidrojen üretimine ya da son kullanım teknolojilerine odaklanmışlardır. Bu kanıtlamaları gelecekte hidrojenin enerji ekonomisine yapacağı katkı senaryolarıyla

⁵⁸ Ibid, p.576.

bağdaştırmak için henüz çok az çaba gösterilmiştir ve hatta bu tür senaryoların özelliklerini ve sürdürülebilirliğini değerlendirmek için çok az ilgi gösterilmiştir. Kanada hükümeti, Victoria, Vancouver ve Whistler arasındaki BC Hidrojen otoyolu için geliştirilmekte olan kanıtlama projelerine dayanan ve Kanada’da hidrojen üretimi ve tüketimi konusunda kısa vadeli (4 yıl) bir senaryonun geliştirilmesine odaklanmaktadır.⁵⁹.

Resim 3.3: Victoria, Vancouver ve Whistler Arasındaki BC Hidrojen Otoyolu



Kaynak: Kirthi Roberts, John B. Robinson, “Characterization And Sustainability Assessment of Canada’s Hydrogen Highway”, **International Journal of Energy Research**, Vol.10, 2006, p.4.

Kanada toplumu hidrojen enerjisi ve yakıt hücresi teknolojilerinin gelişiminde en fazla aktif olan milletlerden biri olmuştur ve bu alanda çok sayıda öncü girişimin yeri durumundadır. Yakıt hücresi endüstrisi ile Kanada Doğal Kaynaklar Departmanı, iki öncü girişim olarak hidrojen teknolojilerinin geliştirilmesini, ticarileştirilmesini ve erken benimsenmesini hızlandırmak için bir teknoloji ortaklığı kurmuştur. Hava kalitesini yükseltmek ve sera gazı emisyonlarını azaltmak amacıyla, programı desteklemek için 2003 yılında 215 milyon Kanada Doları bir mali taahhüt ilan edilmiştir. Federal hükümet 85 milyon doları, araştırma, geliştirme, yayılma ve hidrojen ekonomisi çabalarına ayırmıştır. Yeni harcamanın

⁵⁹ Roberts, John B. Robinson, **loc.cit.**

yaklaşık 60 milyon doları, uygulama projelerini desteklemek için ilk girişimcilere ayrılmış durumdadır. Bir endüstri birliği olan Kanada Yakıt Hücreleri Birliği tarafından Toronto’da kurulan bir ortaklık da dahil olmak üzere, ortaklıklara minimum 50 milyon dolar harcanacaktır. Performansı artıran ve maliyeti düşüren yeniliklerin geliştirilmesi için 20 milyon dolar tahsis edilmektedir⁶⁰.

Avrupa Birliği Komisyonu’nun Ortak Araştırma Merkezi Ispra tarafından tasarlanan hidrojen-bazlı, temiz, yenilenebilir enerji sistemleri Avrupa Birliği Komisyonu’nun ortak araştırma merkezi Ispra ve Kanada Hükümeti tarafından koordine edilen Avrupa ülkeleri tarafından araştırılmaktadır. 100 mw pilot projenin Quebec’de mevcut olan hidroelektrik enerjisi şeklinde temiz ve yenilenebilir birincil enerji olarak sürdürülebilirliğini kanıtlaması gerekmektedir. Su, elektroliz yoluyla hidrojene çevrilir, depolanarak ve farklı şekillerde kullanıldığı (elektrik/ısı birlikte üretimi, araç ve hava itici gücü, endüstride ve evlerde kullanılmak üzere doğalgazın hidrojen açısından zenginleştirilmesi) Avrupa’ya nakledilmektedir. Avrupa-Quebec hidro-hidrojen pilot projesinin tanıtım aşamaları konusunda durum raporları verilmektedir. Geleneksel alternatif kaynaklarının oldukça yüksek fiyatlı olması, Kuzey Kanada’yı, hidrojenin performans ve ekonomik açıdan rekabet edebildiği bir niche pazar haline getirmektedir⁶¹.

3.2.4. Japonya

3.2.4.1. Enerji Politikası ve Hidrojen Çalışmaları

AIST (The Agency of Industrial Science and Technology) enerji koruma teknolojileri, yeni enerji teknolojileri ve çevresel teknolojiler ile ilgili olarak petrol krizinden sonra üç büyük ölçekli proje geliştirmiştir; 1974’de “Güneş Işığı Programı”, 1978’de “Ay Işığı Programı” ve 1989’dan bu yana “Çevresel Teknoloji için Araştırma ve Geliştirme Programı”. Güneş Işığı Programı; sabit bir yeni enerji tedarikinin gerçekleştirilmesini amaçlayan geniş ölçekli uzun vadeli bir proje olmuştur. Proje güneş enerjisi, jeotermal enerji, kömürün sıvılaştırılması ve

⁶⁰ Solomon, Abhijit Banerjee, **op.cit.**, p.786.

⁶¹ Momirlan, T.N. Veziroğlu, **op.cit.**, p.160.

gazlaştırması ile elde edilen enerjiler ve hidrojen enerjisi gibi yeni enerjileri kapsamıştır. Ay Işığı Programı; yakıt hücrelerini, ısı pompalarını ve süper iletken teknolojileri kapsayan enerji-tasarruflu teknolojiler geliştirmeyi amaçlayan bir proje olmuştur. Çevresel Teknoloji için Araştırma ve Geliştirme Programı; hammadde geri dönüşüm teknolojileri, biyolojik olarak parçalanabilen kimyasal maddeler konusunda araştırmalar yaparak ilerlemeler sağlamıştır⁶².

AIST Yeni Güneş Işığı Programı 1993 yılında, mevcut Güneş Işığı Programını, Ay Işığı Programını ve Çevresel Teknoloji için ar-ge programını bir araya getirerek oluşturmuştur. Yeni programın hedefi, enerji ve çevre sorunlarını çözerken sürdürülebilir büyüme sağlamak için yenilikçi teknolojiler geliştirmektir. 1996 mali yılı için hesaplanan bütçe AIST dışındaki organizasyonlara sağlanan finansman da dahil olmak üzere 6.1 milyar dolardır⁶³.

Japonya petrol talebini tedarik etmek için tamamen ithalata bağımlıdır. 2006'daki Orta Asya'dan yapılan petrol ithalatının %88.4 ile Japonya, ABD gibi, enerji güvenliğini artırmak ve ithalata olan bağımlılığını azaltmak istemektedir. Ülke, prototip hidrojen arabalarının önde gelen üreticilerinden ikisi olan Toyota ve Honda'nın merkezi olmanın yanı sıra, alternatif yakıtların teşvik edilmesinde öncü olmuştur⁶⁴.

3.2.4.2. WE-NET Projesi

Japonya, sadece Ar-Ge değil ayrıca üretim planları açısından da, bir hidrojen ekonomisi geliştirmek için gösterilen uluslararası çabada en önemli oyuncularından biridir. Hükümetin hedefine olan bağlılığı, Kyoto Protokülü ile 2010 yılına kadar sera gazını %6 azaltma, ülkenin ulaşım için ithal edilen petrole oldukça bağlı olması ve Japonya'nın hem kendi imajı için hem de ekonomisi açısından yeni teknolojiler konusunda bir yüksek teknoloji süper gücü olma pozisyonunu koruma ihtiyacından

⁶² Chiba Mitsugi, Arai Harumi, Fukuda Kenzos, "We-Net: Japanese Hydrogen Program", **International Journal of Hydrogen Energy**, Vol. 23, No. 3, 1998, pp. 159.

⁶³ **Ibid.**

⁶⁴ Johnston, Micheal C. Mayo, Anshuman Khare, **op.cit.**, p.577.

kaynaklanmaktadır. WE-NET (Dünya Enerji Ağı) projesi, fazla miktardaki yenilenebilir enerji kaynaklarının geliştirilmesi, nakledilmesi ve kullanılması için dünya çağında bir ağın kurulmasını sağlamak için 1993 yılında başlatılmıştır. WE-NET projesi, hidrojenle ilgili ar-ge çalışmalarının planlanması ve uygulanması için hareket eden Yeni Enerji ve Endüstriyel Teknoloji Geliştirme Organizasyonu tarafından koordine edilen geniş bir hükümet-akademi-endüstri ortak girişimidir. WE-NET projesinin I. Aşaması 1993-1998 yılları arasında uygulanmış ve farklı teknolojilerin uygunluğu konusundaki araştırmaya ve Japonya'nın hidrojen enerjisi ağı için bir vizyon planlama konusuna odaklanmıştır⁶⁵.

WE-NET Projesinin II. Aşamasındaki faaliyetler, aşağıdaki alanlarda teknolojik ilerlemeye odaklanmaktadır. İlk dört alandaki ar-ge faaliyeti, özellikle 2002 ve 2003 yıllarında verimli olmuştur. 30 kw'lık bir yakıt hücresinin, 3 farklı türden hidrojen dolum istasyonlarının ve bir hidrojen motorunun başarılı bir şekilde geliştirilmesi Japonya'da bu türden elde edilen ilk başarılarıdır⁶⁶;

- PEFC (yakıt hücreleri).
- Hidrojen üretim sistemleri.
- Hidrojen dolum istasyonları ve araç sistemleri.
- Hidrojen kullanım sistemleri (H₂ motoru).
- Güvenlik standartları ve değerlendirme.

WE-NET projesinin II. Aşaması 1999-2002 arasında uygulanmış ve daha ileri araştırma ve planlama konularının yanı sıra seçilmiş olan hidrojen teknolojilerinin ve altyapının tanıtılması ve test edilmesine odaklanmıştır. İlk iki aşamanın ar-ge bütçesinin toplamı 20 milyar yen'dir (yaklaşık olarak 200 milyon dolar). Hidrojenin Güvenli Kullanımında Önemli Teknolojilerinin Geliştirilmesi konusundaki projenin 2010 yılına kadar sürmesi ön görülmektedir ve bu proje Japonya'daki hidrojen enerjisi altyapısının kademeli olarak yayılmasına ve nüfuz

⁶⁵ Solomon, Abhijit Banerjee, **op.cit.**, p.788.

⁶⁶ Waichi Iwasaki, "A Consideration of Power Density And Hydrogen Production And Utilization Technologies", **International Journal of Hydrogen Energy**, Vol.28, 2003, p.1325.

etmesine odaklanmaktadır. WE-NET projesi, hidrojen enerjisi ağının üretim, depolama, nakliye ve kullanım gibi tüm farklı unsurları için detaylı planlar geliştirmiştir. Yakın dönemde hidrojenin, özellikle uzun vadede en önemli üretim yöntemi haline gelen “yenilenebilir şekilde üretilen elektrik” olmak üzere, elektroliz yoluyla fosil yakıt bazlı kaynakların ıslah edilmesiyle elde edilmesi beklenmektedir⁶⁷. WE-NET Projesi, bir dünya enerji ağı kurmayı önermektedir. Bu ağ talep merkezlerine arz sağlamak için su gücü ve güneş enerjisi gibi kullanılmamış bir şekilde mevcut olan yenilenebilir enerjiyi ikincil ve taşınabilir bir şekle dönüştürecek ve enerji üretimi, ulaşım, hava gazı vb. kullanımını mümkün kılacaktır⁶⁸. WE-NET Projesinin temel planı tablo 3.2’de gösterilmektedir. Hidrojen ve yakıt hücresi teknolojisine geçişi denetleyen Ekonomi, Ticaret ve Sanayi Bakanlığı (METI), yakıt hücresi teknolojisinin Araştırılma ve Geliştirilmesi için 2003-2004 mali yılı için 256 milyon dolar istemiştir. Bu 183 milyon dolarlık 2001-2002 bütçesinden sonra oldukça büyük bir artıştır⁶⁹.

Tablo 3.2: We-Net Projesinin Temel Planı

1. Dönem	
1993’den 2020’ye(28 yıl)	
2. Araştırma & Geliştirme	
Aşama 1	1993-1998
Aşama 2	1999-2005
Aşama 3	2006-2020

Kaynak: Chiba Mitsugi, Arai Harumi, Fukuda Kenzos, “We-Net: Japanese Hydrogen Program”, **International Journal of Hydrogen Energy**, Vol. 23, No: 3, 1998, p.160.

Japonya hidrojen ekonomisine giden yolda diğer ülkelerle aynı engellerle karşı karşıyadır. Şubat 2003’te Japonya’nın hidrojen stratejisi Meksika’daki Hidrojen atölye çalışmasında sunulmuştur. Halk tarafından kabul sağlamak ve düşük maliyetli bir altyapı geliştirmek, üstesinden gelinmesi gereken kilit konular olarak tanımlanmıştır. METI 2010 yılına kadar yollarda 50.000 ve 2020 yılına kadar da 5 milyon yakıt hücresiyle çalışan aracın olmasını hedeflemektedir. Şu anda, Toyota,

⁶⁷ Solomon, Abhijit Banerjee, **op.cit.**, p.788.

⁶⁸ Mitsugi, Arai Harumi, Fukuda Kenzos, **op.cit.**, p. 160.

⁶⁹ Johnston, Micheal C. Mayo, Anshuman Khare, **op.cit.**, p.577.

Nissan ve Honda'nın Japonya yollarında yakıt hücreli araçları bulunmaktadır. Japonya H k meti'nin dördü Toyota'da ve biri de Honda'dan olmak üzere kiralanmış beş aracı vardır. Japonya'da şu anda    hidrojen dolum istasyonu vardır ve 2003 için de beş istasyon daha planlanmıştır. Bu da ülkeyi, hidrojen bilgisi toplamak için iyi bir test alanı haline getirmektedir. General Motors'un kamu yollarında likit hidrojen yakıt hücreli araçlarını kullanması Japonya H k meti tarafından onaylanmıştır. METI 2020 yılına kadar tüm ülkede 4000 yakıt dolum istasyonu hedefini belirlemiştir. Günümüzde Japonya'da 53.000 benzin istasyonu vardır⁷⁰.

2001 yılında Tsurumi şehrinde iki tür hidrojen yakıt dolum istasyonunun (doğalgaz reformasyonu ve PEM su elektrolizi) tasarımı tamamlanmış ve gerekli parçaları imal edilmiştir. Hidrojen, yakıt dolum istasyonunda yerinde üretilmektedir. Çeşitli kimyasal işlemlerinin bir yan ürünü olarak üretilen hidrojenin fazla miktarda olmasının avantajını kullanmak için; hidrojen gazı üretildiği yerde, yerinde yakıt dolum istasyonuna taşımayı hedefleyen bir sistem ger ekleřtirilmiřtir⁷¹.

3.2.5. Almanya

3.2.5.1. Enerji Politikası ve Hidrojen  alışmaları

Almanya'daki enerji tüketimiyle ilgili referans senaryoya göre; 2010'dan sonra, enerji tüketimi 2000 yılına kıyasla 2050 yılında %10 civarında düşüş göstermektedir. 2020 yılından sonra hidrojenin nihai enerji taşıyıcısı pazarına gireceği varsayılmaktadır. 2050 yılında hidrojen Almanya'da tüm yakıtların toplam tüketiminin yaklaşık %2'sine ulaşacağı tahmin edilmektedir. Referans senaryo içerisinde, hidrojen kullanımı, özellikle yolcu arabaları ve otobüs sektöründeki yakıt hücreli araçlar olmak üzere, ulaştırma sektörüne odaklanmaktadır. Hidrojenin yaklaşık %25'i elektrik üretimi için kullanılmaktadır⁷².

⁷⁰ **Ibid.**

⁷¹ Iwasaki, **loc.cit.**

⁷² Hake, J. Linssen, M. Walbeck, **op.cit.**, p.1279.

Fuel Cell Today tarafından 2005 yılında yayımlanan bir araştırmaya göre, Almanya’da yakıt hücresiyle ilgili aktivitelerde 350’den fazla organizasyonda 2800 insan çalışmaktadır. 1950’lerde, Siemens ve Varta gibi şirketler, alkalın yakıt hücreleri (AFC) konusunda çalışmaya başlamıştır. Pek çok yakıt hücresi girişimi ilk olarak Almanya’da kurulmuştur. Bugün, ülkenin yakıt hücresi endüstrisi Japonya, ABD ve Kanada bu alandaki diğer lider ülkeler arasındadır. Yakıt hücresiyle ilgili faaliyetler asıl olarak sadece dört güneybatı eyaletinde; Baden Württemberg, Bayern, Hessen ve Nordrhein Westfalen üzerinde odaklanmıştır. Bunun nedeni kısmen, bu eyalet yönetimlerinin ilgisidir ve ayrıca bu alanda hızlı ilerlemeyi sağlayan bu bölgedeki endüstri ve kaynakların yoğun olmasıdır⁷³.

3.2.5.2. Zukunfts Yatırım Programı ve Hidrojen Boru Hattı

Yerel yönetimlerin yanı sıra federal, bölgesel (eyalet) hükümetler de araştırmayı teşvik etmektedir. Araştırmaya katılan şirketler Ballard, DaimlerChrysler ve Fraunhofer Kurumlarıdır. En önemli destek, Federal Ekonomi ve İş Bakanlığı’ndan ve Federal Eğitim ve Araştırma Bakanlığı’ndan gelmektedir. Federal Çevre Bakanlığı tarafından destekli olarak Zukunfts Investitions Programm (ZIP) adında gelecek yatırım programlarını yürütmektedirler. Almanya ayrıca, sabit kaynaklar için yakıt hücresiyle üretilen elektriğe de yatırım yapmaktadır. Her bölge (eyalet) yakıt hücresi ve hidrojen araştırması için bütçe tahsis etmektedir. Örneğin, 1997 yılından beri Bayern 50 milyon Euro ayırmışken, Nordshein-Westfalen 40 milyon Euro kullanmıştır. Alman şirketleri ve araştırma organizasyonları, her yıl finansmanda tahmini olarak 80-90 milyon Euro almaktadır ve Avrupa Birliği çerçeve programından sağlanan fon, bu toplamın sadece üçte birine karşılık gelmektedir⁷⁴.

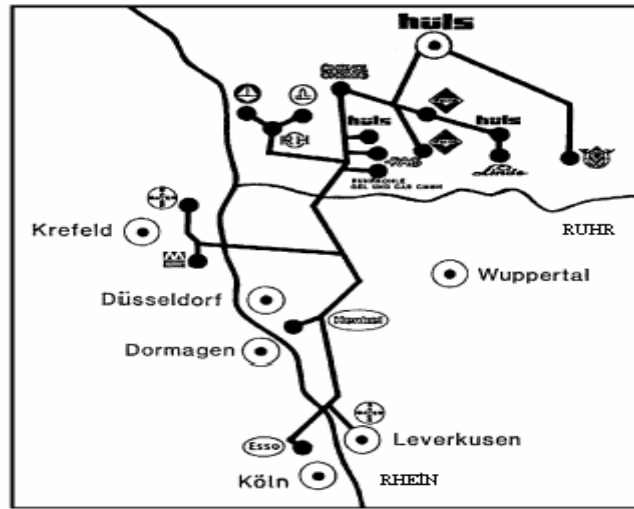
Hidrojeni üretim tesislerinden satış noktasına taşımak açısından, dağıtım sistemleri oldukça önemlidir. Hidrojen sadece çeşitli birincil enerji hammaddelerinden üretilmez ayrıca, farklı teknolojiler kullanarak çeşitli şekillerde dağıtılabilir. Örneğin gazlı hidrojen, resim 3.4’de görüldüğü gibi uzun mesafeli

⁷³ Johnston, Micheal C. Mayo, Anshuman Khare, **op.cit.**, p.578.

⁷⁴ **Ibid.**

(Almanya’da Rhein-Ruhr güzergahında 200 km’lik mesafeli hat gibi) boru hatlarıyla dağıtılabilir; fakat sıvılaştırılmış hidrojen tankerler içinde demiryoluyla, gemiyle ya da karayoluyla taşınabilir. Tedarik zinciri içerisindeki üretim yerini tanımlarken de yeni bir boyut ortaya çıkmaktadır. Bu diğer pek çok yakıt altyapısının aksine hidrojen, merkezi olarak ya üretilir ya da dağıtılır. Merkezi bir üretim seçeneği, mevcut benzin tedarik zincirlerine benzemektedir ki bunlarda ölçek ekonomileri, endüstriyel bağlamda sermayeleştirilmiştir. Hidrojen merkezi bir alanda yüksek miktarlarda üretilir ve daha sonra dağıtılır. Bu tür bir senaryo, mevcut doğalgaz ve elektrik şebekesini, ön yakıt dolum istasyonlarında hidrojen üretmek için kullanacak ve böylece büyük dağıtım maliyeti azalacaktır⁷⁵.

Resim 3.4: Almanya, Rhein-Ruhr Güzergahında 200 km’lik Hidrojen Boru Hattı



Kaynak: J.F. Hake, J. Linssen, M. Walbeck, “Prospects for Hydrogen in The German Energy System”, **Energy Policy**, Vol. 34, 2006, p.1277.

Almanya’da hidrojen uygulamaları ile ilgili bazı örnekler şunlardır⁷⁶;

- Münih Havaalanı Gösterim Projesi (1999-2006): 42 milyon Euro’luk bir bütçeye sahiptir. Bu programdaki ortaklar MAN, Ballard, Proton Motors, Stil

⁷⁵ Andre Hugo, Paul Rutter, Stratos Pistikopoulos, “Hydrogen Infrastructure Strategic Planning Using Multi Objective Optimization”, **International Journal of Hydrogen Energy**, Vol.30, 2005, p.1524.

⁷⁶ Johnston, Micheal C. Mayo, Anshuman Khare, **loc.cit.**

ve Linde, Mannesmann, Neoplan ve Siemens'tir. Proje, Münih havaalanında hidrojen dolum sisteminin kullanımını ve yakıt hücrelerinin ve hidrojenle çalışan araçların günlük kullanımını göstermektedir.

- Berlin'deki Temiz Enerji Ortaklığı (CEP): Dokuz şirketi olan bir Federal Hükümet projesidir ve Kaliforniya Yakıt Hücresi Ortaklığına benzemektedir. Katılımcı şirketler ARAL, BMW, DaimlerChrysler, Ford, MAN, Opel, Berlin Transit Agency ve Linde'dir. Projenin asıl hedefi, hidrojenin yakıt olarak kullanımını göstermektir.
- Avrupa için temiz kentsel ulaşım (CUTE): Avrupa Birliği'nden 18.5 milyon dolarlık bir bütçesi olan bir Avrupa projesidir. Almanya'nın Stuttgart ve Hamburg şehirleri de dahil 10 Avrupa şehrini içermektedir. Hedef, hidrojen dolum istasyonları kurmak ve 2003'den 2005 yılına kadar Mercedes-Benz Citaro yakıt hücreli otobüsleri çalıştırmaktır.

3.2.6. Türkiye

3.2.6.1. Enerji Politikası ve Hidrojen Çalışmaları

Türkiye'de enerji politikalarında kanuni düzenlemeler yoluyla önemli değişimler yaşanmaktadır. Bir yanda sürdürülebilir büyüme hedefi ile beraber enerji ihtiyacının karşılanmaya çalışılması, diğer yandan AB enerji politikalarına uyum sağlama söz konusudur. Yapılan yasal düzenlemelerle enerji piyasası özel sektör yatırımlarına açılmakta ve devlete ait birçok enerji kuruluşu özelleştirilmektedir⁷⁷.

Türkiye'nin 2003 ile 2020 yılları kıyaslandığında enerji talebinin yaklaşık üç kat artış göstereceği beklenmektedir. 2003 yılında 84 milyon ton petrol eşdeğeri olan birincil enerji tüketiminin 2020 yılında 222 milyon ton petrol eşdeğeri olması beklenmektedir. Türkiye'nin enerji ithalatında dışa bağımlılığı %70'lerdedir. Bu oranın düşürülmesine çalışılmaktadır. Elektrik ihtiyacına bakıldığında 2020 yılına kadar 450 milyar kw/saat civarında elektrik kullanılacağı hesaplanmıştır. Tüketim 2005 yılı itibariyle 160 milyar kw/saattir. Eğer üretim kapasitesi arttırılmazsa 2010

⁷⁷ Sami Demirebilek, "Türkiye'nin Enerji Politikası", **Türkiye'de Enerji ve Kalkınma Sempozyumu**, İstanbul, Tasam Yayınları, s.101.

yılından sonra enerji arz güvenliğinin tehlikeye girmesi muhtemeldir. Bu tehlike sınırına gelinmemesi için 2001 yılından itibaren petrol piyasası, LPG piyasası ve yenilenebilir enerji ile ilgili düzenlemeler kanunlaştırılmıştır. Nükleer enerji yasası da kabul edilmiş ve nükleer santral kurma ve işletme yetkisi hükümete verilmiştir. Türkiye’de Hidrojen çalışmaları (ICHET) Birleşmiş Milletler Uluslararası Hidrojen Enerjisi Teknolojileri Merkezi’nin İstanbul’da faaliyete geçmesiyle başlamıştır. Birçok demonstrasyon* projesi oluşturulmuştur. Bunlardan en önemlisi 2008 yılında, Enerji Bakanlığı’nın planladığı Sedef adasında güneş ve rüzgar enerjisi’nden elektrik üretme ve yan ürün olarak da hidrojen üretimidir. Üretilen hidrojenin, yakıt hücresi motor sistemiyle hidrojenle çalışan araçlarda tüketilmesi planlanmaktadır. Ayrıca Karadeniz’den hidrojen üretimi ve bor madeninin hidrojen depolamada kullanılması gibi projelerde uygulanmaya başlamıştır⁷⁸.

3.2.6.2. UNIDO-ICHET Hidrojen Enerjisi Teknolojileri Merkezi

Birleşmiş Milletler Uluslararası Hidrojen Enerjisi Teknolojileri Merkezi’nin (UNIDO-ICHET) kurulmasına ilişkin anlaşma, Türkiye Cumhuriyeti ile Birleşmiş Milletler Sınai Kalkınma Örgütü (UNIDO) arasında, 21 Ekim 2003 tarihinde Viyana’da imzalanarak yürürlüğe girmiştir⁷⁹.

3.2.6.2.1. Amaçları

Uluslararası enerji çevrelerinin büyük önem verdiği ve geleceğin enerjisi olarak adlandırılan hidrojen enerjisinin İstanbul’da kurulacak olan merkezinin başlıca amaçları şunlardır⁸⁰;

- Kalkınmış ve kalkınmakta olan ülkeler arasında işbirliğini geliştirerek; hidrojen araştırma, geliştirme ve yatırımcı kuruluşlar arasında bir koordinasyonu sağlamak ve gelecekteki hidrojen teknolojisi ve endüstrisinin uygulama alanlarını tespit etmek.

* Demonstrasyon: Kullanılışını gösterme

⁷⁸ **Ibid.**

⁷⁹ EİE, ” Hidrojen Enerjisi”, (Çevrimiçi) <http://www.eie.gov.tr/hidrojen/ichet.html>, (20.11.2007).

⁸⁰ **Ibid.**

- Hidrojen teknolojisi uygulamalarında kalkınmaya yönelik işbirliğini geliştirmek.
- Hidrojen araştırma ve geliştirme çalışmalarının artırılması için kalkınmış ülkelerin bilim adamlarının ve uzmanlarının doğrudan katkılarını sağlamak.
- Kalkınmakta olan ülkelerin ar-ge merkezlerini ve programlarını desteklemek, hidrojen teknolojileri alanındaki yatırımları teşvik etmek, olarak belirlenmiştir.

3.2.6.2.2. Faaliyetleri

Unido-Ichet Hidrojen Enerjisi Teknolojileri Merkezi'nin faaliyetleri şunlardır⁸¹;

- Uzun ve kısa dönemli atölye (workshop) çalışmaları, bilimsel toplantılar, bilim adamları ve uzmanların katılacağı uygulamalı eğitim programları düzenlemek.
- Ar-Ge ve teknoloji transferi yapmak.
- Danışmanlık hizmeti sunmak.
- Endüstri ile işbirliği kurmak.
- Hidrojen enerjisi teknolojilerini tanıtmak amacıyla katılımcı ülkelere teknoloji izleme, ar-ge, teknoloji transferi, eğitim, burs ve danışmanlık hizmeti sağlamak.

3.2.6.2.3. Çalışma Kapsamı

Unido-Ichet Hidrojen Enerjisi Teknolojileri Merkezi'nin çalışma kapsamı aşağıdaki gibi belirlenmiştir⁸²;

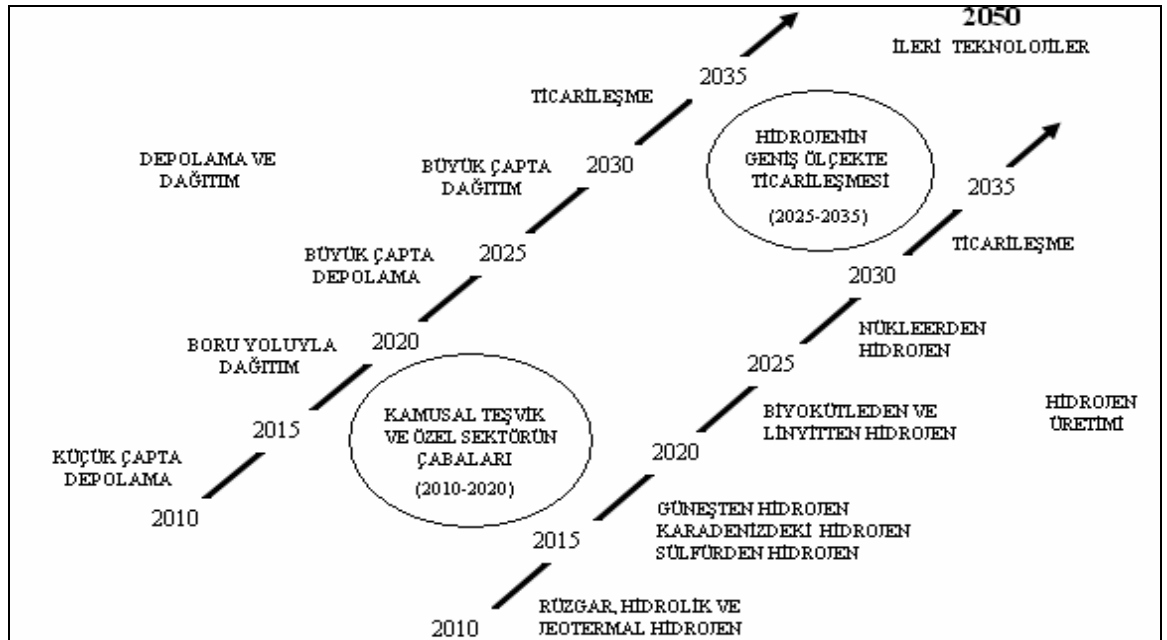
- Hidrojen enerjisi politikası oluşturulması, büyük miktarlarda hidrojen üretimi ve hidrojen enerji teknolojilerinin uygulanmasının ve çevresel çalışmaların ekonomik analizi.

⁸¹ Ibid.

⁸² Ibid.

- Diğer yenilenebilir enerji sistemleriyle hidrojen üretim tekniklerinin entegre edilmesi.
- Hidrojen depolama teknikleri.
- Klima sistemleri.
- Boru ile hidrojen nakli.
- Sıvı hidrojen teknolojileri.
- Hidrojenle çalışan taşıtlar (otobüsler, kamyonlar, otomobiller, iki ve üç tekerlekli taşıtlar).
- Yakıt pili uygulamaları.
- Hidrojen alt yapısının geliştirilmesi.
- Kimya da, enerji üretiminde, gaz, petrol endüstrisinde ve metalürjide hidrojen uygulamaları bulunmaktadır.

Tablo 3.3: Türkiye İçin Hidrojen Üretimi, Depolanması ve Nakli Yol Haritası



Kaynak: Pelin Yılmaz, “Hidrojen Ekonomisine Geçiş Stratejileri ve Türkiye”, (Çevrimiçi) hydrogen.cankaya.edu.tr/sunum/sunum14.ppt, (04.05.2007).

Tablo 3.3’de Türkiye için hidrojen üretimi, depolanması ve nakli ile ilgili bir yol haritası verilmiştir. Buna göre öncelikle kamu desteğiyle ve özel sektörün çabalarıyla 2010-2020 yıllarında, küçük çapta hidrojen üretimi ve depolama öngörülürken, bütün dünya da olduğu gibi boru yoluyla dağıtımı planlanmaktadır. Özellikle nükleer enerjiden hidrojen üretimi düşünülmektedir. Karadeniz altında bulunan bol hidrojen sülfürün ayrıştırılmasıyla açığa çıkan hidrojenin ticarileştirilmesi düşünülmektedir. Bu çabaların hemen hepsi ileri teknoloji gerektirdiği için üretim, dağıtım ve depolama sonucunda ticarileşmenin 2025-2030 yıllarında gerçekleşmesi beklenmektedir.

3.2.6.3. Karadeniz’den Hidrojen Üretimi

Türkiye, üç tarafı denizlerle kaplı olması, oldukça fazla sayıda göllerin ve akarsuların bulunması ve yağışlı bölgelerinin de bulunması açısından, hidrojen elde edilmesi için gerekli olan su bakımından hiçbir zaman sıkıntı olmayacak ülkeler arasında gelmektedir. Türkiye’nin hidrojen üretimi açısından bir şansı da, uzun bir kıyı şeridi olan Karadeniz’in tabanında kimyasal biçimde depolanmış hidrojen bulunmasıdır. Karadeniz’in suyunun %90’ı hidrojen sülfür içermektedir. 1000m derinlikte 8 ml/l olan hidrojen sülfür konsantrasyonu, tabanda 13,5 ml/l düzeyine ulaşmaktadır. Elektroliz reaktörü ve oksidasyon reaktörü gibi iki reaktör kullanılarak, hidrojen sülfür’den hidrojen üretimi konusunda yapılmış teknolojik çalışmalar vardır⁸³.

Hidrojen sülfür, Karadeniz dip sularında meydana gelen aşırı kirlenme sonucunda oluşmuştur. Hidrojen sülfür’ün bulunduğu Karadeniz dip suları oksijen bakımından oldukça fakirdir. Hidrojen sülfürün bulunduğu kısımlarda hiç oksijen bulunmadığından bu kısımlarda canlı varlıklara rastlanmamaktadır. Hidrojen sülfürün en önemli özelliği yüksek oranda toksik içermesi ve ağır bir kokuya sahip olmasıdır. Hidrojen sülfürün çevresel zararlarını azaltmak için bu madde

⁸³ Atilla Akkoyunlu, “Türkiye’de Fosil ve Yenilenebilir Enerji Kaynakları ve Çevreye Etkileri”, **Avrasya Bir Vakfı I. Beyin Fırtınaları Toplantısı, Türkiye’de Enerji Darboğazı- Alternatif Enerji Kaynakları-Nükleer Enerji**, 14 Şubat 2007, Cilt. II, p.58.

bileşenlerine ayrılmalıdır. Ayrışma sonucu ortaya çıkan bileşenler gaz formdaki kükürt ve hidrojendir. Karadeniz; Bulgaristan, Gürcistan, Romanya, Rusya, Türkiye ve Ukrayna gibi ülkelerden gelen akarsularla beslenmektedir. Ayrıca Avrupa ve Asya'daki akarsu havzalarında bulunan toplam 21 ülkeden 2.300.000 km 'lik geniş bir bölgenin bütün kirlenme etkileri Karadeniz'e taşınmaktadır⁸⁴.

Karadeniz, diğer denizlerden izole edilmiş ve sadece Marmara Denizi vasıtasıyla Ege Denizine açılmaktadır. Karadeniz'de su sirkülasyonunun olmaması yaklaşık 150 – 200 metre derinliğin altında oksijensiz bir tabakanın oluşmasına neden olmuştur. Ayrıca Karadeniz'de tuz miktarı diğer denizlere oranla daha az olup, boğazın alt kısmından Karadeniz'e tuzlu su akışı mevcuttur. Bu durum Karadeniz'de yaşayan balıkların ve diğer deniz canlılarının ölmesine neden olmaktadır. Aşırı kirlilik neticesinde ve tuz yoğunluğu sebebiyle canlıların ölmesi sonucu meydana gelen birikimler sonucunda dip sularında hidrojen sülfür konsantrasyonu artmıştır⁸⁵.

Karadeniz'in orta bölgelerinde su yüzeyinden yaklaşık 100-150m derinliğe inildiğinde hidrojen sülfür tabakasına rastlanmaktadır. Kıyı kesimlerde hidrojen sülfür'e ulaşım derinliği minimum 180m'dir⁸⁶. Karadeniz ortalarına kurulacak olan platformlar sayesinde hidrojen sülfürün yüzeye çıkarılma maliyeti azaltılmış olacaktır. Zonguldak, Samsun, Sinop, Giresun açıklarında hidrojen sülfüre ulaşmak daha kolaydır. Ayrıca hidrojen sülfür yenilenebilir enerji kaynaklardan elde edebilecek enerji ile rahatlıkla bileşenlerine ayrılabilir. Bu bağlamda Karadeniz-Güneş-Rüzgar Hidrojen Enerji Sistemi Projesi (KGRHES) dikkate alınması gereken bir projedir⁸⁷. Hidrojen sülfür kirlenici bir madde ve hidrojen ile sülfür'ün kaynağı olarak düşünüldüğünde; bu maddeyi ayrıştırma teknolojisinin gelişmesi, çevresel atıkların azaltılması ve kaynaklardan çok daha etkin bir şekilde

⁸⁴ Nihat Öztürk, Mehmet Bilgiç, Cemali Arslan, "Hidrojen Enerjisi ve Türkiye'deki Hidrojen Potansiyeli", (Çevrimiçi) http://www.emo.org.tr/resimler/ekler/51c5ffd6b62cc21_ek.pdf, (27.11.2007) s.2.

⁸⁵ **Ibid.**

⁸⁶ Igor Matveev, "Hydrogen and Power Production from the Black Sea Deep Water", **4th International Energy Conversion Engineering Conference and Exhibit (IECEC)**, 26 - 29 June 2006, San Diego, California, p.1.

⁸⁷ Öztürk ve diğerleri., **loc.cit.**

yararlanma, küresel anlamda çevre kirliliğinin azaltılmasına katkıda bulunacaktır. Karadeniz’de hidrojen sülfür miktarının azaltılması orada yaşayan canlı organizmaların yaşama ömürlerini artıracak ve canlı yaşamının sürdürülebilir olmasını sağlayacaktır⁸⁸.

Hidrojen ile sülfürün ayrıştırılmasıyla tahminlere göre 270 milyon ton hidrojen elde edilmesi mümkün görülmektedir. Bu miktarlardaki hidrojenin 808 milyon ton benzine, 766 milyon ton doğalgaza, 841 milyon ton fueloil’e, 851 milyon ton işlenmemiş petrole eşit olduğu belirtilmektedir. Bu miktarlara bakıldığında Karadeniz’den hidrojen üretimi’nin bölge ülkelerinin enerji taleplerini karşılamada önemli bir rol oynaması beklenmektedir⁸⁹.

Karadeniz dip sularında bulunan toplam hidrojen sülfür potansiyeli dikkate alınarak elde edilecek hidrojen miktarları düşünüldüğünde bu durum bölge açısından özel bir önem arz etmektedir. Bu enerji ihtiyacının tamamının sadece Karadeniz dip sularından elde edilecek hidrojen yakıtından karşılanması durumunda bu bölgenin yaklaşık olarak 180 yıllık enerji ihtiyacının karşılanacağı düşünülmektedir. Fosil kökenli ya da yenilenebilir enerji kaynaklarının bölgedeki enerji ihtiyacını belli oranda karşılayacağı, bu durumda dip sularından elde edilen hidrojenle Karadeniz bölgesinin 350 yıllık enerji ihtiyacının karşılanabileceği tahmin edilmektedir. Günümüz koşullarında 1 kwh elektrik enerjisi kullanımı için 0,112 \$ ödeneceği dikkate alınırsa, hidrojen sülfür rezervine bağlı olarak Karadeniz dip sularından elde edilecek olan hidrojenin ekonomik değerinin yapılan hesaplamalar sonucunda yaklaşık 715 milyar USD olduğu tahmin edilmektedir⁹⁰.

⁸⁸ S.Z. Baykara, E.H. Figen, A. Kale, T. Nejat Veziroğlu, “Hydrogen From Hydrogen Sulphide in Black Sea”, **International Journal of Hydrogen Energy**, Vol.32, 2007, p.1246.

⁸⁹ Adnan Midilli, Murat Ay, Ayfer Kale, T. Nejat Veziroğlu, “Aparametric Investigation of Hydrogen Energy Potential Based on H₂S in Black Sea Deepwaters”, **International Journal of Hydrogen Energy**, Vol.32, 2007, p.123.

⁹⁰ Öztürk ve diğerleri., **loc.cit.**

3.2.6.4. Türkiye’de Bor ve Hidrojen Depolama

Bir ülkenin gelişmesinde ve refahında madencilik sektörü büyük önem arz etmektedir. Bir ülke ekonomisinin artık değer yaratmasında en önemli katkısı madenler yapmaktadır. Gelişmiş ülkelerin büyük çoğunluğu zenginliklerini maden kaynaklarına ve bu kaynaklardan en etkin biçimde faydalanmalarına borçludur. Türkiye bor gibi büyük maden rezervlerine sahiptir. Türkiye dünya bor tüketiminin yaklaşık %60’ını 250-500 yıl karşılayabilecek bir arz potansiyeline sahiptir. ABD’den sonra ikinci büyük bor üreticisidir. Türkiye bor rezervinin %8’ini iç tüketimde kullanmakta %92’sini de ihraç etmektedir. Bu durum ABD’de tam tersidir; bor rezervlerinin %60’ını iç tüketimde geri kalan %40 rezervini de ihraç etmektedir. Türkiye’nin bor ihracatı yıllar itibariyle tablo 3.4’deki gibidir⁹¹;

Tablo 3.4: Türkiye’nin Bor İhracatı

Yıllar	İhracat (Milyon Dolar)
2002	192
2003	213
2004	251
2005	299
2006	390
2007	405

Kaynak: Yakup Kar, Nejdet Şen, Ayhan Demirbaş, “Boron Minerals in Turkey, Their Application Areas and Importance for the Country’s Economy”, **Minerals&Energy**, 2006, Vol.20, Issue: 3, p.2.

Bor, Türkiye’nin sahip olduğu en önemli madenlerden biridir. Bazı alanlarda konsantre bor ürünleri kullanılabildiği gibi bor ürünleri genel olarak rafine bor bileşiklerine ve özel bor kimyasallarına dönüştürüldükten sonra geniş bir kullanım alanı bulmaktadır. Cam endüstrisinden sabun ve deterjanlara, gübre ve tarımsal ilaçlardan ateşe dayanıklı malzemelere, yakıt pillerinden nükleer uygulamalara kadar geniş bir kullanım alanı olan bor ürünleri günümüz teknolojisinde önemli bir yere

⁹¹ Yakup Kar, Nejdet Şen, Ayhan Demirbaş, “Boron Minerals in Turkey, Their Application Areas and Importance for the Country’s Economy”, **Minerals&Energy**, 2006, Vol.20, Issue: 3, p.2.

sahiptir. Bor madeni en çok %42 ile cam endüstrisinde kullanılmakta bu sektörü daha sonra %14 ile seramik, %9 deterjan, %7 tarım izlemektedir⁹².

Bor yataklarının Batı Anadolu'daki dağılımı aşağıdaki gibidir⁹³;

- Bigadiç kolemanit ve üleksit yatakları (Balıkesir)
- Sultançayır pandemit yatağı (Balıkesir)
- Kestelek kolemanit ve probertit yatağı (Bursa)
- Emet kolemanit yatağı (Kütahya)
- Kırka boraks yatağı (Eskişehir)

Dünya'daki en önemli bor yatakları Türkiye, ABD ve Rusya'da yer almaktadır. Tablo 3.5'ten görüldüğü üzere dünya toplam bor rezervi sıralamasında Türkiye %72'lik pay ile ilk sıradadır. Dünya daki en önemli bor üreticileri; Eti Maden İşletmeleri Genel Müdürlüğü (Türkiye) ve Rio Tinto (ABD)'dur. Bu iki kuruluş dünya bor üretiminin yaklaşık %70'ini gerçekleştirmektedir⁹⁴.

Tablo 3.5 : Dünya Bor Rezervleri

ÜLKE	GÖRÜNÜR EKONOMİK REZERV	MUHTEMEL MÜMKÜN REZERV	TOPLAM REZERV	TOPLAM REZERVDEKİ PAY (%)
Türkiye	227.000	624.000	851.000	72,20
A.B.D.	40.000	40.000	80.000	6,80
Rusya	40.000	60.000	100.000	8,50
Çin	27.000	9.000	36.000	3,10
Arjantin	2.000	7.000	9.000	0,80
Bolivya	4.000	15.000	19.000	1,60
Şili	8.000	33.000	41.000	3,50
Peru	4.000	18.000	22.000	1,90
Kazakistan	14.000	1.000	15.000	1,30
Sırbistan	3.000	0	3.000	0,30
TOPLAM	369.000	807.000	1.176.000	100,00

Kaynak: EMİ, “Dünya Bor Rezervleri”, (Çevrimiçi) <http://www.etimaden.gov.tr/tr> (28.11.2007)

⁹² EMİ, “Bor Bileşiklerinin Kullanım Alanları”, (Çevrimiçi) <http://www.etimaden.gov.tr/tr>, (28.11.2007).

⁹³ Cahit Helvacı, “Türkiye Borat Yatakları: Jeolojik Konumu, Ekonomik Önemi ve Bor Politikası”, **Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi**, 2003, Cilt.5, Sayı: 1, s.15.

⁹⁴ EMİ, “Dünya Bor Üretiminin Ülkelere Göre Dağılımı”, (Çevrimiçi) <http://www.etimaden.gov.tr/tr>, (28.11.2007).

Dünya da fosil yakıtların enerji üretiminde kullanılmasının neden olduğu çevre sorunları ve fosil yakıt rezervlerinin giderek azalması ile yeni enerji kaynakları arayışları ve enerji taşıyıcıları araştırmaları hızla devam etmektedir. Bu kapsamda Millenium Cell* enerji şirketinin geliştirdiği ve sodyum borhidrürün (NaBH₄) hidrojen depolama/taşıma malzemesi olarak kullanıldığı sistem, Türkiye bor cevherleri için yeni ve yaygın bir kullanım alanı potansiyeli oluşturmaktadır. Sodyum borhidrür üretimi, hidrojen depolama malzemesi olarak kullanımı, son kullanıcıya dağıtım alt yapısının oluşturulması, kullanılacağı sisteme (araç, evsel ısıtma, ev aletleri vb.) entegrasyon, hidrojen üretiminden sonra kalan çözeltilerin toplanması, yeniden sodyum borhidrüre dönüştürülmesi gibi konuları içermektedir⁹⁵. Ulaştırma sektöründe alternatif enerji kullanılması konusunda ilk sırayı hidrojen almaktadır. Hidrojen yakıtlı motorlar ve araçların tasarımı gibi teknoloji geliştirme çalışmaları sürdürülmektedir. Bu alanda bor madenine olan ihtiyaç ise borun hidrojen depolama ve taşıma malzemesi olarak kullanılmasıdır. Alternatif enerji kaynağı hidrojen için sodyum bor hidrür depolama ve taşıma malzemesi olarak kullanılabilecek günümüzdeki en önemli teknolojik malzeme olarak görülmektedir. Borun yanma sonucunda kolaylıkla bertaraf edilebilecek katı ürün vermesi ve çevreyi kirletecek emisyon açığa çıkarmaması nedeniyle tüm ulaşım araçlarında hidrojen yakıtına katkı malzemesi olarak kullanımı bir avantaj olarak görülmektedir. Hidrojen yakıtının bu alanda kullanımı olağanüstü bir bor talebinin olmasını beraberinde getirecektir⁹⁶.

3.3. TÜRKİYE VE İZLANDA EKONOMİLERİNDE ENERJİ TÜKETİMİ- EKONOMİK BÜYÜME(GSYİH) ORANLARI ARASINDAKİ NEDENSELLİK İLİŞKİSİ

Bu bölümde ilk olarak Türkiye ve İzlanda'daki ekonomik büyüme(GSYİH)-enerji tüketimi ilişkisini araştırmak amacıyla bu ilişkiyi açıklama gücüne sahip

* Hidrojen taşıma ve depolama konusunda ABD'de 25 kadar patenti olan ve Nasdaq Borsasında enerji şirketleri arasında işlem gören şirket.

⁹⁵ Tübitak, **Tübitak Bor Raporu**, Ek-2H, (Çevrimiçi)

http://www.tubitak.gov.tr/tubitak_content_files/vizyon2023/mm/Ek2h.pdf, (20.12.2007).

⁹⁶ SAE, **Türkiye'nin Stratejik Yeraltı Kaynakları Raporu**, İstanbul, Ocak 2004, s.36.

olduğu tahmin edilen parametreler incelenmektedir. Daha sonra bu parametrelerin neden seçildiği ve seçilen ülkelerin ekonomik yapıları ve enerji tüketimleri hakkında geniş bir profil verilmiş ve daha önce yapılan ampirik araştırmalar açıklanmıştır. Son olarak da kullanılan model, yöntem ve veri hakkında bilgi sunulmakta ve ekonometrik analiz yapılmaktadır. Ortaya çıkan sonuçlar değerlendirilmekte ve diğer ampirik analizlerle ortak yönleri ve farkları analiz edilmektedir. Verilerin analizinde ve grafiklerin oluşturulmasında EViews 5.1 paket programı kullanılmıştır.

3.3.1. Enerji Tüketimi ve GSYİH Kavramları

1970’li yıllarda yaşanan iki büyük petrol krizi enerjinin bir üretim faktörü olarak önemini ortaya koymuştur. Daha sonraki süreçte ekonomik kalkınma için önemli girdilerden biri haline gelen enerji, küreselleşmenin de yaygınlaşmasıyla birlikte önemini daha da arttırmıştır. Buna bağlı olarak enerji talebi ve ülkelerin enerjiye olan bağımlılıkları hızla artmış, enerjiye olan bu bağımlılık ülkeleri alternatif ve yenilenebilir enerji kaynakları arayışlarına itmiştir⁹⁷.

Enerji kaynakları; ısınmak, bir yere ulaşmayı sağlamak, aydınlanmak gibi temel ihtiyaçların giderilmesi amacıyla kullanıldığında mikro ekonomik açıdan son tüketim malı olarak, makro ekonomik düzeyde ise mal ve hizmet üretim sürecinde girdi özelliği ile bir ara tüketim malı olarak değerlendirilmektedir⁹⁸.

Uygulamada kullanılan enerji tüketimi ile ilgili veriler elektrik, kömür, doğalgaz gibi enerji kaynaklarının milyon ton petrol eşdeğerine dönüştürülmüş halidir. Böylece uluslararası enerji tüketimi karşılaştırmaları daha anlaşılır bir şekilde yapılabilmektedir. Analiz bütün bir enerji tüketimi hesaba dahil olarak yapılabileceği

⁹⁷ Erdal Karagöl, Erman Erbaykal, H. Murat Ertuğrul, “Türkiye’de Ekonomik Büyüme İle Elektrik Tüketimi İlişkisi: Sınır Testi Yaklaşımı”, **Doğuş Üniversitesi Dergisi**, Cilt 8, Sayı:1, 2007, p.72.

⁹⁸ Vladimir N. Pokrovski, “Energy in the Theory of Production”, **Energy**, Vol. 28, Issue: 8, 2003, p.770.

gibi örneğin sadece kömür, elektrik ve doğalgaz verilerinin de mtep'e dönüşümü ile de büyüme ve enerji tüketimi arasındaki nedensellik ilişkisi araştırılabilir⁹⁹.

GSYİH (Gayri Safi Yurtiçi Hasıla), ekonomide üretilen çıktının bir ölçüsüdür. Üretmek için kullanılan üretim faktörlerinin –yani işgücü, sermaye ve toprağın- sahiplerinin elde ettiği gelir bu çıktıya karşı gelir. Bu ana noktadan hareketle GSYİH belli bir dönem içinde bir ülkede üretilen mal ve hizmetlerin değeridir. IMF ve diğer uluslararası kuruluşlar tarafından yapılan hesaplamalar ve tahminlerde GSMH yerine GSYİH ölçüsü kullanılmaktadır. Günümüzde üç nedenle GSYİH ölçüsü tercih edilmektedir¹⁰⁰;

- Birçok ülkenin aynı üretimi yapması nedeniyle uluslararası karşılaştırmaların daha kolay hale gelmesi.
- Net dış kazançla ilgili verilerin yetersiz olması nedeniyle GSYİH'yi ölçmenin daha kolay olması.
- Ekonomide iş yaratma potansiyelinin ölçüsü olarak GSYİH'nin GSMH'den daha iyi olması.

Son yıllarda ise enerji tüketimi; elektrik tüketimi, petrol tüketimi, kömür tüketimi gibi alt bileşenlerine ayrılarak GSYİH ve ekonomik büyüme ilişkisi araştırılmaya başlanmıştır.

3.3.2. Enerji Tüketimi-GSYİH Modelinde Kullanılan Veriler

Ekonometrik araştırmaların en önemli aşamalarından birisi, ekonomik modeli meydana getiren değişkenlerin rakamlarla ifade edilebilir hale getirilmesidir. Bu nedenle kurulan bir modelin herhangi bir gerçek iktisadi ilişkiye uygulanabilmesi

⁹⁹ Veysel Ulusoy, “Ekonomik Büyüme ve Enerji Tüketimi”, **Türkiye’de Enerji ve Kalkınma Sempozyumu**, Tasam Yayınları, İstanbul, 2006, s.148.

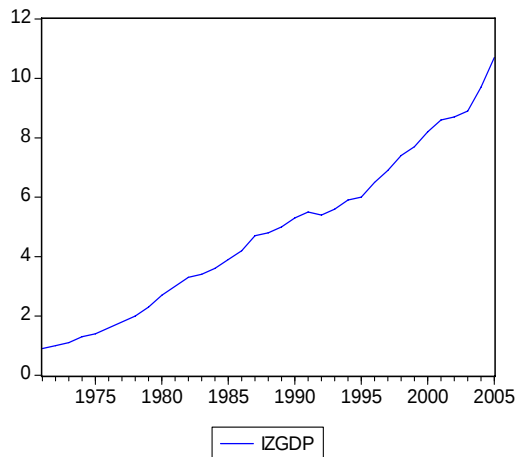
¹⁰⁰ Rudiger Dornbusch, Stanley Fischer, **Macroeconomics**, 6th Edition, McGraw-Hill Published, International Edition, North America, 1994, p.29-31.

için modelde yer alan değişkenler ile ilgili verilerin derlenmesi ya da toplanması modelin kuruluş aşamasında gereklidir¹⁰¹.

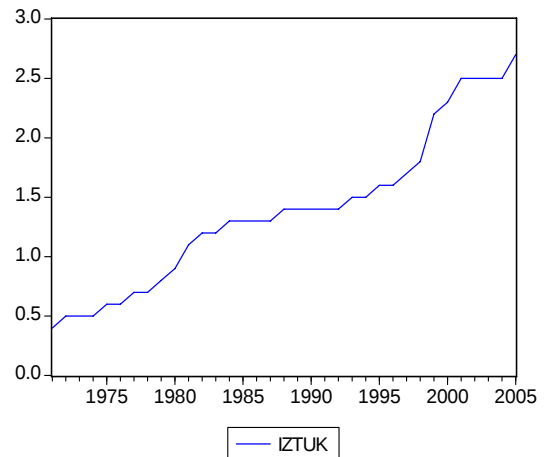
Burada GSYİH verilerinin seçilmesi bu oranların yurtiçi tüketime yönelik rakamları vermesi ve gerek Türkiye’de gerekse yurtdışında yapılan ekonometrik uygulamalarda GSYİH verilerinin GSMH’ye göre daha çok tercih edilmesidir. GSYİH dış alem faktör gelirlerinden ve giderlerinden arındırılmış olması nedeniyle ülke ekonomileri hakkında daha net ve açıklayıcı bir bilgi sağlamaktadır. Bu çalışmada Türkiye ve İzlanda ekonomisinde 1971-2005 dönemi içinde iki değişken arasındaki ilişkinin yönü nedensellik analizi ile tespit edilmeye çalışılmıştır.

Aşağıda Grafik 3.3 ve 3.4’de gözlemlenebileceği gibi, İzlanda’da GSYİH ve enerji tüketimi oranları arasında kuvvetli bir ilişki vardır. Enerji tüketiminin büyüme oranı GSYİH’nın büyüme oranını doğrudan takip etmektedir. GSYİH’nın dalgalanmalar gösterdiği yıllarda, enerji tüketiminin de dalgalandığı gözlenmektedir. Buradan hareketle grafikten anlaşılan ekonomik büyüme’nin yavaşladığı yıllarda buna paralel olarak enerji tüketiminde de negatif bir etki yaratmasıdır.

Grafik 3.3: İzlanda’nın (1971-2005) Döneminde GSYİH’nın Gelişimi



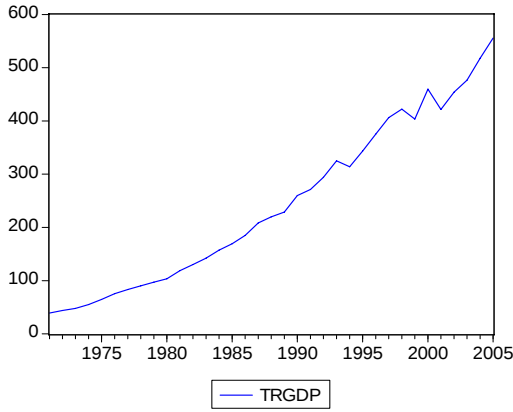
Grafik 3.4: İzlanda’nın (1971-2005) Döneminde Enerji Tüketiminin Gelişimi



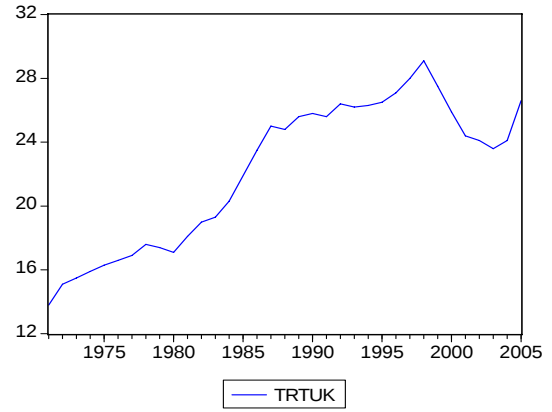
¹⁰¹ Mustafa Sevüktekin, Mehmet Nargeleçekenler, **Ekonometrik Zaman Serileri Analizi**, Nobel Yayınları, Ankara, 2007, s.1.

Yine aşağıda Grafik 3.5 ve 3.6’da gözlemlenebileceği gibi, Türkiye’de GSYİH büyüme oranları ve enerji tüketimi oranları arasında da kuvvetli bir ilişki vardır. Ancak, 1979, 1994 ve 2001 ekonomik krizlerinin yaşandığı dönemlerde GSYİH’nın büyüme oranındaki düşüşe paralel olarak enerji tüketiminin büyüme oranları da hızlı bir şekilde azalmaktadır. Bu grafiklerden de net bir şekilde anlaşıldığı gibi enerji tüketimi ekonomideki daralmalara paralel olarak azalma trendine girmekte ve büyümenin tekrar sağlanmasıyla beraber düzelme ve artış trendine geçiş yapmaktadır.

Grafik 3.5: Türkiye’nin (1971-2005) Döneminde GSYİH’nın Gelişimi



Grafik 3.6: Türkiye’nin (1971-2005) Döneminde Enerji Tüketiminin Gelişimi



3.3.3. Enerji Tüketimi – GDP İlişkisi İle İlgili Literatürde Yapılmış Çalışmalar

Enerji Tüketimi ve GDP arasındaki ilişkiyi belirleyen teorik yapı incelendiğinde nedensellik açısından farklı görüşlerin olduğu görülmektedir*;

Kraft J. and A. Kraft (1978), yılında yaptığı çalışmada Sims (1972)’in nedensellik metodunu kullanmış ve ABD ekonomisinde (1947-1974) döneminde GSYİH’den enerji tüketimine tek yönlü bir nedensellik tespit etmiştir¹⁰².

* **EK-3:** Enerji Tüketimi-Ekonomik Büyüme(GSYİH) Nedensellik İlişkisi Konusunda Literatürde Yer Alan Temel Çalışmalar Özet Halinde Sunulmuştur (1978-2007).

Akarca ve Long (1980), yılında yaptıkları çalışmada Sims'in metodunu kullanmışlar ve enerji tüketimi ile GSYİH arasında herhangi bir nedensellik ilişkisi tespit edememişlerdir¹⁰³.

Erol ve Yu (1987), Sims ve Granger (1969) metodunu kullanarak reel gelir ve enerji tüketimi arasındaki nedenselliğe yönelik olarak yaptığı çalışmada Japonya ve İtalya için reel gelirden enerji tüketimine tek yönlü bir ilişki, Batı Almanya için enerji tüketiminden reel gelire doğru tek yönlü bir ilişki, Kanada, Fransa ve İngiltere'de ise bir nedensellik ilişkisi tespit edememişlerdir¹⁰⁴.

Yu ve Hwang (1984), aynı metodu kullanarak ABD için yaptıkları çalışmada Akarca ve Long'un yaptığı çalışmayı destekler nitelikte enerji tüketimi ve GSYİH arasında bir nedensellik ilişkisi bulamamışlardır¹⁰⁵.

Nachana, Nadkarni ve Kamik (1988), iki basamaklı koentegrasyon testi yaklaşımıyla 11 gelişmekte olan ve 5 gelişmiş ülkeye yaptıkları analizde enerji tüketimi ve GSYİH arasında uzun dönemli bir ilişki bulmuşlardır¹⁰⁶.

Abosedra ve Baghestani (1989), Granger testini kullanarak ABD için yaptıkları çalışmada GSYİH 'den enerji tüketimine tek yönlü bir nedensellik ilişkisi tespit etmişlerdir¹⁰⁷.

¹⁰² J. Kraft, A. Kraft, "On The Relationship Between Energy and GNP", **Journal of Energy and Development**, Vol.3, 1978, p.401.

¹⁰³ A. Akarca, T. Long, "On The Relationship Between Energy And GNP: A Reexamination", **Journal of Energy and Development**, Vol.5, 1980, p.326.

¹⁰⁴ U. Erol, E. S. H. Yu, "On The Causal Relationship Between Energy And Income For Industrialized Countries", **Journal of Energy and Development**, Vol.13, 1987, p.113.

¹⁰⁵ E. S. H. Yu, B. Hwang, "The Relationship Between Energy and GNP : Further Results", **Energy Economics**, Vol.6, 1984, p.186.

¹⁰⁶ D.M. Nachane, R.M. Nadkarni, and A.V. Karnik, 1988, "Co-Integration and Causality Testing of The Energy-GDP Relationship: A Cross-Country Study", **Applied Economics**, Vol.20, p.1511.

¹⁰⁷ S. Abosedra, H. Baghestani, "New Evidence On The Causal Relationship Between U.S. Energy Consumption and Gross National Product", **Journal of Energy Development**, Vol.14, 1989, p.285.

Hwang ve Gum (1992), Hsiao ve Granger metodu kullanarak yaptıkları çalışmada Tayvan’da enerji tüketiminden GSYİH’ya doğru tek yönlü bir nedensellik tespit etmişlerdir¹⁰⁸.

Stern (1993), Granger ve VAR(Vector Auto Regression) yöntemleriyle ABD için yaptığı çalışmada eğer yakıt tüketimindeki kompozisyonda bir değişiklik olursa enerji tüketimi ile GSYİH arasında bir nedensellik ilişkisi tespit etmiştir¹⁰⁹.

Ebohon (1996), Tanzanya ve Nijerya için Granger metodu kullanarak yaptığı çalışmada enerji tüketimi ve büyüme arasında eş zamanlı ve çift yönlü bir nedensellik ilişkisi tespit etmiştir¹¹⁰.

Glasure ve Lee (1997), Granger metodu kullanarak Güney Kore ve Singapur için yaptıkları çalışmada GSYİH ve enerji tüketimi arasında tek yönlü bir nedensellik ilişkisi bulmuştur¹¹¹.

Stern (1998), statik ve dinamik koentegrasyon metodu kullanarak ABD için yaptığı çalışmada enerji tüketiminin GSYİH’ı açıklamada oldukça önemli olduğu tespit edilmiştir¹¹².

Aqell-Butt (2001), Hsiao nedensellik ve koentegrasyon tekniklerini kullanarak Pakistan için yaptıkları çalışmalarında; ekonomik büyümeden toplam enerji ile petrol tüketimine ve elektrik tüketiminden ekonomik büyümeye doğru tek

¹⁰⁸ D. Hwang, B. Gum, “The Causal Relationship Between Energy and GNP: The Case of Taiwan”, **Journal of Energy Development**, 1991, Vol.16, p.219.

¹⁰⁹ D. I. Stern, “Energy Use and Economic Growth in The USA, A Multivariate Approach”, **Energy Economics**, Vol.15, 1993, p.137.

¹¹⁰ O. J. Ebohon, “Energy, Economic Growth and Causality in Developing Countries. A Case Study of Tanzania and Nigeria”, **Energy Policy**, Vol. 24, 1996, p.447.

¹¹¹ Y.U. Glasure, A.R. Lee, “Cointegration, Error Correction and The Relationship Between GDP and Energy: The Case of South Korea and Singapore”, **Resource and Energy Economics**, Vol.20, 1997, p.17.

¹¹² D.I. Stern, “A Multivariate Cointegration Analysis of the Role of Energy in the U.S. Macroeconomy”, **Working Papers in Ecological Economics**, Centre for Resource and Environmental Studies, 1998, Australia, p.1.

yönlü bir nedensellik ilişkisi tespit etmişler ve ekonomik büyüme ile gaz tüketimi arasında nedensellik yönlü bir ilişki bulamamışlardır¹¹³.

Sarı-Soytaş (2003), G-7 ülkelerinde ve gelişen piyasalarda(emerging markets) enerji tüketimi ve GSYİH arasındaki nedensellik ilişkisini araştırdıkları çalışmada, Johansen-Juselius koentegrasyon ve hata düzeltme tekniklerini kullanarak Arjantin için çift yönlü, İtalya ve Kore için reel GSYİH'dan enerji tüketimine doğru tek yönlü, Türkiye, Fransa, Almanya ve Japonya ekonomileri için ise enerji tüketiminden GSYİH'ya doğru tek yönlü nedensellik ilişkisi tespit etmişlerdir¹¹⁴.

Shiu-Lam (2004), zaman serisi verilerini kullanarak 1971-2000 döneminde Çin ekonomisi için yaptıkları çalışmada, hata düzeltme testi ile elektrik tüketiminden GSYİH'ya doğru tek yönlü bir nedensellik ilişkisi tespit etmişlerdir¹¹⁵.

Lise-Montfort (2005), 1970-2003 dönemini kapsayan çalışmalarında GSYİH ile enerji tüketimi arasında koentegre bir ilişkinin varlığını Türkiye ekonomisi için araştırmışlardır. Araştırmaya göre; Türkiye'de GSYİH ile toplam enerji tüketiminin koentegre bir ilişkiye sahip olduğu tespit edilmiştir. Bu ilişkinin GSYİH'dan toplam enerji tüketimine doğru tek yönlü olduğu belirtilmiştir¹¹⁶.

Karagöl ve diğerleri (2007), sınır testi yaklaşımı ile Türkiye'de ekonomik büyüme ile elektrik tüketimi arasındaki nedenselliğin araştırıldığı değişkenler arasında koentegrasyon ilişkisi bulunmuş ve bu ilişkinin kısa dönemde pozitif, uzun dönemde ise negatif olduğu bulgusuna ulaşılmıştır. Türkiye'de elektrik tüketiminin düşük düzeylerde seyretmesinin enerji maliyetlerini yükselttiğine dikkat çekilmiş ve

¹¹³ A. Aqell, Butt, S. M. "The Relationship between Energy Consumption and Economic Growth in Pakistan", **Asia-Pasific Development Journal**, Vol.8, Issue.2, 2001, p.101.

¹¹⁴ Uğur Soytaş, R. Sari, "Energy Consumption and GDP: Causality Relationship in G-7 Countries and Emerging Markets", **Energy Economics**, Vol.25, Issue.1, 2003, p.33.

¹¹⁵ A Shiu, Lam, P. L. "Electricity Consumption and Economic Growth in China" **Energy Policy**, Vol.32, Issue.1, 2004, p. 47.

¹¹⁶ W Lise, Montfort, V. "Energy Consumption and GDP in Turkey : Is There A Cointegration Relationship", **EcoMod International Conference on Policy Modeling**, June 29 – July 2, 2005, İstanbul, Turkey, p.1.

bu durumun uzun dönemde Türkiye'nin ekonomik büyümesini olumsuz yönde etkilediğini belirtmişlerdir¹¹⁷.

3.3.4. Kullanılan Model ve Yöntem

Ekonometrik bir modelin temel dayanağı iktisat teorisi ve onun matematik kalıplara sokulmuş biçimidir. Bu biçim üzerine yapılan parametre tahminleri ile modelin teorik özellikleri arasındaki yakınlık ya da farklılık aranması, teorinin ampirik testi demektir. Böyle bir işlemin bilimsel, güvenilir dayanağı ekonometrik tahminlerdir¹¹⁸.

Ekonometrik uygulamalarda kurulan modeller mikro ekonomik(ferdi büyüklükler, tüketim, üretim, gelir vb.) ve makro ekonomik (bütün bir ekonomi, genel enerji tüketimi ve üretimi gibi makro büyüklükler) modeller şeklinde olmaktadır. Bu modeller tek denklemlili olabileceği gibi birden çok denklemlili olabilir¹¹⁹.

Ekonometrik metodolojide öncelikle yanlış sonuçlara yol açmayacak en uygun ekonometrik tekniği belirlemek için kullanılacak zaman serilerinin durağan ya da durağan olmama özelliğinin incelenmesi gerekmektedir. Eğer zaman serileri durağan ise en uygun yöntem standart Granger nedensellik testidir. Standart Granger nedensellik testi, iki değişken arasındaki nedensel bir ilişkinin varlığı ve yönünü test etmek için kullanılır. Ampirik çalışmalarda Granger nedensellik testi uygulanabilirliğindeki kolaylık sebebiyle en çok tercih edilen yöntemi oluşturmaktadır. Ayrıca, 1980'lerin sonunda ortaya çıkan eşbütünleşme ekonometrik tekniği (Granger, 1986; Engle ve Granger, 1987), nedensellik testi ile ilgili teorik çalışmaların yeniden gözden geçirilmesine katkıda bulunmuştur¹²⁰.

¹¹⁷ Erdal Karagöl, Erman Erbaykal, H.Murat Ertuğrul, **loc.cit.**

¹¹⁸ Ahmet Kılıçbay, **Ekonometrinin Temelleri**, İ.Ü. İktisat Fakültesi Yayını: No: 512, 1986, İstanbul, s.526.

¹¹⁹ Şahin Akkaya, Vedat Pazarlıoğlu, **Ekonometri-I**, 4. Baskı, İzmir, Anadolu Matbaacılık, 1998, s.16.

¹²⁰ Sami Taban, "Türkiye'de Sağlık ve Ekonomik Büyüme İlişkisi: Nedensellik Testi", **Sosyoekonomi Dergisi**, Temmuz-Aralık 2006-2, p.37.

Guilkey-Salemi (1982) ve Geweke-Meese-Dent (1983) Monte Carlo simülasyonları ile özellikle küçük örneklerin kullanıldığı ampirik çalışmalarda Granger nedensellik testinin uygun olduğunu tespit etmişlerdir¹²¹. Nedenselliğin yönü değişkenler arasındaki ilişkinin yönünü belirlemekte olup Granger nedensellik testinde üç farklı durum bulunmaktadır. Bunlar¹²²;

- Tek yönlü nedensellik: $Y=f(x)$ biçimdeki tek denklemlilik bir modelde Y bağımlı değişken, X ise bağımsız değişkendir. Burada X 'ten Y 'ye doğru bir nedensellik ilişkisi bulunmaktadır ($X \rightarrow Y$). Bağımsız değişken, neden konumunda olup bağımlı değişken üzerinde bir sonuç etkisi yaratmaktadır. Bu tek yönlü bir sonuç oluşturmaktadır. Bu tek yönlü bir nedensellik ilişkisinin varlığını göstermekte olup bu ilişki ($Y \rightarrow X$) olarak da belirlenebilmektedir.
- Çift yönlü nedensellik: Değişkenler arasında karşılıklı bir etki olabilir ($X \rightarrow Y$).
- Bu iki değişkenin birbirini etkilememesi yani birbirinden bağımsız olmasıdır. Kısaca değişkenler arasında bir ilişki bulunmadığı söylenebilir.

Uygulamalı ekonometrik çalışmalarda, zaman serileri arasındaki nedensellik ilişkilerinin tespit edilmesi için en sık kullanılan yöntem Granger (1969) tarafından geliştirilen nedensellik analizidir. Bu çalışmada da enerji tüketimi ve büyüme(GSYİH) arasındaki nedensellik ilişkisinin araştırılmasında “Granger Nedensellik Analizi” kullanılmıştır. Bu analiz aşağıdaki iki denklem kullanılarak yapılmaktadır¹²³.

¹²¹ Nilgün Çil Yavuz, “Türkiye’de İhracat Ve İktisadi Büyüme Arasında Nedensellik Analizi”, **Kocaeli Üniversitesi İİBF Dergisi**, Prof. Dr. Turan Yazgan’a Armağan, <http://iibf.kou.edu.tr/ceko/armaganlar/turanyazgan/38.pdf>, Haziran 2006, s.962.

¹²² Özlem Göktaş, “Türkiye Ekonomisinde Büyüme İle İşsizlik Oranları Arasındaki Nedensellik İlişkisi”, **İ.Ü. Ekonometri ve İstatistik Dergisi**, Sayı: 2, 2005, p.67.

¹²³ Orhan Karaca, “Türkiye’de Enflasyon–Büyüme İlişkisi: Zaman Serisi Analizi”, **Doğuş Üniversitesi Dergisi**, Cilt.4, Sayı: 2, 2003, s.250.

$$Y_t = \alpha_0 + \sum_{i=1}^{k1} \alpha_i Y_{t-i} + \sum_{i=1}^{k2} \beta_i X_{t-i} + \varepsilon_t \quad (1)$$

$$X_t = \chi_0 + \sum_{i=1}^{k3} \chi_i X_{t-i} + \sum_{i=1}^{k4} \delta_i Y_{t-i} + \nu_t \quad (2)$$

Granger nedensellik analizi, yukarıdaki modellerde hata teriminden önce yer alan bağımsız değişkenin gecikmeli değerlerinin katsayılarının grup halinde sıfıra eşit olup olmadığı test edilerek yapılır. (1) nolu denklemdeki β_i katsayıları belirli bir anlamlılık düzeyinde sıfırdan farklı bulunursa, X'in Y'nin nedeni olduğu sonucuna varılır. Aynı şekilde (2) nolu denklemde δ_i katsayılarının belirli bir anlamlılık düzeyinde sıfırdan farklı olması da Y'nin X'in nedeni olduğunun göstergesidir. Bu durumda Y ile X arasında karşılıklı bir nedensellik ilişkisi var demektir. Sadece (1) nolu denklemdeki β_i katsayıları sıfırdan farklı ise X'den Y'ye doğru tek yönlü, sadece (2) nolu denklemdeki δ_i katsayıları sıfırdan farklı ise Y'den X'e doğru tek yönlü nedensellik vardır. Hem β_i hem de δ_i katsayılarının sıfırdan farklı olmaması ise bu iki değişken arasında herhangi bir nedensellik ilişkisi olmadığına göstergesidir¹²⁴.

3.3.5. Enerji Tüketimi - GSYİH Modelinde Kullanılan Parametrelerin Durağanlıklarının Araştırılması

3.3.5.1. Birim Kök Testi

Birim kök'ün varlığını tespit etmek için kullanılan testlerden, Dickey-Fuller (DF) ve Çoğaltılmış Dickey-Fuller (ADF) testlerin en bilinenleridir. Yapısal değişimlerden dolayı durağan olan serideki kırılmalarla durağan olmayan serinin ortaya çıkması durumunda birim köklerin test edilmesi zorunludur. Bir serinin birim kök ihtiva edip etmediğiyle ilgili kullanılan yöntemler, yani birim kök testleri, zaman

¹²⁴ Ibid.

trendlerine ve sabit değerlere karşı hassastırlar. Bu nedenle testle belirleme daha da kolaylaşmaktadır¹²⁵.

Zaman serileri analizinde durağanlık kavramı çok önemlidir. Bir zaman serisi, ortalaması ile varyansı zaman içinde değişmiyor ve iki dönem arasındaki kovaryansı bu kovaryansın hesaplandığı döneme değil de yalnızca iki dönem arasındaki uzaklığa bağlı ise durağandır¹²⁶. Granger ve Newbold (1974), durağan olmayan zaman serileriyle çalışılması halinde sahte regresyon problemiyle karşılaşılabilceğini göstermiştir. Bu durumda regresyon analiziyle elde edilen sonuç gerçek ilişkiyi yansıtmaz. Durağan olmayan zaman serileriyle yapılan regresyon analizleri, sadece bu seriler arasında bir eşbütünleşme ilişkisi varsa gerçek ilişkiyi yansıtabilir¹²⁷.

Bu çalışmada ele alınan zaman serilerinin durağanlık analizi, Dickey ve Fuller (1979) tarafından geliştirilen “Genişletilmiş Dickey-Fuller” (ADF) birim kök testi kullanılarak belirlenmeye çalışılmıştır. Bu analizde aşağıda (3) numaralı denklem kullanılmaktadır.

$$\Delta Y_t = \beta_1 + \beta_2 t + \delta Y_{t-1} + \sum_{i=1}^k \alpha_i \Delta Y_{t-i} + \varepsilon_t \quad (3)$$

Burada ΔY_t , durağan olup olmadığı analiz edilen değişkenin birinci farkı, t genel eğilim değişkeni, ΔY_{t-i} gecikmeli fark terimleridir. Gecikmeli fark terimlerinin konulmasının nedeni, hata teriminin ardışık bağımsız olmasını sağlamaktır. ADF testinin sağlıklı sonuç vermesi için, tahmin edilen modelde ardışık bağımlılık probleminin olmaması gerekmektedir. Denklemden “k” olarak ifade edilen gecikme uzunluğudur.

Tablo 3.6’da birim kök testlerinin sonuçları yer almaktadır. İzlanda’ya ait GSYİH verileri ile düzeyde serinin durağanlığına bakıldığında %5 anlamlılık düzeyinde ADF (Augmented Dickey-Fuller) t-statistic sayısının mutlak değerinin

¹²⁵ Aziz Kutlar, **Uygulamalı Ekonometri**, Nobel Yayınları, Ankara, 2005, p.307.

¹²⁶ Domador N.Gujarati, **Temel Ekonometri**, Çevirenler: Ümit ve Gülay Şenesen, Literatür Yayıncılık, 3. Baskı, İstanbul, 2001, s.713.

¹²⁷ **Ibid**, p.726.

$|0.79| > |-3.54| = 0.79 < 3.54$ kritik değerden küçük olması nedeniyle GSYİH serisi düzeyde durağan değildir ve birim kök ihtiva etmektedir. Granger testinin uygulanabilmesi için serilerin mümkün olduğunca birim kök ihtiva etmemesi gereklidir. Bu nedenle analizde ΔY_{t-i} kadar fark alınıp seri durağan hale gelinceye kadar fark alınmaya devam edilecektir. Bu farkın alınmasının nedeni istatistiksel olarak anlamlılığın sağlanmasıdır. Ancak ekonometrisyenler arasında bu gecikmelerin sayısı konusunda ihtilaf söz konusudur. Bazı bilim adamları gecikmelerin bir yerde sınırlanması gerektiğini eğer sınırlanma olmazsa serilerin durağan hale gelse bile anlamsızlaşacağını, bazıları ise sadece mevsimsel şokların (kıtık vb.), ekonomik krizlerin ya da daralmaların yaşandığı yılların analize dahil edilmemesi gerektiğini savunmuşlardır. Bu çalışmada ise her iki görüş dikkate alınarak 3. gecikmeye kadar birim kök araştırılmasına devam edilmiş eğer seri durağan hale gelmiyorsa analize dahil edilmemiştir.

Tablo 3.6: İzlanda GDP Serisine Ait Birim Kök Testi

Null Hypothesis: IZGDP has a unit root				
Exogenous: Constant, Linear Trend				
Lag Length: 0 (Automatic based on SIC, MAXLAG=8)				
			t-Statistic	Prob.*
Augmented Dickey-Fuller test statistic			0.798065	0.9996
Test critical values:	1% level		-4.252879	
	5% level		-3.548490	
	10% level		-3.207094	

Aşağıdaki tablo 3.7’de, İzlanda’ya ait enerji tüketimi verileri ile düzeyde serinin durağanlığına bakıldığında %5 anlamlılık düzeyinde ADF (Augmented Dickey-Fuller) t-statistic sayısının mutlak değerinin $|-1.17| > |-3.54|$ * = 1.17 < 3.54 kritik değerden küçük olması nedeniyle Enerji tüketim serisi düzeyde durağan değildir ve birim kök ihtiva etmektedir.

* Negatif sayılarda sıfıra daha yakın olan rakam diğerine göre daha büyüktür.

Tablo 3.7: İzlanda Enerji Tüketim Serisine Ait Birim Kök Testi

Null Hypothesis: IZTUK has a unit root				
Exogenous: Constant, Linear Trend				
Lag Length: 0 (Automatic based on SIC, MAXLAG=8)				
			t-Statistic	Prob.*
Augmented Dickey-Fuller test statistic			-1.170921	0.9007
Test critical values:	1% level		-4.252879	
	5% level		-3.548490	
	10% level		-3.207094	

İzlanda'ya ait GSYİH(büyüme) ve enerji tüketimi verilerinin düzeyde durağan olmaması ve birim kök ihtiva etmesi nedeniyle serilerin 1. farkları alınmıştır. 1. farklara ait birim kök testi sonuçları aşağıda verilmiştir. Buna göre 1. farkların alınmasıyla tablo 3.8'de görüldüğü gibi, İzlanda'ya ait GSYİH verileri ile 1. fark alınarak serinin durağanlığına bakıldığında %5 anlamlılık düzeyinde ADF (Augmented Dickey-Fuller) t-statistic sayısının mutlak değerinin $|-3.03| > |-3.55| = 3.03 < 3.55$ kritik değerden küçük olması nedeniyle GSYİH serisi 1. farkta da durağan değildir ve birim kök ihtiva etmektedir. GSYİH serisi 1. farkta da durağan hale gelmediği için 2. farkı alınmıştır ve durağan hale getirilmiştir.

Tablo 3.8: İzlanda GDP Serisine Ait Birim Kök Testi(1. Fark)

Null Hypothesis: DIZGDP* has a unit root				
Exogenous: Constant, Linear Trend				
Lag Length: 0 (Automatic based on SIC, MAXLAG=8)				
			t-Statistic	Prob.*
Augmented Dickey-Fuller test statistic			-3.030582	0.1395
Test critical values:	1% level		-4.262735	
	5% level		-3.552973	
	10% level		-3.209642	

Tablo 3.9'da görüldüğü gibi, İzlanda'ya ait enerji tüketimi verileri ile 1. fark alınarak serinin durağanlığına bakıldığında %5 anlamlılık düzeyinde ADF (Augmented Dickey-Fuller) t-statistic sayısının mutlak değerinin $|-4.93| < |-2.95| =$

* **DIZGDP** ifadesinde D serinin farkının alındığını ifade etmektedir.

4.93 > 2.95 kritik değerdan büyük olması nedeniyle enerji tüketim serisi 1. farkta durağan hale gelmiştir ve birim kök ihtiva etmemektedir. Granger analizine tabi tutulabilir hale getirilmiştir.

Tablo 3.9: İzlanda Enerji Tüketim Serisine Ait Birim Kök Testi(1. Fark)

Null Hypothesis: DIZTUK has a unit root				
Exogenous: Constant				
Lag Length: 0 (Automatic based on SIC, MAXLAG=8)				
			t-Statistic	Prob.*
Augmented Dickey-Fuller test statistic			-4.939512	0.0003
Test critical values:	1% level		-3.646342	
	5% level		-2.954021	
	10% level		-2.615817	

3.3.6. İzlanda'nın Enerji Tüketimi-GSYİH Değişkenleri Arasında Nedensellik İlişisinin Test Edilmesi

İzlanda'nın enerji tüketimi ve GSYİH serileri farklar alınarak durağan hale getirildikten sonra Granger testine tabi tutulma aşamasına gelinmiştir. Granger testinde teorik olarak önceki bölümlerde anlatıldığı gibi üç türlü ihtimal vardır. Birincisi, enerji tüketimi'nden → GSYİH'ya doğru tek yönlü bir ilişki ya da GSYİH'den→enerji tüketimine doğru tek yönlü bir ilişki söz konusudur. İkinci olasılık, enerji tüketimi↔GSYİH arasında çift yönlü bir ilişkiyi ifade eder. Burada enerji tüketimi GSYİH(büyüme)'nin nedenidir ya da GSYİH'nın artışı yani ekonomik büyüme enerji tüketiminin nedeni olarak ifade edilir. Üçüncü olasılık ise iki değişken arasında bir ilişkinin bulunmadığı yani birbirlerinin nedeni olmadıkları durumu ifade eder. Buradan hareketle hipotezler ifade edilirse;

H₀: Enerji tüketimi GSYİH'nin nedeni değildir. **(4)**

H₁: Enerji tüketimi GSYİH'nin nedenidir.

H₀: GSYİH tüketimin nedeni değildir. **(5)**

H1: GSYİH tüketimin nedenidir.

(**0.04519** olasılık değeri %5'ten küçük $0.04 < 0.05$ olduğu için (**5**) numaralı denklemde H1 hipotezi kabul edilir yani büyüme (GSYİH)'den → tüketime doğru bir nedensellik ilişkisi vardır).

Tablo 3.10: İzlanda'da GDP ve Enerji Tüketimi Arasında Granger Nedenselliği Test Sonuçları

Pairwise Granger Causality Tests			
Date: 12/10/07 Time: 14:30			
Sample: 1971 2005			
Lags: 1			
Null Hypothesis:	Obs	F-Statistic	Probability
DIZTUK does not Granger Cause DDIZGDP	32	0.07049	0.79250
DDIZGDP Granger Cause DIZTUK		4.38158	0.04519

3.3.7. Türkiye'nin Enerji Tüketimi-GSYİH Değişkenleri Arasında Nedensellik İlişkisinin Test Edilmesi

Türkiye'ye ait GSYİH verileri ile düzeyde serinin durağanlığına bakıldığında tablo 3.11'de görüldüğü gibi, %5 anlamlılık düzeyinde ADF (Augmented Dickey-Fuller) t-statistic sayısının mutlak değerinin $|-2.04| > |-3.54| = 2.04 < 3.54$ kritik değerden küçük olması nedeniyle GSYİH serisi düzeyde durağan değildir ve birim kök ihtiva etmektedir.

Tablo 3.11: Türkiye GDP Serisine Ait Birim Kök Testi

Null Hypothesis: TRGDP has a unit root				
Exogenous: Constant, Linear Trend				
Lag Length: 0 (Automatic based on SIC, MAXLAG=8)				
			t-Statistic	Prob.*
Augmented Dickey-Fuller test statistic			-2.040303	0.5591
Test critical values:	1% level		-4.252879	
	5% level		-3.548490	
	10% level		-3.207094	

Türkiye'ye ait enerji tüketimi verileri ile düzeyde serinin durağanlığına bakıldığında tablo 3.12'de görüldüğü gibi, %5 anlamlılık düzeyinde ADF (Augmented Dickey-Fuller) t-statistic sayısının mutlak değerinin $|-2.31| > |-3.55| = 2.31 < 3.55$ kritik değerden küçük olması nedeniyle enerji tüketim serisi düzeyde durağan değildir ve birim kök ihtiva etmektedir.

Tablo 3.12: Türkiye Enerji Tüketim Serisine Ait Birim Kök Testi

Null Hypothesis: TRTUK has a unit root				
Exogenous: Constant, Linear Trend				
Lag Length: 1 (Automatic based on SIC, MAXLAG=8)				
			t-Statistic	Prob.*
Augmented Dickey-Fuller test statistic			-2.316774	0.4138
Test critical values:	1% level		-4.262735	
	5% level		-3.552973	
	10% level		-3.209642	

Türkiye'ye ait büyüme (GSYİH) ve enerji tüketimi verilerinin düzeyde durağan olmaması ve birim kök ihtiva etmesi nedeniyle serilerin 1. farkları alınmıştır. 1. farklara ait birim kök testi sonuçları aşağıda verilmiştir.

Buna göre 1. farkların alınmasıyla, tablo 3.13'de görüldüğü gibi, Türkiye'ye ait GSYİH verileri ile 1. fark alınarak serinin durağanlığına bakıldığında %5 anlamlılık düzeyinde ADF (Augmented Dickey-Fuller) t-statistic sayısının mutlak değerinin $|-7.90| < |-2.95| = 7.90 > 2.95$ kritik değerden büyük olması nedeniyle GSYİH serisi 1. farkta durağan hale gelmiştir ve birim kök ihtiva etmemektedir. Granger analizine tabi tutulabilir hale getirilmiştir.

Tablo 3.13: Türkiye GDP Serisine Ait Birim Kök Testi(1. Fark)

Null Hypothesis: DTRGDP has a unit root				
Exogenous: Constant				
Lag Length: 0 (Automatic based on SIC, MAXLAG=8)				
			t-Statistic	Prob.*
Augmented Dickey-Fuller test statistic			-7.905045	0.0000
Test critical values:	1% level		-3.646342	
	5% level		-2.954021	
	10% level		-2.615817	

Türkiye'ye ait enerji tüketimi verileri ile 1. fark alınarak serinin durağanlığına bakıldığında tablo 3.14'de görüldüğü gibi, %5 anlamlılık düzeyinde ADF (Augmented Dickey-Fuller) t-statistic sayısının mutlak değerinin $|-2.86| > |-2.95| = 2.86 < 2.95$ kritik değerden küçük olması nedeniyle enerji tüketim serisi 1. farkta da durağan hale gelmemiştir ve birim kök ihtiva etmektedir. Türkiye'nin tüketim serisi 1. farkında da durağan hale gelmemiş dolayısıyla 2. farkı alınarak durağan hale getirilmiştir. Böylece Granger analizine tabi tutulabilir hale getirilmiştir.

Tablo 3.14: Türkiye Enerji Tüketim Serisine Ait Birim Kök Testi(1. Fark)

Null Hypothesis: DTRTUK has a unit root				
Exogenous: Constant				
Lag Length: 0 (Automatic based on SIC, MAXLAG=8)				
			t-Statistic	Prob.*
Augmented Dickey-Fuller test statistic			-2.863246	0.0606
Test critical values:	1% level		-3.646342	
	5% level		-2.954021	
	10% level		-2.615817	

Türkiye'nin enerji tüketimi ve GSYİH serileri farklar alınarak durağan hale getirildikten sonra Granger testine tabi tutulma aşamasına gelinmiştir. Seriler Granger analizine tabi tutmak için hipotezler aşağıdaki gibi ifade edilirse;

H_0 : Enerji tüketimi GSYİH'nin nedeni değildir. **(6)**

H_1 : Enerji tüketimi GSYİH'nin nedenidir.

H_0 : GSYİH tüketimin nedeni değildir. **(7)**

H_1 : GSYİH tüketimin nedenidir.

(0.51 ve 0.91 olasılık değerleri %5 anlamlılık düzeyinden büyük olması nedeniyle $0.05 < 0.51$ ve $0.05 < 0.91$ olduğu için **(6)** numaralı denklemde H_0 : enerji tüketimi GSYİH'nin nedeni değildir ve **(7)** numaralı denklemde yer alan H_0 : GSYİH tüketimin nedeni değildir hipotezleri kabul edilir. Buradan hareketle Granger

analizi sonuçlarına göre Türkiye’de enerji tüketiminden büyüme’ye ya da büyüme’den enerji tüketimi’ne doğru tek yönlü ve çift yönlü bir nedensellik ilişkisi bulunamamıştır.

Tablo 3.15: Türkiye’de GDP ve Enerji Tüketimi Arasında Granger Nedenselliği Test Sonuçları

Pairwise Granger Causality Tests			
Date: 12/10/07 Time: 14:38			
Sample: 1971 2005			
Lags: 1			
Null Hypothesis:	Obs	F-Statistic	Probability
DTRGDP does not Granger Cause DDTRTUK	32	0.01138	0.91577
DDTRTUK does not Granger Cause DTRGDP		0.43086	0.51674

İzlanda’da ekonomik büyümenin enerji tüketiminin nedeni olması, özellikle yüksek kişi başına Milli Gelir ve yüksek GSYİH’dır. İzlanda ekonomisi kişi başına 34922 \$’lık gelire dünya ekonomisinde 4. sırada bulunmaktadır. İzlanda ekonomik büyümesini sürdürülebilir hale getirmiş ve yıllar boyu büyümeye devam etmiştir. Bunun doğal sonucu olarak dünyadaki en zengin ülkelerden biridir. Bu ülke de enerji tüketimi büyümeden beslenir hale gelmiş ve yüksek satın alma gücü beraberinde tüketimi getirmiştir. Yüksek gelir grubuna dahil olan bireyler farklı mallar talep etmekte bu durumda enerji tüketimini arttırmaktadır. Ayrıca İzlanda gibi güçlü bir ekonomide yatırım kapasitesinin yüksek olması da enerji talebini sürekli arttırmaktadır. İzlanda’nın enerji tüketim yapısına bakıldığında fosil kaynaklı büyüme maksimum düzeyde kullanılmaktadır. Ayrıca müreffeh bir toplumun çevresel etkileri gidermek ve en aza indirmeyi istemesi nedeniyle hidrojen gibi geleceğin yakıtı olarak düşünülen enerji kaynaklarına yatırım yapılmaktadır. Dolayısıyla İzlanda fosil bazlı enerji kaynaklarının 2030 itibarıyla artık maliyetli olacağını ve yeni bir enerji kaynağına olan ihtiyacı göz önüne alarak hidrojen ekonomisi kavramını hukuksal boyutta oluşturan ilk devlettir.

İzlanda toplumu hidrojenin sürdürülebilir bir enerji kaynağı olacağına inanmış ve benimsemiştir. Yeni bir enerji kaynağının kullanımı için en önemli olgu halkın kabulüdür. Gelişmiş ülkeler artık fosil kaynaklı büyüme yapısından

yenilenebilir ve sürdürülebilir enerji kaynaklı büyüme trendine doğru bir gelişme içerisinde. Bu politika gereği olarak fosil kaynaklar maliyetli ve tercih edilemez hale gelene kadar bu kaynakları maksimum derecede kullanmak, bu zaman sürecinde de yenilenebilir kaynakların kullanımını da optimum seviyeye çıkararak büyümeyi devam ettirmektir. BM insani gelişme indeksi (2007) raporuna göre¹²⁸; İzlanda'nın kişi başına elektrik tüketimi 29430 kwh'dir. İzlanda kişi başına elektrik tüketiminde dünya'da birinci sırada bulunmaktadır. Türkiye'de enerji tüketimi ve büyüme arasındaki nedensellik ile ilgili yapılan çalışmalara bakıldığında Karagöl ve diğerleri (2007)'nin analizinde nedensellik ilişkisi bulunamamış ve bunun nedeninin de elektrik tüketimindeki yavaş artış neden gösterilmiştir¹²⁹.

Türkiye insani gelişme indeksi (2007) raporuna göre¹³⁰; Türkiye'nin kişi başına elektrik tüketimi 2122 kwh'dir. Bu tüketim ile HDI (Human Development Index) sıralamasında elektrik tüketiminde dünya'da 84. sıradadır. Bu çalışmada Türkiye'de nedensellik bulunamaması için ifade edilmesi gereken en önemli nokta ise Türkiye'de yaşanan krizlerdir. Türkiye'ye ait büyüme ve enerji tüketimi serilerinde özellikle 1979, 1994 ve 2001 ekonomik krizlerinin yaşandığı dönemlerde GSYİH'nın büyüme oranındaki düşüşe paralel olarak enerji tüketimi oranları da hızlı bir şekilde daralmaktadır. Türkiye ekonomisindeki bu kırılmaların nedensellik ilişkisini etkilemesi kaçınılmazdır. Buradan hareketle Türkiye için Granger testine devam edilmiş ve 7. gecikmede enerji tüketiminden → büyümeye (GSYİH) doğru nedensellik ilişkisi bulunmuştur. Çalışmanın ilk bölümlerinde ifade edildiği gibi buradan çıkarılması gereken sonuç mevsimsel şokların ve krizlerin nedensellik ilişkisini etkilediğinin bir kez daha tespit edilmiş olmasıdır. Gecikme sayısı arttıkça analiz anlamlılığa yaklaşmakta, ancak diğer taraftan da gözlem sayısı azalarak başka bir anlamsızlığa doğru yaklaşmaktadır. Bu nedenle analizlerde kullanılan gözlem sayısının olabildiğince azaltılmadan testlerin yapılması idealdir.

¹²⁸ UN (United Nations), 2007, **The 2004 Energy Statistics Yearbook**, Department of Economic and Social Affairs, New York, (Çevrimiçi) <http://hdrstats.undp.org/indicators/208.html>, (29.12.2007).

¹²⁹ Erdal Karagöl, Erman Erbaykal, H.Murat Ertuğrul, **loc.cit.**

¹³⁰ **Ibid.**

SONUÇ

21. Yüzyılda sürekli artan nüfus ve sanayileşmeden kaynaklanan enerji ihtiyacı ülkelerin kendi kısıtlı kaynaklarıyla karşılanamamakta, enerji üretimi ve tüketimi arasındaki açık hızla büyümektedir. Bu durumda, kendi öz kaynaklarından daha etkin biçimde yararlanmak giderek artan bir önem kazanmaktadır. Enerji talebindeki hızlı artışın karşılanmasında, yenilenebilir enerji kaynaklarından en etkin ve verimli biçimde yararlanılması amacıyla hem özel hem de kamu yatırımlarının bu alana yönlendirilmesi yararlı olacaktır.

Enerji sektöründe, Türkiye ve dünya çok hızla büyümektedir ve enerji tüketimi de buna paralel olarak oldukça artmaktadır. Tüm enerji fiyatları çok daha yüksek bir seviyeye gelmekte ve tüm dünya farklı enerji türlerine ihtiyaç duymaktadır. Özellikle terör olayları nedeniyle enerji ürünlerinin kaynaklardan-kullanım alanına doğru gitmesinde ciddi problemler yaşanmakta, kesintiler olmakta ve dünya ekonomik bir durgunluğa doğru gitmektedir. Dünyaya çevrecilik hakim olmakta ve fosil bazlı yakıtlardan farklı yakıt türlerine geçiş ihtiyacı duyulmaktadır.

Geleneksel enerji üretim yöntemleri günümüzdeki çevre kirliliğinin önemli nedenlerinden biridir ve bu yöntemlerde kullanılan fosil yakıtların tüketiminin, Kyoto'nun uygulanarak çevre kirliliğinin azaltılması gündemde olan bir konudur. Ayrıca, fosil yakıtların bir süre sonra (yapılan tahminler 2050 yılı ve sonrası) tükeneceği gerçeği de bilinmektedir. Bütün gelişmiş ülkeler çevre dostu, yenilenebilir enerji kaynaklarından yararlanmaya özel bir önem vermektedir. Bu nedenle 21. yüzyıl güneş-hidrojen ve temiz enerji kaynakları kullanımında atılım yapılacak bir yüzyıl olma görünümündedir.

Yeni ve yenilenebilir enerji kaynakları olarak adlandırılan bu alternatif kaynaklardan yararlanılması, hidrolik enerji dışında, teknolojik gelişimlerinin yeniliği ve geleneksel kaynaklarla ekonomik açıdan rekabet edebilme güçlükleri

nedeniyle, bugüne kadar hedeflenen düzeye ulaşamamıştır. Bununla birlikte; jeotermal, güneş, rüzgar ve modern biyokütle enerjisi teknolojileri günümüzde dünya enerji pazarlarında yer almaya başlamıştır. Biyoteknoloji ile elde edilen enerji bitkileri ile denizden rüzgar enerjisi teknolojilerindeki ar-ge çalışmaları devam etmektedir. Yeraltında enerji depolaması özellikle gelişmiş ülkelerde hızlı bir yaygınlaşma sürecine girerken, hidrojen enerjisi teknolojisinde yoğun araştırmaların sürdürüldüğü gözlemlenmektedir.

Küresel ısınmanın hidrojen enerjisi sayesinde önlenilebileceği öngörülmektedir. Gelecek yıllarda, konutların da hidrojen enerjisiyle ısıtılması söz konusudur ve hidrojen enerjisiyle çalışan otomobiller piyasaya çıkma aşamasına gelmiş durumdadır. Amerika Birleşik Devletleri'nde (ABD) 2030 yılına kadar enerji kullanımının %34'ünün hidrojenden sağlanması planlanmaktadır. Hidrojen enerjisi kullanılırken, havaya karbon dioksit salmamakta ve aynı miktar hidrojen, doğalgazdan 3 kat fazla enerji sağlamaktadır. Ancak, şu anda hidrojen enerjisinin konutlara nasıl ulaştırılabileceği sorunu tam olarak çözülebilmemiş değildir. Hidrojenin elektrikten elde edilmesi ve bu amaçla kullanılacak elektriğin de rüzgâr veya güneş enerjisinden sağlanması beklenmektedir. Nükleer enerji kullanılarak, atık bırakmadan sudan hidrojen enerjisi elde edilebilmesinin ise 2020 yılını bulabileceği tahmin edilmektedir.

Günümüzde gelişmiş ülkeler enerji kaynaklarına bağımlılık açısından tek bir bölgeye veya ülkeye bağlı kalmamak için çalışmakta ve enerji politikalarını bu stratejiye göre belirlemektedir. ABD enerji ithalatını 57 ülkeden yapmakta ve böylece bir ülkeye fazla bağımlı olmaktan kurtulmaktadır. Küresel rekabetin en yoğun dönemini yaşayan dünya ekonomisine yön veren enerji kaynakları bakımından tek bir ülke veya bölgeye bağımlılık ekonomik ve ülke güvenliği yönünden oldukça tehlikelidir. Bu doğrultuda ABD'li enerji şirketlerinin hemen her ülkede yatırımları vardır.

Enerji kaynaklarından hangisinin önem kazanacağı ülkeden ülkeye farklılık göstermektedir. Çin'de kömür kaynaklarının büyük oranda tüketileceği belirtilirken,

İzlanda'da hidrojenin ABD'de petrol'ün ağırlıklı olarak tüketileceği belirtilmektedir. Ancak dünya geneline bakıldığında petrol ve doğalgazın tercih edileceği görülmektedir.

Türkiye enerjide hem dışa bağımlılığı azaltmalı hem de bu bağımlılığı olabildiğince çok ülkeye yayarak riskleri minimize etmelidir. Türkiye bu yönüyle kendi öz kaynaklarını maksimum seviyede kullanmalı, ihtiyacı olan enerjiyi de en düşük maliyetle en düşük riskle sağlamalıdır. Bu açıdan birçok ülkeden doğalgaz ve petrol almak doğru bir yöntemdir. Enerji piyasasının özel sektör yatırımlarına açılması doğru bir atılımdır. Enerji özelleştirmelerinin kamu yararı gözetilerek yapılması gereklidir. Türkiye enerjide dış bağımlılığını azalttıkça dış açık problemi giderilecek ve ödemeler dengesi düzelme yoluna girecektir.

Yenilenebilir enerji kaynaklarının yanı sıra, nükleer güç ile hidrojenin özellikle 2030 sonrasında dünya enerji ihtiyacını önemli oranda karşılaması beklenmektedir. Nükleer enerjiye karşı toplumların direnç göstermesi ve politik kaygılar, nükleer güce olan ilgiyi azaltmıştır. Petrolün tükenme korkusu ve aşırı fiyat artışları nedeniyle nükleer güce olan ilginin artması muhtemeldir. 2008 yılı itibarıyla nükleer güce sahip olma sürecine giren Türkiye 2012 yılında beklenen enerji açığını giderme yoluna gidecektir. Türkiye için çevresel kaygılar vardır ancak komşu ülkelerde (Ermenistan, Bulgaristan vb.) var olan nükleer santraller zaten çevresel anlamda bir tehdit yaratmaktadır. Önemli olan santrallerin son teknoloji kullanılarak çevresel kaygıların giderilmesi ve güvenliğin en üst düzeyde sağlanmasıdır. Böylelikle Türkiye nükleer güce ve nükleer teknolojiye sahip olacak ve yeni teknolojilerin geliştirilmesi mümkün olacaktır.

İzlanda jeotermal enerji kaynaklarının %98'ini kullanmaktadır. Buradan hareketle ülkelerin enerji sistemlerinin kendi öz kaynaklarına dayanması ülke ekonomisinde önemli etki yaratmaktadır. Artık gelişmiş ülkeler fosil kaynaklara dayalı büyüme yerine yenilenebilir kaynaklara dayalı büyüme modeline geçmek için çalışmaktadırlar. Fosil ve yenilenebilir kaynaklar ülkelerin enerji sistemlerinde bir bütünlük arz etmektedir. Çalışma ile tespit edilmiştir ki bir ülkenin hidrojen enerji

sistemlerine geçmesi için öncelikle kişi başına yüksek milli gelire ve kişi başına yüksek bir enerji tüketimine sahip olması gereklidir. Hidrojene geçiş aşamasında aşağıda belirtilen maddelerin uygulanmasının geçişi hızlandırması beklenmektedir ;

- Teknoloji hidrojene geçiş sürecini son derece hızlandırmış bulunmaktadır. Hidrojen teknolojisine öncülük eden devletler tüm yatırımlarını bu enerjiyi geliştirmeye aktarmaktadırlar. Türkiye bu yarışta kaybeden taraf olmamak için gelişmiş dünya devletleri rehberliğinde ülke çapında bir hidrojene geçiş süreci başlatmalı ve enerji sistemlerini hidrojen enerjisine entegre ederek sisteme dahil olmalıdır. Türkiye jeotermal kaynaklarını etkin ve verimli bir şekilde kullandığında Türkiye'nin hidrojen enerjisine geçişi hızlanacaktır.
- Meskenler ve küçük işyerleri için vergi indirimine gitmek gibi teşviklerin yapılması, süreci büyük ölçüde kolaylaştıracaktır. Ticari, düşük maliyetli hidrojen üretim, depolama ve dönüştürme cihazları henüz geliştirilme aşamasındadır ve düzenleyici kuralların belirtilmesi gerekmektedir.
- 21. Yüzyılın yakıtı olarak nitelendirilen hidrojen teknolojisinin hayata geçirilebilmesi için sanayi-üniversite işbirliği geliştirilmeli, teknoparklarda spesifik yatırımlar yapılmalıdır.
- Bireyler kendi enerji ihtiyaçlarını evlerinde rüzgar, güneş enerjisi ve hidrojen kullanarak ve aynı zamanda enerji verimliliklerini en üst seviyeye çıkartarak enerji sürekliliğini ve güvenliğini sağlayabilirler. Kurumlar ve sanayi tesisleri ise birer otoprodüktör olarak bir yandan enerjiyi verimli kullanırken diğer yandan da güneş, rüzgar, hidrojen ve biyoyakıtları kullanırlarsa enerji güvenliklerini sağlayabilirler. Ulusal enerji şebekesi ne kadar değişik ve kesintisiz enerjiden beslenirse o kadar güvenli olmakta ve riskleri azaltmaktadır.

- Türkiye'nin önemli bir şansı bor madenidir. Dünya'da üretilen rezervlerin çok büyük bir kısmı Anadolu topraklarındadır. Bu maden oldukça ileri teknoloji gerektiren araştırmalarda kullanılabildiği gibi tarım sektöründe de kullanılabilen ve toprağın verimini oldukça arttıran bir madendir. Bor madenini artık her alanda kullanabilmek mümkün görülmektedir. Nanoteknoloji ile üretilen birçok üründe (nano boya vb.) tahmin edilmesi imkansız buluşlar yapılabilmektedir. Ayrıca bor madeni hidrojen depolama konusunda oldukça gelecek vaat etmektedir. BMW, Honda, Toyota gibi büyük araba üreticileri bu konuda yatırımlarını geliştirmekte ve çeşitli konsept arabalar üretmektedirler. Bu arabaların piyasaya çıkması için dolum istasyonlarının kurulması ve her yerde ulaşılabilir olması gerekmektedir.
- Türkiye kendisi için çok önemli bir kaynak olan Karadeniz dip sularında bulunan hidrojen sülfür potansiyelinin önemini kavramalı ve bu kaynağı yenilenebilir enerji kaynakları ile destekleyerek hidrojene geçiş sürecini başlatmalıdır. Karadeniz bölgesi hidrojen enerji merkezi kabul edilerek ülke genelinde alternatif enerji kaynaklarıyla desteklenen enerji projeleri geliştirilmelidir.
- Türkiye hidrojene geçiş sürecini etkin biçimde değerlendirebilmek için hidrojen ve yakıt hücresi yol haritaları çıkarmalı, uygun yayılma stratejileri ile etkin bir politika kamuoyu tarafından desteklenerek süreç hızlandırılmalıdır.
- ICHET- Dünya Hidrojen Enerjisi Teknolojileri Merkezi'nin İstanbul'da bulunması Türkiye için bir şans ve fırsat olarak görülmelidir. Sedef adası projesi enerji bakanlığı- özel sektör- ICHET tarafından planlanmıştır. Uygulama sonuçları yeni projelere yön belirlemesi bakımından Türkiye açısından oldukça önemlidir.

- Özel sektör bu alana yatırım yapmaya teşvik edilmeli ve spesifik olarak hidrojenle üretim yapacak Organize Sanayi Bölgeleri oluşturulmalıdır. Burada üretimde kullanılacak sanayi makineleri, ulaşım araçları ve bütün enerji gereksinimi hidrojenden sağlanmalıdır.

KAYNAKÇA

KİTAPLAR

Aala, H.K. Abdel, M. Sadika: (2005), “A New Approach To Utilize Hydrogen As A Safe Fuel”, **International Journal of Hydrogen Energy**, Vol.30, pp.1511 – 1514.

Akkaya, Şahin, Vedat Pazarlıoğlu: (1998), **Ekonometri-I**, 4. Baskı, İzmir, Anadolu Matbaacılık.

Bilge, Reha: (1985), “Ekonomi, Teknoloji ve Çevre Sorunları”, **Çevre ve Ekonomi**, Ankara, Türkiye Çevre Sorunları Vakfı Yayınları.

Bockris, John, T. Nejat Veziroğlu, Debi L. Smith: (2002), **Geleceğin Enerjisi: Güneş-Hidrojen**, Çev: Ömer Faruk Noyan, İzmir, Kaynak Yayınları.

Candan, Esin, Avni Önder Hanedar: (2005), “İktisat Neden Bir Kapalı Kutudur? Hâkim İktisadın Değer Yargısı – Sınama İlişkisi”, Gazi Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, **Ekonomik Yaklaşım Dergisi Kongreler Kitabı (IV)**, Ankara.

Ceritli, İsmail: (2003), **Kentleşme Sürecinin Ekonomi Politikası**, Ankara, Yargı Matbaası.

Dornbusch, Rudiger, Stanley Fischer: (1994): **Macroeconomics**, 6th Edition, North America McGraw-Hill Published.

Dura, Cihan, Hayriye Atik: (2002), **Bilgi Toplumu Bilgi Ekonomisi ve Türkiye**, İstanbul, Literatür Yayınları.

_____ : (2003), **Avrupa Birliği Gümrük Birliği ve Türkiye**, 2. Baskı, Ankara, Nobel Yayınları.

Eray, Aynur: (2001), **Enerjide Tutumluluk ve Verimlilik**, No: 11, Ankara, Temiz Enerji Vakfı Yayınları.

Eren, Ercan: (1994), **İktisatta Yöntem**, 3. Baskı, Bursa, Ezgi Kitabevi.

Erkan, Hüsnü: (1998), **Bilgi Toplumu ve Ekonomik Gelişme**, İstanbul, İş Bankası Yayınları.

Fisunoğlu, H. Mahir: (1985), “Sürdürülebilir Kalkınma ve Ekonomi”, **Çevre ve Ekonomi**, Ankara, Türkiye Çevre Sorunları Vakfı Yayınları.

Freeman, Chris, Luc Soete: (2003), **Yenilik İktisadı**, Çev. Ergun Türkcan, Ankara, Tübitak Yayınları.

Guerrien, Bernard: (1999), **Neo-Klasik İktisat**, Çev. Ertuğrul Tokdemir, İstanbul, İletişim Yayınları.

Gujarati, Domador N.: (2001), **Temel Ekonometri**, Çevirenler: Ümit ve Gülay G. Şenesen, 3. Baskı, İstanbul, Literatür Yayıncılık.

Hirst, Paul, Graham Thompson: (2003), **Küreselleşme Sorgulanıyor**, Ankara, Dost Yayınları.

IEA (International Energy Association): (2004), **World Energy Outlook**, Paris.

_____ : (2007), **World Energy Outlook**, Paris.

Kavak, Kubilay: (2005), “Dünya’da ve Türkiye’de Enerji Verimliliği ve Türk Sanayinde Enerji Verimliliğinin İncelenmesi”, Uzmanlık Tezi, **DPT yayınları**, No: 2689, Ankara.

Kılıçbay, Ahmet: (1986), **Ekonometrinin Temelleri**, İstanbul, İ.Ü. İktisat Fakültesi Yayını: No: 512.

Kutlar, Aziz: (2005), **Uygulamalı Ekonometri**, Ankara, Nobel Yayınları.

Lester, R. Brown: (2000), **Yeni Yüzyılın Sorunları, Dünya’nın Durumu 2000**, Çev. Ayşegül ve Zeynep Yelçe, İstanbul, Tema Vakfı Yayınları.

Murat, Sedat: (2002), “Avrupa Birliği Ülkeleri ve Türkiye’nin Karşılaştırmalı Nüfus Yapısı”, **Tüm Yönleriyle Türkiye-AB İlişkileri**, Ed. Mustafa Aykaç ve Zeki Parlak, İstanbul, Elif Kitabevi.

Noreng, Qystein: (2004), **Ham Güç: Petrol Politikaları ve Pazarı**, Çev. Nurgül Durmuş, Ankara, Elips Yayınları.

Özgüven, Ali: (1988), **İktisadi Büyüme, İktisadi Kalkınma, Sosyal Kalkınma, Planlama ve Japon Kalkınması**, Filiz Kitabevi, İstanbul.

Roberts, Russel: (2004), “**The Invisible Heart: An Economic Romance**”, Türkçesi: Görünmez Kalp, Çeviren: Mustafa Acar, Ankara Liman Yayınları.

Sevüktekin, Mustafa, Mehmet Nargeleçekenler: (2007), **Ekonometrik Zaman Serileri Analizi**, Ankara, Nobel Yayınları.

Şahin, Mükerrerem: (2006), **Hidrojen Enerjisi Teknolojileri**, Ankara, Anıl Yayınları.

Ülgen, Gülden: (2005), **Türkiye’de Piyasa Ekonomisine Geçiş Süreci ve Sürdürülebilirliği**, İstanbul, Derin Yayınları.

Yergin, Daniel: (1995), **Petrol**, Çeviren: Kamuran Tuncay, Yayın No: 37, Ankara, Türkiye İş Bankası Yayınları.

Yücel, Behçet: (2004), **Yaşanabilir Bir Dünya İçin Enerji**, İstanbul, Febel Yayınları.

MAKALELER

Abmann, Dirk, Niklas Sieber: (2005), “Transport in Developing Countries: Renewable Energy Versus Energy Reduction”, **Transport Reviews**, Vol.25, No.6, pp.719-738.

Abosedra, S., H. Baghestani: (1989), “New Evidence on The Causal Relationship Between U.S. Energy Consumption and GDP”, **Journal of Energy Development**, Vol.14, pp.285–292.

Akarca, A., T. Long: (1980), “On The Relationship Between Energy and GNP: A Reexamination”, **Journal of Energy and Development**, Vol.5, pp.326-331.

Akkoyunlu, Atilla: (2007), “Türkiye’de Fosil ve Yenilenebilir Enerji Kaynakları ve Çevreye Etkileri”, Avrasya Bir Vakfı I. Beyin Fırtınaları Toplantısı, **Türkiye’de Enerji Darboğazı- Alternatif Enerji Kaynakları-Nükleer Enerji**, İstanbul, Cilt.II, ss.49-64.

Alniak, Oktay: (2006), “Milli Güvenliğin Bir unsuru Olarak Enerji Politikalarının İncelenmesi”, **III. Ulusal Hidrojen Enerjisi Kongresi Bildirileri**, İstanbul, ss.191-194.

Aqell, A., S.M. Butt: (2001), “The Relationship Between Energy Consumption and Economic Growth in Pakistan”, **Asia-Pasific Development Journal**, Vol.8, Issue.2, pp.101-110.

Aslan, Nurdan, Tahsin Yamak: (2006), “Türkiye’nin Enerji Sorununun Alternatif Enerji Kaynakları Açısından Değerlendirilmesi”, **Marmara Üniversitesi İİBF Dergisi**, Cilt:XXI, Sayı:1, İstanbul, ss.53-76.

Bahadır, Akın: (2004), “Yeni Ekonomi: Yeni Olan Nedir? 20.Yüzyılın Son Moda Kavramının Analizi”, (Çevrimiçi) <http://www.stratejiyonetim.com>, (19.12.2007).

Banister, David, Karl Dreborg: (2000), “Transport Policy Scenarios for The EU: 2020 Images of The Future”, **Innovation**, Vol. 13, No: 1, pp.27-45.

Barkenbus, Jack: (2005) “Energy, Resource and Environment”, Power Point Demonstration, Tennessee.

Baykara, S. Z.: (2005), “Hydrogen As Fuel: A Critical Technology?”, **International Journal of Hydrogen Energy**, Vol.30, pp.545 – 553.

Baykara, S.Z., E.H. Figen, A. Kale, T. Nejat Veziroğlu: (2007), “Hydrogen From Hydrogen Sulphide in Black Sea”, **International Journal of Hydrogen Energy**, Vol.32, pp.1246 – 1250.

Bayraç, H. Naci: (1999), “Uluslararası Petrol Piyasasının Ekonomik Analizi”, (Çevrimiçi) www.tek.org.tr/dosyalar/BAYRAC-ENERGY.pdf, (12.6.2007), ss.1-24,

—————, (2002), “Yeni Ekonomi’nin Toplumsal, Ekonomik ve Teknolojik Boyutları”, **1. Ulusal Bilgi, Ekonomi ve Yönetim Kongresi**, Kocaeli.

Berg, Jeroen Van Der, Albert Faber, Annemarth M. Idenburg, Frans H. Osterhuis: (2006), “Survival of The Greenest: Evolutionary Economics And Policies For Energy Innovation”, **Environmental Sciences**, Vol.3, No: 1, pp.57 – 71.

Birol, Fatih: (2004), “ Petrol Fiyatlarındaki Yükselişin Dünya Ekonomisi Üzerindeki Etkileri”, **Turkishtime**, TİM Yayınları, Sayı: 32, (Çevrimiçi) http://www.turkishtime.org/32/tr_18.asp, (12.06.2007).

Bockris, John: (1999), “Hydrogen Economy in The Future”, **International Journal of Hydrogen Energy**, Vol 24, pp.1-15.

Campbell, Colin J., Jean H. Laherrère: (1998) “The end of Cheap Oil”, **Scientific American Journal**, (Çevrimiçi) <http://dieoff.org/page140.htm>, (12.04.2007).

Contreras, A., J. Carpio: (1999), ”Solar Hydrogen: An Energy System For Sustainable Development in Spain”, **International Journal of Hydrogen Energy**, Vol:24, pp.1041-1052.

Deloitte: (April 2007), “Paving The Way to A Hydrogen Based Global Economy”, **Energy & Resources Reports**,

Demir, Osman: (2002), “Durgun Durum Büyümeden İçsel Büyümeye”, **C.Ü. İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi**, Cilt 3, Sayı 1, ss.1-16.

Demirbilek, Sami: (2006), “Türkiye’nin Enerji Politikası”, **Türkiye’de Enerji ve Kalkınma Sempozyumu**, İstanbul, Tasam Yayınları, ss.99-103.

Dinçer, İbrahim: (2006), “Environmental And Sustainability Aspects of Hydrogen And Fuel Cell Systems”, **International Journal of Energy Research**, Published Online in Wiley InterScience, pp.1-25.

Dixon, Robert K.: (2006), “Advancing Towards A Hydrogen Energy Economy: Status, Opportunities and Barriers, **Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change**, pp.1-17.

Doğan, Mehmet: (2004), “21. Yüz Yıl’ın Teknolojisi Nanoteknoloji”, **Popüler Bilim Dergisi**, Sayı.128, ss. 32-36.

Doğan, Seyhun: (2005) “Türkiye’nin Küresel İklim Değişikliğinde Rolü ve Önleyici Küresel Çabaya Katılım Girişimleri”, **Cumhuriyet Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi**, Cilt.6, Sayı: 2, ss.57-74.

DPT: (2001), “Sekizinci Beş Yıllık Kalkınma Planı Elektrik Enerjisi Özel İhtisas Komisyonu Raporu”, Ankara.

——— : (2007), “Elektrik Enerjisinde Yakıt Cinslerine Göre Kurulu Güç, Üretim Kapasitesi ve Üretim Değerleri”, **Dokuzuncu Kalkınma Planı (2007-2013), 2007 Yılı Programı**, Ankara.

Ebohon, O. J.: (1996), “Energy, Economic Growth and Causality in Developing Countries. A Case Study of Tanzania and Nigeria”, **Energy Policy**, Vol. 24, pp.447–453.

Eldin, Adnan Shihab: (2002), “New Energy Technologies: Trends in The Development of Clean and Efficient Energy Technologies”, **OPEC Review**, pp.261-307.

Erdoğan, Seyfettin: (2002), “Makro Ekonomik Etkileri Açısından Yeni Ekonomi”, **1. Ulusal Bilgi, Ekonomi ve Yönetim Kongresi**, Kocaeli, ss.13-22.

Eroğlu, Veysel: (2003), “Jeotermal Enerjide Son Teknolojik Gelişmeler”, **Türkiye 9. Enerji Kongresi Bildiriler Kitabı**, İstanbul, pp.95-118.

Erol U., E.S.H. Yu: (1987), “On The Causal Relationship Between Energy and Income For Industrialized Countries”, **Journal of Energy and Development**, Vol.13, pp.113-122.

Fernandes, T.R.C., Fengzen Chen: (2005), “Hysociety “ in Support of European Hydrogen Projects and EU Policy”, **Internatonal Journal of Hydrogen Technology**, Vol.30, pp.239-245.

Forsberg, Charles: (2005), “Futures For Hydrogen Produced Using Nuclear Energy”, **Progress in Nuclear Energy**, Vol.47, No: 1, pp.484-495.

Fri, Robert W.: (2003), “The Role of Knowledge: Technological Innovation in The Energy System”, **The Energy Journal**, Vol.24, No: 4, pp.51-74.

Gehl, Stephen: (2003), “Energy Technologies for The 21st Century”, Phase II, World Energy Council, **Executive Energy Forum**, <http://www.wec.org>, (18.02.2007).

Glasure, Y.U., A.R. Lee: (1997), “Cointegration, Error Correction and The Relationship Between GDP and Energy: The Case of South Korea and Singapore”, **Resource and Energy Economics**, Vol.20, pp.17–25.

Gosselink, J. W.: (2002), “Pathways to a More Sustainable Hydrogen- A Research Objective For Shell”, **International Journal of Hydrogen Energy**, Vol.27, pp.1125-1129.

Göçer, Aykut: (2001), “Bilim ve Teknoloji Politikalarına Giriş İçin Enformasyon Toplumu Üzerine Kavramsal Bir Yaklaşım Denemesi”, **TTGV Yayınları**, Ankara,

Göktaş, Özlem: (2005), “Türkiye Ekonomisinde Büyüme İle İşsizlik Oranları Arasındaki Nedensellik İlişkisi”, **İ.Ü. Ekonometri ve İstatistik Dergisi**, Sayı: 2, pp.63-76.

Görgün, Haluk: (2006), “Dünya’da Hidrojen Enerjisi Çalışmaları”, **Türkiye’de Enerji ve Kalkınma Sempozyumu**, İstanbul, Tasam Yayınları, ss.83-86.

Granovski, Mikhail, İbrahim Dinçer, Marc A. Rosen: (2006), “Economic And Environmental Comparison of Conventional, Hybrid, Electric And Hydrogen Fuel Cell Vehicles”, **Journal of Power Sources**, Vol.159, pp.1186-1193.

Gürsakal, Necmi: (2001), “Yeni Bilim”, **İş-güç Endüstri İlişkileri ve İnsan Kaynakları Dergisi**, Cilt:3, Sayı: 1, <http://www.isgucdergi.org>, (12.09.2007).

Hake, J.F., J. Linssen, M. Walbeck: (2006), “Prospects for Hydrogen in The German Energy System”, **Energy Policy**, Vol.34, pp.1271–1283.

Hamilton, James D.: (2003), “What is an Oilshock”, **Journal of Econometrics**, Vol. 113, pp.363-398.

Helvacı, Cahit: (2003), “Türkiye Borat Yatakları: Jeolojik Konumu, Ekonomik Önemi ve Bor Politikası”, **Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi**, Cilt.5, Sayı: 1, ss. 4-41.

Hugo, Andre, Paul Rutter, Stratos Pistikopoulos: (2005), “Hydrogen Infrastructure Strategic Planning Using Multi-Objective Optimization”, **International Journal of Hydrogen Energy**, Vol.30, pp.1523 – 1534.

Hwang, D., B. Gum: (1991), “The Causal Relationship Between Energy and GNP: The Case of Taiwan”, **Journal of Energy Development**, Vol.16, pp.219–226.

Ilmakunnas, P., H. Torma: (1994), “Energy Crises and Change of Technology”, **Journal of Applied Econometrics**, Vol 9, No: 3, pp.305-320.

Iwasaki, Waichi: (2003), “A Consideration of Power Density And Hydrogen Production And Utilization Technologies”, **International Journal of Hydrogen Energy**, Vol.28, pp.1325– 1332.

İncekara Ahmet, Halil Özekicioğlu: (2007), “İktisadi Kalkınma–Enerji İlişkisi ve Türkiye’nin Alternatifleri“, Avrasya Bir Vakfı I. Beyin Fırtınaları Toplantısı, **Türkiye’de Enerji Darboğazı- Alternatif Enerji Kaynakları-Nükleer Enerji**, İstanbul, Cilt.II, ss.138-161.

Johnston, Brenda, Micheal C. Mayo, Anshuman Khare: (2005), “Hydrogen: The Energy Source for The 21st Century, **Technovation**, Vol.25, pp. 569-585.

Kadırgan, Figen: (2007), “Güneş Enerjisi ve Hidrojen”, Avrasya Bir Vakfı I. Beyin Fırtınaları Toplantısı, **Türkiye’de Enerji Darboğazı- Alternatif Enerji Kaynakları-Nükleer Enerji**, Cilt II, ss.30-46.

Kar, Yakup, Nejdet Şen, Ayhan Demirbaş: (2006), “Boron Minerals in Turkey, Their Application Areas And Importance for The Country’s Economy”, **Minerals&Energy**, Vol.20, Issue: 3, pp.2-10.

Karaağaçlı, H. Nejat: (2007), “Biyolojik Kaynaklardan Enerji – Biyodizel ve Türkiye’nin Durumu”, Avrasya Bir Vakfı I. Beyin Fırtınaları Toplantısı, **Türkiye’de Enerji Darboğazı- Alternatif Enerji Kaynakları-Nükleer Enerji**, III. Cilt, ss.50-71.

Karaca, Orhan: (2003), “Türkiye’de Enflasyon–Büyüme İlişkisi: Zaman Serisi Analizi”, **Doğuş Üniversitesi Dergisi**, Cilt.4, Sayı: 2, ss.247-255.

Karadoğan, Haluk: (2006), “Türkiye’de Enerji”, **Türkiye’de Enerji ve Kalkınma Sempozyumu**, İstanbul, Tasam Yayınları, ss-31-34.

Karagöl, Erdal, Erman Erbaykal, H. Murat Ertuğrul: (2007), “Türkiye’de Ekonomik Büyüme İle Elektrik Tüketimi İlişkisi: Sınır Testi Yaklaşımı”, **Doğuş Üniversitesi Dergisi**, Cilt 8, Sayı: 1, pp.72-80.

Karagöl, Mehmet: (2003), “Beşeri Sermayenin Ekonomik Büyümeyle İlişkisi ve Etkin Kullanımı”, **Akdeniz Üniversitesi İİBF Dergisi**, Cilt 5, ss.79-90.

Karimi, Shahram, Frank R. Foulkes: (2002), “Fuel Cell Cars: Panacea or Pipe Dream?”, **Bulletin of Science, Technology & Society**, Vol.22, No: 4, pp. 283-296.

Kerey, Erdal: (2007), “Kömür ve Bitümlü Şistlerin Enerji Üretimindeki Önemi”, Avrasya Bir Vakfı I. Beyin Fırtınaları Toplantısı, **Türkiye’de Enerji Darboğazı- Alternatif Enerji Kaynakları**, , Cilt.II, ss.142-154.

Kouroussis, Denis, Shahram Karimi: (2006), “Alternative Fuels in Transportation”, **Bulletin of Science, Technology & Society**, Vol. 26, No: 4, pp.346-355.

Kovancılar, Birol: (2001), “Küresel Isınma Sorununun Çözümünde Karbon Vergisi ve Etkinliği”, Celal Bayar Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, **Yönetim ve Ekonomi Dergisi**, Cilt.8, Sayı:2, ss.1-17.

Kraft J., A. Kraft: (1978), “On The Relationship Between Energy and GNP”, **Journal of Energy and Development**, Vol.3, pp.401-403.

Kruger, Paul: (2005), “Electric Power Required in The World By 2050 With Hydrogen Fuel Production”, **International Journal of Hydrogen Energy**, Vol.30, pp. 1515-1522.

Lise, W, Montfort V.: (2005), “Energy Consumption and GDP in Turkey : Is There A Cointegration Relationship”, **EcoMod International Conference on Policy Modeling**, İstanbul, Turkey, pp.1-21.

Maack, Maria H., Jon Bjorn Skulason: (2006), “Implementing The Hydrogen Economy”, **Journal of Cleaner Production**, Vol.14, pp.52-64.

MatThews, Karine, MatThew Paterson: (2005), "Boom or Bust? The Economic Engine Behind The Drive For Climate Change Policy", **Global Change, Peace & Security**, Volume 17, pp.59-83.

Matveev, Igor: (2006), "Hydrogen and Power Production from The Black Sea Deep Water", **4th International Energy Conversion Engineering Conference and Exhibit (IECEC)**, San Diego, California.

McDowall, William, Malcolm Eames: (2006), "Forecasts, Scenarios, Visions, Backcasts And Roadmaps to The Hydrogen Economy: A Review of The Hydrogen Futures Literature", **Energy Policy**, Vol.34, pp.1236-1250.

Medlock, Kenneth B., Ronald Soligo: (2001), "Economic Development and End Use Energy Demand", **The Energy Journal**, Vol. 22., Issue.2, pp.77-105.

Midilli, Adnan, Murat Ay, Ayfer Kale, T. Nejat Veziroğlu: (2007), "Aparametric Investigation of Hydrogen Energy Potential Based on H₂S in Black Sea Deepwaters", **International Journal of Hydrogen Energy**, Vol.32, pp.117 – 124.

Mierlo, J. Van, G. Maggetto, P. Lataire: (2006), "Which Energy Source for Road Transport in The Future? A Comparison of Battery, Hybrid And Fuel Cell Vehicles", **Energy Conversion and Management**, Vol. 47, pp.2748–2760.

Milciuvienė, S., D. Milcius, B. Praneviciene: (2006), "Towards Hydrogen Economy in Lithuania", **International Journal of Hydrogen Energy**, Vol.31, pp. 861-866.

Mitsugi, Chiba, Arai Harumi, Fukuda Kenzos: (1998), "We-Net: Japanese Hydrogen Program", **International Journal of Hydrogen Energy**, Vol. 23, No: 3, pp.159-165.

Momirlan, M., Veziroğlu, T.N.: (2002), "Current Status of Hydrogen Energy", **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, Vol.6, No: 1, pp.141-179.

Nachane, D.M., R.M. Nadkarni, A.V. Karnik: (1988), “Co-Integration and Causality Testing of The Energy-GDP Relationship: A Cross-Country Study”, **Applied Economics**, Vol.20, pp.1511–1531.

Neumayer, Eric: (2000), “Scarce or Abundant? The Economics of Natural Resource Availability”, **Journal of Economic Surveys**, Vol.14, No: 3, Blackwell Publishers, Oxford, pp.307-335.

Özbey, Rana F.: (2002), “Sustainable Tourism Development In Globalization Progress”, **Globalization and Sustainable Development**, International Scientific Conference, Book: 4, pp.135-150, Varna.

Özkaya, Şule: (2001), “Petrol Fiyatlarının Ekonomilere Etkisi”, (Çevrimiçi), “http://www.mfa.gov.tr/MFA_tr/Yayinlar/DisisleriBakanligiYayinlari/EkonomikSorunlarDergisi/Sayi1/PetrolFiyatlar%FD.htm, (10.04.2007).

Öztürk, Nihat, Mehmet Bilgiç, Cemali Arslan: (2007), ”Hidrojen Enerjisi ve Türkiye’deki Hidrojen Potansiyeli”: (Çevrimiçi)
http://www.emo.org.tr/resimler/ekler/51c5ffd6b62cc21_ek.pdf, (27.11.2007).

Pala, Cenk: (2003), “Dünya’da ve Türkiye’de Enerjinin, Suyun, Ekonomi Politikası ve Geleceği”, **İktisat İşletme ve Finans Dergisi**, Sayı: 208, ss.19-25.

Palmquist, Matt: (2007), “Hydrogen Highway Revisited”, (Çevrimiçi)
http://www.hcn.org/servlets/hcn.WOTRArticle?article_id=17108, (23.06.2007).

Pamir, Necdet: (2007), “Enerji Arz Güvenliği ve Türkiye”, **Stratejik Analiz**, Asam Yayınları, Ankara, ss.14-24.

Penner, S.S.: (2006), “Steps Toward The Hydrogen Economy”, **Energy**, Vol.31, pp.33-43.

Phillimore, John: (2001), “Schumpeter, Schumacer and The Grening of Technology”, **Technology Analysis & Strategic Managments**, Vol.13, No: 1, pp.23-37.

Pokrovski, Vladimir N.: (2003), “Energy in The Theory of Production”, **Energy**, Vol. 28, Issue: 8, pp.769-788.

Ramachandran, Ram, Raghu K. Menon: (1998), “An Overview of Industrial Uses of Hydrogen”, **International Journal of Hydrogen Energy**, Vol. 23, No: 7, pp. 593-598.

Roberts, Kirthi, John B. Robinson: (2006), “Characterization And Sustainability Assessment of Canada’s Hydrogen Highway”, **International Journal of Energy Research**, Vol.10, pp.1-17.

Rosen, Marc A.: (2004), “Energy Considerations in Design for Environment: Appropriate Energy Selection and Energy Efficiency”, **International Journal of Green Energy**, Vol. 1, No: 1, pp. 21–45.

SAE (Stratejik Araştırmalar Enstitüsü): (2004), **Türkiye’nin Stratejik Yeraltı Kaynakları Raporu**, İstanbul.

Sanden, Bjorn A., Christian Azar: (2005), “Near-Term Technology Policies For Long-Term Climate Targets- Economy Wide Versus Technology Specific Approaches”, **Energy Policy**, Vol.33, pp.1557–1576.

Sherif, S.A., F. Barbir , N. Veziroğlu: (2005), “Wind Energy and The Hydrogen Economy”, **Solar Energy**, Vol. 78, pp. 647–660.

Satman, Abdurrahman: (2007), “Türkiye’de Enerji”, Avrasya Bir Vakfı I. Beyin Fırtınaları Toplantısı, **Türkiye’de Enerji Darboğazı- Alternatif Enerji Kaynakları-Nükleer Enerji**, Cilt. II, ss.175-187.

_____ : (2006), “Dünya’da Enerji Kaynakları”, **Türkiye’de Enerji ve Kalkınma Sempozyumu**, İstanbul, Tasam Yayınları, ss.47-57.

Shiu, A., Lam, P. L.: (2004), “Electricity Consumption and Economic Growth in China” **Energy Policy**, Vol.32, Issue:1, pp. 47-54.

Solomon, Barry D., Abhijit Banerjee: (2006), “A Global Survey of Hydrogen Energy Research, Development And Policy”, **Energy Policy**, Vol. 34, pp.781–792.

Soytaş, Uğur, R. Sari: (2003), “Energy Consumption and GDP: Causality Relationship in G-7 Countries and Emerging Markets”, **Energy Economics**, Vol.25, Issue: 1, pp.33–37.

Stern, D. I.: (1993), “Energy Use and Economic Growth in The USA, A Multivariate Approach”, **Energy Economics**, Vol.15, pp.137–150.

_____ : (1998), “A Multivariate Cointegration Analysis of The Role of Energy in The U.S. Macroeconomy”, **Working Papers in Ecological Economics**, Centre for Resource and Environmental Studies, Australia, pp.1-28.

Stern, D. I., J. Cleveland Cutler: (2004), “Energy and Economic Growth”, Rensselaer, **Working Papers in Economics**, No: 410.

Stiegel, Gary J., Massod Ramezan: (2006), “Hydrogen From Coal Gasificaiton: An Economical Pathway to a Sustainable Energy Future”, **International Journal of Coal Geology**, Vol. 65, pp.173-190.

Şahin, A. Duran: (2007), “Rüzgar ve Güneş Enerjilerinin Türkiye’deki Potansiyelleri”, Avrasya Bir Vakfı I. Beyin Fırtınaları Toplantısı, **Türkiye’de Enerji Darboğazı- Alternatif Enerji Kaynakları-Nükleer Enerji**, Cilt. II, ss.73-93.

Şahin, H. Mehmet, A. Hikmet Yalçın: (2006), “Nükleer Enerji ile Hidrojen Üretimi ve Küresel Isınmaya Etkileri”, **International Hydrogen Congress Proceedings**, İstanbul.

Taban, Sami: (2006), “Türkiye’de Sağlık ve Ekonomik Büyüme İlişkisi: Nedensellik Testi”, **Sosyoekonomi Dergisi**, Cilt: 2, pp.31-46.

TASAM: (2006), “Enerji Üretimi ve Çevresel Etkileri”, **Stratejik Rapor**, No: 14, İstanbul.

TEMA: (2007), “Doğa Dostu Enerji Kullanımı İçin Yeni Fırsatlar”, **Tema Vakfı Raporu**, İstanbul.

——— (2007), “Güçlü Bir Ekonomi, Gelecekte Rekabet Gücü”, **Tema Vakfı Raporu**, İstanbul.

Toman, Micheal, Barbara Jemelkova: (2003), “Energy and Economic Development: An Assesment of The State of Knowlodge”, **The Energy Journal**, Vol. 24, Issue: 4, pp.93-112.

Toprak, Duriye: (2006), ”Sürdürülebilir Kalkınma Çerçevesinde Çevre Politikaları ve Mali Araçlar”, **Süleyman Demirel Üniversitesi SBE Dergisi**, Yıl:2, Sayı: 4, ss.146-169.

Thorsteinn, I. Sigfusson: (2004), “Hydrogen Island”, **Apec Workshop**, University of Iceland.

Tübitak: (2007), **Tübitak Bor Raporu**, Ek-2H, (Çevrimiçi)

http://www.tubitak.gov.tr/tubitak_content_files/vizyon2023/mm/Ek2h.pdf,
(20.12.2007).

Türe, Engin: (2007), “Hidrojen Enerjisi”, Avrasya Bir Vakfı I. Beyin Fırtınaları Toplantısı, **Türkiye’de Enerji Darboğazı- Alternatif Enerji Kaynakları- Nükleer Enerji**, Cilt. II, ss.3-29.

Türedi, Salih, Metin Berber: (2007), “Enerji Tüketimi ve Ekonomik Büyüme İlişkisi Uzun Dönem Analizi: Türkiye Örneği (1976–2005)”, **İkinci Uluslararası İşletme ve Ekonomi Çalıştayı**, Giresun, Türkiye.

Ulusoy, Veysel: (2006), “Ekonomik Büyüme ve Enerji Tüketimi”, **Türkiye’de Enerji ve Kalkınma Sempozyumu**, İstanbul, Tasam Yayınları, ss.147-154.

UN (United Nations): (2007), **The 2004 Energy Statistics Yearbook**, Department of Economic and Social Affairs, New York, (Çevrimiçi)
<http://hdrstats.undp.org/indicators/208.html> (29.12.2007).

U.S. Department of Energy: (May 2007), **International Energy Outlook**, Washington.

Uzmen, Reşat, Asım Arar: (2001),“21. Yüzyılda Enerji Kullanımı ve İklim Değişikliği”,(Çevrimiçi),http://www.mfa.gov.tr/MFA_tr/Yayinlar/EkonomikSorunlarDergisi/Sayi2, (10.05.2007).

Valente, Simone: (2005), “Sustainable Development, Renewable Resources and Technological Progress”, **Environtmental & Resource Economics**, Vol: 30, pp.115-125.

Waegel, Alex, John Byrne, Daniel Tobin, Bryan Haney: (2006), “Hydrogen Highways: Lessons on The Energy Technology-policy Interface”, **Bulletin of Science, Technology & Society**, Vol.26, No: 4, pp.288-298.

Weisbrod, Roberta E.: (1999), “Solving China’s Urban Crisis: China’s Transportation Energy Future”, **Journal of Urban Technology**, Volume 6, No: 1, pp. 89-100.

Wietschel, Martin, Ulrike Hasenauer, Arend de Groot: (2006), “Development of European Hydrogen Infrastructure Scenarios-CO₂ Reduction Potential And Infrastructure Investment”, **Energy Policy**, Vol.34, pp.1284–1298.

Williams, James, F. Alhaiji: (2003), “The Coming Energy Crisis”, (Çevrimiçi) <http://www.wtrg.com/EnergyCrisis/EnergyCrisis.pdf>, (19.02.2007).

Winter, Carl Jochen: (2005), “Into The Hydrogen Energy Economy Milestones”, **International Journal of Hydrogen Energy**, Vol.30, pp.681-685.

————— : (2006), “Energy Policy is Technology Politics-The Hydrogen Energy Case”, **International Journal of Hydrogen Energy**, Vol.31, pp.1623 – 1631.

Wilhelm, Erik, Michael Fowler: (2006), “A Technical and Economic Review of Solar Hydrogen Production Technologies”, **Bulletin of Science, Technology & Society**, Vol.26, No: 1, pp. 278-287.

Woodrow, W. Clark, Jeremy Rifkin: (2006), “A Green Hydrogen Economy”, **Energy Policy**, Vol.34, pp. 2630-2639.

Yavuz, Nilgün Çil: (2006), “Türkiye’de İhracat ve İktisadi Büyüme Arasında Nedensellik Analizi”, **Kocaeli Üniversitesi İİBF Dergisi**, <http://iibf.kou.edu.tr/ceko/armaganlar/turanyazgan/38.pdf>, ss.962-972.

Yılmaz, Pelin: (2007), “Hidrojen Ekonomisine Geçiş Stratejileri ve Türkiye”, (Çevrimiçi) hydrogen.cankaya.edu.tr/sunum/sunum14.ppt, (04.05.2007).

Yu, E.S.H., B. Hwang: (1984), “The Relationship Between Energy and GNP: Further Results”, **Energy Economics**, Vol.6, pp.186-190.

Yülek, Murat: (1997), “İçsel Büyüme Teorileri”, **Hazine Dergisi**, Sayı: 6, Ankara, ss.1-15.

Zegers, P.: (2006), “Fuel Cell Commercializaiton: The Key To A Hydrogen Economy”, **Journal of Power Sources**, Vol. 154, pp. 497-502.

Zwaan, Bob Vand Der: (2000), “Nuclear Power and Global Warming”, **Survival**, Vol.42, The International Institue for Strategic Studies, No: 3, pp.61-71.

İNTERNET ADRESLERİ

Alatlı, Alev, “Kuantum Fiziği: Ekonomi ve Fizik”, (Çevrimiçi)
<http://www.alevalatli.com> (22.05.2007).

BM, “Birleşmiş Milletler 2007 İklim Değişikliği Raporu”, (Çevrimiçi)
<http://www.kuresel-isinma.net/birlesmis-milletler-2007-iklim-degisikligi-raporu.html>, (10.05.2007).

Boğaziçi Üniversitesi , “Jeotermal Enerji”, (Çevrimiçi)
<http://www.kandilli.boun.edu.tr/meteoroloji/enerji1.html>, (11.07.2007)

_____, “Güneş Enerjisi”, (Çevrimiçi)
<http://www.kandilli.boun.edu.tr/meteoroloji/enerji1.html>, (11.07.2007).

_____, “Rüzgar Enerjisi”, (Çevrimiçi)
<http://www.kandilli.boun.edu.tr/meteoroloji/enerji1.html>, (11.07.2007).

BP, Statistical Review of World Energy 2007, (Çevrimiçi)
<http://www.bp.com/statisticalreview>, (07.08.2007).

Dommel Valley Green Power, “World Solar PV Energy Totals by End of 2006”,
(Çevrimiçi) www.dommelvalley.ca/world-solar-energy.htm, (14.08.2007).

DTM, “Yeni Ekonomi”, (Çevrimiçi)
http://www.dtm.gov.tr/yayinlar/yeni_ekonomi, (18.12.2004).

EİE, “Biyodizel Konusunda Dünya’daki Teşvik ve Destek Uygulamaları”,
(Çevrimiçi) http://www.eie.gov.tr/biyodizel/bd_dunyatesvik.html, (11.03.2007).

_____, “Türkiye’nin Hidroelektrik Enerji Potansiyeli”, (Çevrimiçi)
<http://www.eie.gov.tr/turkce/HESproje/turkeyhidro.doc>, (10.03.2007).

_____, “Hidrojen Enerjisi”, (Çevrimiçi)
<http://www.eie.gov.tr/hidrojen/ichet.html>, (20.11.2007).

_____, “Türkiye Rüzgar Atlası”, (Çevrimiçi)
http://www.eie.gov.tr/turkce/ruzgar/tr_ruzgar_atlasi_buyuk.jpg, (14.12.2007).

_____, “Türkiye’nin Yıllık Toplam Güneş Enerjisi Potansiyelinin Bölgelere
Göre Dağılımı”, (Çevrimiçi) <http://www.eie.gov.tr/turkce/gunes/tgues.html>,
(10.08.2007).

EMİ, “Dünya Bor Rezervleri”, (Çevrimiçi)
<http://www.etimaden.gov.tr/tr>, (28.11.2007).

_____, “Bor Bileşiklerinin Kullanım Alanları”, (Çevrimiçi)
<http://www.etimaden.gov.tr/tr>, (28.11.2007).

_____, “Dünya Bor Üretiminin Ülkelere Göre Dağılımı”, (Çevrimiçi)
<http://www.etimaden.gov.tr/tr>, (28.11.2007).

HONDA, Hidrojen Dolum İstasyonu, Los Angeles Honda Tesisleri , (Çevrimiçi)
http://www.honda.com.tr/otomobil/honda_fcx.htm, (13.08.2007).

HABİTAT, “Biyokütle Enerjisi”, (Çevrimiçi)
<http://www.youthforhab.org.tr/tr/yayinlar/enerji/biyokutle/giris.htm> (16.12.2007).

HYDROGENCOMMERCE, U31 Hidrojen Motorlu Alman Denizaltısı, (Çevrimiçi)
<http://hydrogencommerce.com/index16.htm>, (19.10.2007).

İGEME, “Dünya Ticaretinin 2006 Yılı Gelişmeleri İle 2007 Yılı Beklentileri“, (Çevrimiçi) http://www.igeme.gov.tr/tur/haber/dunya_ticareti.pdf.

İTÜ Enerji Enstitüsü, “ Doğal Gaz Nedir?”, (Çevrimiçi)
http://atlascc.itu.edu.tr/pdgmb/question/fog_thtml#5, (05.01.2007).

JTD (Jeotermal Derneği), “Dünya’da ve Türkiye’de Jeotermal”, (Çevrimiçi)
<http://www.jeotermaldernegi.org.tr>, (12.07.2007).

NTD (Nano Teknoloji Derneği), “Tek Yol Nanoteknoloji Devrimi: Ekonomik Büyümenin Yeni Adı Nanoteknoloji”, (Çevrimiçi)
http://www.nano.org.tr/docs/nanoteknoloji_yatirimlari.pdf, (21.07.2007)

_____, “Dünya Nanoteknoloji Yatırımları“, (Çevrimiçi)
http://www.nano.org.tr/docs/nanoteknoloji_yatirimlari.pdf, (21.07.2007)

Peak Oil Crisis, “The End of Cheap Oil”, (Çevrimiçi), <http://www.peak-oil-crisis.com>, (12.04.2007).

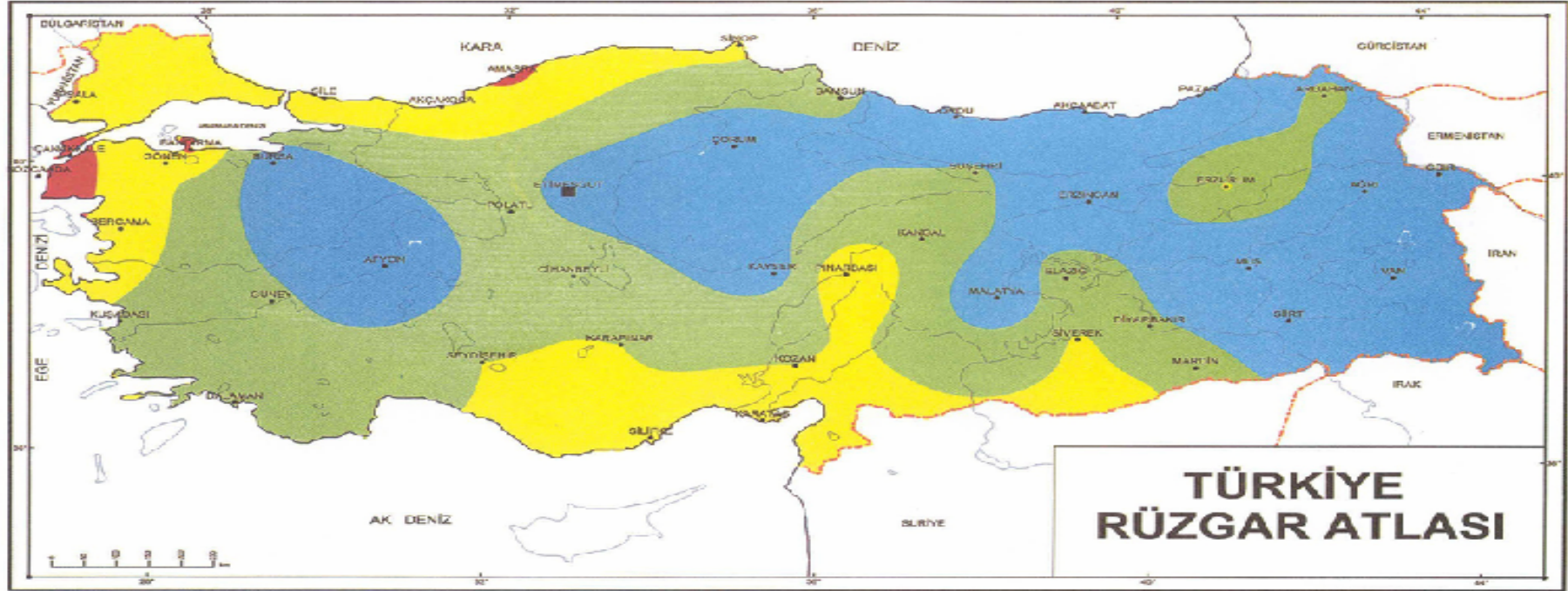
RWE (Renewable World Energy): (2005), **World Energy Report** , (Çevrimiçi) <http://rwe.com/generator.aspx/property=Data/id=266754/worldenergyreport.pdf>., (12.03.2007).

TAEK, “Nükleer Enerji Kullanan Ülkelerde Elektrik Üretiminde Nükleer Enerjinin Payı”, (Çevrimiçi) <http://www.taek.gov.tr/bilgi/sss/durum.html>, (12-07.2007).

VRC, Via Rail Canada, (Çevrimiçi) www.viarail.ca/htmaps/toro-winn_ns.html (15.09.2007).

U.S. DOE, “Secure, Reliable Energy Supplies”, (Çevrimiçi) www.netl.doe.gov/KeyIssues/secure_energy.html, (10.02.2007).

EK-1 Türkiye Rüzgar Atlası



Boş farklı topografik durum için yer seviyesinden 50 m. yükseklikteki rüzgar potansiyeli ¹									
	Kapalı Alanlar ² m ²	Açık Alanlar ² m ²	Kıyılar ⁴ m ²	Açık Deniz ⁵ m ²	Tiye ve Bayrak ⁶ m ²				
	> 8.0	> 250	> 7.5	> 900	> 8.5	> 300	> 9.0	> 800	> 11.5
	6.0-8.0	150-250	6.5-7.5	300-900	7.0-8.5	400-700	8.0-9.0	500-800	10.0-11.5
	4.5-6.0	100-150	5.5-6.5	200-300	6.0-7.0	250-400	7.0-8.0	400-600	8.5-10.0
	3.5-4.5	50-100	4.5-5.5	100-200	5.0-6.0	150-250	5.5-7.0	200-400	7.0-8.5
	< 3.5	< 50	< 4.5	< 100	< 5.0	< 150	< 5.5	< 200	< 7.0

1. Rüzgar potansiyeli, rüzgarın gücünü temsil etmektedir. Rüzgar türbinin halihazırındaki potansiyelin % 20 ile % 30 luk bölümünü kullanabilir. Potansiyel hesaplamaları; deniz seviyesinde 1 Atm.lık standart basınç ve 15 °C sıcaklığa karşılık geçen 1.25 kg/m³ hava yoğunluğuna göre yapılmıştır.
2. Yarıçap alanları, ormanlar ve rüzgar kırıcıların yoğun olduğu tarım alanları (pürüzlülük sınıfı 3).
3. Az sayıda rüzgar kırıcının olduğu açık araziler (pürüzlülük sınıfı 1). İç bölgelerde en fazla tarah edilen alanlar genellikle bu sınıfa bulunmaktadır.
4. Düzgün kıyı alanları ve çok az sayıda rüzgar kırıcı içeren kara yüzeyleri (pürüzlülük sınıfı 1). Eğer küçük rüzgar yönü deniz tarafından ve sürekli ise, potansiyel daha fazla olabilir. Tam tersi durumda ise potansiyel daha az olabilir.
5. Kıyılardan en az 10 km uzlıktaki açık denizler (pürüzlülük sınıfı 0).
6. Bütün sınıflarda % 50 ym. uzağı bir hız artışı gözlemlenmiştir ve bu sonuç; 400 m yüksekliğinde ve 4 km çapındaki simetrik bir tepede yapılan hesaplamalarda elde edilmiştir. Rüzgar hızındaki artış; tepenin yüksekliğine, uzunluğuna ve yapısına bağlıdır.

Kaynak: EİE, Türkiye Rüzgar Atlası

http://www.eie.gov.tr/turkce/ruzgar/tr_ruzgar_atlasi_buyuk.jpg, (14.12.2007)

EK-2 Türkiye Jeotermal Atlası



Kaynak: www.etkb.gov.tr, Türkiye Jeotermal Atlası, (14.12.2007)

**EK-3: Enerji Tüketimi-Ekonomik Büyüme(GSYİH) Nedensellik İlişkisi konusunda
Literatürde Yer alan Temel Çalışmalar (1978-2007)**

ÇALIŞMA	EKONOMETRİK YÖNTEM	ÜLKE	NEDENSELLİK
Kraft (1978)	Sims(1972) Nedensellik	ABD	E. Büyüme→Enerji
Akarca ve Long (1980)	Sims Nedensellik	ABD	Nedensellik Yok
Yu ve Hwang (1984)	Sims Nedensellik	ABD	Nedensellik Yok
Erol ve Yu(1987)	Sims ve Granger (1969)	Japonya ve İtalya Batı Almanya Kanada, Fransa, İngiltere	E. Büyüme→Enerji Enerji → E. Büyüme Nedensellik Yok Nedensellik Yok
Nachana, Nadkami ve ve Kamik(1988)	Koentegrasyon	11 Gelişmekte olan, 5 Gelişmiş ülke	Uzun Dönemde nedensellik var
Abosedra ve Baghestani(1989)	Granger	ABD	E. Büyüme→Enerji
Hwang ve Gum(1992)	Hsiao(1979) ve Granger	Tayvan	Enerji → E. Büyüme
Stern(1993)	Granger ve VAR	ABD	Enerji → E. Büyüme
Ebohon(1996)'un	Granger	Tanzanya ve Nijerya	Enerji ↔ E. Büyüme
Glasure ve Lee (1997)	Granger	Güney Kore ve Singapur	E. Büyüme→Enerji
Stern (2000)	Koentegrasyon	ABD	Uzun Dönemde nedensellik var

Aqell-Butt (2001)	Hasio nedensellik ve koentegrasyon	Pakistan	E. Büyüme→Enerji
Sarı-Soytaş (2003)	Johansen-Juselius koentegrasyon	Arjantin İtalya ve Kore (Türkiye, Fransa, Almanya ve Japonya)	Enerji ↔ E. Büyüme E. Büyüme→Enerji Enerji → E. Büyüme
Shiu-Lam (2004)	Hata Düzeltme	Çin	Enerji → E. Büyüme
Lise-Montfort (2005)	koentegrasyon	Türkiye	E. Büyüme→Enerji
Karagöl ve diğerleri (2007)	Sınır Testi koentegrasyon	Türkiye	Kısa dönemde Pozitif

ÖZGEÇMİŞ

1977 yılında Ankara’da doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini Ankara’da tamamladı. 2000 yılında N.Ü. İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi iktisat bölümünü bitirdi. 2000-2001 yılları arasında ODTÜ Yabancı Diller Yüksekokulu’nda İngilizce hazırlık programına katıldı. 2001 yılı Ağustos ayında Cumhuriyet Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesine araştırma görevlisi olarak atandı. 2001 eylül ayında C.Ü. Sosyal Bilimler Enstitüsü’nde Yüksek Lisans eğitime başladı ve 2004 Nisan ayında yüksek lisans eğitimini tamamladı. 2004 ekim ayında İstanbul Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsüne YÖK kanununun 35. maddesi kapsamında atandı ve doktora eğitime başladı. İ.Ü. İktisat Fakültesi’nde Araştırma görevlisi olarak görev yapmaktadır.